

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HTEA'DA AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ARALIK TİP 2 BULANIK KURAL
TABANI SİSTEMİ YAKLAŞIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine Merve ALTUNBEY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

EYLÜL 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HTEA'DA AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ARALIK TİP2 BULANIK KURAL
TABANI SİSTEMİ YAKLAŞIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emine Merve ALTUNBEY
(507121130)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ

EYLÜL 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507121130 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emine Merve ALTUNBEY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**HTEA'DA AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ARALIK TİP 2 BULANIK KURAL TABANI SİSTEMİ YAKLAŞIMI VE UYGULAMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür KABAK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Eylül 2015**
Savunma Tarihi : **29 Eylül 2015**

Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmam süresince, anlayışı, bilgi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. C. Erhan BOZDAĞ, desteklerinden ötürü jüri üyelerim Doç. Dr. Nihan Çetin DEMİREL ve Yrd. Doç. Dr. Özgür KABAK ve ideal bilim insanı farkındalığı kazanmamı sağlayan Prof. Dr. Hakan AKPOLAT hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca sevgi ve destekleriyle beni biran olsun yalnız bırakmayan, bu tezi yazmamı mümkün kılan eşim Mustafa ALTUNBEY'e ve aileme teşekkür ederim.

Eylül 2015

Emine Merve ALTUNBEY
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. HTEA.....	9
2.1 Geleneksel HTEA'daki Eksiklikler	14
2.2 HTEA'daki Eksiklikler İçin Kullanılan Yöntemler	17
3. BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMLER	23
3.1 Bulanık Kümeler	23
3.2 Tip 2 Bulanık Kümeler	25
3.3 Tip 1 Bulanık Kural Tabanı.....	28
3.3.1 Bulanıklaştırma	30
3.3.2 Kural tabanı	30
3.3.2.1 Kural indirgeme sistemleri	31
3.3.2.2 Kural ağırlıklandırma	33
3.3.3 Çıkarım sistemi	34
3.3.3.1 Mamdani bulanık çıkarım sistemi	34
3.3.3.2 TSK bulanık çıkarım sistemi	35
3.3.4 Durulaştırma.....	36
3.4 Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler	37
3.4.1 Bulanıklaştırma	38
3.4.2 Kural tabanı	38
3.4.3 Çıkarım sistemi	39
3.4.4 Tip indirgeme	42
3.4.5 Durulaştırma.....	43
4. GELİŞTİRİLEN MODEL.....	45
4.1 HTEA'da AT2BKTS Yaklaşımı	46
4.1.1 Girdi değişkenlerinin belirlenmesi	47
4.1.2 Kural tabanının oluşturulması	47
4.1.2.1 Kural tabanındaki kuralların indirgenmesi	50
4.1.2.2 Kural tabanındaki kuralların ağırlıklandırılması	51
4.1.3 Çıkarım sistemine karar verilmesi	52
4.1.4 Tip indirgemesinin yönteminin seçilmesi	52
4.1.5 Durulaştırma işleminin gerçekleştirilmesi	52
4.2 Geliştirilen Modelin Verilerinin Toplanması	53
4.3 Geliştirilen Modelin Adımları	53
5. UYGULAMA.....	57
5.1 Hata Türleri ve Etkilerinin Belirlenmesi	58

5.2 Kural Tabanının Oluşturulması	63
5.3 Kuralların İndirgenmesi	68
5.4 Modelin Diğer Adımları	72
5.5 AAT2BKTS Modelinin Sonuçları	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR	87
ZGEMİő.....	91

KISALTMALAR

AAT2BKTS	: Ağırlıklandırılmış Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler
AHS	: Analitik Hiyerarşik Süreçler
AT2BK	: Aralık Tip 2 Bulanık Küme
AT2BKTS	: Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler
BÇS	: Bulanık Çıkarım Sistemi
BS	: Bulanık Sistemler
BKTS	: Bulanık Kural Tabanlı Sistemler
ÇGTÇ	: Çoklu Girdili Tek Çıktılı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
ERÖS	: Ekspansiyel Risk Önceliklendirme Sayısı
F	: Farkedilebilirlik
FOU	: Belirsizliğin Ayak İzi
GİA	: Gri İlişki Analizi
GİG	: Gri İlişkiler Gösterimi
HTEA	: Hata Türleri ve Etkileri Analizi
KİSK	: Kural İndirgeme Sistem Kılavuzu
LMF	: Alt Üyelik Fonksiyonu
MP	: Matematiksel Programlama
O	: Olasılık
RD	: Risk Düzeyi
RÖS	: Risk Önceliklendirme Sayısı
Ş	: Şiddet
UMF	: Üst Üyelik Fonksiyonu
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WMOM	: Weights Mean of Maximum
YZ	: Yapay Zeka

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : HTEA'nın yıllara göre gelişim süreci.	9
Çizelge 2.2 : Araştırmacılara göre HTEA tanımları.	10
Çizelge 2.3 : HTEA'da risk düzeyleri ve açıklamaları.	11
Çizelge 2.4 : Risk faktörlerinin dereceleri ve açıklamaları.....	12
Çizelge 4.1 : Kullanılan sözel ifadelerin 10'luk skaladaki karşılığı.	47
Çizelge 5.1 : Potansiyel hata türleri ve etkileri.	60
Çizelge 5.2 : Hata türleri için belirlenen risk faktör değerleri.	62
Çizelge 5.3 : Risk faktörlerinin sözel ifadeleri.	63
Çizelge 5.4 : Risk düzeyinin sözel ifadeleri.....	63
Çizelge 5.5 : Modelde kullanılan sözel değişkenler.	64
Çizelge 5.6 : Risk faktörünün foksiyon parametreleri.	64
Çizelge 5.7 : Risk düzeyi fonksiyon parametreleri.	65
Çizelge 5.8 : Hataların risk önceliklendirme sayıları ve sıraları.....	75
Çizelge 5.9 : RÖS değerlerine göre 7P kriterlerinin incelenmesi.	76
Çizelge 5.10 : İndirgenmiş kural sayılarına göre hataların sıralanması.....	77
Çizelge 5.11 : HTEA'da Geleneksel, BKTS ve AAT2BKTS model sonuçları.	81
Çizelge 5.12 : Kuralların indirgenememiş kural sayısından sapmalarının toplamı. ..	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Geleneksel HTEA'nın adımları (Bozdağ ve diğ, 2015).	13
Şekil 2.2 : Sistem bileşenleri arasındaki ilişki matrisi.	20
Şekil 2.3 : Etkileşimli hata değerlendirmetürlerinin karnesi.	21
Şekil 3.1 : Klasik küme mantığı.	23
Şekil 3.2 : Bulanık küme mantığı.	23
Şekil 3.3 : Bulanık küme üyelik fonksiyonu türleri.	24
Şekil 3.4 : Genel tip 2 bulanık küme gösterimi.	26
Şekil 3.5 : Aralık tip 2 Gauss bulanık küme.	26
Şekil 3.6 : FOU alanının iz düşümü (Mendel, 2001).	27
Şekil 3.7 : Aralık Tip 2 Bulanık Küme (Mendel, 2001).	28
Şekil 3.8 : Bulanık Kural Tabanı Sistemlerinin yapısı (Chin, 2008).	29
Şekil 3.9 : Sırasıyla gerekli a,m,b ve a,m,n,b parametreleri.	30
Şekil 3.10 : Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemleri (Xu ve diğ, 2002).	34
Şekil 3.11 : TSK Bulanık Çıkarım Sistemleri.	35
Şekil 3.12 : Durulaştırma işlemlerinin grafik gösterimi.	36
Şekil 3.13 : Bulanık kural tabanı sistemlerinin yapısı.	36
Şekil 3.14 : Tip 2 bulanık kural tabanlı sistemin adımları (Mendel, 2001).	38
Şekil 3.15 : Aralık Tip 2 Bulanık Kümeler.	39
Şekil 3.16 : 3 seviyeli Gauss fonksiyonu.	39
Şekil 3.17 : Aralık Tip 2 Bulanık Çıkarım Sistemleri (Castro ve diğ, 2008).	40
Şekil 3.18 : AT2BKTS sinin adımlarındaki değişken dönüşümü.	43
Şekil 4.1 : Matlab Tip 1 BS arayüzünde HTEA uygulaması.	46
Şekil 4.2 : m1 ve m2 parametrelerinin gösterimi.	48
Şekil 4.3 : Aralık tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu.	49
Şekil 4.4 : Çıkarım gücü değerinin bulunması.	50
Şekil 4.5 : Geliştirilen modelin yapısı.	54
Şekil 4.6 : Geliştirilen modelin akış şeması.	55
Şekil 5.1 : Pazarlama karmasının bileşenleri.	59
Şekil 5.2 : Şiddet faktörünün üyelik fonksiyonu.	65
Şekil 5.3 : Olasılık faktörünün üyelik fonksiyonu.	65
Şekil 5.4 : Farkedilebilirlik faktörünün üyelik fonksiyonu.	66
Şekil 5.5 : Risk Düzeyinin üyelik fonksiyonu.	66
Şekil 5.6 : Tüm faktör kombinasyonu için tanımlanan kurallar.	67
Şekil 5.7 : Alt üyelik fonksiyonun parçaları.	69
Şekil 5.8 : Lamda değerine karşılık gereken kural sayısı.	70
Şekil 5.9 : Kural indirgeme için geliştirilen excel dosyası.	71
Şekil 5.10 : Matlab'de kural oluşturma adımı.	72
Şekil 5.11 : Matlab'de AAT2BKTS için kullanılacak yöntemlerin seçimi.	73
Şekil 5.12 : Modelin çıktısı.	73
Şekil 5.13 : Modelin çıktısının ikinci kısmı.	74
Şekil 5.14 : Matlab'de HTEA'nın BKTS uygulama arayüzü.	79
Şekil 5.15 : BKTS'de değişkenlerin fonksiyonları.	79

Şekil 5.16 : HTEA’da BKTS kullanımının çıktıları.	80
Şekil 5.17 : HTEA’da BKTS kullanımının çıktılarının son kısmı.	80

HTEA'DA AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ARALIK TİP 2 BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ MODELİ ve UYGULAMASI

ÖZET

Son dönemdeki teknolojik gelişmelerle birlikte sistemler günden güne daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu karmaşık sistemler, öngörülemeyen hataların oluşmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Günümüzün gelişen rekabet koşullarında işletmeler, rekabet edebilmek için sistemlerinde, devam edegelen süreçlerinde, yeni tasarımlarında veya hizmet aşamalarında oluşabilecek hataları meydana gelmeden önce tespit edebilmeli, güven, itibar ve maddi kayıplar gibi daha birçok zarara sebebiyet vermeden engelleyebilmeli ve artan müşteri beklentilerine zamanında ve doğru bir şekilde cevap verebilmelidir.

Ancak her hata riskinin elimine edilmesi neredeyse imkansızdır. Meydana gelebilecek olası hataları engelleme faaliyetlerinde işletmeler, zaman ve maddi kaynaklarını en verimli ve akılcı bir şekilde kullanabilecekleri bir eylem planına ihtiyaç duyarlar. Bu durum potansiyel risklerin ve etkilerinin analiz edildiği Risk Değerlendirme Metodlarının önemini arttırmaktadır. Bu metotlar kullanılarak risklerin oluşma ihtimalleri ve tahmini zararları belirlenir ve önleyici faaliyetlerde en önemli hataya öncelik verilir. Risk değerlendirme metotlarının en yaygın olarak kullanılanlarından biri Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) metodudur. Hesaplama işleminin kolaylığı ve anlaşılır olmasından dolayı bu metot birçok sektör tarafından tercih edilmektedir.

Ancak geleneksel HTEA'da birçok varsayım ve eksiklik bulunmaktadır. Literatürde bu eksikliklerin incelendiği çok sayıda çalışma mevcuttur. Ve yine bu eksikliklere çözüm getirmek amaçlı geliştirilen modellerin sayısı da günden güne artmaktadır.

Bu tez kapsamında geleneksel HTEA'nın barındırmış olduğu eksiklere cevap verebilecek kapsamlı bir model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefle, HTEA'da (i) uzman görüşlerinin kullanılmasından kaynaklanan belirsizliklerin dikkate alındığı (ii) farklı bilgi ve deneyime sahip uzmanlardan alınan verilerdeki değişkenliğin ele alınabildiği, (iii) geleneksel HTEA modelinin formülasyonundan kaynaklanan hataların engellendiği (v) risk düzeyi değerinin birden fazla olabilmesi için, farklı ihtimallere göre farklı sonuçlar almasını sağlayan ağırlıklandırma işleminin yapıldığı, bir Ağırlıklandırılmış Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sistemi modeli geliştirilmiştir. Literatürde Hata Türleri ve Etkileri Analizi için geliştirilmiş pek çok sayıda Bulanık Kural Tabanı Sistemi modeli olmasına karşın, bunlar arasında grup üyeleri arasındaki çeşitliliğin gözönünde bulundurulduğu çalışmalar sınırlıdır. Bu tez kapsamında, grup üyeleri arasındaki çeşitliliğin gözönünde bulundurabilen Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sistemi kullanılmıştır. Ve bilindiği kadarıyla Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sisteminin HTEA için kullanıldığı ilk çalışmadır. Ayrıca modelde kullanılacak olan kurallar belirlenirken çözüm uzayının indirgenmesi ve modelin performansının artırılması amacıyla "kural indirgeme" işlemi yapılmıştır.

Geliştirilen model, yeni bir kahve zinciri oluşturmayı hedefleyen ulusal bir firmanın pazarlama sürecinde karşılaşılabileceği hataları değerlendirmede kullanılmıştır. Firma, farklı sektörlerde uzun yıllar başarıyla faaliyet göstermektedir ve bu alanda da kısa sürede hızlı bir büyüme planlamaktadır. Ancak kahve sektörü firma için yeni bir sahadır ve markalaşma adına stratejik adımlara ihtiyaç duymaktadır. Gerçekleştirecekleri bu büyük yatırım sürecinde karşılaşılabilecekleri hata türlerini öngörebilmesi ve potansiyel hataları şirkete maddi ve manevi zararlar vermeden engelleyebilmesi, firma için oldukça önemlidir.

Hataların ayrıntılı şekilde düşünülebilmesi amacıyla Phillip Kotler' in pazarlamanın 7P (Ürün, fiyat, yer, insan, süreç, fiziki olanaklar, tutundurma) kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterler bakımından meydana gelebilecek hatalar sistematik bir şekilde uzmanlar tarafından belirlenmiş ve bu hata türleri şiddet (Ş), olasılık (O) ve fark edilebilirlik (F) risk faktörleri bakımından değerlendirilmiştir.

Geliştirilen AAT2BKTS modeli, Matlab IT2FLS arayüzü kullanılarak çözülmüştür. Uygulama, geleneksel HTEA modeli ve tip 1 bulanık kural tabanı sistemi kullanılarak da incelenmiş ve 41 hata türüne ait risk öncelik sıralaması bu 3 farklı model için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, AAT2BKTS modelinin çıktılarında, bazı hata türlerinin sıralamalarının, geleneksel ve tip 1 bulanık kural tabanı sistemi kullanılan modelleri kullanımına göre farklılık göstermiş olduğu tespit edilmiştir. AAT2BKTS modeli için en öncelikli müdahale edilmesi gereken hata türü; H30 “Mekan tasarımının ve dekorasyonun müşteriye hitap etmemesi” olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra hata türleri, ait oldukları kriterlerler bakımından da incelenmiştir. KİSK de belirtilen yöntem kullanılarak indirgenen kuralların RÖS sonuçları ile indirgenmemiş kurallar kullanarak elde edilen RÖS sonuçları arasındaki sapma değerleri hesaplanmış ve performansı incelenmiştir. 61 kurala indirgendiğinde oluşan sapma 84’ten biraz düşük olmasına karşın 23 kural daha az tanımlanması avantaj sağlamıştır.

WEIGHTED INTERVAL TYPE 2 FUZZY RULE BASED SYSTEM APPROACH AND APPLICATION IN FMEA

SUMMARY

During recent years, the globalization is increasing the competition in the markets. Customer requests in terms of product quality, cost and flexibility and complexity is also increasing. These are forcing companies.

In today's changing competitive conditions, companies that want to be competitive, potential failures in their systems, processes, designs or services should be able to identify and prevent them before any trust, reputation, time and financial losses and prevent them without causing many more losses. And they should be able to respond increasing customer expectation as soon as possible. In other words, the company who wants to survive should answer the customer expectation with the minimum level of mistakes.

However, with technological advances in recent years, systems are becoming more complex day by day and risk can be considered as a natural consequence of activity. There is no truth that risks can be eliminated completely, so it can be reduced to an acceptable level. By increasing global competition, the scientific methods have been applied frequently to identify risks and prevent failure of the systems, services, processes and design phases. Thus risk assessment is applied by suitable techniques to prevent the unexpected failure scenarios. Thereby techniques for risk management have an important role to perform better. One of the most famous mentioned risk evaluation techniques is the failure mode and effect analysis (FMEA) method. FMEA is a technique used to evaluate the risk. FMEA is a very important technique. Because it easily analyzes, determines, defines and eliminates known or unknown potential failures which may occur from system, design, process or service before they reach the customer.

Conventional Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adopts the Risk Priority Number (RPN) ranking model to evaluate failure risks, to rank failures, in order to prioritize prevention actions. Risk Priority Number (RPN) uses severity(S), occurrence(O) and detectability(D) risk factors. S, O, D values are determined by experts. RPN is calculated by multiplying these factors. So this analysis is a group decision making problem.

This approach is simple, useful and very common and it is frequently used by different industries. But it suffers from several shortcomings. Recently, many studies have been published where the weaknesses of FMEA are mentioned. However "group diversity" and the "relationship between errors" weaknesses have less study than the other weaknesses.

Therefore many methods have been developed in order to prevent FMEA weaknesses. Some of them have a hybrid structure so as to create a comprehensive approach. When the literature is viewed, up to now, Fuzzy Rule Based System (FRBS) appears to be the most widely used method. But basic FRBS approach also has some shortcomings.

In this thesis, a comprehensive model that can respond to shortcomings of traditional HTEA have been targeted for improvement. With this goal, we evaluated a model for HTEA which (i) is taken into account uncertainty arising from the use of expert opinion, (ii) can be considered the variability in the data received from experts with different knowledge and experience, (iii) can be handled the traditional FMEA model is blocked error arising from the formulation, (iv) RPN value get different results based on different possibilities with the weighting process is performed.

The behavior of fuzzy rule based system techniques is expressed with a language that is easily interpretable by humans. The usage of linguistic terms in the fuzzy approach turns the FMEA much more applicable than traditional form, because the experts can assign a more meaningful value for the factors considered. Fuzzy logic allows imprecise data usage, so it enables the treatment of many situations in decision making. Moreover, the studies about FMEA considering fuzzy approach use the experts who describe the quantitative data and qualitative information about risk factors O, S, and D by using the fuzzy linguistic terms. But FRBS, can not completely handle groups' variety uncertainties. In order to handle it we used Interval Type 2 Fuzzy Rule Base System. And then for getting more flexible model, we weighted the rules. So we developed a Weighted Interval Type 2 Fuzzy Rule Base System model.

In the literature, although there are many number of improved Fuzzy Rule Base System Model for Failure Mode and Effects Analysis, studies that take into account the diversity among group members between them is limited. In this thesis, diversity between group members can take into account by using the Interval Type 2 Fuzzy Rule Base System. Because Interval Type 2 Fuzzy Rule Base System (IT2FRBS) Moreover, in order to increase the solution space and to improve the model performance, the rule reduction process which is named Guided Rules Reduction System (GRRS) were made and create more flexible model rules were weighted.

The proposed model is used in the process of a national marketing company that aims to create a new coffee chain in order to identify potential failures may face. The company has been operating successfully for many years in different sectors and in the short time period, a rapid growth in this area is also planning. However, the coffee industry is a new area for the company and requires strategic steps towards branding. During this major investment process, the types of errors can be predicted and potential errors can be prevented before giving any material and moral damages. It is very important for the company.

In order to consider in detail the errors, Phillip Kotler's 7P marketing (product, price, place, people, process, physical facilities, promotion) criteria were used. Errors that may occur with regard to these criteria determined by experts in a systematic way, and this error types for severity (S), the probability (O) and the detectability (D) risk factors were evaluated. We used five expert for this application. The experts obtained 41 errors associated with the process. And they determined affects which is failure modes could bring, evaluated these errors according to the probability severity risk factors. And then, experts determined the rules for all the combinations of severity, occurrence and detectability risk factors.

Developed AAT2BKTS model is solved using Matlab IT2FLS interface. Application, also explored and solved, using with traditional FMEA model and type 1 fuzzy rule base system. Risk priority ranking compared to this type of 41 error for 3 different models.

As a result, according to the output of AAT2BKTS model, some sort of failure modes found different from traditional and rule based system models solutions. AAT2BKTS models found H30 failure mode has the highest priority. This failure is “The place designing and decoration, is not to appeal to customers” Moreover, the failure mode, were also explored for their criteria they belong. Using the Guided Rules Reduction System (GRRS), the RPN value of the reduced rules (with 43, 55, 61, 84) and unreduced rules results deviations are calculated. The performance of GRRS models solutions for 43,55 61 and 84 rules were explored. Although the 84 rules deviation occurs slightly lower than the 61, 21 rules were defined less. This found that more advantageous by experts.

1. GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında, müşteri beklentilerinin zamanında ve en doğru şekilde karşılanması ve onların sadakatlerinin kazanılması, şirketler için önemli bir konu haline gelmiştir. İşletmeler, daha rekabetçi olabilmek için sistemlerinde, devamedegelen süreçlerinde, yeni tasarım veya hizmet aşamalarında oluşabilecek hataları meydana gelmeden önce tespit edebilmelidir. Maddi zararlar, güven ve itibar kayıpları oluşmadan bu hataları engelleyebilmeli, artan müşteri beklentilerine zamanında ve en doğru bir şekilde cevap verebilmelidir.

Ancak hata riskleri, karmaşık sistemlerin doğal sonuçlarıdır. Kaynak kısıtları gözönünde bulundurulduğunda meydana gelebilecek her türlü hatanın oluşmadan önce tespit edilip, ortadan kaldırılabilmesi neredeyse imkânsızdır. Meydana gelebilecek olası hataları engelleme faaliyetlerinde, kısıtlı zaman ve maddi kaynakların en verimli ve akılcı şekilde kullanabileceği bir eylem planına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç, potansiyel risklerin ve etkilerinin analiz edildiği Risk Değerlendirme Metotları'nın önemini arttırmaktadır. Risk değerlendirmede metotlarından bazıları ise Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi ve Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)'dır (Zaman ve diğ, 2014).

Hata Türleri ve Etkileri Analizi'nin, anlaşılabilirliği ve hesaplanma kolaylığı bu modelin farklı endüstriler tarafından yaygın şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Son dönemde yapılan çalışmalar incelendiğinde HTEA modelinin; açıkdeniz çiftliklerinde kullanılan rüzgâr tribünlerinin tasarımında Dinmohammadi ve Shafiee (2013), sağlık kuruluşlarında yaşanan çocuk kaçırma vakalarını önlenme sürecinde Liu ve diğ. (2014), döner enjeksiyon pompası tasarımı aşamasında Nicoleta ve diğ. (2014), açıkdeniz mühendislik sistemlerinin risklerini belirlemede Yang ve Wang (2015), hastanelerin satınalma süreçlerinde Kumru ve Kumru (2013), madencilik ekipmanlarının bakım işlemlerinde Petrovic ve diğ. (2014), Malakka Boğazındaki deniz trafik güvenliğini sağlamada Zaman ve diğ. (2014), havaalanlarındaki uçak kazalarının risklerini azaltmada Feng ve Chung (2013), HACCP süreçlerindeki gıda risklerinin analiz edilmesinde Trafialek ve Kolanowski (2014) yarı iletken kâğıt levha üretim sürecinin kontrolünde Yeh ve Chen (2014) tarafından kullanılmıştır. Silva ve

diğ. (2014) ise çalışmalarında HTEA kullanarak bilgi güvenlik risklerini incelemiş ve sonuç olarak bilgilerin güvenliğini sağlamada en yüksek riskin, iletişim güvenliğinde sonrasında ise altyapı problemlerinde olduğunu bulmuşlardır.

Ancak geleneksel HTEA’da birçok varsayım ve eksiklik bulunmaktadır. Bundan dolayı modelin en temel halinin kullanıldığı çalışmalar son dönemde giderek azalırken, gerçek hayat verilerinin dikkate alındığı çalışmalarda ise bir artış gözlenmektedir.

Literatürde, eksikliklerin incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan en kapsamlı olanı Liu ve diğ. (2013)’e aittir. Yine bu eksikliklere çözüm getirme amacıyla geliştirilen modellerin sayısı da günden güne artmaktadır. HTEA’nın barındırmış olduğu eksiklikleri ortadan kaldırmak amacıyla farklı yöntemler uygulanmaktadır. Liu ve diğ. (2013) çalışmalarında mevcut yöntemleri:

- Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV),
- Yapay zeka (YZ),
- Matematiksel Programlama (MP),
- Hibrit Yaklaşımlar,
- Diğerleri,

olarak beş gruba ayırmıştır.

Literatürde HTEA modelinin kapsayıcılığını ve performansını arttırmak amacıyla geliştirilen birçok çalışma bulunmaktadır. Chang ve diğ. (2014) risk faktörlerinin farklı ağırlıklara sahip olduğu, geleneksel Risk Önceliklendirme Sayısı (RÖS) yöntemine göre daha etkin bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemle risk önceliklendirme sayısı, çarpma işlemi yerine eksponensiyel formdaki, şiddet (Ş), olasılık (O), farkedilebilirlik (F) değerlerinin toplamı alınarak hesaplanmıştır. Chang ve diğ. (2013) çalışmalarında, HTEA’daki risk önceliklendirme sayısının farklı risk kombinasyonları için aynı değeri vermesi, Ş, O, F değerlerinin eşit öneme sahip kabul edilmesi, kuralların ağırlıklarına göre sıralanmaması, hata türleri arasındaki ilişkilerin düşünülmemesi eksikliklerine cevap bulmaya çalışmışlardır. Gri ilişki analizi (GİA) ve DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) metodunu birleştirmişlerdir. GİA, Risk Önceliklendirme Sayısı (RÖS)’deki değerlerin çakışmasına engel olmada ve sıralı ağırlıklandırılmış kuralların takibinde

kullanılmıştır. Sonrasında ise DEMATEL metodu, hata türleri ve hata nedenlerinin arasındaki ilişkinin modellenmesinde kullanılmıştır. Braaksma ve diğ. (2012) risk faktörlerinden meydana gelebilecek muhtemel hata türünün şiddetini, hatanın oluşması durumunda ortaya çıkacak mali zararın ve meydana gelme olasılığının fonksiyonunu kullanarak hesaplayabildikleri bir model geliştirmişlerdir. Regresyon analizi kullanarak tekrar kullanılabilen ve açıklayıcılığı yüksek olan bir model elde etmişlerdir. Mariajayaprakash ve Senthilvelan (2014) hatanın oluşabileceği süreç parametrelerini, HTEA ile bulup sonrasında seçili parametreleri Taguçi metoduyla optimize etmişlerdir. Liu ve diğ. (2014) geleneksel HTEA yönteminde, sistem bileşenleri arasındaki indirekt ilişkilerin dikkate alınmamasına, birçok altsistem ve bileşeni olan karmaşık yapılar için yanıltıcı sonuçlar elde edilmesine sebep olduğunu vurgulamışlardır. Ve bunun için ilişkileri dikkate alabilen, bulanık ağırlıklandırılmış ortalama ve bulanık DEMATEL yönteminin birlikte kullanıldığı bir model geliştirmişlerdir. Modelde risk faktörleri de ayrıca ağırlıklandırılmıştır.

HTEA değerlendirmelerinde bilgi insanlardan elde edilir. Ve elde edilen veriler belirsizlikler barındırmaktadır. Bu HTEA'nın en yaygın şekilde değinilen eksikliği olup ve son yıllardaki çalışmaların neredeyse tamamı bu belirsizliği gözönünde bulundurmuş ve geliştirdikleri modelleri, belirsizliğin ele alındığı yaklaşımlarla (bulanık küme teorisi, D, sayılar, gri teori, kanıt teorisi, ...) entegre etmişlerdir. Mirghafoori ve diğ. (2014) risk faktörlerinin bulanık küme olduğu bir veri zarflama analizini (VZA), Braglia ve diğ. (2003) çalışmalarında bulanık TOPSIS modelini, Helvacioğlu ve Özen (2014) bulanık çok kriterli grup karar verme modelini, Safari ve diğ. (2014) bulanık VIKOR metodunu ve Liu ve diğ. (2012) ise HTEA için bulanık çevrelerde risk faktörlerine ağırlıkların atandığı genişletilmiş VIKOR metodunu uygulamışlardır. HTEA'da bulanık küme uygulamalarındaki eksikliklerin ortadan kaldırılması için olasılık teorisi kullanılmıştır (Mandal ve Maiti, 2014). Liu ve diğ. (2014) ise çalışmalarında, belirsiz bilgilerin daha etkin gösterimi için, takım üyelerinin değerlendirmelerinde D sayılarını kullanmışlardır. Ayrıca risk önceliklendirme sıralamasında, geliştirilmiş gri ilişkiler analizi metodu olan Gri İlişkiler Gösterimi (GİG) uygulanmıştır.

Liu ve diğ. (2014) risk faktörlerinde ve risk faktör ağırlıklarını tanımlamada, bulanık sözel terimler kullanmışlardır. Ve son olarak geliştirdikleri yaklaşımda bulanık küme teorisi ve MULTIMOORA metodunu uygulamışlardır.

Diğer bir yandan, Hata Türleri ve Etkileri Analizi, grup karar verme modelidir. Ve karar vericilerin fikir farklılıklarının biraraya getirilmesi ve çeşitliliklerinin modele yansıtılması son dönemde sıkça çalışılan önemli bir konu haline gelmiştir. Liu ve diğ. (2011) takım üyelerinin fikir çeşitliliğini dikkate alan bir risk önceliklendirme sırası oluşturmayı amaçlamışlardır. İlk olarak, farklı disiplinlerdeki takım üyelerinin genellikle birbirlerinden farklı bilgi birikimi ve bakış açısına sahip olduğu ve dolayısıyla yapacakları değerlendirmede büyük bir çeşitliliğin olduğu gösterilmiştir. İkinci olarak RÖS değerinin çarpma işlemi ile elde edilmesinden kaynaklı eksikliklerden bahsedilmiş ve bu iki eksikliği ortadan kaldırmak amacıyla bulanık kanıtsal çıkarım yöntemi ve gri ilişki yöntemi birlikte kullanılmıştır.

Liu ve diğ. (2013) ise takım üyelerinin değerlendirmelerinin çeşitliliğini ve belirsizliğini ifade edebilmek için sezgisel bulanık sayılar kullanmışlardır. Takım üyelerinin bireysel değerlendirmelerini, grup değerlendirmesine dönüştürmek için sezgisel bulanık ağırlıklandırılmış ortalama işlemi kullanılmıştır. Son olarak sezgisel bulanık hibrit ağırlıklandırılmış öklit mesafe işlemi ile hata türleri önceliklendirilmiştir. Ayrıca yöntemde risk faktörleri ağırlıklandırılmıştır.

Du ve diğ. (2014)'nin çalışmalarında, HTEA modelinde uzmanlardan elde edilen bilginin barındırdığı belirsizliği ifade edebilmek için Kanıtsal Çıkarım Yaklaşımı kullanılmıştır. Ağırlıklandırılmış ortalama metoduyla grup değerlendirmeleri net ifadelerle dönüştürülmüştür. HTEA'nın risk faktörleri niceleyici yöntemler kullanılarak belirlenmiştir ve sonuç olarak TOPSIS yöntemiyle riskler önceliklendirilmiştir. Vahdani ve diğ. (2015) çalışmalarında TOPSIS, İnanç Yapısı ve Bulanık Mantık modellerini birleştirerek yeni bir HTEA modeli geliştirmişlerdir. Karar vericilerin değerlendirmeleri, inanç derecelerine göre belirlenip, TOPSIS ile inanç yapısı güçlendirilmiş risk faktör kriterlerine göre hata türlerinin sıralanması gerçekleştirilmiştir ve böylelikle, Bulanık İnanç Yapısı modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen bu modelde risk faktörleri de ayrıca ağırlıklandırılmıştır. Bozdağ ve diğ. (2015) çalışmalarında, HTEA'nın değerlendirmelerini yapan takım üyelerinin, grup içi ve gruplar arası belirsizliklerini gözönünde bulundurmuşlardır. Ve yöntem olarak Aralık Tip 2 Bulanık Küme Teorisi kullanmışlardır.

Yapılan literatür araştırmalarına göre, HTEA'nın birçok eksikliğine kolaylıkla cevap verebildiğinden dolayı Bulanık Kural Tabanı Sistemi (BKTS), HTEA'da en yaygın şekilde kullanılan yöntemdir (Liu ve diğ, 2013). HTEA'da BKTS uygulamalarına

bakıldığında; Dinmohammadi ve Shafiee (2013) bilgileri aldıkları veri tabanında, eksik bilgilerle sıkça karşılaştıklarından dolayı risk faktörlerini belirlemede uzman görüşüne başvurmuşlardır ve uzmanların net bilgiler belirlemesinin bir takım eksiklikler barındırmasından dolayı bulanık sözel terimler kullanmışlardır. Bunun yanı sıra risk faktörlerinin eşit etkiye sahip olmasından kaynaklanan eksiklikleri ortadan kaldırmak amacıyla yazarlar, Gri Teori kullanarak risk faktörlerine göreceli üstünlükler belirlemişlerdir ve bulanık kural tabanı sistemleri kullanarak risk öncelik sıralamasını oluşturmuşlardır. Tay ve Lim (2006) çalışmalarında, HTEA için, geliştirilen bulanık kural tabanı sistemlerini incelemiştir. Ve bulanık kural tabanı uygulamalarının verimliliğini arttırmak için bulanık kural enterpolasyonu ve kural indirgeme tekniklerinin kullanıldığı yeni bir RÖS modeli geliştirilmiştir. Bulanık RÖS modelinin geçerli ve kullanışlı kıyaslamalar yapabilmesi için bulanık kural sayılarının indirgenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Nicoleta ve diğ. (2014) geleneksel HTEA'nın eksikliklerinden; (1) risk faktörlerinin problemin yapısına göre değişmemesi, (2) problemin bir grup karar verme problemi olduğunun dikkate alınmaması ve (3) risk faktör değerlendirmelerinin öznel ve farklı önem seviyesine sahip olduğuna dikkat edilmemesini incelenmiştir. Çalışmalarında bulanık küme teorisi ve bulanık kural tabanı sistemleriyle bu eksikliklere çözüm bulunmuştur. İki ayrı tasarım HTEA yaklaşımı gösterilmiştir. Bu çalışma ayrıca risk faktörlerinin farklılaşabileceğine ve sayısının artabileceğine de vurgu yapmıştır. Nadia ve diğ. (2014), süreç HTEA'sında bulanık kural tabanını kullanmışlardır. Kumru ve Kumru (2013) hastanelerin satınalma süreçlerindeki, Petrovic ve diğ. (2014) madencilik malzeme bakımlarındaki ve Petrovskiy ve diğ. (2014), petrol ve gaz işleme tesislerindeki hata risklerini önceliklendirme işleminde bulanık kural tabanlı sistemleri kullanmışlardır. Bulanık kural tabanlı sistemdeki eksiklere çözüm getirmek amacıyla bulanık kanıtsal düşünme ve inanç kural tabanı yönteminin kullanıldığı yeni bir yaklaşım oluşturulmuştur. Risk faktörlerinin göreceli üstünlükleri, bulanık inanç yapılarıyla geliştirilmiştir. Bulanık kanıtsal düşünme yaklaşımında, HTEA takım üyelerinden elde edilen çeşitlilik ve belirsizlik içeren değerlendirmeler, inanç kural tabanı ile ele alınmıştır. Risk faktörleri ve ait oldukları risk seviyeleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri, bulanık kural tabanı sistemleriyle ve çıkarım işlemini de ağırlıklandırılmış ortalama-maksimum bileşik algoritmayla hesaplamışlardır (Yang ve Wang, 2015).

