

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
AKILLI SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**BİR ANKASTRE FABRİKASINDA SİPARİŞ
GECİKMELERİNİN TİP-2 BULANIK KURAL TABANLI
HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Merve GELEN

Danışman

Prof. Dr. Sermin ELEVLİ

SAMSUN

2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve GELEN tarafından, Prof. Dr. Sermin ELEVLİ danışmanlığında hazırlanan “BİR ANKASTRE FABRİKASINDA SİPARİŞ GECİKMELERİNİN TİP-2 BULANIK KURAL TABANLI HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından .../ .../ 2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı Adı Soyadı	Üniversitesi	Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Sermin ELEVLİ		
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		☐ Kabul
	Akıllı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı		☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Barış Özkan		
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		☐ Kabul
	Akıllı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı		☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Emel Soylu		
	Samsun Üniversitesi		☐ Kabul
	Yazılım Mühendisliği Ana Bilim Dalı		☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

06 /01 / 2023

Merve GELEN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: BİR ANKASTRE FABRİKASINDA SİPARİŞ GECİKMELERİNİN TİP-2 BULANIK KURAL TABANLI HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 06/ 01/ 2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

06 /01 /2023

Prof. Dr. Sermin ELEVLİ

ÖZET

BİR ANKASTRE FABRİKASINDA SİPARİŞ GECİKMELERİNİN TİP-2 BULANIK KURAL TABANLI HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Merve GELEN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Akıllı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2023

Danışman: Prof. Dr. Sermin ELEVLİ

İşletmeler, günümüz rekabet koşullarında ayakta kalabilmek için ürün ve hizmet kalite seviyelerini sürekli olarak iyileştirme arayışı içindedir. Vaktinde karşılanamayan her talep müşteri memnuniyetsizliğine, problemin çözülmeyp tekrarlanması durumunda ise müşteri kayıplarına sebep olabilmektedir. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) (Failure Mode and Effects Analysis-FMEA) olası veya bilinen hataların risklerini tanımlayan ve bu risklere göre hata türlerini önceliklendiren bir tekniktir. Bu teknik hataların oluşmadan veya müşteriye ulaşmadan önlenmesi prensibine dayandığından, önleyici bir teknik olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. HTEA’da hataların ortaya çıkma olasılığına, ortaya çıktığı durumlarda müşteri üzerindeki etkisini gösteren şiddetine ve saptanabilirliğine göre hataları sıralamak ve bu sıralamaya göre iyileştirme aksiyonu olarak kalitesizlik kaynaklı iç ve dış başarısızlık maliyetlerini azaltmak amaçlanmaktadır. Bu çalışmada bir ankastre firmasındaki siparişlerin müşterilere geç teslimatı problemi, AIAG (Automotive Industry Action Grup) & VDA (Verband Der Automobilindustrie) tarafından 2019 yılında yayınlanan kılavuza göre aksiyon önceliğini belirleyerek hata türlerini sıralayan Proses HTEA (P-HTEA) formu esas alınarak analiz edilmiştir. HTEA’da olasılık, şiddet ve saptanabilirlik dereceleri dilsel ifadelerle dayandığı için bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmıştır. MATLAB Fuzzy Logic Designer kullanılarak Tip-1, Tip-2 ve Aralık Tip-2 bulanık kümeleri için hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı önceliklendirmeler elde edildiğinden, ortak bir öncelik sıralaması elde etmek üzere gri ilişki analizinden yararlanılmıştır. Elde edilen sıralama, sipariş gecikmelerinden hammadde ve yarımamül stok sapmalarının öncelikli olarak sorumlu olduğuna işaret etmiştir.

Anahtar Sözcükler: Aksiyon Önceliği, Bulanık Mantık, Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonları, P-HTEA, Bulanık P-HTEA, Gri İlişki Analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ORDER DELAYS IN A BUILT-IN FACTORY VIA TYPE-2 FUZZY RULE BASED FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

Merve GELEN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Intelligent Systems Engineering

Master, June/2023

Supervisor: Prof. Dr. Sermin ELEVLİ

In today's competitive conditions, companies are consistently striving to enhance the quality of their products and services. Every demand that is not met on time can cause customer dissatisfaction, and if the problem is not resolved and repeated, it can cause customer losses. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a technique that identifies the risks of potential or known failures and prioritizes failure modes according to these risks. Since this technique is based on the principle of preventing errors before occurring or reaching the customer, it is widely used as a preventive technique. In FMEA, failures are prioritized based on their probability of occurrence, the severity of their impact on the customer when they occur, and their detectability. It is aimed to reduce the internal and external failure costs caused by poor quality by taking improvement action according to this order. In this study, the problem of tardy delivery of orders to customers in an built-in company was analyzed based on the Process FMEA (P-FMEA) form, which ranks failure types by determining action priority according to the guide published by AIAG (Automotive Industry Action Group) & VDA (Verband Der Automobilindustrie) in 2019. Because of the fact that the probability, severity, and detectability levels in FMEA are based on linguistic expressions, the fuzzy logic method was used. Type-1, Type-2, and Interval Type-2 fuzzy sets were calculated using MATLAB Fuzzy Logic Designer, and the results were compared. As a result of the analyses, different prioritizations were obtained, and the used to grey relational analysis approach, which identifies important factors by examining. The ranking obtained indicated that raw material and semi-finished product stock deviations were primarily responsible for order delays.

Keywords: Action Priority, Fuzzy Logic, Fuzzy Logic Membership Functions, P-FMEA, Fuzzy P-HTEA, Grey Relational Analysis

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışması sürecinde yardım ve desteği için minnettar olduğum, kıymetli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sermin ELEVLİ'ye,

Tezimin son halini almasında önerileri ile yönlendiren değerli jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Barış Özkan ve Dr. Öğr. Üyesi Emel Soylu'ya

Tüm eğitim hayatım boyunca hep arkamda durum canım annem, babam ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Merve GELEN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. BULANIK MANTIK	3
2.1. Tanımı ve Kapsamı.....	3
2.2. Üyelik Fonksiyonu.....	4
2.2.1. Tip-1 Bulanık Kümeler.....	6
2.2.2. Tip-2 Bulanık Kümeler.....	8
2.2.3. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler.....	10
2.3. Bulanık Kural Tabanı	11
2.4. Bulanık Çıkarım Sistemleri	12
2.5. Durulaştırma	13
3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ.....	14
3.1. Amacı ve Kapsamı.....	14
3.2. Proses HTEA (2019) Revizyonu	17
3.3. P-HTEA'nın Adımları	19
3.4. HTEA'da Bulanık Mantık Yaklaşımı	30
3.4.1. Tip-1 Bulanık HTEA	32
3.4.2. Tip-2 Bulanık HTEA	33
3.5. Gri İlişki Analizi	33
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	36
5. UYGULAMA.....	44
5.1. Firmanın Tanıtımı.....	44
5.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi.....	44
5.3. P-HTEA Kılavuz Formunun Oluşturulması	45
5.4. Tip-1 Bulanık P-HTEA.....	49
5.5. Tip-2 Bulanık P-HTEA.....	51
5.6. Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA	56
5.7. Sonuçların Gri İlişki Analizi ile Değerlendirilmesi	66
6. SONUÇ.....	70
KAYNAKÇA.....	72
EKLER	76
ÖZ GEÇMİŞ	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
Ş	: Şiddet
O	: Olasılık
S	: Saptanabilirlik
AÖ	: Aksiyon Önceliği
RÖS	: Risk Öncelik Sıralaması
AIAG	: Automotive Industry Action Grup
VDA	: Verband Der Automobilindustrie
GİA	: Gri İlişki Analizi
FIS	: Fuzzy Inference System (Bulanık Çıkarım Sistemi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bulanık Mantık Sistem Yapısı	4
Şekil 2.2. Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonu.....	5
Şekil 2.3. Bulanık Küme Gelişimi.....	5
Şekil 2.4. Tip-2 Bulanık Mantık Yapısı	9
Şekil 2.5. Bulanık Kümelerin Boyutlandırması	9
Şekil 2.6. BAİ Gösterimi	10
Şekil 2.7. Aralık Tip-2 Bulanık Kümede BAİ,AÜF ve ÜÜF	11
Şekil 3.1. AIAG VDA FMEA El Kitabı	18
Şekil 3.2. AIAG & VDA P-HTEA Form Yapısı.....	19
Şekil 3.3. Hata Türü, Etkisi ve Sebebi İlişkisi.....	24
Şekil 3.4. Tip-1 Bulanık HTEA Metodolojisi	32
Şekil 3.5. Tip-2 Bulanık HTEA Metodolojisi	33
Şekil 4.1. " Failure Mode Effect Analysis" + "Fuzzy" Anahtar Kelimeleri için WOS'ta Yer Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı (1995-2023)	37
Şekil 4.2. "Hata Türü ve Etkileri Analizi" için Tez Tarama Merkezinde Yer Alan Çalışmaların Çalışma Alanlarına Göre Dağılımı.....	41
Şekil 5.1. 2022 yılı OTIF Değerleri	44
Şekil 5.2. Çalışmanın Metodolojisi	45
Şekil 5.3. Bulanık HTEA Kural Tabanı	49
Şekil 5.4. Tip-1 Bulanık HTEA Girdi, Çıktı ve Kural Tabanı Gösterimi MATLAB Arayüzü	49
Şekil 5.5. Tip-1 Bulanık HTEA Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Değeri Üyelik Fonksiyonları	50
Şekil 5.6. Tip-1 Bulanık P-HTEA Aksiyon Önceliği Değeri Üyelik Fonksiyonu.....	51
Şekil 5.7. Tip-2 Bulanık HTEA Girdi, Çıktı ve Kural Tabanı Gösterimi MATLAB Arayüzü	52
Şekil 5.8. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Tip-2 Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	53
Şekil 5.9. Aksiyon Önceliği Çıktı Değişkeni Tip-2 Üyelik Fonksiyonu MATLAB Arayüzü.....	54
Şekil 5.10. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Tip-2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu	55
Şekil 5.11. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Aralık Tip-2 Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	57
Şekil 5.12. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Aralık Tip-2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu.....	59
Şekil 5.13. MATLAB Fuzzy Tip-2 Simülasyon Gösterimi.....	61

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Klasik HTEA Formu.....	16
Tablo 3.2. HTEA'nın Tarihsel Gelişimi	17
Tablo 3.3. P-HTEA Formu.....	20
Tablo 3.4. 5T Açıklama Tablosu.....	21
Tablo 3.5. P-HTEA Adımları İlişki Yapısı	22
Tablo 3.6. P-HTEA Yapısal Analiz Adımı	23
Tablo 3.7. P-HTEA Fonksiyonel Analiz Adımı.....	23
Tablo 3.8. P-HTEA Hata Analizi Adımı	24
Tablo 3.9. Şiddet Derecelendirme Tablosu	25
Tablo 3.10. P-HTEA Hata Analizi Adımı	26
Tablo 3.11. Olasılık Derecelendirme Tablosu.....	26
Tablo 3.12. Saptanabilirlik Derecelendirme Tablosu.....	27
Tablo 3.13. P-HTEA Aksiyon Öncelik Belirleme Tablosu.....	28
Tablo 4.1. Literatür Araştırması.....	36
Tablo 4.2. Literatür Özet Tablo.....	40
Tablo 5.1. Sipariş Teslimatı Prosesleri.....	46
Tablo 5.2. P-HTEA Kılavuz Formu Hata Türleri Özet Tablosu	47
Tablo 5.3. Girdi Değişkenleri Dilsel İfadelerinin Aksiyon Önceliği Belirleme Tablosuna Göre Karşılığı	48
Tablo 5.4. Tip-1 Bulanık P-HTEA Üyelik Fonksiyonları	50
Tablo 5.5. Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Üçgen Üyelik Fonksiyonu Kategorileri	52
Tablo 5.6. Tip-2 Bulanık P-HTEA Çıktı Değişkeni Fonksiyon Parametleri.....	54
Tablo 5.7. Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Yamuk Üyelik Fonksiyonu Parametleri.....	56
Tablo 5.8. Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Üçgen Üyelik Fonksiyonu Parametleri ...	58
Tablo 5.9. Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Yamuk Üyelik Fonksiyonu Parametleri..	60
Tablo 5.10. P-HTEA Analiz Tablosu.....	62
Tablo 5.11. P-HTEA Bulanık Mantık Yaklaşımı Sıralaması	65
Tablo 5.12. Gri İlişki Analizi Veri Seti	66
Tablo 5.13. Gri İlişki Analizi Normalizasyonu	67
Tablo 5.14. Gri İlişki Analizi Uzaklık Matrisi	68
Tablo 5.15. Gri İlişki Katsayıları	69
Tablo 6.1. Gri İlişki Analizi Önceliklendirmesi.....	71

1. GİRİŞ

Günümüzde işletmeler rekabet ortamında ayakta kalabilmek ve devamlılığı sağlayabilmek için gelişmeleri takip ederek ürünlerini ve hizmetlerini geliştirmelidir. Artan rekabet, müşteri odaklı kalite sağlamayı bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu nedenle kalitenin sağlanabilmesi ve kalitesizliğin etkilerinin en aza indirilebilmesi için karşılaşılabilecek hatalar, maddi zarar ve karşılıklı güven kayıpları oluşmadan engellenmeli ya da hızlı bir çözüme kavuşturulmalıdır. Bu çalışmada olası hata türlerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesine dair bir uygulama yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla sisteme ait fonksiyon ya da bileşenlerin hata türünü belirleyen, potansiyel risklerin ve etkilerinin analiz edildiği Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA))’nden yararlanılmıştır.

HTEA’da hataların ortaya çıkma olasılığı, ortaya çıktığı durumlarda müşteri üzerindeki etkisini gösteren şiddeti ve saptanabilirliğini dikkate alarak Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır. HTEA’nın amacı RÖS değerine göre hataları sıralamak ve bu sıralamaya göre iyileştirme aksiyonu olarak kalitesizlik kaynaklı iç ve dış başarısızlık maliyetlerini azaltmaktır. Sistemi farklı önem seviyelerinde etkileyen hata türleri, RÖS değeriyle önceliklendirilmektedir. Bu değer, ağırlıkları eşit kabul edilen şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin çarpılması sonucunda hesaplanmaktadır. Ağırlıkları eşit kabul edilen fakat sisteme etkileri farklı olan şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri önceliklendirmeyi tam anlamıyla ifade etmeyebilmektedir. Bu önceliklendirme riskli durumda bulunan bazı hata türlerinin gözden kaçmasına sebep olmaktadır. Ayrıca hesaplanan RÖS değeri, alanında uzman kişiler tarafından genellikle öznel yargılara dayanılarak değerlendirilmektedir. Belirsizliğe sebep olan bu öznel yargılar uzmanların bilgi ve tecrübelerine bağlı olarak değişiklik gösteren dilsel ifadelerdir.

Klasik HTEA yöntemi mevcut hali ile uzman görüşlerindeki öznel yargılar ve eksiklikler sebebi ile güvenilir sonuçlar veremeyebilmektedir. Daha güvenilir sonuçlar ile durumun önüne geçilebilmesi için AIAG & VDA tarafından 2019 yılında Proses HTEA (P-HTEA) kılavuzu yayınlanmıştır. P-HTEA, klasik HTEA yöntemine kıyasla birçok avantaj sunan yenilikçi bir yöntemdir. Bu kılavuz, iyileştirilmesi gereken hata türlerinin önem sırasını veren bir aksiyon öncelik tablosu içermektedir. Bu tablo yardımıyla, takım çalışmasında uzmanların belirlediği şiddet, olasılık ve

saptanabilirlik değerlerine dayanarak düşük, orta ve yüksek seviyede aksiyon önceliği değerleri belirlemektedir.

HTEA’da uzman kişilerce belirlenen şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri öznel yargılardan kaynaklanan belirsizlikleri içerebilir. Bu sebeple uzman kişilerin öznel yargılarının oluşturduğu belirsizliğin giderilmesi için dilsel ifadeleri net değere dönüştüren bulanık mantık (fuzzy logic) kullanılmasını gerektirmektedir.

Bulanık mantık P-HTEA uygulamasında aksiyon önceliği tablosundan yararlanarak, belirli bir kural tabanı oluşturulabilir. Bu kural tabanı, bulanık mantık yaklaşımı ile analiz edilerek, bir sıralama elde edilebilir. Bu sıralama, sınırlı kaynakların en etkili şekilde kullanılması için belirli hatalara öncelik verilmesine yardımcı olabilir.

HTEA kolay uygulanabilirliği ve basit hesaplanabilirliği sayesinde farklı endüstrilerde yaygın kullanımı ile ön plana çıkmaktadır. Literatürde son yıllarda HTEA’da bulanık mantık kullanılmasına yönelik çok sayıda çalışma yer almaktadır. Ayrıca, Kalite fonksiyonu göçerimi, hata ağacı analizi, veri zarflama analizi, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Analitik Ağ Süreci (AAS), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), doğrusal programlama, bulanık mantık, yapay sinir ağları, gri teori gibi yöntemlerle entegre edilen çalışmalar da bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bir firmada teslimatta yaşanan sipariş gecikmeleri probleminin çözümüne yönelik olarak öncelikle P-HTEA çalışması yapılmıştır. P-HTEA’da aksiyon önceliklendirme tablosundaki öncelik değerlerine göre bulanık mantık kuralları oluşturulmuştur. Bu kurallardan faydalanılarak ilk olarak tip-1 bulanık P-HTEA yapılmıştır. İkinci olarak üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı iki farklı tip-2 bulanık P-HTEA yapılmıştır. Üçüncü olarak yine üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı aralık tip-2 bulanık P-HTEA yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda prosesler için farklı önceliklendirmeler elde edilmiştir. Bu önceliklendirmeler gri ilişki analizi ile değerlendirilerek ortak bir öncelik sırası elde edilmiştir.

2. BULANIK MANTIK

Klasik küme yapısında bir eleman bir kümenin ya “elamanıdır” ya da “elemanı değildir” olarak iki durumda belirtilmektedir. Klasik mantığın keskin çizgilerle belirlenmiş çizgileri vardır. Klasik mantığa göre bir şeyin ‘doğru-yanlış’, ‘evet-hayır’ ve ‘1-0’ olarak iki sonucu vardır. Bunun haricindeki diğer değerler anlam ifade etmemektedir. Halbuki gerçek dünyada çoğu sistemde dinamikler ve belirsizlikler sebebiyle kesin olmayan sonuçlarla karşılaşılır. Bu belirsizlik durumuyla karşılaşıldığında klasik teknikler çoğu durumda yetersiz kalmaktadır. Bulanık mantık kümeleri kesin değerler arasında kalan aralığı kapsarken, klasik mantık yaklaşımı yalnızca doğru veya yanlış gibi kesin değerlerle çalışır (Zadeh, 1965).

2.1. Tanımı ve Kapsamı

Bulanık Mantık ilk olarak 1965 yılında Profesör Lotfi A. Zadeh tarafından literatüre kazandırılmıştır. Çalışması ‘Fuzzy Sets’ (bulanık kümeler) başlığı ile yayınlanmıştır (Zadeh, 1965). Bu çalışmada $[0,1]$ aralığında ifade edilebilen sonsuz sayıda eleman içeren bir bulanık küme önerisinde bulunulmuştur.

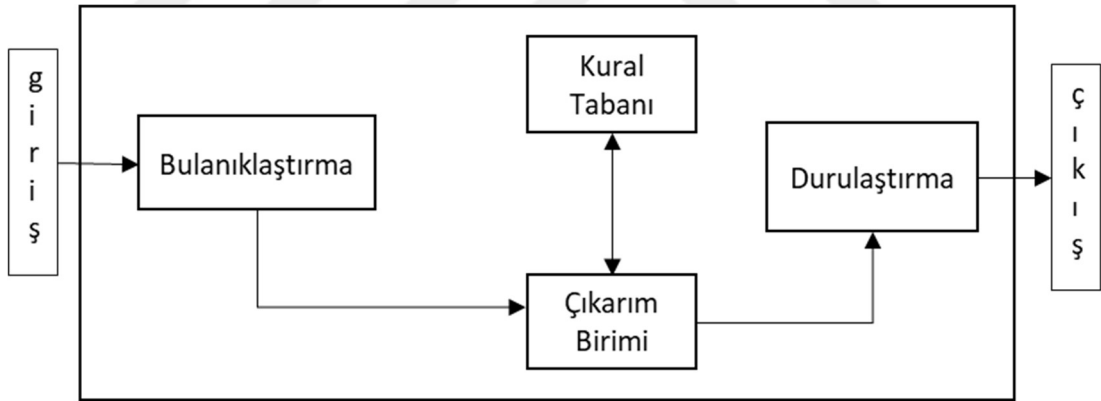
Bulanık kümeler teorisi, bir nesne sınıfının sınırları keskin bir şekilde tanımlanmadığında ortaya çıkan bir tür belirsizlikle sistematik bir şekilde başa çıkmak için bir dizi kavram ve teknik geliştirme girişimi olarak görülebilir (Zadeh, 1979).

Bulanık mantık, belirli bir sistemi veya süreci değerlendirmede matematiksel olarak belirsiz veya belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda kullanılır. Günlük hayatta karşılaşılan problemler öznel olarak ifade edilmektedir. Bu öznel, modellenmesi çok zor olan ifadeleri içermektedir. Bulanık mantık öznel değerlerle matematiksel model kurmamızı sağlamaktadır. Belirsizlik ve kesin olmayan yargılar içeren olaylarla karşılaşıldığından bulanık mantık kullanılmaktadır. Örneğin bulanık mantık ile çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun gibi dilsel ifadeleri tanımlamak mümkündür. Boyu 165 cm olan birinin orta, 165 cm altındaki birinin kısa olduğunu farz edilirse 164 cm olan birinin boyunun kısa kabul edilmesi gerekir. Bu değer hem orta hem de kısa olarak kabul edilmesi istenebilir. İstenilen bu belirsizlik, bulanık mantık kümeleriyle sağlanabilir.

Bulanık mantığın algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Chinmool ve Naenna, 2016):

- Dilsel değişkenlerin ve terimlerin tanımlanması (başlangıç)
- Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması (başlangıç)
- Kural tabanının oluşturulması (başlangıç)
- Üyelik işlevlerini kullanarak net giriş verilerinin bulanık değerlere dönüştürülmesi (bulanıklaştırma)
- Kural tabanındaki kuralların değerlendirilmesi (çıkarım)
- Her kuralın sonuçlarının birleştirilmesi (çıkarım)
- Çıktı verilerinin bulanık olmayan değerlere dönüştürülmesi (durulaştırma).

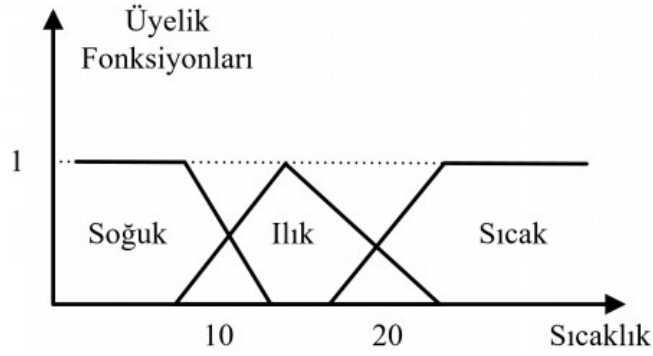
Yukarıdaki algorithmada da görüldüğü üzere veriler ilk olarak bulanık dilsel değişkenler olarak tanımlanarak, üyelik fonksiyonları oluşturulmaktadır. Oluşturulan girdi değişkeni veya değişkenleri bulanıklaştırıldıktan sonra bu girdi değişkeni veya değişkenlerine belirlenen bir kurala dayalı olarak çıkarım yapılmaktadır. Son olarak bulunan bulanık çıktı durulaştırılmaktadır. Bu bulanık sistem adımları Şekil 2.1.'de verildiği şekilde özetlenmiştir (Mendel, 1995).



Şekil 2.1. Bulanık Mantık Sistem Yapısı

2.2. Üyelik Fonksiyonu

Bulanık küme teorisine göre bir küme elemanın o kümeye ait olduğunun bilinmesi, o elemanın tanımlanması için yeterli değildir. Küme elemanın hangi üyelik derecesiyle kümeye ait olduğunun da bilinmesi gerekmektedir. Yani bir elemanın kümeye aitliği üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Bulanık küme üyelik fonksiyonu Şekil 2.2.'de verilmiştir (Yörükoğlu, 2014).



Şekil 2.2. Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonlarını doğru ve uygulama verileriyle uyumlu bir şekilde belirlemek, bulanık kümenin oluşturulması için başlangıç şartı olarak görülmektedir (Yakupoglu vd, 2008). Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde genellikle tecrübe ve uzmanlığa dayalı seçimler söz konusu olmaktadır. Sistemin işleyişi veya “bir nesne için ne kadar” ve “hangi noktadan sonra” gibi soruların yanıtları ile bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları oluşturulmaktadır (Yörükoğlu, 2014). Son yıllarda sinirsel bulanık mantık çıkarımı, bulanık mantık ve yapay sinir ağları tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem olan ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems) yaklaşımından da yararlanılan çalışmalar yapılmıştır (Doğan, 2019)

Belirsizliklerin daha iyi ifade edebilmesi için bulanık kümeler sürekli gelişim sağlamıştır (Kahraman, 2016). Bu gelişim şekil 2.3.’te özetlenmiştir.

Genel Bulanık Kümeler	Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler	Sezgisel Bulanık Kümeler	Nötrosofik Bulanık Kümeler	Kararsız Bulanık Kümeler	Küresel Bulanık Kümeler
1965	1975 1976	1986	1989 1998	2007 2010	2013 2019
	Tip-2 Bulanık Kümeler	Bulanık Çoklu Kümeler	Tip-2 Sezgisel Bulanık Kümeler	Durağan Olmayan Bulanık Kümeler	Pisagor Bulanık Kümeler

Şekil 2.3. Bulanık Küme Gelişimi

Bulanık kümeler bulanık mantığın temelini oluşturmaktadır. 1965'te Lotfi Zadeh, bulanık küme teorisini, $[0,1]$ sürekli aralığındaki değerleri içeren bir mantıkla sunmuştur. Uç noktalar olan 0 ve 1 arasında sonsuz sayıda değer bulunmaktadır. Bu

aralıkta herhangi bir elemanın herhangi bir kümeye ait olan üyelik derecesinin farklı aitlik değerleri ifade edilebilmesinin sağlanması bulanık küme teorisi olarak adlandırılmaktadır (Ross, 2010).

2.2.1. Tip-1 Bulanık Kümeler

1965 yılında Zadeh tarafından önerilen bulanık mantık kümeleri, klasik tip-1 bulanık kümeler olarak bilinir. Bulanık kümelere sahip sistemler bulanık mantık sistemleri olarak bilinir. $x \in X$ olmak üzere, sıralı ikililerden oluşan $\tilde{A} \subseteq X$ kümesine bulanık küme denir ve Eşitlik (2.1)'de verildiği gibi tanımlanmaktadır (Zimmermann, 2011):

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]\} \quad (2.1)$$

Bulanık küme tanımına göre M üyelik fonksiyonu uzayı ve $X \rightarrow M$ olarak tanımlanır. x, X kümesinin elemanını belirtmektedir. x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyelik fonksiyonu veya üyelik derecesi, $x \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x)$ fonksiyonu ile ifade edilir. M kümesi sadece 0 ve 1 üyelik derecesine sahipse $\tilde{A}$ kesin kümedir. Üyelik fonksiyonu değeri sıfıra yaklaştıkça x kümesinin X bulanık kümesine aitliği daha düşük olmaktadır. Üyelik fonksiyonu değeri bire yaklaştıkça ise x kümesinin X bulanık kümesine aitliği daha yüksek olmaktadır.

Klasik kümelerde üyelik fonksiyonları dikdörtgen şeklinde görülmektedir. Bulanık kümelerde ise üçgen, yamuk, sigmoid, z- biçimli, Gaussian, sigmodial, çan şekilli gibi farklı üyelik fonksiyonlarıyla ifade edilmektedir. Aşağıda yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları açıklanmıştır.