Şuana kadar yapılan çalışmalar arasında diğerlerine oranla nispeten daha az çalışılan eksiklikler söz konusudur. Liu ve diğ. (2014) çalışmalarında, son dönemde HTEA'nın performansını arttırmak amacıyla geliştirilen çalışmaların çoğunun yine birçok eksiklik barındırdığını belirtmektedir. Dolayısıyla geliştirilen modeller gerçek hayat uygulamalarına tamimiyle uyumlu olamamıştır. Sonuçta bu durum RÖS'ün (risk önceliklendirme sayısının) hatalı olmasına ve büyük risklerin gözden kaçmasına, kaynakların yanlış olası hatalara aktararak zaman ve maliyet kaybının yaşanmasına neden olabilmektedir.

Bu tez kapsamında ise yöntem olarak bulanık kural tabanı sistemleri seçilmiştir. Bulanık kural tabanı sistemleri insan beyninin oluşturmuş olduğu çıkarımları en iyi şekilde temsil edebilmesi, değerlendirmelerin matematiksel bir formül yerine EĞER-İSE kurallarıyla yapması, sözel ifadelerin doğrudan kullanılabilmesi, girdilerin bulanık veya net değerler alabilmesi gibi özellikleriyle HTEA'nın eksikliklerine cevap verebilmektedir. Ancak kurallarda kullanılan kelimelerin farklı kişilere göre farklı anlam ifade edebilmesi, değerlendirmelerin aynı düşüncede olmayan uzmanlardan elde edilebilmesi, uzmanların aynı fikre sahip olsa dahi tamamen aynı değerlendirmeyi yapabilmesinin oldukça zor olduğu durumlarda BKTS yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada bulanık kural tabanlı sistemlerinin, bu belirsizliklere daha çok cevap veren ve grup bireyleri arasındaki farklılıktan kaynaklı belirsizliği modelleyebilen Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sistemi yapısının kullanımı tercih edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, Risk Değerlendirme modellerinin en sık kullanılanlarından biri olan HTEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) incelenmiştir. Geleneksel HTEA'nın barındırmış olduğu eksik yanlara çözüm getirerek daha gerçekçi ve farklı senaryoları da dikkate alabilen kapsamlı bir model oluşturulması amaçlanmıştır.

Oluşturulan modelin performansının yüksek ve kullanımının kolay olması hedeflenmiştir. Bu hedefle geleneksel HTEA'da:

- Seçilecek yöntemle belirlenen sözel ifadelerin anlam kaybetmeyecek şekilde modellenebildiği,
- Değerlendirmeleri yapacak gruptaki bireylerin çeşitliliklerinden ve öznelliklerinden kaynaklı belirsizliklerinin de göz önünde bulundurulduğu,

- Risk düzeyi hakkında net tek bir değerlendirme yapılamayan durumların da modellebildiği,
- Değerlendirmelerde uzmanların sözel görüşlerinin doğrudan kullanılabilirdiği bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

HTEA modellerinde aralık tip 2 bulanık kural tabanı sistemi kullanılması bakımından çalışma önem kazanmıştır. Ayrıca kural oluşturma sürecinin verimli bir şekilde tasarlanmasına dikkat edilmiştir. Örneğin her bir risk faktörünün 10 farklı risk seviyesine sahip olması durumunda, $10 \times 10 \times 10 = 1000$ farklı risk kombinasyonun uzmanlar tarafından belirlenmesi gerekir. Artan her bir faktör düzeyi eksponansiyel bir kural artışına neden olmaktadır. Bundan dolayı modelde ideal bir faktör değişken sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Ve daha da önemlisi Tay ve Lim (2006) tarafından geliştirilen, Kural İndirgeme Sistemi Kılavuzu (KİSK) olarak adlandırılan kural indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle kural kombinasyonları arasında çok önemli bir etkiye sahip olmayan veya da aynı anlamı ifade eden kuralların elenmesi ile modelin verimliliği artırılması amaçlanmıştır. Ve kural indirgemenin yanı sıra daha esnek bir kural belirleme süreci oluşturmak amacıyla kurallar ağırlıklandırılmıştır. Böylelikle bir risk faktör kombinasyonu birden fazla risk düzeyine sahip olabilmektedir.

Geliştirilen model yeni bir kahve zinciri oluşturmayı hedefleyen ulusal bir firmanın, pazarlama sürecinde karşılaşılabileceği hatalarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Firma farklı sektörlerde uzun yıllar başarıyla faaliyet göstermektedir ve kahvecilikte de kısa sürede hızlı bir büyüme planlamaktadır. Ancak kahvecilik firma için yeni bir alandır ve markalaşma adına stratejik adımlara ihtiyacı vardır. Gerçekleştirecekleri bu büyük yatırım sürecinde karşılaşılabilecekleri riskleri öngörebilmeleri ve potansiyel hataların, maddi ve manevi (marka imajını tehlikeye atan) zararlar vermeden engelleyebilmeleri, firma için oldukça önemlidir. Phillip Kotler'in pazarlamanın 7P (ürün, fiyat, yer, insan, süreç, fiziki olanaklar, tutundurma) kriterleri bakımından meydana gelebilecek hatalar sistematik bir şekilde uzmanlar tarafından düşünülerek belirlenmiş ve risk faktörleri yine uzman ekip tarafından değerlendirilmiştir.

Tezin ana planına bakılacak olursa Bölüm 2'de HTEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) yönteminden kısaca bahsedilip barındırmış olduğu eksiklikler ve bu eksikliklerin ortadan kaldırılması için geliştirilen yaklaşımlara yer verilmiştir. Bölüm

3'te ilk olarak bulanık küme teorisi ve bulanık kural tabanından kısaca bahsedilmiş ve ikinci kısmında ise tip 2 bulanık kümeler ve aralık tip 2 bulanık kural tabanı sistemi anlatılmıştır. Bölüm 4'te geliştirilen yöntem anlatılmış, Bölüm 5'te ise geliştirilen yönteme ait bir uygulama yapılmıştır. Son olarak da Bölüm 6'da uygulamanın sonuçları değerlendirilmiştir.

2. HTEA

Riskler işlem, süreç, hizmet ve tasarımların doğal bir sonucu olarak düşünülür ve işletmelerin olası risklerin tamamını tespit ederek ortadan kaldırılması neredeyse imkansızdır. Bu durumda yapılması gereken, mevcut risklerin kabul edilebilir bir seviyeye indirgenebilmesidir (Vahdani ve diğ, 2015). Risk değerlendirme, uygun teknikler kullanılarak beklenmeyen hata senaryolarını engellemede kullanılır. Önemli risk değerlendirme modellerinden biri HTEA'dır.

HTEA ilk olarak 1960'larda uzay endüstrisinin tasarım süreçlerinde güvenilirliğin ve emniyetin sağlanması amacıyla geliştirilmiştir. (Bowles ve Peldez, 1995). 1970'lerde HTEA nükleer tesisler için de kullanılmaya başlamıştır. Daha sonrasında otomotiv endüstrisinde hata ve risk azaltımında kullanılarak, endüstriyel alanlarda kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Vahdani ve diğ, 2015). Ve günümüzde havacılık, madencilik, ilaç sektörü, nükleer enerji gibi birçok farklı endüstride üretim, süreç veya hizmetlerinde meydana gelebilecek hataların enazlanarak daha güvenilir bir sistem elde edilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Yıllara göre HTEA'nın gelişim süreci Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : HTEA'nın yıllara göre gelişim süreci.

Yıl	Açıklama
1963	HTEA ilk olarak uzay endüstrisi tarafından geliştirilmiştir.
1965	Amerikan Ordusu HTEA tekniklerini kullanmaya başlamıştır
1974	Amerikan Ordusu tarafından HTEA'nın Satandartları yayınlamıştır: MIL-STD-1629
1977	Ford Motor HTEA'yı kullanmaya başlamıştır.
1985	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu HTEA'nın standartlarını yayınladı: IEC812
1993	Ford, Chrysler ve General Motor HTEA Kitapçığının 1. Baskısını yayınlamıştır.
1995	HTEA Başvuru Kitapçığının 2. Baskısı AIAG tarafından revize edilmiştir
2001	HTEA Başvuru Kitapçığının 3. Baskısı AIAG tarafından revize edilmiştir
2008	HTEA Başvuru Kitapçığının 4. Baskısı AIAG tarafından revize edilmiştir
2008-2009	HTEA, ISO-9000, ISO/TS 16949, CE ve QS-9000 tarafından birçok endüstride risklerin değerlendirilmesinde ve kalitenin iyileştirilmesinde önemli bir analitik metot olarak önerilmeye başlandı.

HTEA'nın literatürde birbirinden farklı tanımı bulunmaktadır. Çeşitli yayınlarda yeralan HTEA tanımları Çizelge 2.2'de listelenmiştir.

Bu tanımlara göre HTEA; sistemler, süreçler, tasarımlar veya hizmetlerdeki çeşitli ürün veya işlemlerle alakalı mevcut veya meydana gelmesi olası hata, problem risklerinin analizi, tanımlanması, belirlenmesi, sıralanması ve ortadan kaldırılmasında kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. HTEA'da hatalar düzeltici faaliyetlerine göre sıralandıktan sonra, en yüksek riskli hataya müdahale gerçekleştirilir ve bu hata, hata türleri listesinden çıkarılarak risk değerlendirme işlemi tekrar yapılır.

Çizelge 2.2 : Araştırmacılara göre HTEA tanımları.

Tanım	Yazar(lar)
HTEA, sistemden, dizayndan, süreçten ve/veya hizmetten dolayı ortaya çıkabilecek potansiyel başarısızlıkları, problemleri ve hataları müşteriye ulaşmadan önce tanımlamak ve belirlemek için kullanılan analitik bir tekniktir.	Liu ve diğ., 2011
HTEA, dizaynın geliştirilmesi gereken alanlarda, dizayndan kaynaklanacak ciddi problemlerin farkındalığını sağlayarak etkilerini ve hatalarını belirleyen analitik dizayn disiplindir.	Barenda ve diğ., 2012
HTEA, analistler tarafından sistemin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak için istenmeyen çıktıların oluşmasından önce sistemin kritik bölümlerini, fonksiyonlarını ve bileşenlerini yönetilmesini sağlayan güçlü bir yöntemdir.	Nicholate ve diğ., 2014
HTEA, çeşitli ürünlerin (veya süreçlerin) hata türlerini (mevcut ve potansiyel) risk ilişkilerini göz önünde tutarak analiz eden ve sıralayan sistematik bir metot olarak, önleyici eylemlerin önceliklendirilmesinde, en yüksek hatalara müdahale etmede, hataları ve çıktılarını sürekli değerlendirerek hedeflenen marjinal getirinin sağlanmasında kullanılır.	Mirghafoori ve diğ., 2014
HTEA, sistemdeki hata türlerini, bunların sistem performansı üzerindeki etkilerini ve sonuçlarını analiz eden sistematik bir prosedürdür.	Vahdani ve diğ., 2015

HTEA, hata türlerinin uzman bir ekip tarafından 3 risk faktörü bakımından (meydana gelme olasılığı, şiddeti ve farkedilebilirliği) değerlendirilmesi ve bu risk faktörlerine verilen değerlerin çarpımlarıyla elde edilen RÖS (Risk Önceliklendirme Sayısı) skoruna göre sıralanması işleminden oluşmaktadır. Risk faktörlerinden *şiddet*(Ş); potansiyel hatanın meydana gelmesi durumunda sisteme veya müşterilere olan etkinin önemini (maliyet, memnuniyetsizlik gibi...), *olasılık*(O); gerek geçmiş yıllardaki verilerle gerekse de uzmanların izlenimlerine göre bir hatanın meydana gelme olasılığını; *farkedilebilirlik*(F); hata türünün gerçekleşmeden önce saptanabilme derecesini ifade eder (Mirghafoori ve diğ, 2014).

Risk önceliklendirme sayısının hesaplanması denklem (2.1)'deki gibidir:

$$RÖS = \text{Ş} \times \text{O} \times \text{F} \quad (2.1)$$

RÖS : Risk önceliklendirme sayısı

O : Olasılık

Ş : Şiddet

F : Farkedilebilirlik

Risk düzeylerinin 1 ile 10 arasında almış oldukları değerler ve bu değerlere karşılık mevcut riske müdahale açıklamaları Çizelge 2.3'te verilmiştir. HTEA' da kullanılan Ş,O, F değerleri literatürde farklı değerler almaktadır. Bunlardan en temel olarak kullanılan 1 ile 10 arası değer skalasıdır. bu değerler ve açıklamaları Çizelge 2.4'tedir.

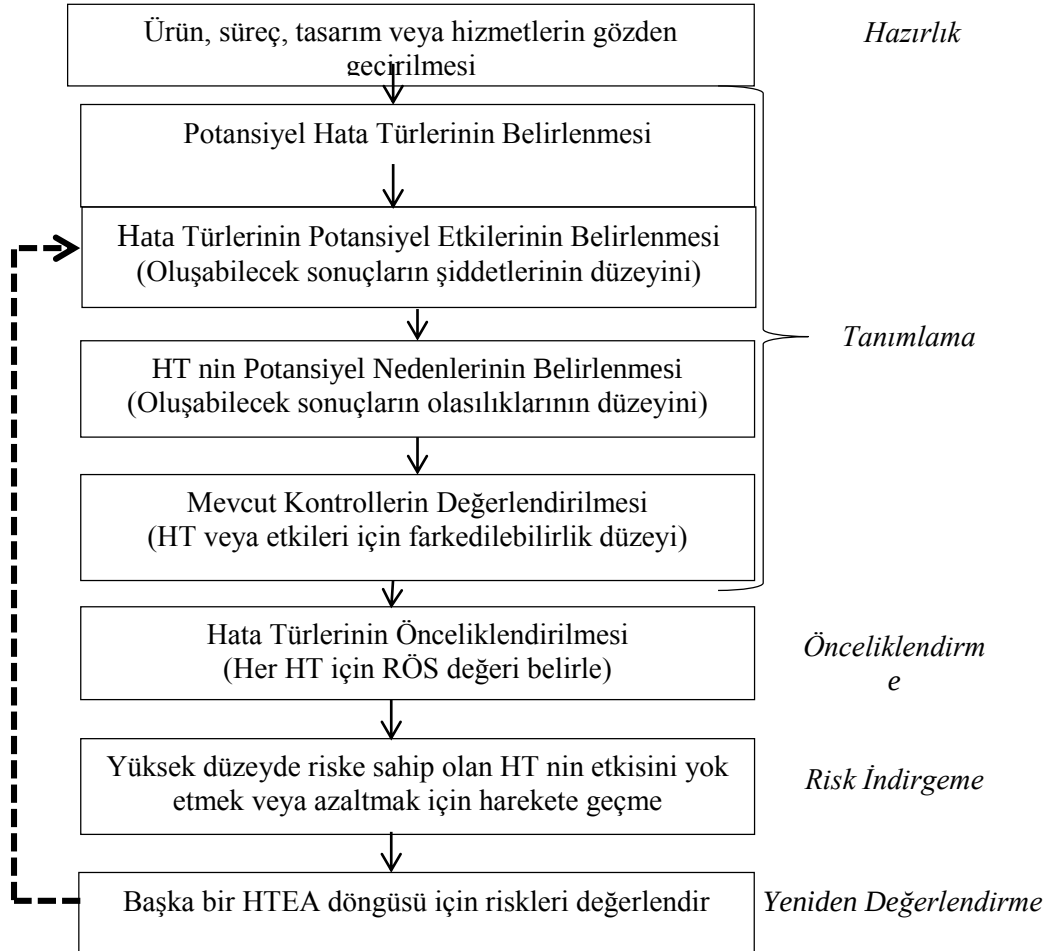
Çizelge 2.3 : HTEA'da risk düzeyleri ve açıklamaları.

Risk	Müdahale Edilmesi Gereken Faaliyet Önceliği
Kesinlikle Gerekli	Kesinlikle müdahale gerekli
Gerekli	Müdahale gerekli
Çok Yüksek	Müdahale önceliği çok yüksek
Orta Yüksek	Müdahale önceliği orta yüksek
Yüksek	Müdahale önceliği yüksek
Orta	Müdahale önceliği orta
Düşük	Müdahale önceliği düşük
Çok Düşük	Müdahale önceliği çok düşük
Gereksiz	Müdahale önceliği gereksiz
Kesinlikle Gereksiz	Müdahale önceliği çok gereksiz

Çizelge 2.4 : Risk faktörlerinin dereceleri ve açıklamaları.

Derece	Etki	Şiddetin Etkisi	Hata Olasılığı	Hatanın İhtimali	Farkedilebilirlik	Farkedilebilirlik Olasılığı
10	Uyarısız Gelen Tehlike	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel tehlike	Çok yüksek: Kaçınılmaz Hata	1/2' den fazla	Fark Edilemez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği mümkün değil
9	Uyarısız Gelen Tehlike	Yüksek hasarlara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen hata		1/3	Çok Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok uzak
8	Çok Yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3. Derece yanık, akut ölümcül hastalık vb. etkiye sahip hata türü	Yüksek: Tekrar Hata	1/8	Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği uzak
7	Yüksek	Ekipmanın tamamen hasar görmesine sebep olan ve ölüme, zehirlenme, 3. Derece yanık, akut ölümcül hastalık vb. etkiye sahip hata		1/20	Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği düşük
6	Orta	Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata	Orta: Ara Sıra Olan Hata	1/80	Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok düşük
5	Düşük	Kırık, kalıcı küçük iş görmezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip hata		1/400	Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği orta
4	Çok Düşük	İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler, hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata		1/2000	Yüksek Ortalama	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği yüksek ortalama
3	Küçük	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata	Düşük: Nispeten Az Olan Hata	1/15000	Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği yüksek
2	Çok Küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata		1/150000	Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok yüksek
1	Yok	Etki yok	Pek Az: Olası Olmayan Hata	1/1.500.000'den düşük	Hemen Hemen Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği hemen hemen kesin

Bozdağ ve diğ. (2015), HTEA sürecini; Hazırlık, Tanımlama, Önceliklendirme, Risk İndirgeme ve Yeniden Değerlendirme olmak üzere 5 ana başlıkta toplamıştır. Hazırlık aşaması; ürün, süreç, tasarım veya hizmetlerin gözden geçirilmesini kapsamaktadır. Sonrasında Tanımlama aşaması, sırasıyla potansiyel hata türlerinin belirlenmesi, hata türlerinin potansiyel etkilerinin belirlenmesi yani oluşabilecek sonuçların şiddetlerinin düzeyini belirlenmesi, hata türlerinin oluşabilecek sonuçların olasılıklarının düzeyini belirlenmesi, mevcut kontrollerin yani hata türleri veya etkileri için farkedilebilirlik düzeyi değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Bu iki adımdan sonra Önceliklendirme aşamasına geçilir. Bu aşamada hata türlerinin önceliklendirilmesi yani her hata türü için şiddet olasılık ve farkedilebilirlik düzeylerine göre bir risk önceliklendirme sayısı (RÖS) belirlenir. Dördüncü aşamada ise risk indirgeme yani yüksek düzeyde riske sahip olan hata türünün etkisini yok etmek veya azaltmak için harekete geçilir. Beşinci ve son aşamada ise riskler başka bir HTEA döngüsü için değerlendirilir. Geleneksel HTEA'nın adımları Şekil 2.1'deki gibidir.



Şekil 2.1 : Geleneksel HTEA'nın adımları (Bozdağ ve diğ, 2015).

HTEA'nın hesaplanmasının kolaylığı, anlaşılabilirliği, uzman görüşüne dayalı olması ve geniş çaplı ölçüm işlemlerine ihtiyaç duymaması gibi özellikleri sayesinde kabul gören bir risk değerlendirme modeli haline gelmiştir. Farklı alanlarda örneğin; karbon emisyonu azaltmak amacıyla, oksijen kullanımlı yanma odalarının, endüstriyel olarak kullanımı sürecinde Chen ve diğ. (2014), tedarikçi seçme metotlarının karar verme süreçlerinde Li ve Zeng (2014) şehir gaz dağıtım sistemlerinin güvenilirlik analizlerinde Li ve Zhou (2014), metroların bakım stratejisi belirleme sürecinde Zhu ve diğ. (2013), açık deniz mühendislik sistemlerinde Yang ve Wang (2015) meydana gelebilecek potansiyel hataları ve etkileri tahmin edilip bu hataları önleyici faaliyetlerinin planlamasında kullanılmaktadır.

HTEA modeli oldukça yaygın bir şekilde kullanılmasına karşın birçok eksiklik barındırmaktadır. Literatürde bu eksikliklere geniş çapta yer verilmiştir. Ayrıca bu eksikliklerin incelendiği Liu ve diğ. (2013)'nin çalışmaları gibi literatür incelemeleri de söz konusudur. Liu ve arkadaşları HTEA'daki RÖS değerinin hesaplanmasında yapılan eksiklikleri ve bu eksiklikleri gidermek amacıyla geliştirilen modelleri incelemiştir. Tay ve Lim (2010) ise çalışmasında HTEA modelindeki eksikliklere en kapsamlı şekilde cevap verebilen bulanık kural tabanlı sistem çalışmalarını incelemiştir. HTEA'daki eksiklikler ve bu eksikliklerin ortadan kalkması için kullanılan yöntemler ilerleyen başlıklarda ele alınacaktır.

2.1 Geleneksel HTEA'daki Eksiklikler

Geleneksel HTEA, geniş çapta kabul görmüş bir uygulama olmasına rağmen birçok eksiklik ve varsayım barındırmaktadır. Bu varsayımlardan dolayı modelin gerçek hayattaki kullanımı, yanlış yönlendirmelere sebebiyet verebilmektedir.

HTEA'nın farklı çalışmalardan derlenmiş eksiklikleri; hata türlerinin değerlendirilme kriterlerinden kaynaklanan, faktörlerin eşit etkiye sahip olmasından kaynaklanan, HTEA'nın matematiksel formülasyonundan kaynaklanan, ilişkilerin göz ardı edilmesinden kaynaklanan, değerlendirmedeki öznellikten kaynaklanan ve faktör değişken değerlerinden kaynaklanan eksiklikler, alt başlıklarında incelenmiştir.

Hata türlerinin değerlendirildiği kriterlerinden kaynaklanan eksiklikler:

- RÖS metodu hataları sadece risk düzeyleri bakımından değerlendirip düzeltici faaliyetlerin önemini göz önünde bulundurmamaktadır.

- HTEA’da sadece üç risk faktörü bakımından hata türleri incelenmiştir. Ekonomik koşullar, kalite gibi bazı önemli faktörler gözardı edilmiştir.
- RÖS değeri düzeltici faaliyetlerin etkinliğini ölçememektedir. Yine hataların düzeltici faaliyet maliyetleri bakımından ekonomik sonuçları da RÖS eşitliğinde analiz edilmemektedir.
- Daha sürdürülebilir bir HTEA elde edebilmek için etki ve kaynak giderleri göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- Hata türleri belirlemede genel olarak müşteri beklentileri dikkate alınmayıp sadece üreticilerin kararları dikkate alınmaktadır.
- Risk analizi sırasında müşterilerin bakış açısı dikkate alınmayıp şiddet oranları sadece organizasyonlara göre değerlendirilmektedir.

Faktörlerin ağırlıklarından kaynaklanan eksiklikler:

- Ş, O, F arasındaki göreceli üstünlük dikkate alınmamıştır. Bu üç risk faktörünün eşit öneme sahip olduğu varsayılmıştır. Ancak bu durum HTEA’nın pratikteki uygulamaları bakımından problem oluşturmaktadır. Faktörlerin ağırlıkları durumdan duruma değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin; şiddeti yüksek, meydana gelme oranı düşük, önlenibilme düzeyi orta olan bir hatanın (sırasıyla 9, 4, 4) olması durumunda RÖS değeri 144, tüm parametrelerin orta düzeyli olduğu bir hatada ise (sırasıyla 5, 5, 7) RÖS değeri 175 olmaktadır. Meydana gelebilecek hatanın şiddetinin önemli olduğu bir sistemde, RÖS değeri daha düşük olabilmesine rağmen ilk hataya öncelik verilmesi gerekebilir.

Faktör değerlendirmelerinden kaynaklanan eksiklikler:

- Üç risk faktörünün net değerler kullanılarak değerlendirilmesi oldukça zordur. HTEA’daki birçok bilgi genellikle bulanık “orta olasılıkla”, “önemli” veya “çok yüksek” gibi sözel ifadelerle açıklanabilmektedir. Ve genellikle direkt veya doğru numerik değerlendirmenin yapılabilmesi zordur. Özellikle oldukça teknik sistemler net girdi veya çıktı değerlerine sahip değildirler ve hata türleri ve etkileri arasında ilişkiler oldukça kompleks, sübjektif ve kalitatifdir.
- Üç risk faktörü için farklı dönüşümler yapılmaktadır. Hatanın olasılık düzeyi ile ait olduğu derecesi arasında doğrusal olmayan bir ilişki söz konusudur. Önlenibilme düzeyi ile derecesi arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Örneğin eğer hata skoru müşteriye hatalı ürün gelme olasılığı 0.000001 den

0.000004 yükseldiğinde değer 4 katına çıkmasına karşın meydana gelme derecesi sadece bir birim artmaktadır.

- Ş, O, F parametreleri kesikli sıralı ölçekli değişkenler kullanılarak değerlendirilmektedir. Ama sayısal ifadeymiş gibi işlemler uygulanmaktadır. Bu da sonuçlarının yanıltıcı olmasına sebebiyet vermektedir.
- HTEA'nın değerlendirdiği takımdaki uzmanlardan elde edilen sözel değişkenler değerlendirmeye alınmaz.
- RÖS değerleri sürekli değildir. 1 ile 1000 aralığındaki sadece 120 farklı değer Ş, O, F değerlerinin çarpımlarıyla elde edilmektedir.
- Birçok kalitatif değerlendirmenin ve eş zamanlı gerçekleşen birçok hatanın olasılık fonksiyon değerlerinin belirlenmesi oldukça zordur.

HTEA'nın matematiksel formülasyonundan kaynaklanan eksiklikler;

- RÖS'ün matematiksel formülasyonu risk faktörlerinin değerlendirmesindeki değişikliklere karşı oldukça hassastır.
- RÖS hesaplamalarında birçok değer çakışması meydana gelmektedir. Ş, O, F'nin 1000 kombinasyonu birçok kez aynı RÖS değerini almaktadır. Sadece 6 tane Ş, O, F kombinasyonu tek RÖS değerine sahiptir.
- Barındırmış olduğu risk düzeyleri farklı olmasına karşın Ş, O, F risk faktörlerinin farklı kombinasyonları aynı RÖS değerini vermektedir. Örneğin değerleri sırasıyla 3,4,5 ve 1,10,6 olan iki farklı olayın RÖS (60) değeri eşit olmaktadır ve 24 farklı kombinasyonla elde edilmektedir. Değerler bu kadar farklı olmasına karşın aynı önceliğe sahip olması zaman ve kaynakların israfına veya kimi durumlar için de bazı yüksek riskli hata türlerinin farkedilmemesine sebebiyet verebilmektedir.
- RÖS hesaplanmasında kullanılan matematiksel formülün herhangi bir mantıklı dayanağı bulunmamaktadır.

Değerlendirmedeki öznellikten kaynaklı eksiklikler:

- Ş, O, F değerlerinin tutumları subjektif olmasından dolayı tamamen rastsal ve doğru olmayan sonuçlara yönlendirebilmektedir.
- Farkedilebilme ve şiddet değerlerinin belirlenmesi oldukça subjektiftir ve uluslararası bir ölçek sözkonusu değildir.
- Gerçek hayatta değerlendirme yapacak uzman ekipteki bireyler arasında bilgi ve tecrübe düzeyleri farklı olabilmektedir.

- Uzmanlar aynı görüşe sahip olmayabilir. Bu çeşitlilik analizde dikkate alınmamaktadır.
- Uzmanlar aynı mantık ve deneyime sahip olsalar dahi tamimiyle aynı değerlendirmeleri yapmaları oldukça güç hatta imkansızdır.
- Kişilerin kendi içlerinde ve birbirleri arasında kavramları farklı şekilde anlaşılması modelde düşünülmemiştir.
- Grup karar verme dikkate alınmamaktadır.

Hata türlerindeki ilişkilerden kaynaklanan eksiklikler:

- Mühendislik sistemlerinin hiyerarşik yapılarının farklı seviyelerindeki birçok hata türü ve etkisinin birbirine bağımlı olması dikkate alınmaz.
- Geleneksel RÖS metodolojisinde bileşenler arasındaki indirekt ilişkiler dikkate alınmaz ve bu durum birçok sistem ve altsistem için yetersizdir. Birçok potansiyel hata türlerinin meydana gelmesine sebebiyet veren hataya, diğerlerine oranla daha fazla öncelik verilmelidir.
- Düzeltici faaliyetler birbirleriyle bağımlı olabilir ve bu dikkate alınmamıştır. Eğer kapsamlı düzeltici faaliyetler en ideal sırada yapırlarsa etkileri en büyüklenebilir, en ideal çözüme en kısa zamanda ve en az maliyetle ulaşılabilinmiş olur.
- Hata türlerinin birbirinden bağımsız olarak alınması kompleks sistemlerdeki bağımlı iş alanları için oldukça zordur.
- Hatanın etkilerinin birbirinden bağımsız olarak düşünülmesi zordur. Bir etkiyi veren birden fazla hata türü olabilir. Bu durumda asıl hatanın nedenini belirlemek için hata etkileri arasındaki etkileşimde dikkate alınmalıdır.

2.2 HTEA'daki Eksiklikler İçin Kullanılan Yöntemler

Günümüzde HTEA'nın eksikliklerin bir veya birden çoğuna cevap verebilen çalışmalar mevcuttur. Öte yandan eksikliklere en kapsamlı ve verimli şekilde cevap verebilen bir model geliştirilmesi amacıyla da çok sayıda çalışma yapılmıştır. Literatürdeki yaklaşımlar, faktörlerin ağırlıklandırıldığı, HTEA modelinde uzman görüşü kullanılmasından meydana gelen öznelliğin ortadan kaldırıldığı ve hata türlerinin, etkilerinin veya düzeltici faaliyetlerin birbirleriyle ilişkili olmasından kaynaklanan hataların göz önünde bulundurulduğu ve HTEA modelinde kullanılan yöntemlerden kaynaklanan hatanın ortadan kaldırıldığı çalışmalar sırasıyla alt başlıklarda incelenmiştir.

Faktör ağırlıklarının dikkate alındığı çalışmalar:

Dinmohammadi ve Shafiee (2013) çalışmalarında HTEA çerçevesinde üç risk faktörüne ağırlık atamak amacıyla Gri Teori yaklaşımını kullanmışlardır. Bir diğer çalışmada geleneksel HTEA yönteminde Ş(şiddet), O(olasılık), F(farkedilebilirlik) faktörleri eşit öneme sahip olarak kabul edilmesine karşın Vahdani ve diğ. (2015) geliştirmiş oldukları bulanık TOPSIS yaklaşımında Ş, O, F risk faktörlerine göreceli önem ağırlıkları atamaktadır. Geliştirilen yaklaşımda Sıralı Ağırlıklandırılmış Kriterler kullanmaktadır. Malakka deniz trafiğindeki risklerin belirlenebilmesinde, otomatik tanımlama sisteminin geliştirildiği çalışmada HTEA modelinin güvenilirliğini arttırabilmek amacıyla risk faktörlerinin ağırlıklandırılması gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklandırmada AHS yöntemi kullanılmıştır (Zaman ve diğ, 2012). Hu ve diğ. (2009) yine bulanık AHS yöntemiyle risk faktörlerine göreceli ağırlıklar atayarak HTEA modelini kullanmışlardır. Song ve diğ. (2013) ise kaba aralık ağırlıkları tanımlayarak şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik faktörlerini ağırlıklandırmışlardır.

Chang ve diğ. (2014) karar verici için geleneksel RÖS metodunun aksine farklı risk faktörlerinin farklı ağırlıklara sahip eksponansiyel risk önceliklendirme sayısı (ERÖS) metodu geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu metot ile HTEA pratik hayatta çok daha uygulanabilir bir hal almıştır.

Geleneksel RÖS'deki eksiklikleri ortadan kaldırabilmek amacıyla geliştirilen modelde risk önceliklendirme sayısı (RÖS)'ün hesaplanmasında risk karar faktörlerinin ağırlıklandırıldığı bulanık mantık modeli kullanılmıştır (Feng ve Chung, 2013). Lee ve Chang (2005) Sivil havacılıkta uçuş güvenliğinin risklerini değerlendirmek amacıyla HTEA kullanılmış fakat Ş, O, F faktörlerinin risk üzerinde eşit etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir. Bundan dolayı geleneksel HTEA modelinin aksine risk karar faktör ağırlıklarında TOPSIS metodunun kullanıldığı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Mirghafoori ve diğ. (2014) kil ve seramik endüstrinde HTEA kullanılarak risklerin analiz edildiği çalışmalarında, Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılarak risk faktör ağırlıkları otomatik bir şekilde belirlenmiştir.