Üçgen üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu, (a_1, a_2, a_3) olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. Burada a_1 sol uç noktayı, a_2 merkez noktayı ve a_3 sağ uç noktayı gösterir. Matematiksel ifadesi Eşitlik (2.2)'de verildiği gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \text{ ise,} \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise,} \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise,} \\ 0, & x > a_3 \text{ ise,} \end{cases} \quad (2.2)$$

Yamuk üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu, (a_1, a_2, a_3, a_4) olmak üzere dört parametre ile tanımlanır. Buradaki parametreler yamuk üyelik fonksiyonun köşe noktalarını tanımlamaktadır. Matematiksel ifadesi Eşitlik (2.3)'te verildiği gibidir.

$$\mu_{\bar{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \text{ ise,} \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise,} \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise,} \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \text{ ise,} \\ 0, & x > a_4 \text{ ise,} \end{cases} \quad (2.3)$$

Gaussian üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu, (m, σ) olmak üzere iki parametre ile tanımlanır. m fonksiyonun merkezini gösterirken, σ genişliğini göstermektedir. Matematiksel ifadesi Eşitlik (2.4)'teki gibidir.

$$\mu_{\bar{A}}(x; m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right\} \quad (2.4)$$

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu, (a_1, a_2, a_3) olmak üzere üç parametre ile tanımlanmaktadır. a_1 ve a_3 fonksiyonun merkezini ve genişliğini değiştirme, a_2 geçiş noktalarındaki eğimi ayarlamak için kullanılmaktadır. Matematiksel ifadesi Eşitlik (2.5)'teki gibidir.

$$\mu_{\bar{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-a_3}{a_1}\right|^{2a_2}} \quad (2.5)$$

Sigmoid üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu $(x; a, c)$ olmak üzere iki parametre ile tanımlanmaktadır. a parametresi $x = c$ geçiş noktasındaki eğimi ayarlamak için kullanılmaktadır. a parametresinin işaretine bağlı olarak, bir sigmoid üyelik fonksiyonu doğası gereği sağa veya sola açıktır ve bu nedenle "çok büyük" veya "çok olumsuz" gibi kavramları temsil etmek için uygundur. Matematiksel ifadesi Eşitlik (2.6)'daki gibidir.

$$\text{sigmf}(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (2.6)$$

Tip-1 bulanık kümeler belirsizliğin daha fazla olduğu durumlar için yeterli olmamaktadır. Bulanık kümelerde kullanılan ifadelerin anlamlarının farklı kişilere göre farklı anlamlar taşıması, fikir ve tecrübe farklılığından kaynaklı üyelik derecesi belirlemede belirsiz değerlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu belirsizliklerin önüne geçmek için 1975 yılında Lotfi Zadeh tarafından tip-1 kümelerin bir uzantısı olarak tip-2 bulanık kümeler tanımlanmıştır. Bu fonksiyon, belirli bir ögenin üyeliği hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlar ve belirsizliği daha iyi ifade eder (Zadeh, 1975).

2.2.2. Tip-2 Bulanık Kümeler

Tip-2 bulanık kümeler, bir elemanın kümeye ait olma derecesini belirlerken belirsizlik seviyesini de dikkate alır. Bu küme yapısı, üyelik fonksiyonlarının tip-1 bulanık kümelere benzer şekilde $[0,1]$ aralığında bulanık sayılarla ifade edildiği bir yapıya sahiptir. Yani Tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları, tip-1 bulanık küme yapısındadır. Bu durum $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x,u) \leq 1$ şeklinde ifade edilebilir. $\mu_{\tilde{A}}(x,u)$, x elemanının u belirsizlik düzeyindeki üyelik derecesidir (Kahraman, 2016).

Tip-2 bulanık küme $\tilde{A}$ ile ve (2.7) nolu eşitlikte verildiği gibi tanımlanmaktadır;

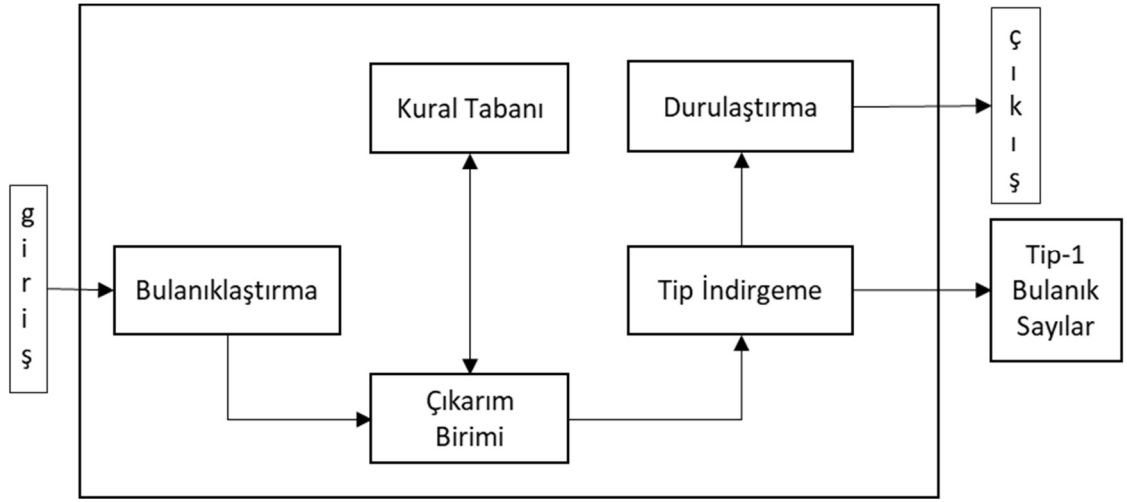
$$\tilde{A} = \{(x,u), \mu_{\tilde{A}}(x,u)\} | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1] \} \quad (2.7)$$

$\tilde{A}$ 'nın bir diğer gösterimi ise (2.8) nolu eşitlikte verilmiştir.

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x,u)}{(x,u)} \quad (2.8)$$

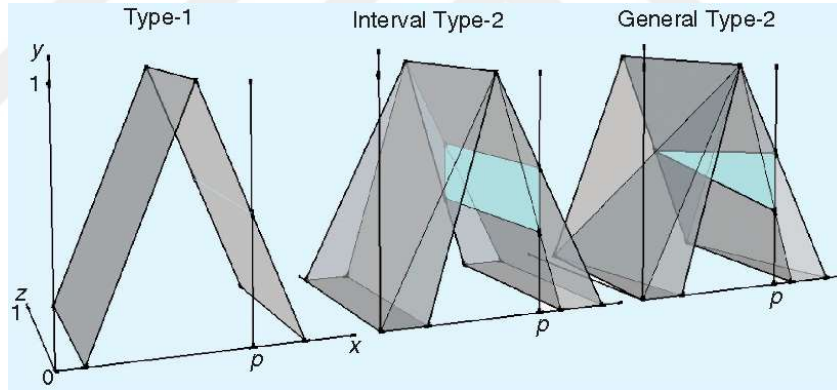
$\tilde{A}$, x elemanının tip-2 bulanık kümesidir. $\int$ kabul edilebilir x ve u değerlerinin birleşimini belirtmek üzere, $J_x \subseteq [0,1]$ 'dir. Bu şart tip-1 bulanık kümelerdeki $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x,u) \leq 1$ kısıtıyla ilişkilidir. u değişkeni üyelik fonksiyonuna eşit ve $[0,1]$ aralığında olduğunda tip-2 üyelik fonksiyonu tip-1 üyelik fonksiyonuna indirgenmektedir (Altunbey, 2015)

Tip-2 bulanık mantık algoritması Şekil 2.4.'te verilmiştir. İlk olarak tanımlanan girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması gerçekleştirilmektedir. Bulanık girdi değişkenleri ile kural tabanına göre tanımlanmış kurallara bağlı olarak çıkarım sisteminde çıktı değerleri elde edilmektedir. Bu değerler tip-2 bulanık küme yapısındadır. Elde edilen tip-2 bulanık çıktı değerleri tip indirgemesi ile tip-1 bulanık kümelere dönüştürülmektedir. Son olarak tip-1 küme yapısına indirgenen çıktılar durulaştırılarak net çıktı değerleri elde edilmektedir (Aras, 2014).



Şekil 2.4. Tip-2 Bulanık Mantık Yapısı

Tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları, tip-1 bulanık kümelerle açıklandığı için boyutu genişletilmiştir. Yani tip-1 bulanık kümeler iki boyuta sahipken, tip-2 bulanık kümeler üç boyuta sahiptir. Bu gösterim Şekil 2.5.'te verildiği gibidir (John vd., 2012).

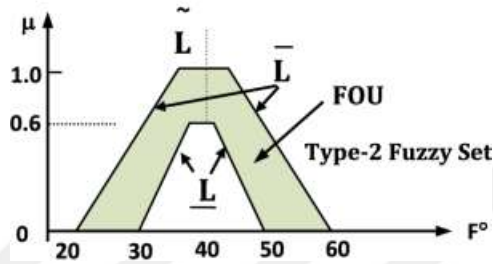


Şekil 2.5. Bulanık Kümelerin Boyutlandırması

$0 \leq \mu_{\bar{A}}(x, u) \leq 1$ kısıtı tip-2 bulanık kümenin üyelik derecesinin değer aralığının $[0,1]$ olduğunu göstermektedir. Tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonunda herhangi bir noktanın belirlenmesi olasılık hesaplamaları ile gerçekleştirilmektedir. Böylece, bir elemanın kümeye ne kadar uyduğu belirsiz olsa da, bu belirsizliğin derecesi yine $[0,1]$ aralığında bir değer olarak ifade edilir. Bu belirsizliği gösteren bir boyut elde etmek için, tip-2 bulanık kümelerde üyelik fonksiyonunun belirli bir noktasının derecesi hesaplanır. Bu nokta, üyelik fonksiyonunun belirsizliğini ifade eden bir boyut olarak kullanılabilir. Üyelik

derecelerinin $[0,1]$ aralığında olması, bu belirsizliğin sınırlandırılmasına ve daha doğru hesaplamalar yapılmasına olanak tanır.

n adet elemanı bulunan tip-2 bulanık küme, üyelik değeri $[0,1]$ aralığında bulunan n adet tip-1 bulanık kümeden oluşmakta olup birleşim kümesi Belirsizliğin Ayak İzini (BAİ, footprint of uncertainty, FOU) oluşturmaktadır. BAİ tip-2 bulanık kümenin birincil üyelik derecesindeki belirsizliğini ifade etmekte olup Şekil 2.6.'da gösterilmiştir (Bai, 2019).



Şekil 2.6. BAİ Gösterimi

Belirsizlik derecesinin maksimum olduğu durumda, yani $\mu_{\tilde{A}}(x,u) = 1$ ise üçüncü bir boyuta gerek kalmamaktadır. Bu özel durum Aralık Tip-2 bulanık küme olarak tanımlanmıştır.

2.2.3. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

Bulanık mantık tabanlı sistemlerin yapısı genel olarak ortaktır. Bir elemanın kümeye ait olma derecesi tip-2 bulanık kümelerde alt ve üst üyelik fonksiyonu ile belirlenmektedir. Teorik olarak tip-2 bulanık kümelerde çok fazla parametreyle daha doğru sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Fakat işlem yoğunluğundan kaynaklı uzun süren hesaplama zamanı ve işlem karmaşıklığı olumsuzluğu ile karşılaşmaktadır. Bu karmaşıklığın önüne geçebilmek için tip-2 bulanık kümelerin özelleştirilmiş hali olan Aralık Tip-2 bulanık sayılar kavramı ortaya atılmıştır. Aralık tip-2 bulanık kümeler, hesaplama kolaylığı nedeniyle birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Altunbey, 2015).

X evrensel kümesine ait bir tip-2 bulanık küme olan $\tilde{A}$ için tanımlanan tip-2 üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x,u)$ ve $Jx, [0,1]$ aralığını belirtmek üzere $\mu_{\tilde{A}}(x,u) = 1$ ise, aralık tip-2 bulanık küme $\tilde{A}$ (2.9) nolu eşitlikte verildiği gibi tanımlanmaktadır (Taşkın, 2015).

$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1], \mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1\} \quad (2.9)$$

$\tilde{A}$ 'nın bir diğer gösterimi ise (2.10) nolu eşitlikte verilmiştir.

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{1}{(x, u)}, \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (2.10)$$

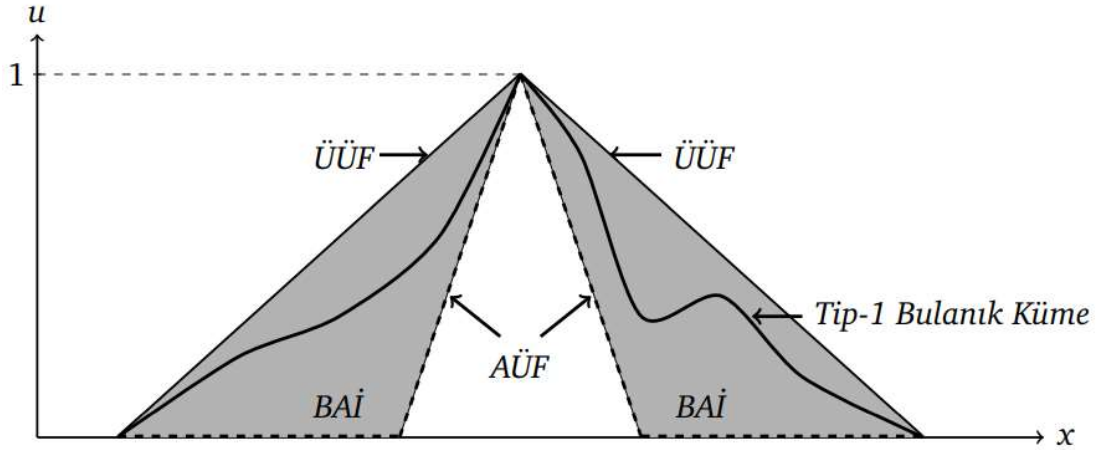
Aralık tip-2 bulanık kümelerde x elemanının üyelik derecesi Eşitlik (2.11)'de verilmiş olup $[0,1]$ aralığında alt üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}^L}(x)$ ve üst üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}^U}(x)$ 'den oluşmaktadır.

$$\tilde{A} = \{\mu_{\tilde{A}^U}(x), \mu_{\tilde{A}^L}(x) \mid x \in X\} \quad (2.11)$$

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin belirsizliği BAİ tüm birincil üyelerin birleşiminden oluşur. $\mu_{\tilde{A}^U}(x)$ ve $\mu_{\tilde{A}^L}(x)$ belirsizliğin ayak izi (BAİ) için sınır oluşturan tip-1 bulanık fonksiyonlardır. Eşitlik (2.12)'de BAİ verilmiş olup $\mu_{\tilde{A}^U}(x)$ üst üyelik fonksiyonunu, $\mu_{\tilde{A}^L}(x)$ ise alt üyelik fonksiyonunu belirtmektedir.

$$BA\tilde{I}(\tilde{A}) = \bigcup_{x \in X} J_x = \{(x, u) \mid u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (2.12)$$

Şekil 2.7'de belirsizliğin ayak izi (BAİ), üst üyelik fonksiyonu (ÜÜF) ve alt üyelik fonksiyonu (AÜF) verilmiştir (Mendel,2001).



Şekil 2.7. Aralık Tip-2 Bulanık Kümede BAİ, AÜF ve ÜÜF

2.3. Bulanık Kural Tabanı

Bulanık kural tabanı, mantıksal ilişkinin kurularak bilgi giriş ve çıkışının çeşitli değerlere göre kural haline getirilmesini ifade etmektedir. Bulanık kural tabanlı

sistemler bir yapay zekâ uygulaması oluşturma prensibine dayanmaktadır (Liu vd, 2013).

Bulanık kural tabanları, belirli bir problemi çözmek için tasarlanmış bir dizi kurallar kümesidir. Bu kurallar bulanık mantık sistemlerindeki karar verme sürecinin merkezidir. Kural tabanı, farklı durumlara göre farklı bulanık kuralları içerir ve bu kurallar, sistemin girdilerini işleyerek çıktı değerleri üretir.

Bulanık mantık sistemleri uzman bilgisini EĞER-İSE kurallarını kullanarak bulanık kümelere işler. Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren EĞER-İSE tabanlı kuralların tümü kural tabanında tanımlanır. Net girdiler bulanık kural tabanı ile bulanıklaştırılarak kural tabanına uygun hale getirilir. Bu sayede bulanık sistemin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişki sağlanır.

Bulanık küme girdi ve çıktı değişkenleri, bir çıkarım sistemi ile kural tabanları kullanılarak dilsel ifadelerle adlandırılan üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi sonucunda, bulanık bir değer elde edilmektedir. Kural tabanının kural yapısı Eşitlik (2.13)'de verildiği gibi, eğer $x, \dots A$ ise, o halde $y, \dots B$ 'dir şeklindedir.

$$T : \text{EĞER } (x_1=A_1) \text{ Ve } (x_2=A_2) \text{ İSE } y=B \quad (2.13)$$

Burada x ve y , sırasıyla girdi ve çıktı değişkenleridir. A ve B ise, üyelik fonksiyonları ile belirlenmiş olan bulanık küme isimleridir. Ayrıca, kural tabanlarında, her bir girdi değişkeni için birden fazla kural tanımlanabilir.

Kural oluşturulurken kuralların olası koşulların hepsini kapsaması, aynı anlamları taşıması ve anlamlı bir şekilde ifade edilmesi gerekmektedir.

2.4. Bulanık Çıkarım Sistemleri

Bulanık mantığa dayalı çıkarım, insan düşünce öznelliğine dayalı olan bir çözümleyici olarak düşünülebilir. Bu çıkarımlar “eğer-ise” kuralları ile elde edilmektedir. Klasik mantık çözümlenirken sistemin matematiksel modelinin oluşturulmasını gerektirirken; bulanık mantık, modelin tam olarak bilinmesini gerektirmez. Sistemin oluşturulması, karar vericilerin uzmanlığına dayalı olarak belirlendiği sözel kurallara bağlı olarak belirlenir.

Bulanık çıkarım sistemleri klasik kümelerdeki gibi “evet” ya da “hayır” gibi kesin olmayıp bu elemanın ilgili kümeye ait olması 0 ile 1 arasında değerler alabilen

sürekli bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Bulanık küme teorisinde üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alması, sözel ifadelerin problemlerin çözümü sırasında sayısal verilerle birlikte kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Sonuca bağlanan giriş değişkenleri, gözlemler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, öncül kısımda bulunurken, giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç veya harekete neden olan değişkenler ise, soncul kısımda bulunmaktadır (Acar vd, 2008).

Endüstrideki ilk kural tabanı uygulaması tip-1 bulanık sayılar kullanılarak Mamdani ve Assilian tarafından 1975 tarihinde bir buhar makinasının kontrol sistemine entegre edilmiştir. “Eğer türbinin hızlanma ivmesi yükseliyor ve basınç çok düşüyse buhar vanasını bir miktar aç” şeklinde kurallar ile bu sistemi gerçekleştirmişlerdir. Çıkarım sistemleri Mamdani ve Takagi Sugeno Kang (TSK) çıkarımıdır. Çıkarım sistemleri giriş değişkenlerini kullanarak kural tabanındaki her bir kurala göre çıktıları hesaplamaktadır. Çıkarım sistemi ile hesaplanan çıktı değeri bulanık kümedir. Bu bulanık çıktı değeri durulaştırma yöntemi ile kesin değere dönüştürülmektedir.

2.5. Durulaştırma

Durulaştırma bulanık mantık yapısının son aşamasıdır. Bulanık çıkarım sisteminin sonucunda hesaplanan bulanık çıktı değerinin kesin değere dönüştürülmesi amacıyla durulaştırma işlemi yapılmaktadır.

Durulaştırma yöntemlerinden bazıları şöyledir;

Ağırlık merkezi yöntemi: Çıkarım sonucunda elde edilen bulanık kümenin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine göre hesaplanır.

Maksimumların ortalama yöntemi: Çıkarım sonucunda elde edilen bulanık kümenin üyelik fonksiyonlarının maksimum değerlerinin ortalamasını vermektedir.

Maksimumların en büyüğü yöntemi: Yükseklik yöntemi olarak bilinen bu yöntem tüm üyelik dereceleri arasındaki en büyük üyelik derecesine eşittir.

Maksimumların en küçüğü yöntemi: Bu yöntem tüm üyelik dereceleri arasında en küçük olana eşittir.

3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Hata Türü ve Etkileri Analizi potansiyel hataların belirlenmesinde ve engellenmesinde kullanılan proaktif bir analiz tekniğidir (Lange vd, 2001). Bir başka tanıma göre ise, sistem, tasarım, süreç ya da hizmetten dolayı ortaya çıkabilecek olası eksiklikleri, problemleri ve hataları müşteriye ulaşmadan önce tanımlamak ve önlemek için kullanılan bir yöntemdir (Liu vd., 2012).

3.1. Amacı ve Kapsamı

HTEA risk analizi teknikleri içerisinde en yaygın kullanılan tekniklerden biridir (Özkılıç, 2005). Stamatis (2003) HTEA'nın amacını olası hataların müşteriye ulaşmasını önlemek için gereken düzeltici faaliyetleri belirlemek ve böylece ürün veya hizmette mümkün olan en yüksek devamlılığı, kaliteyi ve güvenilirliği sağlamak olarak ifade etmektedir. Bu kapsamda HTEA'nın yapılabilmesi için öncelikle olası hata türleri tanımlanır. Tanımlanan hata türleri, hata sebebi ve etkileri göz önünde bulundurularak RÖS değerine göre önceliklendirilir. Bu sayede hatanın ortadan kalkması veya etkisinin azaltılmasına yönelik iyileştirmeler belirlenir (Stamatis, 2003).

Bu yöntem sistemdeki beklenen performansa ulaşmayı engelleyen potansiyel hataları çözmek veya önlemek için, önceliklendirmeye dayalı olarak bir analiz sağlamaktadır. Önceliklendirme yapılırken bu hataların sonuçlarını ve etkilerini incelemek amacıyla her bir hata türü için etki analizi yapılır. HTEA, tasarım, süreç ve hizmet geliştirmek için en etkili araçlardan biridir. Bu çalışma yapıldıktan sonra bir sistemin potansiyel hata türü ve etkilerinin tanımlanmasına ve belgelenmesine olanak sağlar.

HTEA uygulamasında bilinmesi gereken temel kavramlar aşağıda açıklanmaktadır.

Hata ve Hata Türü: Sistem, tasarım, hizmet veya sürecin, fonksiyonunu istenilen düzen ve işleyişte amaca uygun şekilde gerçekleştirmemesidir. Müşteri istekleri, ihtiyaç ve beklentilerinin analizinden çalışmanın amacı elde edilmektedir (Stamatis, 2003).

Hata Nedeni: Hata oluşumuna zemin hazırlayan kök sebep veya sebeplerdir. Bir hataya birden çok unsur neden olabilir. HTEA çalışmasında hata nedenlerini incelerken kök sebeplere inmek gerekir (Çeber, 2010).

Hata Etkisi: Hata türü önlenmediğinde veya düzeltilmediğinde, hatanın sürece son aşamadaki yansımasıdır. Gerçekleşmesi olası hatalar üzerinde çalışarak, hata veya hataların üretim, servis veya diğer proseslere yansıması ve tümünün performansı üzerindeki etkisi belirlenir. Etki belirlenirken, benzer özellik taşıyan ürünlerin sonuçları ve geçmişteki hata türleri dikkate alınmalıdır (Yörükoğlu, 2014).

Olasılık (O, Occurance): Her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığının puanıdır (Boran, 1996).

Şiddet (Ş, Severity): Olası hata etkilerinin müşteri üzerindeki etkisinin puanıdır (Stamatis, 2003).

Saptanabilirlik (S, Detectability): Proseslerde hataların müşteriye ulaşmadan önce belirlenebilme düzeyini gösteren puandır. Bir hatanın oluşma olasılığı ne kadar yüksekse, kullanılan hata tespit tekniklerinin o kadar etkili olması gerekecektir. Etkili olmayan hata tespit teknikleri, hatanın taşıdığı riskin derecesini arttıracaktır ve hatanın sistemdeki etkisi daha yüksek olacaktır (Atalay, 2019).

Risk Öncelik Sayısı (RÖS): Hata türlerinin önlenmesi veya çözümlenebilmesi için belirlenecek aksiyonların öncelik sıralaması için kullanılır. Klasik HTEA yöntemine göre önceliklendirme yapılırken RÖS değeri Eşitlik (3.1)'deki gibi risk faktörleri olan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik puanlarının çarpılmasıyla elde edilir.

$$RÖS = (O) \times (\$) \times (S) \quad (3.1)$$

HTEA formunda elde edilen RÖS değeri büyükten küçüğe göre sıralanarak risk öncelik sıralaması belirlenir. RÖS genellikle, HTEA ekibi tarafından küçük, orta, yüksek ve kritik olarak tanımlanır. Bu risk öncelik seviyelerine göre düzeltici önlemler alınmaktadır. RÖS değeri 40'ın altında olan riskler düşük seviye, 40 ile 100 arasında olan riskle orta seviye ve 100'den büyük olan riskler yüksek öneme sahiptir. Düşük seviye riskler için önlem almaya gerek yoktur. Orta seviye riskler için işletmelerin inisiyatifine bağlı olarak önlem alınmaktadır. Yüksek seviye riskler için ise mutlaka önlem alınmalıdır (Stamatis, 2003). HTEA çalışmasındaki verilerin tutulabilmesi Tablo 3.1.'de bir örneği verilen formlar ile sağlanmaktadır.

Tablo 3.1. Klasik HTEA Formu

Müşteri	FMEA No		Başlama Tarihi	
Parça Adı	Proses Sorumlusu		Revizyon No	
Araç / Model / Yıl	Gizlilik Derecesi		Revizyon Tarihi	
PFMEA Ekibi			Hazırlayan	

Proses Faaliyeti Şartlar	Potansiyel hata türü	Hatanın Potansiyel Etkileri	Şiddet	Sıklık	Hatanın Potansiyel Sebepleri / Mekanizmaları	Olasılık	Mevcut Kontroller		Saptama	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Sorumlular, hedef ve termin	Faaliyet Sonuçları				
							Ölçme	Saptama					Yapılan faaliyetler	Şiddet	Olasılık	Saptama	RÖS

Günümüzde endüstrinin birçok farklı uygulama alanında HTEA çalışmalarıyla karşılaşılmaktadır. Bu uygulamaları, parçaların veya alt sistemlerin tasarımı, üretim ve montaj süreçleri, hizmet fonksiyonları şeklinde sınıflandırmak mümkündür. HTEA uygulandığı alana göre Sistem HTEA, Tasarım HTEA, Süreç HTEA ve Hizmet HTEA olmak üzere dört çeşittir.

- Tasarım HTEA: Ürünlerin üretimine başlamadan önce tasarımının planlanması aşamasındaki olası hataları tespit etmeye, ürün hatalarını tanımlamaya ve önlemeye yardımcı olmak için kullanılan bir yöntemdir.
- Sistem HTEA: Sistemler veya bir sisteme ait alt sistemleri inceleyerek hataları tespit etmek ve önlemek için kullanılan bir yöntemdir.
- Servis HTEA: Mevcut sürecin müşteriye henüz ulaşmadan üretim, kalite kontrol gibi sistemlerin devamlılığının sağlanabilmesi, analiz edilebilmesi, süreçteki problemlerden kaynaklanan ürün fonksiyonları ile ilgili potansiyel hata türleri ile ilgilenmekte olup sürecin en etkili hale getirilmesinde kullanılan bir yöntemdir.
- Proses HTEA: Üretim sürecinde oluşabilecek hata türlerinin önlenmesi veya çözümlenebilmesi için yapılan bir analizdir. Proses HTEA yapılırken tüm süreç değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme ile süreçlerin bu hatayla neden karşılaştığını da incelemektedir.

HTEA ilk kez 2. Dünya Savaşı sonrasında ABD ordusunda geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Askeri alandaki bu kullanımı sistem ve ekipman hatalarının etkilerinin

belirlenmesi ve güvenilirliğin sağlanması içindir. Yaklaşık 10 yıl gizli tutulan HTEA'nın ilk tabloları 1961 yılında yayınlanmıştır (Korkmaz, 2010). Sonrasında NASA'da uzay gemisi yapımında güvenilirliğin sağlanması amacıyla kullanılmıştır. 1960-1965 yılları arasında Ay'a ilk insan gönderme çalışması olan APOLLO projesinde sistemin yaptığı arızayı saptamak ve önüne geçebilmek için kullanılmıştır (Atalay, 2019).

Bu yöntem 1960'larda uzay ve nükleer çalışmalar ile elektrik endüstrisinde, 1970'lerde ise otomotiv endüstrisinde montaj güvenilirliğini artırmak amacıyla kullanılmıştır (Boran, 1996). HTEA'nın ilk endüstriyel uygulaması 1975 yılında bilgisayar üretiminde Japon NEC firması tarafından kullanılmıştır. 1980 yılında FORD tarafından otomotiv sektöründe uygulanmıştır (Korkmaz, 2010). Günümüze kadar aktif kullanımı ile HTEA dikkat çekici bir risk değerlendirme yöntemidir. Tablo 3.2.'de HTEA'nın yıllara göre gelişim süreci verilmiştir (Altunbey, 2015).

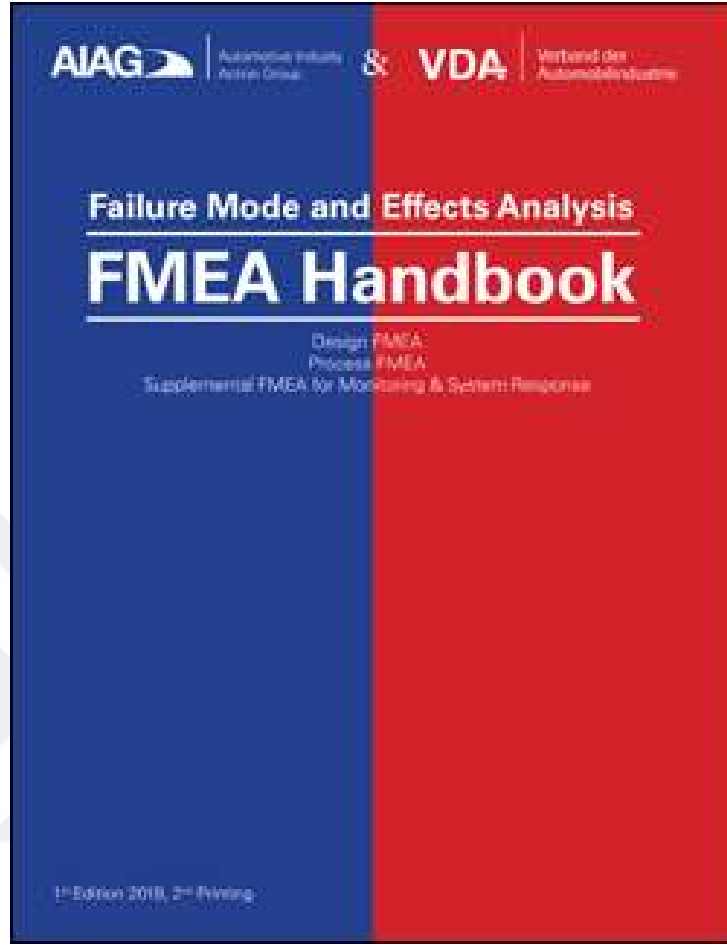
Tablo 3.2. HTEA'nın Tarihsel Gelişimi

Yıl	Kullanım Alanı
1950	ABD uçuş kontrol sistemlerinin kontrolünde kullanılmıştır.
1963	HTEA ilk olarak uzay endüstrisi tarafından geliştirilmiştir.
1969	NASA Apollo projesinde sistemin arıza yapmasını saptamak ve önüne geçmek için uygulanmıştır.
1974	Amerikan Ordusu tarafından HTEA uygulaması için MIL-STD-1929 standartları yayınlanmıştır.
1977	Ford Motor HTEA'yı kullanmaya başlamıştır.
1985	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu HTEA'nın standartlarını yayınladı: IEC812
1993	Ford, Chrysler ve General Motor işletmeleri tarafından kabul edilmiş olup desteklenmiştir. HTEA Kitapçığının 1. Baskısını yayınlamıştır.
1995	HTEA Kitapçığının 2. Baskısı AIAG tarafından güncellenmiştir.
2001	HTEA Kitapçığının 3. Baskısı AIAG tarafından güncellenmiştir.
2008	HTEA Kitapçığının 4. Baskısı AIAG tarafından güncellenmiştir.
2019	HTEA Kitapçığı AIAG & VDA tarafından güncellenmiştir.

3.2. Proses HTEA (2019) Revizyonu

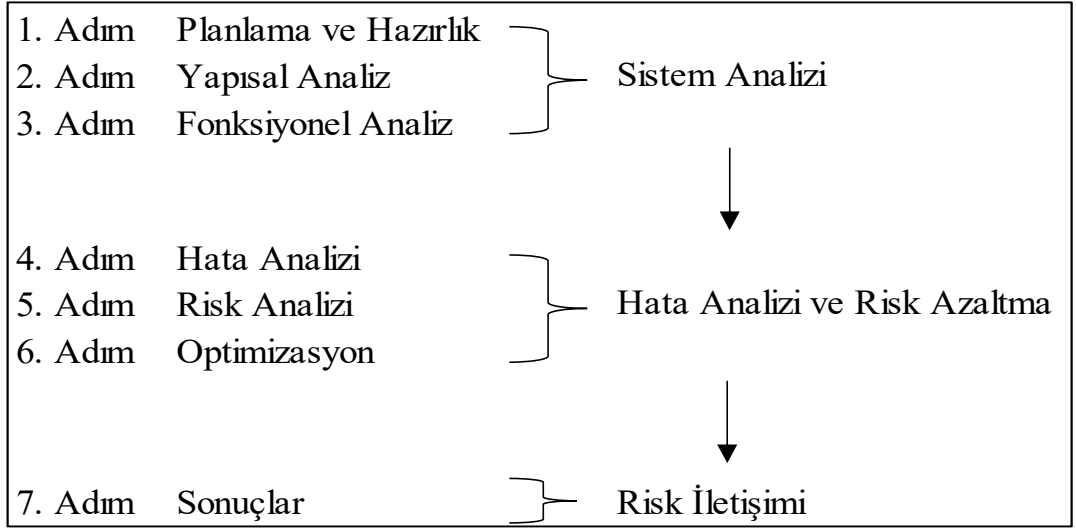
AIAG (Otomotiv Endüstrisi Eylem Grubu) ve VDA (Verband der Automobilindustrie) otomotiv endüstrisinde dünya çapındaki en etkili kuruluşlardır. AIAG'ın ilki 1993'te ve sonuncusu VDA'nın da katkılarıyla 2019'da yayınlanan toplamda beş farklı HTEA kılavuzu mevcuttur. Şekil 3.1.'de 2019 yılının haziran

ayında AIAG & VDA tarafından ortaklaşa olarak yayınlanan HTEA El Kitabı'nın kapak sayfasının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. AIAG VDA FMEA El Kitabı

Bu el kitabıyla birlikte oluşturulan kılavuz müşteriye özel gereksinim olarak tanımlanmıştır. AIAG VDA El Kitabı HTEA yöntemini kullanırken, ürün sistemi, ürün alt sistemleri ve ürün elemanları için ayrı P-HTEA'lar oluşturulur. Sistem, alt sistemler ve bileşenler tek tek ele alınarak olasılık, şiddet ve saptanabilirlik dereceleri belirlenir. Bu derecelere göre olası hataları çözmek veya önlemek için yapılan önceliklendirme RÖS yerine “Aksiyon Önceliği (AÖ)” kavramı ile sağlanmaktadır. Yenilenen kılavuzda hata türleri incelenir, teknik terimler ile şablon doldurulur. AIAG & VDA HTEA yenilenen kılavuzuna göre proses HTEA yapısı Şekil 3.2.’de görüldüğü gibi yedi adımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.2. AIAG & VDA P-HTEA Form Yapısı

3.3. P-HTEA'nın Adımları

AIAG & VDA tarafından yenilenen kılavuz formuna göre HTEA yöntemi üç ana aşamadan oluşan yedi adımda tamamlanmaktadır. Bu yaklaşım, risklerin ilişkilerinin detaylı incelenmesine olanak sağlamaktadır. Yenilenen kılavuzun form yapısı Tablo 3.3.'te verildiği gibidir.

3.3. P-HTEA Formu

[illegible]

Adım 1: Planlama ve Hazırlık

Bu aşamada çalışmayı gerçekleştirecek uzman kişiler ve onların sorumlulukları belirlenir. Belirlenen uzman ekip tarafından HTEA çalışmasının kapsamının, amaca yönelik olup olmadığı ve dikkatli bir şekilde tanımlanmasıyla başlar. Bu uzman ekip ile birlikte prosesler belirlenir. Belirlenen proseslerin sınırlarının çizilip hata türü, hata etkileri ve hata nedenleri bakımından sınıflandırılarak belirlenen proseslerin sınırları hakkında bir değerlendirme yapılır. Çalışmanın başlaması için Tablo 3.4.'te verilen 5T soruları yanıtlanır.

Tablo 3.4. 5T Açıklama Tablosu

<u>T</u> arget:	Neden HTEA yapıyoruz ?	} 5T
<u>T</u> iming:	Ne zaman bitirmeliyiz ?	
<u>T</u> eam:	Takımda kimler olmalı ?	
<u>T</u> ask:	Yapılacak işler nelerdir?	
<u>T</u> ools:	Analizi nasıl yürüteceğiz ?	

Yenilenen kılavuzdaki forma göre gri, mavi ve kırmızı olarak renklendirilen sütunlar renklerine göre birbiriyle ilişkilidir. Bu ilişki Tablo 3.5.'te verildiği gibidir.

Gri renkli sütunlar incelendiğinde;

- Yapısal analiz adımı proses,
- Fonksiyonel analiz adımı prosesin işlevi,
- Hata analizi adımı ise hata etkileri (FE) değerlendirilmektedir.

Mavi renkli sütunlar incelendiğinde;

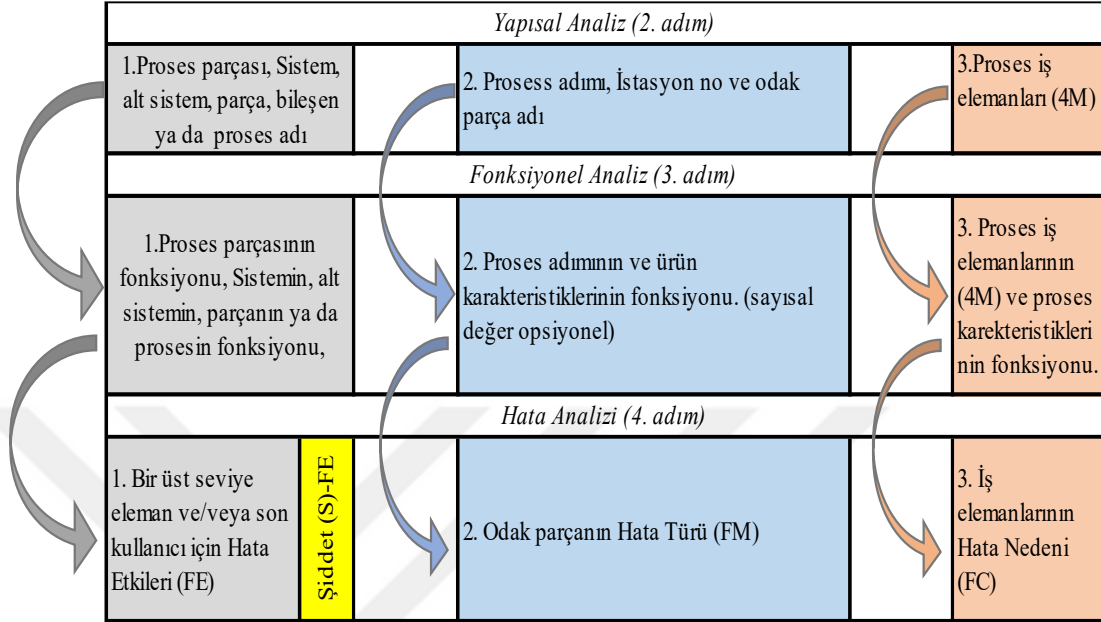
- Yapısal analiz adımı proses adımı,
- Fonksiyonel analiz adımı proses adımının fonksiyonu,
- Hata analizi adımı odak parçanın hata türü (FM) olarak değerlendirilmektedir.

Kırmızı renkli sütunlar incelendiğinde;

- Yapısal analiz adımı proses iş elemanları (4M- man/operatör, machine/makine, material/malzeme, method/metot),
- Fonksiyonel analiz adımı iş elemanlarının karakteristik fonksiyonu

Hata analizi adımında ise iş elemanlarının hata nedeni (FC) kapsamlı bir şekilde değerlendirilir.

Tablo 3.5. P-HTEA Adımları İlişki Yapısı



Yapısal analiz (2), fonksiyonel analiz (3) ve hata analizi (4) adımlarında, gri, mavi ve kırmızı renkli sütunlara göre ilişkilendirilerek değerlendirilen hatanın, risk analizi adımında hata nedeninin mevcut önleme kontrolleri, hata nedeni ve türü için mevcut saptama kontrolleri belirlenir. Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri uzman kişiler tarafından risk derecelendirme tablolarına göre belirlenir. Bu değerlendirme sonucunda elde edilen Ş, O ve S değerleriyle aksiyon öncelik belirleme tablosuna göre belirlenen aksiyon önceliği tabloya yazılır.

Adım 2: Yapısal Analiz

Yapısal Analiz, ürünü oluşturan sistem, alt sistem ve elemanlara ait karakteristik özelliklerdir. Tablo 3.6. elemanların yapısı ve sistemin oluşturulmasını içerir. Her bir eleman, işlevleri ve karşılık gelen gereksinimleri açısından ayrı ayrı analiz edilir. Proses parçası sütunu inceleme yapılan bölüm adı, proses adı sütunu hatanın olduğu kısım ve proses iş elemanları sütunu proste bulunan 4M (man/operatör, machine/makine, material/malzeme, method/metot) elemanlarını belirtir.

Tablo 3.6. P-HTEA Yapısal Analiz Adımı

<i>Yapısal Analiz (2. adım)</i>		
1. Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adı, İstasyon no ve odak parça adı	3. Proses iş elemanları (4M)

Adım 3: Fonksiyonel Analiz

Yapısal analizde belirlenen sistem, alt sistem ve elemanların her biri için arasındaki fonksiyonel bağlantıyı kurmaktır. Tablo 3.7. yapı elemanlarının fonksiyonlarının belirlenmesi ve belirlenen fonksiyonların ilişkilendirilmesini içerir. Bu ilişkilendirme ile hata etkilerinin ve sebeplerinin tam olarak tanımlanması sağlanmaktadır. Birinci sütun kullanım işlevini, ikinci sütun kullanım için rolünü ve üçüncü sütun 4M elemanlarının sorumluluklarını belirtir.

Tablo 3.7. P-HTEA Fonksiyonel Analiz Adımı

<i>Fonksiyonel Analiz (3. adım)</i>		
1. Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.

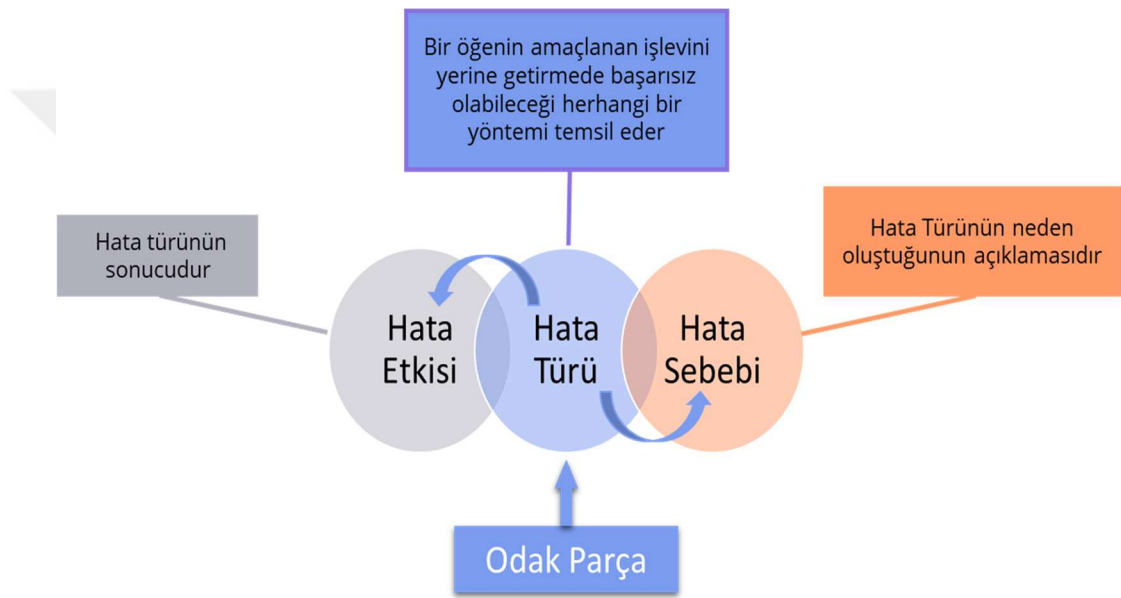
Adım 4: Hata Analizi

Yenilenen kılavuz formu ile potansiyel hata türü yerine prosesin odak parçasının hata türü kavramı tanımlanmıştır. Hatanın potansiyel etkisi kavramının yerine hata etkileri, potansiyel hata sebebi yerine ise iş elemanlarının (4M) hata nedenleri tanımlanması yapılmıştır. Tablo 3.8.'de hata zinciri oluşturulur ve etki, hata ve neden ilişkilendirmesi yapılır. Bu adımın amacı fonksiyonların her biri için olası hata türlerini, hata etkileri ve hata nedenlerinin arasındaki bağlantıları tanımlamaktır.

Tablo 3.8. P-HTEA Hata Analizi Adımı

Hata Analizi (4. adım)			
1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)

Bir hata türü, tetiklenen bir hata nedeni ile hata etkisine yol açar. Şekil 3.3.'te verildiği gibi HTEA çalışmasına göre odak parça olan hata türünün oluşma nedeni hata sebebi, sonucu da hata etkisidir.



Şekil 3.3. Hata Türü, Etkisi ve Sebebi İlişkisi

Bu bağlantılar göz önünde bulundurularak hata türlerinin şiddet derecesi belirlenir. Hata etkileri sütunu ile meydana gelebilecek olan hataların etkilerini Tablo 3.9.'da verilen şiddet (Ş) derecelendirme tablosuna göre puanlaması yapılır. Hata etkilerine örnek olarak müşteri üzerinde kötü izlenim, operasyonda duraksama, tehlike doğurma vb. gibi sonuçlar verilebilir.

Odak parçanın hata türü sütununda incelenen prosesin hata türü yer almaktadır. İncelenen hata türünün mutlaka gerçekleşmiş olması gerekmekte, olma ihtimali P-HTEA yönteminin uygulanması için yeterli sayılmaktadır.

İş elemanlarının hata nedeni sütununda ise iş elemanlarının (4M) hata türünün neden olduğu incelenmektedir.

Tablo 3.9. Şiddet Derecelendirme Tablosu

ŞİDDET DERECELENDİRME TABLOSU				
Etki	Fabrikanızdaki etki	Müşteri fabrikasındaki etki	Son kullanıcıdaki etki	Puan
Yüksek	Hata üretim veya montaj operatörü için şiddetli bir sağlık veya güvenlik riski yaratabilir.	Hata üretim veya montaj operatörü için şiddetli bir sağlık veya güvenlik riski yaratabilir.	Aracın veya diğer araçların güvenli çalışmasını engelleyecek, sürücü, yolcuların ve yayaların sağlığını etkileyecek hata.	10
	Hata firma içi regülasyonlara uyumsuzluğa yol açabilir.	Hata firma içi regülasyonlara uyumsuzluğa yol açabilir	Regülasyonlara aykırı bir durum.	9
Orta Yüksek	Etkilenen üretimin %100'ü hurdaya ayrılabilir. Hata firma içi regülasyonlara uyumsuzluğa yol açabilir veya operatör için kronik bir sağlık veya güvenlik riski oluşturabilir.	Regulasyon uyumsuzluğu haricinde 1 vardiyadan daha uzun bir hat duruşu; sevkiyatın durma olasılığı, sahada tamir veya parça değiştirme gerekliliği. Hata firma içi regülasyonlara uyumsuzluğa yol açabilir veya operatör için kronik bir sağlık veya güvenlik riski oluşturabilir.	Beklenen servis ömründe, normal kullanım sırasında aracın birincil fonksiyonlardaki kayıp.	8
	Ürünün ayıklanması ve %100'ünden az bir kısmının hurdaya ayrılması gerekli. Tanımlı hat hızının düşmesi veya ilave insan gücü gerekli.	Regulasyon uyumsuzluğu haricinde bir saatten, bir vardiyaya kadar üretim duruşu: sahada tamir veya parça değiştirme gerekliliği.	Beklenen servis ömründe, normal kullanım sırasında aracın birincil fonksiyonlardaki azalma.	7
Orta Düşük	Üretimin %100 ü hat dışında tamir edilip kabul edilir.	Bir saatten fazla hat duruşu.	Aracın ikincil fonksiyonlarında kayıp.	6
	Üretimin bir kısmı hat dışında tamir edilip kabul edilir.	Ürünün %100 ünden azı etkilenir. İlave hatalı ürün olasılığı yüksek, ayıklama gerekli, hat duruşu yok.	Aracın ikincil fonksiyonlarında azalma.	5
	Üretimin %100 ü proses öncesi kendi hattında tamir edilir.	Hatalı ürün ciddi bir reaksiyon planı gerektirir, ilave hatalı ürün olasılığı yok gibi, ayıklama gerekli, hat duruşu yok.	Çok net anlaşılır görünüm, ses, titreşim, sarsıntı vb. problem.	4
Düşük	Üretimin bir kısmı proses öncesi kendi hattında tamir edilir.	Hatalı ürün basit bir reaksiyon planı gerektirir. İlave hatalı ürün olasılığı yok gibi. Ayıklama gerekli değil.	Orta derecede anlaşılabilir, görünüm, ses, titreşim, sarsıntı vb. problem.	3
	Proses, operasyon veya operatör için hafif rahatsızlık.	Hatalı ürün reaksiyon planı gerektirmez, ilave hatalı ürün olasılığı yok gibi. Ayıklama gerekli değil. Tedarikçiye geri bilgi gerekli.	Düşük derecede anlaşılabilir, görünüm, ses, titreşim, sarsıntı vb. problem	2
Etki yok	Hissedilebilir etki yok	Hissedilebilir etki yok	Hissedilebilir etki yok	1

Adım 5: Risk Analizi

Risk analizi hatanın nedeni, mevcut önleme kontrolleri ve mevcut saptama kontrolleri belirlenmesidir. Tablo 3.10. hata türlerinin olasılık ve saptanabilirlik derecelerinin belirlenmesini içerir.

Tablo 3.10. P-HTEA Hata Analizi Adımı

<i>Risk Analizi (5. adım)</i>				
Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)- FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)- FC/FM	Aksiyon önceliği (AÖ)

Hata türlerinin olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) dereceleri Tablo 3.11.'de verilen olasılık derecelendirme tablosu ve Tablo 3.12.'de verilen saptanabilirlik derecelendirme tablosuna göre uzman kişilerce karar verilerek belirlenmektedir.

Oluşturulan kılavuzda belirlenen şiddet, olasılık ve saptanabilirlik puanları ile Tablo 3.13. aksiyon önceliği belirleme tablosuna göre aksiyon önceliği (AÖ) değeri belirlenir. Aksiyon önceliği değeri düşük, orta ve yüksek olarak üç seviyeden oluşmaktadır. Belirlenecek olan aksiyon önceliği değerine göre bir önceliklendirme yapılarak iyileştirilmesi gereken hatalar tespit edilir. Tespit edilen bu hataların iyileştirilmesi için önleyici ve düzeltici faaliyetler tanımlanarak aksiyon alınır.

Tablo 3.11. Olasılık Derecelendirme Tablosu

OLASILIK DERECELENDİRME TABLOSU			
Hata olasılığı	Kontrol Tipi	Önleyici kontrol	Puan
Aşırı yüksek	Yok	Önleyici kontrol yok	10
Çok Yüksek	Davranışsal	Önleyici Kontroller hata sebebini önlemede küçük etkiye sahip	9
			8
Yüksek	Davranışsal ve teknik	Önleyici kontroller hata sebebini önlemede orta derecede bir etkiye sahip	7
			6
Orta	En iyi örnek: Davranışsal ve teknik	Önleyici Kontroller hata sebebini önlemede etkili	5
			4
Düşük		Önleyici kontroller hata sebebini önlemede çok etkili	3
Çok Düşük			2
Aşırı Düşük	Teknik	Önleyici kontroller hata sebebini önlemede aşırı derecede etkilidir (tasarımda parça geometrisi gibi, ya da proseste fiktür tasarımı gibi) . Hata türü fiziksel olarak üretilemez.	1

Tablo 3.12. Saptanabilirlik Derecelendirme Tablosu

Saptanılabilirlik Derecelendirme Tablosu			
Saptama Becerisi	Saptama metodu olgunluk derecesi	Saptama için fırsat	Puan
Çok düşük	Test veya muayene metodu henüz oluşturulmamış veya bilinmiyor.	Hata türü saptanamaz.	10
	Test veya muayene metodunun hatayı saptama becerisi oldukça düşük.	Ara sıra veya rastgele yapılan denetimler hata türünü kolayca saptayamaz.	9
Düşük	Test ve muayene metodunun etkinliği ve doğruluğu henüz kanıtlanmamış (örneğin: firma metodla ilgili az tecrübeye sahip. Karşılaştırılabilir proses ve uygulamalar için Gauge R&R sonuçları sınırdadır)	Operatör tarafından yapılan testler (görsel, işitsel ve dokunarak) ya da manuel masterlar (geçer geçmez veya değişken) tarafından hata türü veya sebebi tespit edilir.	8
		Makine tarafından yapılan saptamalar (ışık veya ses ile ikaz veren otomatik veya yarı otomatik) ya da koordinat ölçme makinası gibi ekipmanların kullanılması sonucu hata türü veya sebebi saptanabilir.	7
Orta	Test ve muayene metodunun etkinliği ve doğruluğu kanıtlanmış (Firma metodla ilgili yeterli tecrübeye sahip, karşılaştırılabilir proses ve uygulamalar için Gauge R&R sonuçları kabul edilebilir)	Operatör tarafından yapılan testler (görsel, işitsel ve dokunarak) ya da manuel masterlar (geçer geçmez veya değişken) tarafından hata türü veya sebebi tespit edilir. (ürün numune testleri dahil)	6
		Makine tarafından yapılan saptamalar (ışık veya ses ile ikaz veren otomatik veya yarı otomatik) ya da koordinat ölçme makinası gibi ekipmanların kullanılması sonucu hata türü veya sebebi saptanabilir. (ürün numune testleri dahil)	5
Yüksek	Ölçüm Sisteminin etkinliği ve doğruluğu kanıtlanmış (Firma özdeş proseslerde metodla ilgili yeterli tecrübeye sahip.) Gauge R&R sonuçları kabul edilebilir.	Hata türünü proses akışı içerisinde algılayan, daha fazla işlem yapılmasını önleyen veya sistemi belirleyen makine tabanlı otomatik algılama yöntemi ürünü tutarsız olarak tanımlar ve belirtilen reddetme boşaltma alanını alana kadar süreçte otomatik olarak ilerlemesini sağlar. Tutarsız olarak tanımlanan ürünün fabrikadan çıkışını önleyen güvenilir bir sistem tarafından kontrol edilecektir.	4
		Hata türünü kendi iş istasyonu içerisinde algılayan, daha fazla işlem yapılmasını önleyen veya sistemi belirleyen makine tabanlı otomatik algılama yöntemi ürünü tutarsız olarak tanımlar ve belirtilen reddetme boşaltma alanını alana kadar süreçte otomatik olarak ilerlemesini sağlar. Tutarsız olarak tanımlanan ürünün fabrikadan çıkışını önleyen güvenilir bir sistem tarafından kontrol edilecektir.	3
	Test metodunun etkinliği ve doğruluğu kanıtlanmış (Firma metodla ilgili yeterli tecrübeye sahip, hata önleyici sistem doğrulamaları vb.)	Makine bazlı hata önleme sistemleri hata sebebini bulacak ve hata türünü, hata üretilmeden önce önleyecektir.	2
Çok yüksek	Hata türü fiziksel olarak oluşmayacaktır. Ya da saptama metodu her zaman hata türünün ve sebebinin saptanabileceğini kanıtlıyor.		1

Tablo 3.13. P-HTEA Aksiyon Öncelik Belirleme Tablosu

P-HTEA Aksiyon Öncelik Belirleme Tablosu						
Şiddet	Ş	Hata sebebinin oluşma tahmini	O	Saptama Becerisi	S	Aksiyon Önceliği
Ürün ya da işletme etkisi çok yüksek	9-10	Çok Yüksek	8-10	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	Y
				Yüksek	2-4	Y
				Çok Yüksek	1	Y
		Yüksek	6-7	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	Y
				Yüksek	2-4	Y
				Çok Yüksek	1	Y
		Orta	4-5	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	Y
				Yüksek	2-4	Y
				Çok Yüksek	1	O
		Düşük	2-3	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	O
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Çok Düşük	1	Çok Yüksek - Çok Düşük	1-10	D
Ürün ya da işletme etkisi yüksek	7-8	Çok Yüksek	8-10	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	Y
				Yüksek	2-4	Y
				Çok Yüksek	1	Y
		Yüksek	6-7	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	Y
				Yüksek	2-4	Y
				Çok Yüksek	1	O
		Orta	4-5	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	O
				Yüksek	2-4	O
				Çok Yüksek	1	O
		Düşük	2-3	Düşük - Çok Düşük	7-10	O
				Orta	5-6	O
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Çok Düşük	1	Çok Yüksek - Çok Düşük	1-10	D

Tablo 3.13. (devamı)

Ürün ya da işletme etkisi orta	4-6	Çok Yüksek	8-10	Düşük - Çok Düşük	7-10	Y
				Orta	5-6	Y
				Yüksek	2-4	O
				Çok Yüksek	1	O
		Yüksek	6-7	Düşük - Çok Düşük	7-10	O
				Orta	5-6	O
				Yüksek	2-4	O
				Çok Yüksek	1	D
		Orta	4-5	Düşük - Çok Düşük	7-10	O
				Orta	5-6	D
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Düşük	2-3	Düşük - Çok Düşük	7-10	D
				Orta	5-6	D
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Çok Düşük	1	Çok Yüksek - Çok Düşük	1-10	D
Ürün ya da işletme etkisi düşük	2-3	Çok Yüksek	8-10	Düşük - Çok Düşük	7-10	O
				Orta	5-6	O
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Yüksek	6-7	Düşük - Çok Düşük	7-10	D
				Orta	5-6	D
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Orta	4-5	Düşük - Çok Düşük	7-10	D
				Orta	5-6	D
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
		Düşük	2-3	Düşük - Çok Düşük	7-10	D
				Orta	5-6	D
				Yüksek	2-4	D
				Çok Yüksek	1	D
Etki yok	1	Çok Düşük-Yüksek	1-10	Çok Yüksek- Çok Düşük	1-10	D

Adım 6: Optimizasyon

Altıncı adım olan optimizasyon adımı ile planlanan iyileştirme adımlarının sonuçları, prosesteki iyileşme sonrası değerlerine göre belirlenir. Bu aşamada her hata türü için tekrar aksiyon önceliği belirlenir.

Adım 7: Sonuç

Yedinci adım olan sonuç aşamasında HTEA çalışmasının sonuçları raporlanır.