Uzmanların farklı kişisel deneyimleri ve uzmanlık alanlarının olmasından dolayı HTEA takım üyeleri risk faktörlerini ve bunların önem ağırlıklarını farklı değerlendirebilip belirsizlik ve eksikliklere sebebiyet verebilmektedir. Bunu

önleyebilmek amacıyla Liu ve diğ. (2014) hata türleri ve risk faktör ağırlıklandırma işlemini D sayılarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Gri ilişkiler yöntemiyle hata türleri, risk faktör ağırlıklarına göre sıralanmıştır.

Liu ve diğ. (2011), bulanık kural tabanlı yaklaşımların ve geleneksel HTEA modelinin eksikliklerinin ortadan kaldırıldığı yeni bir HTEA modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde Bulanık Kanıtsal Çıkarım yaklaşımı ve Gri Teori birlikte kullanılmıştır. Böylelikle sadece HTEA takım üyelerinin farklı tür belirsizlikler altındaki görüş farklılıkları dikkate alınabilmekle kalınmamış aynı zamanda göreceli önem ağırlıkları sözel ifadelerle ağırlıklandırılabilmiştir.

Genellikle risk faktör ağırlıkları karar verici veya uzmanlar tarafından öznel bir şekilde belirlenmektedir. Pillay ve Wang (2003), balıkçı teknelerindeki risklerle ilgili yapmış olduğu çalışmada *fark edilebilirlik* (F) risk faktörüne daha çok önem vererek *şiddet* (Ş) ve *olasılık* (O) faktörlerine sırasıyla 0,2 , 0,3 ve 0,5 ağırlık değerleri atamıştır. Yine AHS yöntemi gibi uzman tarafından belirlenen öznel risk faktör ağırlıklandırma yöntemi de sıkça kullanılmıştır. Li ve Zhou (2014) çalışmalarında AHS yöntemini kullanarak Ş, O, F ağırlıklarını sırasıyla 0.316, 0.473 ve 0.21 olarak belirlemişlerdir.

Ancak diğer bir yandan objektif risk faktör ağırlıklandırma yöntemleri de son dönemde araştırmacılar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Chin ve diğ. (2008) tarafından risk faktör ağırlıklarının öznel olarak belirlenmesinin, farklı karar vericilerden toplanan değerlendirmelerin farklılıklar göstermesi, sonrasında zorluklara sebebiyet vereceği düşünülmüştür. Buna çözüm olarak göreceli önem ağırlıklarını belirlemede objektif yöntemlerden veri zarflama analizi (VZA) kullanılmıştır. Liu ve diğ. (2014) ise çalışmalarında uzmanlar tarafından belirlenen bir sübjektif ağırlıklandırma ve normal dağılım tabanlı sıralı ağırlıklandırma metodu kullanmışlardır. Aslında düzeltilmesi gereken en önemli hatanın belirlenmesinde, literatürdeki ayrı ayrı kullanılan ağırlıklandırma işleminin aksine objektif ve sübjektif ağırlıklandırma yöntemlerinin karma bir şekilde kullanılması çok daha doğru sonuçlara götürecektir. Pillay ve Wang (2003) geliştirdikleri yaklaşımlarında, farklı risk içerikleri olmasına karşın aynı RÖS değeri almış olan HTEA modellerinde bir bulanık kural tabanı kullanılarak potansiyel hataların sıralamasını gerçekleştirmiştir. Durulaştırılmış sözel terimlerle belirlenen Ş, O ve F faktör ağırlıklarını içerecek şekilde model geliştirilmiştir. Bulanık kural tabanı ve gri ilişki teorisinin kullanıldığı bir yaklaşımdır.

Net değişkenlerin kullanılmasına karşı uygulanan yöntemler:

HTEA modelleri belirsizlikler ve net olmayan ifadeler içermektedir. Erhan ve diğ. (2015), bu durumun modele yansıtılabilmesi için literatürde; gri teorisi, kanıt teorisi, bulanık küme teorisi, sezgisel bulanık küme teorisi, kaba küme teorisi ve iki demet bulanık sözel gösteriminin kullanıldığı modeller belirtilmiştir.

Değerlendiren uzman ekipteki farklılığın sisteme yansıtılabildiği çalışmalar:

HTEA modelinin değerlendirmesi uzman bir ekip tarafından gerçekleştirilir. Grup bireylerinin bilgi birikimleri karar mekanizmaları birbirlerinden farklı olmaktadır. Aynı olsa dahi tüm değerlendirmeleri tamimiyle aynı yapmaları oldukça zor ve neredeyse imkansızdır. Bu durum HTEA'nın grup karar verme modeli olarak ele alınmasını gerektirir. Grup üyeleri arasındaki farklılıkların modele yansıtıldığı yöntemler incelendiğinde, Balezentis ve diğ. (2012) grup karar vermede sözel mantık oluşturmak için bulanık MULTIMOORA kullanmışlardır.

Liu ve diğ. (2013), grup değerlendirmesinde farklı fikirlere sahip uzmanların değerlendirmelerinin bir araya getirilmesinde bulanık kanıtsal mantık yaklaşımını kullanmışlardır.

İlişkilerin göz önünde bulundurulduğu çalışmalar:

Geleneksel HTEA'da, sistemin bileşenlerindeki ve hata türlerinin ve düzeltici faaliyetlerinin birbirleri aralarındaki ilişkiler göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu eksiklik diğer HTEA eksikliklerine oranla daha az çalışılmıştır. İlişkileri dikkate alan sınırlı sayıda çalışma söz konusudur.

Nepal ve diğ. (2008) C değişkenini sistemin bileşenleri olarak belirtip aralarındaki ilişkileri bir matris yardımıyla göstermişlerdir. Şekil 2.2'de X işareti iki sistemin bileşeni arasında ilişki olduğunu göstermektedir.

	C_1			C_n
C_1		X	X	
....	X			
.....				
C_n			X	

Şekil 2.2 : Sistem bileşenleri arasındaki ilişki matrisi.

Aralarında ilişki olan sistemler belirlenip listelendikten sonra tüm bileşenlerde meydana gelebilecek hata türleri belirlenmiştir. Etkileşimli bileşenlerde meydana gelen tüm hata türlerine göre risk önceliklendirme numarası hesaplanır. Şekil 2.3'te etkileşimli hata türlerinin değerlendirme karnesi gösterilmektedir.

	Hata Türü 1				Hata Türü 2								Hata Türü n			
	S	O	D	RPN	S	O	D	RPN					S	O	D	RPN
C_1-C_2																
C_1-C_3																
C_1-C_4																
.....																
.....																
.....																
.....																
.....																
$C_{n-1}-C_n$																

Şekil 2.3 : Etkileşimli hata değerlendirmetürlerinin karnesi.

Vinodh ve diğ. (2011) ise çalışmalarında hata türleri arasında ilişki olan bir üretim sürecini incelemiştir. Bulanık kural tabanı yöntem olarak kullanılmıştır.

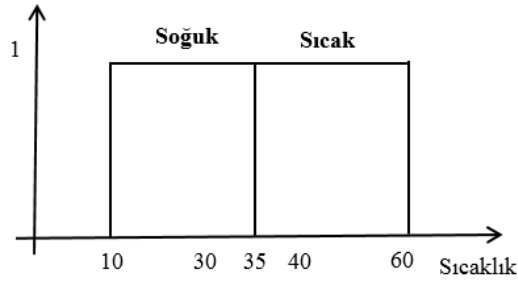
Matematiksel formülasyondan kaynaklı eksikliklerin giderilmesi için kullanılan yöntemler:

Yapılan çalışmalardan derlenen hatalarda, matematiksel çarpım işleminin herhangi bir bilimsel dayanağının olmadığı ve riskleri belirlemede yanlış yönlendirmelere sebebiyet verebileceğinden bahsedilmiştir. Bundan dolayı literatürde, RÖS değerini hesaplamada farklı yaklaşımlar kullanılmış ve HTEA modelinin çok daha güvenilir ve anlamlı bir hale getirilmesi için çalışılmıştır. Kullanılan tüm yöntemlerden başlıcaları; Gri İlişkiler Analizi, Veri Zarflama Analizi, DEMATEL, VIKOR, TOPSIS ve Yapay Zeka, Bulanık Kural Tabanlı Sistemleridir. Bunlar arasından en çok tercih edilen yöntem ise Bulanık Kural Tabanlı Sistemleridir.

3. BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMLER

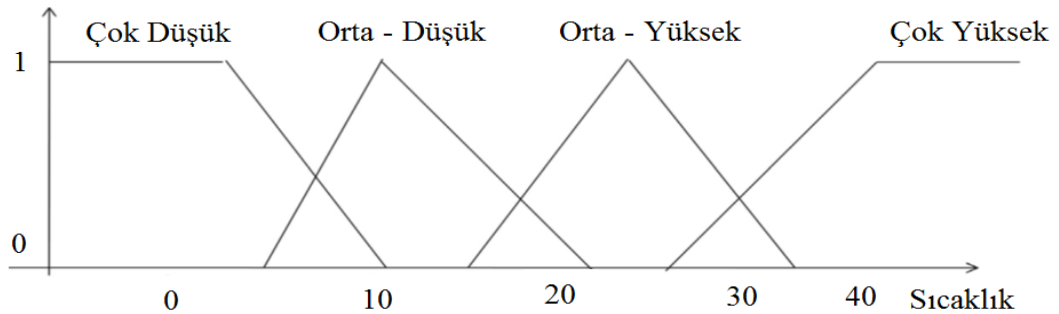
3.1 Bulanık kümeler

Bulanıklık kavramı ilk olarak 1965 yılında Lutfi Zadeh tarafından mühendislik bilimlerinde, matematiksel modelleme ve insan bilgisini birleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. O yıllardan günümüze bulanık kümeler matematikten, geleneksel ve ileri mühendislik metodolojisine (inşaat mühendisliğinden bilgisayar mühendisliğine) kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Dubois ve Henri, 2000). Bir elemanın herhangi bir kümeye ait olması klasik kümelerde Şekil 3.1'deki gibi 'evet' ya da 'hayır', 'sıcak' ya da 'soğuk' olmaktadır.



Şekil 3.1 : Klasik küme mantığı.

Bunun aksine bulanık küme teorisinde bir elemanın ilgili kümeye aidiyetinde 0 ile 1 arasında değerler alabilen sürekli bir üyelik fonksiyonu kullanılır. Şekil 3.2'de örnek olarak; sözel “çok düşük”, “orta düşük”, “orta yüksek”, “çok yüksek” ifadelerinin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Bu üyelik fonksiyon eşitlikleri, orta-düşük ve orta-yüksek için (3.1), çok düşük için (3.2), çok yüksek için (3.3)' deki gibidir.



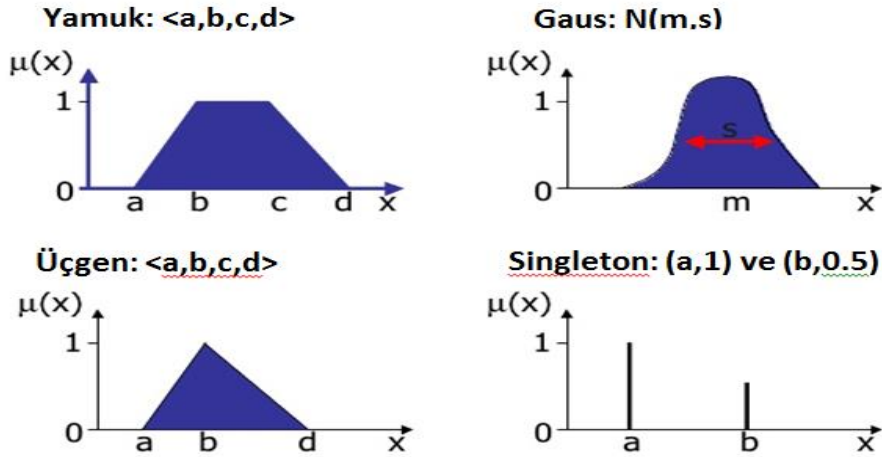
Şekil 3.2 : Bulanık küme mantığı.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-L}{M-L} & L \leq x \leq M \\ \frac{R-x}{R-M} & M \leq x \leq R \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & L = M \leq x \\ \frac{R-x}{R-M} & M \leq x \leq R \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-L}{M-L} & L \leq x \leq M \\ 1 & M = R \leq x \end{cases} \quad (3.3)$$

Üyelik fonksiyonları oluşturulurken, örneğin üçgen üyelik fonksiyonuna bakılacak olursa uzmanlar tarafından her bir sözel ifadeye ait Sağ(R), Sol(L) ve Orta(M) değerleri belirlenir. Fonksiyon şekline göre parçalı fonksiyon eşitlikleri yazılır. Böylelikle bulanık kümeler kullanılarak sözel ifadeler, belirlenen üyelik fonksiyonları sayesinde $[0,1]$ değer aralığındaki tüm değerleri alabilmektedir. Dolayısıyla belirsizlikler daha net bir şekilde tanımlanmış olur. Üçgen yapıdaki üyelik fonksiyonlarının yanı sıra Şekil 3.3'teki gibi Gauss, yamuk ve singleton fonksiyonunun da olabilmektedir.



Şekil 3.3 : Bulanık küme üyelik fonksiyonu türleri.

Tip 1 bulanık kümeler belirsizliğin daha fazla olduğu çevreler için yetersiz olmaktadır. Bu belirsizlikler:

- Bulanık kümelerde kullanılan kelimelerin anlamlarının da belirsiz olması (kelimeler farklı kişilere göre farklı anlamlar ifade edebilir).

- Tip-1 bulanık küme değerlerini belirlemede kullanılan ölçümlerde gürültü olması,
- Üyelik değerlerini belirleyen uzman grubu arasında fikir, tecrübe farklılıklarının bulunmasından kaynaklanabilmektedir.

Bu ve daha birçok farklı nedenden kaynaklanan belirsizliğin modellenenebilmesi amacıyla Tip 2 Bulanık Küme kavramı geliştirilmiştir.

3.2 Tip 2 Bulanık Kümeler

Tip 2 bulanık küme kavramı ilk olarak Lutfi Zadeh tarafından, 1971 ortaya atılmıştır. Tip 2 bulanık kümeler, belirsizliklerin yüksek olduğu çevre veya durumlarda, belirsizliği daha iyi açıklayabilmek amacıyla geliştirilmiştir. Tip 2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları daha fazla parametre ile karakterize edildiğinden, belirsizliği modellemede Tip 1 bulanık kümelerden daha etkilidir. Tip 2 bulanık kümeler sayesinde serbestlik dereceleri daha yüksek tasarımlar yapılmaktadır (Mendel, 2001). Tip 2 bulanık kümelerde değişkenlerin almış oldukları üyelik dereceleri de belirsizdir. Yani, Tip 2 bulanık kümelerin, üyelik fonksiyonları tip 1 bulanık yapıdadır. Üyelik fonksiyonları $[0, 1]$ aralığında değer alan bulanık alt kümelerdir (Dubois ve Prade, 2000). Tip1 bulanık kümeler tip 2 bulanık kümelerin özel bir halidir. Tip 2 bulanık küme kavramı tanımlarına bakılacak olursa (Mendel, 2001):

Tanım 1: Bir tip 2 bulanık küme $\tilde{A}$ ile gösterilir ve $x \in X$ ve $u \in J_x \subseteq [0, 1]$ olacak şekilde tip 2 üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ ile karakterize edilir. Yani (3.4)'teki gibi:

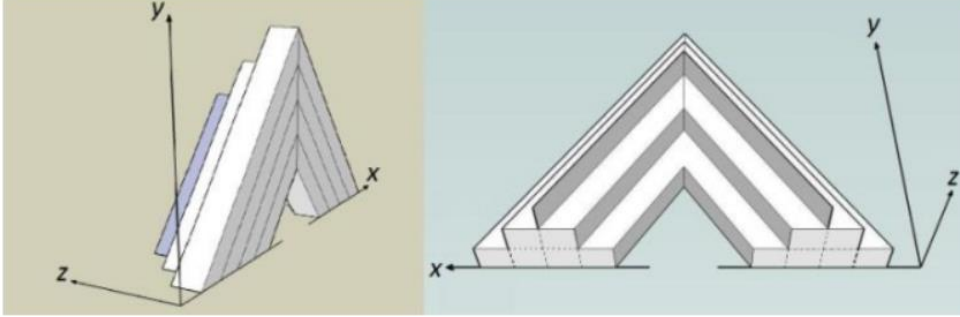
$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]\} \quad (3.4)$$

$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ değer aralığındadır. $\tilde{A}$ 'nın bir diğer gösterimi ise (3.5):

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad J_x \subseteq [0, 1] \quad (3.5)$$

$\iint$ tüm x ve u 'nun birleşimi gösterir. Kesikli uzayda ise $\int$ yerine $\sum$ işlemi uygulanır. $\forall u \in J_x \subseteq [0, 1]$ şartı Tip1'deki $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ kısıtıyla alakalıdır. u değişkeni $\mu_A(x)$ 'e eşit ve $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ olduğu durumda tip 2 üyelik fonksiyonu tip 1 üyelik fonksiyonuna indirgenmelidir.

$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ kısıtı üyelik derecenin değer aralığının 0 ile 1 arasında olduğunu göstermektedir. Tip 2 bulanık kümelerin bu haline “Genel Tip 2 Bulanık Kümeler” denilir ve Şekil 3.4’teki gibi üç boyuttan oluşmaktadır.



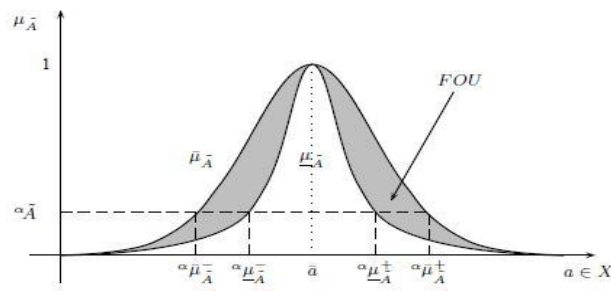
Şekil 3.4 : Genel tip 2 bulanık küme gösterimi.

Tanım 2: $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ olduğunda $\tilde{A}$, “Aralık Tip 2 Bulanık Küme” olmaktadır.

Bu durumda genel tip 2 bulanık kümelerin üçüncü boyutuna gerek kalmaz ve Aralık Tip 2 Bulanık kümeler genel tip 2 bulanık kümelerin özel bir hali olarak denklem (3.6)’da gösterildiği gibidir;

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1 / (x, u) \quad J_x \subseteq [0, 1] \quad (3.6)$$

Şekil 3.5’te aralık tip 2 bulanık küme yapısı görülmektedir. Genel Tip 2 bulanık çıkarım sisteminin iki boyuta indirgenmiş halidir.



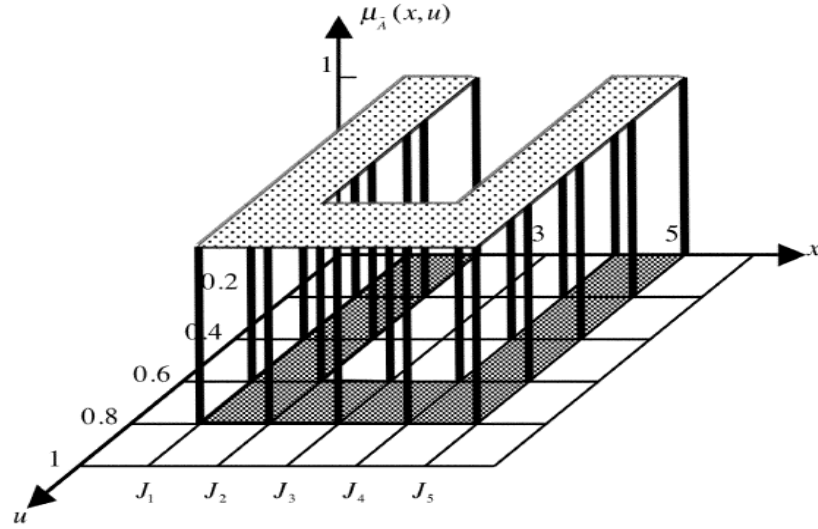
Şekil 3.5 : Aralık tip 2 Gauss bulanık küme.

Tanım 3: J_x ise x in birincil üyeliğidir ve $J_x \subseteq [0, 1]$ aralığında değer almaktadır.

Tanım 4: Aralık tip 2 bulanık kümelerin birincil üyeliğindeki belirsizliği temsil eden sınırlı alana *belirsizliğin ayak izi* (FOU) denilmektedir. Denklem (3.7)’de gösterildiği gibi birincil üyeliklerin birleşimidir;

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{x \in X} J_x \quad (3.7)$$

Bu gösterim FOU nun düşey kesitinin gösterimidir çünkü tüm birincil üyelikler düşey kesittir. Şekil 3.6’da x ve u düzlemindeki taralı alan FOU yu göstermektedir. FOU burada düzgün olarak gösterilmiştir ama düzgün olmadığı durumlarda söz konusu olabilir.



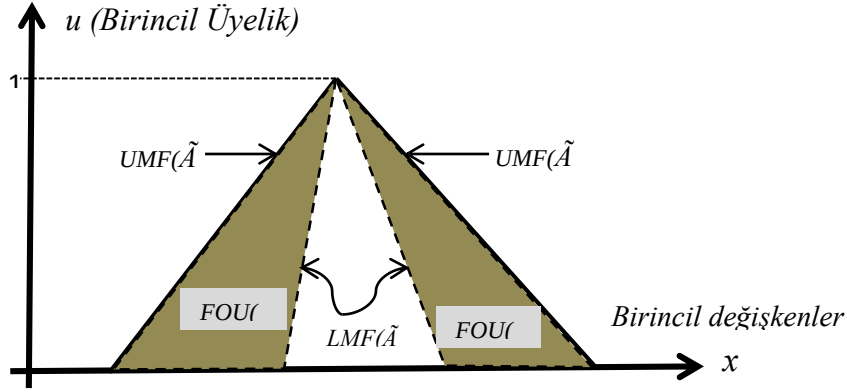
Şekil 3.6 : FOU alanının iz düşümü (Mendel, 2001).

Tanım 5: $\tilde{A}$ ’nın Üst üyelik derecesi (UMF) ve alt üyelik derecesi (LMF) iki ayrı tip 1 üyelik fonksiyonudur. Ve FOU’nun sınırlarını oluşturmaktadır. $FOU(\tilde{A})$ ’nın üst sınırı UMF’dir ve $\forall x \in X$ olacak şekilde $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ ile gösterilir. $FOU(\tilde{A})$ ’nın alt sınırı LMF’dir ve $\forall x \in X$ olacak şekilde $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ ile gösterilir. Aralık tip 2 bulanık kümeler $J_x = [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)]$, $\forall x \in X$ için diğer bir gösterim şekli sırasıyla (3.8) ve (3.9)’daki eşitliklerdeki gibidir:

$$\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \overline{FOU(\tilde{A})} \quad \forall x \in X \quad (3.8)$$

$$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \underline{FOU(\tilde{A})} \quad \forall x \in X \quad (3.9)$$

Şekil 3.7’de Aralık Tip 2 bulanık küme yapısının “Alt Üyelik Fonksiyonu”, “Üst Üyelik Fonksiyonu”, “Belirsizliğin Ayak İzi” kavramları üçgensel bir üyelik fonksiyonunda ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Aralık Tip 2 Bulanık Küme (Mendel, 2001).

3.3 Tip 1 Bulanık Kural Tabanı

Bulanık mantık 1965 yılında Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Sistemler, bulanık mantıkla matematiksel modellere ihtiyaç kalmadan, kontrol etme yetisine sahip olan uzmanların çıkarımları kullanılarak modellenenmektedir (Malgarejo ve diğ, 2004). Bulanık kural tabanlı sistemler, doğrusal olmayan, karmaşık ve net bir değerle ifade edilemeyen belirsiz, öznel ve sözel verileri modelleyebilmektedir.

Bulanık kural tabanlı sistemler bir yapay zekâ uygulaması oluşturma prensibidir (Liu ve diğ, 2013). Literatürde farklı farklı kavramlarla adlandırılır. Bunlar (Mendel ve diğ, 2006):

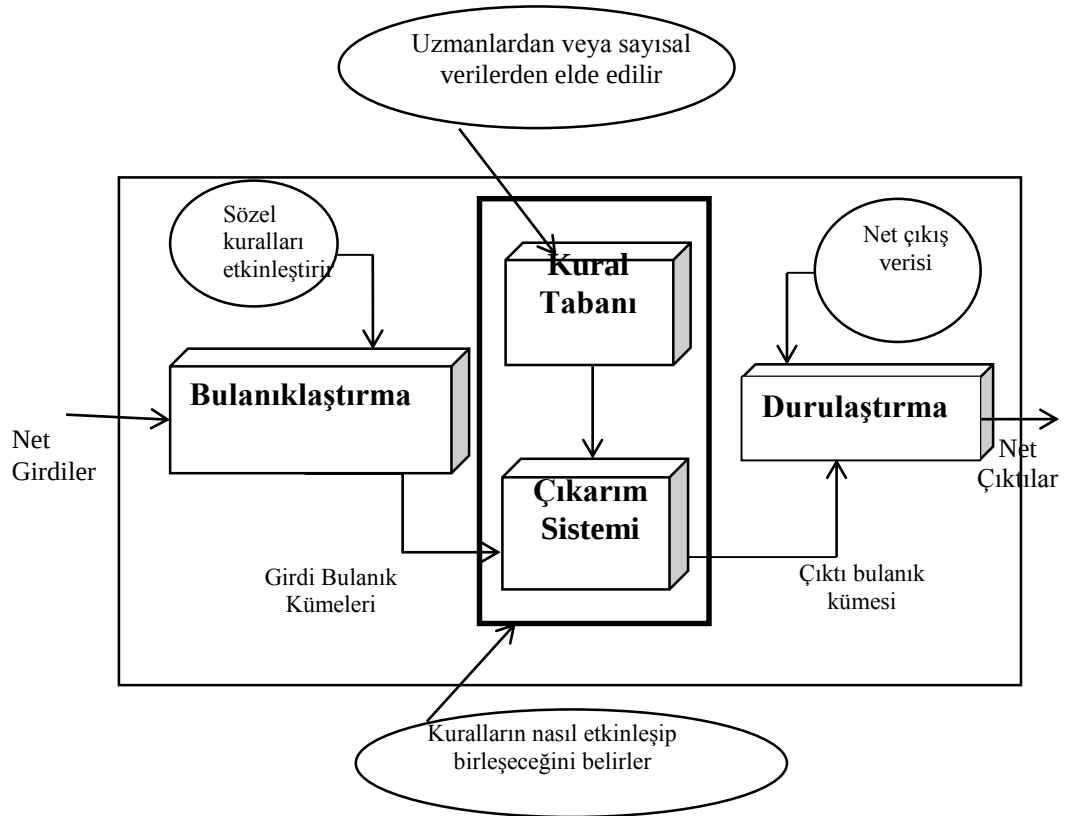
- Bulanık Mantık
- Bulanık Model
- Bulanık Sistemler
- Bulanık Mantık Kontrolcüsü
- Bulanık Uzman Sistemler
- Bulanık Çıkarım Sistemleridir.

Bulanık kural tabanları elektronikten sağlığa birçok farklı alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Problemlerde bulanık kural tabanlı sistemlerin tercih edilmesinin birçok nedeni bulunmaktadır. Bulanık kural tabanlı sistemlerin kullanımının başlıca nedenleri:

- Bulanık çıkarım sistemlerinde uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinin kolaylıkla kullanılabilmesi

- Bulanık mantığın anlaşılması ve modellemesinin kolay olması
- Bulanık çıkarım sistemi modellerinin esnek yapıda bulunması
- Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilmesi
- Modellenmesi zor karmaşık doğrusal olmayan problemlerde uygulanması sırasında büyük kolaylıklar sunması
- Günlük dildeki sözel ifadeleri anlam kaybı yaşanmadan modelleyebilmesidir.

Bulanık kural tabanlı sistemler dört adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar kesin girdilerin bulanıklaştırıldığı “bulanıklaştırma”, uzman görüşünden veya veri tabanından bazı yaklaşımlar kullanılarak elde edilen kuralların oluşturulduğu “kural tabanı birimi”, kural tabanındaki kurallar ile çıkarımların gerçekleştiği “çıkartım sistemi” ve son olarak da çıkarım işleminden elde edilen bulanık verilerin kesin değerlere dönüştürüldüğü “durulaştırma”dır. Şekil 3.8’de bulanık kural tabanın işleyiş süreci gösterilmektedir.



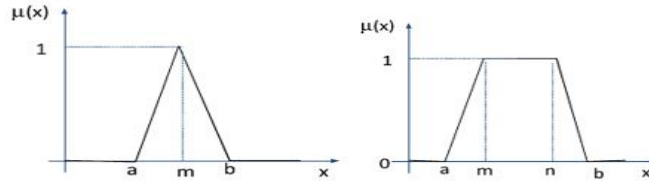
Şekil 3.8 : Bulanık Kural Tabanı Sistemlerinin yapısı (Chin, 2008).

Bulanıklaştırma ve durulaştırma işleminde kullanılacak üyelik fonksiyonu, kural tabanında kullanılacak kuralların belirlenmesi, çıkarım sistemlerinde kullanılacak modelin kararlaştırılması uzmanlar tarafından gerçekleştirilir.

Bulanık kural tabanı sistemlerinin işleyişi kısaca şöyledir; net girdi değerleri sisteme giriş yaptıktan sonra bulanıklaştırma işlemine tabi tutulur ve böylelikle bulanık kural tabanı sisteminin kullanabileceği hale dönüştürülmüş olur. Bulanık girdiler belirlenmiş kural tabanlarında tanımlanarak tercih edilen çıkarım sistemine (min-maks, maks-min....) göre birleştirilmiş bir değer elde edilir. Bu bulanık çıktı değerleri son olarak durulaştırma işlemine tabi tutularak tek dönüştürülme işlemi gerçekleştirilir. Bu adımların ayrıntıları ve bu adımlar için geliştirilen yöntemler dört başlık altında incelenmiştir.

3.3.1 Bulanıklaştırma

BKTS’de kullanılmak üzere veri tabanlarından, ölçümlerden veya uzman değerlendirmelerinden elde edilen net verilerin, yapılacak uygulama göz önünde bulundurularak yine uzmanlardan elde edilen “iyi”, “orta”, “yüksek”, “hızlı” gibi sözel ifadelerle bulanık kümelerle dönüştürülme işlemidir. Bulanık kümelerin parametreleri uygulamalarda kullanılacak verilerin değer aralıklarına göre verilir. Örneğin Şekil 3.9’daki üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları; a, m, b ve a, m, n, b parametrelerinden oluşmaktadır. Ve kullanılan sözel ifadenin türüne (düşük, yüksek, orta...) göre değerler almaktadır.



Şekil 3.9 : Sırasıyla gerekli a,m,b ve a,m,n,b parametreleri.

3.3.2 Kural tabanı

Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi ifade eden EĞER-İSE kurallarının tümü kural tabanında tanımlanır. Oluşturulan bulanık kural tabanı sistemi modelinin verimliliği açısından kural oluşturma mekanizması önemlidir. Bu ilişkiler uzmanlar tarafından veya veri tabanlarındaki değişkenler arasındaki mevcut ilişkiler analiz edilerek belirlenir. Kurallarda VE bağlacı gibi VEYA bağlacı da kullanılmaktadır. Farklı durumların aynı anda olması yerine, bu durumların içlerinden bir tanesinin gerçekleşmesinin yeterli olduğunda VEYA bağlacı kullanılır. VE bağlacının kullanılmış olduğu kural yapısı (3.10)’da gösterilmektedir.

$$R: EĞER (x_1 = A_1) VE (x_2 = A_2). ... VE (x_n = A_n) İSE (y = B) \quad (3.10)$$

Kural yapılarına örnek vermek gerekirse:

EĞER hava “çok nemli” ve bulutlar “oldukça fazla” İSE yağmur “çok şiddetli” dir.

EĞER hava “nemli” ve bulutlar “az” İSE yağmur “normal” dir.

EĞER hava “kuru” ve bulutlar “fazla” İSE yağmur “hafif” dir.

EĞER hava “nemli” ve bulutlar “oldukça fazla” İSE yağmur “şiddetli” dir.

Bazı durumlarda bir kuralın sonucu net tek bir değer olmamaktadır. Böyle bir durumda öncülde tanımlanan koşul birden fazla sonuca farklı ağırlıklar atanarak modellenmektedir. Buna "kural ağırlıklandırma" denilmektedir.

Yeterince anlam ifade etmeyen ve aynı anlamı veren kuralların oluşturulmamasına dikkat edilmelidir. Son dönemde modelin performansını arttırmak ve uygulama kolaylığı sağlamak için geliştirilen “kural indirgeme” yaklaşımları mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Tay ve Lim (2006) tarafından geliştirilen kural indirgeme yaklaşımı kullanılmıştır.

Alt başlıklarda, bu tez kapsamında geliştirilen modelde kullanılan kural ağırlıklandırma ve kural indirgeme yöntemleri açıklanacaktır.

3.3.2.1 Kural indirgeme sistemleri

Çok boyutlu girdilerden oluşan sistemlerde bulanık modelleme oldukça zorlayıcı problemlerdir. Klasik bulanık RÖS Modelleri çok sayıda kuraldan oluşur ve bu kural kümelerinin belirlenmesi sıkıcı ve zaman alıcı bir işlemdir. Bunun yanı sıra kural sayısının artması modelin tahmin gücünü de azaltmaktadır.

Gerekli kural sayısının artması, kullanıcının çok daha fazla bilgi toplamasını gerektirdiğinden, modelin kullanılabilirliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, BKTS modellerindeki kuralların hepsi gerçek anlamda gerekli değildir. Bazı kuralların elenmesi modelin çıktısı üzerinde anlamlı bir farklılık meydana getirmezken, bazı kurallar da hayati önem taşırlar ve göz ardı edilemezler. Böylelikle, bulanık modellemenin verimliliğini artırmak amacı ile kural indirgeme yöntemleri, önemli ve gerekli kuralların seçiminde sıkça kullanılan bir yaklaşım haline gelmiştir. Tay ve Lim (2006) çalışmalarında KİSK (Kural İndirgeme Sistem Kılavuzu)

kullanarak bulanık RÖS Modelini iyileştirmişlerdir. KİSK hangi kuralın gerçek anlamda gerekeceği hangi kuralın da eleneceği hakkında kullanıcıya yol göstermektedir. Bu yöntem sayesinde kullanıcı, tüm kurallar yerine sadece önemli ve gerekli olan kuralları belirleyebilmektedir.