AIAG & VDA Tarafından Yenilenen Kılavuz Formuna Göre Yenilikler;

Yenilenen kılavuza göre klasik HTEA'ya yeni kavramların eklenmesiyle birlikte daha detaylı analiz yapılmaktadır. Tablo 3.1.'de verilen klasik HTEA formuna göre farklılıkları aşağıda sıralanmaktadır.

- Sonraki üst seviye ve sonraki alt seviye kavramları ilişkili adımlar ile net olarak tanımlanır.
- 4M faktörleri (operatör, makine, malzeme, metot vb., ishikawa metodu) proses, prosesin fonksiyonu ve hata nedeni kavramları ile detaylı şekilde değerlendirilir.
- Potansiyel hata türü kavramı yerine odak parçasının hata türü terimi tanımlanmıştır.
- Potansiyel hata nedeni kavramı iş elemanının hata nedeni olarak değiştirilmiştir.
- Hatanın potansiyel etkisi kavramı yerine bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için hata etkileri olarak değiştirilmiştir.
- Risk öncelik sıralaması (RÖS) kavramı yerine aksiyon önceliği (AÖ) gelmiştir. Düşük, orta ve yüksek aksiyon önceliği seviyelerine göre bir sıralama yapılır.
- Aksiyon öncelik belirleme tablosu ile tüm olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin kombinasyonu içeren kurallara göre bir aksiyon önceliği değeri belirlenir.
- Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik dereceleri tabloları güncellenmiştir.

3.4. HTEA'da Bulanık Mantık Yaklaşımı

HTEA'nın endüstri uygulamaları arttıkça elde edilen sonuçlar, HTEA'nın birtakım zayıflıklarının olduğunu göstermektedir. HTEA, hatanın ortaya çıkma olasılığı, şiddeti ve saptanabilirliği faktörlerine eşit ağırlık vermektedir. Aynı RÖS değerine sahip birden fazla hata türü ile karşılaşmamanın çözümü, RÖS değerini oluşturan faktörlere ağırlık değeri vermek olabilir (Tay ve Lim, 2006).

Diğer bir zayıflık her hata türünün riskini belirlemek ve risklerine göre hataları önceliklendirmek için elde edilen RÖS değerinin yanıltıcı sonuçlar doğurabilmesidir. Bu değeri oluşturan faktörler farklı değerlere sahip olsa da hesaplama sonucunda aynı

RÖS değerine sahip hata türleri ile karşılaşılabilir. Bunun sonucunda klasik RÖS değeri ile elde edilen önceliklendirme hataya sebep olabilmektedir. Örneğin; şiddetleri farklı hata türleri aynı RÖS değerine sahip olduğunda aynı sıralamaya sahipmiş gibi değerlendirilebilmekte ve yüksek şiddet değerine sahip herhangi bir hata türü, dikkatten kaçabilmektedir. Farklı hata türleri aynı RÖS değerini üretebilir, ancak şiddet derecesi etkileri tamamen farklı olabilir (Tay ve Lim, 2006).

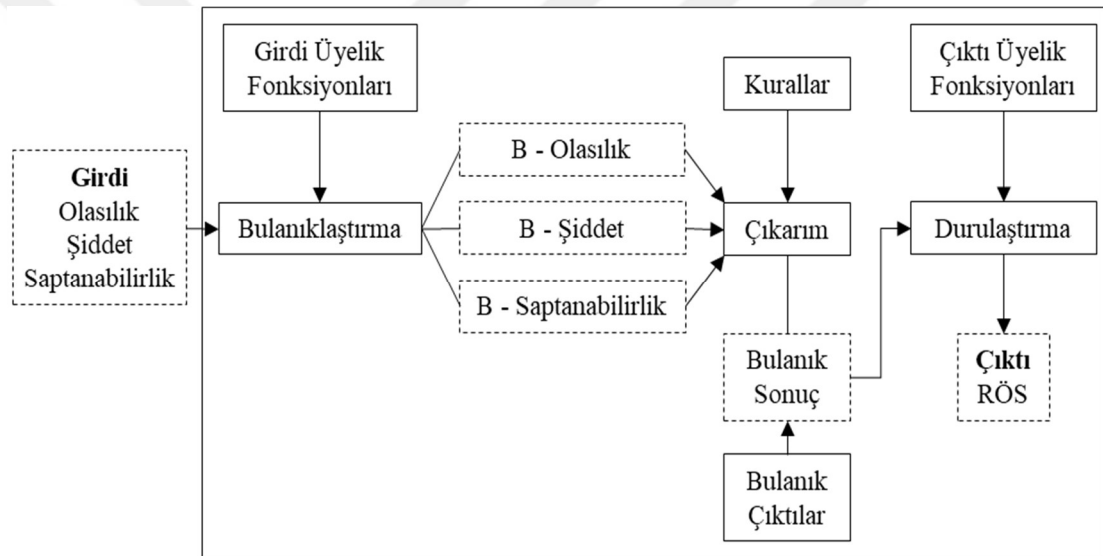
Klasik HTEA yöntemi ayrıca uzman yargılarındaki belirsizliği modellemekte eksik kalmaktadır. Bu eksiklerinin giderilmesi için birçok değişiklik yapılmış ve bulanık mantık gibi farklı yöntemlerle entegre şekilde kullanılmıştır. Bulanık mantık, insan benzeri bir karar verme süreci kullanır ve verilerin belirsizliğini yönetir. HTEA, verilerin belirli bir sistemin veya sürecin hatalarını ve olası etkilerini analiz etmek için kullanıldığı bir teknik olmasına rağmen, veriler genellikle belirsiz veya kesin değildir. Bu durumda, bulanık mantık kullanılarak HTEA'nın etkinliği artırılabilir.

Bulanık mantık, verilerin belirsizliğini yönetebilir ve bu verilerin daha doğru yorumlanmasını sağlayabilir. Bu yöntem, belirli bir sistemi veya süreci analiz ederken, tam olarak kesin olmayan bilgileri kullanarak karar vermeye yardımcı olur. Bulanık mantıkla HTEA'da olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değeri belirlerken “az”, “çok”, “yüksek” vb. gibi belirsizlik içeren dilsel terimleri kullanılmaktadır. Bu terimler, daha gerçekçi ve anlaşılır olduğundan karar verme sürecini kolaylaştırır.

Bulanık HTEA için gerekli kural tabanının ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi uzman bilgi ve tecrübesine dayandığından belirsizlikler içermektedir. 2019 yılında AIAG & VDA tarafından yenilenen P-HTEA kılavuz formu, kuralların ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için bir çözüm sağlamıştır. P-HTEA kılavuz formuna göre şiddet, olasılık ve saptanabilirlik dereceleri belirlenirken risk faktörlerinin değerleri yararlanılan derecelendirme tablolarında dilsel ifadelerle gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma bulanık mantık yönteminde oluşturulan girdi değişkenlerinin ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca aksiyon öncelik belirleme tablosunda şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin her biri için oluşturulan kombinasyona göre aksiyon öncelik değeri belirlenmektedir. Bu kombinasyonlar bulanık mantık kural tabanında uzman yargılarına göre oluşturulan kuralların belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Bu kolaylıklar sayesinde dilsel ifadelerin yol açtığı belirsizliğin önüne geçilmektedir.

3.4.1. Tip-1 Bulanık HTEA

Şekil 3.4.'te Tip-1 Bulanık HTEA süreci özetlenmiştir (Chin vd, 2008). Buna göre bulanık mantık ile bir RÖS değeri elde etmek için temel girdi olarak olasılık, şiddet, saptanabilirlik değerleri belirlenmelidir. Belirlenen bu girdi değerleri bulanık mantık yardımıyla dilsel terimler olarak tanımlanmaktadır. Bu girdiler uzmanlar tarafından belirlenen üyelik fonksiyonlarına göre bulanıklaştırılmalıdır. Bulanık olasılık, bulanık şiddet ve bulanık saptanabilirlik değerleri artık bulanık girdi olarak kabul edilmektedir. Bu değerler bir çıkarım sistemi ile belirlenen kural tabanı etkisinde bulanık sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen bu bulanık değer çıktının üyelik fonksiyonu ile değerlendirilerek durulaştırılmaktadır. En sonunda durulaştırılan çıktı değeri RÖS değerini vermektedir.

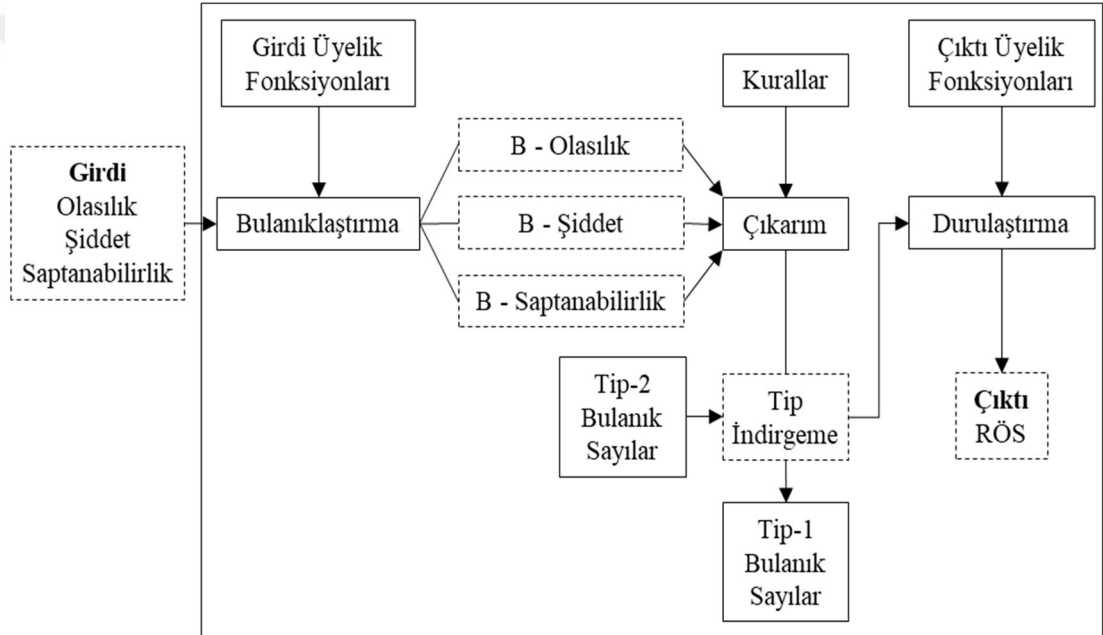


Şekil 3.4. Tip-1 Bulanık HTEA Metodolojisi

Bulanık P-HTEA girdi değişkenleri belirlenirken olasılık, şiddet ve saptanabilirlik derecelendirme tablolarına göre belirlenmektedir. Bu girdiler aksiyon önceliği tablosu yardımıyla uzmanlar tarafından belirlenen üyelik fonksiyonlarına göre bulanıklaştırılmalıdır. Bulanık olasılık, şiddet ve saptanabilirlik girdi değerleri, çıkarım sistemi ile aksiyon önceliği derecelendirme tablosuna göre belirlenen kural tabanı etkisinde bulanık çıktı değeri elde edilmektedir. Elde edilen bu bulanık değer çıktı değişkeninin üyelik fonksiyonu ile değerlendirilerek durulaştırılmaktadır. En sonunda durulaştırılan çıktı değeri AÖ değerini vermektedir.

3.4.2. Tip-2 Bulanık HTEA

Şekil 3.4.'te verilen Tip-1 Bulanık HTEA'nın tip-2 için revize edilmiş hali Şekil 3.5.'te verilmiştir. Buna göre tip-2 bulanık kümeler ile RÖS değeri elde edebilmek için tip-1 bulanık kümelerde olduğu gibi öncelikle giriş değişkenleri tanımlanmalıdır. Bulanık girdi değişkenleri uzmanlar tarafından belirlenen tip-2 üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılır. Bu bulanık girdi değişkenleriyle, çıkarım sisteminde tanımlanan kural tabanına göre bulanık çıktı sonucu elde edilir. Bulanık çıktı sonuçlarına tip-1 bulanık yönteminden farklı olarak tip indirgemesi yapılmaktadır. Bu tip indirgemesi ile tip-1 bulanık sayılara indirgenen çıktı değişkeni durulaştırılır ve RÖS elde edilir. Şekil 3.5.'te Tip-2 bulanık HTEA'ya süreci gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Tip-2 Bulanık HTEA Metodolojisi

3.5. Gri İlişki Analizi

Gri İlişki Analizi, karmaşık ve belirsiz bir sistemi analiz etmek için kullanılan çok değişkenli bir tekniktir. Bu analiz yöntemi, belirsizlik ve kesinlik arasındaki durumları modeller ve analiz eder. Gri İlişki Analizi, belirli bir veri setindeki değişkenler arasındaki ilişkileri inceler ve önemli faktörleri belirler. Bu nedenle, Gri İlişki Analizi daha doğru sonuçlar verir ve belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda tercih edilir.

Gri İlişki Analizi yöntemi, Tayvanlı araştırmacılar Deng ve Yeh tarafından 1982'de geliştirilmiştir. Bu analiz yöntemi finansal analiz, pazarlama araştırmaları, tıp ve sağlık, mühendislik ve tarım gibi birçok farklı analanda kullanılır. Gri İlişki Analizi, veri setindeki değişkenler arasındaki ilişkileri belirleyerek analistlere karar verme sürecinde yardımcı olur.

Gri ilişki analizinin adımları aşağıda verildiği gibidir (Zhu, 2022);

1. *Veri setinin ve değer matrisinin oluşturulması:* Kriter sayısı m ve etki faktörlerinin sayısı n olarak belirlendikten sonra bir m x n değer matrisi oluşturulur.

2. *Veri normalizasyonu:* Bu aşamada her bir kriter için belirlenen minimum ve maksimum hedefler çerçevesinde referans değerler belirlenir.

Eşitlik (3.2) normalizasyon formülü maksimize edilmek istenen değer için kullanılır.

$$x_i(k) = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.3) normalizasyon formülü minimize edilmek istenen değer için kullanılır.

$$x_i(k) = \frac{\max x_i(k) - x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.4) normalizasyon formülü optimize edilmek istenen değer için kullanılır.

$$x_i(k) = \frac{|x_i(k) - x_0(k)|}{\max x_i(k) - x_0(k)} \quad (3.4)$$

3. *Uzaklık matrisinin oluşturulması:* Karşılaştırılan seriler ile referans serilerin mutlak farkı Eşitlik (3.5) formülü kullanılarak elde edilir.

$$\Delta x_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (3.5)$$

4. *Karar matrisinin oluşturulması:* Ayırt edici katsayı değeri olarak $\delta=0,5$ seçilmektedir. Gri sayıların beyazlaştırılması sürecinde ise pratikte beyazlaştırma katsayısı adı verilen bir δ katsayısı kullanılır ve genellikle $\delta=0,5$ olarak kabul edilmektedir. $\delta=0,5$ olduğu durumdaki δ katsayısına ortalama beyazlaştırma katsayısı

adı verilmektedir. Gri ilişki analizinde, gri ilişki karar matrisi Eşitlik (3.6) formülündeki gibi bulunabilmektedir (Aydemir, 2013).

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta min + p\Delta max}{\Delta x_i(k) + p\Delta max} \quad (3.6)$$

5. *Gri ilişki derecesinin bulunması*: Eşit derecede önem taşıyan faktörler için gri ilişki derecesi Eşitlik (3.7) gibi bulunmaktadır. En yüksek gri ilişki dereceye sahip alternatif, karar problemi için en iyi alternatif olarak belirlenmiş olur.

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (3.7)$$

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

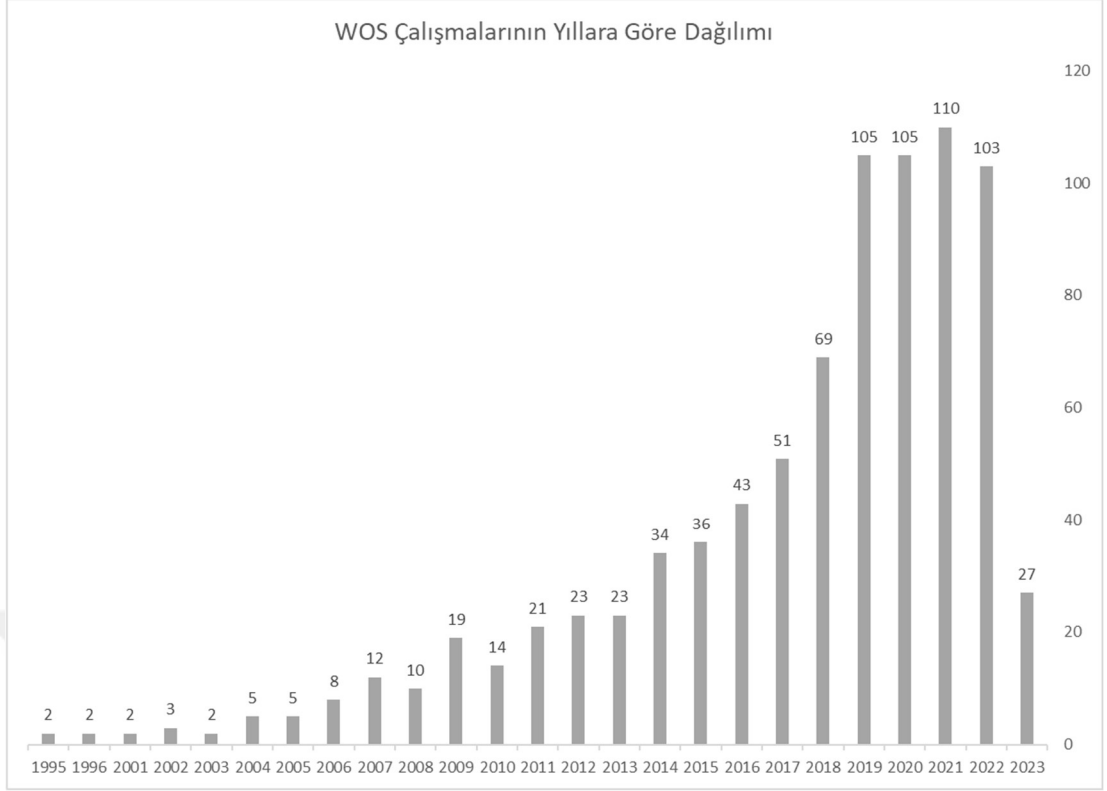
Yapılan literatür araştırması sonucunda, HTEA'nın üretim sektörü başta olmak üzere birçok sektörde karşılaşılabilecek hataların önceden tespit edilmesi ve giderilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntem, işletmelerin müşteri memnuniyetinin sağlanmasına, ürünlerinin güvenilirliğinin ve kalitesinin artırılmasına, dolayısıyla hatalardan kaynaklanan maliyetlerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Mühendislik çalışmalarında sıkça karşılaşılan bu yöntem iyileştirme çalışmalarına yön gösterecek şekilde hataları risk önceliği / aksiyon önceliği kapsamında sıralamaktadır. Yöntem gereği yapılan risk derecelendirilmesi uzman görüşlerine dayalı dilsel ifadeleri içermesinden dolayı son yıllarda bulanık mantıktan yararlanılmaya başlanılmıştır.

Literatürde Web Of Science veri tabanı kullanılarak "Failure Mode Effect Analysis", "Failure Mode Effect Analysis + Fuzzy", "Failure Mode Effect Analysis + Type 1 + Fuzzy" + "Failure Mode Effect Analysis + Type 2 + Fuzzy", "Failure Mode Effect Analysis + Fuzzy + Membership Function" + "Failure Mode Effect Analysis + Fuzzy + MATLAB", "Failure Mode Effect Analysis + Fuzzy + AIAG + VDA" anahtar kelimeler ile yapılan araştırma sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Literatür Araştırması

Anahtar Kelimeler				Makale Sayısı
Failure Mode Effect Analysis				16968
Failure Mode Effect Analysis	Fuzzy			834
Failure Mode Effect Analysis	"Type 1"	Fuzzy		1
Failure Mode Effect Analysis	"Type 2"	Fuzzy		26
Failure Mode Effect Analysis	Fuzzy	AIAG	VDA	1
Failure Mode Effect Analysis	Fuzzy	MATLAB		16
Failure Mode Effect Analysis	Fuzzy	Membership Function		38

Tablo 4.1.'de verilen araştırma sonuçlarına göre "Failure Mode Effect Analysis" anahtar kelimesi genelinde yapılan çalışmalar bulanık mantık kapsamında özelleştirilerek analiz edilmiştir. "Failure Mode Effect Analysis" ve "Fuzzy" anahtar kelimeleri kullanılarak Web of Science veri tabanında yapılan tarama sonuçlarının yıllara göre artan sayısal değişimi Şekil 4.1.'deki grafikte verilmektedir.



Şekil 4.1. " Failure Mode Effect Analysis" + "Fuzzy" Anahtar Kelimeleri için WOS'ta Yer Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı (1995-2023)

Aşağıda WOS veri tabanında "Failure Mode Effect Analysis" + "Fuzzy" anahtar kelimeleri ile yapılan araştırma sonucunda ulaşılan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalar kullanılan bulanık küme ve bulanık küme üyelik fonksiyonları bakımından incelenmiştir.

Haider vd. (2021), tarafından yapılan HTEA çalışmasında kaynaktan musluğa kadar su kalitesini yönetmek için kapsayıcı bir risk değerlendirme yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada tip-1 yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Yazıcı vd. (2020), kurulum süresini azaltmak için SMED ve bulanık HTEA yöntemi kullanarak entegre bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile üretim verimliliğini artırmak amaçlanmıştır. Çalışmada, önce SMED yöntemi kullanılarak üretim sürecindeki kurulum süresinin analizi yapılmıştır. Daha sonra, bulanık HTEA yöntemi kullanılarak üretim sürecindeki hata türleri ve bunların etkileri analiz edilmiştir. Bu analizlerin sonuçları daha sonra entegre bir SMED-fuzzy HTEA modeli oluşturmak için birleştirilmiştir. Araştırmada, kurulum süresini azaltmak için önerilen önlemler, bulanık mantık kullanılarak değerlendirilmiştir. Tip-1 üçgen üyelik fonksiyonlarının

kullanıldığı çalışmada girdi değişkenleri olarak belirlenen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik için beş dil değişkeni, çıktı değişkeni olarak tanımlanan RÖS değeri için ise yedi dil değişkeni kullanılmıştır. Bu dil değişkenleri ile oluşturulan kural tabanına göre mamdani çıkarımı yapılarak sonuç elde edilmiştir.

Geramian vd. (2020), bir elektrik ekipmanı üreten bir firmada bulanık HTEA ve süreç yeterliliği hibrit bir uygulama olarak kullanmıştır. Tip-1 üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı çalışmada girdi değişkenleri olarak belirlenen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik için beş dil değişkeni, çıktı değişkeni olarak tanımlanan RÖS değeri için ise yedi dil değişkeni kullanılmıştır. Bu dil değişkenleri ile oluşturulan kural tabanına göre mamdani çıkarımı yapılarak sonuç elde edilmiştir.

Srivastava vd. (2020), tarafından şeker fabrikasında değirmen sisteminin risk tanımlama ve önceliklendirmesi için HTEA çalışması yapılmıştır. RÖS değerlerini tahmin etmek için bulanık karar destek sistemi ve gri ilişki analizini kullanmıştır. Çalışmada tip-1 üçgen üyelik fonksiyonları tanımlanarak beş dil değişkenine sahip girdi değişkenleri olasılık, şiddet, saptanabilirlik ve on dil değişkenine sahip çıktı değişkeni RÖS değeri çözüm elde edilmiştir.

Geramian vd. (2019), tarafından grup karar verme aşamasındaki belirsizlik için HTEA çalışması yapılmıştır. Çalışmada tip-1 bulanık küme kullanılmıştır. Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları ve dil değişkenleri değiştirilerek analizler yapılmıştır. Şiddet girdi değişkeni için beş dil değişkeni belirlenerek bu dil değişkenleri üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmıştır. Olasılık ve saptanabilirlik girdi değişkenleri için üç dil değişkeni belirlenerek üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. RÖS çıktı değişkeni için beş dil değişkeni tanımlanmıştır ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak çözüm elde edilmiştir.

Nuchpho vd. (2019), kümes hayvanlarının işlenmesinde kusurlu ürün faktörleri için beş dil değişkenine sahip şiddet ve altı dil değişkenine sahip olasılık girdi değişkenleri tip-1 gauss üyelik fonksiyonu ile tanımlanmış olup, on dil değişkenine sahip saptanabilirlik girdi değişkeni üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanan on dil değişkenine sahip RÖS çıktı değişkeni, belirlenen dilsel ifadelerle oluşturdukları mamdani kural çıkarımı ile bir çözüm elde edilmiştir.

Sang vd. (2018), tarafından Sarawak'taki Rainfed ovası pirinç üretimine ilişkin çiftçilerin ve tüketicilerin sağlığı ve güvenliği ile ilgili konulara yönelik risk analizi ve değerlendirmesi için bir bilgi tabanlı araç olarak geliştirilmiş, genetik algoritma temelli bulanık üyelik fonksiyonlarının ve monoton bulanık kuralların tasarımına dayalı iyileştirilmiş bir bulanık HTEA çalışması yapılmıştır. Genetik algoritma ile belirlediği gauss üyelik fonksiyonu ile beş dil değişkenine sahip şiddet, olasılık, saptanabilirlik girdi ve yedi dil değişkenine sahip RÖS çıktı değerini belirlenen dilsel ifadelerle oluşturdıkları bir çözüm elde edilmiştir.

Akyuz ve Celik (2018), tarafından deniz taşımacılığındaki petrol sızıntısı risklerinin değerlendirilmesi için bir HTEA çalışması yapılmıştır. Aralık tip-2 yamuk üyelik fonksiyonu kullanılarak yapılan çalışmada beş dil değişkenine sahip girdi değişkenleri olan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerleri ile on dil değişkenine sahip RÖS çıktı değeri elde edilmiştir. Bu dil değişkenleri ile oluşturulan kural tabanına göre mamdani çıkarımı yapılarak sonuç elde edilmiştir.

Aguiar vd. (2018), tarafından yer elması işleme ekipmanının bir modülündeki riskleri önceliklendirmek için tip-1 üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak bir HTEA çalışması yapılmıştır. Girdi değişkenleri olarak tanımlanan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin her biri için beş dil değişkeni belirlenmiş, çıktı değişkeni olarak tanımlanan RÖS için de yedi dil değişkeni kullanılmıştır.

Aprilia vd. (2017), tarafından yoğurt üretim sürecinde karşılaşılan risklerin değerlendirilmesi için HTEA çalışması yapılmıştır. Çalışmada girdi değişkenleri için tip-1 üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Girdi değişkenleri şiddet ve saptanabilirlik için on dil değişkeni kullanılırken olasılık için beş dil değişkeni kullanılmıştır. Çıktı değişkeni olan RÖS değeri için tip-1 gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır ve beş dil değişkeni ile değerlendirilmiştir.

Akyuz vd. (2016), tarafından Malakka Boğazı'ndaki gemi çarpışmaları için risk değerlendirmeleri tip-1 bulanık HTEA çalışması ile yapılmıştır. Çalışmada, beş dil değişkeni kullanılarak oluşturulan girdi değişkenleri olasılık için yamuk üyelik fonksiyonu, şiddet ve saptanabilirlik için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu girdi değişkenleri, on dil değişkenine sahip üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanık HTEA ile hesaplanan RÖS değeri ile sonuçlandırılmıştır.

Zaman vd. (2014), tarafından bulanık HTEA yöntemi ile Malakka Boğazı'ndaki gemi çarpışmaları için risk değerlendirmeleri yapmıştır. Çalışmada tip-1 üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Girdi değişkenleri olarak tanımlanan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin her biri için beş dil değişkeni belirlenmiş, çıktı değişkeni olarak tanımlanan RÖS için de beş dil değişkeni kullanılmıştır.

Kahraman vd. (2013), sağlık sorunlarının önceliklendirilmesine dayanan bulanık HTEA çalışması yapmıştır. MATLAB ile çözümlenen çalışmada girdi değişkenleri için tip-1 yamuk üyelik fonksiyonu tanımlayarak beş dil değişkenine sahip olasılık ve şiddet, tip-1 üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu tanımlayarak altı dil değişkenine sahip saptanabilirlik değeri belirlemiştir. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu tanımlayarak altı dil değişkenine sahip RÖS çıktı değerini belirleyerek bir sonuç elde edilmiştir.