KİSK, *çıkarım gücü matrisi* üzerinden işlemleri gerçekleştirmektedir.

I_N : $N=1,2,3,...n$ olmak üzere $\$N$ (şiddet), O_N (olasılık), F_N (farkedilebilirlik) değerlerinden oluşan RÖS modelinde olası hata türü girdiler matrisi olsun. I matrisi (3.11)'deki gibi oluşturulmaktadır.

$$I = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \$_1 & O_1 & F_1 \\ \$_2 & O_2 & F_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \$_n & O_n & F_n \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Çıkarım gücü, tek bir girdi veri kümesi ile bir kural arasındaki ilişkinin şiddetini göstermektedir. Sıfır ile bir arasında değerler almaktadır ve girdi ile kural arasındaki ilişki arttıkça çıkarım gücü artmaktadır.

$\mu_{\$X}(\$)$: $X= 1,2,3,...n$ olmak üzere şiddet girdisinin üyelik fonksiyonu,

$\mu_{OY}(O)$: $Y= 1,2,3,...n$ olmak üzere olasılık girdisinin üyelik fonksiyonu

$\mu_{FZ}(F)$: $Z= 1,2,3,...n$ olmak üzere fark edilebilirlik girdisinin üyelik fonksiyonu,

$\mu_{RW}(R)$: $W= 1,2,3,...n$ olmak üzere RÖS çıktısının üyelik fonksiyonu olsun,

$R_{XYZ}(\mu_{\$X}(\$), \mu_{OY}(O), \mu_{FZ}(F), \mu_{RW}(R))$: değeri $\mu_{\$X}$, μ_{OY} ve μ_{FZ} üyelik fonksiyonlarıyla kural R_{XYZ} , HTEA için $R_{XYZ}(\mu_{\$X}, \mu_{OY} \text{ ve } \mu_{FZ})$ üyelik fonksiyonlarının kombinasyonu tüm X(şiddet), Y(olasılık) ve Z(farkedilebilirlik) sözel değişkenlerinin kombinasyonudur ve eşitlik (3.12) ile Mamdani bulanık fonksiyonundaki üçlü bulanık ilişkilere dönüştürülebilir.

$$\begin{aligned} R_{XYZ}(\mu_{\$X}(\$), \mu_{OY}(O), \mu_{FZ}(F), \mu_{RW}(R)) \\ = (\mu_{\$X}(\$) \times \mu_{OY}(O) \times \mu_{FZ}(F)) \times \mu_{RW}(R) \end{aligned} \quad (3.12)$$

F_{NXYZ} : çıkarım gücü tekli girdi veri kümesi I_N ve kural R_{XYZ} arasındaki ilişkinin ölçüsüdür. (3.13)'te gösterildiği gibi N girdisi için $\mu_{SX}(S_N), \mu_{OY}(O_N), \mu_{FZ}(F_N)$ değerlerinin en küçüğüne eşittir.

$$F_{NXYZ} = \mu_{SX}(S_N) \wedge \mu_{OY}(O_N) \wedge \mu_{FZ}(F_N) \quad (3.13)$$

I_N ve tüm kurallar arasındaki ilişki, üçlü boyutlu (3D) matrisler (F_N) ile gösterilir.

S_{XYZ} : önem indeksi olup bulanık RÖS modelindeki kural R_{XYZ} 'nin önem değerini ölçer. S_{XYZ} gösterimi ise (3.14)'te gösterildiği gibi tüm hata türlerinin sahip olduğu çıkarım güçlerinin en büyüğüdür.

$$S_{XYZ} = \text{Max}(F_{1XYZ}, F_{2XYZ}, F_{3XYZ} \dots F_{nXYZ}) \quad (3.14)$$

F_N gösterimindeki gibi S de S_{XYZ} 'yi kapsayan 3D'li bir matris gösterimine sahiptir. Bir kural R_{XYZ} , o kural ile ilgili S_{XYZ} önem indeksine göre seçilir. Önceden belirlenmiş eşik değerlerinden (λ) küçük veya eşit S_{XYZ} 'li kurallar silinir. Kural R_{XYZ} , $0 \leq \lambda \leq 1$ olmak koşuluyla $S_{XYZ} \geq \lambda$ ise kabul edilir.

λ azaldıkça gerekli kural sayısı artar. Belirlenen λ değeri sonucunda seçilen kuralların, potansiyel hata türü değişkenlerini en iyi şekilde kapsayabilecek büyüklükte olmalıdır. Dolayısıyla belirlenen kurallar öncül değişkenlerinin fonksiyonlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca girdilerin S, O, F düzeylerine göre de değişmektedir. Eğer tanımlanan hataların şiddet düzeylerinde, 1 değeri hiç yer almıyorsa, şiddet değerinin 1 olduğu kural kombinasyonları elenir. İdeal lamda değeri, kural sayısı ile kuralların kapsayıcılığının kesiştiği optimum noktadır. Lamda değeri azaldıkça dahil edilen kural sayısı artar. λ 'nın sıfıra eşit olması durumunda ise tüm kurallar seçilir.

3.3.2.2 Kural ağırlıklandırma

Kural ağırlıklandırma yöntemi bir kuralın birden fazla risk düzeyiyle ifade edildiği durumlarda kullanılır. Eğer bir kural türüne ait öncüllerin almış olduğu değerler sonucunda riskin düzeyi net ve tek bir değer değilse; olası sonuçlar, toplamaları bir olacak şekilde 0 ile 1 aralığındaki değerlerle ağırlıklandırılmaktadır (Tay ve Lim, 2010). Kural yapısı (3.15)'teki gibidir.

Kural m için:

$E\check{G}ER (x_1 = X_1^m)VE ... (x_n = X_n^m) İSE a_1^m$ ağırlıkla y, Y_1^m dir.

$E\check{G}ER (x_1 = X_1^m)VE ... (x_n = X_n^m) İSE a_2^m$ ağırlıkla y, Y_2^m dir. (3.15)

$$a_1^m + a_2^m = 1$$

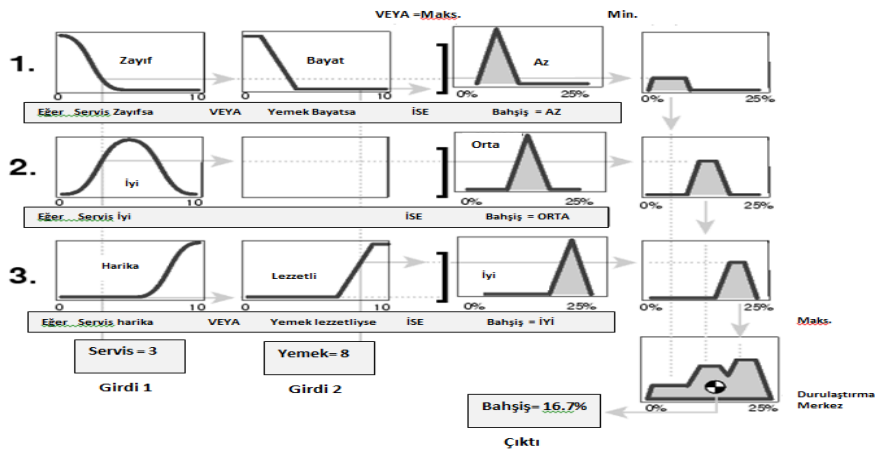
Yukarıdaki kuralların öncül kısımları aynı koşulları ifade etmektedir. Ancak sonuç Y_1^m ve Y_2^m değerlerini almaktadır. a_1^m, a_2^m değerleri ise sırasıyla bu sonuç değerlerinin ağırlıklarını ifade etmektedir. Ve tüm ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır. Örneğin, (0,95) yüksek ve (0,05) orta risk düzeyine sahip ağırlıklı iki farklı sonucu alabilmektedir. Burada ayrıca ikiden fazla sonuç değeri de belirlenebilir

3.3.3 Çıkarım sistemi

Giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurallarla tanımlanmış olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak ortak bir çıkışın oluşmasını sağlayan sistemlerdir. Her bir kuralın çıkarımlarını birleştirerek sistemin, tanımlanmış girdilere nasıl çıktılar oluşturacağını belirler. Çıkarım sistemleri arasında en yaygın olarak kullanılan modeller Mamdani ve Takagi Sugeno Kang (TSK) 'dır.

3.3.3.1 Mamdani bulanık çıkarım sistemi

Mamdani bulanık çıkarım sistemleri, tanımlanan kuralların sonuç kısımlarında da sözel ifadelerin kullanıldığı kural tabanlarında kullanılmıştır. Şekil 3.10'da bir örnek üzerinde modelin adımları ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemleri (Xu ve diğ, 2002).

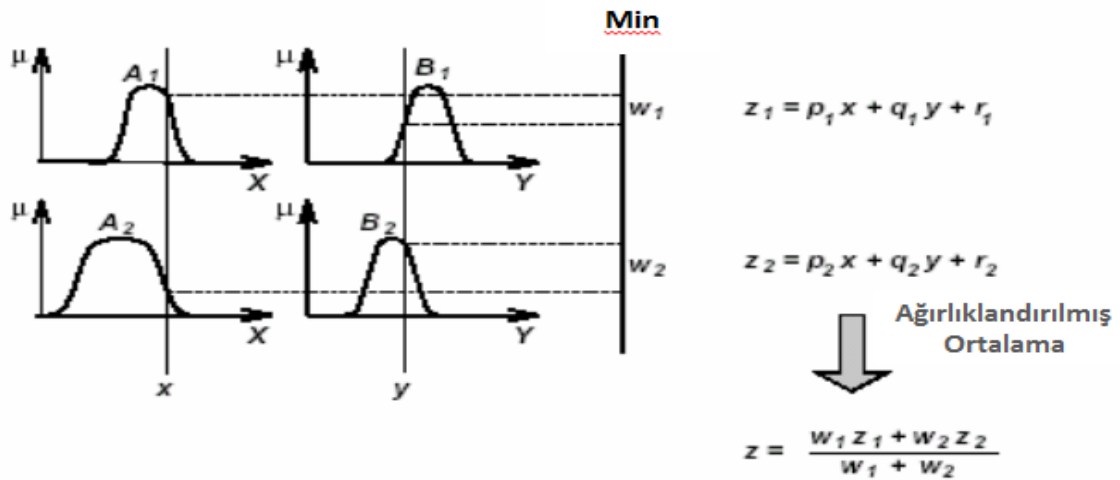
Ebraham Mamdani tarafından geliştirilen bu bulanık çıkarım mekanizması şu adımları izler:

- A ve B olmak üzere 2 giriş verisi ile C çıkış verisinin bulunduğu bir sistemde, ilk olarak bu giriş değişkenleri için üyelik dereceleri belirlenir.
- A ve B ile C değerleri arasındaki ilişkiyi temsileden kuralların tümü oluşturulur. (Bu kurallardan 3 tanesi Şekil 3.10’da gösterilmiştir).
- Koşul kısmındaki iki üyelik derecesinin minimumları alınır. En küçük üyelik derecesine denk gelecek şekilde çıkış değerinin üyelik fonksiyonunda kesit alınır.
- Bu işlem her bir kural için ayrı ayrı uygulanır. Ve tüm kurallardan elde edilen bulanık çıkış kümeleri maks. operatörüyle birleştirilir.
- Son olarak elde edilen bulanık kümelere durulaştırma işlemi yapılır.

3.3.3.2 TSK bulanık çıkarım sistemi

Takagi, Sugeno ve Kang tarafından geliştirilen bu modeli Mamdani modeline benzer bir yapıdadır. Tek fark çıkış değerleri keskin bir fonksiyon iken giriş bulanık kümeleri olmasıdır. Her bir kural klasik çıkışa sahip olduğundan durulaştırma işlemine gerek kalmaz. (3.16)’da TSK bulanık çıkarım sistemi kuralı tanımlanmıştır. Şekil 3.11’de ise yapısı gösterilmiştir. Bu iki modelin uygulanmasında farklı zorluklar bulunmaktadır. Mamdani modeli çıktı değerlerinin bulanık olmasından dolayı durulaştırma işlemine tabi tutmaktadır. Buna karşın TSK işleminde bu durulaştırma işlemi olmasa dahi çıkış fonksiyon değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

$$EĞER (x=A) VE (y=B).....İSE (z = f(x,y)) \quad (3.16)$$



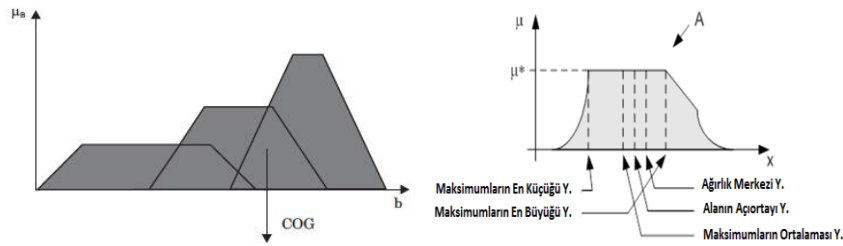
Şekil 3.11 : TSK Bulanık Çıkarım Sistemleri.

3.3.4 Durulaştırma

Bulanık çıkarım sisteminin sonucunda elde edilen bulanık çıkış değerlerinin net sayılara dönüştürülmesi amacıyla durulaştırma işlemi uygulanır. Durulaştırma yöntemlerinden bazıları şu şekildedir:

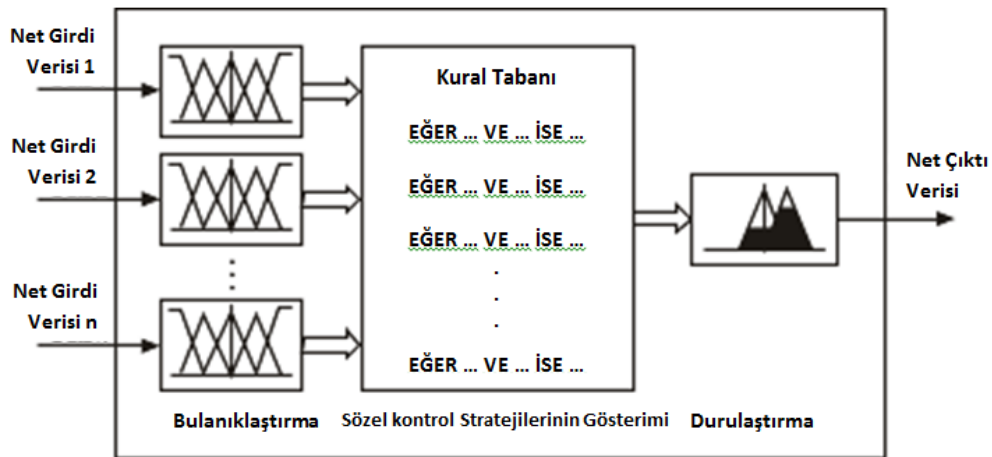
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Maksimumların ortalama yöntemi,
- Weights mean of maximum,
- Alfa-kesim Yöntemi,
- Maksimumların En Küçüğü Yöntemi,
- Maksimumların En Büyüğü Yöntemi,

Şekil 3.12’de bulanık çıkarım sisteminden elde edilmiş bulanık yapılarıdaki çıktıların uygulanan çeşitli durulaştırma işleminin sonuçları vardır.



Şekil 3.12 : Durulaştırma işlemlerinin grafik gösterimi.

Sonuç olarak bulanık kural tabanlı sistemler daha açık olarak adımlarında Şekil 3.13’te gösterildiği gibi işlemler gerçekleştirilir. Girdi sayıları ve çıktı sayıları uygulanan probleme göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3.13 : Bulanık kural tabanı sistemlerinin yapısı.

3.4 Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler

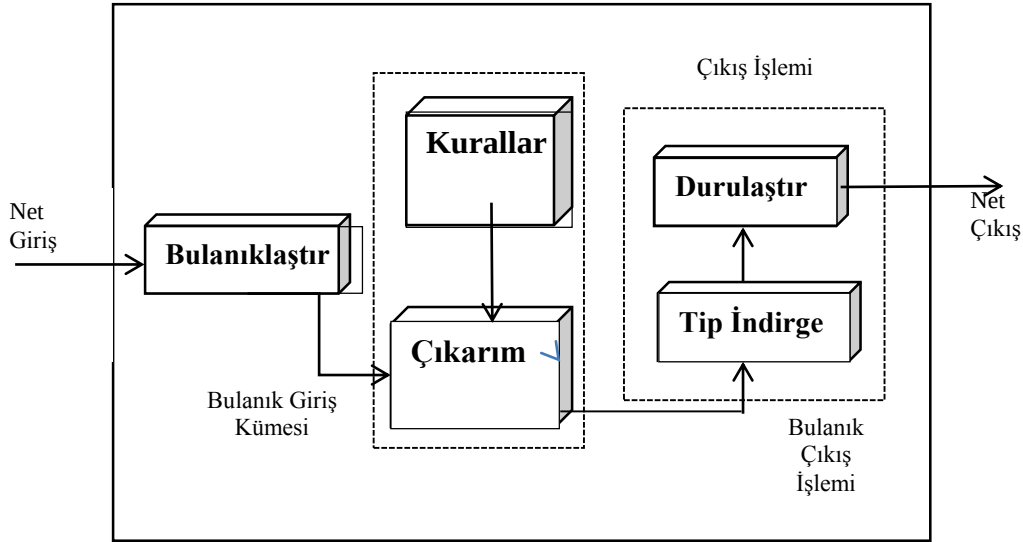
Öncül ve sonuç kümeleri tip 2 küme olması durumunda Bulanık Kural Tabanlı Sistemler de doğrudan Aralık Tip 2 yapıda olmaktadır (Melgarejo ve diğ, 2004). Bulanık kural tabanlı sistemlerde yaşanan belirsizliklerin daha iyi bir şekilde ele alınabilmesi için “Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler” kullanılır.

Bulanık kural tabanlı sistemler insan bilgisini kullanmaktadır. Ve farklı konular da uzmanlaşmış farklı bilgi birikimlerine sahip bir grupta birtakım çeşitlilik ve belirsizlikler olması kaçınılmazdır. Çünkü gruptaki her bir uzmanın, aynı kural tabanını veya aynı üyelik fonksiyon değerini belirlemesi neredeyse imkansızdır. Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler ise bu belirsizlikten kaynaklı etkileri azaltarak daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlamaktadır.

Bulanık kural tabanlı sistemlerin yapısı genel hatlarıyla ortaktır. Ancak yapılan çalışmalar yüksek çeşitliliğe sahip bulanık kümelerin kullanımının, tip 2 bulanık kümeler gibi, belirsizliğin yüksek olduğu koşullarda çok daha fazla bilgiyi açıklayabildiğini göstermektedir (Zarandi ve diğ, 2009).

Şekil 3.14’te tip 2 bulanık kural tabanlı sistemin adımları gösterilmektedir. Tip 1 bulanıkkural tabanlı sistemlerle oldukça benzer bir yapıdadır. Tip 1 bulanık kural tabanlı sistemlerde çıktı elde etmede sadece durulaştırma işlemi uygulanmaktadır. Ancak tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemlerde tip 1 BKTS’den farklı olarak öncül ve sonuç kümeleri tip 2 yapıdadır ve “genişletilmiş” tip 1 durulaştırma işlemiyle, tip 2 kural çıktı kümeleri tip 1 kümelerine dönüştürülür. Bu işleme “tip indirgeme” işlemi denilmektedir. Son olarak tip indirgenmiş kümelerden durulaştırma işlemiyle net çıktılar elde edilir. Kurallar, bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemleri uzmanlar tarafından belirlenmektedir.

Tip 2 bulanık kural tabanlı sistemler kısaca şöyle bir akışa sahiptir: Öncelikli olarak bir problem hakkında uzmanlardan veya veri tabanından elde edilen net değişkenlerin bulanıklaştırılması gerçekleştirilir. Bulanıklaşan girdiler, bulanık kural tabanında tanımlanmış tip 2 yapıdaki kurallar üzerinden çıkarım sistemine tabi tutulurlar. Çıkarım sisteminden tip 2 bulanık küme değerli çıkışlar elde edilir. Tip 2 bulanık kümeler tip indirgeme yöntemleriyle tip 1 bulanık kümelere dönüştürülür. Son adımda da tip 1 bulanık kümeye indirgenen çıktılar durulaştırma işlemine tabi tutulur ve net çıktı değerleri elde edilir.



Şekil 3.14 : Tip 2 bulanık kural tabanlı sistemin adımları (Mendel, 2001).

Tip 2 bulanık sistemlerin özel bir hali olan Aralık Tip 2 Bulanık sistemler Genel Tip 2 Bulanık Sistemlere oranla daha az kapsayıcı olmasına karşın kullanım kolaylığı bakımından Aralık Tip 2 Bulanık Sistemler çok daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında da Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler (AT2BKTS) kullanılmıştır.

3.4.1 Bulanıklaştırma

Veri tabanlarından, ölçümlerden veya uzman değerlendirmelerinden elde edilen net verilerin, bulanık kümelerle dönüştürüldüğü adımdır. Bu bulanık kümeler; singleton ve singleton olmayan bulanık küme yapılarından biri olabilir. Singleton bulanıklaştırmada girdi kümesi sıfır olmayan bir üyelik fonksiyonunda tek bir noktaya sahiptir. Singleton bulanıklaştırma gerek basitliği gerekse de daha az hesaplama gerektirmesi bakımından yaygın şekilde kullanılır. Ancak belirsizliğe göre bu bulanıklaştırmanın yetersiz kaldığı durumlar da söz konusudur. Bu noktada singleton olmayan bulanıklaştırma, belirsizlik bakımından etkin bir yöntemdir.

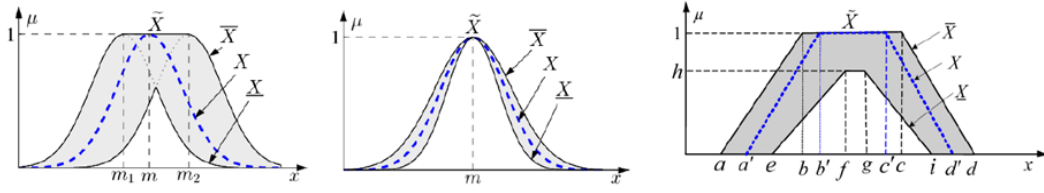
3.4.2 Kural tabanı

Kural tabanlarının oluşturulması tip 1 deki yapıyla oldukça benzerdir. Tek fark kuralların öncüllerinin ve sonuçlarının ait olduğu kümelerin aralık tip 2 bulanık küme özelliği taşımasıdır. p girdi (sözel değişken) değerine sahip, $x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$ ve tek çıktısı olan $y \in Y$ yapılara Çoklu Girdili Tek Çıktılı (ÇGTÇ) kural yapıları denilmektedir. Yine farklı problem yapılarına göre çok çıktı kural yapıları da

sözkonusudur. Ancak HTEA modeli ÇGTÇ yapısında olduğundan bu kural yapıları incelenmiştir. Kuralllar tip 1 bulanık kural yapısıyla aynıdır. Yalnızca öncül değerlerinin ait olduğu kümeler aralık tip 2 bulanık yapıdadır.

$R_i : EĞER(x_1 = \tilde{A}_{1i})VE(x_2 = \tilde{A}_{2i})VE \dots VE(x_n = \tilde{A}_{ni})İSE(y_i = \tilde{B}_i)$ şeklindedir.

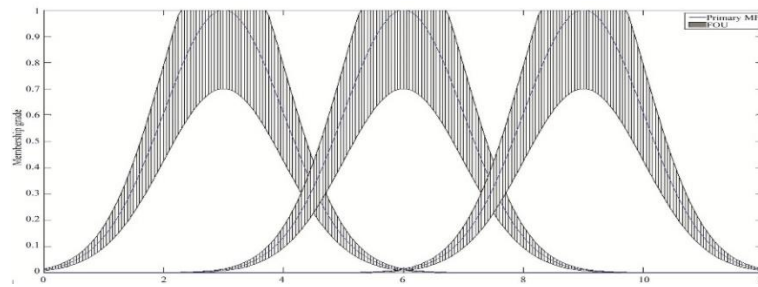
Bu adımda kurallardaki öncüllerde, üyelik fonksiyonu olarak Şekil 3.15'teki gibi Gauss ve yamuk gibi daha birçok şekilde aralık tip 2 bulanık küme fonksiyonlarından hangisinin kullanılacağına karar verilir.



Şekil 3.15 : Aralık Tip 2 Bulanık Kümeler.

Kararlaştırılan fonksiyona uygun olarak parametreler belirlenir. Örneğin üçgensel üyelik fonksiyonlu bir bulanık küme için; L(sol), R(sağ), M(orta) parametrelerinin UMF ve LMF değerleri($\tilde{A}_+$, $\tilde{A}_-$) problemde kullanılacak öncüllerin değiştiği değer aralığına göre seçilir.

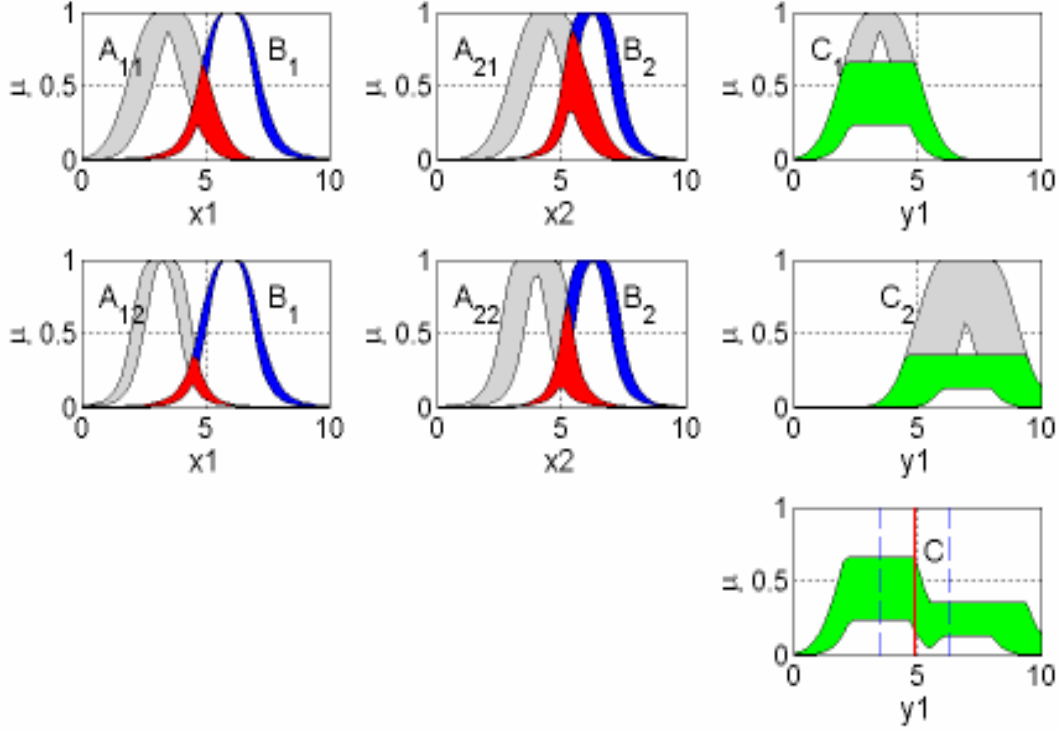
Bunların yanı sıra bu bulanık kümelerin kaç sözel değişkenden oluşacağı belirlenir. Uzmanlara yeterli çeşitlilikte ancak kural sayısının da çok artmayacağı ideal bir değer verilir. Şekil 3.16'da Gauss 3 seviyeli üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : 3 seviyeli Gauss fonksiyonu.

3.4.3 Çıkarım sistemi

Mamdani ve TSK modelinin Tip 2 bulanık çıkarım sistemleri için uyarlanmış yaklaşımları bulunmaktadır. Şekilde 3.17'de üyelik dereceleri, aralık tip 2 bulanık küme olan 2 öncülden (x_1, x_2) bir sonuçtan (y_1) meydana gelen Aralık Tip 2 Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Aralık Tip 2 Bulanık Çıkarım Sistemleri (Castro ve diğ, 2008).

Şekilde görüldüğü gibi adımlar tip 1 bulanık çıkarım sistemine benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Ancak üst ve alt üyelik fonksiyonlarının her ikisine aynı işlemler uygulanmaktadır.

Tip 2 bulanık çıkarım sistemleri, girdi tip 2 bulanık kümesi ile çıktı tip 2 bulanık kümesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Gerçekleştirilen işlemlerde $\sqcup$ (birleşim) ve $\sqcap$ (kesişim) işlemleri kullanılmaktadır. Min-maks olarak da geçen işlemler tip 2 ilişkilerin bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Eğer $\tilde{F}_1^l x \dots \dots x \tilde{F}_p^l = \tilde{A}^l$ ise eşitlik (3.17)'deki şekildeki gibi tekrar yazılabilir:

$$R^l: \tilde{F}_1^l x \dots \dots x \tilde{F}_p^l \rightarrow \tilde{G}^l = \tilde{A}^l \rightarrow \tilde{G}^l l = 1 \dots M \quad (3.27)$$

R^l (kural) için tanımlanan p girdili üyelik fonksiyonları $\mu_{R^l}(x, y) = \mu_{R^l}(x_1 \dots x_p y)$ ise (3.18)'deki şeklinde açıklanır;

$$\mu_{R^l}(x, y) = \mu_{\tilde{A}^l \rightarrow \tilde{G}^l}(x_1 \dots x_p y) \quad (3.18)$$

İşlem olarak (3.19)'daki gibi ifade edilir;

$$\begin{aligned}
\mu_{R^l}(x, y) &= \mu_{\tilde{A}^l \rightarrow \tilde{G}^l}(x, y) \\
&= \mu_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \prod \mu_{\tilde{F}_2^l}(x_2) \dots \prod \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \prod \mu_{\tilde{G}^l}(y) \\
&= \left[\prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{F}_i^l}(x_i) \right] \prod \mu_{\tilde{G}^l}(y)
\end{aligned} \tag{3.39}$$

Genel olarak R^l 'deki p boyutlu girdiler tip 2 bulanık küme $\tilde{A}^l$ 'ler tarafından verilmiştir. Üyelik fonksiyonu **(3.20)**;

$$\mu_{\tilde{A}_x}(x) = \mu_{\tilde{x}_1}(x_1) \prod \dots \prod \mu_{\tilde{x}_p}(x_p) = \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{x}_i}(x_i) \tag{3.20}$$

$\tilde{x}_i$ $i=1, \dots, p$ aralığında değer almaktadır ve girdiler için tanımlanmış bulanık kümeleri ifade eder. Her R^l kuralı bir tip 2 bulanık küme $\tilde{B}^l = \tilde{A}_x \circ R^l$ **(3.21)**'deki gibi tanımlar;

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \mu_{\tilde{A}_x \circ R^l} = \bigcup_{x \in X} \left[\mu_{\tilde{A}_x}(x) \prod \mu_{R^l}(x, y) \right], y \in Y, l = 1 \dots, M \tag{3.21}$$

Bu bağımlılık girdi çıktı arasındaki ilişkiden kaynaklanır ve çıkarım sistemindeki bir kuralı ve çıkarım sisteminin sonucunu aktive eder.

Bulanık çıkarım sisteminde tip 2 bulanık kümeler ve t-norm değerlerde kesişim işlemi gerçekleştirilmiştir. Çıkarım kümesi $\prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{F}_{i_i}}(x'_i \equiv F^l(x'))$ ise **(3.22)**'de açıklandığı gibidir;

$$F^l(x') = \left[\underline{f}^l(x') \overline{f}^l(x') \right] \equiv [\underline{f}^l, \overline{f}^l] \tag{3.22}$$

$\underline{f}^l, \overline{f}^l$ fonksiyonları sırasıyla **(3.22a)**, **(3.22b)**'de gösterilmiştir;

$$\underline{f}^l(x') = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) * \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) \dots * \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \tag{3.22a}$$

$$\overline{f}^l(x') = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) * \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) \dots * \overline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \tag{3.22b}$$

Tip 2 TSK Bulanık Çıkarım Sistemleri ve Tip 2 Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi kuralları sırasıyla (3.23), (3.24)'tür. Tip 1 BÇS ile aynı yapıdadır. Ancak öncül ve sonuçların ait olduğu kümeler aralık tip 2 yapıdadır.

$$E\check{G}ER (x_1 = \tilde{X}_1) VE (x_2 = \tilde{X}_2) \dots \dots İSE (y = [\underline{a} \cdot x_1 + \underline{b} \cdot x_2 + \underline{c}, \quad \bar{a} \cdot x_1 + \bar{b} \cdot x_2 + \bar{c}]) \quad (3.23)$$

$$E\check{G}ER (x_1 = \tilde{X}_1)VE (x_2 = \tilde{X}_2) \dots \dots İSE (y = \tilde{Y}) \quad (3.24)$$

3.4.4 Tip indirgeme

Tip 2 bulanık kural tabanı sistemlerin, kural tabanlı işlemler ve çıkarım sistemleri adımlarından sonraki çıktılar, tip 2 bulanık kümedir. Durulaştırma işlemi yapılabilmesi amacıyla tip 2 bulanık kümeler tip 1 bulanık kümelere indirgenmiştir. Tip indirgeme işlemiyle tip 2 bulanık kümelerin tip 1 bulanık kümelere dönüşmesi gerçekleştirilir. Normal durulaştırma işlemindeki tip 1'lerin net değerlere indirgenmesi işlemiyle benzerdir.

Aralık tip 2 bulanık kümelerin tip indirgeme yönetimde algoritmik yapılara bakıldığında: Karnik-Mendel'in iteratif proocedürü ve Wu-Mendel'in kapalı formu vardır. Karnik-Mendel'in tip indirgeme yöntemi direkt ölçüm vermesine karşın oldukça karmaşıktır. Wu Mendel iç ve dış sınır değerleri bularak tip indirgeme işlemi gerçekleştirmektedir (Melgarajo ve diğ, 2004).

Mendel (1999)'da bahsedilen diğer tip indirgeme modelleri ise;

- 1) Merkez Tip İndirgemesi
- 2) Yükseklik Tip İndirgemesi
- 3) Kümelerin Merkezi Tip İndirgemesidir.