Çalışmalar bulanık mantık üyelik fonksiyonları açısından incelenmiş ve Tablo 4.2.'de verildiği gibi özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Literatür Özet Tablo

Yazar- Yıl	Bulanık Küme	Üyelik Fonksiyonu
Kahraman vd.-2013	Tip-1	Üçgen ve Yamuk
Zaman vd.-2014	Tip-1	Üçgen
Akyüz vd.-2016	Tip-1	Üçgen ve Yamuk
Aprilia vd.-2017	Tip-1	Üçgen ve Gauss
Aguiar vd.-2018	Tip-1	Üçgen
Akyüz ve Çelik-2018	Aralık Tip-2	Yamuk
Sang vd.-2018	Tip-1	Gauss (Genetik Algoritma)
Geremian vd. -2019	Tip-1	Üçgen ve Yamuk
Karatepe-2019	Tip-1	Üçgen
Nuchpho-2019	Tip-1	Üçgen ve Gauss
Geramian vd.-2020	Tip-1	Üçgen ve Yamuk
Srivastava vd.-2020	Tip-1	Üçgen
Yazıcı vd.-2020	Tip-1	Üçgen
Haider vd. -2021	Tip-1	Yamuk

WOS veri tabanında “Failure Mode Effect Analysis” + “AIAG” + “VDA” anahtar kelimeleri ile yapılan araştırma sonucunda ulaşılan bazı çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

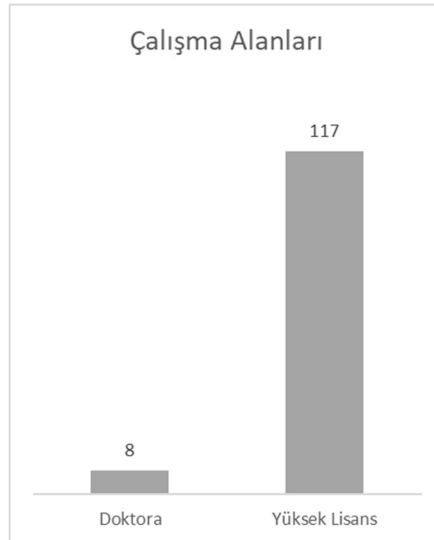
Cicka vd. (2022), çalışmalarında ürün geliştirme sürecinde Pisagor bulanık kümeler kullanarak AIAG & VDA tarafından 2019'da güncellenen kılavuz formu kapsamında HTEA yöntemi kullanarak bir analiz elde etmiştir.

AIAG & VDA tarafından 2019'da güncellenen kılavuz formunu esas alarak Fabis-Domagala vd. (2022), çalışmalarını akış kontrol vanasında gerçekleştirilmiştir.

WOS veri tabanında "Failure Mode Effect Analysis" + "Fuzzy" + "AIAG" + "VDA" anahtar kelimeleri ile yapılan araştırma sonucunda ulaşılan bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Komatina vd. (2022), çalışmalarında otomotiv tedarik zincirinin bir parçası olarak faaliyet gösteren Sırbistan Cumhuriyeti'ndeki bir şirkette durum çalışması yapmıştır. HTEA yöntemi uygulanırken şiddet değerinin boyutlarını belirlemek için aralık tip-2 F-BWM (Best Worst Method) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem AIAG & VDA tarafından 2019'da güncellenen kılavuz formu ile entegre edilerek bir sonuç elde edilmiştir.

Tez Tarama Merkezinde "Hata türü ve Etkileri Analizi" anahtar kelimesi kullanılarak yapılan tarama sonucunda 125 adet tez çalışması bulunmuştur. Şekil 4.2.'de HTEA çalışmalarının yüksek lisans ve doktora özelinde çalışma alanlarına göre dağılımları göstermektedir.



Şekil 4.2. "Hata Türü ve Etkileri Analizi" için Tez Tarama Merkezinde Yer Alan Çalışmaların Çalışma Alanlarına Göre Dağılımı

Yüksek lisans ve doktora alanlarındaki bazı çalışmalara en yeniden eskiye doğru olacak şekilde aşağıda yer verilmiştir.

Bulat (2022), yüksek lisans tezinde bir cevher zenginleştirme tesisinde üretim ve enerji verimliliğinin olumsuz etkilerini iyileştirmek amacıyla AIAG & VDA tarafından 2019'da güncellenen kılavuz formunu esas alarak bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Turan (2018), yüksek lisans tezinde transformatör üreten bir firmada bulanık FMEA çalışması yapmıştır. Problem çözümünde MATLAB logic tools kullanırken girdi değerleri olasılık, şiddet, saptanabilirlik için üçgen üyelik fonksiyonu beş dil değişkeni ve çıktı değeri RÖS için yedi dil değişkeni kullanmıştır. Modelde 125 kuraldan oluşan bir kural tabanı oluşturulmuştur. Çıkarım mekanizmasında mamdani yöntemi kullanılmış ve sonuçlar ağırlık merkezi yöntemi ile durulanmıştır.

Çakmak (2015), yüksek lisans tezinde demir-çelik sektöründe bulanık HTEA yöntemine yer vermiştir. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonlarını üç adet dil değişkeni ile olasılık, şiddet, saptanabilirlik olarak girdi ve beş dil değişkeni ile RÖS olarak çıktı değerini mamdani çıkarımı ile bulanık bir yaklaşımla incelemiştir.

Altunbey (2015), yüksek lisans tezinde kahve zinciri kurmayı amaçlayan bir firmanın pazarlama sürecindeki karşılaşılabileceği hatalar için HTEA uygulamış, ağırlıklandırılmış aralık tip-2 gauss üyelik fonksiyonu ile beş dil değişkeninden oluşan olasılık, şiddet, saptanabilirlik girdi ve RÖS çıktı değerini mamdani çıkarımı yaparak bulanık bir yaklaşım elde etmiştir. Aynı uygulamayı tip-1 gauss üyelik fonksiyonu ile tekrar sonuç elde ederek karşılaştırmaya yer vermiştir.

Yörükoğlu (2014), yüksek lisans tezinde yenilenebilir enerji türlerine ilişkin risklerin tespit edilerek giderilmesi veya iyileştirilmesi amacıyla Bulanık HTEA yaklaşımı üzerine çalışmıştır. Çalışmada; güneş ve rüzgâr enerjisi ile jeotermal enerji santrallerine ilişkin riskler sınıflandırılmış ve 5 ayrı ana başlık altında toplanmıştır. Bulanık HTEA uygulamasında tip-1 üçgen üyelik fonksiyonları ile beş dil değişkenine sahip olasılık, şiddet, saptanabilirlik girdi ve on dil değişkenine sahip RÖS çıktı değerini belirlenen dilsel ifadelerle oluşturdukları, mamdani kural çıkarımı kullanarak bir sonuç elde ettikleri bir çalışma yapmıştır. Klasik HTEA'ya da yer vererek her iki

yöntemle elde edilen RÖS değerleri göz önüne bulundurularak risk tablosu oluşturmuştur.

Bilgin (2006), yüksek lisans çalışmasında Çerkezköy Profile Telra A.Ş.'de ana Şase için bir bulak HTEA çalışması yapmıştır. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonlarını üç adet dil değişkeni ile olasılık, şiddet, saptanabilirlik olarak girdi ve beş dil değişkeni ile RÖS olarak çıktı değerini mamdani çıkarımı ile bulanık bir yaklaşımla incelemiştir.

Çalışmaların çoğunda Tip-1 bulanık mantık yönteminin ve üçgen üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı gözlenmektedir. P-HTEA ve bulanık mantık kullanımına yönelik ise literatürde yalnızca 1 çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemi olan F-BWM kullanılmıştır.

P-HTEA formunun kullanılmasına yönelik özel bir danışmanlık şirketinin hazırladığı bilgilendirme videosu (URL-2, 2022) ve örnek forma (URL-1, 2022) ulaşılmıştır.

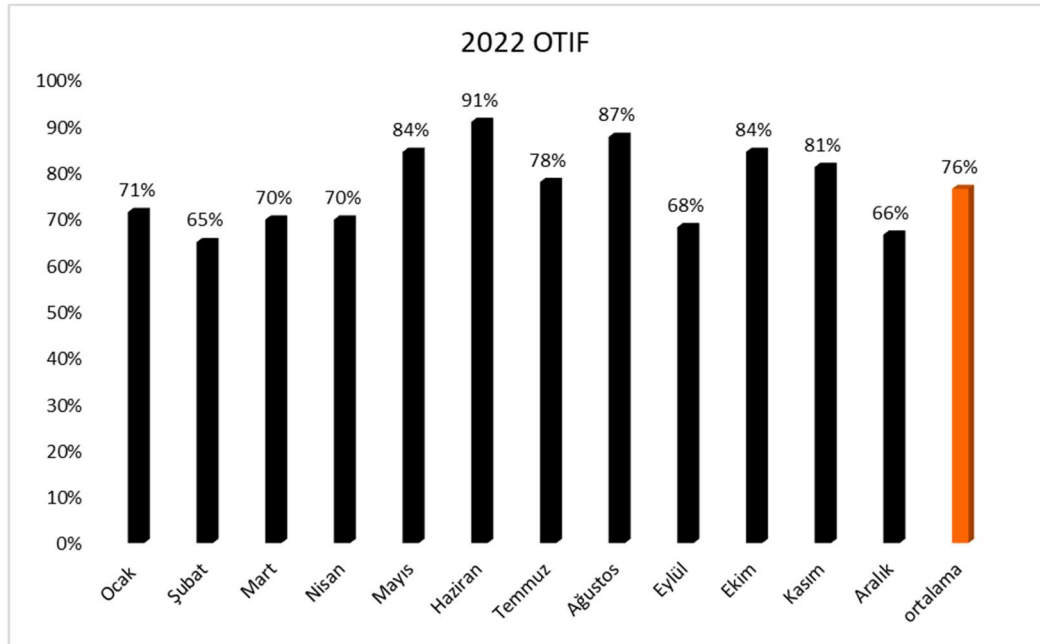
5. UYGULAMA

5.1. Firmanın Tanıtımı

Çalışma, Merzifon/AMASYA bölgesinde ankastre sektöründe 1994'ten bu yana faaliyet gösteren yıllık 2,3 milyon üretim hacmine sahip yaklaşık 2000 çalışanı olan bir üretim firmasında yapılmıştır. Üretim tesisinde aspiratör, davlumbaz, ocak ve fırın üretimi sağlanmaktadır. Üretilen bu ürünlerin sevkiyatı ile OEM (Original Equipment Manufacturer, Orijinal Ürün Üreticisi), iç piyasa ve 70'ten fazla ülkede ihracat müşterilerinin taleplerinin karşılanması hedeflenmektedir.

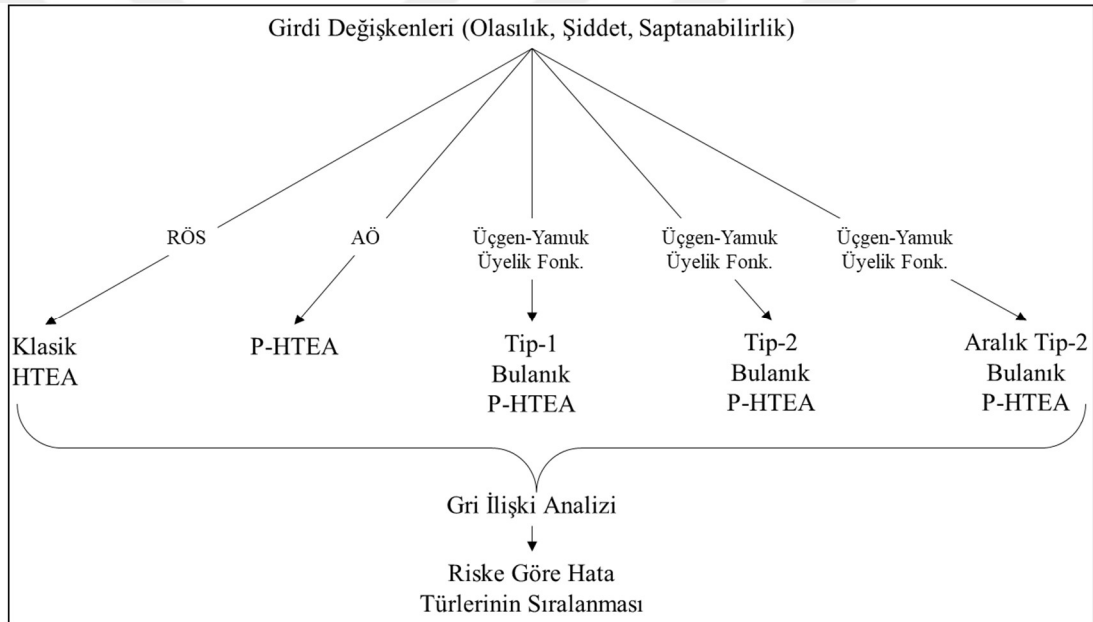
5.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Müşteri taleplerinin karşılanma durumu, tam zamanında eksiksiz üretim veya teslimat yüzdesini ifade eden bir anahtar performans göstergesi olan OTIF (On Time In Full) değeri ile belirlenmektedir. OTIF, OEM ve iç piyasa siparişleri için teslimat zamanına kadar parti miktarına ait üretilen adedin, parti miktarındaki toplam adede bölünmesi ile hesaplanmakta olup, yüzde cinsinden ifade edilmektedir. İhracat ürünlerinde ise bu değer parti miktarının hepsi teslimat zamanında ve öncesinde tamamlanmışsa "1", diğer tüm durumlarda "0" olarak belirlenmektedir. Çalışmanın yapıldığı firmada 2022 yılına ait OTIF değerleri Şekil 5.1.'de verilmiştir. Sipariş gecikmelerinin 2022 yılına göre ortalaması %24 mertebesindedir.



Şekil 5.1. 2022 yılı OTIF Değerleri

Bu çalışmada OTIF verileri ile raporlanan “sipariş gecikmeleri” problemi ele alınmıştır. Müşteri memnuniyetine ve firma içi işleyişe olumsuz etkileri nedeni ile siparişlerin teslimatında yaşanan gecikmeler, firmanın öncelikli problemlerinden biri olmuştur. 2022 yılında yapılan teslimatlardan ortalama %24’ünün gecikmeli olması problemin büyüklüğü konusunda bir fikir vermektedir. Bu amaç doğrultusunda siparişlerin müşteriden alınıp, müşteriye teslimatına kadar geçen süreçte bulunan prosesler için AIAG & VDA tarafından 2019 yılında yayınlanan el kitabına göre yenilenen kılavuz formu kullanılarak P-HTEA çalışması yapılmıştır. Yapılan P-HTEA çalışması bulanık mantık yaklaşımından faydalanılarak bulanık kümeler ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen değerler gri ilişki analizi ile entegre edilerek iyileştirilmesi gereken prosesler tespit edilmiştir (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Çalışmanın Metodolojisi

5.3. P-HTEA Kılavuz Formunun Oluşturulması

P-HTEA çalışması için öncelikle işletmede planlama departmanında bulunan 4 kişilik bir uzman ekip oluşturulmuştur. Uzman ekibin bilgi ve tecrübeleriyle mevcut durum incelenmiş olup, risk değerlendirmesi yapılacak proses olarak “sipariş teslimatı” süreci belirlenmiştir. Bu süreç müşterilerden alınan siparişlerin ürün olarak tekrar müşteriye sevk edilmesine kadar olan proseslerden oluşmaktadır. Belirlenen prosesler için risk teşkil eden hata türleri Tablo 5.1.’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Sipariş Teslimatı Prosesleri

Proses	Hata Türü
P1. Satış ekiplerinin müşterilerden sipariş alması	H1. Müşterinin siparişi hatalı ya da eksik iletmesi
	H2. Müşterinin siparişi ihtiyacına yönelik iletmemesi
P2. Satış ekiplerinin üretim tesisine siparişleri iletmesi	H3. Satış ekiplerinin siparişleri hatalı ya da eksik iletmesi
P3. İletilen siparişlerin taslak üretim planını oluşturması	H4. Siparişlerin hatalı banda planlanması
	H5. Siparişlerin hatalı tarihe planlanması
	H6. Kapasitenin üzerinde üretim planlanması
P4. Malzeme ihtiyaç planlama çalışmalarının yapılması	H7. Malzeme ihtiyaç adedinin hatalı iletilmesi
	H8. Malzemenin hatalı tarihe talep edilmesi
P5. Malzeme tedarik süreçlerinin gerçekleşmesi	H9. Malzemenin tedarikçinin hammadde probleminden kaynaklı teyit edilen sürede sevk edilememesi
	H10. Malzemenin tedarikçinin kapasite doluluğundan kaynaklı teyit edilen sürede sevk edilememesi
	H11. Malzeme sevkiyatı sürecinde lojistik gecikmeler yaşanması
P6. Yarımamül hazırlık süreçlerinin gerçekleşmesi	H12. Yarımamül kalite problemleri
	H13. Yarımamül makine kapasitesinin yetersizliği
P7. Malzeme ve yarımamül hazırlık durumuna göre kesin üretim planının hazırlanması	H14. Tedarik edilen malzemelerde kalite problemi yaşanması
	H15. Üretimi tamamlanan yarımamüllerde kalite problemi yaşanması
	H16. Malzeme ve yarımamül eksiklik bilgisinin hatalı planlanması
P8. Siparişlerin hazıredimlerinin yapılması	H17. Yarımamül stok sapması sebebi ile eksik hazıredim yapılması
	H18. Hammadde stok sapması sebebi ile eksik hazıredim yapılması
	H19. Hazıredimin üretime yetişmemesi
P9. Siparişlerin üretilmesi	H20. Üretim bandında hammadde ret edilmesi
	H21. Üretim bandında yarımamül ret edilmesi
	H22. Personel eksikliği
	H23. Personel yetkinliğinin eksikliği
	H24. Ürün ağacı hatası
	H25. Tasarım hatası
P10. Audit yapılması	H26. Stoklaşma problemi
	H27. Üretilen ürünün istenilen kalite standartları aralığında olmaması
P11. Siparişlerin müşterilere sevk edilmesi	H28. Nakliyede gecikmeler
	H29. Sevkiyat esnasında hasar oluşması

Hata türleri P-HTEA formuna göre değerlendirildiğinde uzman kişilerin görüşlerine dayalı olarak değişen dilsel ifadelerle göre şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri için ortak bir karara varılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda yenilenen kılavuz formuna göre toplam 29 adet aksiyon önceliği değeri elde edilmiştir. Bu değerler 15 adet düşük, 7 adet orta ve 7 adet yüksek aksiyon önceliği değerinden oluşmaktadır (Ek-1). Değerlendirme özeti Tablo 5.2.de verilmiştir.

Tablo 5.2. P-HTEA Kılavuz Formu Hata Türleri Özet Tablosu

Hata Türü	Şiddet	Olasılık	Saptanabilirlik	Aksiyon Önceliği
H1	6	1	9	düşük
H2	6	1	9	düşük
H3	7	2	8	orta
H4	2	1	2	düşük
H5	8	2	7	orta
H6	3	2	2	düşük
H7	8	2	2	düşük
H8	8	2	5	orta
H9	8	2	2	düşük
H10	8	3	2	düşük
H11	8	2	9	orta
H12	7	4	3	orta
H13	8	4	6	orta
H14	9	3	9	yüksek
H15	9	2	9	yüksek
H16	9	1	9	düşük
H17	8	4	9	yüksek
H18	8	5	9	yüksek
H19	4	2	8	düşük
H20	9	2	8	yüksek
H21	9	1	8	düşük
H22	2	4	9	düşük
H23	2	3	3	düşük
H24	9	3	9	yüksek
H25	9	2	9	yüksek
H26	1	2	9	düşük
H27	8	2	9	orta
H28	3	1	8	düşük
H29	9	1	9	düşük

Bu analiz yapılırken girdi değişkeni olarak şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri, çıktı değişkeni olarak aksiyon önceliği değeri tanımlanmıştır. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik için Tablo 3.9., 3.11. ve 3.12.'de verilen derecelendirme tablolarının dilsel ifadelerle karşılık gelen sayısal değerleri Tablo 5.3.'te özetlenmiştir. Tablo (3.13.)'ten yararlanılarak oluşturulan girdi değişkenlerinde şiddet ve olasılık için 5 adet, saptanabilirlik için 4 adet kategori bulunmaktadır. Çıktı değişkeni olan aksiyon önceliği için ise düşük, orta ve yüksek olarak üç farklı kategori saptanmıştır.

Tablo 5.3. Girdi Değişkenleri Dilsel İfadelerinin Aksiyon Önceliği Belirleme Tablosuna Göre Karşılığı

Şiddet	Kategori	Olasılık	Kategori	Saptanabilirlik	Kategori
9-10	Çok Yüksek	8-10	Çok Yüksek	7-10	Düşük- Çok Düşük
7-8	Yüksek	6-7	Yüksek	5-6	Orta
4-6	Orta	4-5	Orta	2-4	Yüksek
2-3	Düşük	2-3	Düşük	1	Çok Yüksek
1	Etki Yok	1	Çok Düşük		

Yapılan P-HTEA sonucunda elde edilen veriler uzman kişilerin dilsel ifadelerine dayandığından belirsizliği yönetebilmek için bulanık mantık yöntemine başvurulmuştur. Bulanık P-HTEA yapılırken MATLAB R2016a deneme sürümü kullanılmıştır. Analiz için oluşturulan kural tabanı tüm bulanık P-HTEA'lar için ortak olarak kullanılmıştır. Belirlenen kurallar Şekil 5.3.'de verilen Fuzzy Logic Toolbox ve fuzzy2 Rules arayüzüne girilmiştir.

Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik girdi değişkenleri kategorileri seviyelerine bağlı olarak değişen aksiyon önceliği çıktı değerleri için tüm kombinasyonlarının bulunduğu (5x5x4=100 adet) kurallar Tablo 3.13.'e göre belirlenmiştir. Bu kurallar Eğer-İse kural yapısındadır (Ek 2). Aksiyon öncelik belirleme tablosuna (Tablo 3.13.) göre 62 adet düşük, 16 adet orta ve 22 adet yüksek aksiyon önceliği değeri mevcuttur.

1. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
2. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
3. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
4. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
5. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
6. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
7. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
8. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
9. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
10. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is orta) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
11. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (AksiyonOnceligi is yuksek) (1)
12. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (AksiyonOnceligi is orta) (1)

If Siddet is CokYuksek, orta, yuksek, dusuk, etkYok, none
and Olasilik is CokYuksek, yuksek, orta, dusuk, CokDusuk, none
and Saptanabilirlik is CokYuksek, Yuksek, DusukCokDusuk, orta, none
Then AksiyonOnceligi is dusuk, orta, yuksek, none

☐ not ☒ or ☒ and

Weight: 1

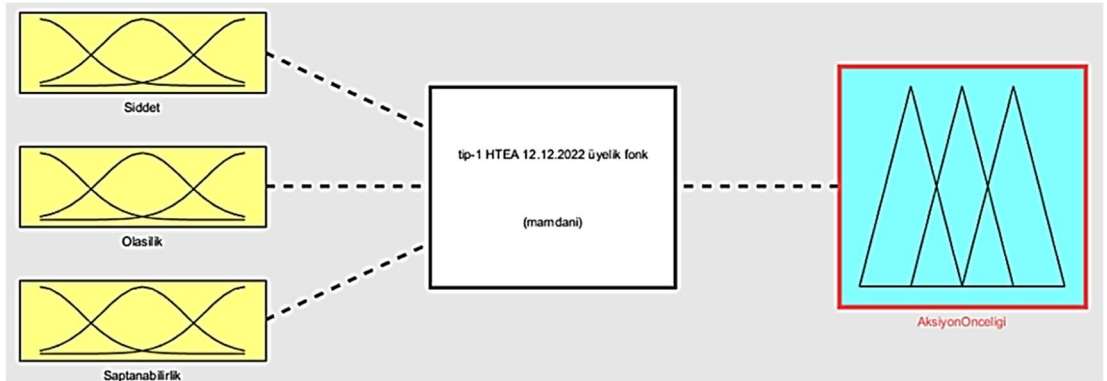
Delete rule Add rule Change rule << >>

Ready Help Close

Şekil 5.3. Bulanık HTEA Kural Tabanı

5.4. Tip-1 Bulanık P-HTEA

Tip-1 Bulanık P-HTEA kurgusu Şekil 5.4.'te verilen MATLAB arayüzünde gösterilmiştir. Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik girdi değişkenleri ile kural tabanı kullanılarak çıktı değeri olan aksiyon önceliği elde edilmiştir.



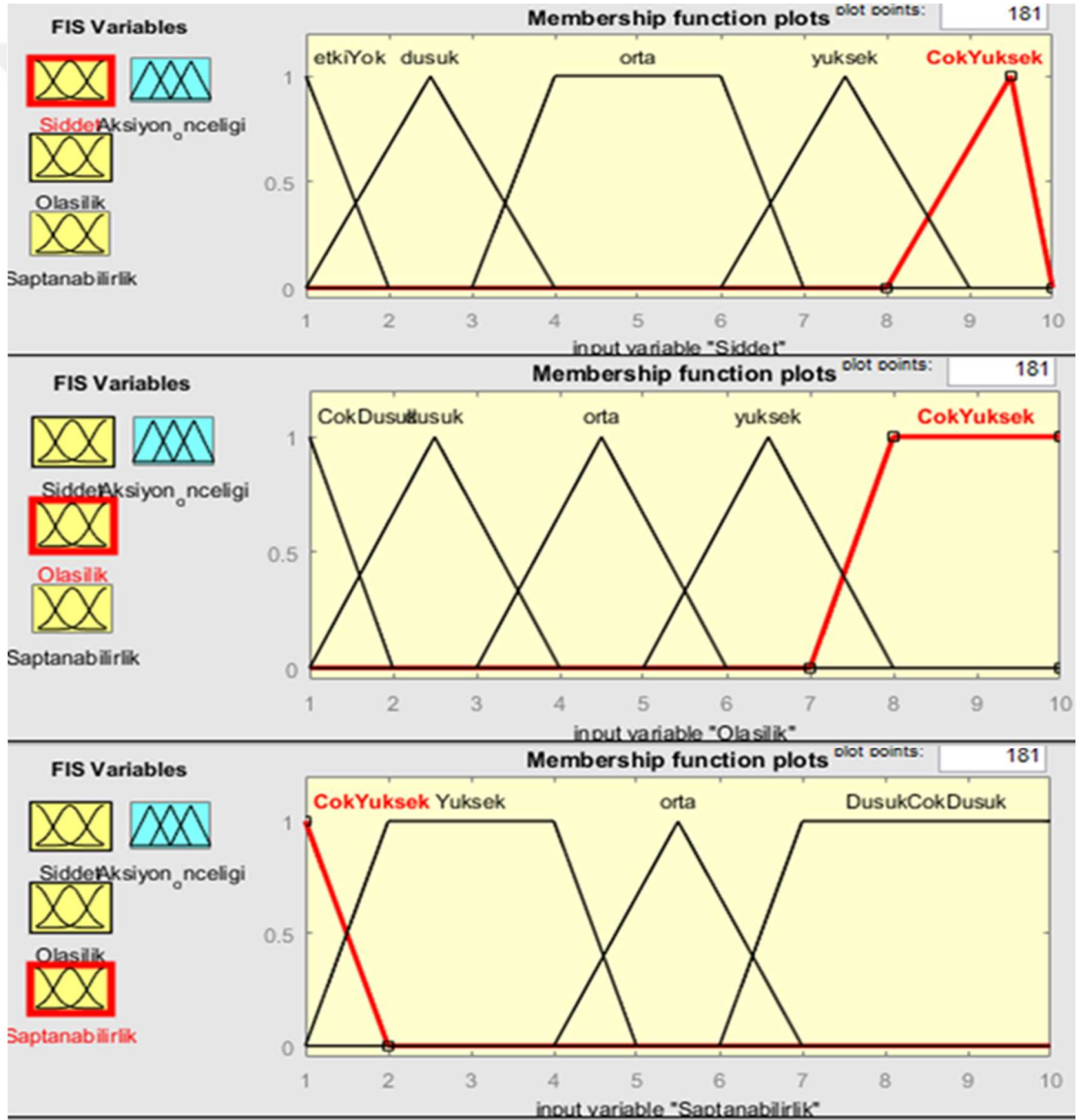
Şekil 5.4. Tip-1 Bulanık HTEA Girdi, Çıktı ve Kural Tabanı Gösterimi MATLAB Arayüzü

Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik girdi değişkenleri için üyelik fonksiyonları, aksiyon önceliği tablosunda (Tablo 3.13.) verilen dilsel ifadelerin kategori seviyeleri baz alınarak üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Belirlenen üyelik fonksiyonları Tablo 5.4.'te verildiği gibidir.

Tablo 5.4. Tip-1 Bulanık P-HTEA Üyelik Fonksiyonları

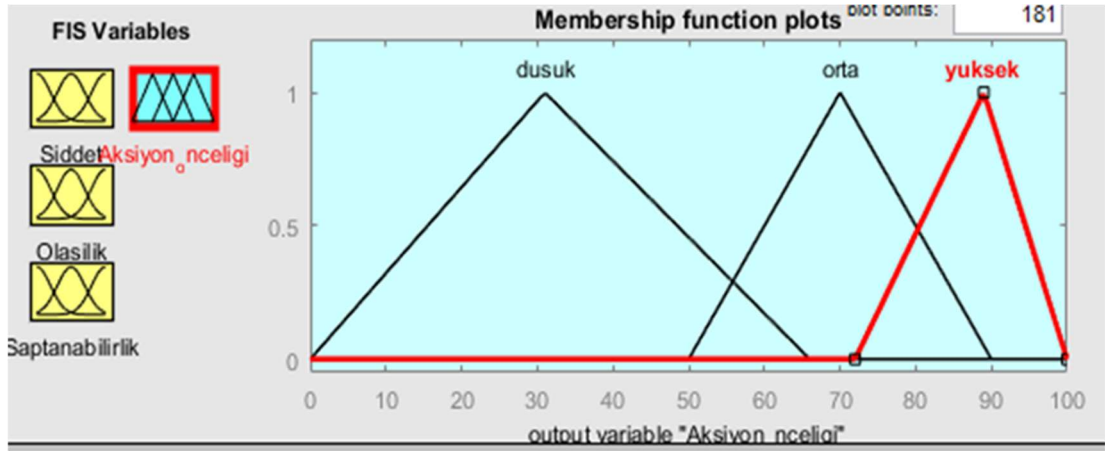
Kategori	Şiddet	Üyelik Fonk.	Olasılık	Üyelik Fonk.	Saptanabilirlik	Üyelik Fonk.
Etki Yok	Üçgen	0 1 2	Üçgen	0 1 2	Yamuk	6 7 10 10
Düşük	Üçgen	1 2,5 4	Üçgen	1 2,5 4	Üçgen	4 5,5 7
Orta	Yamuk	3 4 6 7	Üçgen	3 4,5 6	Yamuk	1 2 4 5
Yüksek	Üçgen	6 7,5 9	Üçgen	5 6,5 8	Üçgen	0 1 2
Çok Yüksek	Üçgen	8 9,5 10	Yamuk	7 8 10 10	Üçgen	0 1 2

Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının Fuzzy Logic Toolbox arayüzü gösterimi Şekil 5.5.'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Tip-1 Bulanık HTEA Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Değeri Üyelik Fonksiyonları

Aksiyon önceliği çıktı değişkeninin yüksek, orta ve düşük kategori seviyesi için ise tip-1 üçgen üyelik fonksiyonu belirlenmiştir (Şekil 5.6.).

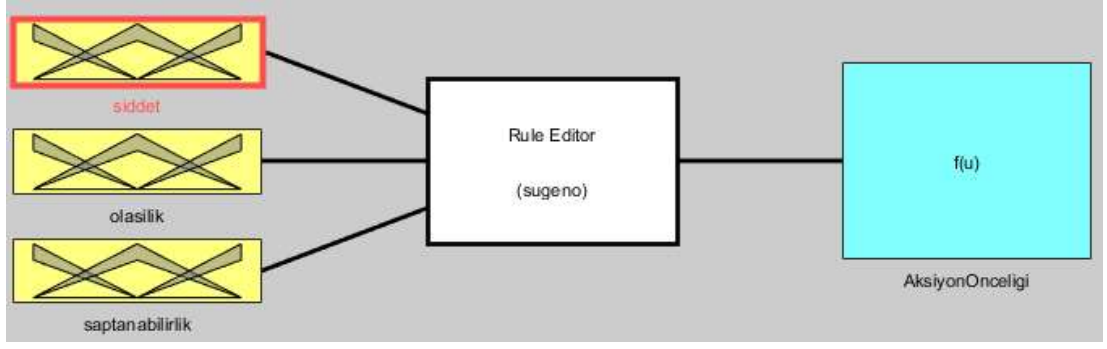


Şekil 5.6. Tip-1 Bulanık P-HTEA Aksiyon Önceliği Değeri Üyelik Fonksiyonu

Risk öncelik sayısına (RÖS) göre sıralama yapan klasik HTEA, 2019 versiyonuna göre sıralama yapan P-HTEA ve Tip-1 bulanık mantığa göre sıralama yapan P-HTEA sonuçları Tablo 5.10.'da verilmiştir. Tip-1 bulanık HTEA çalışması Tablo 5.2.'de verilen yenilenen kılavuzun aksiyon öncelik değerleri ile aynı sonucu vermiştir. Tip-1 Bulanık HTEA 3 sayısal sonuç vermiş olup bunlar yüksek (87,2), orta (70,2) ve düşük (36,2) olarak 3 farklı risk grubuna karşılık gelmiştir. Yani analiz edilen hataların yenilenen kılavuza göre belirlenen aksiyon önceliği önceliklendirmesi ile aynı önem seviyesine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni P-HTEA ve Tip-1 bulanık P-HTEA'nın aynı kural tabanının kullanılmasıdır.

5.5. Tip-2 Bulanık P-HTEA

Bulanık HTEA yönteminde uzman ekip tarafından belirlenen kural tabanı ve üyelik fonksiyonlarının aynı olması neredeyse imkansızdır. Bu gibi üyelik fonksiyon değerinin tam olarak belirlenemediği durumlarda Tip-1 bulanık kümeler uzman görüşlerindeki belirsizliğe ve lineer olmayan davranışa cevap verememektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için uzmanların dilsel değişkenlerinin modellenmesinde kullanılan tip-2 bulanık küme kullanılmasına karar verilmiştir. Analiz yapılırken MATLAB uygulamasının kütüphanesinden yararlanılarak eklenen Fuzzyt2 toolbox kullanılmıştır, arayüzü Şekil 5.7.'de verilmiştir (Taşkın, 2015).



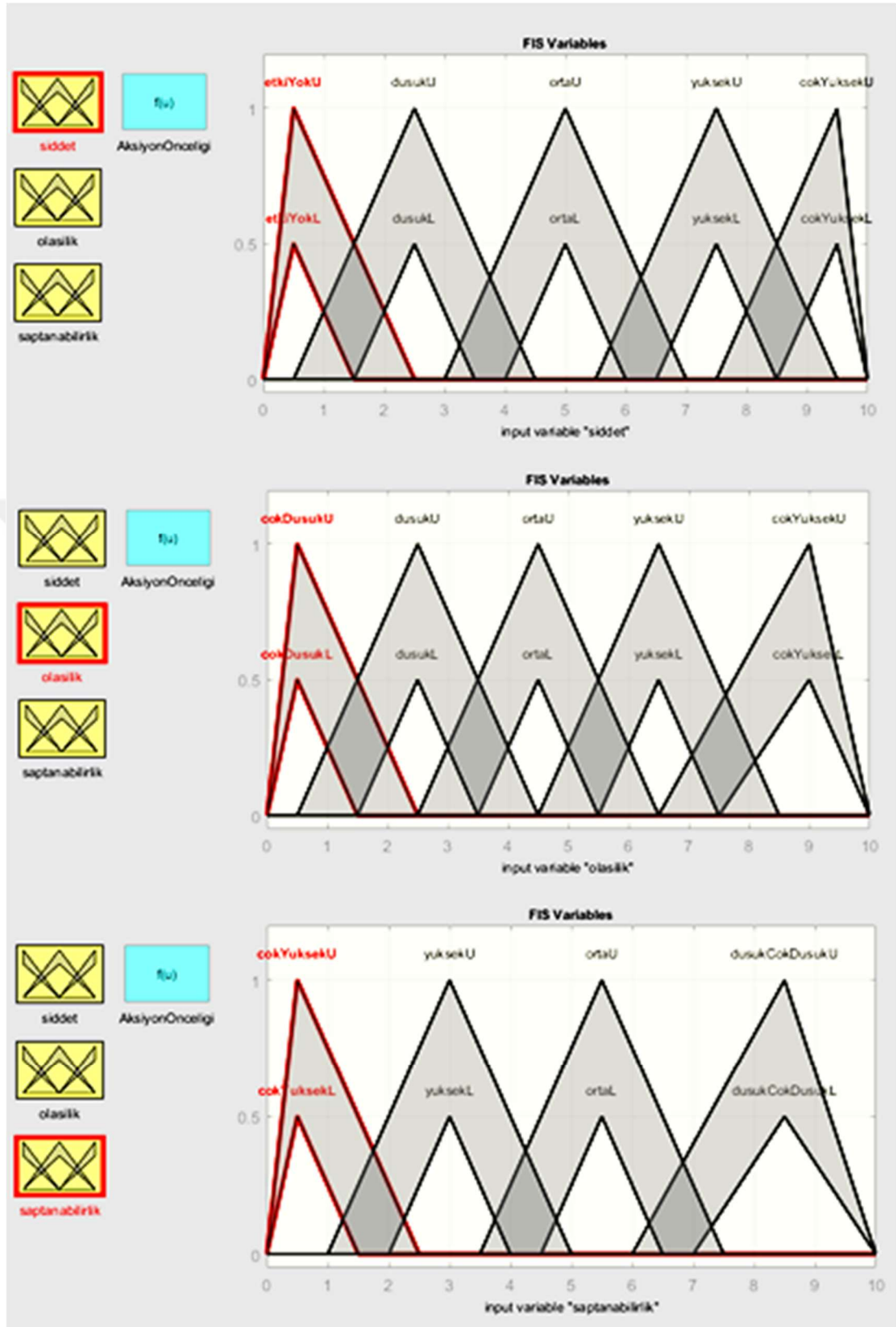
Şekil 5.7. Tip-2 Bulanık HTEA Girdi, Çıktı ve Kural Tabanı Gösterimi MATLAB Arayüzü

Tip-2 bulanık P-HTEA yapılırken şiddet, olasılık ve saptanabilirlik girdi değişkenlerinin kategori seviyeleri baz alınarak tip-2 üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Tablo 5.3.'e göre belirlenen kategori seviyeleri esas alınarak tanımlanan şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin tüm üyelik kategorileri Tablo 5.5.'te verilmiştir.

Tablo 5.5. Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Üçgen Üyelik Fonksiyonu Kategorileri

Şiddet (Üçgen Üyelik Fonk.)		
	ÜÜF	AÜF
Çok Düşük	[0 0,5 2,5 1]	[0 0,5 1,5 0,5]
Düşük	[0,5 2,5 4,5 1]	[1,5 2,5 3,5 0,5]
Orta	[3 5 7 1]	[4 5 6 0,5]
Yüksek	[5,5 7,5 9,5 1]	[6,5 7,5 8,5 0,5]
Çok Yüksek	[7,5 9,5 10 1]	[8,5 9,5 10 0,5]
Olasılık (Üçgen Üyelik Fonk.)		
Çok Düşük	[0 0,5 2,5 1]	[0 0,5 1,5 0,5]
Düşük	[0,5 2,5 4,5 1]	[1,5 2,5 3,5 0,5]
Orta	[2,5 4,5 6,5 1]	[3,5 4,5 5,5 0,5]
Yüksek	[4,5 6,5 8,5 1]	[5,5 6,5 7,5 0,5]
Çok Yüksek	[6,5 9 10 1]	[7,5 9 10 0,5]
Saptanabilirlik (Üçgen Üyelik Fonk.)		
Çok Yüksek	[0 0,5 2,5 1]	[0 0,5 1,5 0,5]
Yüksek	[1 3 5 1]	[1 3 5 0,5]
Orta	[3,5 5,5 7,5 1]	[4,5 5,5 6,5 0,5]
Düşük-Çok Düşük	[6 8,5 10 1]	[7 8,5 10 0,5]

Tip-2 üçgen üyelik fonksiyonlarının girdi değişkenleri ve üyelik fonksiyonlarının MATLAB Fuzzyt2 toolbox'ına Bulanık Çıkarım Sistemine (Fuzzy Inference System, FIS) göre gösterimi Şekil 5.8.'de verilmiştir.



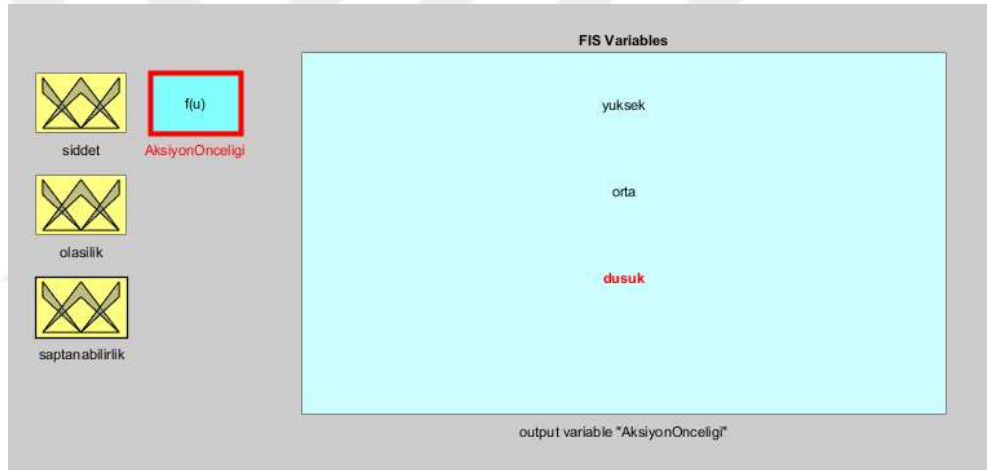
Şekil 5.8. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Tip-2 Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Tip-2 bulanık P-HTEA çıktı değişkeni kategori seviyeleri P-HTEA aksiyon öncelik belirleme tablosunda (Tablo 3.13.) bulunan 100 adet aksiyon önceliği değerine göre belirlenmiştir. 62 adet düşük, 16 adet orta ve 22 adet yüksek aksiyon önceliği değerine göre çıktı değişkenleri için sınırlar çizilmiştir (Tablo 5.6.).

Tablo 5.6. Tip-2 Bulanık P-HTEA Çıktı Değişkeni Fonksiyon Parametreleri

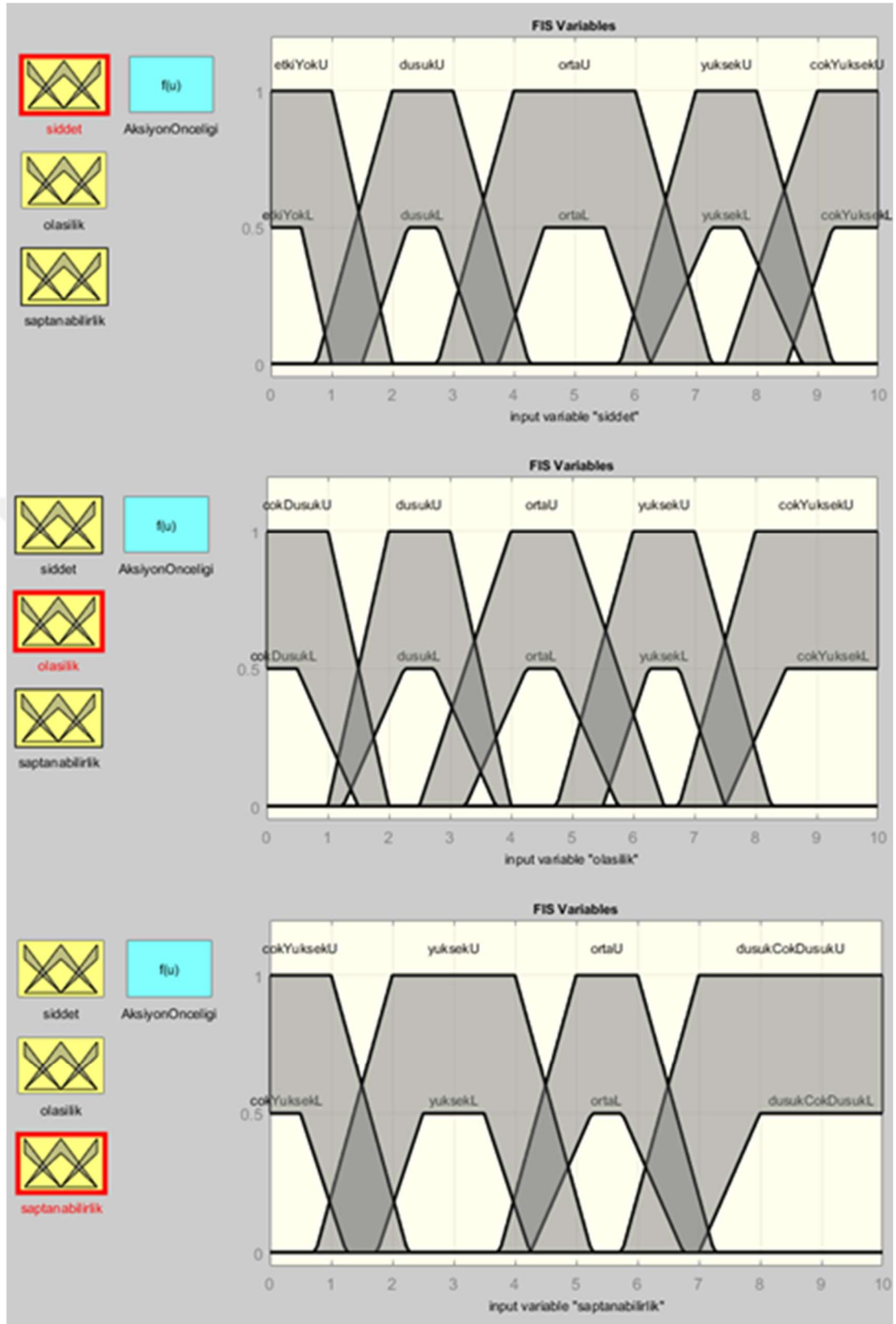
Aksiyon Önceliği Fonksiyon Parametresi	Fonksiyon Parametresi Değeri
Düşük	0-61
Orta	62-78
Yüksek	69-100

Çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonları MATLAB Fuzzyt2 toolbox'ına göre Şekil 5.9.'da verildiği gibidir.



Şekil 5.9. Aksiyon Önceliği Çıktı Değişkeni Tip-2 Üyelik Fonksiyonu MATLAB Arayüzü

Tip-2 Bulanık P-HTEA çalışması ayrıca girdi değişkenlerinde yamuk üyelik fonksiyonu olması durumu için de tekrarlanmıştır. Bu şekilde farklı üyelik fonksiyonu kullanımının sonuç üzerindeki etkisi değerlendirilmek istenmiştir. Söz konusu farklılıklar Tablo 5.7.'de görüldüğü gibidir. Bu değişiklik analiz sonuçlarında farklılıklar yaratmaktadır. Tip-2 yamuk üyelik fonksiyonlarının girdi değişkenleri ve üyelik fonksiyonlarının MATLAB Fuzzyt2 toolbox'ına göre gösterimi Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Tip-2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyona göre tanımlanan şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin tüm üyelik fonksiyon kategori seviyeleri Tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Yamuk Üyelik Fonksiyonu Parametleri

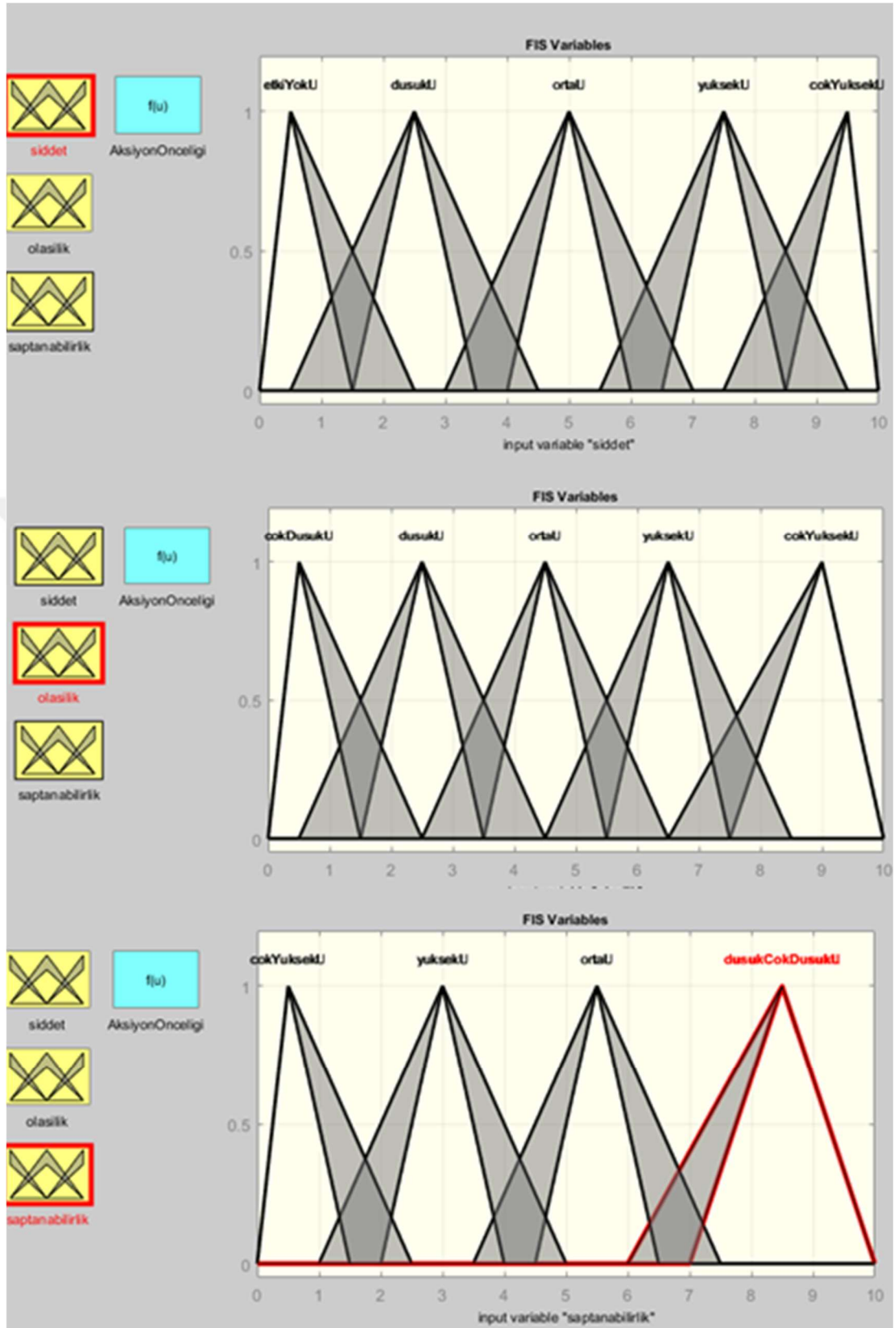
Şiddet (Yamuk Üyelik Fonk.)		
	ÜÜF	AÜF
Çok Düşük	[0 0 1 2 1]	[0 0 0,5 1 0,5]
Düşük	[0,75 2 3 4,25 1]	[1,5 2,25 2,75 3,5 0,5]
Orta	[2,75 4 6 7,25 1]	[3,75 4,5 5,5 6,25 0,5]
Yüksek	[5,75 7 8 9,25 1]	[6,25 7,25 7,75 8,75 0,5]
Çok Yüksek	[7,5 9 10 10 1]	[8,5 9,25 10 10 0,5]
Olasılık (Yamuk Üyelik Fonk.)		
Çok Düşük	[0 0 1 2 1]	[0 0 0,5 1,5 0,5]
Düşük	[1 2 3 4 1]	[1,25 2,25 2,75 3,75 0,5]
Orta	[2,5 4 5 6,5 1]	[3,25 4,25 4,75 5,75 0,5]
Yüksek	[4,75 6 7 8,25 1]	[5,5 6,25 6,75 7,5 0,5]
Çok Yüksek	[6,75 8 10 10 1]	[7,5 8,5 10 10 0,5]
Saptanabilirlik (Yamuk Üyelik Fonk.)		
Çok Yüksek	[0 0 1 2,25 1]	[0 0 0,5 1,25 0,5]
Yüksek	[0,75 2 4 5,25 1]	[1,75 2,5 3,5 4,25 0,5]
Orta	[3,75 5 6 7,25 1]	[4,25 5,25 5,75 6,75 0,5]
Düşük-Çok Düşük	[5,75 7 10 10 1]	[7 8 10 10 0,5]

Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ile gerçekleştirilen Tip-2 Bulanık P-HTEA sonuçları Tablo 5.10.'da sunulmuştur.

5.6. Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA

Tip-2 bulanık mantık sistemlerinin ifade edilmesindeki karmaşıklığı azaltmak ve sonuçtaki farklılıkların yorumlanması amacıyla bulanık P-HTEA çalışmasında bulanık küme yapısı değiştirilerek Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA ayrıca uygulanmıştır. Girdi değişkenleri için üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Aralık Tip-2 P-HTEA yapılırken üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bir analiz yapılmıştır. Aralık Tip-2 üçgen üyelik fonksiyonlarının girdi değişkenleri ve üyelik fonksiyonlarının MATLAB Fuzzyt2 toolbox'ına göre gösterimi Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Aralık Tip-2 Üçgen Üyelik Fonksiyonu

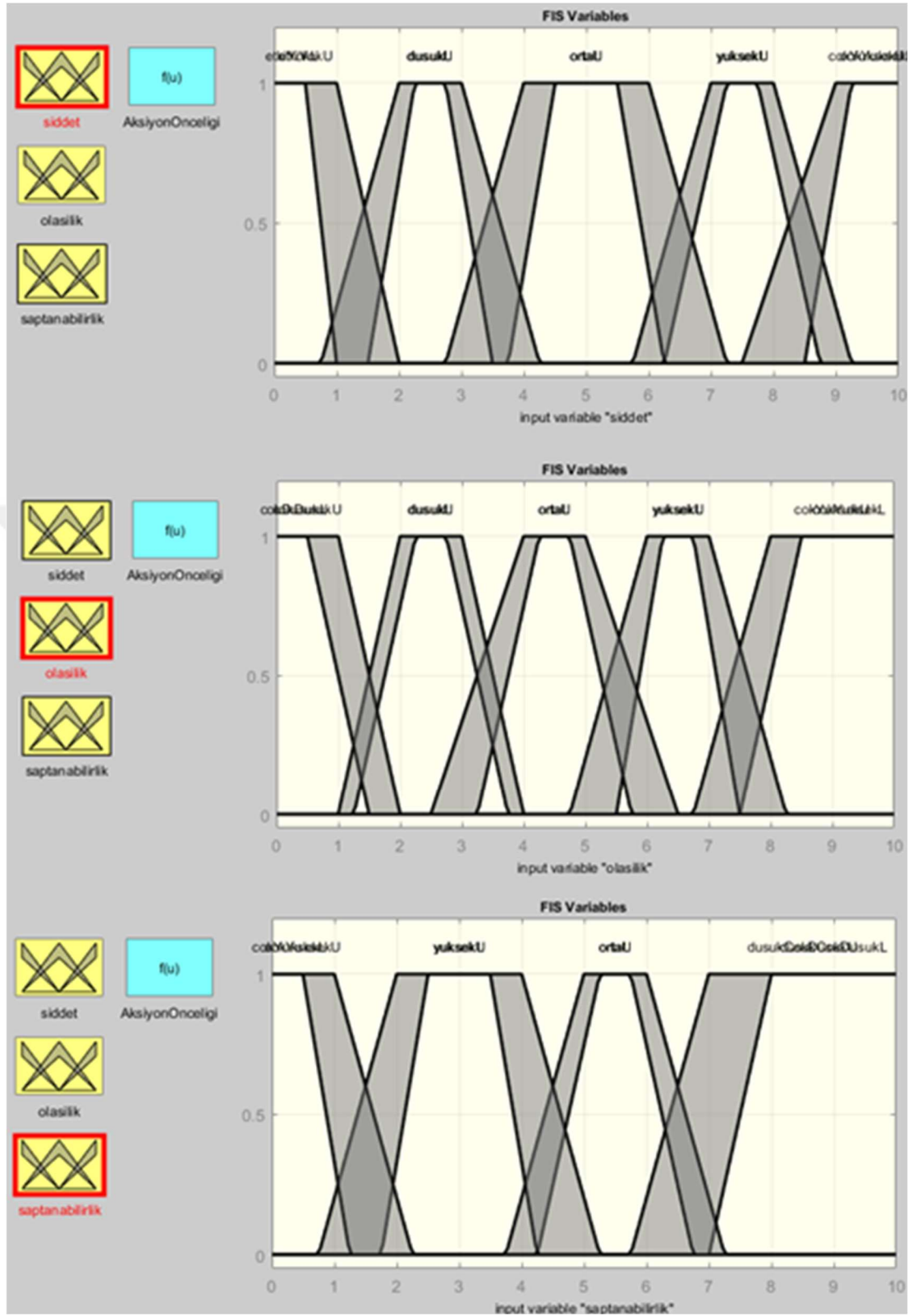
Tip-2 B-HTEA uygulanırken kullanılan üçgen üyelik fonksiyonu değerleri değiştirilmemiş olup Aralık Tip-2 Bulanık Küme yapısına bağlı olarak yalnızca AÜF'nun aitlik derecesi 1 yapılmıştır ve bu değişim Tablo 5.8.'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Üçgen Üyelik Fonksiyonu Parametleri

Şiddet (Üçgen Üyelik Fonk.)		
	ÜÜF	AÜF
Çok Düşük	[0 0,5 2,5 1]	[0 0,5 1,5 1]
Düşük	[0,5 2,5 4,5 1]	[1,5 2,5 3,5 1]
Orta	[3 5 7 1]	[4 5 6 1 1]
Yüksek	[5,5 7,5 9,5 1]	[6,5 7,5 8,5 1]
Çok Yüksek	[7,5 9,5 10 1]	[8,5 9,5 10 1]
Olasılık (Üçgen Üyelik Fonk.)		
Çok Düşük	[0 0,5 2,5 1]	[0 0,5 1,5 1]
Düşük	[0,5 2,5 4,5 1]	[1,5 2,5 3,5 1]
Orta	[2,5 4,5 6,5 1]	[3,5 4,5 5,5 1]
Yüksek	[4,5 6,5 8,5 1]	[5,5 6,5 7,5 1]
Çok Yüksek	[6,5 9 10 1]	[7,5 9 10 1]
Saptanabilirlik (Üçgen Üyelik Fonk.)		
Çok Yüksek	[0 0,5 2,5 1]	[0 0,5 1,5 1]
Yüksek	[1 3 5 1]	[1 3 5 1]
Orta	[3,5 5,5 7,5 1]	[4,5 5,5 6,5 1]
Düşük-Çok Düşük	[6 8,5 10 1]	[7 8,5 10 1]

Son olarak Aralık Tip-2 bulanık P-HTEA'nın girdi değişkenlerinin yamuk üyelik fonksiyonu olması durumu için de tekrarlanmıştır.