Bu yöntemler arasından en sık kullanılanı, Kümelerin Merkezi Tip İndirgeme Yöntemidir. (Wu ve Mendel 2010) yapılan hesaplamaları (3.25), (3.26) ve (3.27)'deki gibidir;

$$Y = \frac{\sum_{n=1}^N Y^n F^n}{\sum_{n=1}^N F^n} = \bigcup_{\substack{n \in Y^N \\ f \in F^N}} \frac{\sum_{n=1}^N y^n f^n}{\sum_{n=1}^N f^n} = [y_l, y_r] \quad (3.25)$$

$$y_l = \min_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^L \underline{y}^n \bar{f}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{y}^n \underline{f}^n}{\sum_{n=1}^L \bar{f}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n} \quad (3.26)$$

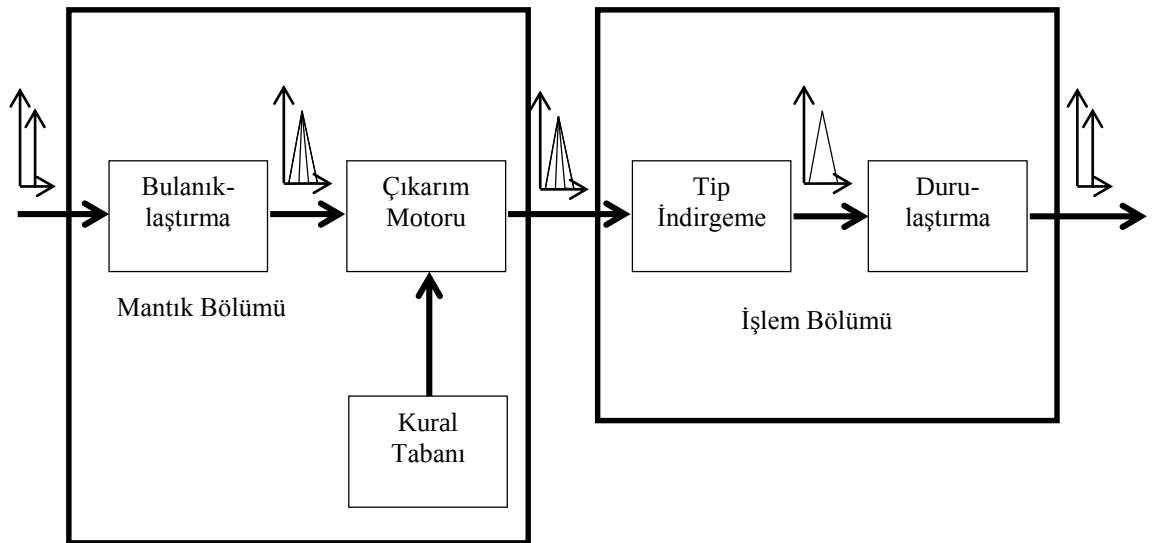
$$y_r = \max_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^R \bar{y}^n \underline{f}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{y}^n \bar{f}^n}{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n} \quad (3.27)$$

3.4.5 Durulaştırma

Tip indirgenmiş kümelerinden net çıktılar elde etmek için durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. Bunu gerçekleştirmenin en yalın yöntemi tip indirgenmiş kümelerin merkezlerinin bulunmasıdır. Merkezlerin bulunması üyelik derecelerine göre ağırlıklı ortalamalarının alınması ile elde edilir (Mendel, 2001). Yine bu yöntem kullanıldığında durulaştırma adımında sağ (y_r) ve sol (y_l) değerlerinin ortalaması alınır (3.28).

$$y = \frac{y_l + y_r}{2} \quad (3.28)$$

AT2BKTS’de kullanılan ve uygulama adımları sırasında ortaya çıkan değişkenler ve bu değişkenlerin dönüşüm aşamaları Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Bunun yanı sıra şekilde AT2BKTS mantık bölümü ve işlem bölümü olarak ikiye ayrılmıştır. Mantık bölümü uzmanların fikirlerini kullandığı aşama olup, elde edilen çıkarımlara işlem bölümünde net değerlere dönüştürme işlemi yapılır.



Şekil 3.18 : AT2BKTS sinin adımlarındaki değişken dönüşümü.

4. GELİŞTİRİLEN MODEL

Geliştirilen modelle, HTEA'nın barındırmış olduğu eksikliklere çözüm getirebilen daha gerçekçi ve farklı senaryoları da dikkate alabilen kapsamlı bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Yeni modelin performansının yüksek ve kullanımının kolay olmasına dikkat edilmiştir. Sonuç olarak;

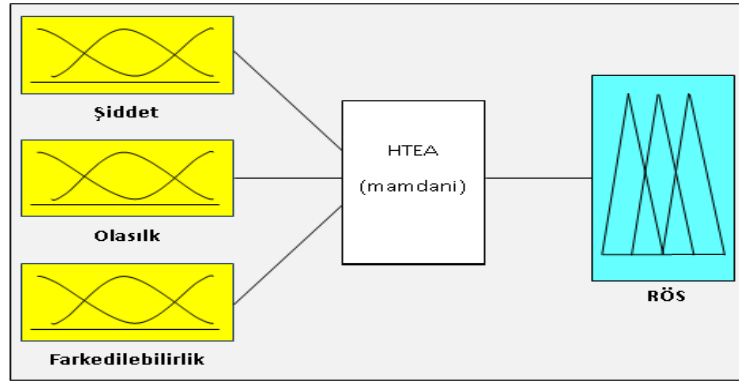
- Değerlendirmelerin sözel ifadeler kullanılarak yapılabileceği,
- Kuralların ağırlıklandırılarak tanımlanan farklı durumların da değerlendirilebildiği daha esnek bir yapıya sahip,
- Değerlendirmeleri yapacak gruptaki bireylerin çeşitliliklerinden ve özneliklerinden kaynaklı belirsizliklerin de göz önünde bulundurulduğu yeni bir model geliştirilmiştir.

Bunları sağlayabilmek amacıyla modelde, HTEA'da en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelen (BKTS) kullanımı tercih edilmiştir. BKTS ile geleneksel HTEA modelinin bazı eksiklikleri ortadan kaldırılmıştır, bunlar;

- Geleneksel modelin matematiksel formülasyonunda risk önceliklendirme sayısı hesaplanırken risk faktörleri çarpma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu ise aynı RÖS değerini veren çok sayıda Ş, O, F kombinasyonun olmasına, kritik değerli bir risk faktörünün gözden kaçmasına, minik değer artışlarının etkisinin fazla olmasına sebep olur. BKTS kullanılarak risk faktörleri arasındaki ilişkiler EĞER-İSE kurallarıyla tanımlanarak bu problemler önlenir.
- HTEA'nın risk faktörleri belirlenirken sözel ifadelerin kesin değerlere dönüştürülmesi, sıralama ölçeğiyle belirlenen bu sayıların, RÖS hesabında numerik değermişçesine işlem görmesi, ve yine “şiddet”, “olasılık”, “fark edilebilirlik” faktörlerine net değerler kullanılarak belirlenmesi oldukça zordur. Bu eksiklikleri ortadan kaldırır.
- Bunun yanı sıra değerlendirmelerin uzmanlardan alınması, sözel ifadelerin kullanımını çok daha tercih edilir kılar. BKTS sayesinde sözel ifadeler direkt kullanılır ve bu eksikliklerin tamamına cevap verilebilir.

- BKTS, bulanık değerli ifadeleri girdi değişkeni olarak alabilmesini sağlar.
- BKTS'deki üyelik derecesi kullanılması sayesinde modele daha esnek bir yapı kazandırılır.

Şekil 4.1'de MATLAB bulanık sistemler ara yüzünde, HTEA'nın bulanık kural tabanı kullanılarak modellenmesi gösterilmiştir. Risk faktörleri 3 ayrı sözel ifadeyle tanımlanmış olup üyelik fonksiyonları Gauss'tur ve Mamdani bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır. Bu arayüz sayesinde HTEA'nın BKTS kullanarak modellenmesi de oldukça kolay bir hal almaktadır.



Şekil 4.1 : Matlab Tip 1 BS arayüzünde HTEA uygulaması.

4.1 HTEA'da AT2BKTS Yaklaşımı

HTEA'da risklerin önceliklendirilmesi işleminde hata türlerine ait risk faktör değerleri uzman görüşlerinden elde edilmektedir. Gerçek hayata daha uyumlu bir model için net ifadeler yerine sözel ifadelerin kullanıldığı bulanık kural tabanı sistemlerinin kullanılması, modelin performansını arttırmaktadır. Ancak bulanık kural tabanı sistemlerinin gözardı ettiği birtakım noktalar vardır. HTEA'nın bazı eksikliklerine ve belirsizliklerine cevap verememektedir. Geliştirilen modelde daha güvenilir sonuçlar etmek amacıyla bu eksikliklerin de göz önünde bulundurulması gerektiğine karar verilmiştir. Bunun için sözel ifadelerin modellenmesi bakımından sıklıkla tercih edilen bulanık kural tabanı sistemindeki değişkenlerin, aralık tip 2 bulanık küme olmasına karar kılınmış dolayısıyla yöntem olarak Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sistemi'nin kullanımı uygun bulunmuştur. HTEA'da kullanılan Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sistemi adımları ve bu adımlarda kullanılan yöntemler sırasıyla şöyledir;

4.1.1 Girdi değişkenlerinin belirlenmesi

Tespit edilen potansiyel hata türleri ve etkileri uzmanlar tarafından belirlenir. Belirlenen bu hata türleri Ş, O, F risk faktörleri bakımından puanlanır. Herbir hata türüne ait Ş, O, F değeri AT2BKTS'nin girdilerini oluşturur. Bu model kapsamında sayısal girdiler Çizelge 4.1'deki sözel ifadeler kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. Burada sözel değişken sayısı arttırılabilir. Ancak gerek çözüm uzayının büyümemesi gerekse de değerlendirme sırasında karmaşıklığa yol açmaması için sözel değişkenler makul bir sayıda olmalıdır.

Çizelge 4.1 : Kullanılan sözel ifadelerin 10'luk skaladaki karşılığı.

Değer				Kategori
Şiddet	Olasılık	Farkedilebilirlik	Risk Düzeyi	
1	1	1	1	ÇD
2,3	2,3	2,3	2,3	D
4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	O
7,8	7,8	7,8	7,8	Y
9,10	9,10	9,10	9,10	ÇY

4.1.2 Kural tabanının oluşturulması

Kural tabanında ilk olarak öncül ve sonuç değerlerinin ait olduğu Aralık Tip 2 Bulanık Kümeler belirlenir. Bulanık kümeler oluşturulurken iki önemli aşama söz konusudur.

Bunlar, kullanılacak olan fonksiyonun türüne karar verilmesi ve sözel değişken sayısına göre fonksiyonun parametrelerinin belirlenmesidir.

Kullanılacak olan

foksiyon türünün kararı: Kuralın öncül kısımları olan şiddet, olasılık, farkedilebilirlik ve sonuç kısmı olan risk düzeyinin fonksiyonlarında aralık tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu kullanımı tercih edilmiştir. Belirlenmiş olan 5 sözel değişken için üyelik fonksiyonları eşit ve simetrik olarak alınmıştır.

Fonksiyon parametrelerinin belirlenmesi: Modelde kullanılan Aralık Tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu parametreleri kullanılmıştır. $\bar{f}_{\bar{A}}(x)$ (üst üyelik fonksiyonu) ve $\underline{f}_{\bar{A}}(x)$ (alt üyelik fonksiyonu) eşitlikleri sırasıyla denklem (4.1) ve (4.2)'deki gibidir.

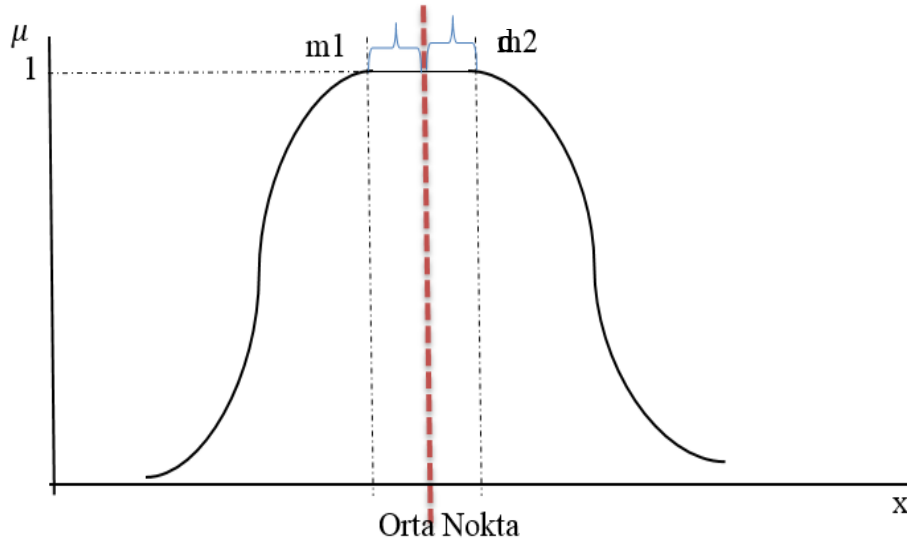
Bu eşitlikler standart sapmanın bilindiği ve sabit olduğu durumlar için geliştirilmiştir (Zamani ve diğ, 2008).

$$\bar{f}_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} N(m1, \sigma; x) & x < m1 \\ 1 & m1 \leq x \leq m2 \\ N(m2, \sigma; x) & x > m2 \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\underline{f}_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} N(m2, \sigma; x) & x \leq \frac{m1 + m2}{2} \\ N(m1, \sigma; x) & x > \frac{m1 + m2}{2} \end{cases} \quad (4.2)$$

Kullanılan Gauss fonksiyonunda, m1 ve m2 değerlerinin birbirine eşit olmadığı kabul edilmiştir. Bu durumda, üst üyelik fonksiyonun, d birimlik bir değer aralığı 1 üyelik derecesine sahip olmaktadır. Buradaki d birimlik alanın orta noktası aynı zamanda bu şeklin de orta noktasıdır.

Bu eşitliklerdeki m1 (üyelik fonksiyonun 1 değerini aldığı sol uç nokta) ve m2 (üyelik fonksiyonun 1 değerini aldığı sağ uç nokta) parametreleri ve bu iki nokta arasındaki d birimlik alan Şekil 4.2'deki gibidir.



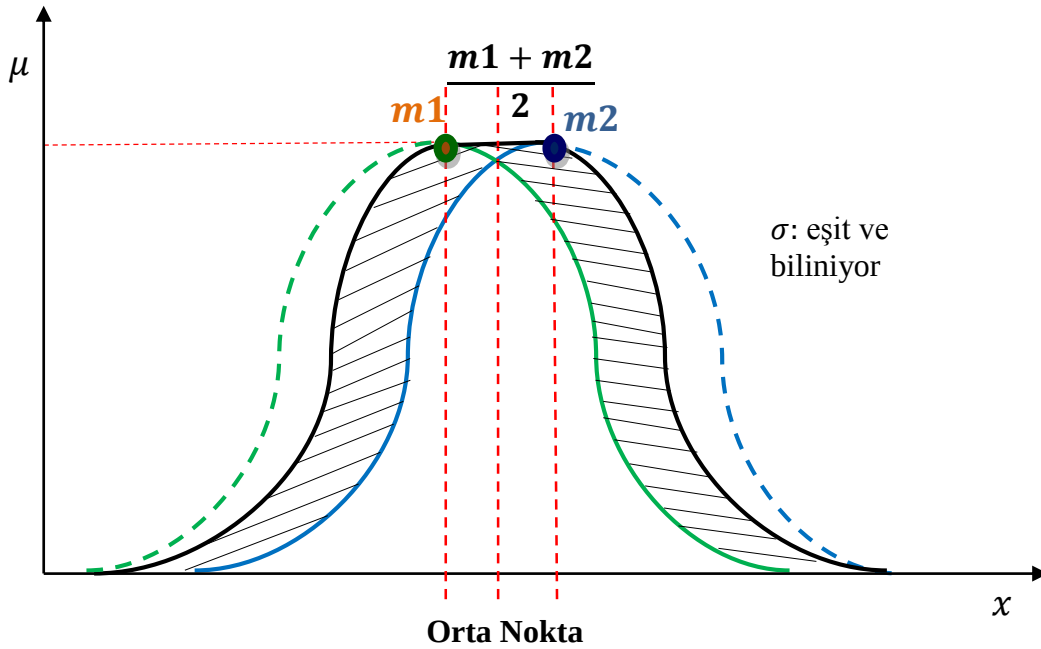
Şekil 4.2 : m1 ve m2 parametrelerinin gösterimi.

Geliştirilen modelde kullanılacak olan d birimlik alan, 1 ile 10 aralığında değişkenden oluşan risk faktörleri ve 1 ile 1000 aralığında değişkenden oluşan RÖS değişkenleriyle orantılı olacak şekilde belirlenir.

m1 ve m2 parametreleri için ise ilk olarak üyelik fonksiyonlarının orta noktası hesaplanır. Modelde kullanılan Gauss fonksiyonları eşit ve simetrik olduğundan risk faktörleri için 1 ile 10, risk düzeyi için 1 ile 1000 arasındaki alan sözel değişken adetine

bölünerek orta noktaları bulunur. Bulunan orta noktalara d birimlik alanın yarısı eklenerek m_2 değeri ve bu noktalardan d birimlik alanın yarısı çıkartılarak ise m_1 değeri elde edilir.

Üst üyelik fonksiyonu eşitlikte belirtildiği gibi 3 parçadan oluşmaktadır. Birinci parça ortalaması m_1 , standart sapması σ olan Gauss fonksiyonudur. İkinci parça m_1 ve m_2 arasında üyelik derecesi 1'e eşit bir düzgün fonksiyondur. Üçüncü parça ise ortalaması m_2 , standart sapması σ olan Gauss fonksiyonudur. Alt üyelik fonksiyonu ise 2 parçadan oluşmaktadır. Birinci parça ortalaması m_2 , standart sapması σ ve ikinci parça ortalaması m_1 standart sapması σ olan bir Gauss fonksiyon olarak verilmiştir. Şekil 4.3'te aralık tip 2 gauss üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Aralık tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu.

Kuralların oluşturulması; Kurallar uzmanlar tarafından belirlenmektedir. Tanımlanmış olan $\mathcal{S}$, O ve F fonksiyonlarından öncüller ve RÖS fonksiyonlarından ise sonuç değerleri uzmanların belirlemiş olduğu kurallara göre seçilir. Ancak bulanık kural tabanı sisteminin kural oluşturma adımı modeli sıkıcı, uzun ve zorlayıcı bir hale dönüştürmektedir.

Bundan dolayı modelin performansını arttırmak, kullanımını kolaylaştırmak ve çözüm uzayını küçültmek amacıyla Tay ve Lim (2006)'ın geliştirmiş olduğu “kural indirgeme” yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle anlam ifade etmeyen veya aynı anlamı ifade eden tekrarlı kuralların çıkarılması sağlanmıştır.

4.1.2.1 Kural tabanındaki kuralların indirgenmesi

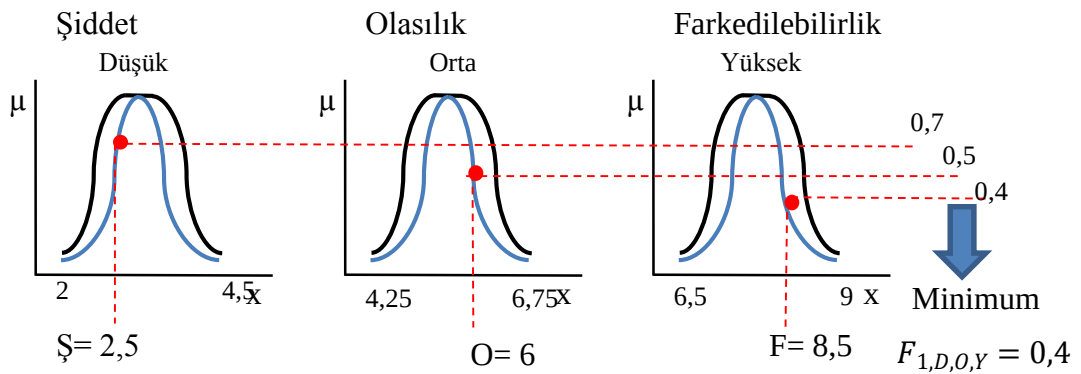
Kural indirgemedede, bölüm 3.3.2.1’de bahsedilen Kural İndirgeme Sistemleri Kılavuzu (KİSK) olarak adlandırılan yöntem kullanılmıştır (Tay ve Lim, 2006). KİSK sayesinde tüm kural kombinasyonlarından, hata türlerinin $\mathcal{S}$, $\mathcal{O}$, $\mathcal{F}$ değerleri ile ilişkili olan ve sonuca en çok etki eden kurallar seçilmiştir.

Ancak KİSK tip 1 yapıdaki bulanık kural tabanı sistemleri için geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında ise geliştirilmiş olan bu yöntem AT2BKTS için uyarlanmıştır. Öncül kısımlarındaki tip 1 bulanık kümeler kullanılarak elde edilen çıkarım gücü değerleri, geliştirilen modelde tip 2 yapıdaki bulanık kümelerden elde edilmiştir. Örneğin

$R_{D,O,Y}$ kural kombinasyonu; şiddet “düşük” olasılık “orta” farkedilebilirlik “yüksek”, olsun. 3 hata türünden oluşan bir HTEA olsun.

Bunlardan 1. Hata Türü’nün şiddeti 2,5, olasılığı 6, farkedilebilirliği 8,5 olması durumunda $I_1: [2,5 \ 6 \ 8,5]$ değerini alır.

Şekil 4.4’te $R_{D,O,Y}$ ile I_1 in kesişim noktaları gösterilmiştir. Bu kesişimlerin şiddet olasılık ve farkedilebilirlik faktör üçlüsü için en küçük olan değeri belirlenir. Belirlenmiş olan değer bu kuralın birinci hata türü için çıkarım gücünü göstermektedir. Birinci hata türü için $\mathcal{S}$, $\mathcal{O}$, $\mathcal{F}$ değerlerinin $\mathcal{D}$, $\mathcal{O}$, $\mathcal{Y}$ aldığı kuralın çıkarım gücü; $F_{1,D,O,Y}$ ile gösterilmektedir. Bu örnekte 0,4 değerini almıştır.



Şekil 4.4 : Çıkarım gücü değerinin bulunması.

$R_{D,O,Y}$ kuralı için tüm hata türü değerleri incelenir ve tüm hata türü değerlerinden bu kurala ait çıkarım gücü değerleri elde edilir. Aynı şekilde diğer iki hata türü için $F_{2,D,O,Y}, F_{3,D,O,Y}$ değeri sırasıyla 0,7 ve 0,3 olsun. Bu durumda $R_{D,O,Y}$ kuralına ait çıkarım gücü değerlerinin en büyüğü olan 0,7 değeri $S_{D,O,Y}$ önem indeksine

eşittir($S_{D,O,Y} = \max[F_{1,D,O,Y}, F_{2,D,O,Y}, F_{3,D,O,Y}] = 0,7$). Lamda değerinin 0,7 den küçük olduğu tüm değerleri için $R_{D,O,Y}$ kuralı seçilmiş olacaktır. Tüm kural kombinasyonları için önem indeks değeri bulunur.

Sonuç olarak kural $R_{D,O,Y}$, o kural ile ilgili $S_{D,O,Y}$ önem indeksine göre seçilir. Önceden belirlenmiş eşik değerlerinden (λ) küçük veya eşit $S_{D,O,Y}$ 'li kurallar silinir.

Kural $R_{D,O,Y}$, $1 \geq \lambda \geq 0$ olmak koşuluyla $S_{D,O,Y} \geq \lambda$ ise kabul edilir. λ azaldıkça gerekli kural sayısı artar. Eğer λ sıfıra eşit olursa tüm kurallar seçilir.

4.1.2.2 Kural tabanındaki kuralların ağırlıklandırılması

Kural ağırlıklandırma yöntemi bir kuralın risk düzeyinin tek bir sözel değişken yerine birden fazla risk düzeyi değişkeniyle ifade edilmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Eğer bir kural türüne ait şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik değerlerinin sonucunda riskin düzeyi net ve tek bir değer değil alamıyorsa; olası sonuçlar, toplamaları bir olacak şekilde 0 ile 1 arasında değerler kullanılarak ağırlıklandırır ve olası sonuçlar ayrı birer kural olarak ağırlıklarıyla kural tabanına yazılır. (4.3)'te ağırlıklandırılmış bir HTEA kuralı gösterilmiştir.

EĞER şiddet "yüksek" VE olasılık "orta" VE farkedilebilirlik "orta"
İSE risk düzeyi "orta" ve "düşük" tür. (4.3)

Görüldüğü üzere sonuç orta ve yüksek olarak belirlenmiştir. Tanımlanmış kural uzmanlar tarafından toplamaları bir olacak şekilde ağırlıklandırılır. Bu öncüllere göre risk düzeyinin orta olma ağırlığı A1, düşük olma ağırlığı A2 dir. Sonuçta kural, (4.4)'teki gibi A1 ve A2 ağırlıklı iki ayrı kural olarak tekrar yazılır. Burada ikiden fazla sonuç değeri de belirlenebilir. Ve tüm ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır. Dolayısıyla yukarıda tanımlanan kuralların ağırlıklarının toplamı da yine kural (4.4)'tedir.

EĞER şiddet yüksek" VE olasılık "orta" VE farkedilebilirlik "orta"
İSE risk düzeyi a1 ağırlıkla "orta" dır.
EĞER şiddet yüksek" VE olasılık "orta" VE farkedilebilirlik "orta"
İSE risk düzeyi a2 ağırlıkla "yüksek" tir. (4.4)

$$a1 + a2 = 1$$

Ağırlıklandırma ile geliştirilen modelde kurallar birden fazla durumu ifade edebilir bir hal kazanmıştır. Böylelikle esnek yapı elde edilmiş ve yöntem “Ağırlıklandırılmış Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı Sistemi” olarak adlandırılmıştır.

4.1.3 Çıkarım sistemine karar verilmesi

Sözel ifadeli sonuçlara sahip kural tabanlarında çıkarım sistemi olarak Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi kullanılmaktadır. HTEA için geliştirilen bu modelde, kural tabanındaki sonuçlar bir fonksiyondan ziyade sözel ifadelerle ifade edilmektedir. Dolayısıyla modelde çıkarım sistemi olarak Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi kullanılmıştır.

4.1.4 Tip indirgemesinin yönteminin seçilmesi

Mamdani bulanık çıkarım sisteminde, çıkarımlar gerçekleştirildikten sonra sonuç olarak elde edilen aralık tip 2 bulanık küme değerleri net sonuçlara dönüştürülür. Bu amaçla ilk olarak tip 2 bulanık küme yapısı değişkenler tip 1 bulanık küme yapısına indirgenir.

Geliştirilmiş olan bu modelde tip indirgeme yöntemlerinde en yaygın şekilde kullanılan, Kümelerin Merkezi Tip İndirgeme yöntemi kullanılmıştır (Wu ve Mendel, 2010).

4.1.5 Durulaştırma işleminin gerçekleştirilmesi

Tip indirgeme yönteminden elde edilen tip 1 yapıdaki sonuçlar durulaştırma işlemine tabi tutulurlar. Bunda Kümelerin Merkezi Tip İndirgeme yöntemiyle birlikte kullanılan durulaştırma işlemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde, tip indirgeme yaklaşımının sonucunda elde edilen sağ ve sol değerlerin ortalaması alınmaktadır. y_L, y_r değerleri sırasıyla tip 1 yapıdaki gauss fonksiyonlarının sağ ve sol ağırlık merkezleridir.

Durulaştırma işleminde elde edilen y değeri ise HTEA'nın sonucu olan risk önceliklendirme sayısı (RÖS)'tür. Modeldeki tüm parametreler ve adımlarda kullanılacak yöntemler belirlendikten sonra uzmanlar tarafından belirlenmiş olan her hata türü için RÖS değeri hesaplanır. Bu RÖS değerleri sıralanarak müdahale edilmesi gereken en önemli hata tespit edilmiş olur.

4.2 Geliştirilen Modelin Verilerinin Toplanması

Modelde uzmanlardan; öncüllerin üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, sonuçların üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, kuralların tanımlanması, kuralların ağırlıklandırılması istenir.

Bunun yanı sıra geliştirilen modelde verilerin türüne uygun olarak; çıkarım sisteminin türüne, tip indirgeme yöntemine ve kullanılacak durulaştırma işlemlerinden hangisinin kullanılacağına belirlenmesi de önemlidir.

Sonuç olarak HTEA da kullanılmak üzere Ağırlıklandırılmış Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı yaklaşımı geliştirilmiş, modelin performansını ve kullanılabilirliğini arttırmak amacıyla kurallardan fazla ve etkisiz olanlar incelenerek indirgenmiştir. Ağırlıklandırma sayesinde kural tanımlama aşamasının çok daha esnek olabilmesi sağlanmıştır.

4.3 Geliştirilen Modelin Adımları

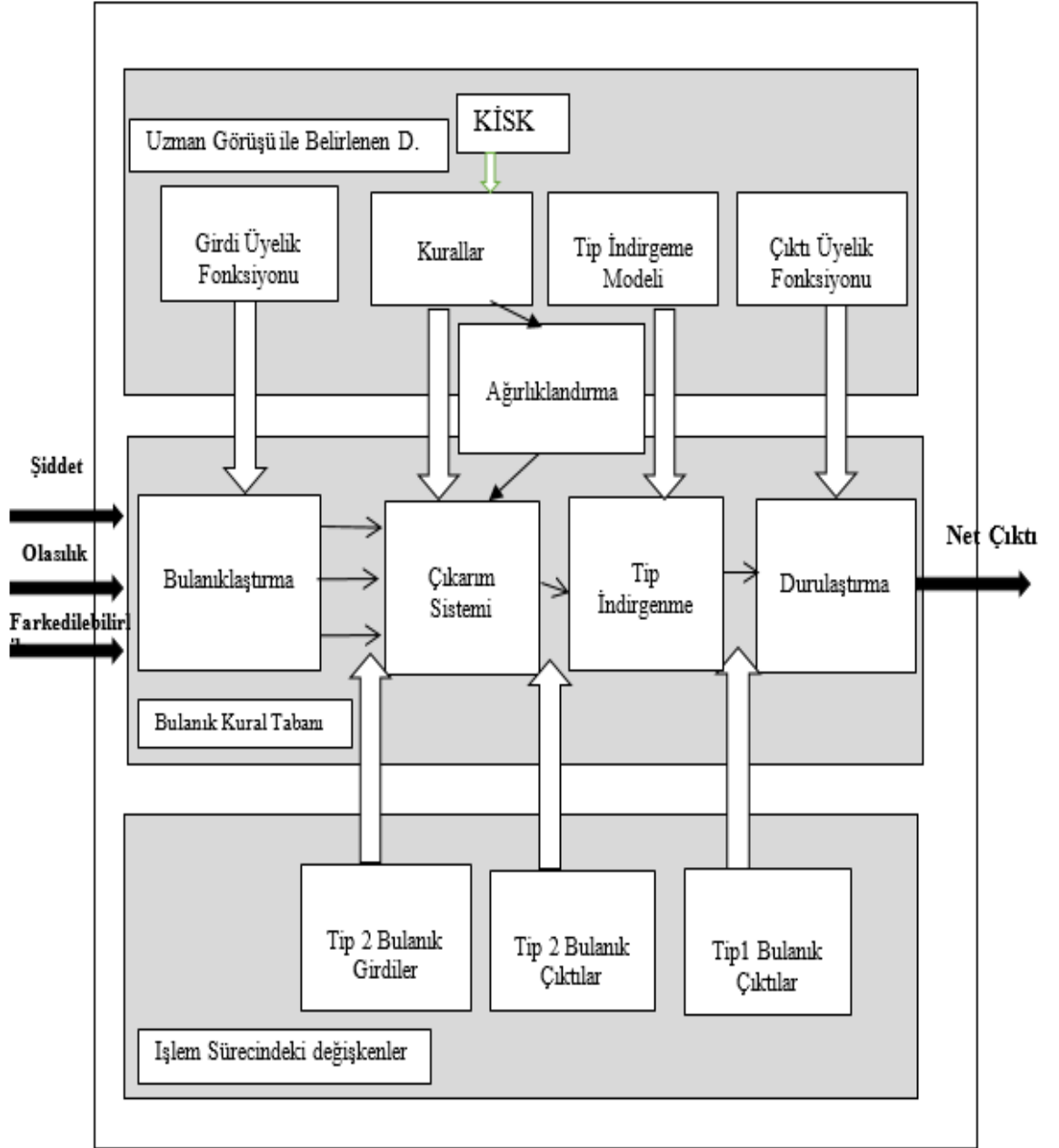
Yukarıdaki bölümlerde geliştirilen modelin parametrelerinin belirlenmesi anlatılmıştır. Bu bölümde ise geliştirilen modelin adımlarının tamamından bahsedilecektir.

Öncelikle AAT2BTKS modelinin yapısı Şekil 4.5'te özetlenmiştir. Değişkenler, uzman görüşü ile belirlenenler ve işlem sürecinde ortaya çıkan değişkenler olmak üzere 2'ye ayrılmıştır.

Modelin adımları bu değişkenlerin kullanımına göre kümelenmiştir. KİSK ve ağırlıklandırma adımları kural tabanı adımıyla yer almıştır. Modelin sonunda net çıktı olarak elde edilen değer, bir hata türüne ait RÖS değerini vermektedir. Bu model her hata türü için çalıştırılır ve elde edilen RÖS değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. En büyük RÖS değerli hata için düzeltici ve önleyici faaliyetler uygulanır.

Yapısı gösterilen AAT2BKTS'nin HTEA için, uzmanlardan elde edilen hata türlerinin tespitinden başlayıp, bu hataların ortadan kaldırılmasına kadar olan adımları ise aşağıda sıralanmıştır.

Açıklanan HTEA'da AAT2BKTS modelinin adımlarının akış diyagramı Şekil 4.6'daki gibidir.