Bu Aralık Tip-2 yamuk üyelik fonksiyonlarının girdi değişkenleri ve üyelik fonksiyonlarının MATLAB Fuzzyt2 toolbox'ına göre gösterimi Şekil 5.12.'de verilmiştir.



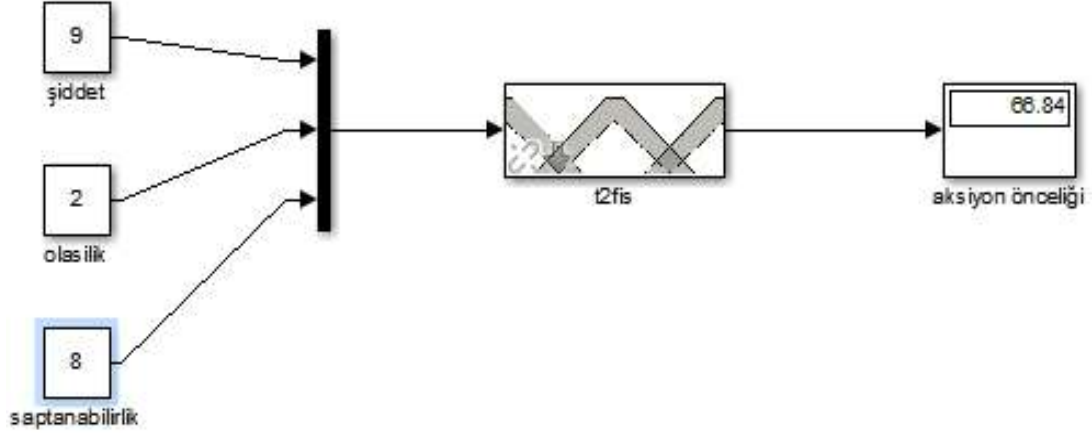
Şekil 5.12. Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik Girdi Değişkeni Aralık Tip-2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Tip-2 B-HTEA yapılırken kullanılan yamuk fonksiyonu değerleri değiştirilmemiş olup Aralık Tip-2 Bulanık Küme yapısına bağlı olarak yalnızca AÜF'nun aitlik derecesi 1 yapılmıştır. Üyelik fonksiyonu değerleri Tablo 5.9.'da verilmiştir.

Tablo 5.9. Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA Girdi Değişkeni Yamuk Üyelik Fonksiyonu Parametleri

Şiddet (Yamuk Üyelik Fonk.)		
	ÜÜF	AÜF
Çok Düşük	[0 0 1 2 1]	[0 0 0.5 1 1]
Düşük	[0.75 2 3 4.25 1]	[1.5 2.25 2.75 3.5 1]
Orta	[2.75 4 6 7.25 1]	[3.75 4.5 5.5 6.25 1]
Yüksek	[5.75 7 8 9.25 1]	[6.25 7.25 7.75 8.75 1]
Çok Yüksek	[7.5 9 10 10 1]	[8.5 9.25 10 10 1]
Olasılık (Yamuk Üyelik Fonk.)		
Çok Düşük	[0 0 1 2 1]	[0 0 0.5 1.5 1]
Düşük	[1 2 3 4 1]	[1.25 2.25 2.75 3.75 1]
Orta	[2.5 4.5 6.5 1]	[3.25 4.25 4.75 5.75 1]
Yüksek	[4.75 6 7 8.25 1]	[5.5 6.25 6.75 7.5 1]
Çok Yüksek	[6.75 8 10 10 1]	[7.5 8.5 10 10 1]
Saptanabilirlik (Yamuk Üyelik Fonk.)		
Çok Yüksek	[0 0 1 2.25 1]	[0 0 0.5 1.25 1]
Yüksek	[0.75 2 4 5.25 1]	[1.75 2.5 3.5 4.25 1]
Orta	[3.75 5 6 7.25 1]	[4.25 5.25 5.75 6.75 1]
Düşük-Çok Düşük	[5.75 7 10 10 1]	[7 8 10 10 1]

Tip-2 bulanık HTEA ve Aralık tip-2 bulanık HTEA için belirlenen kategori seviyeleri ve üyelik fonksiyonları için EK 2'de verilen kurallardan yararlanılarak farklı analiz sonuçları elde edilmiştir. MATLAB fuzzyt2 rules arayüzüne tanımlanan (Şekil 5.3.) kural tabanı ile Tip-2 ve Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA analizleri için Şekil 5.13.'te verilen model simülasyonu çalıştırılmıştır. Yenilenen kılavuz formunda bulunan hata türlerinin şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri Tablo 5.2.'de verildiği şekilde simülasyona tek tek girilmiştir ve çalıştırılmıştır. Simülasyon ile her proses için tek tek aksiyon önceliği değeri hesaplanmıştır.



Şekil 5.13. MATLAB Fuzzy Tip-2 Simülasyon Gösterimi

Analizler Klasik HTEA, P-HTEA be Bulanık tabanlı P-HTEA sonuçları Tablo 5.10.'da özetlenmiştir. P-HTEA'da sıralama aksiyon önceliğine göre yapılırken, klasik HTEA'da sıralama Risk Öncelik Sayısının (RÖS) >100 , $40-100$ ve <40 ve Bulanık P-HTEA'da sıralama ise >80 , $71-80$, $50-71$, $30-50$ ve <30 aralığına düşme durumu gözetilerek yapılmıştır. 29 adet olan hata türü klasik HTEA, aksiyon önceliği, tip-1, tip-2 ve aralık tip-2 B-HTEA aksiyon önceliği değerine göre belirlenmiş olup büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Sıralamaya göre hata türlerinin risk düzeyleri çok yüksek, yüksek, orta ve düşük olarak sırasıyla mor, kırmızı, sarı ve yeşil olarak renklendirilmiştir.

Tablo 5.10. P-HTEA Analiz Tablosu

Hata Türü	Ş	O	S	Klasik HTEA	P-HTEA	Tip-1 Bulanık P-HTEA	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)
H18	8	5	9	360	yüksek	87,2	84,5	84,5	84,5	84,5
H17	8	4	9	288	yüksek	87,2	75,07	84,5	79,79	84,5
H14	9	3	9	243	yüksek	87,2	75,07	76,12	79,79	81,36
H24	9	3	9	243	yüksek	87,2	75,07	76,12	79,79	81,36
H13	8	4	6	192	orta	70,2	73,15	73,22	71,85	72
H15	9	2	9	162	yüksek	87,2	67,17	76,12	74,41	81,36
H25	9	2	9	162	yüksek	87,2	67,17	76,12	74,41	81,36
H20	9	2	8	144	yüksek	87,2	66,84	76,12	73,76	81,36
H11	8	2	9	144	orta	70,2	65,44	72,89	67,25	71,3
H27	8	2	9	144	orta	70,2	65,44	72,89	67,25	71,3
H3	7	2	8	112	orta	70,2	62,54	63,71	65,97	67,77
H5	8	2	7	112	orta	70,2	65	34,5	65	34,5
H12	7	4	3	84	orta	70,2	62,71	63,71	66,36	67,77
H16	9	1	9	81	düşük	36,2	60,39	30,5	47,31	30,5
H29	9	1	9	81	düşük	36,2	60,39	30,5	47,31	30,5
H8	8	2	5	80	orta	70,2	62,15	62,9	64,9	66,71
H21	9	1	8	72	düşük	36,2	60,95	30,5	48,84	30,5
H22	2	4	9	72	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H19	4	2	8	64	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H1	6	1	9	54	düşük	36,2	31	30,5	31	30,5
H2	6	1	9	54	düşük	36,2	31	30,5	31	30,5
H10	8	3	2	48	düşük	36,2	65	60,89	65	53,98
H7	8	2	2	32	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H9	8	2	2	32	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H28	3	1	8	24	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H23	2	3	3	18	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H26	1	2	9	18	düşük	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H6	3	2	2	12	düşük	36,2	0	30,5	0	30,5
H4	2	1	2	4	düşük	36,2	0	30,5	0	30,5

Aksiyon öncelik sıralamasında sipariş gecikmelerinin önüne geçilebilmesi için birincil öneme sahip hata türünün H18 “hammadde stok sapması sebebi ile eksik hazıredim yapılması” olduğu görülmektedir. Bu hata türü yenilenen kılavuz formuna göre değerlendirildiğinde aksiyon önceliği değeri yüksek olarak belirlenmiştir. Klasik HTEA değeri olarak 360, tip-1 bulanık P-HTEA değeri 87,2, tip-2 bulanık P-HTEA ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA değeri üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu ile

değerlendirildiğinde 84,5 olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre en kritik hata türü olduğundan çok yüksek seviyesinde incelenmelidir.

H17 “yarımamülde stok sapması sebebi ile eksik hazırlık yapılması” hata türü için, yamuk üyelik fonksiyonu kullanılarak tip-2 ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA değeri 84,5 olarak belirlenmiştir. Diğer tüm analizler için yapılan değerlendirmeler ise yüksek risk seviyesinde olduğunu göstermiştir.

H14 ve H24 hata türleri sırasıyla “tedarik edilen malzemelerde kalite problemi yaşanması” ve “ürün ağacı hatası” için yapılan tip-1 bulanık P-HTEA ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA’da çok yüksek risk seviyesi taşırken diğer tüm analizler ile ulaşılan değerlendirmelerde, her iki hata türünün de yüksek risk seviyesinde olduğu tespit edilmiştir.

H13 hata türü "yarımamül makine kapasitesinin yetersizliği" için yapılan aksiyon önceliği ve tip-1 B-HTEA değerlendirmesi orta seviyede önemli olduğunu gösterirken, klasik HTEA, tip-2 ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA değerlendirmeleri sonucunda yüksek seviyede önemli olduğunu ortaya koymuştur.

H15, H25 ve H20 hata türleri sırasıyla "üretimi tamamlanan yarımamüllerde kalite problemi yaşanması", "tasarım hatası" ve "üretim bandında hammadde reddedilmesi" için yapılan tip-1 ve yamuk üyelik fonksiyonun kullanıldığı aralık tip-2 bulanık P-HTEA’da çok yüksek seviyede ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanıldığı tip-2 bulanık P-HTEA değerlendirmesi, orta seviyede risk düzeyinde olduğunu göstermiştir. Ancak diğer tüm analizler incelendiğinde yüksek seviyede önemli oldukları belirlenmiştir.

H11, H27 ve H3 sırasıyla "malzeme sevkiyatı sürecinde lojistik gecikmeler yaşanması", "üretilen ürünün istenilen kalite standartları aralığında olmaması" ve "satış ekiplerinin siparişleri hatalı ya da eksik iletişmesi" hata türleri, klasik HTEA, tip-2 ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA değerlendirmelerinde diğer analizlere göre orta seviyede risk taşırken, yamuk üyelik fonksiyonu değerlendirmesinde yüksek seviyede öneme sahip olduğu belirlenmiştir.

H5 "siparişlerin hatalı tarihe planlanması" hata türü, klasik HTEA değerlendirmesinde yüksek seviyede, tip-1, tip-2 ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA

değerlendirmelerinde üçgen üyelik fonksiyonu ile orta seviyede ve yamuk üyelik fonksiyonu ile düşük seviyede öneme sahip olduğu belirlenmiştir.

H12 ve H8 sırasıyla "yarımamül kalite problemleri" ve "malzemenin hatalı tarihe talep edilmesi" tüm değerlendirmeler için orta seviyede öneme sahip olduğu görülmektedir.

H16, H29 ve H21 sırasıyla "malzeme ve yarımamül eksiklik bilgisinin hatalı planlanması", "sevkiyat esnasında hasar oluşması" ve "üretim bandında yarımamül ret edilmesi" hata türleri, klasik HTEA ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak yapılan tip-2 bulanık P-HTEA değerlendirmelerinde orta seviyede, diğer tüm değerlendirmelerde düşük seviye öneme sahip olduğu belirlenmiştir.

H22, H19, H1 ve H2 sırasıyla “personel eksikliği”, “hazıredimin üretime yetişmemesi” ve “müşterinin siparişi hatalı ya da eksik iletmesi” klasik HTEA değerlendirmesi için orta seviye ve diğer tüm değerlendirmelere göre düşük seviye öneme sahip olduğu görülmektedir.

H10 “malzemenin tedarikçi tarafından teyit edilen sürede sevk edilememesi” aksiyon önceliği ve tip-1 bulanık ve aralık tip-2 bulanık P-HTEA değerlendirmesine göre düşük seviye öneme sahipken, diğer tüm değerlendirmelere göre orta seviye öneme sahip olduğu görülmektedir.

Geriye kalan H7, H9, H28, H23, H26, H6 ve H4 hata türleri tüm değerlendirmeler için düşük seviye önem derecesine sahiptir.

Yapılan Klasik HTEA, P-HTEA ve bulanık P-HTEA gibi farklı analizlerde bazı hata türleri için ortak öncelik sıralamaları elde edilmesine rağmen, farklı sıralamalar da elde edilmiştir (Tablo 5.11.).

Tablo 5.11. P-HTEA Bulanık Mantık Yaklaşımı Sıralaması

Hata Türü	Klasik HTEA	Tip-1 Bulanık P-HTEA	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)
H1	20	15	19	16	19	16
H2	21	16	20	17	20	17
H3	11	8	14	11	12	11
H4	29	17	28	18	28	18
H5	12	9	11	15	13	15
H6	28	18	29	19	29	19
H7	23	19	21	20	21	20
H8	16	10	15	13	15	13
H9	24	20	22	21	22	21
H10	22	21	12	14	14	14
H11	8	11	9	9	9	9
H12	13	12	13	12	11	12
H13	5	13	5	8	8	8
H14	3	1	2	3	2	3
H15	6	2	6	4	5	4
H16	14	22	17	22	17	22
H17	2	3	3	1	3	1
H18	1	4	1	2	1	2
H19	19	23	23	23	23	23
H20	9	5	8	5	7	5
H21	17	24	16	24	16	24
H22	18	25	24	25	24	25
H23	26	26	25	26	25	26
H24	4	6	4	6	4	6
H25	7	7	7	7	6	7
H26	27	27	26	27	26	27
H27	10	14	10	10	10	10
H28	25	28	27	28	27	28
H29	15	29	18	29	18	29

İşletmenin eldeki sınırlı kaynaklarla teslimatta gecikme problemini önlemek için hangi hata türlerini öncelikli olarak ele alacağını kararı verilirken, farklı önceliklendirmeler tespit edildiğinden hata türü önceliğini belirlemek riskli olabilir. Bu nedenle, değişkenler arasındaki ilişkileri inceleyerek tüm sıralamaları ortaklaştıran, önemli faktörleri belirleyen gri ilişki analizi yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu sayede elde edilen farklı sonuçların belirsizliği analiz edilmiştir.

5.7. Sonuçların Gri İlişki Analizi ile Değerlendirilmesi

Gri ilişki analizi, her bir hata türünün alacağı sayısal değeri kullanacağı için sözel ifadeler içeren P-HTEA’da bulunan aksiyon önceliği değerleri analiz dışında tutulmuştur. İlk olarak Tablo 5.12.’de klasik HTEA, P-HTEA ve bulanık P-HTEA yöntemlerinde elde edilen değerlerin veri seti oluşturulmuştur. 29 adet proses için tüm alternatif analizlerin min ve max değerleri belirlenmiştir.

Tablo 5.12. Gri İlişki Analizi Veri Seti

Hata Türü	Klasik HTEA	Tip-1 Bulanık P-HTEA	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)
H1	54	36,2	31	30,5	31	30,5
H2	54	36,2	31	30,5	31	30,5
H3	112	70,2	62,54	63,71	65,97	67,77
H4	4	36,2	0	30,5	0	30,5
H5	112	70,2	65	34,5	65	34,5
H6	12	36,2	0	30,5	0	30,5
H7	32	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H8	80	70,2	62,15	62,9	64,9	66,71
H9	32	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H10	48	36,2	65	60,89	65	53,98
H11	144	70,2	65,44	72,89	67,25	71,3
H12	84	70,2	62,71	63,71	66,36	67,77
H13	192	70,2	73,15	73,22	71,85	72
H14	243	87,2	75,07	76,12	79,79	81,36
H15	162	87,2	67,17	76,12	74,41	81,36
H16	81	36,2	60,39	30,5	47,31	30,5
H17	288	87,2	75,07	84,5	79,79	84,5
H18	360	87,2	84,5	84,5	84,5	84,5
H19	64	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H20	144	87,2	66,84	76,12	73,76	81,36
H21	72	36,2	60,95	30,5	48,84	30,5
H22	72	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H23	18	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H24	243	87,2	75,07	76,12	79,79	81,36
H25	162	87,2	67,17	76,12	74,41	81,36
H26	18	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H27	144	70,2	65,44	72,89	67,25	71,3
H28	24	36,2	30,5	30,5	30,5	30,5
H29	81	36,2	60,39	30,5	47,31	30,5
Min	4	36,2	0	30,5	0	30,5
Max	360	87,2	84,5	84,5	84,5	84,5

Gri ilişki analizinde ikinci olarak yüksek risk değerine sahip olan hata türleri bulunmak istendiğinden Tablo 5.12.'de verilen değerler Eşitlik (3.2.) kullanılarak normalizasyonu yapılmıştır. Veri setinde bulunan referans değerinin min değeri ile farkı, max ve min değerinin farkına bölünerek veri normalizasyonu ile Tablo 5.13. elde edilmiştir.

Tablo 5.13. Gri İlişki Analizi Normalizasyonu

Hata Türü	Klasik HTEA	Tip-1 Bulanık HTEA	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)
H1	0,140	0,000	0,367	0,000	0,367	0,000
H2	0,140	0,000	0,367	0,000	0,367	0,000
H3	0,303	0,667	0,740	0,615	0,781	0,690
H4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H5	0,303	0,667	0,769	0,074	0,769	0,074
H6	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H7	0,079	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H8	0,213	0,667	0,736	0,600	0,768	0,671
H9	0,079	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H10	0,124	0,000	0,769	0,563	0,769	0,435
H11	0,393	0,667	0,774	0,785	0,796	0,756
H12	0,225	0,667	0,742	0,615	0,785	0,690
H13	0,528	0,667	0,866	0,791	0,850	0,769
H14	0,671	1,000	0,888	0,845	0,944	0,942
H15	0,444	1,000	0,795	0,845	0,881	0,942
H16	0,216	0,000	0,715	0,000	0,560	0,000
H17	0,798	1,000	0,888	1,000	0,944	1,000
H18	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
H19	0,169	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H20	0,393	1,000	0,791	0,845	0,873	0,942
H21	0,191	0,000	0,721	0,000	0,578	0,000
H22	0,191	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H23	0,039	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H24	0,671	1,000	0,888	0,845	0,944	0,942
H25	0,444	1,000	0,795	0,845	0,881	0,942
H26	0,039	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H27	0,393	0,667	0,774	0,785	0,796	0,756
H28	0,056	0,000	0,361	0,000	0,361	0,000
H29	0,216	0,000	0,715	0,000	0,560	0,000

Gri ilişki analizinde üçüncü aşama Eşitlik (3.5) kullanılarak uzaklık matrisi elde edilmiştir. Tablo 5.14.'te klasik HTEA ve bulanık HTEA değerlerinin referans değerlerinden olan uzaklıkları verilmiştir.

Tablo 5.14. Gri İlişki Analizi Uzaklık Matrisi

Hata Türü	Klasik HTEA	Tip-1 Bulanık HTEA	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)
H1	0,860	1,000	0,633	1,000	0,633	1,000
H2	0,860	1,000	0,633	1,000	0,633	1,000
H3	0,697	0,333	0,260	0,385	0,219	0,310
H4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
H5	0,697	0,333	0,231	0,926	0,231	0,926
H6	0,978	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
H7	0,921	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H8	0,787	0,333	0,264	0,400	0,232	0,329
H9	0,921	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H10	0,876	1,000	0,231	0,437	0,231	0,565
H11	0,607	0,333	0,226	0,215	0,204	0,244
H12	0,775	0,333	0,258	0,385	0,215	0,310
H13	0,472	0,333	0,134	0,209	0,150	0,231
H14	0,329	0,000	0,112	0,155	0,056	0,058
H15	0,556	0,000	0,205	0,155	0,119	0,058
H16	0,784	1,000	0,285	1,000	0,440	1,000
H17	0,202	0,000	0,112	0,000	0,056	0,000
H18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H19	0,831	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H20	0,607	0,000	0,209	0,155	0,127	0,058
H21	0,809	1,000	0,279	1,000	0,422	1,000
H22	0,809	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H23	0,961	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H24	0,329	0,000	0,112	0,155	0,056	0,058
H25	0,556	0,000	0,205	0,155	0,119	0,058
H26	0,961	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H27	0,607	0,333	0,226	0,215	0,204	0,244
H28	0,944	1,000	0,639	1,000	0,639	1,000
H29	0,784	1,000	0,285	1,000	0,440	1,000

Eşitlik (3.6) kullanılarak hesaplanan gri ilişki karar matrisi Tablo 5.15.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.15. Gri İlişki Katsayıları

Hata Türü	Klasik HTEA	Tip-1 Bulanık P-HTEA	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Üçgen)	Aralık Tip-2 Bulanık P-HTEA (Yamuk)	Gri İlişki Derecesi	Sıralama
H1	0,368	0,333	0,441	0,333	0,441	0,333	0,375	21
H2	0,368	0,333	0,441	0,333	0,441	0,333	0,375	21
H3	0,418	0,600	0,658	0,565	0,695	0,617	0,592	11
H4	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	29
H5	0,418	0,600	0,684	0,351	0,684	0,351	0,515	14
H6	0,338	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,334	28
H7	0,352	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,372	23
H8	0,389	0,600	0,654	0,556	0,683	0,603	0,581	13
H9	0,352	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,372	23
H10	0,363	0,333	0,684	0,533	0,684	0,469	0,511	15
H11	0,452	0,600	0,689	0,699	0,710	0,672	0,637	9
H12	0,392	0,600	0,660	0,565	0,700	0,617	0,589	12
H13	0,514	0,600	0,788	0,705	0,770	0,684	0,677	8
H14	0,603	1,000	0,818	0,763	0,900	0,896	0,830	3
H15	0,473	1,000	0,709	0,763	0,807	0,896	0,775	5
H16	0,389	0,333	0,637	0,333	0,532	0,333	0,426	17
H17	0,712	1,000	0,818	1,000	0,900	1,000	0,905	2
H18	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1
H19	0,376	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,376	20
H20	0,452	1,000	0,705	0,763	0,797	0,896	0,769	7
H21	0,382	0,333	0,642	0,333	0,542	0,333	0,428	16
H22	0,382	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,377	19
H23	0,342	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,370	26
H24	0,603	1,000	0,818	0,763	0,900	0,896	0,830	3
H25	0,473	1,000	0,709	0,763	0,807	0,896	0,775	5
H26	0,342	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,370	26
H27	0,452	0,600	0,689	0,699	0,710	0,672	0,637	9
H28	0,346	0,333	0,439	0,333	0,439	0,333	0,371	25
H29	0,389	0,333	0,637	0,333	0,532	0,333	0,426	17

Gri ilişki analizinde son olarak Eşitlik (3.7) kullanılarak elde edilen klasik HTEA ve bulanık P-HTEA değerlerinin gri ilişki dereceleri hesaplanmıştır.

6. SONUÇ

Günümüzde işletmeler, rekabetin oldukça yoğun olduğu ve değişken bir ortamda faaliyet göstermektedir. Bu nedenle, müşteri odaklı kalitenin sağlanması ve müşteri beklentilerinin karşılanması büyük önem taşır. İşletmelerin kaliteli ürün ve hizmet sunmaları için, olası hataların önceden tespit edilerek engelleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu amaçla HTEA, yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir.

P-HTEA, klasik HTEA yöntemine göre birçok avantaj sunan yenilikçi bir yöntemdir. Aksiyon önceliği kavramı sayesinde sadece üç kategoriye odaklanarak hataların değerlendirilmesi, yöntemin öne çıkan özelliklerinden biridir. Bu sayede, bir sıralama yapmadan hataların önemi değerlendirilebilir. P-HTEA'daki aksiyon önceliği tablosundan yararlanarak, belirli bir kural tabanı oluşturulabilir. Bu kural tabanı, bulanık mantık yaklaşımı ile analiz edilerek, bir sıralama elde edilebilir. Bu sıralama, sınırlı kaynakların en etkili şekilde kullanılması için belirli hatalara öncelik verilmesine yardımcı olabilir.

Bu tez kapsamında, ankastre sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin müşterilere siparişlerin teslimatında yaşanan gecikme sorunu ele alınmaktadır. Bu sorunun çözümü için AIAG & VDA tarafından 2019 yılında yayınlanan kılavuz formu kullanılarak P-HTEA çalışması yapılmıştır. Ancak, oluşabilecek belirsizliğin analiz edilmesi için bulanık mantık yaklaşımı da kullanılarak bulanık P-HTEA çalışmaları yapılmıştır. P-HTEA'da aksiyon önceliklendirme tablosundaki öncelik değerlerine göre bulanık mantık kuralları oluşturulmuştur. Analizlerde karar vericilerin dilsel ifadelerindeki belirsizliğin analiz edilmesi için farklı üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Tip-2 ve Aralık Tip-2 bulanık P-HTEA'larda hata türlerinin öncelikleri daha hassas bir şekilde elde edilmiştir. Yamuk üyelik fonksiyonun kullanıldığı Tip-2 ve Aralık Tip-2 P-HTEA'da büyük bir fark gözlemlenmektedir. Bu farklılık hata türlerinin Tip-2 ve Aralık Tip-2 P-HTEA'dan elde edilen çok yüksek risk seviyesinden kaynaklanmaktadır. P-HTEA'da yalnızca 3 kategoride değerlendirilen hata türleri Tip-2 ve Aralık Tip-2 bulanık P-HTEA'larda farklı sayısal değerlerle sıralandırılmıştır.

Farklı yöntemlerle elde edilen hata türü öncelik sıralamaları, değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesi ve önemli faktörlerin sıralanması için gri ilişki analizi ile ortak bir sıralamaya dönüştürülmüştür (Tablo 6.1.).

Tablo 6.1. Gri İlişki Analizi Önceliklendirmesi

Sıralama	Hata Türü	Gri İlişki Derecesi	Sıralama	Hata Türü	Gri İlişki Derecesi	Sıralama	Hata Türü	Gri İlişki Derecesi
1	H18	1	8	H3	0,592	17	H1	0,375
2	H17	0,905	9	H12	0,589	17	H2	0,375
3	H14	0,83	10	H8	0,581	18	H7	0,372
3	H24	0,83	11	H5	0,515	18	H9	0,372
4	H15	0,775	12	H10	0,511	19	H28	0,371
4	H25	0,775	13	H21	0,428	20	H23	0,370
5	H20	0,769	14	H16	0,426	20	H26	0,370
6	H13	0,677	14	H29	0,426	21	H6	0,334
7	H11	0,637	15	H22	0,377	22	H4	0,333
7	H27	0,637	16	H19	0,376			

Gri ilişki analizi ile elde edilen önceliklendirme sonucunda işletme içerisinde yaşanan “H18” ve “H17” hammadde ve yarımamül stok sapmalarının sipariş gecikmeleri için çok büyük sorun teşkil ettiği belirlenmiştir. Bu inceleme sonucunda hammadde ve yarımamül stoklarının düzeltilmesi ve stok tutarlılığının sürdürülmesi yönünde iyileştirme yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Bu sorunu takip eden bir diğer sorun “H14” tedarik edilen hammaddelerin istenilen kalite seviyesinde olmaması ile siparişlerin üretilmemesi veya geç üretilmesine sebep olmaktadır. Bu sorunun çözümü hammaddelerin GKK tarafından daha sıkı bir şekilde kontrol edilmesi ve tedarikçilerle birlikte hammadde kalitesini artırmaya yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmasıdır.

“H24” ürün ağacı hatası ürünlerin kalitesi, malzeme eksiğine dolayısıyla üretim teslimatının gecikmesi ve yanlış malzeme sebepli iş kazaları vb. gibi problemlere sebep olmaktadır. Bu durum için alınacak önlemler ise, ürün ağaçlarının oluşturulması sırasında tecrübeye dayalı kontrollerin sıklaştırılması için çalışmalar yapılmasıdır.

“H15”, “H25” ve “H20” prosesleri sırasıyla üretimi tamamlanan yarımamüllerde kalite problemi yaşanması, tasarım hatası ve üretim bandında hammadde reddedilmesi gibi kalitesel problemlerin öncelikli olarak iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen problemler iyileştirildiğinde sipariş gecikmelerinin yüksek oranda düzeleceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- Acar, M., Haberler-Weber, M. and Tevfik, A. 2008. Bulanık çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi G r pınar  rneđi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*:98, 28-35.
- Aguiar, J., Scalice, R. K. and Bond, D. 2018. Using fuzzy logic to reduce risk uncertainty in failure modes and effects analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40:11.
- Akyuz, E., Akgun, I. and Celik, M. 2016. A fuzzy failure mode and effects approach to analyse concentrated inspection campaigns on board ships. *Maritime Policy & Management*, 43:7, 887-908.
- Akyuz, E. and Celik, E. 2018. A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill. *Maritime Policy & Management*, 45:8, 979-994.
- Altunbey, E. M. 2015. HTEA'da ağırlıklandırılmış aralık tip 2 bulanık kural tabanı sistemi yaklaşımı ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Aras, A.  . 2014. Bulanık modelleme uygulamaları için tip-2 bulanık kümeleme. Doktora Tezi. Bođaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- Aprilia, A. R., Santoso, I. and Ekasari, D. M. 2017. *7th International Conference on Global Resource Conservation*.
- Atalay, E. B. 2019. Bulanık mantık ve gri teori esaslı HTEA ile kablo sektöründe hata  nceliklendirme. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Anabilim Dalı.
- Aydemir, E., Bedir, F., &  zdemir, G. (2013). Gri Sistem Teorisi Ve Uygulamaları: Bilimsel Yazın Taraması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3), 187-200.
- Bai, Ying, and Zvi S. Roth. 2019. "Interval type-2 fuzzy logic controllers." Classical and Modern Controls with Microcontrollers. *Springer*, Cham,. 549-579.
- Bilgin,  . 2006. Hata türü ve etkileri analizinde bulanık mantık uygulaması. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Boran, S. 1996. Hata şekli ve Etkileri Analizi'nin Bulanık Küme Yaklaşımıyla     mlenmesi Olanağı. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 57454.
- Bozdog, E., Asan, U., Soyer, A. and Serdarasan, S. 2015. Risk prioritization in Failure Mode and Effects Analysis using interval type-2 fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 42:8, 4000-4015.
- Bulat, E., 2022. Bir cevher zenginleştirme tesisinde operat rlerin  alıřma optimizasyonunun üretim ve enerji verimliliđine etkisi. Yüksek Lisans G m řhane Üniversitesi, Lisans st  Enstitüsü.
- Chanamool, N. and Naenna, T. 2016. Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing*, 43, 441-453.
- Chin, K. S., Chan, A. ve Yang, J. B. (2008) "Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 36, s. 7-8, s. 638.

- Çakmak, M. 2015. Demir-çelik sektöründe bulanık hata türleri ve etkileri analizi (FUZZY FMEA) yöntemi ile risk değerlendirme uygulaması.
- Çeber, Y. 2010. Hata türü ve etkileri analizi yönteminin (fmea) üretim sektöründe uygulanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Ün,versitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.
- Cicka, M., Turisová, R., & Cicková, D. (2022). Risk Assessment Using the PFDA-FMEA Integrated Method. *Quality Innovation Prosperity*, 26(3), 112-134.
- Doğan, Onur. 2019. "Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) talep tahmini için kullanımı ve bir uygulama." Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 31.1: 257-288.
- Fabis-Domagala, J., & Domagala, M. (2022). A Concept of Risk Prioritization in FMEA of Fluid Power Components. *Energies*, 15(17), 6180.
- Geramian, A., Abraham, A. and Nozari, M. A. 2019. Fuzzy logic-based FMEA robust design: a quantitative approach for robustness against groupthink in group/team decision-making. *International Journal of Production Research*, 57:5, 1331-1344.
- Geramian, A., Shahin, A., Minaei, B. and Antony, J. 2020. Enhanced FMEA: An integrative approach of fuzzy logic-based FMEA and collective process capability analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 71:5, 800-812.
- Haider, H., Alkhowaiter, M. H., Shafiquzzaman, M. D., Alresheedi, M., AlSaleem, S. S. and Ghumman, A. R. 2021. Source to Tap Risk Assessment for Intermittent Water Supply Systems in Arid Regions: An Integrated FTA-Fuzzy FMEA Methodology. *Environ Manage*, 67:2, 324-341.
- John, Robert, and Simon Coupland. 2012. "Type-2 fuzzy logic: challenges and misconceptions [discussion forum]." *IEEE Computational Intelligence Magazine* 7.3: 48-52.
- Kahraman, C. 2016. A comprehensive literature review of 50 years of fuzzy set theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(sup1), 3-24.
- Kahraman, C., Kaya, İ. and Şenvar, Ö. 2013. Healthcare Failure Mode and Effects Analysis Under Fuzziness. Human and Ecological Risk Assessment: *An International Journal*, 19:2, 538-552.
- Komatina, N., Tadić, D., Aleksić, A., & Banduka, N. (2022). The integrated PFMEA approach with interval type-2 fuzzy sets and FBWM: A case study in the automotive industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: *Journal of Automobile Engineering*, 236(6), 1201-1212.
- Korkmaz, E. 2010. Hata türleri ve etkileri analizi ve otomotiv yan sanayi sektöründe uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilimdalı.
- Lange, K., Leggett, S. and Baker, B. 2001. Potential failure mode and effects analysis (FMEA) reference manual. AIAG, Southfield, Michigan.
- Liu, H. C., Liu, L., Liu, N. and Mao, L. X. 2012. Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39:17, 12926-12934.
- Liu, H. C., Liu, L. and Lin, Q. L. 2013. Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning and Belief Rule-Based Methodology. *Ieee Transactions on Reliability*, 62:1, 23-36.
- Mendel, J. M. 1995. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83:3, 345-377.

- Mendel, J. (2001) Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. *Prentice-Hall, NJ*.
- Nuchpho, P., Nansaarn, S. and Pongpullponsak, A. 2019. Modified Fuzzy FMEA Application in the Reduction of Defective Poultry Products. *Engineering Journal-Thailand*, 23:1, 171-190.
- Özkiliç, Özlem. 2005. "İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri." *TİSK Yayınları*, Ankara.
- Qin, J., Xi, Y. and Pedrycz, W. 2020. Failure mode and effects analysis (FMEA) for risk assessment based on interval type-2 fuzzy evidential reasoning method. *Applied Soft Computing*, 89.
- Ross, T., J. 2010. Fuzzy logic with engineering applications. John Wiley & Sons.
- Sang, A. J., Tay, K. M., Lim, C. P. and Nahavandi, S. 2018. Application of a Genetic-Fuzzy FMEA to Rainfed Lowland Rice Production in Sarawak: Environmental, Health, and Safety Perspectives. *Ieee Access*, 6, 74628-74647.
- Srivastava, P., Khanduja, D. and Ganesan, S. 2020. Fuzzy methodology application for risk analysis of mechanical system in process industry. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11:2, 297-312.
- Stamatis, D. H. 2003. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. *Quality Press*,
- Taşkın, A., Kumbasar, T. 2015. An Open Source Matlab/Simulink Toolbox for Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems. 2015 IEEE Symposium Series on Computational
- Tay, K. M. and Lim, C. P. 2006. Applications of Soft Computing: *Recent Trends*, 301-310.
- Turan, M. 2018. Transformatör üreten bir firmada bulanık fmea ile risk analizi uygulaması. Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yakupoğlu, T., Özdemir, N. and Ekberli, İ. 2008. Toprak Erozyon Çalışmalarında Bulanık Mantık Uygulamaları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 23:2, 121-130.
- Yazıcı, K., Gokler, S. H. and Boran, S. 2020. An integrated SMED-fuzzy FMEA model for reducing setup time. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), 1547-1561.
- Yörükoğlu, H. 2014. Yenilenebilir enerji kaynakları risklerinin Fuzzy-FMEA yöntemi ile analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Zadeh, L., 1965. Fuzzy sets. *Inform Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L., A. 1979. Fuzzy sets and information granularity. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers, 433-448.
- Zaman, M. B., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Khanfir, S., Pitana, T. and Maimun, A. 2014. Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data. *Journal of Simulation*, 8:1, 91-104.
- Zhu, R., Bhutta, Z. M., Zhu Y., Ubaidullah, F., Saleem, M., Khalid, S. 2022. Grey Relational analysis of Country-level Entrepreneurial environment: A Study of Selected Forty-Eight Countries. *Frontiers in Environmental Science*.
- Zimmermann, H.-J. 2011. Fuzzy set theory-and its applications. *Springer Science & Business Media*.
- URL-1, Sigma Center, <https://sigmacenter.com.tr/aiag-vda-fmea/> adresinden 03.10.2021 tarihinde erişildi.

URL-2, Sigma Akademi, Yeni Proses FMEA (AIAG-VDA) bir örnek paylaşım videosu,
<https://www.youtube.com/watch?v=0YALpJaKcwQ> adresinden erişildi.



EKLER

(Ek 1)

ABC A.Ş.		ABC A.Ş. PFMEA Formu												
Müşteri				FMEA No				Başlama Tarihi						
Parça Adı				Proses Sorumlusu				Revizyon No						
Araç / Model / Yıl				Gizlilik Derecesi				Revizyon Tarihi						
PFMEA Ekibi								Hazırlayan						
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristیکlerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Satış ekiplerinin müşterilerden siparişi alması	Sipariş alma	Müşteri - satış planlama - sistem SAP	Müşteri tarafından talep edilen ürün ve adetlerin kaydedilmesi	Sipariş sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için sipariş adetlerinin doğru bir şekilde kaydedilmesi	Müşteri: istediği sipariş adedini oluşturur - satış planlama: müşterinin istediği adede göre sisteme sipariş girer - sistem SAP: girilen siparişi saklar	Son kullanıcı: satış ekiplerinin fabrika sistemine yanlış sipariş oluşturması	6	Müşterinin siparişi hatalı yada eksik iletmesi	Müşteri siparişi yanlış iletir	Sipariş adedinin kontrol edilmesi	1	Satış ekiplerinin müşteriye göndermiş olduğu bio raporlarından	9	Düşük (H1)
							6	Müşterinin siparişi ihtiyacına yönelik iletmemesi			1	Müşterinin ilettiği sipariş talebine göre ürünler sevk edildiğinde müşterinin yanlışlığı farketmesi	9	Düşük (H2)
Satış ekiplerinin üretim tesisine siparişleri iletmesi	Sipariş iletme	Satış planlama - üretim planlama - sistem SAP	Müşteri tarafından talep edilen ürün ve adetlerin üretim fabrikasına iletilmesi	Müşterilerden gelen siparişlerin SAP sistemine doğru bir şekilde girilmesi	Satış planlama: müşterinin istediği sipariş adedini istenilen tarihe göre sisteme girer - Üretim planlama: sisteme girilen siparişin alınması	Son kullanıcı: üretim planlamanın sisteme yanlış sipariş girmesi	7	Satış ekiplerinin siparişleri hatalı yada eksik iletmesi	Satış ekibi siparişleri hatalı iletir. (adet girilirken fazla tuşa basar)	Sisteme girilen adet ve fiili sipariş miktarı kontrol edilmelidir	2	Satış ekiplerinin müşteri ile teyitleşirken yanlışlığı farketmesi	8	Orta (H3)
İletilen siparişlerin taslak üretim planını oluşturması	Taslak plan oluşturma	Üretim planlama - sistem SAP	Talep edilen siparişlerin müşterinin dolayısıyla satış ekibinin istediği miktar ve tarihe göre planlanması	SAP sistemine girilen siparişlerin onaylanarak Crossas Teslim tarihine göre terminlenmesi ve üretim kısıtlarına göre taslak planın oluşturulması	Üretim planlama: sistemden alınan siparişlerin istenilen adette istenilen termn tarihine göre üretim taslak planına dahil edilmesi - Sistem SAP: taslak planda bulunan ürünlerin verilerinin saklanması	Fabrika: ürün üretilirken üretimde bulunan personelin ürüne yabancı olmasından kaynaklı kalite hatası yaşaması - Son kullanıcı: ürünün üretilirken cycle time kaybı yaşaması - Fabrika: hammadde stok artışı, yarımamül makine kapasitesinin fazla olması	2	Siparişlerin hatalı banda planlanması	Üretim planlama ekibinin ürünlerin üretilebilir olduğu bant hakkında hatalı yada yanlış bilgisi	Ürünlerin üretilebilir olduğu bantlar standartlaştırılmalıdır	1	Günlük üretim planlarında kontrol sağlarken farkedilmesi	2	Düşük (H4)
							8	Siparişlerin hatalı tarihe planlanması	Üretim planlama ekibinin ürünün üretim tarihinde yanlış atama yapması	Satış ekiplerinin taleplerine uymayan siparişleri üretim planlama ekiplerine bildirmesi	2	Satış ekiplerinin sevkiyat planına göre yanlışlık olduğunu farketmesi	7	Orta (H5)
							3	Kapasitenin üzerinde üretim planlanması	Üretim planlama ekibinin montaj hattında üretilebilecek miktardan fazla ürün planlaması	Opsiyon olarak tutulan ürünlerin kapasiteye göre dağıtılması	2	Genel kontroller yapılırken	2	Düşük (H6)

Malzeme ihtiyaç planlama çalışmalarının yapılması	Malzeme çaişması	Malzeme planlama - satın alma - sistem SAP	Oluşturulan taslak plana göre gerekli hammaddelerin tedarığı için hammadde siparişlerinin açılması	SAP sisteminde terminlenen siparişlerin üretim tarihine göre eksik malzemelerinin malzeme planlama ekibi tarafından malzeme çalışması yapılarak malzeme siparişlerinin SAP sisteminde açılması	Malzeme planlama: sistemde açık siparişi bulunan ürünlerin malzeme ihtiyaçlarının siparişlerinin açılması - Satın alma: malzeme planlamanın açtığı malzeme siparişlerinin zamanında tedarığı - sistem SAP: üretilecek ürünlerin ihtiyacına göre malzeme siparişi oluşturma ve sistemsel veri saklanması	Fabrika: gerekli olan sipariş adedinden az ise ,istenilen sipariş adedinin üretilmemesi, fazla ise stok fazlalığı ve fazla maliyet problemi - son kullanıcı: siparişin eksik adetli sistem stoklarında bulunması yada hiç stoklaşmaması	8	Malzeme ihtiyaç adedinin hatalı iletilmesi	Malzeme planlama ekibinin ihtiyaç adedinden farklı malzeme siparişi açması	Hammaddde anaveri güncellemeleri yapılarak terminlerin plan tarihine ve adedine uygunluğunun sağlanması	2	Malzeme planlama ekibinin MRP ekranlarının düzenli ve anlık takibi	2	Düşük (H7)
							8	Malzemenin hatalı tarihe talep edilmesi	Malzeme planlama ekibinin ihtiyaç gününden sonraki tarihe talep açması		2		5	Orta (H8)
Malzeme tedarik süreçlerinin gerçekleşmesi	Hammadde tedarik	Satın alma - tedarikçi - GKK mühendisi	Malzeme planlama ekibi tarafından siparişi açılan hammaddelerin satın alma ekibi tarafından tedarikçilerle anlaşması ve malzeme tedarığının yapılması	Siparişlerin üretimlerinin zamanında tamamlanabilmesi için mazlemelerin ihtiyaç oluşan vakitte tedarik edilebilmesi	Satın alma: malzeme planlamanın oluşturduu malzeme ihtiyacına göre tedarikçi ile anlaşma - tedarikçi: istenilen ürünlerin sevki - GKK mühendisi: tedarik edilen malzemelerin istenilen kalite standartlarında olup olmadığının kontrolü	Fabrika: üretim planlarında revizyon ile ürün kaybı hatta vardiya kayıpları - planlanan tarihte üretileceği düşünülen ürünün bilgisiyle satışçıların sevkiyat planlaması	8	Malzemenin tedarikçinin hammadde probleminden kaynaklı teyit edilen sürede sevk edilememesi	Tedarikçinin yaşadığı hammadde problemi	Tedarik edilecek malzemenin tedarikçisi ile hammadde durumunun teyitleşilmesi	2	Tedarikçi, satın alma ve malzeme planlama ekibinin sistem termin ve adetlerini karşılıklı teyitleşerek kontrol etmesi	2	Düşük (H9)
							8	Malzemenin tedarikçinin kapasite doluluğundan kaynaklı teyit edilen sürede sevk edilememesi	Tedarikçinin yaşadığı kapasite problemi	Tedarik edilecek malzemenin tedarikçisi ile üretilabilir kapasite durumunun teyitleşilmesi	3		2	Düşük (H10)
							8	Malzeme sevkiyatı sürecinde lojistik gecikmeler yaşanması	Tedarikçinin sevkiyat sürecinde problem yaşaması kar yağışı, sevkiyat şoförünün molaları, yeterli yükleme kapasitesine ulaşamama)	Tedarik edilecek malzemenin zaman opsiyonu verilerek yada alternatif tedarikçi ile çalışarak üretim planlarına alınması	2	Satın almanın sevkiyat sırasında tedarik aracıyla iletişimde olması	9	Orta (H11)
Yarımamül hazırlık süreçlerinin gerçekleşmesi	Yarımamül süreci	Üretim planlama - üretim	Taslak planda yer alan siparişlerin üretileceği tarihe göre yarımamül hazırlıklarının yapılması	Plan üretim tarihine göre üretilcek siparişlerin yarımamül siparişlerinin SAP sisteminde açılması ve üretim (arka hatlar) ekibinin yarımamül siparişlerini üretmesi	Üretim planlama: taslak plana göre üretilmesi gereken ürünlerin yarımamül iş emirlerinin açılması -	Fabrika: montaj hattında aksama, eksik adet yada hiç üretilmeme kaynaklı vardiya kayıpları	7	Yarımamül kalite problemleri	Yarımamül hammaddesinin istenilen kalitede üretilmemesi	Yarımamül hammaddesinin gkk tarafından kontrolünün sıkılaştırılması	4	Yarımamül üretimi sırasında operatörlerin yarımamül kalitesinin istenilen standartlarda olmadığını farketmesi	3	Orta (H12)
							8	Yarımamül makine kapasitesinin yetersizliği	Üretim planına göre hazırlanan yarımamül iş emirlerinin benzer ürünlerin çokluğundan kapasiteyi aşması	Ürün dağılımının makine kapasitesine göre planlanması	4	Üretim mühendisinin üreteceği yarımamüllerin planını yaparken kapasitesinin yetersizliğini farketmesi	6	Orta (H13)

Malzeme ve yarımamül hazırlık durumuna göre kesin üretim planının hazırlanması	Günlük üretim planı hazırlama süreci	Üretim planlama - malzeme planlama - üretim (arka hatlar)	Üretilecek ürünlerin ön hazırlıklarını kontrol ederek üretim sırasını belirlenmesi ve düzenlenmesi	Üretim planlama ekibi tarafından üretilmesi planlanan siparişlerin son kontrolünü yapıp eksik yarımamül ve malzeme durumuna göre günlük plan düzenlemesi yapmak	Üretim planlama: malzeme ve yarımamül durumuna göre kesin üretim planını güncelleme - malzeme planlama: kesin üretim planına göre malzeme tedarik süreci teslimatlarının kontrolü - üretim (arka hatlar): yarımamül iş emirlerine göre yarımamül hazırlığı ve üretimini yapmak	Fabrika: üretilmesi planlanan ürünün üretilmemesi, hatalı planlama yapıldığında malzemesi tam olan üretililebilecek ürünün ötelenmesi kaynaklı eksik ürün üretimi	9	Tedarik edilen malzemelerde kalite problemi yaşanması	Hammadde istenilen kalite standartlarına uymaz	Hammadde olan malzemelerin gkk tarafından kontrolünün sıklaştırılması	3	GKK tarafından malzeme girişleri yapılırken hammaddenin kalitesinin kontrolü	9	Yüksek (H14)
							9	Üretimi tamamlanan yarımamüllerde kalite problemi yaşanması	Yarımamül istenilen kalite standartlarına uymaz	Yarımamül üretimi esnasında daha özenli üretim sağlamak (makine bakımları, ekipman temizliği)	2	Üretim montaj hattında yarımamüllerin istenilen standartlarda olmadığına tespiti	9	Yüksek (H15)
							9	Malzeme ve yarımamül eksiklik bilgisinin hatalı planlanması	Eksik malzeme bilgisine rağmen siparişin üretim planından çıkarılması atlanır	Stok girdi çıktısının kontrollü yapılması	1	Günlük üretim planlarında bulunan üretilecek siparişlerin malzemelerinin hazır edim aşamasında kontrol edilirken eksik olduğunun farkına varılması	9	Düşük (H16)
Siparişlerin hazıredimlerinin yapılması	Üretilecek ürünlerin malzemelerinin toplanması	Hammadde depo - yarımamül depo	Yapılan günlük üretim planlarına göre üretilecek olan ürünlerin hammaddelerinin ve yarımamüllerinin üretim alanına taşınması	Günlük planlara göre üretilecek siparişlerin üretim sırasına göre yarımamül ve malzemelerinin MDO'lar tarafından üretim montaj hattına transferi	Hammadde depo: kesin üretim planına göre üretilecek ürünlerin hammaddelerinin üretilecek istasyon için hazırlanması - Yarımamül depo: kesin üretim planına göre üretilecek ürünlerin yarımamüllerinin üretilecek istasyon için hazırlanması	Fabrika: montaj hattında üretilecek ürünlerin malzemelerinin beklenmesi kaynaklı performans eksikliği, ürünlerin eksik üretilmesi	8	Yarımamül stok sapması sebebi eksik hazıredim yapılması	Sistemsel yarımamül stoklarının fiili stoklar ile uyuşmaması	Stok girdi çıktısının kontrollü yapılması, har yarımamülün barkod sistemi ile sistemsel hareketinin yapılması	4	Yarımamüllerin hazıredim aşamasında adetlerinin yetersiz olduğunun farkedilmesi	9	Yüksek (H17)
							8	Hammadde stok sapması sebebi ile eksik hazıredim yapılması	Sistemsel hammadde stoklarının fiili stoklar ile uyuşmaması, üretimden bakiye kalan malzemelerin gerekli stok işlemlerinin yapılmaması	Stok girdi çıktısının kontrollü yapılması	5	Hammaddelerin hazıredim aşamasında adetlerinin yetersiz olduğunun farkedilmesi	9	Yüksek (H18)
							4	Hazıredimin üretime yetişmemesi	Günlük üretim planının ürün çeşitliliğinin fazla olması	Ürün çeşitliliğinin az olması	2	Üretim esnasında montaj hattının duruş yaşaması sırasında malzemenin gelmediğinin farkedilmesi	8	Düşük (H19)

Siparişlerin üretilmesi	Üretim süreci	Bant - operatör - yarımamüller - hammaddeler	Ürünlerin üretim montaj hattında üretilmesi	Günlük planlara göre üretilecek olan ürünlerin üretim montaj hattında (bantlarda yada looplarda) üretilmesi	Bant: ürün akışının gerçekleşmesi - operatör: planlanan üretim planındaki ürünün istenilen özelliklerde montajlanması - yarımamüller: planlanan ürünlerin üretilmesi için var olması - hammaddeler: planlanan ürünlerin üretilmesi için var olması	Fabrika: ürün kaybı - operatör: boş geçen zaman - arge: tekrar hatalı ürünlerin tasarımının tekrar gözden geçirilmesi - sevkiyat: üretilen ürünün fiilen bulunup sistemsal bulunmamasından kaynaklı sevk edilememesi	9	Üretim bandında hammadde ret edilmesi	Hammadde istenilen kalite standartlarına uymaz	İstenilen kalite standartları gözden geçirilerek müşteri kabulü sağlanmalı	2	Üretim montaj hattında hammaddenin kalite standartlarına uymadığının farkedilmesi ve pareto masasına alınması ve üretimin durdurulması	8	Yüksek (H20)
							9	Üretim bandında yarımamül ret edilmesi	Yarımamül istenilen kalite standartlarına uymaz	Ret olan malzemenin tekrar değerlendirilmesi ve giderilmeye çalışılması (boya kaynaklı 2. kat boya prosesi vb.)	1	Üretim montaj hattında yarımamülün kalite standartlarına uymadığının farkedilmesi	8	Düşük (H21)
							2	Personel eksikliği	Personelin izinli olması	Personel izin çizelgesinin aksaklık yaratmayacak şekilde düzenlenmesi	4	Takım liderinin üretim şefine personel izin bilgilendirmesi yapması	9	Düşük (H22)
							2	Personel yetkinliğinin eksikliği	Personelin istenilen yetkinlikte olmaması	Yetkin personel gelişimi ile tüm iş istasyonları için personel eğitimi	3	Üretim montaj hattında çalışan personelin istenilen verimlilikte ürün üretememesi	3	Düşük (H23)
							9	Ürün ağacı hatası	Üretilecek ürünlerin malzemelerinin ürün ağacına hatalı bağlanması	Ürün ağaçlarının tecrübeye dayalı kontrolünün sağlanması	3	Üretim montaj hattında ürün üretilirken montaj hattı personeli tarafından malzemelerinin eksik yada hatalı bağlandığının farkedilmesi	9	Yüksek (H24)
							9	Tasarım hatası	Üretilecek ürünlerin tasarımının hatalı olması	Ürün tasarımlarının numune aşamasında kontrollerinin artırılması	2	Üretim montaj hattında ürün üretilirken montaj hattı personeli tarafından ürün tasarımının eksik yada hatalı bağlandığının farkedilmesi	9	Yüksek (H25)
							1	Stoklaşmama problemi	Üretilen ürünlerin sistemsal olarak hataya takılması	Hataya takılma sebeplerinin köklü çözümünün yapılması	2	Ürün montaj hattında üretildikten sonra üretim planlama ekibinin sistemde üretildi olarak görememesi	9	Düşük (H26)

Audit kontrollerinin yapılması	Kalite kontrol	Ürün - tekniker - kalite kontrol mühendisi	Üretilen ürünlerin kalite standartların kontrol edilmesi	Üretim montaj hattından çıkan ürünlerin kalite kontrol standartlarının kontrol edilmesi	Tekniker: üretilen ürünün istenilen kalite standartlarında olup olmadığının kontrolünü sağlamak - Kalite kontrol Mühendisi: istenilen şartlara göre ürün onayını vermek	Fabrika: kontrol esnasında kontrolü yapan kişinin risk altında olması (elektriksel kontroller vb.) - son kullanıcı: ürünlerin stoklaşmaması ve sevkinin sağlanamaması	8	Üretilen ürünün istenilen kalite standartları aralığında olmaması	Üretilen üründe istenilenin dışında olan kalite problemi	Montaj aşamasında kontrollü üretim gerçekleştirme	2	Üretilen ürünlerin partilerin %5 oranında daldırma usulü seçim yapılarak kontrol aşamasında majör ve minör hatalarının tespiti	9	Orta (H27)
Siparişlerin müşterilere sevk edilmesi	Siparişlerin tamamlanması süreci	Ürün depo - ürün - sevkiyat personeli	Mamül için gerekli tüm şartların sağladığı ürünlerin müşterilere teslim edilmesi	Stoklaşan ürünlerin satış ekiplerinin planladığı sevkiyat programına göre sevk edilmesi için ürünlerin ürün depoya taşınması	Ürün depo: üretilip stoklaşan ürünlerin depoya alınması Sevkiyat personeli: depo bilgilerinin değiştirilmesi ve ürün sevkiyatının sağlanması satış ekipleri: üretilen ürünlerin sevkiyatının planlanması	Son kullanıcı: üretilen ürünün fabrika sevkiyat deposunda beklemesi	3	Nakliyede gecikmeler	Sevkiyat yapılacak olan aracın planlanamaması	Lojistik firmalarıyla iletişimi güçlendirme	1	Sevkiyat aracının yüklemeye için beklenirken geç gelmesi yada gelmemesi	8	Düşük (H28)
							9	Sevkiyat esnasında hasar oluşması	Üretilen ürünlerin depoya taşınması sırasında yada sevkiyatın yapılacağı araca taşınması sırasında hasar alması	Taşıma esnasında dikkatli ve ürüne uygun taşıma sağlama	1	Üretilen ürünlerin ürün depoda sevkiyatı sırasında taşıma kurallarına uyulmaması kaynaklı hasar olduğunun farkedilmesi	9	Düşük (H29)

(EK 2)

1. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
2. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
3. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
4. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
5. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
6. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
7. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
8. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
9. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
10. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
11. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
12. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)
13. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)

14. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)
15. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)
16. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)
17. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)
18. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)
19. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)
20. If (Siddet is CokYuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)
21. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
22. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
23. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
24. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
25. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
26. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)
27. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)

28. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

29. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)

30. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

31. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

32. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

33. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

34. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

35. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

36. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

37. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

38. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

39. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

40. If (Siddet is yuksek) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

41. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)

42. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is yuksek) (1)

43. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

44. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

45. If (Siddet is orta) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

46. If (Siddet is orta) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

47. If (Siddet is orta) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

48. If (Siddet is orta) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

49. If (Siddet is orta) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is orta) (1)

50. If (Siddet is orta) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

51. If (Siddet is orta) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

52. If (Siddet is orta) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

53. If (Siddet is orta) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

54. If (Siddet is orta) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

55. If (Siddet is orta) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

56. If (Siddet is orta) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

57. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

58. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

59. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

60. If (Siddet is orta) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

61. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_oncegi is orta) (1)

62. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_oncegi is orta) (1)

63. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

64. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

65. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

66. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

67. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

68. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

69. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

70. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

71. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

72. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

73. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

74. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

75. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

76. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

77. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

78. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

79. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

80. If (Siddet is dusuk) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

81. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

82. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

83. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

84. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokYuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

85. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

86. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

87. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

88. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is yuksek) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

89. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

90. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

91. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

92. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is orta) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

93. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

94. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

95. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

96. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is dusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

97. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is DusukCokDusuk) then (Aksiyon_ önceligi is dusuk) (1)

98. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is orta) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

99. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)

100. If (Siddet is etkiYok) and (Olasilik is CokDusuk) and (Saptanabilirlik is CokYuksek) then (Aksiyon_oncegi is dusuk) (1)



ÖZ GEÇMİŞ

Merve GELEN, Amasya Lisesi’ni bitirdikten sonra Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Akıllı Sistemler Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0001-7926-9616

Yayınlar:

1. Gelen, M., Elevli, S., (2022) “Sipariş Gecikmelerinin Bulanık Tabanlı Proses HTEA ile İncelenmesi” 16. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 2022. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)