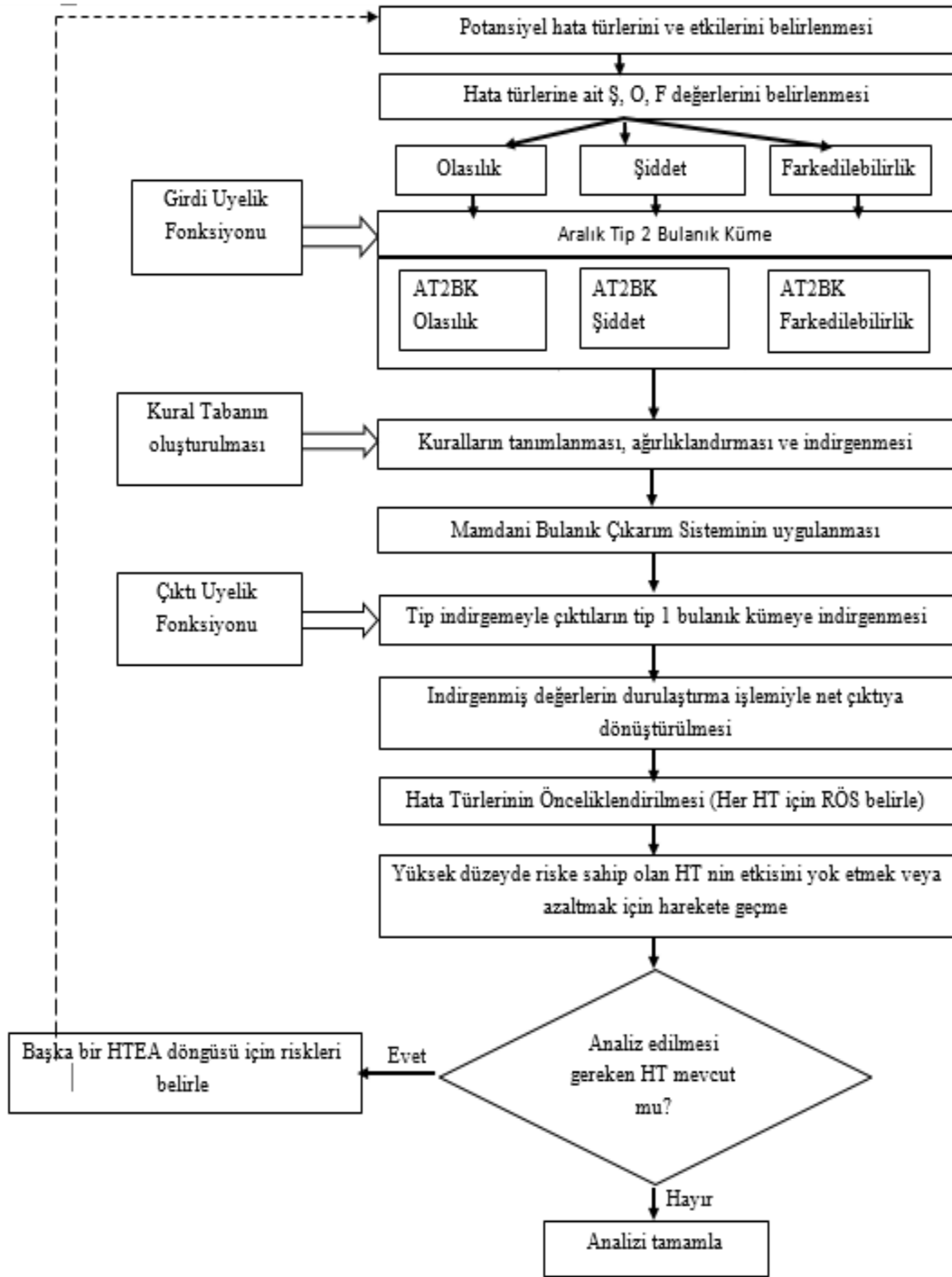


Şekil 4.5 : Geliştirilen modelin yapısı.

Adım 1: Uzman ekip tarafından ürün süreç veya hizmetlerdeki meydana gelebilecek potansiyel hata türleri ve bu hata türlerinin potansiyel etkileri belirlenir.

Adım 2: Bu potansiyel hata türlerinin oluşması durumundaki şiddeti, meydana gelme olasılığı, erkenden fark edilerek engellenebilme düzeyleri uzman ekip tarafından sözel ifadeli değerlendirmeler kullanılarak belirlenir.

Adım 3: Şiddet olasılık, fark edilebilirlik değerleri Singleton Bulanık Küme üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılır *Adım 5:* Aralık tip 2 Gauss bulanık üyelik



Şekil 4.6 : Geliştirilen modelin akış şeması.

fonksiyonları tanımlanır. Şiddet, olasılık ve fark edilebilirlikte bu fonksiyonlar kullanılarak bulanık kurallar tanımlanır.

Adım 6: Bazı kurallar tanımlanırken net, tek bir değer yerine birden fazla risk düzeyine sahip olmaktadır. Bu farklı değerler kuralların öncül kısımları aynı olacak şekilde farklı ağırlıklarla ağırlıklandırılır. Ve her farklı sonuç yeni bir kural olarak kural tabanına eklenir.

Adım 7: Tanımlanmış kural tabanında, incelenen hata türünün belirlenmiş olan Ş, O, F girdilerine göre, bulanık çıkarım sistemlerinden, Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi kullanılarak aralık tip 2 yapıda bütünleşik bir sonuç elde edilir.

Adım 8: Aralık tip 2 bulanık değere sahip çıkarım sistem sonuçlarına, tip indirgeme işlemi uygulanarak Tip 1 yapıya dönüştürülür.

Adım 9: Tip indirgeme yapısı ile birlikte kullanılan durulaştırma işlemi uygulanır. Böylelikle tip 1 yapıya indirgenmiş sonuçlar net değerlere dönüştürülür. Elde edilen bu net değer, bir hata türüne ait RÖS değeridir.

Adım 10: Her hata türü için model çalıştırılır ve RÖS'ü bulunur.

Adım 11: Hata türlerinin elde edilen risk önceliklendirme sayılarına (RÖS) göre hata türleri sıralanır. İçlerinden RÖS değeri en büyük olan hata türünü yok etmek veya azaltmak için harekete geçilir.

Adım 12: İncelenen hata, hata türleri listesinden çıkartılır ve Başka bir HTEA döngüsü için harekete geçilir.

Adım 13: Müdahale edilmesi gerekecek hata kalmayıncaya kadar tekrarlanır.

5. UYGULAMA

Perakendecilik, mal veya hizmet üreten üretici ve bu ürünleri tüketecek müşteriler arasında malların veya hizmetin naklini, sunumunu ve muhafazasını sağlayan aracılık hizmetidir. Sunulan mal ve hizmetler, doğrudan son tüketiciye pazarlanarak satış gerçekleştirilir. Perakendecilik doğası gereği rekabetin, takım çalışmasının ve dinamizmin en yoğun yaşandığı bir sektördür. Bu sektörde başarılı olabilmek için, süreçteki her bir adımın iyi planlanması, tüm risklerin hesaplanması ve oluşabilecek hataların önceden belirlenerek önlenmesi gerekir.

Bu tez kapsamında ele alacağımız şirket, Türkiye'nin farklı şehirlerinde faaliyet gösteren bir zincir mağazadır. Şirket, 500'ün üzerindeki çalışan sayısı ile 20 yıldır sektörde bulunmaktadır. Pazarda mevcut bulunan rekabet koşullarından dolayı alternatif satış kanalı arayışına giren şirket, mevcut faaliyetlerinin yanında yeni bir alanda yatırım yapma kararı almıştır. Bu konu ile ilgili danışmanlık hizmeti satın alınmış ve yatırımın, rekabet oranının daha düşük olduğu bunun yanı sıra nispeten kar marjlarının daha yüksek olduğu gıda sektöründe bir kahve zinciri oluşturularak yapılmasına karar kılınmıştır ve pilot bir mağaza faaliyete geçirilmiştir.

Şirketin gıda sektörüne yatırım kararında, hali hazırda faaliyet gösterdiği alana yakın olmasının yanı sıra sektörün kar marjlarının yüksek olması etkili olmuştur. Türkiye'de bu alanda faaliyet gösteren rakiplerin pazarın tamamına hitap edemediği ve dolayısıyla pazarın henüz doyuma ulaşmadığı düşünülmektedir. Bunun başlıca nedenleri olarak; Türkiye'nin sahip olduğu jeopolitik konumu, çevresindeki ülkeler arasında cazibe ve ticaret merkezi olması, her yıl turist sayısının artması ile bu tarz sosyal alanlara olan ihtiyacın artması gösterilebilir. Bunun yanı sıra yabancı turistler ile birlikte ülkemizde değişen kültürel algılar sosyal ihtiyaçları şekillendirmektedir. Örneğin, daha önceden evlerimizde misafirlerimizi ağırlarken, şuan bu durum daha çok dış mekânlara kayarak bu alanda yeni yerlere ihtiyaç meydana getirmektedir.

Dolayısıyla şirket gıda sektöründe, pazarda bulunan bu açıktan faydalanarak ve sahip olduğu deneyimini avantaja dönüştürülüp kısa sürede büyümeyi planlamaktadır. Ve 2017'nin sonunda Türkiye'de 45 mağaza açmayı hedeflemektedir.

Şirket yeni yapacağı yatırımda başarılı olabilmek, hedeflediği satışa ve mağaza sayısına ulaşabilmesi için üründen veya süreçten kaynaklanabilecek potansiyel hataları ve bunların sonucunda oluşabilecek etkileri önceden tespit edebilmeli ve zararlarını minimize etmelidir. Ancak sınırlı kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda tüm risklerinin tamamının elimine edilmesi oldukça zor hatta imkansızdır. Bunun için, ürün ve sürecin etkin bir şekilde incelendiği Hata Türleri ve Etki Analizi (HTEA) yapılması uygun görülmüştür.

Hedeflenen satışlara ulaşılabilmek ve müşteri sadakatini kazanabilmek için; markanın tanıtımın en iyi şekilde yapılması, ürün ve hizmetin kalitesinin yüksek olması ve pazarlama araçlarının en etkin şekilde kullanılması gerekmektedir. İyi bir pazarlanma süreci için ilk olarak 4P olarak belirlenen kriterlerin en iyi şekilde yürütülmesiyle sağlanmaktaydı. Bu kriterlere zamanla yenileri eklenerek Philip Kotler tarafından Pazarlama Karması kavramı ortaya atılmıştır. Pazarlama karmasının 7P'si olan; dağıtım (place), ürün (product), fiyat (price), tutundurma (promotion), fiziksel olanaklar (physical environment), süreç (process), insan (people) kriterleri ve kapsamları Şekil 5.1'de açıklanmıştır.

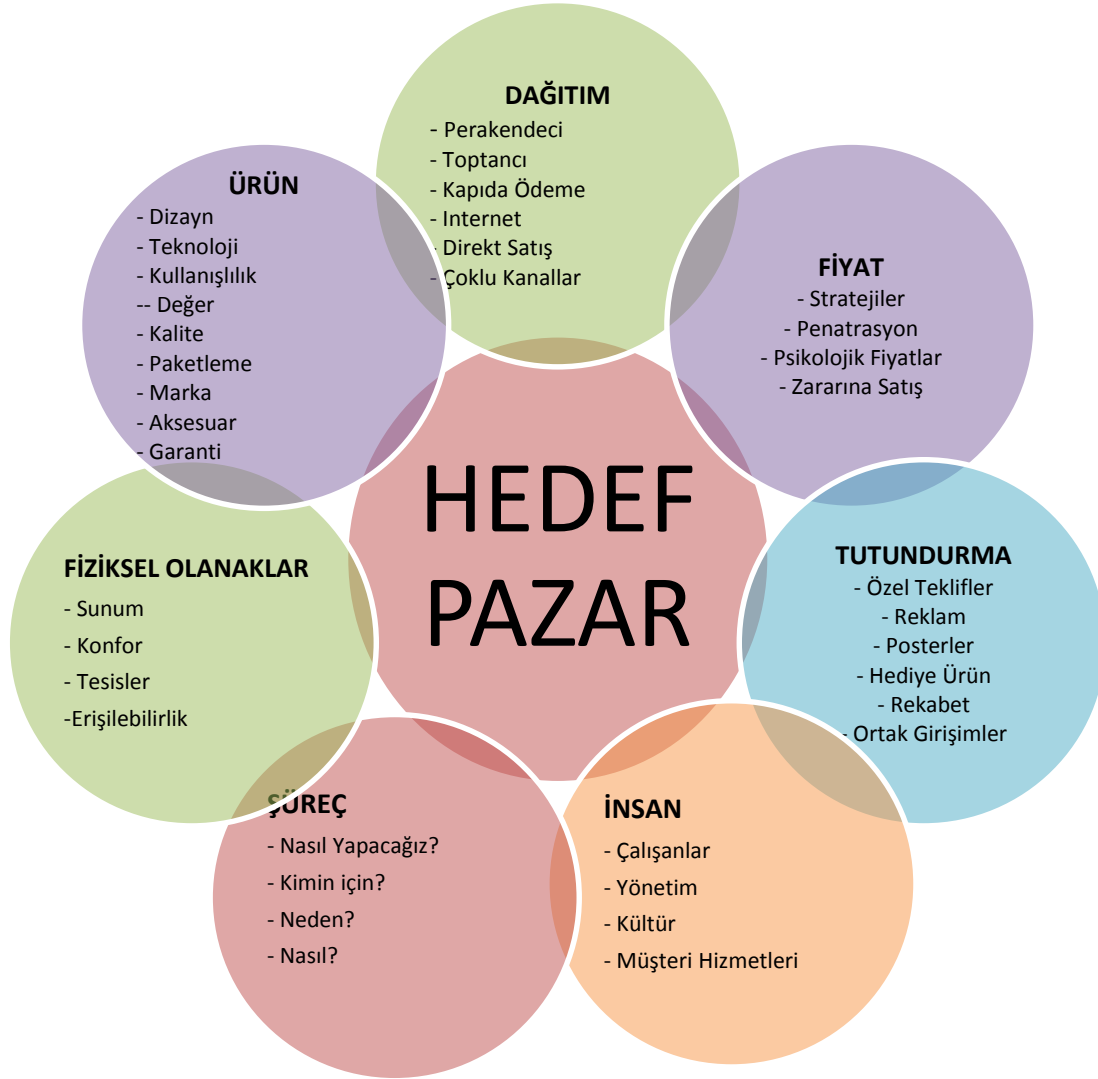
7P kriterleri pazarlama sürecinin kalite parametreleri olduğundan bunlarda yaşanabilecek problemlerin önceden belirlenmesi ve meydana gelmeden önlenmesi sürecin çok daha iyi yönetilebilmesi için önemlidir. Yine bu kriterlerde yaşanabilecek problemler başarısızlıklara sebebiyet verebilmektedir. Bu tez kapsamında yapılan uygulamada 7P kullanılarak, hata türlerinin belirlenme sürecine, daha sistematik bir yaklaşım getirilmiş ve olası hataların ayrıntılı şekilde düşünülmesi sağlanmıştır.

5.1 Hata Türleri ve Etkilerinin Belirlenmesi

İlk olarak 7P kriterlerinden uzmanlara ayrıntılı olarak bahsedilmiş ve mevcut yatırım süreci kriterler bakımından gözden geçirilmiştir. Şirketin mevcut durumdaki performansı (sektörde deneyim kazmak adına açmış bulunduğu pilot mağazasındaki) ve 2017 sonu için belirlemiş oldukları hedefler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

İkinci olarak uzmanlardan bu yatırım sürecinde karşılaşılabilecekleri olası hata türlerini, 7P kriterleri bakımından değerlendirmeleri istenmiştir. Bu hata türlerini belirlemeleri için her uzmana hazırlanan potansiyel hata türü ve etkileri analizi formu verilmiş ve

bu formlardan elde edilen 65 hata türünü, grup üyeleri biraraya gelerek 41 olarak güncellemişlerdir. Yine elde edilen tüm hata türleri, pazarlama karması kriter başlıklarının altında toplanmıştır. Böylelikle çalışmanın sonucunda şirketin, pazarlama kriterleri bazında da hatalarının RÖS değerlerini inceleyebilmeleri sağlanmıştır.



Şekil 5.1 : Pazarlama karmasının bileşenleri.

Geliştirilen modelin birinci adımı hata türlerinin belirlenmesidir. Bu yatırım ile ilgilenen farklı alanlarda uzman 5 kişilik bir ekip tarafından pazarlama karmasının boyutları (7P kriterlerine ait kapsamlar) ve açıklamaları düşünülerek gerek mevcut pilot mağazada karşılaşılabilecek gerekse de gelecekte büyümeyle beraber meydana gelebilecek potansiyel hata türleri belirlenmiş ve Çizelge 5.1’de açıklanmıştır. İkinci olarak belirlenen bu hata türlerine karşılık gelen Ş, O, F değerleri de Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Potansiyel hata türleri ve etkileri.

Kriterler	HT	Hata Türü	Potansiyel Etki
Ürün (Product)	HT1	Menü seçimlerinde hatalar (mevsimsellik)	Gereksiz stok bulundurma ve kardan zarar
	HT2	Gıda Güvenliği	Gıda Zehirlenmesi, Ürün Zayısı ve tazminat ödenmesi
	HT3	Yanlış reçete kullanımı	Lezzet Kaybı
	HT4	Ürünün sunum hataları	Düşük Görsellik ve Ürün tercih edilebilirliğini azaltma
	HT5	Paket serviste kullanılan malzemelerin dayanıksızlığı	Ürün deformasyonu
Fiyat (Price)	HT6	Menü fiyatlarının müşteri beklentilerinin üstünde olması	Müşteri kaybı
	HT7	Yanlış Maliyet hesaplama	Karsızlık
	HT8	Yanlış fiyatlandırma(eksik veya fazla fiyatlandırılması)	Karsızlık, Ciro Kaybı, Müşteri kaybı
	HT9	Fiyatların rakipler göre uygun olmaması	Rekabet gücünün düşmesi
	HT10	Müşteri profiline uygun olmayan lokasyon seçimi	Müşteri ziyaret oranının düşmesi
Yer (Place)	HT11	Lokasyondan kaynaklanan ürün tedarikindeki hatalar	Stok dışı kalma
	HT12	Hedef kira bedelinden yüksek lokasyon seçimi	Maliyet Yükselmesi ve İşletme karsızlığı
	HT13	Potansiyel müşteri sayısından daha büyük alan seçimi	Gider oranlarının artması, M2 verimsizliği
	HT14	Rakiplere uzaklık	Pazardan pay alamama
	HT15	Potansiyel müşteri sayısından daha küçük alan seçimi	Hizmette aksaklıklar
Tutundurma (Promotion)	HT16	Müşteriye hitap etmeyen kampanya seçimi	Kampanyanın rağbet görmemesi
	HT17	Yanlış iletişim kanallarının kullanılması	Kampanyanın müşteriye duyurulamaması
	HT18	Kampanyanın müşteri beklentisinin altında kalması	Yeterli satışın gerçekleşmemesi
	HT19	Rakipler ile rekabet etmeyen kampanya seçimi	Müşterilerin rakiplere gitmesi
	HT20	Pazarlamada sosyal medyanın kullanılamaması	Reklam giderlerinin artması
	HT21	Markanın lasmanının iyi yapılamaması	Markanın müşteri tarafından tanınması
	HT22	Reklam görsellerinin yanlış seçimi	Reklam başarısızlığı

Çizelge 5.1 (devam): Potansiyel hata türleri ve etkileri.

Parametre	HT	Hata Türü	Potansiyel Etki
İnsan (People)	HT23	Servis elemanlarının müşteri isteklerine cevap verememesi	Müşteri kaybı
	HT24	Müşteriler ile iyi ilişkilerin kurulamaması	Müşteri memnuniyetsizliği
	HT25	Müşterilere ürün ve kampanyalar hakkında eksik bilgi verme	Satış kaybı
	HT26	Hijyen kurallarına dikkat edilmemesi	Gıda Zehirlenmesi ve müşteri kaybı
	HT27	Personellerin kişisel bakımlarının yetersiz olması	Kurumsallıktan uzaklaşma
	HT28	Eğitim / Bilgi Eksikliği	Ürün firelerinin artması, reçetenin yanlış uygulanması
	HT29	Ürün servis yetersizliği	Müşteri memnuniyetsizliği
Fiziksel Olanaklar (Physical Evidence)	HT30	Mekan tasarımının ve dekorasyonun müşteriye hitap etmemesi	Müşteride ilgi uyandırmama
	HT31	Hatalı alan tasarımı	Servis süresinin uzaması, Kapasitenin yanlış yönetilmesi
	HT32	Hatalı mobilya seçimi	Müşteri konforunun düşmesi
	HT33	İnternet ve WC eksikliği	Müşteri tercihinin azalması
	HT34	Kafe temizliğinin yetersiz yapılması	Görsel kirliliğe neden olma
	HT35	İklimlendirmenin yetersizliği	Müşteri konforunun düşmesi
	HT36	Ürün temininde soğuk zincirin bozulması	Ürünün bozulması
Süreç (Process)	HT37	Yanlış tedarikçi seçimi	Maliyetlerin artması
	HT38	Tedarik sürecinde temin sürelerinin artması	Fazla stok tutulması
	HT39	Yanlış Sipariş	Depo maliyetlerinin artması
	HT40	Yanlış Ekipman seçimi	Servis ve Ürün kalitesinin düşmesi
	HT41	Tedarik sürecinde gecikmelerin yaşanması	Stok dışı kalma

Çizelge 5.2 : Hata türleri için belirlenen risk faktör değerleri.

No	Hata Türü	Ş	O	F
HT1	Menü seçimlerinde hatalar(mevsimsellik)	5	4	1
HT2	Gıda Güvenliği	8	6	2
HT3	Yanlış Reçete Kullanımı	6	3	2
HT4	Ürünün sunum hataları	7	4	1
HT5	Paket servisteki malzemelerin dayanıksızlığı	8	4	1
HT6	Fiyatlarının müşteri beklentilerinin üstünde olması	6	3	2
HT7	Yanlış Maliyet hesaplama	7	4	2
HT8	Yanlış fiyatlandırma(ürünlerin eksik veya fazla)	5	3	3
HT9	Fiyatların rakipler göre uygun olmaması	6	2	2
HT10	Müşteri profiline uygun olmayan lokasyon seçimi	9	5	6
HT11	Lokasyondan kaynaklı ürün tedarikindeki hatalar	7	4	4
HT12	Hedef kira bedelinden yüksek lokasyon seçimi	8	3	2
HT13	Potansiyel müşteriden daha büyük alan seçimi	7	4	6
HT14	Rakiplere uzaklık	5	2	3
HT15	Potansiyel müşteriden daha küçük alan seçimi	4	3	2
HT16	Müşteriye hitap etmeyen kampanya seçimi	6	5	1
HT17	Yanlış iletişim kanallarının kullanılması	4	2	2
HT18	Kampanyanın beklentinin altında kalması	4	2	2
HT19	Rakipler ile rekabet etmeyen kampanya seçimi	4	3	4
HT20	Pazarlamada sosyal medyanın kullanılamaması	4	2	4
HT21	Markanın lasmanının iyi yapılamaması	5	2	3
HT22	Reklam görsellerinin yanlış seçimi	4	2	2
HT23	Barisların müşteri isteklerine cevap verememesi	7	5	6
HT24	Müşteriler ile iyi ilişkilerin kurulamaması	4	4	4
HT25	Müşterilere kampanyalar hakkında eksik bilgi	4	3	5
HT26	Hijyen kurallarına dikkat edilmemesi	9	6	4
HT27	Personellerin kişisel bakımlarının yetersiz olması	5	6	1
HT28	Eğitim / Bilgi Eksikliği	7	5	4
HT29	Ürün servis yetersizliği	7	5	3
HT30	Dekorasyonun müşteriye hitap etmemesi	8	4	7
HT31	Hatalı alan tasarımı	8	4	3
HT32	Hatalı mobilya seçimi	6	3	3
HT33	İnternet ve WC eksikliği	8	2	1
HT34	Kafe temizliğinin yetersiz yapılması	7	5	1
HT35	İklimlendirmenin yetersizliği	7	4	2
HT36	Ürün temininde soğuk zincirin bozulması	8	5	3
HT37	Yanlış tedarikçi seçimi	8	5	4
HT38	Tedarik sürecinde temin sürelerinin artması	8	4	3
HT39	Yanlış Sipariş	6	5	4
HT40	Yanlış Ekipman seçimi	7	4	2
HT41	Tedarik sürecinde geçikmelerin yaşanması	6	3	1

5.2 Kural Tabanının Oluşturulması

Hata türleri belirlendikten sonra AAT2BKTS’de kullanılacak olan kural tabanının belirlemesi adımına geçilir. Uzmanlardan Çizelge 5.3’teki sözel risk faktör seviyelerini kullanarak kuralları tanımlamaları istenmiştir. Uygulamada 5 değişken kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Risk faktörlerinin sözel ifadeleri.

Sözel Terimler	Meydana Gelme Olasılığı (O)	Etkilerin Şiddeti (Ş)	Fark edilebilirlik (F)
Çok Yüksek (ÇY)	Hata neredeyse kaçınılmaz	Sistemi çalışamaz hale getiren hata	Belirsiz
Yüksek (Y)	Tekrarlanan Hatalar	Müşterinin güvenini sarsan hata	Düşük ihtimalli
Orta (O)	Nadir Hatalar	Sistem üzerinde düşük hasara sahip hata	Orta İhtimalle
Düşük (D)	Çok Nadir Hata	Sistemin performansını etkileyen hata	Yüksek İhtimalli
Çok Düşük (ÇD)	Hata neredeyse İmkânsız	Etkisiz	Neredeyse Kesin

Yine uzmanlar yukarıdaki değişkenleri kullanarak değerlendirilen şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik risk faktörlerinin kombinasyonlarına karşılık gelen risk düzeylerini belirlemişlerdir. Bunun içinde Çizelge 5.4’te belirtilen risk düzey değişkenlerini kullanmışlardır.

Çizelge 5.4 : Risk düzeyinin sözel ifadeleri.

Sözel Terimler	Risk Düzeyi Açıklaması
Çok Yüksek (ÇY)	Biran önce müdahale edilmesi gereken bir hatadır.
Yüksek (Y)	Mutlaka bu hata için önlem alınmalıdır.
Orta (O)	Hata türü orta risk düzeyine sahiptir müdahale edilebilir.
Düşük (D)	Düşük risklidir ve müdahale edilmesede olabilir.
Çok Düşük (ÇD)	Neredeyse riski yoktur.

Kural tabanının öncül (şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik) ve sonuç (risk düzeyi) kısımlarında kullanılacak olan sözel değişkenler ve bunların HTEA modelinin klasik 1 ile 10 arasında değişen skalasında karşılık gelen değerleri ise Çizelge 5.5'teki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 : Modelde kullanılan sözel değişkenler.

Değer (Ş,O,F,RÖS)	Açıklaması	Kısaltmalar
1	Çok Düşük	ÇD
2,3	Düşük	D
4,5,6	Orta	O
7,8	Yüksek	Y
9,10	Çok Yüksek	ÇY

Geliştirilen AAT2BKTS'in önemli bir özelliği tanımlanan kuralların öncül ve sonuç değerlerinin aralık tip 2 bulanık küme yapıda olmasıdır. Böylelikle kural tanımlama sırasında, uzmanların fikir farklılıklarından kaynaklanan belirsizlikler çok daha iyi ifade edilebilmiş olunur.

Belirlenmiş olan sözel değişkenlere karşılık kullanılacak tüm üyelik fonksiyonlarında, bölüm 4'te belirtildiği gibi HTEA'ya uygunluğundan dolayı aralık tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Yine uygulamada tüm üyelik fonksiyonları eşit ve simetrik olarak alınmıştır. Risk faktörlerinin fonksiyon parametreleri için ilk olarak 1 ile 10 değer aralığı 5 eşit parçaya bölünmüş ve orta noktalar bulunmuştur. İkinci olarak bu değerlere 0,25 eklenip çıkartılarak m1 ve m2 değerleri belirlenmiştir. Standart sapmaların tamamı 1 olarak alınmıştır. Çizelge 5.6'da risk faktörlerinin sözel değişkenlerine karşılık gelen üyelik fonksiyonu parametreleri $[m1; m2; \sigma]$ olacak şekilde verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Risk faktörünün foksiyon parametreleri.

Değişkenler	Parametreleri
Çok Düşük	[0,75; 1,25; 1]
Düşük	[3; 3,5; 1]
Orta	[5,25; 5,75; 1]
Yüksek	[7,5; 8; 1]
Çok Yüksek	[9,75; 10,25; 1]

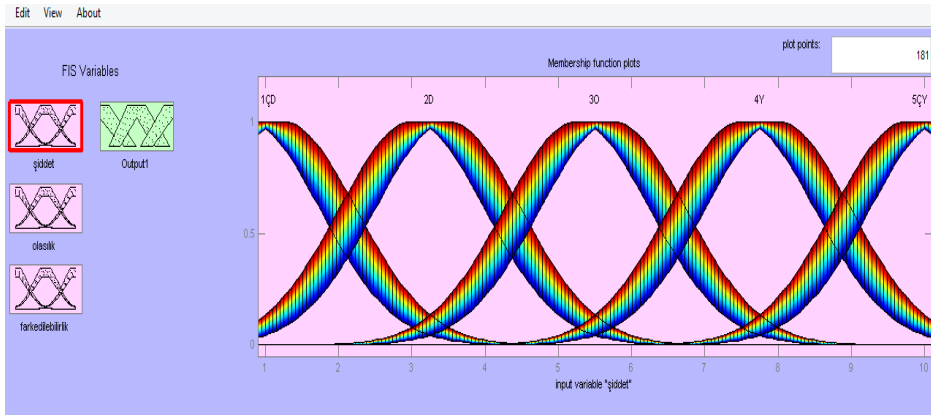
Kuralların sonuç kısmı olan risk düzeyi fonksiyon parametrelerinde ise yine ilk olarak 1 ile 1000 değer aralığı 5 eşit parçaya bölünerek orta noktalar bulunmuştur. Bu değere

27,75 eklenip çıkartılarak m1 ve m2 değerleri belirlenmiş ve artırımlı olarak her değişken için parametreler hesaplanmıştır. Sapmalar diğer fonksiyonlarla orantılı şekilde arttırılmış ve 111 olarak alınmıştır. Çizelge 5.7’de risk düzeylerinin sözel değişkenlerine karşılık gelen üyelik fonksiyonu parametreleri de $[m1; m2; \sigma]$ olacak şekilde verilmiştir.

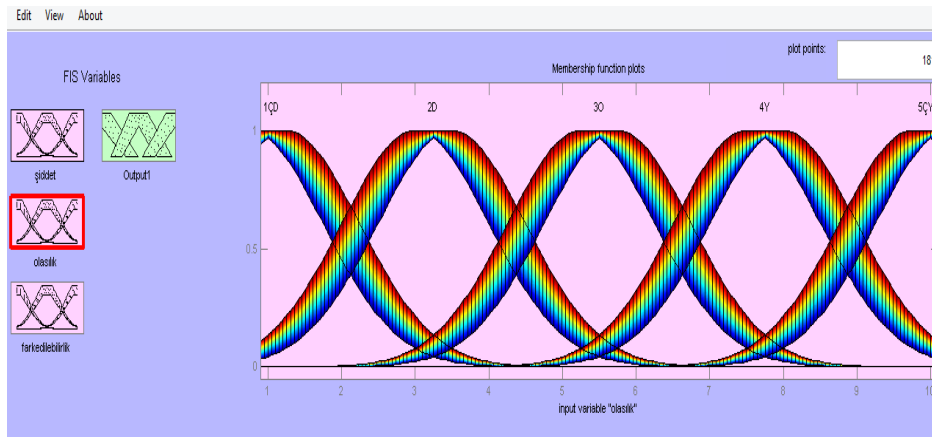
Çizelge 5.7 : Risk düzeyi fonksiyon parametreleri.

Değişkenler	Parametreleri
Çok Düşük	$[-26,75; 28,75; 111]$
Düşük	$[223; 278,5; 111]$
Orta	$[472,75; 528,25; 111]$
Yüksek	$[722,5; 778; 111]$
Çok Yüksek	$[972,25; 1027,75; 111]$

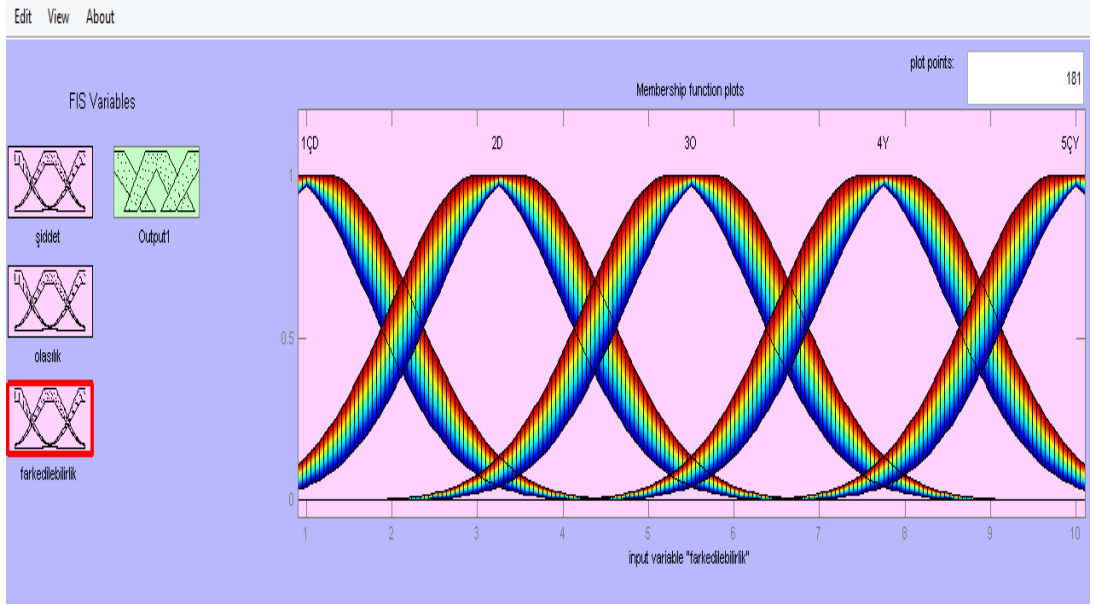
Üyelik fonksiyonunun türü, değişken sayısı ve kullanılacak parametrelerin değerleri belirlenmiştir. Son durumda şiddet, olasılık, farkedilebilirlik risk faktörleri ve risk düzeyi için üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.2’den Şekil 5.5’e kadar olan grafiklerde gösterilmiştir.



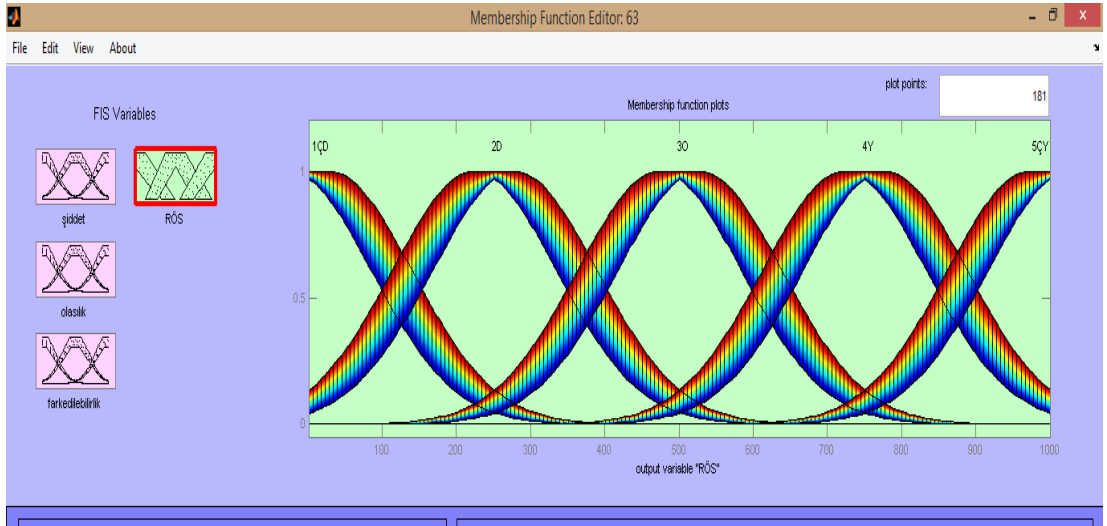
Şekil 5.2 : Şiddet faktörünün üyelik fonksiyonu.



Şekil 5.3 : Olasılık faktörünün üyelik fonksiyonu.



Şekil 5.4 : Farkedilebilirlik faktörünün üyelik fonksiyonu.



Şekil 5.5 : Risk Düzeyinin üyelik fonksiyonu.

Kuralların değişkenleri tanımlandıktan sonra sıra kuralların oluşturulması adımına gelinmiştir. İlk olarak risk faktörlerinin tüm kombinasyonunu barındıran ($5 \times 5 \times 5 = 125$ adet) kurallar 5 kişilik uzman ekip tarafından oluşturulmuştur. Tanımlanan tüm kurallar Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Belirlenen kurallar EĞER-İSE yapısındadır. Bu kurallardan bazılarına örnek verilecek olursa;

Eğer Şiddet yüksek ve Olasılık Yüksek ve Farkedilebilirlik Düşük ise Hatanın Risk Düzeyi yüksektir.

Eğer Şiddet yüksek ve Olasılık Yüksek ve Farkedilebilirlik Düşük ise Hatanın Risk Düzeyi Çok yüksektir.

şeklindedir. Ancak kuralların tamamının belirlenmesi oldukça zorlayıcı ve zaman alıcı bir işlemdir. Bunun yerine modelde kullanılacak hata türleriyle alakalı ve sonucu en çok etkileyen kuralların tespit edilmesi yani kural sayısının indirgenmesi, modelin performansı için önemlidir.

Şiddet: ÇD							Şiddet: D						
BULANIK RÖS		<i>Olasılık</i>					BULANIK RÖS		<i>Olasılık</i>				
		ÇD	D	O	Y	ÇY			ÇD	D	O	Y	ÇY
Farkedilebilirlik	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	Fark.	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	D
	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	D		D	ÇD	ÇD	D	D	O
	O	ÇD	ÇD	D	D	O		O	ÇD	D		O	O
	Y	ÇD	D	D	O	O		Y	D	D	O	O	Y
	ÇY	D	D		O	Y		ÇY	D	O	O	Y	Y

Şiddet: O							Şiddet: Y						
BULANIK RÖS		<i>Olasılık</i>					BULANIK RÖS		<i>Olasılık</i>				
		ÇD	D	O	Y	ÇY			ÇD	D	O	Y	ÇY
Farkedilebilirlik	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	O	Farkedilebilirlik	ÇD	ÇD	D	D	O	O
	D	ÇD	D	D	O	O		D	D	D	O	O	Y
	O	D	D	O	O			O	D	O		Y	Y
	Y	D	O	O	Y	Y		Y	O	O	Y	Y	ÇY
	ÇY	O	O	Y	Y	ÇY		ÇY	O	Y	Y	ÇY	ÇY

Şiddet: ÇY						
BULANIK RÖS		<i>Olasılık</i>				
		ÇD	D	O	Y	ÇY
Farkedilebilirlik	ÇD	D	D	O	O	Y
	D	D	O	O	Y	Y
	O	O		Y	Y	ÇY
	Y	O	Y	Y	ÇY	ÇY
	ÇY	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY

Şekil 5.6 : Tüm faktör kombinasyonu için tanımlanan kurallar.

Ancak kural tanımlama sırasında uzmanlar, işaretli 5 kural için tek bir sözel değişken belirlemekte zorlanmıştır. Bunun için kural ağırlıklandırma tekniği kullanılarak modele çok daha esnek bir yapı kazandırılmış ve gerçek hayata daha uyumlu bir hal elde edilmiştir. Bu kurallar için tanımlanan risk düzeyi değerleri ve ağırlıkları şöyledir;

- Eğer $\$;CD$ ve $O;O$ ve $F;\$Y$ ise $RD; (0,85)$ ağırlıkla O' dur.
 - $(0,15)$ ağırlıkla D' dir.
- Eğer $\$;D$ ve $O;O$ ve $F;O$ ise $RD; (0,65)$ ağırlıkla D' dir.
 - $(0,35)$ ağırlıkla O' dur.
- Eğer $\$;O$ ve $O;\$Y$ ve $F;O$ ise $RD; (0,70)$ ağırlıkla Y' dir.
 - $(0,30)$ ağırlıkla O' dur.
- Eğer $\$;Y$ ve $O;O$ ve $F;O$ ise $RD; (0,60)$ ağırlıkla O' dur.
 - $(0,40)$ ağırlıkla Y' dir.
- Eğer $\$;\Y ve $O;D$ ve $F;O$ ise $RD; (0,50)$ ağırlıkla O' dur.
 - $(0,50)$ ağırlıkla Y' dir.

Yukarda belirtilen kuralların sahip olduğu ağırlıklar belirtilerek kural tabanına eklenir. Bu durumda toplamda 130 ($5 \times 5 \times 5 + 5 = 130$ olacak şekilde) farklı kural kombinasyonu oluşmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konu da aynı öncüle sahip kuralların ağırlıklarının toplamının 1 olması gerektiğidir. Bu uygulamada uzmanlar her kural için ikişer farklı sonucun olabileceğini belirtse de farklı uygulamalarda olası sonuç sayısı değişebilir.

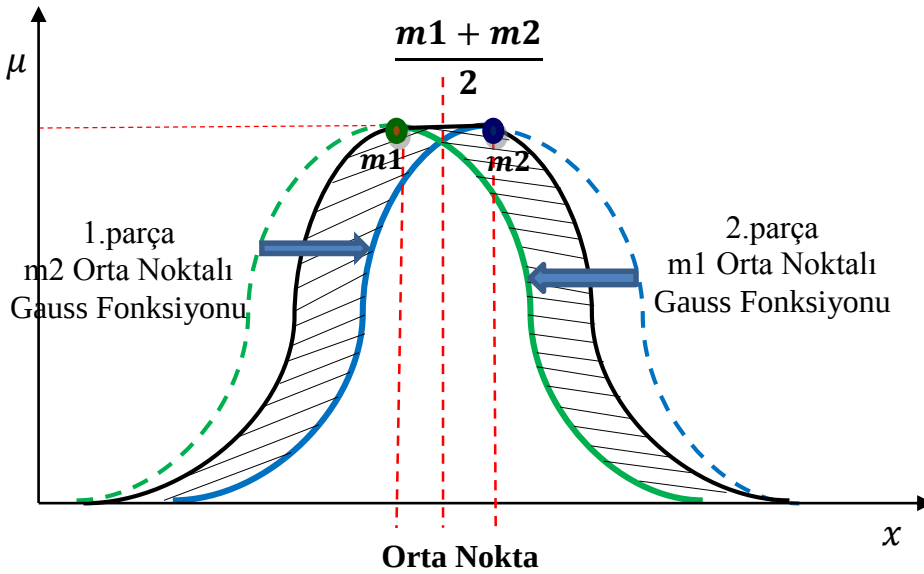
Tüm kural kombinasyonu için kuralların tanımlanması oldukça zorlayıcı ve zaman alan bir işlemdir. Bunun yerine modelde kural indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Bölüm 4'te belirtildiği gibi HTEA'nın Tip 1 yapıdaki bulanık kural tabanı sistemi uygulamaları için geliştirilen kural indirgeme sistemi kılavuzu aralık tip 2 bulanık kümelerle uyarlanmıştır.

5.3 Kuralların İndirgenmesi

Kural indirgeme işlemi, modelin performansını arttırmak ve kullanım kolaylığı sağlamak için önemli bir adımdır. Geliştirilen modelde kullanılan kural indirgeme modelinin performansını incelemek amacıyla ilk olarak tüm kural kombinasyonları için belirlenen kurallar yerine bu kez de ikinci olarak da değişik lamda değerlerinin kullanıldığı kural indirgeme işleminden elde edilen kurallar kullanılmıştır. Ve hepsi için risk öncelik sıraları bulunmuştur ve tüm bunlar kıyaslanmıştır. Bölüm 4'de adımları açıklanan KISK (kural indirgeme sistemi kılavuzu) kullanılmıştır. Bu kılavuz

HTEA’da BKTS nin kullanımı için geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise bu yöntem AT2BKTS için uyarlanmış ve çıkarım gücü değeri alt üyelik fonksiyonunda gerçekleştirilmiştir. Kural indirgemenin değişkenleri ve adımları sırasıyla şöyledir:

- Her kural kombinasyonunda tanımlanan şiddet olasılık ve farkedilebilirlik öncüllerinin alt üyelik fonksiyonları ele alınır. Herbirinde tanımlanan aralık tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu 2 parçadan oluşmaktadır. x , tanımlanmış 41 hata türünün şiddet olasılık ve farkedilebilirlik değeridir.
- Her x değerinin, ait olduğu risk faktörü fonksiyonunun hangi parçasını keseceği belirlenir. Eğer x değeri, fonksiyonun orta noktasından küçükse alt üyelik fonksiyonun birinci parçasındaki, ortalaması $m2$ olan Gauss fonksiyonunu; orta noktasından büyükse alt üyelik fonksiyonun ikinci parçasındaki, ortalaması $m1$ olan Gauss fonksiyonunu kesecektir. Şekil 5.7’de aralık tip 2 Gauss üyelik fonksiyonu ve alt üyelik fonksiyonun parçaları gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Alt üyelik fonksiyonun parçaları.

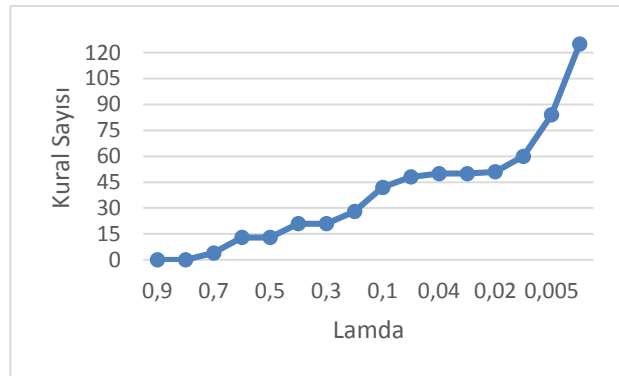
x 'in alt üyelik fonksiyonun üyelik fonksiyonun (5.1)'deki gibi gösterilmektedir.

$$f(x) = \begin{cases} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-m2}{\sigma}\right)^2}, & x \leq \frac{m1 + m2}{2} \\ e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-m1}{\sigma}\right)^2}, & x > \frac{m1 + m2}{2} \end{cases} \quad (5.1)$$

- HT1 için belirlenmiş Ş, O, F ye ait üyelik derecelerinin en küçüğü alınarak bu kuralın 1. Hata Türüne göre çıkarım gücü değeri elde edilir.

- Kuraldaki $\$, O, F$ fonksiyonları için HT1'e ait x değerlerinin hangi parçada olacağı bulunduktan sonra ait olduğu $f(x)$ fonksiyonuna göre üyelik dereceleri hesaplanır.
- Daha sonra 41 hata türünün tamamı için bu kuralın çıkarım gücü değeri hesaplanır. Ve elde edilen 41 çıkarım gücü değerinin en büyüğü alınarak bu kuralın önem derecesi bulunmuş olur. 130 kural için bu adımlar tekrarlanır. Ve her kural için önem derecesi elde edilir.
- Son olarak 0 ile 1 aralığında değer alabilen lamda değerine göre kuralların önem dereceleri sıranır. Ve sadece belirlenen lamda değerinden büyük kurallar seçilir.

Bu tez kapsamında kural indirgeme işlemleri için Şekil 5.9'da gösterilen excel dosyası oluşturulmuştur. Belirlenen lamda değerleri için hangi kuralların seçilmesi gerektiği listelenmiştir. Bu lamda değerine karşılık gelen kuralların grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir. Bu uygulamada lamda değerlerine karşılık gelen kural sayıları çok değişkenlik göstermemiştir. Bunun başlıca nedeni hata türlerinin şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik değerlerinin birbirine çok yakın olarak verilmesidir. Bazı değer aralıklarında yoğunluklar olmuş ve 1, 10 gibi değerler hiç kullanılmamıştır.



Şekil 5.8 : Lamda değerine karşılık gereken kural sayısı.

Bu uygulamada lamda değişkeni olarak incelenen değerler 0.1, 0.75, 0.05 0.005, ve olup bu değerlere karşılık gelen kural sayıları da sırasıyla 43, 55 61, 84'tür.

İncelenen modele göre belirlenen hata türü sayısı da değiştirilebilmektedir. Bu uygulamada uzmanlar tarafından belirlenen 41 hata türü $\$, O, F$ değerleri kullanılmıştır.

Rule Reductionmustafa.xlsx - Excel

FILE HOME INSERT PAGE LAYOUT FORMULAS DATA REVIEW VIEW

BI13

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
116																					
117																					
118																					
119																					
120																					
121																					
122																					
123																					
124																					
125																					
126																					
127																					
128																					
129																					
130																					
131																					
132																					

Uzmanlar tarafından belirlenen 41 hata türünün şiddet olasılık ve farkedilebilirlik değerleri

Hata Türlerinin Ş, O, F değerleri

HT1	HT39	HT40	HT41
5	6	7	6
4	5	4	3
1	4	2	1

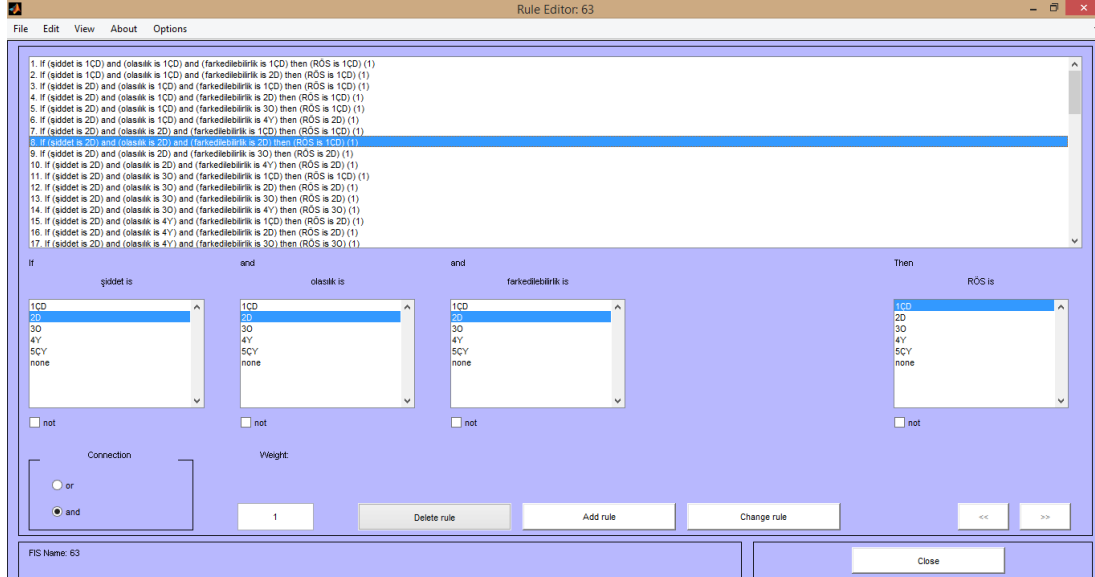
lamda 0,005

kural sayısı 84

Kural Kombinasyonları

Ş	O	F	m1	ms	Sts	m1	ms	Sts	m1	ms	Sts	m1	ms	Sts	Çıkarım Gücü Değerleri	Önem derecesi	Seçilecekler			
1	1	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,008838	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
2	1	1	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
3	1	1	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
4	1	1	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
5	1	1	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
6	1	2	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
7	2	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
8	2	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
9	2	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
10	2	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
11	3	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
12	3	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
13	3	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
14	3	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
15	3	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
16	4	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
17	4	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
18	4	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
19	4	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
20	4	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
21	5	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
22	5	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
23	5	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
24	5	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
25	5	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
26	5	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
27	5	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
28	5	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
29	5	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
30	5	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
31	5	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
32	5	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
33	5	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
34	5	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
35	5	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
36	5	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
37	5	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
38	5	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
39	5	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
40	5	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
41	5	1	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
42	5	2	2	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
43	5	3	3	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
44	5	4	4	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	1	0,75	1,25	0,001196	1E-06	3,3E-09	1E-06	0,005086069	1
45	5	5	5	0,75	1,25	1	0,75	1,25												

Belirlenmiş kurallar Matlab arayüzüne EĞER-İSE kural yapısı kullanılarak yazılır. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi faktör değişkenleri ve RÖS değerleri kuralların altında sıralanmıştır. Her kural kombinasyonu ve sonuç RÖS değeri sırasıyla modelde tanımlanmıştır. Ve böylelikle kural tabanı oluşturma tamamlanmış olunur.



Şekil 5.10 : Matlab’de kural oluşturma adımı.

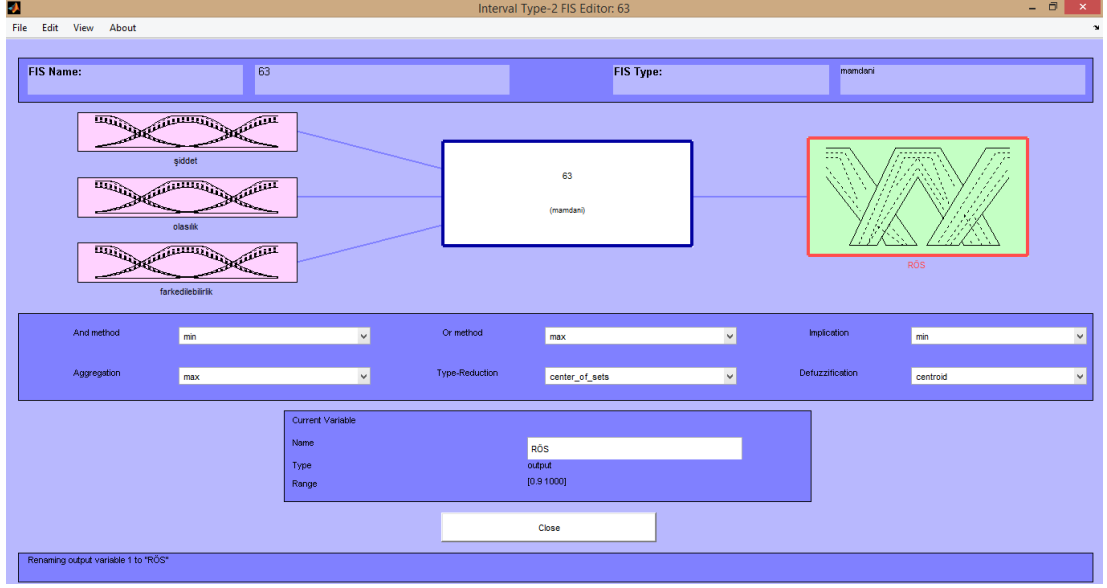
İlk olarak 130 kuralın tamamı, sonrasında ise kural indirgeme yönteminde lamda değerinin değiştirilmesi sonucu elde edilen kurallar kullanılarak kural tabanı oluşturulmuştur.

5.4 Modelin Diğer Adımları

Hata türleri ve kural tabanı belirlendikten sonra AAT2BKTS’nin diğer yöntemleri de programda seçilir. Sırasıyla kullanılan yöntemler;

- Çıkarım sistemi olarak: Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi
- Tip indirgeme yöntemi olarak: Kümelerin Merkezi Yöntemi
- Durulaştırma İşlemi olarak: Merkezi Durulaştırma
- Ve Metodu olarak: Minimum operatörü
- Biraraya Getirmede: Maksimum operatörüdür.

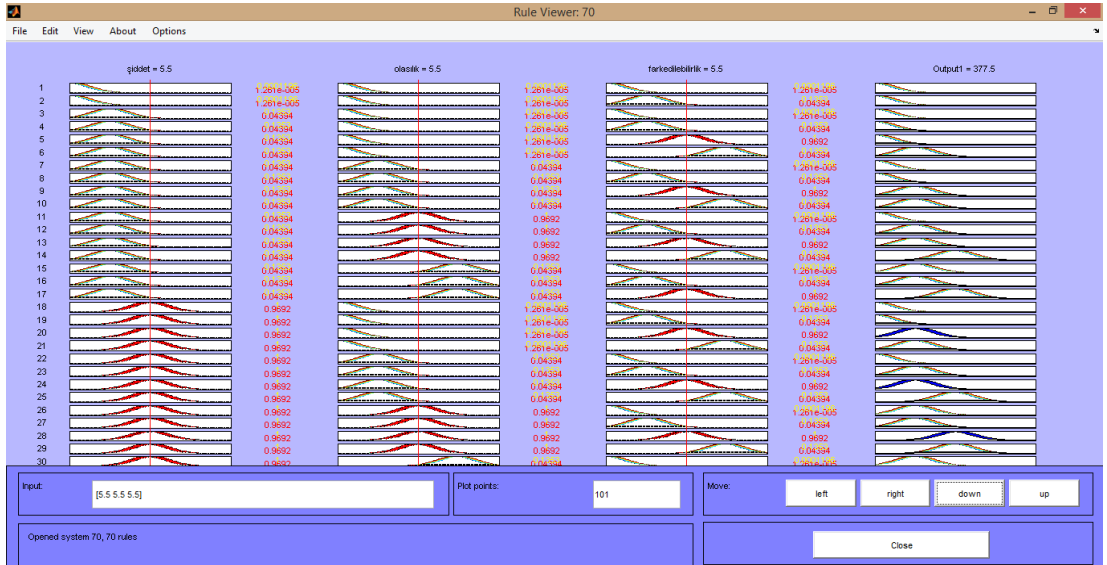
Probleminin çözümünde Matlab Aralık Tip 2 Bulanık Sistemler arayüzü kullanılmıştır (Şekil 5.11). Yukarıda belirtilen yöntemler programda seçilmiştir.



Şekil 5.11 : Matlab’de AAT2BKTS’ için kullanılacak yöntemlerin seçimi.

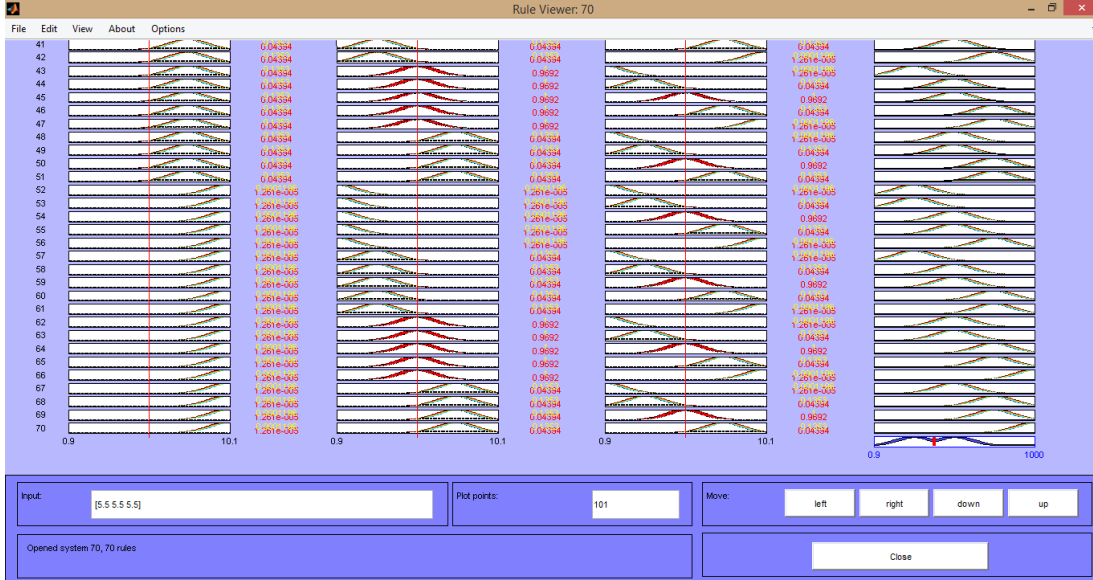
5.5 AAT2BKTS Modelinin Sonuçları

Hata türleri belirlenmiş, kurallar ağırlıklandırılmış, kural tabanının oluşturulmuş ve modelin diğer adımlarında kullanılan yöntemler seçilmiştir. Tüm bu değerler Matlab bulanık tip 2 fonksiyonu kullanılarak çağırılan arayüze girilmiş ve model çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Tanımlanmış kurallara göre mamdani bulanık çıkarım sistemi Şekil 5.12’de gösterilmektedir. Yine aynı şekilde, bulanık çıkarım sistemlerinin sonucunda elde edilen sonuca tip indirgeme işlemi ve durulaştırma işlemi gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen RÖS değeri gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Modelin çıktısı.

Şekil 5.13'te tanımlanan 70 kuralın devamı gösterilmektedir. Burada ayrıca kuralların çıkarımlarının biraraya gelmesiyle oluşan alan da sağ alt köşede verilmiştir. Sol alt kutucuğa ise her hata türüne ait şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik değerleri [Ş, O, F] formatında yazılmaktadır.



Şekil 5.13 : Modelin çıktısının ikinci kısmı.

İlk olarak ağırlıklandırılmış kurallarla sayısı 130'a çıkan kural kombinasyonlarının tamamı için model çalıştırılmış ve her hata türüne ait Ş, O, F değeri girilerek Çizelge 5.8'deki RÖS değerleri bulunmuştur. Sonrasında 41 hata türünün RÖS değeri büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve her hata türünün karşısına öncelik sırası hata türü satırına yazılmıştır.

Yine 130 kural için hata türleri ait oldukları pazarlama karması kriterine göre sınıflandırılmıştır. Çizelge 5.9'da hataların RÖS değerleri ve risk öncelik sıraları pazarlama karması kriteri başlığı altında incelenmiştir. Böylelikle uzmanlar hataları daha sistematik bir şekilde inceleyebilecek ve risklilik bakımından birinci gelen hata ile aynı kriter başlığındaki hataları gözlemleyip ve düzeltici faaliyetlerinin benzer olanlara da müdahale edebilecektir.

İkinci olarak ise 130 kural sayısı KİSK yönetimi kullanarak indirgenmiştir. Gerek KİSK yönteminin performansını görmek, gerekse de ideal kural sayısını tespit etmek amacıyla çeşitli lamda değerlerine göre kurallar seçilmiştir. Seçili kurallar modele girilmiş ve RÖS değerleri elde edilmiştir. Çizelge 5.10 ve devamı sırası ile 43, 55, 61 ve 84'lü indirgenmiş kuraldan meydana gelen AAT2BKTS sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Hataların risk önceliklendirme sayıları ve sıraları.

No	Hata Türü	RÖS	Öncelik
HT1	Menü seçimlerinde hatalar(mevsimsellik)	223,8	36
HT2	Gıda Güvenliği	390,4	13
HT3	Yanlış Reçete Kullanımı	299,3	25
HT4	Ürünün sunum hataları	304,6	23
HT5	Paket servisteki malzemelerin dayanıksızlığı	343,7	16
HT6	Menü fiyatları müşteri beklentilerinin üstünde	299,3	26
HT7	Yanlış Maliyet hesaplama	337,9	18
HT8	Yanlış fiyatlandırma(eksik veya fazla)	288,5	31
HT9	Fiyatların rakipler göre uygun olmaması	299,3	27
HT10	Müşteri profiline uygun olmayan lokasyon seçimi	651,9	2
HT11	Lokasyona bağlı ürün tedarikindeki hatalar	439,9	10
HT12	Hedef kira bedelinden yüksek lokasyon seçimi	390,4	14
HT13	Potansiyel müşteriden daha büyük alan seçimi	550,8	4
HT14	Rakiplere uzaklık	288,5	32
HT15	Potansiyel müşteriden daha küçük alan seçimi	220,7	38
HT16	Müşteriye hitap etmeyen kampanya seçimi	257,5	34
HT17	Yanlış iletişim kanallarının kullanılması	220,7	39
HT18	Kampanyanın müşteri beklentisinin altında kalması	220,7	40
HT19	Rakipler ile rekabet etmeyen kampanya seçimi	299,2	28
HT20	Pazarlamada sosyal medyanın kullanılamaması	299,2	29
HT21	Markanın lasmanının iyi yapılamaması	288,5	33
HT22	Reklam görsellerinin yanlış seçimi	220,7	41
HT23	Baristanın müşteri isteklerine cevap verememesi	550,8	5
HT24	Müşteriler ile iyi ilişkilerin kurulamaması	299,2	30
HT25	Müşterilere kampanyalar hakkında eksik bilgi verme	335,2	21
HT26	Hijyen kurallarına dikkat edilmemesi	551,9	3
HT27	Personellerin kişisel bakımlarının yetersiz olması	223,8	37
HT28	Eğitim / Bilgi Eksikliği	439,9	11
HT29	Ürün servis yetersizliği	390,7	12
HT30	Mekan tasarımının müşteriye hitap etmemesi	655	1
HT31	Hatalı alan tasarımı	443,7	7
HT32	Hatalı mobilya seçimi	332,7	22
HT33	İnternet ve WC eksikliği	343,7	17
HT34	Kafe temizliğinin yetersiz yapılması	304,6	24
HT35	İklimlendirmenin yetersizliği	337,9	19
HT36	Ürün temininde soğuk zincirin bozulması	443,7	8
HT37	Yanlış tedarikçi seçimi	497,9	6
HT38	Tedarik sürecinde temin sürelerinin artması	443,7	9
HT39	Yanlış Sipariş	388	15
HT40	Yanlış Ekipman seçimi	337,9	20
HT41	Tedarik sürecinde gecikmelerin yaşanması	257,5	35

Çizelge 5.9 : RÖS değerlerine göre 7P kriterlerinin incelenmesi.

Parametre	Hata	Hata Türü	RÖS
Fiziksel Olanaklar	HT30	Mekan tasarımının ve dekorasyonun müşteriye hitap etmemesi	655
Yer	HT10	Müşteri profiline uygun olmayan lokasyon seçimi	651,9
İnsan	HT26	Hijyen kurallarına dikkat edilmemesi	551,9
İnsan	HT23	Barista ve servis elemanlarının müşteri isteklerine cevap verememesi	550,8
Yer	HT13	Potansiyel müşteri sayısından daha büyük alan seçimi	550,8
Süreç	HT37	Yanlış tedarikçi seçimi	497,9
Fiziksel Olanaklar	HT31	Hatalı alan tasarımı	443,7
Süreç	HT36	Ürün temininde soğuk zincirin bozulması	443,7
Süreç	HT38	Tedarik sürecinde temin sürelerinin artması	443,7
İnsan	HT28	Eğitim / Bilgi Eksikliği	439,9
Yer	HT11	Lokasyondan kaynaklanan ürün tedarikiindeki hatalar	439,9
İnsan	HT29	Ürün servis yetersizliği	390,7
Ürün	HT2	Gıda Güvenliği	390,4
Yer	HT12	Hedef kira bedelinden yüksek lokasyon seçimi	390,4
Süreç	HT39	Yanlış Sipariş	388
Fiziksel Olanaklar	HT33	İnternet ve WC eksikliği	343,7
Ürün	HT5	Paket serviste kullanılan malzemelerin dayanıksızlığı	343,7
Fiyat	HT7	Yanlış Maliyet hesaplama	337,9
Fiziksel Olanaklar	HT35	İklimlendirmenin yetersizliği	337,9
Süreç	HT40	Yanlış Ekipman seçimi	337,9
İnsan	HT25	Müşterilere ürün ve kampanyalar hakkında eksik bilgi verme	335,2
Fiziksel Olanaklar	HT32	Hatalı mobilya seçimi	332,7
Fiziksel Olanaklar	HT34	Kafe temizliğinin yetersiz yapılması	304,6
Ürün	HT4	Ürünün sunum hataları	304,6
Fiyat	HT6	Menü fiyatlarının müşteri beklentilerinin üstünde olması	299,3
Fiyat	HT9	Fiyatların rakipler göre uygun olmaması	299,3
Ürün	HT3	Yanlış reçete kullanımı	299,3
İnsan	HT24	Müşteriler ile iyi ilişkilerin kurulamaması	299,2
Tutundurma	HT19	Rakipler ile rekabet etmeyen kampanya seçimi	299,2
Tutundurma	HT20	Pazarlamada sosyal medyanın kullanılamaması	299,2
Fiyat	HT8	Yanlış fiyatlandırma (ürünlerin eksik veya fazla fiyatlandırılması)	288,5
Tutundurma	HT21	Markanın lasmanının iyi yapılamaması	288,5
Yer	HT14	Rakiplere uzaklık	288,5
Süreç	HT41	Tedarik sürecinde gecikmelerin yaşanması	257,5
Tutundurma	HT16	Müşteriye hitap etmeyen kampanya seçimi	257,5
İnsan	HT27	Personellerin kişisel bakımlarının yetersiz olması	223,8
Ürün	HT1	Menü seçimlerinde hatalar (mevsimselliğin gözardı edilmesi)	223,8
Tutundurma	HT17	Yanlış iletişim kanallarının kullanılması	220,7
Tutundurma	HT18	Kampanyanın müşteri beklentisinin altında kalması	220,7
Tutundurma	HT22	Reklam görsellerinin yanlış seçimi	220,7
Yer	HT15	Potansiyel müşteri sayısından daha küçük alan seçimi	220,7

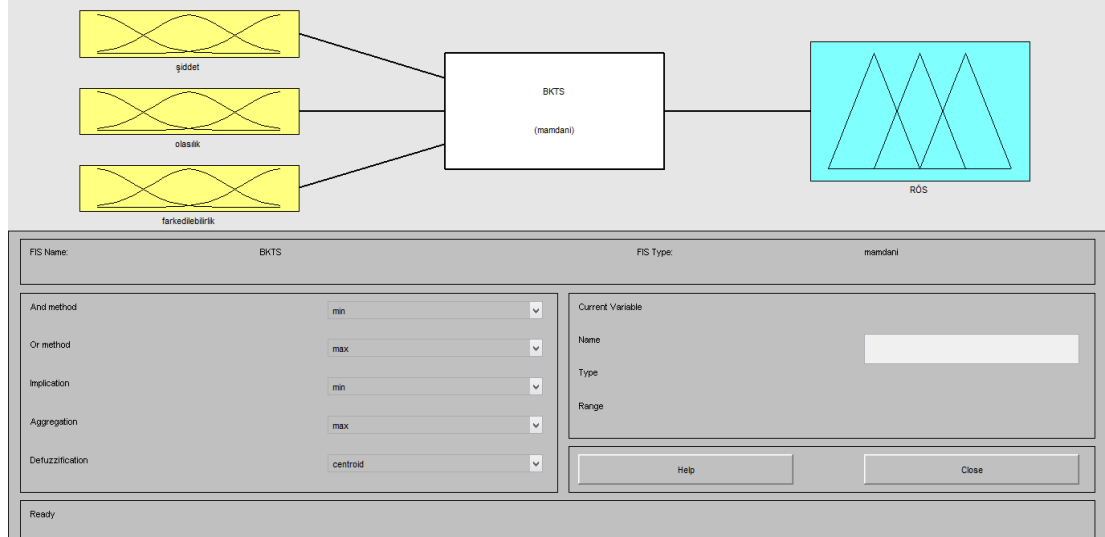
Çizelge 5.10 : İndirgenmiş kural sayılarına göre hataların sıralanması.

Sıra	43		55		61		84		130	
1	HT10	630,7	HT30	606,1	HT10	613,6	HT30	598,3	HT30	655
2	HT30	610,5	HT10	599,1	HT30	612,6	HT10	597,7	HT10	651,9
3	HT26	532,5	HT13	496	HT13	487,8	HT26	488,2	HT26	551,9
4	HT13	514,3	HT23	496	HT23	487,8	HT13	488,2	HT13	550,8
5	HT23	514,3	HT26	486,2	HT26	486,2	HT23	486,7	HT23	550,8
6	HT37	441,3	HT37	428,9	HT37	429	HT37	430,2	HT37	497,9
7	HT31	376,7	HT11	379,5	HT11	379,6	HT11	379,8	HT31	443,7
8	HT36	376,7	HT28	379,5	HT28	379,6	HT28	379,8	HT36	443,7
9	HT38	376,7	HT31	378,2	HT31	378,2	HT31	379	HT38	443,7
10	HT11	373,8	HT36	378,2	HT36	378,2	HT36	379	HT11	439,9
11	HT28	373,8	HT38	378,2	HT38	378,2	HT38	379	HT28	439,9
12	HT2	326,4	HT2	336,2	HT2	336,2	HT2	336,3	HT29	390,7
13	HT12	326,4	HT12	336,2	HT12	336,2	HT12	336,3	HT2	390,4
14	HT29	320,6	HT39	334,6	HT39	335,3	HT39	335,3	HT12	390,4
15	HT39	306,4	HT29	331,9	HT29	331,9	HT29	332,3	HT39	388
16	HT5	275,2	HT5	292,9	HT5	292,9	HT5	292,9	HT5	343,7
17	HT33	275,2	HT33	292,9	HT33	292,9	HT33	292,9	HT33	343,7
18	HT7	267,9	HT7	281,1	HT25	281,5	HT7	281,3	HT7	337,9
19	HT35	267,9	HT35	281,1	HT7	281,1	HT35	281,3	HT35	337,9
20	HT40	267,9	HT40	281,1	HT35	281,1	HT40	281,3	HT40	337,9

Çizelge 5.10 (devam): İndirgenmiş kural sayılarına göre hataların sıralanması.

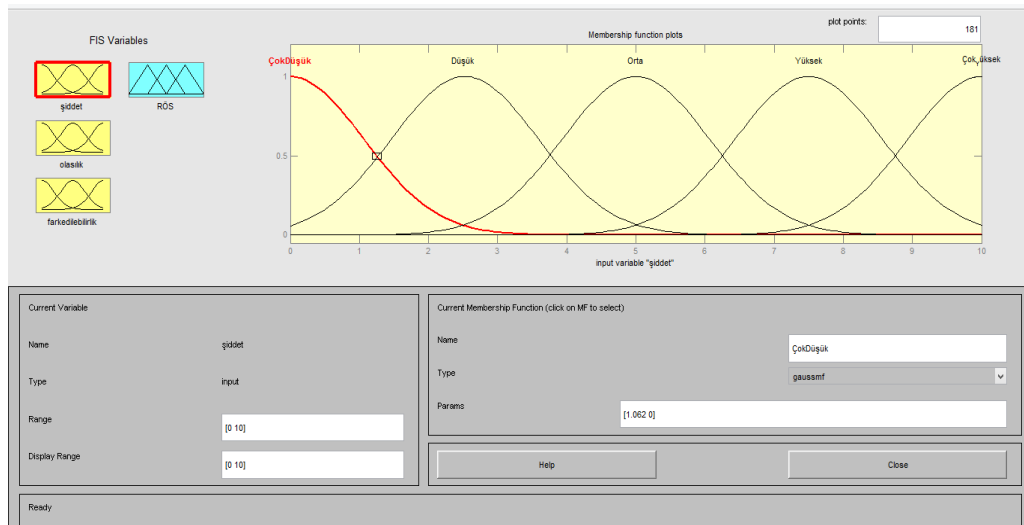
“	43		55		61		84		130	
21	HT32	242,6	HT32	279,1	HT40	281,1	HT32	280,1	HT25	335,2
22	HT4	241,7	HT25	251,3	HT32	280,1	HT25	279,2	HT32	332,7
23	HT34	241,7	HT4	249,5	HT4	249,5	HT4	249,5	HT4	304,6
24	HT3	222,2	HT34	249,5	HT34	249,5	HT34	249,5	HT34	304,6
25	HT6	222,2	HT3	240	HT19	240,2	HT3	240,1	HT3	299,3
26	HT9	222,2	HT6	240	HT20	240,2	HT6	240,1	HT6	299,3
27	HT25	219,7	HT9	240	HT24	240,2	HT9	240,1	HT9	299,3
28	HT19	199,2	HT8	234,1	HT3	240,1	HT19	238,8	HT19	299,2
29	HT20	199,2	HT14	234,1	HT6	240,1	HT20	238,8	HT20	299,2
30	HT24	199,2	HT21	234,1	HT9	240,1	HT24	238,8	HT24	299,2
31	HT16	198,9	HT19	228,3	HT8	236,6	HT8	236,6	HT8	288,5
32	HT41	198,9	HT20	228,3	HT14	236,6	HT14	236,6	HT14	288,5
33	HT8	198,8	HT24	228,3	HT21	236,6	HT21	236,6	HT21	288,5
34	HT14	198,8	HT16	203,9	HT16	203,9	HT16	203,9	HT16	257,5
35	HT21	198,8	HT41	203,9	HT41	203,9	HT41	203,9	HT41	257,5
36	HT1	170,9	HT15	182,1	HT15	182,2	HT15	181,9	HT1	223,8
37	HT27	170,9	HT17	182,1	HT17	182,2	HT17	181,9	HT27	223,8
38	HT15	162	HT18	182,1	HT18	182,2	HT18	181,9	HT15	220,7
39	HT17	162	HT22	182,1	HT22	182,2	HT22	181,9	HT17	220,7
40	HT18	162	HT1	177,9	HT1	177,9	HT1	177,9	HT18	220,7
41	HT22	162	HT27	177,9	HT27	177,9	HT27	177,9	HT22	220,7

Uygulama verilerine ikinci olarak BKTS (Bulanık Kural Tabanı Sistemi)'nin kullanıldığı Hata Türleri ve Etki Analizi yapılmıştır. Çözümde, Şekil 5.14'te görülmekte olan Matlab'ın bulanık sistem fonsiyonuna ait arayüzü kullanılmıştır.



Şekil 5.14 : Matlab'de HTEA'nın BKTS uygulama arayüzü.

Kural tabanındaki öncül (Ş, O, F) ve sonuçlar (RÖS değerleri)'daki değişkenlerde Tip 1 bulanık küme yapısındaki Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Parametre değerleri AAT2BKTS'deki aynı mantık ile oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonları simetrik ve eşit olarak alınmıştır. Şekil 5.15'te şiddet risk faktörünün üyelik fonksiyonu verilmiştir. Olasılık ve farkedilebilirlik risk faktörünün üyelik fonksiyonu ise şiddet ile aynıdır. Ancak RÖS parametreleri 1 ile 1000 arasında değer almaktadır.



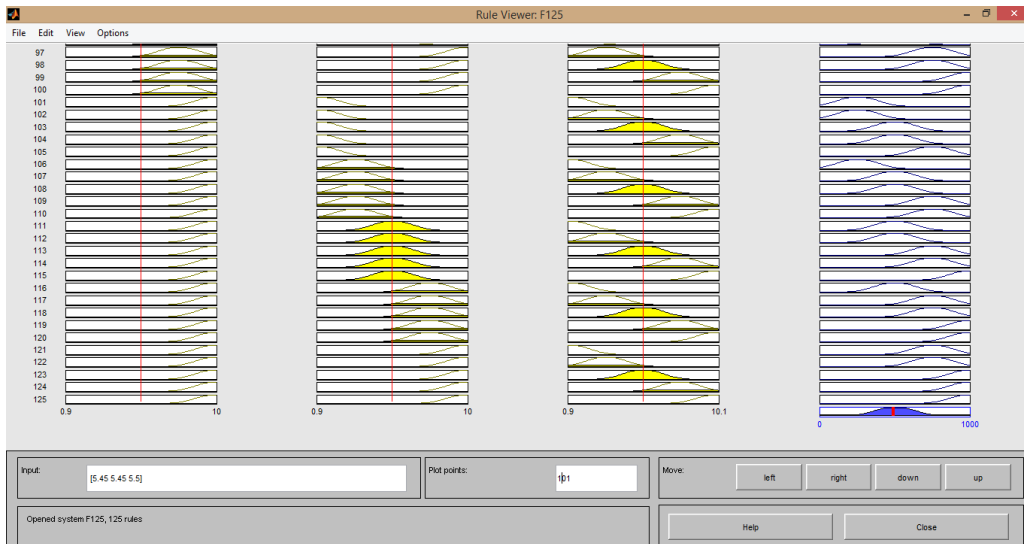
Şekil 5.15 : BKTS'de değişkenlerin fonksiyonları.

BKTS'nin kural tabanındaki kuralları AAT2BKTS ile aynı alınmıştır. Sadece tüm kural kombinasyonları için incelenmiştir. Ağırlıklandırmadan kaynaklanan 5 kural ile birlikte toplamda 130 kural tanımlanmıştır. Model çalıştırılarak Şekil 5.16'daki çıktılar elde edilmiştir.



Şekil 5.16 : HTEA'da BKTS kullanımının çıktıları.

Şekil 5.16'da ise bulanık çıkarım sisteminden elde edilen sonuç sağ alt köşedeki mavi alan ile gösterilmiştir. Bu alana durulaştırma işlemi yapılarak Şekil 5.17'deki RÖS değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.17 : HTEA'da BKTS kullanımının çıktılarının son kısmı.

Ve son olarak uygulama geleneksel HTEA modeli kullanılarak çözülmüştür. Çizelge 5.11'de bu üç model karşılaştırılmış hali bulunmaktadır.

Çizelge 5.11 : HTEA’da Geleneksel, BKTS ve AAT2BKTS model sonuçları.

Sıra	Geleneksel HTEA		BKTS		AAT2BKTS	
	Hatalar	RÖS	Hatalar	RÖS	Hatalar	RÖS
1	HT10	270	HT10	622	HT30	655
2	HT30	224	HT26	585	HT10	651,9
3	HT26	216	HT30	572	HT26	551,9
4	HT23	210	HT23	500	HT13	550,8
5	HT13	168	HT13	480	HT23	550,8
6	HT37	160	HT37	480	HT37	497,9
7	HT28	140	HT36	449	HT31	443,7
8	HT36	120	HT2	421	HT36	443,7
9	HT39	120	HT28	421	HT38	443,7
10	HT11	112	HT29	419	HT11	439,9
11	HT29	105	HT31	368	HT28	439,9
12	HT2	96	HT38	368	HT29	390,7
13	HT31	96	HT39	359	HT2	390,4
14	HT38	96	HT11	354	HT12	390,4
15	HT24	64	HT7	343	HT39	388
16	HT25	60	HT35	343	HT5	343,7
17	HT35	56	HT40	343	HT33	343,7
18	HT40	56	HT24	322	HT7	337,9
19	HT7	56	HT12	318	HT35	337,9
20	HT32	54	HT5	314	HT40	337,9
21	HT12	48	HT34	297	HT25	335,2
22	HT19	48	HT16	290	HT32	332,7
23	HT8	45	HT27	290	HT4	304,6
24	HT3	36	HT4	284	HT34	304,6
25	HT6	36	HT32	280	HT3	299,3
26	HT34	35	HT25	277	HT6	299,3
27	HT20	32	HT8	276	HT9	299,3
28	HT5	32	HT33	266	HT19	299,2
29	HT14	30	HT3	250	HT20	299,2
30	HT16	30	HT6	250	HT24	299,2
31	HT21	30	HT14	239	HT8	288,5
32	HT27	30	HT21	239	HT14	288,5
33	HT4	28	HT19	238	HT21	288,5
34	HT15	24	HT1	225	HT16	257,5
35	HT9	24	HT9	224	HT41	257,5
36	HT1	20	HT41	224	HT1	223,8
37	HT41	18	HT15	216	HT27	223,8
38	HT17	16	HT17	216	HT15	220,7
39	HT18	16	HT18	216	HT17	220,7
40	HT22	16	HT20	216	HT18	220,7
41	HT33	16	HT22	216	HT22	220,7

Çizelge 5.11’te görüldüğü gibi AAT2BKTS’den elde edilen hata türlerinin RÖS sıralamasının, geleneksel HTEA ve BKTS modellerinden belirgin bir şekilde farklı olduğu gözlenmektedir. Geleneksel HTEA ve BKTS modellerinin RÖS sıralamaları ise nispeten birbirlerine benzer çıkmıştır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında kural kombinasyonunun tamamı kullanıldığında en önemli hata türü 655 RÖS değeri ile HT30 “Mekan tasarımının ve dekorasyonun müşteriye hitap etmemesi” olmuştur. İkinci olarak ise 651,9 RÖS değeri ile HT10 “Müşteri profiline uygun olmayan lokasyon seçimi” üçüncü olarak da 551,9 RÖS değeriyle HT10 “Hijyen kurallarına dikkat edilmemesi” gelmiştir. Birinci ile ikincinin RÖS değerleri oldukça yakın iken üç bunlardan biraz farklı çıkmıştır.

Hata türlerinin ait olduğu kriterler ve hata sıralamaları incelendiğinde ise tutundurma kriterlerine ait tüm hataların risk öncelik sırasının sonlarında geldiği görülmüştür. İlk üç hata sırasıyla fiziksel olanaklar, yer ve insan kriterine aittir.

İdeal kural sayısının belirlenmesinde ilk olarak her hata türü için; indirgenmiş ve indirgenmemiş kurallara ait RÖS değerleri arasındaki sapma değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 5.12’deki gibi tablolştırılmıştır.

Çizelge 5.12 : Kuralların indirgenmemiş kural sayısından sapmalarının toplamı.

İndirgenmiş Kural Sayıları	Toplam Sapma
84 Kural	1599,121
61 Kural	1576,918
55 Kural	1633,982
43 Kural	1954,586

Sonrasında 41 hata türü için elde edilen sapma değerleri toplanmıştır. İndirgenmiş kurallar arasında toplam kural sayısına oranla sapması en küçük olan 61 kurala indirgenmiş halidir. 84 lü kuralın sapması 61’liden çok az daha iyidir. Ancak 21 adet kural daha fazla tanımlanması gerekmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzün karmaşıklaşan sistem, süreç, hizmet ve tasarım aşamalarında hataların meydana gelmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu hataların meydana gelmeden engellenebilmesi ve maddi ve manevi birçok zararın oluşmadan hataların ortadan kaldırılabilişmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Bu durum risk değerlendirme metodlarının önemini de gün geçtikçe arttırmıştır. Risk değerlendirme metodlarının en yaygın şekilde kullanılanlardan biri olan HTEA'dır. Ancak yapılan literatür araştırmaları sonucunda HTEA'nın birçok eksiklik barındırdığı görülmüştür. Ayrıca HTEA'nın eksikliklerinin incelendiği ve bu eksikliklere çözümlerin arandığı çok sayıda araştırma bu tez kapsamında incelenmiş ve modelin cevap vermiş olduğu eksikliklere göre başlıklar altında incelenmişlerdir. Bazı eksikler hakkında çok sayıda çalışmanın bulunmasına karşın, "Grup bireylerinin değerlendirmeleri sırasında meydana gelen grup içi ve gruplar arası belirsizliklerin dikkate alınmaması" ve "hatanın türleri, etkileri ve düzeltici faaliyetleri arasındaki ilişkilerin göz ardı edilmesi" gibi birtakım eksiklikler nispeten daha az incelendiği gözlemlenmiştir.

Bu tez kapsamında gerçek hayat verilerini dikkate alabilen ve daha etkin bir yapıya sahip HTEA oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca diğerlerine oranla daha sınırlı çalışmada değinilen, grup bireylerinin değerlendirmelerinin farklılıklarından dolayı modelin barındırmış olduğu belirsizlik eksikliğine çözüm aranmıştır. Ve bunun için Aralık Tip 2 Bulanık Kural Tabanı kullanımına karar verilmiştir.

Modeli çok daha kullanışlı verimli ve esnek bir hale getirmek için kurallar indirgenmiş ve ağırlıklandırılmıştır. Kural indirgemedede Tay ve Lim (2006) nın geliştirmiş oldukları HTEA modelleri için kural indirgeme sistemi kılavuzu tip 2 bulanık küme fonksiyonları için uyarlanarak kullanılmıştır. Farklı lamda değerleri kullanılarak 43, 55, 61, 84'lü indirgenmiş kural setleri elde edilmiş ve model bunlara göre ayrı ayrı çözülmüş ve 41 hata türü için RÖS değerleri elde edilmiştir. Ve hatalar bu RÖS değerlerine göre sıralanmıştır. Ve elde edilen sıralamalar hem kendi aralarında hemde indirgenmemiş olan 130 kural ile karşılaştırılmıştır.

Kural ağırlıklandırmada ise Tay ve Lim (2010)'un geliştirdikleri bulanık kural tabanı modellerinin gerçek hayata uyumluluğunu arttırmak amacıyla kullanmış oldukları

kural ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle kuralların birden fazla sonuç verebileceği durumlar için ağırlıklar belirlenmiş ve kurallar bu ağırlıklar kural tabanına ayrıca yazılmıştır. Böylelikle 5x5x5 olan kural kombinasyonu 5 kuralın ikişer risk düzeyine sahip olmasından dolayı toplam 130'a çıkmıştır.

Uygulama olarak yeni yatırım yapmak isteyen bir şirketin karşılaşılabileceği potansiyel hatalar ve bu potansiyel hataların etkileri incelenmiştir. Potansiyel hata türlerini belirlemede Philip Kothler'in *pazarlama karması* olarak adlandırılan 7P kriteri kullanılmıştır. Böylelikle hatalar çok daha sistematik ve ayrıntılı olarak düşünülebilmektedir. 7P kriterlerinin kullanımının diğer bir nedeni de yatırımın performansı bu 7P kriterine bağlı olmasıdır. Ve aynı şekilde bu kriterlerde yaşayacağı başarısızlıklar ve hatalar yatırımın performansını oldukça etkileyecektir.

Kural tabanı oluşturulup adımlarda kullanılacak tüm yöntemler kararlaştırıldıktan sonra modelin çalıştırılma aşamasına geçilmiştir. Bunun içinde Matlab "fuzzy2" konutuyla çağırılan aralık tip 2 bulanık sistemler arayüzü kullanılmıştır. İlk olarak kural ağırlıklandırılmasıyla 130'a çıkan tüm kural kombinasyona göre model çalıştırılmış ve hata türleri sıralanmıştır. Sonrasında sırasıyla kural sayıları 84, 61, 55 ve 43'e indirgenmiş ve model bu kurallar tanımlanarak da çalıştırılmış ve 41 hata türü için RÖS değeri bulunmuştur. Kural indirgemede en ideal kural sayısını tespit etmek için elde edilen değerlerin, indirgememiş kural kombinasyonunun RÖS değerinden sapmaları bulunmuştur. 61 kuralın sapma değeri 84 kurala oranla fazla olmasına karşın 21 kuralı indirgemesi bakımından 61'li çok daha tercih edilir bulunmuştur.

Uygulama, aynı fonksiyon benzer parametreler kullanarak ikinci olarak Bulanık Kural Tabanı Sistemlerinde çalıştırılmıştır. Matlabin "fuzzy" konutu kullanılarak çağırılan bulanık sistem arayüzü kullanılmıştır. Son olarak da Geleneksel HTEA yöntemi ile Ş, O ve F değerleri çarpılarak RÖS değerleri elde edilmiş ve geliştirilen modelle kıyaslanmıştır. Ve bu kıyaslama sonucunda geleneksel HTEA ve BKTS den elde edilen RÖS değeri sıralamasının benzer olduğu gözlemlenirken AAT2BKTS'nin bunlardan oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm kural kombinasyonu kullanıldığında en önemli hata türü HT30 "Mekan tasarımının ve dekorasyonun müşteriye hitap etmemesi" olmuştur. 130 kural için RÖS değerlerinin tamamı incelendiğinde değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bunda uzmanların belirlemiş oldukları hata türlerinin şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik değerlerinin birbirine yakın olması etkili olmuştur.

Hata türlerinin ait olduğu kriterler ve hata sıralamaları incelendiğinde tutundurma kriterlerine ait tüm hataların risk öncelik sırasının sonlarında geldiği görülmüştür. Buradan tutundurma kriterindeki hataların diğerlerine oranla daha düşük riskler içerdiği gözlemlenmiştir. İlk üç hata, sırasıyla fiziksel olanaklar, yer ve insan kriterine ait bulunmuştur.

Modelin yetersiz yanlarına bakıldığında, hata türlerinin ve düzeltici faaliyetlerinin kendi aralarında etkileşim barındırdığının göz ardı edilmesinin modelin performansını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Örneğin yer seçiminde yaşanan, HT13 "müşteri potansiyelinden küçük mekan seçimi" ve HT15 "müşteri potansiyelinden büyük mekan seçimi" hataları için, potansiyel müşteri sayısının talep tahmini yapılarak belirlenmesi ve buna göre mekan büyüklüğünün seçilmesi bu iki hata türünü birden elimine edilebilecektir. Buda düzeltici faaliyetlerin arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bunun yanı sıra modelde kullanılan kural indirgeme yönteminin sonucunda etkin kural sayısının belirlenmesi zorlayıcıdır. Ve indirgenen kural yapısının başka uygulamalarda kullanılamaması da modelin eksik yanlarından biridir.

Bu tez kapsamında yapılacak öneriler ise; bulanık kural tabanı sistemi kullanımında farklı kural indirgenme yöntemleri kullanılarak kural indirgemedede bir standart oluşturulmalıdır. Ayrıca öncül ve sonuç kısımlarında kullanılan üyelik fonksiyonları eşit olmayan ve simetrik olmayan parametreler kullanılarak da incelenmelidir. Bunun yanı sıra aralık tip 2 bulanık üçgen üyelik fonksiyonu gibi farklı fonksiyon şekilleri kullanılıp sonuçlar kıyaslanabilir.

HTEA'nın gerçek hayatta çok daha doğru sonuçlar elde edebilmesi amacıyla:

- Ş,O,F risk faktörlerinin ağırlıklandırıldığı,
- Hata türlerinin veya düzeltici faaliyetlerinin arasındaki ilişkilerin de dikkate alındığı,
- Uzmanların değerlendirmelerde net ifadeler kullanarak modellenmesinden dolayı meydana gelebilecek belirsizliklerin ortadan kalktığı,
- Grup içi ve gruplar arasındaki farklılıkların modele yansıtılabildiği,
- Risk faktör sayısının artırılabilirdiği (maliyet ve kalite gibi faktörlerin),
- Geleneksel modeldeki çarpım işleminden kaynaklanan eksikliklerin giderildiği,

çok daha kapsamlı bir model geliştirilmesi ilerleyen çalışmalar için hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Braaksma, A.J.J., Meesters, A.J., Klingenberg, W. ve Hicks, C.** (2012). A quantitative method for Failure Mode and Effects Analysis. *International Journal of Production Research*, 50:23, 6904-6917, DOI:10.1080/00207543.2011.632386.
- Braglia, M., Frosolini, M. ve Montanari, R.** (2003). Fuzzy TOPSIS Approach for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. *Quality And Reliability Engineering International*. 19, 425–443, DOI: 10.1002/qre.528.
- Chang, K.H., Chang, Y.C. ve Lai, P.T.** (2014). Applying the concept of exponential approach to enhance the assessment capability of FMEA. *J Intell Manuf.* 25, 1413–1427, DOI:10.1007/s10845-013-0747-9.
- Castro, J.R., Castillo, O., Melin, P. ve Rodríguez-Díaz A.** (2008). Building Fuzzy Inference Systems with a New Interval Type-2 Fuzzy Logic Toolbox. *Trans. on Comput. Sci.* 4750, 104–114.
- Chang, K.H., Chang, Y.C. ve Tsai, I.T.** (2013). Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach. *Engineering Failure Analysis*. 31, 211–224.
- Chen, Z., Wu, X. ve Qin, J.** (2014). Risk assessment of an oxygen-enhanced combustor using a structural model based on the FMEA and fuzzy fault tree. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.32, 349-357.
- Chin, K.S., Chan, A. ve Yang, J.B.** (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *International Journal of Advance Manufacturing Technology* Cilt 36 Sf. 633–649, DOI 10.1007/s00170-006-0898-3.
- Dinmohammadi, F. ve Shafiee, M.** (2013). A Fuzzy-FMEA Risk Assessment Approach for Offshore Wind Turbines. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 013, 2153-2648.
- Du, Y., Mo, H., Deng, X., Sadiq, R. ve Deng, Y.** (2014). A new method in failure mode and effects analysis based on evidential reasoning. *Int J Syst Assur Eng Manag*, 5(1), 1–10, DOI:10.1007/s13198-014-0218-5.
- Feng, C.M. ve Chung, C.C.** (2013). Assessing the Risks of Airport Airside through the Fuzzy Logic-Based Failure Modes, Effect, and Criticality Analysis. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*. 239523, DOI:10.1155/2013/239523.
- Helvacioğlu S. ve Ozen, E.** (2014). Fuzzy based failure modes and effect analysis for yacht system design. *Ocean Engineering*. 79, 131–141.
- Kumru M. ve Kumru, Y.** (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing*. 13, 721–733.

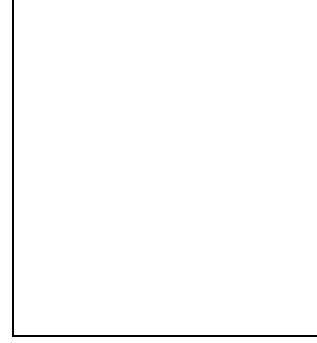
- Li, S. ve Zeng, W.** (2014). Risk analysis for the supplier selection problem using failure modes and effects analysis (FMEA). *J Intell Manuf.* DOI:10.1007/s10845-014-0953-0.
- Li, S. ve Zhou, W.** (2014). Reliability analysis of urban gas transmission and distribution system based on FMEA and correlation operator. *Front Energy.* Cilt 8, sayı. 4, Sf. 443–448, DOI:10.1007/s11708-014-0336-4.
- Liu, H.C., Fan, X.J., Li, P. ve Chen, Y.Z.** (2014). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence.* **34**, 168–177.
- Liu, H.C., Liu, L., Bian, Q.H., Lin, Q.L., Dong, N., Xu, P.C.** (2011). Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications.* **38**, 4403–4415.
- Liu, H.C., Liu, L. ve Li, P.** (2014). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid weighted Euclidean distance operator. *International Journal of Systems Science.* **45**, 2012–2030, DOI:10.1080/00207721.2012.760669.
- Liu, H.C., Liu, L. ve Liu, N.** (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications.* **40**, 828–838.
- Liu, H.C., Liu, L., Liu, N. ve Ling-Xiang Mao, L.X.** (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications.* **39**, 12926–12934.
- Liu, H.C., Liu, L., ve Lin Q.L.** (2013). Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning and Belief Rule-Based Methodology. *IEEE Transactions On Reliability.* Cilt **62**, sayı. 1.
- Liu, H.C., You, J.X., Fan, X.J. ve Lin Q.L.** (2014). Failure mode and effects analysis using D numbers and grey relational projection method. *Expert Systems with Applications.* **41**, 4670–4679.
- Liu, H.C., You, J.X., Lin, Q.L. ve Li, H.** (2014). Risk assessment in system FMEA combining fuzzy weighted average with fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing.* DOI:10.1080/0951192X.2014.900865
- Mandal, S. ve Maiti, J.** (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications.* **41**, 3527–3537.
- Mariajayaprakash, A. ve Senthilvelan, T.** (2014). Optimizing Process Parameters of Screw Conveyor (Sugar Mill Boiler) Through Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Taguchi Method. *J Fail. Anal. and Preven.* **14**, 772–783.
- Mendel, J.** (2001) Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. Prentice-Hall, NJ
- Mirghafoori, S.H., Ardakani, F.A. ve Azizi, F.** (2014). Developing a Method for Risk Analysis in Tile and Ceramic Industry Using Failure Mode and

Effects Analysis by Data Envelopment Analysis. *Iranian Journal of Management Studies*. Cilt 7, sayı. 2, 343-363.

- Nadia B., Rachieru N. ve Anghel D.C.** (2014). Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis Application to Improve Laser Cutting Process. *Advanced Materials Research*. Cilt **1036**, sayı. 280-285, DOI: 10.1002/qre.892.
- Nicoleta, R., Nadia, B., ve Constantin, A.D.,** (2014) Evaluating the Risk of Failure on Injection Pump Using Fuzzy FMEA Method. *Applied Mechanics and Materials*. **657**, 976-980, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM. 657.976.
- Petrovic', D.V., Tanasijevic', M., Milic', V., Lilic', N., Stojadinovic', S., Svrkota, I.** (2014). Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*. 41, 8157–8164.
- Petrovskiy, E.A., Buryukin, F.A., Bukhtiyarov, V.V., Savich, I.V., Gagina, M.V.** (2015). The FMEA-Risk Analysis of Oil and Gas Process Facilities with Hazard Assessment Based on Fuzzy Logic. *Modern Applied Science*. Cilt 9, sayı. 5.
- Safari, H., Faraji, Z. ve Majidian, S.** (2014). Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR. *J Intell Manuf.* DOI 10.1007/s10845-014-0880-0.
- Silva, M.M., Henriques de Gusmão, A.P., Poletto, T. ve Camara e Silva, L.** (2014). A multidimensional approach to information security riskmanagement using FMEA and fuzzy theory. *International Journal of Information Management*. 34, 733–740.
- Singh, V., Harish Pungotra H., Singh, S. ve Gill, S.S.** (2013). Prioritization of Failure Modes in Process FMEA using Fuzzy Logic. *International Journal Of Enhanced Research In Science Technology & Engineering*. Cilt 2, sayı. 2319-7463.
- Song, W., Ming, X., Wu, Z. ve Zhu, B.** (2014). A rough TOPSIS Approach for Failure Mode and Effects Analysis in Uncertain Environments. *Qual. Reliab. Engng. Int.* 30, 473–486, doi:10.1002/qre.1500.
- Tay, K.M. ve Lim, C.P.** (2006). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Cilt 23, sayı. 8, Sf. 1047-1066.
- Tay, K.M. ve Lim, C.P.** (2010). Enhancing the Failure Mode and Effect Analysis methodology with fuzzy inference techniques. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. **21**, 135–146, doi:10.3233/IFS-2010-0442.
- Trafialek, J. ve Kolanowski, W.** (2014). Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for audit of HACCP system. *Food Control*, 44, 35-44.
- Vahdani, B., Salimi, M. ve Charkhchian, M.** (2015). A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. *Int J Adv Manuf Technol*, 77, 357–368, DOI:10.1007/s00170-014-6466-3.

- Xu, K., Tang, L.C., Xie, M., Ho, S.L., Zhu, M.L.** (2002). Fuzzy ssessment of FMEA for engine system. *Reliability Engineering and System Safety*. 75, 17-29.
- Yang, Z. ve Wang, J.** (2015). Use of fuzzy risk assessment in FMEA of offshore engineering systems. *Ocean Engineering*. 95, 195–204.
- Yeh, T.M. ve Chen, L.Y.** (2014). Fuzzy-based risk priority number in FMEA for semiconductor wafer processes. *International Journal of Production Research*. 52:2, 539-549, doi: 10.1080/00207543.2013.837984.
- Vinodh, S., Aravindraj, S., Narayanan R.S. ve Yogeshwaran N.** (2011). Fuzzy assessment of FMEA for rotary switches: a case study. *The TQM Journal*. Cilt 24, sayı. 5, Sf. 461-475 1754-2731 DOI 10.1108/17542731211261601.
- Zaman, M.B., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Khanfir, S., Pitana, T., Maimun, A.** (2014). Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data. *Journal of Simulation*. 8, 91–104.
- Zamani, M., Najati, H., Jahromi, A.T., Partovi, A.R., Nobari, S.H., Shirazi, G.N.** (2008) “ Toolbox for Interval Type-2 Fuzzy Logic System”, *Proc. of 11th conference on Information Science*, Atlantis Press, 1-6.
- Zhu, W., Lin, S.P. ve Hu, H.** (2013). Fuzzy-Set based Treatment for FMEA in Optimum Metro-Vehicle Maintenance Strategy. *International Journal of Control and Automation*. Cilt 6, sayı. 4.
- Pillay, A. ve Wang, J.** (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*. 79, 69–85.
- Wang, Y.M., Chin, K.S., Poon, G.K.K. ve Yang, J.B.** (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzyweighted geometric mean. *Expert Systems*.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad :Emine Merve ALTUNBEY

Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya 10/05/1988

E-Posta :emerveelmas@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Fatih Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER: