

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK MANTIK VE GRİ İLİŞKİSEL YÖNTEMLERİ İLE
BÜTÜNLEŞİK RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül AKTÜRK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK MANTIK VE GRİ İLİŞKİSEL YÖNTEMLERİ İLE
BÜTÜNLEŞİK RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül AKTÜRK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Safiye SENCER

HAZİRAN 2023

Betül AKTÜRK tarafından hazırlanan ‘‘Bulanık Mantık ve Gri İlişkişel Yöntemleri ile Bütünleşik Risk Değerlendirme Analizi’’ adlı tez çalışması 15.06.2023 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliğı/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Doç. Dr. Berrin DENİZHAN Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Safiye TURGAY (Danışman) Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Selman HIZAL Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “BULANIK MANTIK VE GRİ İLİŞKİSEL YÖNTEMLERİ İLE BÜTÜNLEŞİK RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

Betül AKTÜRK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca deneyimlerinden ve bilgilerinden yararlandığım, tüm çalışma boyunca destek olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Safiye Sencer ve canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Betül AKTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. METOT VE YÖNTEM	7
3.1. Hata Türleri ve Etkilerinin Amaçları.....	7
3.2. Hata Türleri ve Etkilerinin Avantajları ve Dezavantajları	7
3.3. Hata Türleri ve Etkilerinin Çeşitleri	8
3.3.1. Sistem hata türleri ve etkileri	8
3.3.2. Tasarım hata türleri ve etkileri	8
3.3.3. Proses hata türleri ve etkileri.....	8
3.3.4. Hizmet hata türleri ve etkileri	9
3.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi Yöntemi.....	9
3.5. Hata Türlerinin Değerlendirilmesi	9
3.5.1. Şiddet	10
3.5.2. Olasılık	10
3.5.3. Keşfedilebilirlik	11
3.5.4. RÖS değeri	12
3.6. Bulanık Mantık.....	13
3.7. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları	14
3.8. Bulanık Mantık Tarihçesi	14
3.9. Bulanık Küme	15
3.9.1. Bulanık küme işlemleri	16
3.10. Bulanık Sistem	17
3.10.1. Bulanıklaştırma	18
3.10.1.1. Üyelik fonksiyonları.....	19
3.10.2. Kural Tabanı	21
3.10.3. Çıkarım.....	21
3.10.3.1. Mamdani yöntemi	22
3.10.4. Durulama.....	23
3.10.4.1. Ağırlık merkezi yöntemi	23
3.10.4.2. Ağırlık ortalaması yöntemi	24
3.10.4.3. Mean-max yöntemi	25
3.10.4.4. Maksimum üyelik yöntemi	25

3.11. Gri İlişkisel Analiz	26
3.11.1. Karar matrisinin oluşturulması	26
3.11.2. Verilerin normalize edilmesi	27
3.11.3. Standartlaştırılmış karar matrisi ve referans serisinin oluşturulması	27
3.11.4. Mutlak değer fark matrisinin oluşturulması	28
3.11.5. Gri ilişki katsayılarının hesaplanması	28
3.11.6. Gri ilişki derecesinin hesaplanması	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	29
4.1. Hata Türleri ve Etkileri Analizinin Uygulanması	29
4.2. Firmadaki Risk Durumlarının Şiddet, Olasılık, Keşfedilebilirlik ve Risk Öncelik Sayılarının (RÖS) Değerlerinin ve Nedenlerinin Belirlenmesi	31
4.3. Bulanık Hata Türleri ve Etkileri Analizi Uygulanması	36
4.3.1. Dilsel değişkenler ve dilsel değişken terimlerin tanımlanması	37
4.3.2. Bulanık girişlerin yapılması	38
4.3.3. Üyelik girişlerinin tanımlanması	39
4.3.4. Kural tabanın oluşturulması	41
4.3.5. Bulanık çıktıların elde edilmesi	45
4.4. Gri İlişkisel Analizin Uygulanması	48
5. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	55
5.1. Öncelik Sıralarının Karşılaştırılması	55
5.2. Yöntemlerin İstatiksel Değerlendirilmesi	56
6. SONUÇ	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

HTEA : Hata Türleri ve Etkileri

GİA : Gri İlişkisel Analiz

O : Olasılık

Ş : Şiddet

K : Keşfedilebilirlik

Min : Minimum

Max : Maksimum

SİMGELER

$\mu_A(X)$: Bulanık küme
Y_i	: Bulanık küme fonksiyonu
$\mu_i(Y_i)$: Üyelik fonksiyonu
Z_j	: Üyelik fonksiyonlarının sahip oldukları en yüksek üyelik derecesi denk değerler
Δ_{max}	: Dizideki en büyük değişim farkı
Δ_{min}	: Dizideki en küçük değişim farkı
δ	: Ayırt edici katsayı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Şiddet derecelendirme tablosu	10
Tablo 3.2. Olasılık derecelendirme tablosu	11
Tablo 3.3. Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu	11
Tablo 4.1. Tespit Edilen Hatalar.....	30
Tablo 4.2. HTEA RÖS değerleri	35
Tablo 4.3. Risk Faktörlerinin Sözel Olarak İfadesi	37
Tablo 4.4. Risk Düzeylerinin Sözel Olarak İfadeleri	37
Tablo 4.5. Kurulan Modelde Girdi ve Çıktı Değerlerine Karşılık Gelen Bulanık Değerler.....	38
Tablo 4.6. Bulanık Kural Tabanı.....	41
Tablo 4.7. Bulanık HTEA Tablosu.....	47
Tablo 4.8. Değerlerin Normalizasyonu Tablosu	51
Tablo 4.9. Gri İlişki Derecesi	53
Tablo 5.1. Yöntemlerin Sıralanması.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. HTEA Şeması	13
Şekil 3.2. Kesişim küme	17
Şekil 3.3. Birleşim küme.....	17
Şekil 3.4. Tümleyen küme	17
Şekil 3.5. Bulanık sistem	18
Şekil 3.6. Bulanıklaştırma grafiği	18
Şekil 3.7. Üçgen üyelik fonksiyonu	19
Şekil 3.8. Yamuk üyelik fonksiyonu	20
Şekil 3.9. Gauss Üyelik Fonksiyonu.....	20
Şekil 3.10. Mamdani Yöntemi	23
Şekil 3.11. Ağırlık Merkezi Yöntemi	24
Şekil 3.12. Ağırlık Ortalaması Yöntemi	24
Şekil 3.13. Mean-Max Yöntemi	25
Şekil 3.14. Maksimum Üyelik Yöntemi	25
Şekil 4.1. Matlab’da Kurulan Bulanık Model.....	38
Şekil 4.2. Olasılık Değişkeni Üyelik Fonksiyonları	39
Şekil 4.3. Şiddet Değişkeni Üyelik Fonksiyonları.....	40
Şekil 4.4. Keşfedilebilirlik Değişkeni Girdi Fonksiyonları	40
Şekil 4.5. Çıktı Değişkeni Üyelik Fonksiyonu	41
Şekil 4.6. Kural Tabanı Arayüzü	45
Şekil 4.7. Kural Tabanı Girişleri.....	45
Şekil 4.8. Bulanık Çıktıları	46
Şekil 4.9. Girdi ve Çıktı Arasındaki İlişki Yüzeyi (Şiddet, Olasılık)	46
Şekil 5.1. Üç Boyut.....	57
Şekil 5.2. Üç Boyut.....	57
Şekil 5.3. Mauchly’s Testi	57
Şekil 5.4. Estimates Değerleri.....	58
Şekil 5.5. İkili Karşılaştırma	58

BULANIK MANTIK VE GRİ İLİŞKİSEL YÖNTEMLERİ İLE BÜTÜNLEŞİK RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ

ÖZET

Bir işletmede oluşabilecek hataların meydana gelmeden önce belirlenmesi, önceliklendirmesi pazarda rekabet avantajı sağlamak açısından oldukça önemli bir paya sahiptir. Bu hataların önceden tespiti ve önceliklendirmesi işletmelerin başarılı olabilmesi için kritiktir. Bu tür analizlerin yapılmaması işletmeler için maddi manevi çok büyük hasar ve kayıplara da yol açabilmekte, tahmin edilemeyen ani zararlar oluşturmaktadır. Bunların yaşanmaması adına birçok teknik geliştirilmiş olup kullanılmaktadır. Kullanılan bu teknikler ile süreçlerde iyileştirme çalışmalarına yer verilerek kalitesel, sistemsel olumlu gelişmeler yaşanmaktadır. Literatürde de hataların tespiti birçok yöntem yer almaktadır. Hata türleri ve etkileri analizi de tercih edilen yaygın bir yöntemdir. Klasik yaklaşım olan hata türleri analizi her ne kadar çok kullanım kolaylığı için tercih ediliyor olsa da bazı durumlarda dezavantajlara yol açmaktadır. Bu dezavantajlar, uzman bilgisine ihtiyaç duyuyor olması, belirsizlik ve esneklik sorunudur. Klasik yöntemin getirdiği bu olumsuzluklar bulanık metodolojinin ve gri ilişkisel analizin geleneksel HTEA tekniğiyle bütünleştirilmesiyle ortadan kaldırılmıştır. Bulanık mantık ve gri ilişkisel yöntem daha esnektir. Bu çalışmayla bir kablo üretim işletmesinde uzman bir ekiple 41 hata tespit edilmiştir. Tespit edilen hatalar kablo üretimi boyunca karşılaşılan hatalar olmaktadır. Tespit edilen her bir hata için belirlenen olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri hata türleri ve etkileri, bulanık mantık ve gri ilişkisel analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Önemli üç kriter olan olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri göz önünde bulundurulmakta ve RÖS değerleri hesaplanmaktadır. Bulanık mantık yöntemi uygulması için Matlab programından yararlanılmış ve Mamdani yöntemi uygulanmıştır. Değer aralıkları üç yöntemde de birbirlerinden farklı olduğu için bu şekilde karşılaştırma yapılması sağlıklı olmamaktadır bu yüzden belirlenen RÖS değerlerine normalizasyon işlemi uygulanmıştır ve uzman görüşünün de katkısıyla her yöntemdeki 41 hata kendi içerisinde sıralanmış, yöntemler arası karşılaştırma yapılmıştır. Hesaplanan RÖS değerleri arasında istatistiksel testler uygulanmıştır. İstatistiksel testler için SPSS programından yararlanılmıştır. Üç yöntemin kendi aralarındaki anlamlılık düzeyleri incelenmiştir. Hata türleri ve etkileri analizinin diğer iki yöntem olan bulanık mantık ve gri ilişkisel analiz ile arasında anlamlı fark bulunduğu tespit edilmiştir. Bulanık mantık ve gri ilişkisel analiz arasında anlamlı fark tespit edilmemiştir.

INTEGRATED RISK ASSESSMENT ANALYSIS WITH FUZZY LOGIC AND GRAY RELATIONAL METHOD

SUMMARY

Determining and prioritizing the errors that may occur in an enterprise before they occur has a very important share in terms of providing a competitive advantage in the market. There are many methods in the literature for the early detection and prioritization of these failures. Failure modes and effects analysis is also a common method of choice. There are 4 varieties. System fmea is a method applied to detect the errors of the systems or the systems under them. It aims to reduce the risk of malfunction during the operation of the system. Develops error-preventing methods by understanding and recognizing the system well. Design fmea, its purpose is to detect errors during the design phase before the production phase of the products. This is the method used to determine why the identified errors occur. During the design, customer requests are of great importance. Process error type and effects aim to eliminate the errors that may occur during the production of the product, that is, during the production and assembly stages. It tries to understand why processes experience such errors. It examines the process in general with all kinds of inputs as manpower, machine, method, material and environment. It contributes to the recovery and development of the process. Service FMEA aims to prevent these risks by determining the risks that may occur before they occur to the customer and taking necessary precautions against them. Minimizes service errors. By examining the flow, it determines and eliminates the risk of errors that may occur. It also includes maintenance and repair activities. Also FMEA has advantages and disadvantages. These advantages are there is continuous improvement and development. By increasing the communication within the team, it prepares the environment for teamwork and brainstorming, plays a role in increasing the communication in the organization. It increases the image of the companies, thus increasing their power while competing with their competitors. Considering these benefits, companies achieve high reliability. It contributes positively to their earnings. These disadvantages are the need for expert knowledge, uncertainty and flexibility. Problem arising from error types analysis has been eliminated by integrating fuzzy methodology and gray relational analysis with traditional FMEA technique. Fuzzy logic is based on thinking like a human and uses them mathematically. It is a branch that does operations by turning it into functions. Fuzzy logic, classical logic does not use. Classical logic; yes-no, 0-1, yes-no, good-bad, but fuzzy logic is this binary It also takes the values between the values for example; a little, a lot, a little, normal, medium, long. Advantages of fuzzy logic; does not need mathematical model, linear It gives good results on systems that don't have it. It is quite easy to apply, and applications are more It provides quick results. Fuzzy logic disadvantages, the method is done by trial and error so it takes a long time may be required. Fuzzy logic consists of 4 parts; fuzzification, rule base, inference mechanism, defuzzification. Fuzzification, from the outside real numeric value received from membership functions It is the process of converting them into linguistic expressions.

Defuzzification, fuzzy inference of the fuzzy set transferred from the motor unit. It is the process of converting it to an exact value. The fuzzy rule base characterizing the knowledge, skills control strategy where control rules are expressed linguistically is the part. Fuzzy inference engine, fuzzy logic over rules executes and input using fuzzy rule base It establishes a connection between the output space and the output space. It information in the unit is usually given by Mamdani and Sugeno. Modeled using methods.Gray Relational Analysis; to analyze the uncertainties in multi-criteria decision problems. It is one of the methods used in mathematics and in cases where uncertainty is in question. It offers an easier solution compared to analysis methods. Classification and decision making technique. It can be applied in situations where there is a lot of data and uncertainty. It is an alternative and effective approach.In this study, 41 errors were detected in a business. Detected errors are the errors encountered during cable production.The probability, severity, and discoverability values determined for each error were examined with error types and effects, fuzzy logic and gray relational analysis methods. Probability, severity, and discoverability values, which are three important criteria, are taken into consideration and RPN values are calculated. Probability is the frequency of the error and how often a type of error can occur as a result of a particular cause. Severity, the rating of the impact of risk. Reducing the severity of the risk prevents its course from worsening. The definition of severity is the effect on the end user of the risk of error occurring. The greater the severity of the error, the greater the degree of its effect. Discoverability is a type of evaluation that exists to determine the cause of the risk. It allows the detection of potential errors and malfunctions that may occur before the product or service reaches the user. RPN stands for risk priority. It occurs by multiplying the probability, severity, and discoverability values. RPN value is not a standard value. Prioritization of errors is performed with the RPN value.The cost of continuous discoverability is high and cumbersome.Each method was listed according to the determined RPN values and expert opinion, and comparisons were made between the methods. As a result of the ranking of the RPN values, a change was observed between the rankings. When the data is examined, it is determined that some error codes have the same order for all three methods. The error type with code F31(the tube dimensions are not suitable for the technical drawing) in the 26th place among the three methods.The error with the code F16(Lack of transparency in the marking process) is at the bottom in the priority order of all methods. In terms of ranking, very close rankings were also determined for examples ; F35(No retouching of the cable),F36(Excessive sanding in retouching), F29(Not snagging or heating the macarons), F25(The macron dimensions are not suitable according to the technical document), F21(Damaged materials used), F19(The label is not suitable according to the technical document), F14(The use of marking operations on the wrong branches).Matlab program was used for fuzzy logic method application. Mamdani method was applied. The reason for using the Mamdani method is that it is a fuzzy logic method that is widely used, requires expert knowledge and can be applied to the solution of all kinds of problems.Before making comparisons between methods, data were normalized.Statistical tests were applied between the calculated RPN values. and it is desired to determine whether there is a malicious difference. Significance levels between them were examined.There is a significant difference between number 1 (FMEA) and number 2 (fuzzy logic), number 3 (grey relational analysis). There is no significant difference between number 2 and number 3. It states that fuzzy logic and gray relational analysis, which have a significant difference with FMEA, will be healthier and more successful in terms of detecting and preventing the problems that may occur in the evaluation of risks. On the other hand,

there is no significant difference between gray relational analysis and fuzzy logic. Comparisons were made between the features obtained as a result of the application in terms of advantages. These comparisons have been made with limitations. In the first part of the study, a literature review was made. In the literature, studies on error types and their effects, fuzzy logic, gray relational analysis have been examined. The next section includes the definitions of these three methods, and the last section includes their application and analysis.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında firmalar rekabet gücünü, pazar payını arttırmak için birçok yöntem denemekte ve iyileştirmeler yapmaktadırlar. Gelişen teknoloji firmaların ayakta kalması için bu tür iyileştirme çalışmalarını, müşteri memnuniyetini sağlamalarını zorunlu hale getirmektedir. Pazarlar çok büyük, müşteriler daha iyi seçeneği oldukça kolay erişebilmekte, ulaşabilmektedir. Bu noktada şirketler kendi süreçlerini inceleyerek potansiyel hataları tespit etmektedir. Bu hataların tespitiyle birlikte önceliklendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Hangi hatanın ne kadar büyüklükte maddi, manevi kayba yol açabileceği hakkında bilgiye ihtiyaç duymaktadır. Bu duyulan ihtiyacı da risk analizi yaparak tespit edebilmektedirler. Günümüzde çok sayıda risk analizi yöntemi bulunmaktadır. Hata türleri ve etkileri analizi de bu yöntemlerden biridir. Bu yöntemde uzman görüşlerinden, sayısal verilerden yararlanılarak tespit edilmiş olan potansiyel hatalara olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri verilmekte olup RÖS değerleri hesaplanmaktadır. Bu yöntemde objektif olmayan sonuçlar çıkabilmektedir. Bu noktada meydana gelen eksikler diğer yöntemler ile karşılanmak istenmiştir. Daha esnek olan bulanık mantık ve gri ilişkisel analiz yöntemleri uygulanmıştır. Uygulama sonucu yöntemler arasında üstünlükler açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar istatistiksel yöntemlerle yapılmıştır. Çalışmanın uygulama alanı kablo üretimi yapan bir tesistir. Kablo üretimi esnasında bir kablonun sahip olduğu tüm süreçler incelenmiştir. İnceleme sonrası karşılaşılan hatalar belirlenmiştir. Bu hatalara olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri verilmiş olup RÖS değerleri hesaplanmıştır. 3 yöntemle göre hesaplanan RÖS değerleri arasında karşılaştırma yapılmış olup istatistiksel testler uygulanmış, anlamlı fark olup olmadığı tespit edilmek istenmektedir. Bu yöntemler arasında üstünlük olup olmadığı incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümde literatür taraması yapılmıştır. Literatürde hata türü ve etkileri, bulanık mantık, gri ilişkisel analiz ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Sonraki bölümde bu üç yöntemin tanımlarına yer verilmekte olup son kısım da uygulama ve analizini içermektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Akpınar (2015), var olan potansiyel hataları bulma ve onların sonucunda ortaya çıkacak olan etkileri belirlemek için kullanılan yöntem hata türleri etkileri ve analizi denir. Analiz daha da kapsamlı hale getirilerek geleneksel hata türleri ve etkilerinin eksikliği olan olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerlerinin hepsinin aynı önemde olduğunu düşünüp, göreceli olma ihtimallerini ortadan kaldırır. Bu noktada bu etkileri ortada kaldırmak için gri ilişkisel yöntem kullanılmıştır. Gri ilişkisel yöntemin amacı ilişki ve sistem davranışların inceleyerek analizlerde bulunmaktır. Karar verme sürecine de katkı bulunmaktadır. Bu çalışmada da kalite hatalarının gri teori yaklaşımı ile belirlenip hata türleri ve etkileri analizi ile de minimize etmesi amaçlanmaktadır.

Yerebakan (2019), dünya üzerindeki nüfusun artımı sonucu tarım alanları yetersiz kalmaktadır. Gübre üretimi yapan bir firmanın verimini ve pazar payını arttırabilmesi için hata türleri ve etkileri analizi uygulanmıştır. Uygulama sonucu hata türleri ve etkilerinin yetersiz olduğu noktaları giderebilmek amacıyla gri ilişkisel yöntemi de kullanarak hata türleri ve birbirleri arasındaki ilişki uyum analizi ile incelenmiştir.

Turgut (2013), otomotiv sektörü en önemli yatırım payına sahip sektörlerden biridir. İmalat süreçleri de oldukça uzun ve geniş bir süreçtir. Bu süreçte çok sayıda risk barındıran olay ve operasyon bulunmaktadır. Süreç içerisinde çok fazla risk barındığından müşteriye verilen arabalarda hatalar olması olağan bir durumdur. Bu çalışmayla da birlikte otomotiv üretiminde meydana gelen hataların tespit edilip bulanık mantık ve gri ilişkisel analizine yer verilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında hata türleri ve etkileri analizi uygulanmıştır. Hata türleri daha sonra gri ilişkisel ve bulanık mantıkla da önceliklendirilmiştir. Her şeyin birbiriyle daha fazla bağlantılı ve iç içe olduğu günümüz koşullarında sadece hata türlerini kullanarak önceliklendirmek yetersiz kalmaktadır. Bulanık mantık ve gri ilişkisel yöntemin kullanılması daha etkili ve esnek hale getirmektedir.

Turan (2018), ürün güvenirligi kalitesi günümüz şartlarında müşteri memnuniyeti açısından oldukça büyük paya sahiptir. Bu güvenirligi sağlamak için risk analizi

yapmak önemlidir. Risk analizi ile tehlikelerin belirlenmesi, risklerin derecelendirilmesi, önlemlerin alınması hedeflenmektedir. Risk analizi için birçok yöntem bulunur. Bu çalışmayla birlikte hata türleri ve etkileri analizi kullanılarak hataların tespiti, iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmış yeni bir yöntem olan bulanık mantık da kullanılarak çalışma genişletilmiştir. Güç transform ürün grubu baz alınmış olup, risklerin tespit edilmesi ve giderilmesi amaçlanmıştır.

Avcı (2017), gri ilişkisel yöntemle birlikte konut seçimi konusunda bireylerin karar vermelerine yardımcı olunmuştur. Bireyler konut seçimi yaparken birçok belirsizlik ve zorlukla karşılaşır. Konut seçimi konusunda birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin hepsi sayısal veri olmamaktadır. Bu noktada gri ilişkisel analiz yöntemine başvurularak çözüm sağlanmaktadır. Bu çalışmada da ilk olarak konut seçimindeki kriterler belirlenmiş daha sonra da gri ilişkisel analiz ile alternatifler derecelendirilmiştir.

Yörükoğlu (2014), hızlı nüfus artışı ile enerji kaynaklarının tüketimi oldukça artmıştır. Kısıtlı kaynaklarla bu büyük tüketim miktarlarını karşılamakta zorluklar yaşanmaktadır. Dolayısıyla yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. Çevre dostu ve yenilebilir enerjinin önemi ve değeri de çok büyük öneme sahip olmaktadır. Bu çalışmayla da birlikte yenilebilir enerji kaynakları olan jeotermal, güneş, rüzgâr gibi sahip oldukları riskleri inceleyerek fuzzy ve hata türleri ve etkileri teknikleri uygulanmıştır. Tüm riskler birçok yönden incelenmiş olup risk öncelikleri hesaplanmıştır. Kullanılmış olan hata türleri etkileri ve fuzzy teknikleri değerlendirilmiştir. Kendi aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Keskenler (2017), bulanık mantık ile insana ait özellikler, veriler, deneyimler makinelere programlara işlenerek makinelere çalışma kabiliyeti tanınır. Sözel ifadeler bilgisayar ortamında matematiksel olarak ifade edilir. Bulanık mantık ve klasik mantık arasında farklar bulunmaktadır. Bu farkları klasik mantıkta değer olarak 2 adet değer bulunur. Bunlar da 0-1'dir. Bulanık mantık ise bu duruma zıt olarak 0-1 aralığında bulunan değerleri ifade eder. 2'den fazladır. Gün geçtikçe bulanık mantığın sosyal, psikolojik, mantık, felsefi konularda kayda değer katkılar sunmaktadır. Bu çalışmayla da birlikte bulanık mantığın tarihsel süreci hakkında, uygulama alanları hakkında bilgilere yer verilmektedir.

Yılmaz (2000), hata türü etkileri analizi risklerin ürün ve süreçlerde önlenmesine odaklanan bunları belgeleyen de bir yöntemdir. Potansiyel hataların tespiti, şiddet, derecelerini, saptanabilirliğini belirlerken, hataları sınıflandırırken kullanılır. Amaç kaliteyi sağlamaktır. Kalitesizliği önlem olarak önlemeyi sağlamaktır. Hataların önem derecesini belirler. Bu hataların oluşturabileceği sonuçlarla ilgilenecek çeşitli önleyici faaliyetler uygulanmalıdır. Temel olarak sistemin analiz edilerek güvenilirliğinin sağlanabilmesi için hatalardan arınması büyük önem arz etmektedir.

Yıldırım (2018), karar vermek insanın yaşamı boyunca önemli yere sahip ve araştırmalara konu olmuş bir olgudur. Bu karar verme sürecini daha da kolay ve etkili olacak şekilde sağlayacak yöntemlere ihtiyaç duyulmuş ve geliştirilmiştir. Karar verme sürecinde bulunan seçeneklerin fazla oluşu bu süreci zorlaştırırsa da geliştirilen yöntemlerle süreç daha da kolay hale gelebilmektedir. Bu çalışmada da karar verme yöntemlerini daha kolay hale getiren gri ilişkisel analiz konu alınmıştır. Bir karar verme problemi örneği üzerinde gri ilişkisel analiz uygulamasına yer verilmiştir.

3. METOT VE YÖNTEM

3.1. Hata Türleri ve Etkilerinin Amaçları

Amaçlar konusunda hata türleri ve etkileri; mantık çerçevesi içinde riskleri açıklayarak oluşabilecek etkileri ve bu etkilere karşı nasıl önlemler gerektiğini açıklamaktır. Oluşabilecek potansiyel hatanın gerçekleşmeden tespit edilerek önlenmesini, hataya yol açan durumları belirleyerek sistemden çıkarılmasını sağlaması ya da etkilerini en az seviyeye indirmeyi, başarısızlığı en aza indirgeyerek süreçleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Hataların tespitinden sonra gereken uygun test ve uygulama yöntemleriyle birlikte bunların kontrolünü sağlamaktadır. Kendinden sonraki gelecekte üretilen ürün, hizmetin de başarısını olumlu olarak etkilemeyi amaçlamaktadır. Müşterinin oluşabilecek tüm hatalardan en az şekilde etkilenmesini sağlayarak, bunları yazılı hale getirerek belgelenmesini sağlamaktadır [2,7].

3.2. Hata Türleri ve Etkilerinin Avantajları ve Dezavantajları

Hata türleri ve etkilerinin birçok yararı bulunmaktadır. Temel olarak hata olasılıklarını azaltır. Ürün veya hizmetin kalitesini artırarak müşteri memnuniyetini ve verimliliğini sağlamaktadır. Hataları azaltarak çıkan hurda miktarını da en aza indirir böylece maliyetler açısından ciddi iyileştirmeler sağlayabilir. Kazançlarda da pozitif etki sağlar. Ürün veya hizmetin piyasaya pazara çıkış süresini azaltmaktadır çünkü tasarım aşamasında oluşacak hatayı önleyip düzeltir. Bitmiş ürünün sahip olduğu risklerden çok daha kolay çözüme kavuşulur. Sürekli iyileştirme ve gelişim söz konusudur. Takım içerisindeki iletişimi artırarak takım çalışmasına ve beyin fırtınalarına ortam hazırlar, organizasyondaki iletişimi arttırmada rol oynar. Firmaların imajının artmasını sağlar böylece rakipleri ile yarışırken ki gücünü artırır [9,10,26]. Bu yararlar göz önüne alındığında firmaların yüksek güvenilirlik elde etmesi de kaçınılmazdır. Faydalarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Tecrübeye, bilgiye ihtiyaç duyar. Kaynaklar konusunda eksiklikler yaşanabilmektedir. Kompleks sistemlerde karışıklığa yol açabilir. Süreç zor ve yorucu olabilir. Esnek bir yapıya sahip değildir. Bazı hata türlerinin analizi güç olabilmekte hatta analiz edilememektedir [12,14-16].

3.3. Hata Türleri ve Etkilerinin Çeşitleri

Uygulandığı yer ve duruma göre de çeşitleri bulunmaktadır. Aralarında ufak farklar bulunmaktadır. Değerlendirme sırasında kriterlerde değişiklikler olabilmektedir fakat ana sistem, mantık aynı işlemektedir. Bunlar sistem, tasarım, proses, hizmet hata türleri ve etkileri olarak ayrılır [8,9].

3.3.1. Sistem hata türleri ve etkileri

Sistemler veya altında yer alan sistemlerin hatalarının tespiti için uygulanan bir yöntemdir. Müşterilerin istek ve beklentileri baz alınarak yapılmalıdır. Sistemin çalışması sırasında arızalanma riskini azaltmayı hedefler. Sistemi iyi bir şekilde kavrayarak, tanıyarak hata önleyici metotlar geliştirir. Sistemin sahip olduğu alt sistemlerin ve elemanları da kapsamaktadır. Optimum düzeyde sistemin tasarlanmasını sağlamaktadır. Gereksiz olan tüm adımları belirleme yardımcı olmaktadır [27,29,33].

3.3.2. Tasarım hata türleri ve etkileri

Amacı ürünlerin üretilme aşamasından önce tasarım aşamasındayken hataların tespitini sağlamaktır. Bu belirlenen hataların niçin yaşandığının tespitini yapmak için kullanılan yöntemdir. Tasarım esnasında müşteri istekleri çok büyük önem arz etmektedir. Tasarım tamamlanmadan önce devlet prosedürlerine, kabul edilen müşteri şartnamelerine uygunluğu da garanti altına almaktadır. Müşteri talepleri de göz önünde bulundurularak tasarımdaki kritik özellikler belirlenir. Tasarımın gelişmesi açısından da çok büyük rol oynar yapılan analizler ve kaygılarla gelişim gözlemlenir. Sistem güvenliğinde de artış yaşanır [23,24].

3.3.3. Proses hata türleri ve etkileri

Proses hata türü ve etkileri, ürünün üretimi sırasında yani üretim ve montaj aşamasında oluşabilecek hataları yok etmeyi amaçlar. Proseslerin neden bu tarz hatalar yaşadığını anlamaya çalışır. İnsan gücü, makine, yöntem, malzeme, çevre olarak süreci her türlü girdisiyle genel olarak inceler. Prosesin iyileşmesine ve gelişmesine katkı sağlar. Toplam süreç kalitesini sürekliliğini güvenilirliğini sağlamayı hedefler. Kritik noktalar belirlenir. Diğer yöntemlere kıyasla daha dikkat ve özen ister. Bu aşamada proses kendi içinde kısımlara ayrılıp bölünerek incelenmelidir. Aynı zamanda ürünün tasarım ve üretim kısmında yaşanan sıkıntıları da bu aşamada tespit eder. Bu hataları da ortadan kaldırır. Maliyetleri azaltır [27,28].

3.3.4. Hizmet hata türleri ve etkileri

Müşteriye oluşmadan oluşabilecek risklerin belirlenerek bunlara karşı gerekli önlemler alınarak bunların yaşanmamasını hedefler. Servis hatalarını minimize eder. Akışı inceleyerek oluşabilecek hata risklerini belirleyip giderilmesini sağlamaktadır. Bakım onarım faaliyetlerini de içerir. İşleyişteki eksikleri tespit eder. Üretim, satış pazarlama, kaliteyi organize ederek müşteri memnuniyetini sağlamak ilişkileri geliştirmeyi, iyileştirmeyi hedefler [12,27,28].

3.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi Yöntemi

Hata türleri ve etkileri yöntemine başlanmadan önce ilk olarak bazı hazırlık süreçleri bulunmaktadır. Kapsamın tam olarak belirlenmesi, çalışma ekibinin kurulması amacı belirlenmelidir. Bu hazırlık süreçlerinin netleşmesiyle birlikte hatalar tespit edilmektedir. Tespit edilen hataların nasıl meydana geldiği sorgulanır ve anlamaya çalışılır. Müşterilere bu hataların nasıl yansiyabileceği hakkında değerlendirmeler yapılır. Bu süreçte detaylıca tüm süreçler incelenmektedir [1,9].

Tüm konuların incelenmesi sonucu tespit edilen hata türlerinin etkileri belirlenir, oluşma olasılıkları belirlenir. Hatalar tespit edilirken müşterilerden alınan geri dönüşler, benzer sistemlerde yaşanan bazı deneyimlerin sonuçları, benzer değerlendirme analizleri, raporları baz alınabilmektedir. Beyin fırtınası, neden sonuç ilişkileri kullanılarak süreç kolaylaşabilmektedir. Daha sonra bu hataların meydana gelme nedenleri incelenmektedir. Burada incelemeler büyük bir dikkatle odaklanılıp nedenlerinin tespitinin iyi yapılması gerekmektedir. Bir hatanın nedeni aynı zamanda birden çok hatanın da nedeni olabilir. Bir hata başka hataya neden olabilir. Meydana gelebilecek olası hataların etkileri de incelenmektedir. Bu inceleme son kullanıcı da yani müşteri de nasıl etki meydana getiriyor bunu incelemektedir. Müşteri anketleri, şikayetleri çeşitli analizler ile elde edilebilmektedir. Bu olası hataların meydana gelmemesi çeşitli kontrol noktaları konulmaktadır. Bu noktalar kimi zaman danışmanlar kimi zaman deneyler olmaktadır [23,29,34].

3.5. Hata Türlerinin Değerlendirilmesi

Hata risklerinin belirlenmesinde 3 tane parametre baz alınmaktadır. Bunlar olasılık, şiddet, keşfedilebilirliktir.

3.5.1. Şiddet

Riskin etkisinin derecelendirilmesidir. Riskin şiddetini azaltmak, gidişatının kötüleşmesini engeller. Şiddetin tanımı hatanın meydana gelme riskinin son kullanıcıda meydana getirdiği etkidir. Hatanın şiddeti arttıkça meydana getirdiği etkinin de derecesi de artmaktadır. Şiddet derecesi belirlenirken daha önce yaşanmış tecrübelerden ve uzman görüşlerinin etkisiyle belirlenmektedir. 1-10 arasında ölçeklendirme yapılır [2,10].

Tablo 3.1. Şiddet derecelendirme tablosu

ETKİ	ŞİDDETİN ETKİSİ	DERECE
Çok tehlikeli	Felakete yol açabilecek ikazsız, gelen potansiyel hata	10
Tehlikeli	Yüksek hasara, ölüme ve ikazla sebep olabilecek etkiye sahip potansiyel hata	9
Ciddi	Sisteme veya ürüne tamamen zarar verebilecek hurdaya da sebep olabilecek hata	8
Çok Büyük	Kullanılan ekipmana tamamen zarar verecek ve ürünü tamamen hurdaya ayıracak potansiyel hata	7
Büyük	Sistemin performansını etkileyen, ürünü kullanılmaz hale de getirebilen potansiyel hata	6
Orta	Ürün ve performansın üzerinde orta derecede etki eden potansiyel hata	5
Küçük	Ürün ve prosese küçük şiddette etki eden potansiyel hata	4
Önemsiz	Ürün ve prosese etkisi önemsiz hata	3
Çok Önemsiz	Ürün ve prosese etkisi çok önemsiz hata	2
Etkisiz	Ürün ve proses üzerinde hiçbir etki yok	1

3.5.2. Olasılık

Hatanın ortaya çıkma olasılığıdır. Başka bir deyişle, oluşma olasılığı, olası bir hatanın ne sıklıkta meydana geldiğini gösterir. Olasılık değeri hatanın ortaya çıkma sıklığını göstermek için kullanılır. Aşağıdaki tablodan yararlanarak hataların ortaya çıkma olasılıklarının belirlenmesini sağlar [2,23].

Tablo 3.2. Olasılık derecelendirme tablosu

Hata Olasılığı	Hatalı Parça Oranı	Derece
Çok Yüksek	Her 200 üründe \geq	10
	Her 200 üründe \geq	9
Yüksek	Her 200 üründe \geq	8
	Her 200 üründe \geq	7
Orta	Her 200 üründe \geq	6
	Her 200 üründe \geq	5
	Her 200 üründe \geq	4
Düşük	Her 200 üründe \geq	3
	Her 200 üründe \geq	2
Uzak	Her 200 üründe \geq	1

3.5.3. Keşfedilebilirlik

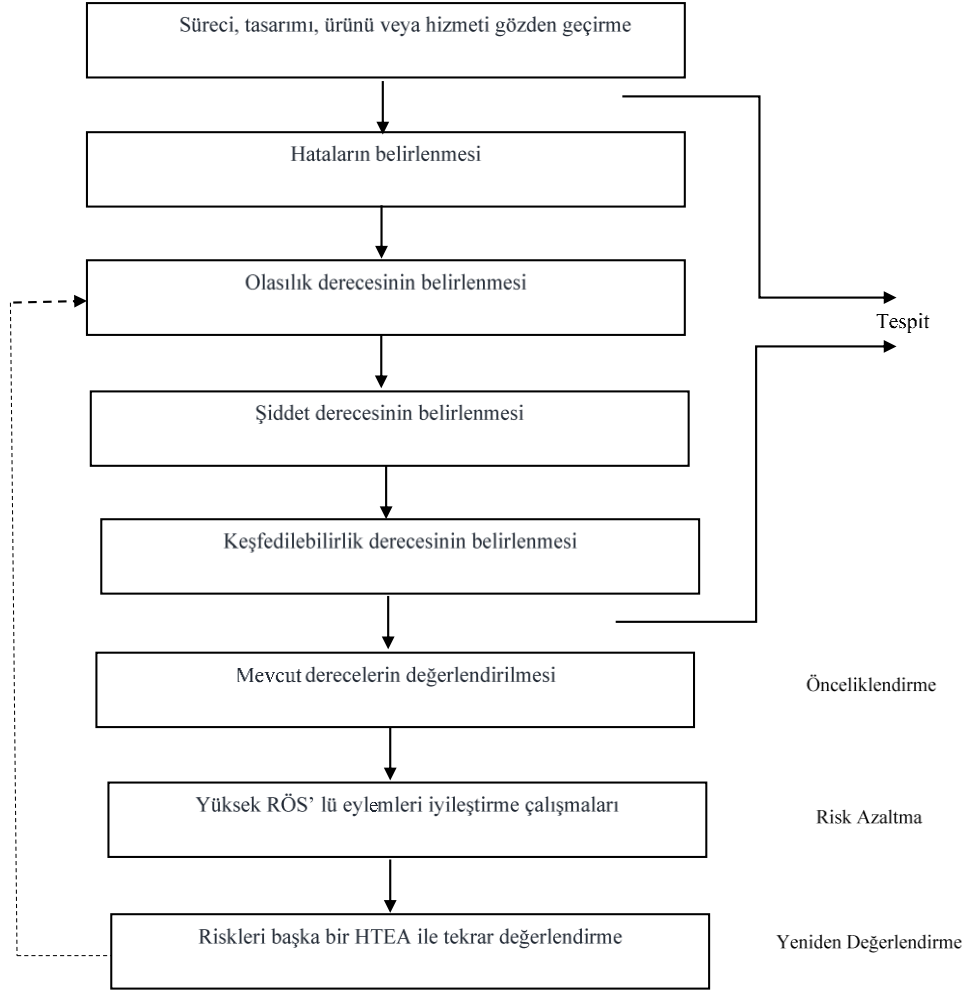
Keşfedilebilirlik, riskin nedenini, mekanizmasını belirlemek için var olan bir değerlendirme türüdür. Özel durumlarda bazı değişiklikler gerekli olsa bile ekip bir değerlendirme kriteri ve derecelendirme sistemleri kullanmalıdır. Mümkün olan en erken zamanda tespit etmeyi amaçlar ayrıca ekip, puanlamadan sonra potansiyel risk puanlarını gözden geçirmelidir. Ürün veya hizmetin kullanıcıya ulaşmadan önce yaşanabilecek potansiyel hata ve arızaların tespit edilmesine olanak sağlar. Sürekli olarak keşfedilebilirliğin maliyeti oldukça yüksek ve zahmetlidir. 1 ile 10 arasında ölçeklendirme yapılır. Bu ölçek ile her hata türüne keşfedilebilirlik derecesi tayin edilir [2,12].

Tablo 3.3. Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu

KEŞFEDİLEBİLİRLİK	KRİTERLER	DERECE
Keşfedilemez	Keşfedilebilirlik söz konusu kesinlikle değildir.	10
Çok Uzak	Oluşabilecek potansiyel hataların keşfedilebilirliği, muhtemelen çok uzak	9
Uzak	Oluşabilecek potansiyel hatanın keşfedilebilirliği uzak	8
Çok Düşük	Oluşabilecek potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok düşük	7
Düşük	Oluşabilecek potansiyel hatanın keşfedilebilirliği düşük	6
Orta	Oluşabilecek potansiyel hatanın keşfedilebilirliği orta, keşfedilebilir	5
Ortadan Yüksek	Oluşabilecek potansiyel hatanın keşfedilebilirliği ortadan yüksek	4
Yüksek	Oluşabilecek potansiyel hatanın keşfedilebilirliği yüksek	3
Çok Yüksek	Hatanın keşfedilebilirliği neredeyse %100	2
Kesin	Hatanın nedeni keşfedilebilirliği kesindir.	1

3.5.4. RÖS değeri

RÖS değeri risk öncelik sıralamasının kısaltmasıdır. Olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerlerinin çarpımı ile meydana gelmektedir. RÖS değeri standart bir değer değildir. RÖS değeri ile hataların önceliklendirilmesi yapılmaktadır. RÖS için maksimum değer 1000'dir. (10*10*10 şeklindedir.) Eşik değeri belirlenmelidir. Bu eşik değeri her risk analizinde değişebilmektedir. Bu eşik değerinin belirlenmesi esnasında çeşitli kriterler yer almaktadır. Hesaplanan RÖS değeri ile hatalar önceliklendirilir. Analiz ve kaynak tahsisi için yüksek risk önceliği sahip hatalar veya arızalar ilk olarak seçilir. Burada doğru olan RÖS değerinin yüksek olduğu hatalara odaklanmaktır. Süreç analiziyle birlikte risk değerlendirilmeleri yapılır. Kök nedenler tespit edilir ortadan kaldırılması için çalışmalara başlanır. İlk hedef şiddetin sonra keşfedilebilirlik ve daha sonra da olasılık değerlerinin düşürülmesi hedeflenir. Çalışmalar esnasında aynı RÖS değerine sahip birçok risk olabilmektedir [7,9]. Bu noktada uzman görüşlerinden yararlanılmaktadır. Sıralama sonrası iyileştirmek için önlemler alınmalıdır. Olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerlerinin birinin derecesinin düşmesini hedefler. Önceliklendirme yapılır. Mevcut tasarım kontrolü veya önleyici / düzeltici önlemler alınır. Önlemler ile tespit edilen etki durumunda nedenlerinin ortadan kaldırılması, azaltılması veya kontrolünü sağlamayı hedefler. Hatalar tüketiciler için tehlike oluşturur. Öncelikler belirdikten sonra düzeltici eylemler aşağıdaki amaçlar için gerçekleştirilmelidir. Risk faktörlerinin kökünü ortadan kaldırılması, hatanın ciddiyetini azaltılmak, süreçte keşfedilebilirliği arttırmak, iş memnuniyetini arttırmaktır. Hata türleri etkileri bu koşulları ortadan kaldırmak veya azaltmak için harekete geçmedikçe, gerçekten var olmaz. Yararlı faaliyetler gerçekleştirir, bunlar kimi zaman önemli finansal maliyetlere de neden olur. Hata türleri ve etkileri sistematik bir yaklaşımdır, her şeyden önce hatalar ve arızalar tespit edilir. Hizmet ve kaliteyi iyileştirmek için çok önemli bir araçtır [29,31,33].



Şekil 3.1. HTEA Şeması

3.6. Bulanık Mantık

Temel olarak belirsizliklerden elde edilen mantık şekline bulanık mantık denilmektedir. Kavramlar genellikle belirsizdir ve de kararsızlık içermektedir. En net şekilde bulanık mantık belirsizliklerle oluşan bir matematiksel düzen olarak adlandırılabilir. Yaşamın kendisi de belirsizlikler ile kaplıdır dolayısıyla insanlığın sonuca varmak için belirsiz birçok durumla karşılaşması çok olasıdır. Bu noktada asıl amaç yanılmayan doğru kararları vermesi adına, karar mekanizmalarını oluşturmaktır. Yaşamın birçok noktasında birçok terim bulanık yapı içermektedir. Bir olayı veya durumu analiz ederken bazı tanımlamalar, betimlemeler kullanırız. Bunlar örneğin güçlü, kısa, biraz, çok gibi kelimeler olabilir. Bunlar kesinlik ifade etmez. Bu tür ifadeler yaşanan durumların, davranışların insan beyninin nasıl algılayıp tanımladığı ile ilgilidir. Klasik mantığı bulanık mantıktan ayıran kilit nokta da kesin

iki değerle çalışmak zorunda bırakmıyor oluşudur [3,4]. Klasik mantık kullanılarak yapılan büyük kapsamlı modellemelerde bunun kontrolünü sağlamak oldukça zordur çünkü verilerin net, tam ve eksiksiz olması gerekir. Bulanık mantık bu kısıtlamayı reddeder. Bulanık mantıkta tüm değerler 0-1 değerleri arasında yer almaktadır. Nitel betimlemelere yer verilmektedir. Tahmin yönteminden yararlanılmaktadır [20-23].

3.7. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

Diğer yöntemlerle bulanık mantık karşılaştırıldığında diğerleri gibi ayrıntılı matematiksel modellere ihtiyaç duymadıkları görülmektedir. Sadece giriş ya da çıkış değerleri değil her iki değer de beraber analiz edilerek değerlendirilir. Bu yöntemle birlikte eř zamanlı uygulanır ve çıkarımda bulunulur. yelik fonksiyonlarının sadeleşmesi sonucu kuralların sayısını da büyük oranda indirger. Bulanık kurallar kolayca eklenip çıkarılabilir. Esneklerdir. Kurallar istenilen çıkışa ulaşmadığı takdirde yeniden düzenlenir. Karmaşık sistemlerde istenilen hız, kalite gibi parametrelere göre çok sayıda bulanık denetleyiciye ihtiyaç duyacaktır [33,34].

Bulanık mantığın avantajları insan beynine uygun bir stili olması, ucuz mal olması olurken dezavantajları da uzmanlığa ihtiyaç duyması, deneme yanılma yapılması ve bunun için de uzun süre alması olmaktadır.

3.8. Bulanık Mantık Tarihçesi

1960'lı yıllarda Prof. Lotfi A. Zadeh'in California Berkeley niversitesinde ilk makalesini yayınlamasıyla ortaya çıkmaktadır. Günümüze kadar önemi ve değeri gittikçe artmıştır. Zadeh bu belirsizlik mantığını günlük yaşamdaki sorunları ele alarak kullanmaya başlamıştır. Dünyaya duyurulan bulanık mantık Japonlar tarafından 1970'li yıllarda kullanılmaya başlamıştır. Gelişen teknoloji ile cihazların özelliklerinde kullanılmıştır.1975 yılında is Mamdani ve Assilian adında iki kişi tarafından buhar makinesi kontrolünde bulanık mantık ile modellenme yapılmıştır. Vinlerde, asansörlerde, nükleer reaktör gibi farklı alanlarda da kullanılmıştır [1,2].

Ticari olarak uygulanan ilk çalışma imento ve su arıtma tesislerinde olmuştur. Daha sonra Fuji şirketi kimyasal püskürtme sistemlerinde kullanmıştır. Dünyada etkisi ise Doğu Asya yoğunluklu olmuştur [2,10].

Tokyo'da 1987 yılında bir mühendis, robota bulanık mantıkla programlama yapması sonucu bir iek inci çubuğun üzerine bırakılmıştır. Bulanık mantık sayesinde robotlar

bilgilerin yetersiz olması durumunda bile sağduyu kullanarak işlemler yapabilmektedir. 1989 yılında içerisinde Hitachi, Toshiba gibi 51 firmadan oluşan bir laboratuvar kurulmuştur. Bu laboratuvar ile bir ivme kazanılmış olup endüstriyel uygulama kapsamı da oldukça artmıştır. 1980lerden günümüze kadar da oldukça yaygınlaşan bulanık mantık, gelişme katetmektedir [10].

Dünyada çok hızlı dikkat çeken ve gelişme gösteren bulanık mantık her alanda uygulanmaya başlamıştır. Otomobil, beyaz eşya, tren, asansör gibi. Örneğin; klimaların en optimum düzeyde çalışması için sıcaklık ayarı yapılmasında, fotoğraf makinelerinin en iyi odağı belirlemede, ekran parlaklıklarını kontrast ayarlamada, bulaşık makinelerinde, helikoptere uçuş desteği vermede gibi birçok yerde kullanılmıştır. Günümüzde de belirsiz kavramların bulunduğu veri tabanlarının sözelleştirmesi sürecinde kullanılmaktadır [10,14].

3.9. Bulanık Küme

Bulanık mantık ve kümesi Lofti Zadeh tarafından incelenmiştir. Bulanık mantığın en temel üyesi de bulanık kümedir. Ait olma derecelerine sahip elemanları olan kümeye bulanık küme denmektedir. Bulanık kümeler, elemanlarına 0 ve 1 arasında değerler verebilir [14].

Kümeye tümüyle dahil olanların değeri 1, kümeye dahil olmayan üyelerin değeri 0'dır. Belirsizlik söz konusu olduğunda yani kümeye dahil olup olunmadığı belirsiz olduğu durumlarda 0 ile 1 arasında herhangi bir değer atanabilmektedir. Bulanık mantık matematiksel modellemesi çok zor olan durumlarda kullanılabilir için uygundur. Bulanık kümelerde durum bu şekilde iken kesin kümelerde böyle bir durum söz konusu değildir. Eleman kümeye ya dahil ya da dahil değildir. Net bir durum söz konusudur. Elemanları x olan bir X evrensel küme varsayalım. Bu elemanların $A \subset X$ alt kümesine ait olup olmadığını, karakteristik fonksiyonu belirlemektedir. X ' in $\{0,1\}$ 'deki karakteristik fonksiyonu belirler. Burada elemanların kümeye ne kadar olduğuna dair aitlik derecelendirilmektedir [15-17].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \in A \\ 0, & \text{if } x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Nesnelerin bir kümeye tam olarak ait olmadığı kısmen ait olduğu durumlarda bulanık küme devreye girmektedir. Klasik küme teorisine göre bir nesne tamamen ait ya da tamamen ait olmamaktadır. Örneğin; bir kabın içerisinde portakalların olduğunu

varsayalım. Bu kabın içerisindeki portakallar mı sorusuna evet cevabı, bu kabın içerisindeki elma mı sorusuna hayır cevabı verilecektir ama bu kabın içerisinde 1 adet elma konulduğunda yani elma ve portakal aynı anda konulduğunda kabın içerisindeki portakal mı diye sorulduğunda kısmen gibi cevaplar verilebilir. Kesin küme teorisine göre böyle cevap vermek mümkün değildir. Bu teoriye göre ya hepsi elma ya da portakaldır. Bu noktada bulanık mantık devreye girerek kısmen diyebilmektedir. Bulanık küme kesinlikle daha gerçekçidir. Bulanık kümeyle birlikte nesnelere bir kümeye ne kadar ait oldukları belirlenir ve derecelendirilir [25-27].

Daha önce de ifade edildiği üzere belirsizlik ve bulanık kavramlarını temsil eden bulanık kümeler, bunların matematiksel ifadeler olarak oluşmasını sağlar. Burada bulanık kümelerin temsil ettiği tanımların yanında aynı zamanda kullanım alanlarıdır. Örneğin “basınç” kavramı katı basıncı için ayrı küme oluştururken sıvı basıncı için ayrı küme oluşturmaktadır. Basınç kavramı çok düşük basınç, düşük basınç, orta basınç, yüksek basınç, çok yüksek basınç gibi tanımlanan değerler olarak alınabilir. Klasik ve geleneksel bu tür yetiler bakımından eksiktir. Matematiksel yapı, klasik matematiksel yapıdan daha fazla açıklayıcıdır [28,29].

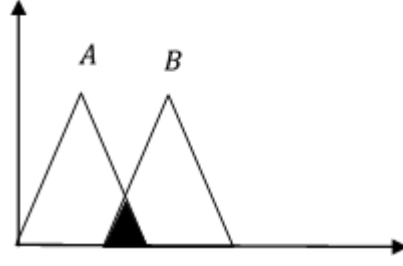
Tam, kesin kurallardan çok dilsel kurallar içeren bulanık mantık kesin ve tam matematik modellere de ihtiyaç duymamaktadır. Anahtar kısmı uzman bilgisinin deneyimine sezgisine kontrol şekline, bilgi tabanı olarak oluşturmasıdır [30].

3.9.1. Bulanık küme işlemleri

Bulanık kümelerde de tıpkı klasik kümelerde olduğu gibi kesişim, birleşim ve tümlenme işlemleri bulunmaktadır. X evreninde tanımlı 2 adet bulanık küme olan A ve B ve bu evrene ait olan x için kesişim, birleşim, tümlenme işlemleri aşağıdaki denklemlerde yer almaktadır [24].

Kesişim için;

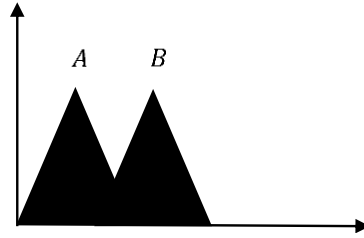
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. Kesişim küme

Birleşim için ;

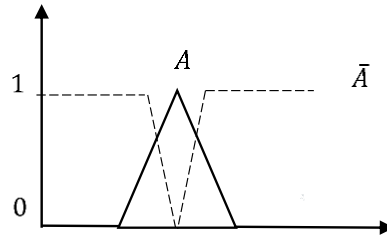
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (3.3)$$



Şekil 3.3. Birleşim küme

Tümleyen için;

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.4)$$

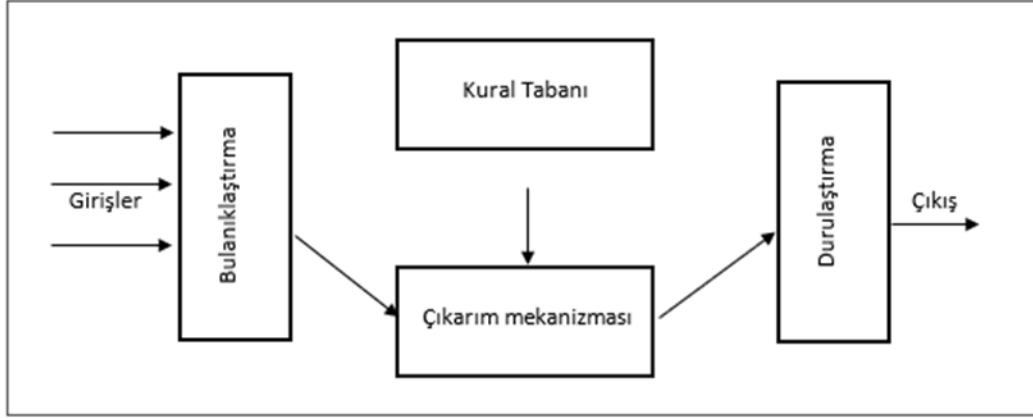


Şekil 3.4. Tümleyen küme

3.10. Bulanık Sistem

Bulanık kümelerin ve mantık teorisinin en etkin uygulandığı alanlar kontrol sistemleridir [7,8].

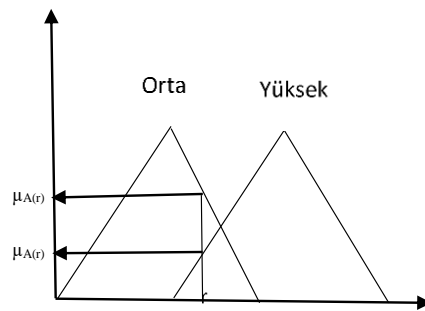
Bulanık sistemler bulanık mantıkta karar vermeye ve çıkarımlarda bulunmaya dayanan sistemlere sahiptir. Dört bölümden meydana gelmektedir. Bunlar bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, çıkarım motoru ve durulama ara yüzüdür.



Şekil 3.5. Bulanık sistem

3.10.1. Bulanıklaştırma

Bulanık sistem sürecinin ilk adımıdır. Sistem üzerinden giriş yapılan bilgileri sembolik verilere dönüştürme sırasında geçen süreçtir. Girdi değişkenlerinin üzerinde yapılan bir ölçek değişimi ile bulanık kümeler oluşturulur. Onlara etiket tanımlanır yani dilsel bir ölçek derecesi kullanılır. Bulanıklaştırma ile girdilerin o kümeye ne kadar ait oldukları belirlenir. Girdilere yani girilen sayısal verilere büyük, küçük, orta gibi dilsel değişkenlerin atanması sürecidir. Bu süreçte girilen veriler sözel değişkenlere dönüştürülerek bulanık mantık sisteminde ilk adımı oluşturmaktadır. Üyelik fonksiyonları yardımıyla girdi değerlerine yani giriş değerlerine dilsel ifadeler atanır. Verilecek değer aralıkları seçilir. Performans için de ölçeklendirme yapılır. Sözel değişkene dönüşen bulanık veriler diğer aşamalarda kullanılmaya hazır hale gelir. Girdi değerlerine verilecek değer aralığı seçilir. Girdilere performans ölçeklendirmesi yapılır. Giriş değerlerine ölçek ile uyumlu sözel değişkenler atanır ve sonraki adımlara aktarılmak üzere bulanık verilerin hazırlığı yapılır [11,23,24,29].

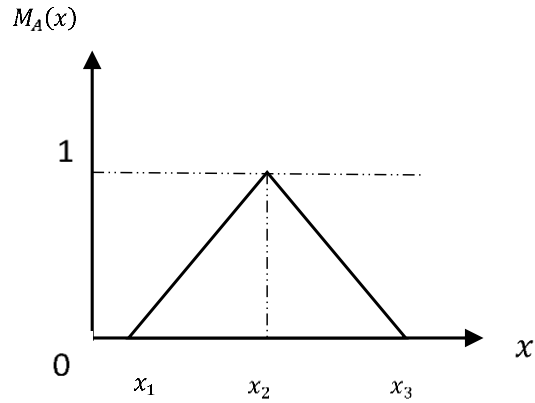


Şekil 3.6. Bulanıklaştırma grafiği

3.10.1.1. Üyelik fonksiyonları

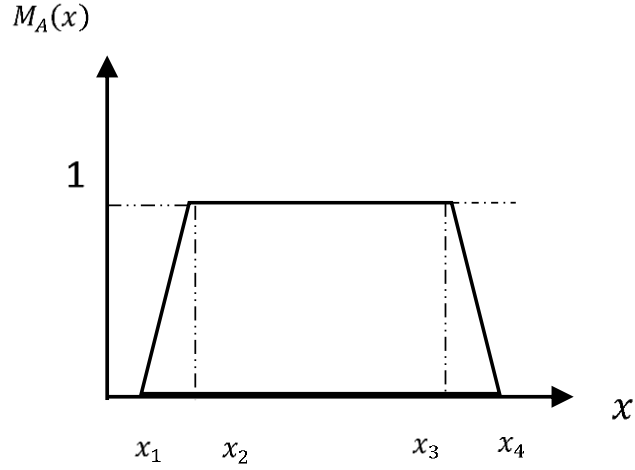
Üyelik fonksiyonları üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar çekirdek (öz), destek ve sınırlardır. Üyelik derecesi 1 olan elemanlar o kümede çekirdeği oluşturmaktadır. Üyelik dereceleri 0 ve 1 olmayan elemanlar sınırları oluşturmaktadır [19].

$M_A(x)$ ile temsil edilen bulanık kümeler, üyelik fonksiyonunda yer alan x noktasının bulanık küme A 'daki üyelik derecesini temsil etmektedir. $M_A(x) = 0$ ise bu x değerinin bulanık küme A 'nın içerisinde yer almadığını belirtmektedir. $M_A(x) = 1$ olduğunda x değerinin bulanık küme A 'nın içerisinde kesin bir eleman olduğunu göstermektedir. Eğer $M_A(x)$ değeri 0 ile 1 arasında yer almaktaysa $0 < M_A(x) < 1$; bu değer aralığında yer alan her değer A bulanık kümesindeki x 'in üyeliğinin belirli olmayan, belirsiz değerlerini temsil etmektedir. Kesinliğe sahip olmayan büyüklük değerleri üyelik fonksiyonlarıyla belirtilen bulanık kümeler ile ifade edilmektedir. Çeşitli üyelik fonksiyonları vardır. En çok öneme sahip üyelik fonksiyon çeşitleri üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu ve de gauss üyelik fonksiyonudur [7,8,14-16].



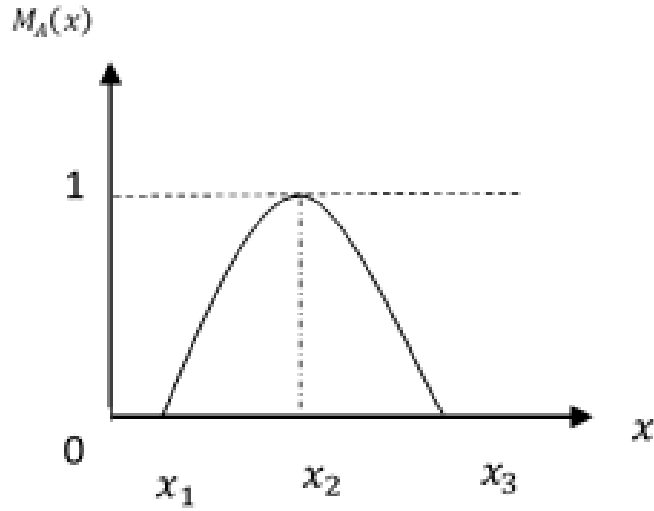
Şekil 3.7. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonlarında 3 adet parametre bulunmakta ve parametreler x_1, x_2, x_3 şeklindedir. Üyelik merkezinin çekirdeği oluşturan parametre x_2 dir. Çekirdekte 1 adet eleman bulunmaktadır. x_1 ve x_3 parametreleri arasında kalmakta olan kısım destek oluşturmaktadır [30].



Şekil 3.8. Yamuk üyelik fonksiyonu

4 parametreden oluşan üyelik fonksiyonu x_1, x_2, x_3, x_4 parametrelerine sahiptir. Değerler fonksiyonun sınırlarını x_1, x_2 ve x_3, x_4 parametrelerinin arasında kalan noktalar oluşturmaktadır. Çekirdek ise x_2 ve x_3 arasında kalan noktalardan oluşmaktadır [19,23,30].



Şekil 3.9. Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonunda çekirdek x_2 'dir. x_1, x_2 arasında ve x_3, x_4 arasında kalan elemanların meydana getirdiği kısım fonksiyonun sınırlarını oluşturmaktadır.

3.10.2. Kural tabanı

Dilsel denetim kuralları kural tabanında yer almaktadır. Dilsel değerler burada kontrol amaçlarına uygun olmalıdır. Buradan da çıkarım motoruna verilir. Bulanık sistem, kural tabanı olmadan oluşturulması söz konusu değildir. x ve y girdi değişkeni olarak z de çıktı değeri olarak tanımlanır

Kural 1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise $Z = N_1$

Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise $Z = N_2$

Bu kurallara örneğin ;

“Eğer hava yağmurlu ise şemsiye al.”

“Eğer hava yağmurlu değilse şemsiye alma.”

Sistemin girişi ve çıkışı arasında bulunan tüm süreçler arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Karar verme işleminde çok sayıda kural ve sistem değişkeni bulunmaktadır. 5 çeşit sistemlerin modellenmesi esnasında kullanılan kural tabanı sistemi vardır. Bu 5 çeşit kural tabanın ilki modellerde giriş çıkış sayısal değere sahip olmaktadır. İkinci de giriş şartı kesin küme olarak verilmektedir. Çıkış sayısal değer olarak verilmektedir. Üçüncü giriş şartında kesin kümeli olup çıkışında bulanık ilişkiler tarafından tanımlı olan bulanık kümedir. Dördüncü, giriş şartları bulanık kümede verilmiş olan, çıkışları da doğrusal olmayan işlevler tarafından verilir. Sonuncu ve en yaygın olan beşinci ise hem girişi hem çıkışı da bulanık kümede tanımlananlardır [1,7,11].

Kural tabanı oluşturulurken denetleyici giriş ve çıkış değişkenlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin; sıcaklık, uzunluk gibi. Daha sonra denetleyici giriş ve çıkış değişkenleri için kullanılacak olan ifade kümelerinin seçimi belirlenmelidir. Burada da örnek olarak uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık şeklindedir. Daha sonraki aşamada da kural kümesinin türetilmesi gerekmektedir.

3.10.3. Çıkarım

Bulanık mantık kurallarının uygulanması sonucu çıktıların da bulanık şekilde oluşmasıdır. Bulanık çıkarım işleminde dilsel ifadeler kendi aralarında tanımlanmış oldukları kurallar ile gerçekleştirilmektedir. Bulanık mantıkta çıkarım aşamasında çıkarım ve ya da veya kullanılarak sağlanır. Minimum işlemlerde ve bağlacı, maksimum işlemlerde veya bağlacı karşılık olarak gelmektedir. İki adımla bulanık

çıkartım aşamalandırılır. Her kural için bir sonuç değeri hesaplama ve tüm kuralları kapsayan bir sonuç hesaplanmalıdır. Eğer farklı kurallar aynı çıktıya ulaştırıyorsa en büyük kural seçilerek diğer kural iptal edilmelidir. Çıkartım sürecinde mantıksal ifadeler için sonuç aşaması ve bu sonuçların tümünün birleşmesiyle de sonuç değerine ve kümesine ulaşılmaktadır. Mantıksal bağlantı işlemcileri olarak kullanılan ve ya da veya her kuralın eşik değerini belirlemede rol oynamaktadır. Kural tabanı ve ile oluşturulduysa kümede kesişim uygulanır böylece eşik değeri en küçük üyelik derecesine denk gelmektedir. Eğer kuralda veya işlemcisi kullanılıyorsa birleşim işlemi yapılır ve sınır değeri de en büyük üyelik derecesine denk gelmiş olur. Sonuç boş küme çıkarsa, eşik değeri sıfır olur. Çıkartım aşamasında birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak Larsen, Mamdani, Takagi – Sugeno -Kang verilir [15,22,28].

3.10.3.1. Mamdani yöntemi

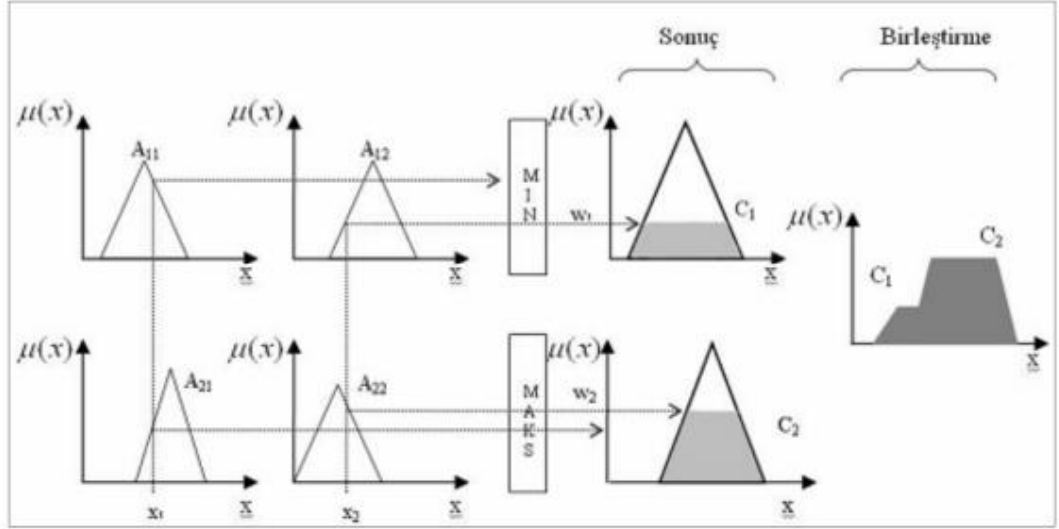
Mamdani yöntemi ilk kez Prof.Ebrahim Mamdani tarafından buhar makinesi ve kazanını kontrol amaçlı uygulanması için önermiş olup ismini de buradan almaktadır. Bu modelin mantığı eğer isedir. Uzman bilgisi oldukça önemlidir. İnsan davranış biçimine en yakın olan yöntem bu olduğundan diğer yöntemler arasından en çok kullanılan yöntem olmaktadır [3,7,11]. Üyelik değerleri giriş değerlerinin etkin duruma getirdiği kurallara göre hesaplanır. Değerler hesaplandıktan sonra kuralın bağlacına göre veya ya da ve operatörüne aktarılmaktadır. Çıkartım kuralının içinde birbirine ve ile bağlı olgular var ise hesaplanmış üyelik değerleri minimum operatörüne bağlanır. Kural içerisinde olgular veya bağlacı ile bağlıysa maximum operatörüne bağlanmaktadır. Minimum ve maximum operatörler aldığı birçok değerden en büyük veya en küçük değeri döndürerek işlem yapmaktadırlar. Bu işlemin kural yapısı aşağıdaki denklem gibidir.

$$IF(x_1 = A_{11}) \text{ and } (x_2 = A_{12}) \text{ then } (z_1 = c_1)$$

$$IF(x_1 = A_{21}) \text{ and } (x_2 = A_{22}) \text{ then } (z_2 = c_2)$$

Aşağıdaki şekil 3.10'da x_1 ve x_2 değişkenleri girdileri, z değişkeni çıktıyı temsil etmektedir. A_{11} ve A_{12} üyelik fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlar üyelik fonksiyonlarıdır ve de girdi değişkenlerinin alt seviyelerini temsil etmektedirler. C ise her bir kuralın sonunda meydana gelen sonuç kümesidir, bulanıktır. Mamdani çıkartım yönteminde C bulanık kümeleri sonuç bölümünde eşik değeri kestiği yerin altında

kalan kısımdır. İlk kuralda and bağlacı ikinci kuralda or bağlacı kullanılmıştır. İlk kural and bağlacı en az üyelik derecesine, or mantıksal işlemcisi ise en büyük üyelik derecesine eşittir. Mamdani yönteminde kurallar and ile birleştirilir. Birleşim sonucu bulanık küme elde edilir ve de kesin kümeye dönüştürülmelidir [16,17].



Şekil 3.10. Mamdani Yöntemi

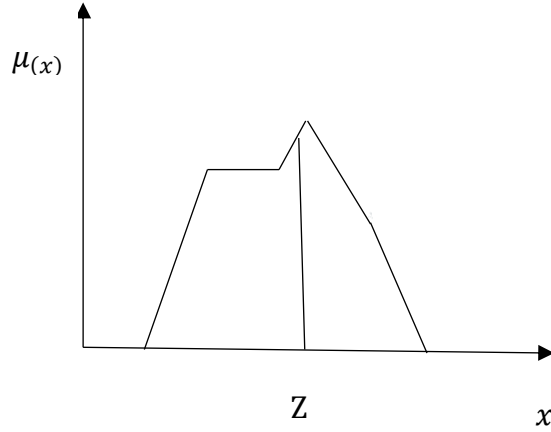
3.10.4. Durulama

Bulanık kümede çıkarım motoru tarafından yapılmış olan ölçek değişikliklerini sayısal değerlere dönüştürür. Karar verme biriminden bulanık çıkarım sonucunda gelen bulanık veriyi, yöntemde kullanabilecek şekilde gerçek değerlerde elde etme aşamasıdır. Bulanık sistemin son evresidir [17-20]. Bulanık işleminin tam tersine durulama diyebiliriz. Bulanık olmayan gerçek değerler her zaman sayısal bir değere sahip olmalıdır. Üyelik fonksiyonu ile birlikte duralanma işlemi sonucu ortaya çıkan durulanmış değerleri belirler. Durulama yöntemi çeşitli yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bunlara, ağırlık ortalaması yöntemi, mean-max üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, maksimum üyelik yöntemi örnek verilebilmektedir [14].

3.10.4.1. Ağırlık merkezi yöntemi

Durulama yöntemleri arasında en yaygın olan yöntem ağırlık merkezi yöntemidir. Çıkarım işleminden sonra bulanık bileşim kümesinin ağırlık merkezinde bulunan üyelik derecesi ve de üyelik derecesine karşılık gelmekte olan sayıya ulaştırır.

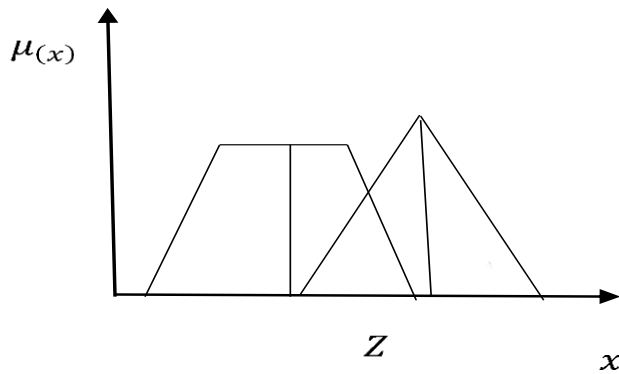
Ağırlık merkezi yönteminde kullanılan denklem aşağıdaki şekil 3.11’de yer almaktadır. Denklemden yer almakta olan Y_i değeri kural sonucu çıkan bulanık küme fonksiyonunu temsil etmektedir. $\mu_i(Y_i)$ üyelik derecesidir, i .kuraldan çıkar. Denklem, yöntem zor ve karmaşıktır. Bu karmaşıklık ve zorluk zaman zaman dezavantaj da yaratmaktadır. Mamdani çıkarım metodunda tercih edilen yöntemlerden biridir [22,25-28].



Şekil 3.11. Ağırlık Merkezi Yöntemi

3.10.4.2. Ağırlık ortalaması yöntemi

Ağırlık ortalaması yönteminin uygulanabilmesi üyelik fonksiyonlarının simetrik olması gerekmektedir. Bulanık kümelerin, bulanık çıkarım sonucu sahip olduğu her bir üyelik fonksiyonun tepe noktasındaki sahip olduğu üyelik derecesi değeri belirlenir. Ağırlık ortalama değerleri üyelik fonksiyonlarının çarpılmasıyla bulunur. Durulaştırmış değer, ağırlık ortalama sonucu elde edilen değerdir [22,28].

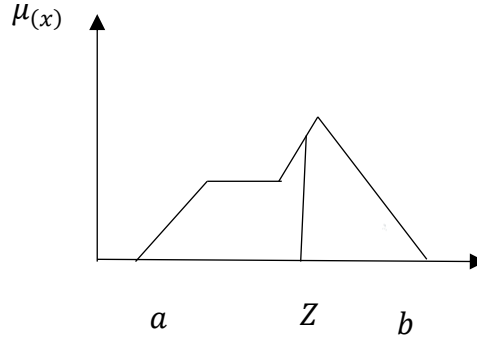


Şekil 3.12. Ağırlık Ortalaması Yöntemi

3.10.4.3. Mean-max yöntemi

Maksimum üyelik işleviyle ilişki içinde olan yönteme mean-max yöntemi denmektedir. Birden fazla en yüksek noktaları olarak oluşturulur. Maksimum üyelik derecesi tek nokta şeklinde olmayan, düz olan sistemler için de kullanılır [14,28,33].

$$z^* = \frac{a + b}{2}$$

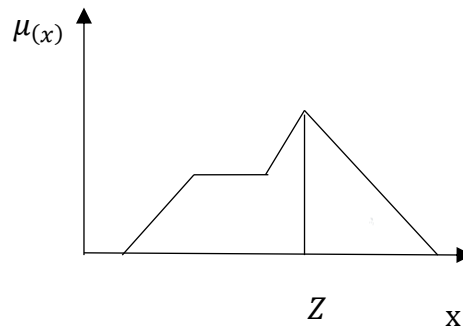


Şekil 3.13. Mean-Max Yöntemi

3.10.4.4. Maksimum üyelik yöntemi

Diğer bir adı da yükseklik yöntemi olan maksimum üyelik yöntemi ile üyelik dereceleri arasında en büyük değere sahip olana eşit olmaktadır. Denklemden yer almakta olan n en yüksek değere sahip değer sayısını temsil etmektedir. Z_j değeri ise üyelik fonksiyonlarının sahip oldukları en yüksek üyelik derecesine denk olan değerleri temsil etmektedir [22,14,28].

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j}{n}$$



Şekil 3.14. Maksimum Üyelik Yöntemi

3.11. Gri İlişkisel Analiz

Son dönemlerde kullanımı oldukça artan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan gri ilişkisel yöntem farklı çalışma dallarında oldukça rahat uygulanabilmektedir. Değişkenlerin kısmen bilinmemesi durumunda da sistemleri çözebilmektedir. İçerisinde bulunulan üstesinden gelinmekte zorlanan belirsizliklerin sayısallaştırılmasını sağlar [6,32]. Kesikli, sayısal, nitelikli gibi çeşitli veri setlerinde kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere kıyasla sağladığı avantaj, kolay anlaşılır olması ve sonuçların direkt olarak orijinal verilere dayanmış olmasıdır. Adının gri olması kusursuz bilgiye sahip olmayı temsil eden beyaz ile tam zıttı siyahın arasında olmasıdır. Gri sistemler de kısmi bilgiye sahip olmayı yani siyah ve beyaz arasında bulunmasıyla oluşmuştur [27,28,31].

Gri ilişki temel olarak belirli bir sistem içerisinde yer alan iki alt sistem veya alt sistemin arasındaki değişim gösteren verilerdeki benzerlik veya farklılıklara verilen isimdir. Gri sistemlerin kendilerine ait özellikleri vardır. Bunlar; sistemin sahip olduğu parametreler, faktörlerin kendi aralarında bulunan ilişkileri, sistemin gidişatı ve işleyişi, ilerlemenin sürecin belirsiz olduğu durumlardır. Gri ilişkisel en önemli gücü belirsizliğin olduğu yerlerde anlamlı sonuçlara ulaşmasıdır [2].

Gri modellemenin alt kırımlarından biri olan gri ilişkisel analizinin çıkış noktası da tam netlik olmayan eksik bilgi ve varsayımların olduğu durumlarda kullanılır. Çeşitli modeller kurulur. Kurulan bu modellere göre sonuçlara ulaşıp gerekli kararlar alınması sağlanır. Böylece karmaşık sistemler için fikirler bilgiler ortaya koyarak çözümü sağlar. Gri sistemdeki her bir faktör bir dizi sütun ya da satır olarak belirtilir. Bu belirlenen faktörler arasında bulunan etki derecesi gri ilişkisel derece olarak belirtilir [22,31].

Birden fazla kriterin birden fazla seçeneğin olduğu sistemde tüm seçenekler arasındaki yakınlık ve uzaklığın hesaplanmasıyla en iyi ve en kötü seçeneğin seçilmesi sağlanır.

Gri İlişkisel 6 aşamadan oluşmaktadır.

3.11.1. Karar matrisinin oluşturulması

İlk olarak bir karar matrisi oluşur. Bu karar matrisi oluşturulurken örneğin m sayıda alternatif ve de n sayıda kriter için i. alternatif $x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(j), \dots, x_i(n))$ şeklinde tanımlanır. Buradaki $x_i(j)$, i. Alternatifin j. kriter değerinin performansını göstermektedir [5].

X matrisi ile ifade edilen karar matrisi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix}$$

3.11.2. Verilerin normalize edilmesi

Değerler arasında bir standart sağlamak adına normalizasyon işlemi uygulanır. Bu uygulamayla birlikte belirli standart aralıkta veriler oluşur veriler aşağıdaki formüller ile sağlanır. 1.formül, en büyük en iyi,2.formül en büyük en kötü, 3.formül ise en iyi kriter değerlerini standart değerlere çevirmek için kullanılmaktadır. Bütün değerler (0-1) aralığında derecelenir. Derecelenen değerler referans seriye olan uzaklıkları hesaplanır.1'e eşit ve yakın çıkan değerler en iyi seçim olmaktadır [5,27].

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}$$

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}$$

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0}$$

3.11.3. Standartlaştırılmış karar matrisi ve referans serisinin oluşturulması

Bu kısımda bir önceki adımda normalize edilen değerler kullanılmaktadır. Standartlaştırılmış değerlerden tekrar bir karar matrisi oluşturur. Sahip olması arzu edilen kriterler kullanılmaktadır bunun yanında oluşturulan bu matristeki her sütundan en büyük değer veya en küçük değer alınarak referans serisi oluşturur.

$$\begin{bmatrix} x_1'(1) & x_1'(2) & \dots & x_1'(n) \\ x_2'(1) & x_2'(2) & \dots & x_2'(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_m'(1) & x_m'(2) & \dots & x_m'(n) \end{bmatrix}$$

$$(i=1,2,3,\dots,n)$$

$$(j=1,2,3\dots m)$$

$$\text{Referans serisi formülü} = X'_0 = x'_0(1), x'_0(2), \dots x'_0(m)$$

3.11.4. Mutlak değer fark matrisinin oluşturulması

Bir önceki adımda oluşturulan karar matrisi ve referans değerleri baz alınarak, standartlaştırılmış her karar matrisinden referans serisi çıkartılarak aralarındaki farklar alınır ve mutlak değer olarak tanımlanır [5,34].

$$x_i(k) = |Y_0(n) - X_1|, |Y_0(2) - X_1(2)| \dots |Y_0(n) - X_1(n)|$$

3.11.5. Gri ilişki katsayılarının hesaplanması

Fark matrisinden elde edilen değerler için gri ilişki katsayısı kullanılmaktadır.

Δ_{max} ve Δ_{min} değerleri hesaplanır. Δ_{max} dizi içerisindeki en büyük değeri, Δ_{min} değeri ise dizi içerisindeki en küçük değeri temsil etmektedir. Kullanılan formül aşağıda belirtilmiştir. $\Delta_i(j)$; fark veri dizisindeki j. değeri Δ_i ile gösterilir. δ katsayısı ise genelde tüm çalışmalar 0.5 olarak kabul edilmektedir [5,31].

$$k_{(j)} = (\Delta_{min} + \delta\Delta_{max}) / (\Delta_i(j) + \delta\Delta_{max})$$

Δ_{max} =dizideki en büyük değişim farkı

Δ_{min} =dizideki en küçük değişim farkı

3.11.6. Gri ilişki derecesinin hesaplanması

Gri ilişki derecesi, karşılaştırmalı seriler ile standart (referans) seri arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Bu aralarında oluşan ilişki derecesinin büyüklüğü kuvvetli ilişkinin varlığını göstermeyi sağlamaktır. Karşılaştırılan iki seri aynı ise gri ilişki derecesi 1 bulunur. Kriterler eşit ağırlığa sahip ise, çıktı parametrelerin toplanıp parametre sayılarına bölünmesiyle elde edilir [5,19].

$$\tau_i = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n K_{(m)}$$

Eğer kriterler farklı ağırlıklara sahip ise gri ilişki derecesi formülü olarak denklem kullanılır.

$$\tau_i = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n K_{(m)} \cdot W_{(m)}$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Hata Türleri ve Etkileri Analizinin Uygulanması

Hata türlerinin tespiti için öncelikle çok detaylı bir inceleme yapılmıştır. Kablo retimi genellikle proje bazlı olup müşterinin talebine göre deęiŐkenlik gösterebilmektedir. DeęiŐkenliklerin oluşması sipariŐlere göre belirlenmektedir. En çok zaman, enerji, maliyet kaybına yol açan hataların tespit edilmesi müşteri memnuniyeti, verimlilik gibi birçok konu açısından olumlu etkiye sahip olacaktır. Hata türleri ve etkileri takımla birlikte beyin fırtınasıyla belirlenmiştir. Hataların oluŐturacakları Şiddet, olasılık, keşfedilebilirlik değerleri belirlenmiştir. Hata türleri ve etkilerinin analizinde Şiddet, olasılık, keŐfedilebilirliklerinin çarpımıyla değer elde edilir. Bu değere RS değeri denilmektedir. RS değeri hataları kendi arasında sıralarken kullanılmasında önem taŐımaktadır. Büyükten küçüğe RS değerinin sıralanması ile hataların önem derecelerinin de sıralaması yapılmış olmaktadır. Tespit edilen ve değerlendirilen hataların sıralanmasıyla alınmak istenilen önleyici faaliyetlerin de sıralanması kolaylaŐır. nceliklendirme sonrası en büyük değere öncelik verilmelidir yani bu hatanın meydana gelmemesi adına önlemin ilk alınması gerektir.

Üretim hattında tespit edilen hataları kendi aralarında gruplandırarak sınıflandırılmıŐtır. Hatalar kablo, adaptör, markalama, genel, makaron, konnektör, rötuş, süreç olarak ayrılmıştır. Bu süreçlerde kendi içerinde birçok hata tespit edilmiştir. Hataların nedenleri de araŐtırılmıŐtır. AŞağıdaki tabloda hatalar ve her hataya verilen numara belirtilmiştir. Hatalar kendi içerisinde 8 gruba ayrılmıştır.

Tablo 4.1. Tespit Edilen Hatalar

Bölüm	Hatalar	Hata No
KABLO	Kablo boylarının ölçülendirilirken boyunun uzun kesilmesi	F1
	Kablo boyları ölçülendirirken boyunun kısa kesilmesi	F2
	Kablo dallarının yanlış örülmesi ve eklenmesi	F3
	Kablo izolesinin yanık olması	F4
	Uygun kesitte kablo kullanmaması	F5
	Kablo izolesinin zedelenmesi	F6
ADAPTÖR	Hasarlı darplı adaptör	F7
	Adaptörlerin iyi sıkılmaması, torkların açılması	F8
	Adaptör kodunun silik olması	F9
	Yanlış adaptör kullanılması	F10
MARKALAMA	Markalama işleminin okunmaması ya da silik olması	F11
	Etiketın ısıtılmaması	F12
	Markalama yapılmaması	F13
	Markalamanın işlemlerinin yanlış dallar üzerinde kullanılması	F14
	Markalama makaronlarının okuma yönlerinin yanlış yönde takılması ve ısıtılarak sabitlenmesi	F15
	Markalama işleminde üzerindeki şeffafın olmaması	F16
	Yanlış etiketleme	F17
	Markalama makaronlarının kablo üzerinde ısıtılma boylarının yanlış yapılması	F18
	Etiketın teknik dokümana göre uygun olmaması	F19
GENEL	Malzemelerin eksik takılması	F20
	Kullanılan malzemelerin hasarlı olması	F21
KONNEKTÖR	Yanlış konnektör takılması	F22
	Konnektörün hasarlı darplı olması	F23
MAKARON	Makaron yüzeylerinde delik çatlak ve çiziklerin oluşması	F24
	Makaron ölçülerinin teknik dokümana göre uygun olmaması	F25
	Bantlamanın eksik ya da fazla yapılması	F26
	Makaron yüzeylerine yapıştırıcıların bulaşmış olması	F27
	Makaronların ısıtılırken fazla ya da az ısıtılması sonucu bölgesel farklılıklar oluşması	F28
	Makaronların takılmaması veya ısıtılmaması	F29
	Makaronların ek yerlerinin yanlış eklenmesi	F30
	Makaron ölçülerinin teknik resme uygun olmaması	F31
	Makaron yanlış ısıtılmasından dolayı yüzeyde meydana gelen deformasyonlar	F32
	Rötuş işlemi esnasında göçüklerin meydana gelmesi	F33
RÖTUŞ	Kablodaki rötuşların açılması	F34
	Kabloya rötuş yapılmaması	F35
	Rötuş işleminde fazla zımpara uygulanması	F36
	Zımpara yapılmaması	F37
	Sızdırmazlık uygulamaların teknik dokümana uygun yapılmaması	F38
	Güncel olmayan teknik resim baz alınarak süreçlerin ilerlemesi	F39
SÜREÇ	İş emrinin doldurulmaması	F40
	Ara kontrol ve denetimlerin atlanmış olması	F41

4.2. Firmadaki Risk Durumlarının Şiddet, Olasılık, Keşfedilebilirlik ve Risk Öncelik Sayılarının (RÖS) Değerlerinin ve Nedenlerinin Belirlenmesi

Her bir hata değerine şiddet, olasılık, keşfedilebilirlik değeri verildikten sonra bunların çarpımıyla RÖS değerleri elde edilmiş ve önceliklendirme yapılmıştır. Yapılan önceliklendirme aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Firmada 2 kalite uzmanı 2 planlama uzmanı, 1 üretim uzmanı ve 1 satış uzmanından oluşan analiz ekibiyle yapılan beyin fırtınası ve geçmişe ait verilerin incelenmesi ile kusurlu üretimler, etkileri ve müşteri görüşleri belirtilen adımlar sayesinde tespit edilmiştir. Müşteri geri dönüşleri ve kalite ekiplerinin de düşüncelerinden yararlanılarak derecelendirme işlemi hata türü ve etkileri analizi metoduyla gerçekleştirilmiştir. 41 adet hata tespit edilmiştir. Tespit edilen 41 hatanın nedenlerine de yer verilmektedir.

Kablo boylarının ölçülendirilirken boyunun uzun kesilmesi hatasının olasılık değeri 8, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 7 olarak verilmiştir. RÖS değeri 336 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olan sebepler; personelin dikkatsizliği, projenin teknik resminde ölçülerin yanlış girilmesi, kullanılan ölçüm aletinin kalibrasyonun yapılmaması, ölçüm araçlarının yeterince denetlenmemesi gösterilmiştir. Kablo boyları ölçülendirirken boyunun kısa kesilmesi hatasının olasılık değeri 8, şiddet değeri 7, keşfedilebilirlik değeri 7 verilmiştir. RÖS değeri 392 olarak hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personelin dikkatsizliği, projenin teknik resminde ölçülerin yanlış girilmesi, kullanılan ölçüm aletinin kalibrasyonun yapılmaması, ölçüm araçlarının yeterince denetlenmemesi, kablunun büküm (twisted) payının doğru hesaplanmaması neden olarak gösterilir. Kablo dallarının yanlış örülmesi ve eklenmesi hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 6 verilmiştir. RÖS değeri 108 hesaplanmıştır. Bu hatanın çıkma sebepleri personel dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olması, hat şemalarının anlaşılır olmaması gösterilmektedir. Kablo izolesinin yanık olması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 4 verilmiştir. RÖS değeri 80 olarak hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; hangi derecede, hangi uzaklıkta, ne kadar süre ısıtılacağı bilinmemesidir. Uygun kesitte kablo kullanılmaması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5 olarak verilmiştir. RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olmasıdır. Kablo izolesinin zedelenmesi hatasının olasılık değeri 6, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 4 verilmiştir. RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; fark etmeden

neşter ya da yan keski değmesi, yanlış yerin zımparalanması, giriş kaliteden fark edilmemesi ve ısıtırken kusurlu yerin büyümesidir. Hasarlı darplı adaptör hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 7, keşfedilebilirlik değeri 6 verilmiştir. RÖS değeri 126 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; giriş kalitenin dikkatsizliği, malzemenin düşürülmesi zarar görmesi verilir. Adaptörlerin iyi sıkılmaması, torkların açılması hatasının olasılık değeri 7, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 210 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personelin dikkatsizliği,torkmetre kullanılmaması,yeterli miktarda ilaç sürülmemesi ya da fazla miktarda sürülmesidir. Adaptör kodunun silik olması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 3, RÖS değeri 72 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; üretimi yapılırken bir şey bulaştığında temizlemek amacıyla alkolle silinmesi, giriş kalite dikkatsizliğidir. Yanlış adaptör kullanılması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; tasarımcının bilgisinin yetersiz olması, müşteri isterlerine göre malzeme uyumsuzluğudur. Markalama işleminin okunmaması ya da silik olması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 4, keşfedilebilirlik değeri 4 verilmiştir. RÖS değeri 64 olarak hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; etiketlerin doğru işlem ve derecelerde ısıtılmaması,etiket yazma cihazının kabiliyeti gösterilmektedir. Etiketin ısıtılmaması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 3, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 54 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; teknik resimde belirtilmemesi,operatör dikkatsizliğidir. Markalama yapılmaması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak;personel dikkatsizliği,teknik resimin yanlış olması,etiketçinin dikkatsizliği,müşteri taleplerinin bir standardı olmamasıdır. Markalamanın işlemlerinin yanlış dallar üzerinde kullanılması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; teknik resmin anlaşılır olmaması,etiketçinin dikkatsizliğidir. Markalama makaronlarının okuma yönlerinin yanlış yönde takılması ve ısıtılarak sabitlenmesi hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 4, RÖS değeri 60 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; operatörün bilgi eksikliği, teknik resmin anlaşılır olmamasıdır. Markalama işleminde üzerindeki şeffafın olmaması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 3, RÖS değeri 45 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; operatör dikkatsizliği gösterilmektedir. Yanlış etiketleme hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS

değeri 100 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olmasıdır. Markalama makaronlarının kablo üzerinde ısıtılma boylarının yanlış yapılması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 75 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; makaronun ne kadar küçüleceğinin bilinmemesi, bilgi yetersizliği ve eksikliğidir. Etiketin teknik dokümana göre uygun olmaması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; her projede farklı beklentilerle etiketin yapılması sonucu operatörün kaçırması, personel dikkatsizliği ve yetersizliğidir. Malzemelerin eksik takılması hatasının olasılık değeri 6, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 180 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olmasıdır. Kullanılan malzemelerin hasarlı olması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; malzemelerin yanlış ekipmanla montajının yapılması, kalite kontrol noktalarının yetersiz gelmesi, malzemelerin düşürülmesi gibi durumlarda hasar almasıdır. Yanlış konnektör takılma hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; kablonun ürün ağacının yanlış belirlenmesi, deponun yanlış konnektörü üretime aktarması, teknik dökümanın yanlış olması, konnektörlerin üzerinde yeterli tanımlamaların yapılmamasıdır. Konnektörün hasarlı darplı olması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; üretim kusurundan dolayı segman atması, üretimde zorlamalardan dolayı konnektör içindeki silikonun yarılmasıdır. Makaron yüzeylerinde delik çatlak ve çiziklerin oluşması hatasının olasılık değeri 6, şiddet değeri 3, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; kesici aletlerin makaronu yırtması, giriş kalite kontrolün gözünden kaçırması neden olmaktadır. Makaron ölçülerinin teknik dokümana göre uygun olmaması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; tasarımcının bilgisinin yetersiz olması, müşteri isteklerine göre malzeme uyumsuzluğudur. Bantlamanın eksik ya da fazla yapılması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 75 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; operatör yeteneği, bilgisinin yetersizliğidir. Makaron yüzeylerine yapıştırıcıların bulaşmış olması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 4, keşfedilebilirlik değeri 4, RÖS değeri 64 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; 5S

uygulamalarına uyulmaması sonucu üretim masalarının düzenli bir biçimde kullanılmaması, dikkatsizliktir. Makaronların ısıtılırken fazla ya da az ısıtılması sonucu bölgesel farklılıklar hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 3, RÖS değeri 72 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; hangi derecede, hangi uzaklıkta, ne kadar süre ısıtılacağı bilinmemesi, deneyimsizliktir. Makaronların takılmaması veya ısıtılmaması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 3, RÖS değeri 60 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; müşteri isteklerindeki karışıklığın dokümana net yansımaması, personel dikkatsizliğidir. Makaronların ek yerlerinin yanlış eklenmesi hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olmasıdır. Makaron ölçülerinin teknik resme uygun olmaması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; tasarımcının bilgisinin yetersiz olması, müşteri isteklerine göre malzeme uyumsuzluğudur. Makaron yanlış ısıtılmasından dolayı yüzeyde meydana gelen deformasyonlar hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; hangi derecede, hangi uzaklıkta, ne kadar süre ısıtılacağı bilinmemesidir. Rötüş işlemi esnasında göçüklerin meydana gelmesi hatasının olasılık değeri 8, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 7, RÖS değeri 336 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; kullanılan rotüş boyasının uygun koşullarda saklanmamasından dolayı yapısının bozulması, rotüş işlemi sonrası uygun sıcaklıklarda kurumunun sağlanmamasıdır. Kablodaki rötüşlerin açılması hatasının olasılık değeri 9, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 324 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; kabloya olması gerekenden fazla güç uygulanarak açılması, tam anlamıyla kuruma olmadan kablonun hareket ettirilmesi, ilaç sürülecek yerlerin doğru zımpara olmaması, zımparadan sonra kalan tozların düzgünce temizlenmemesidir. Kabloya rötüş yapılmaması hatasının olasılık değeri 5, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 7, RÖS değeri 210 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personelin dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olmasıdır. Rötüş işleminde fazla zımpara uygulanması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 5, RÖS değeri 90 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; zımparalama derecesinin sabitlenmemesi, bilgi eksikliğidir. Zımpara yapılmaması hatasının olasılık değeri 4, şiddet değeri 5, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 120 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliğidir. Sızdırmazlık uygulamaların teknik

dokümana uygun yapılmaması hatasının olasılık değeri 3, şiddet değeri 8, keşfedilebilirlik değeri 8, RÖS değeri 192 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliği, teknik resmin yanlış olmasıdır. Güncel olmayan teknik resim baz alınarak süreçlerin ilerlemesi hatasının olasılık değeri 1, şiddet değeri 8, keşfedilebilirlik değeri 6, RÖS değeri 48 hesaplanmıştır Bu hataya neden olarak; teknik resimlerde güncel revizyon tarihinin belirtilmemesi, tasarım ekibinin revizyonu gözden kaçırmasıdır. İş emrinin doldurulmaması hatasının olasılık değeri 2, şiddet değeri 6, keşfedilebilirlik değeri 4, RÖS değeri 48 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; personel dikkatsizliğidir. Ara kontrol ve denetimlerin atlanmış olması hatasının olasılık değeri 2, şiddet değeri 8, keşfedilebilirlik değeri 3, RÖS değeri 48 hesaplanmıştır. Bu hataya neden olarak; kalite süreçlerinde yetersizlik tespit edilmesi, personel dikkatsizliğidir.

Tablo 4.2. HTEA RÖS değerleri

Hata No	Hatalar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	RÖS Değerleri
F1	Kablo boylarının ölçülendirilirken boyunun uzun kesilmesi	8	6	7	336
F2	Kablo boyları ölçülendirirken boyunun kısa kesilmesi	8	7	7	392
F3	Kablo dallarının yanlış örülmesi ve eklenmesi	3	6	6	108
F4	Kablo izolesinin yanık olması	4	5	4	80
F5	Uygun kesitte kablo kullanmaması	4	6	5	120
F6	Kablo izolesinin zedelenmesi	6	5	4	120
F7	Hasarlı darplı adaptör	3	7	6	126
F8	Adaptörlerin iyi sıkılmaması, torkların açılması	7	5	6	210
F9	Adaptör kodunun silik olması	4	6	3	72
F10	Yanlış adaptör kullanılması	3	6	5	90
F11	Markalama işleminin okunmaması ya da silik olması	4	4	4	64
F12	Etiketın ısıtılmaması	3	3	6	54
F13	Markalama yapılmaması	4	5	6	120
F14	Markalamanın işlemlerinin yanlış dallar üzerinde kullanılması	4	6	5	120
F15	Markalama makaronlarının okuma yönlerinin yanlış yönde takılması ve ısıtılarak sabitlenmesi	3	5	4	60
F16	Markalama işleminde üzerindeki şeffafın olmaması	3	5	3	45
F17	Yanlış etiketleme	4	5	5	100
F18	Markalama makaronlarının kablo üzerinde ısıtılma boylarının yanlış yapılması	3	5	5	75

Tablo 4.2. (Devam)HTEA RÖS değerleri

Hata No	Hatalar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	RÖS Değerleri
F19	Etiketin teknik dokümana göre uygun olmaması	3	6	5	90
F20	Malzemelerin eksik takılması	6	5	6	180
F21	Kullanılan malzemelerin hasarlı olması	3	6	5	90
F22	Yanlış konnektör takılması	3	6	5	90
F23	Konnektörün hasarlı darplı olması	4	5	6	120
F24	Makaron yüzeylerinde delik çatlak ve çiziklerin oluşması	6	3	5	90
F25	Makaron ölçülerinin teknik dokümana göre uygun olmaması	3	5	6	90
F26	Bantlamanın eksik ya da fazla yapılması	3	5	5	75
F27	Makaron yüzeylerine yapıştırıcıların bulaşmış olması	4	4	4	64
F28	Makaronların ısıtılırken fazla ya da az ısıtılması sonucu bölgesel farklılıklar oluşması	4	6	3	72
F29	Makaronların takılmaması veya ısıtılmaması	4	5	3	60
F30	Makaronların ek yerlerinin yanlış eklenmesi	4	5	6	120
F31	Makaron ölçülerinin teknik resme uygun olmaması	3	5	6	90
F32	Makaron yanlış ısıtılmasından dolayı yüzeyde meydana gelen deformasyonlar	4	6	5	120
F33	Rötuş işlemi esnasında göçüklerin meydana gelmesi	8	6	7	336
F34	Kablodaki rötuşların açılması	9	6	6	324
F35	Kabloya rötuş yapılmaması	5	6	7	210
F36	Rötuş işleminde fazla zımpara uygulanması	3	6	5	90
F37	Zımpara yapılmaması	4	5	6	120
F38	Sızdırmazlık uygulamaların teknik dokümana uygun yapılmaması	3	8	8	192
F39	Güncel olmayan teknik resim baz alınarak süreçlerin ilerlemesi	1	8	6	48
F40	İş emrinin doldurulmaması	2	6	4	48
F41	Ara kontrol ve denetimlerin atlanmış olması	2	8	3	48

4.3. Bulanık Hata Türleri ve Etkileri Analizi Uygulanması

Geleneksel hata türleri ve etkileri ile birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar sonucu sağlıklı veriler elde edilmediği de görülmüştür. Bu güven vermeyen sonuçlar daha farklı analizlere ihtiyacın duyulduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu verilerin daha sağlıklı olması adına bulanık mantığa başvurulmuştur. Matlab üzerinden fuzzy logic tool box kullanılarak uygulama yapılmıştır. Hata türleri ve etkileri analizinde kullanılan olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik 3 girdi olarak, RÖS değeri de bir çıktı olarak ele

alınmıştır. İşlem adımları ilk olarak bulanık giriş verilerinin girilmesi ile başlanır daha sonra üyelik girişleri yapılır. Bulanık kural tabanı oluşturulur ve çıktı verileri elde edilir.

4.3.1. Dilsel değişkenler ve dilsel değişken terimlerin tanımlanması

Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerlerinin girdi olarak kullanılmıştır. Bu girdi değerlerinin durumlarının da dilsel değişkenler ile ilişkisi uzman görüşlerinin de katkıları ile belirlenmiştir. Girdi değerleri çok az, az, orta, yüksek, çok yüksek şeklinde belirlenmiştir.

Belirlenen bu dilsel değişkenlerin risk faktörlerinin tanımlanması ve de düzeylerinin sözel ifadeleri uzman görüşüyle yardımı ile belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Risk Faktörlerinin Sözel Olarak İfadesi

Dilsel Değişkenler	Şiddet (S)	Ortaya Çıkma Olasılığı (O)	Keşfedilebilirlik (K)
Çok Az	Etkisiz	Neredeyse hata yok	Neredeyse hatanın keşfedilebilirliği kesin
Az	Performansı kısmen etkileyen hata	Çok nadir meydana gelen hatalar.	Hatanın keşfedilebilirliği yüksek
Orta	Düşük hasara yol açan hata	Az meydana gelen hatalar.	Hatanın keşfedilebilirliği orta
Yüksek	Yüksek hasara yol açan hata	Sık sık meydana gelen hatalar.	Hatanın keşfedilebilirliği düşük
Çok Yüksek	Projenin durması sağlayan hata	Neredeyse kaçınılmaz hata.	Hatanın keşfedilebilirliği belirsiz

Dilsel değişkenlerine karşılık olarak gelen risk sözel ifadeler de belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Risk Düzeylerinin Sözel Olarak İfadeleri

Dilsel Değişkenler	Risk Sözel İfadeleri
Çok Az (ÇA)	Neredeyse risk yok
Az(A)	Risk az da olsa var fakat müdahale etmeye gerek yoktur.
Orta (O)	Risk orta derecedir, müdahale gerekebilir
Yüksek (Y)	Risk yüksektir ve hata için önlem almak gerekmektedir.
Çok Yüksek (ÇY)	Hataya acilen müdahale gerekmektedir.

Tabanın girdilerini oluşturmakta olan olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik parametreleri ve çıktı olarak kullanılması belirlenmiş olan dilsel değişkenlerinin tümü

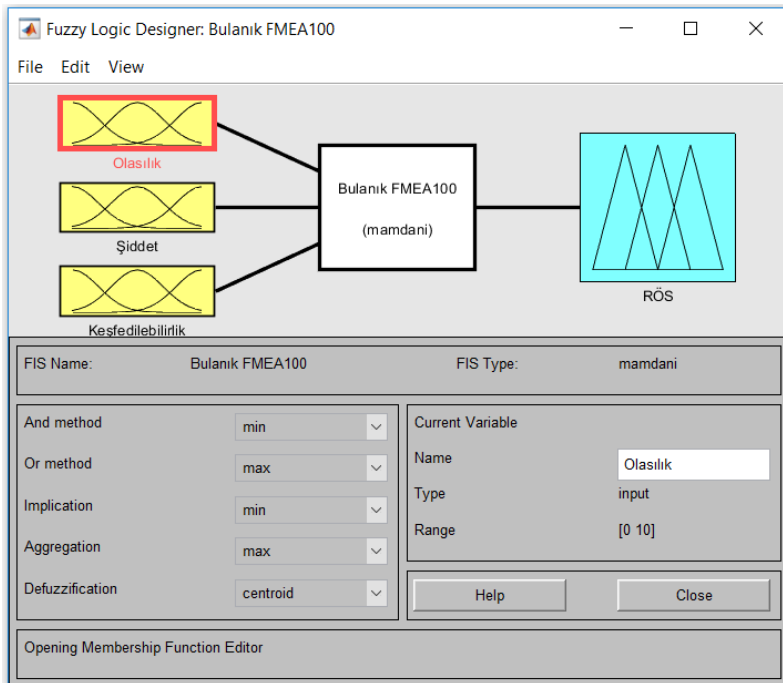
için karşılık olarak bulanık değerler oluşturulmuştur. Modelde girdi değişkenlerine ve de çıktı değişkenlerine karşılık gelen değerler belirlenirken klasik HTEA girdi aralığı 0-10 arası baz alınmıştır. Çıktı değişkenleri içinde 0-100 skalası baz alınmaktadır. Bu değerler uzman görüşler katkısıyla belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Kurulan Modelde Girdi ve Çıktı Değerlerine Karşılık Gelen Bulanık Değerler

Girdi Değerlerine Karşılık Gelen Bulanık Değerler (O, Ş, K)	Dilsel Değişkenler	Çıktı Değerlerine Karşılık Gelen Bulanık Değer (O, S, K)
0-1-3	Çok Az	0-10-25
1-3-5	Az	0-25-50
3-5-7	Orta	25-50-75
5-7-9	Yüksek	50-75-100
7-9-10	Çok Yüksek	75-90-100

4.3.2. Bulanık girişlerin yapılması

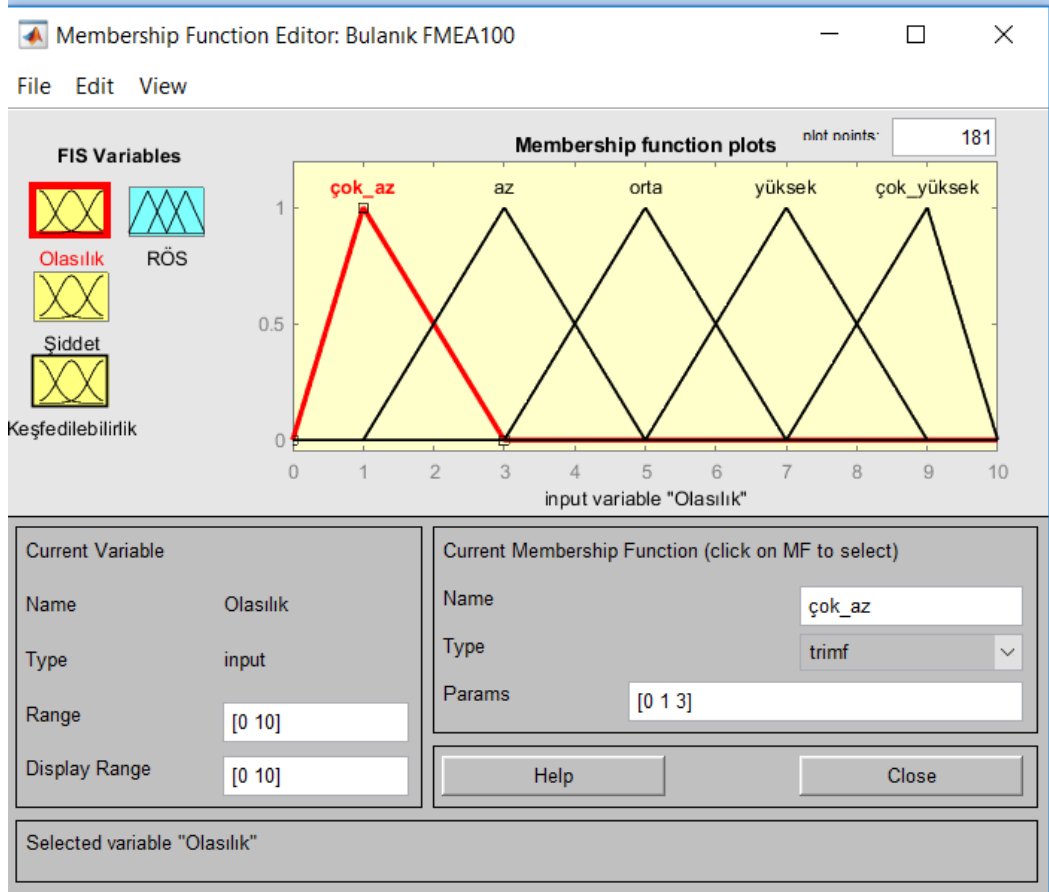
Bulanık model, mamdani bulanık çıkarım yöntemi ile oluşturulmuştur. Girdi olarak olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri kullanılmıştır. Çıkışı için kurulan modelde de risk öncelik sayısı yer almaktadır. Matlab üzerinde kurulan modelde şekil 4.1’de gösterilmiştir.



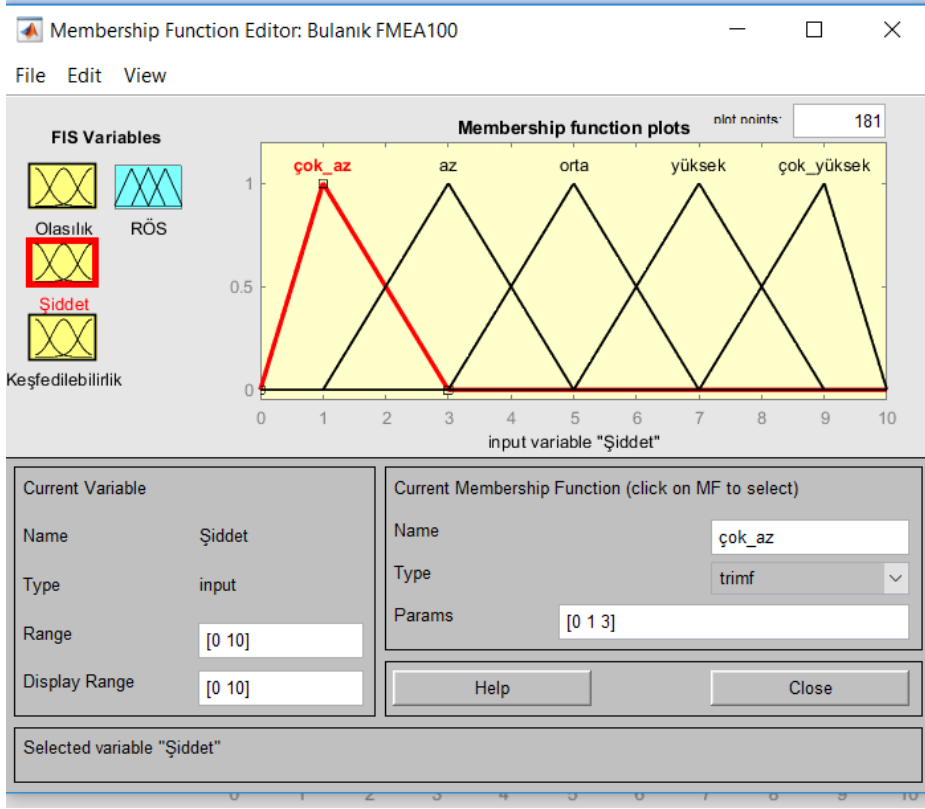
Şekil 4.1. Matlab’da Kurulan Bulanık Model

4.3.3. Üyelik girişlerinin tanımlanması

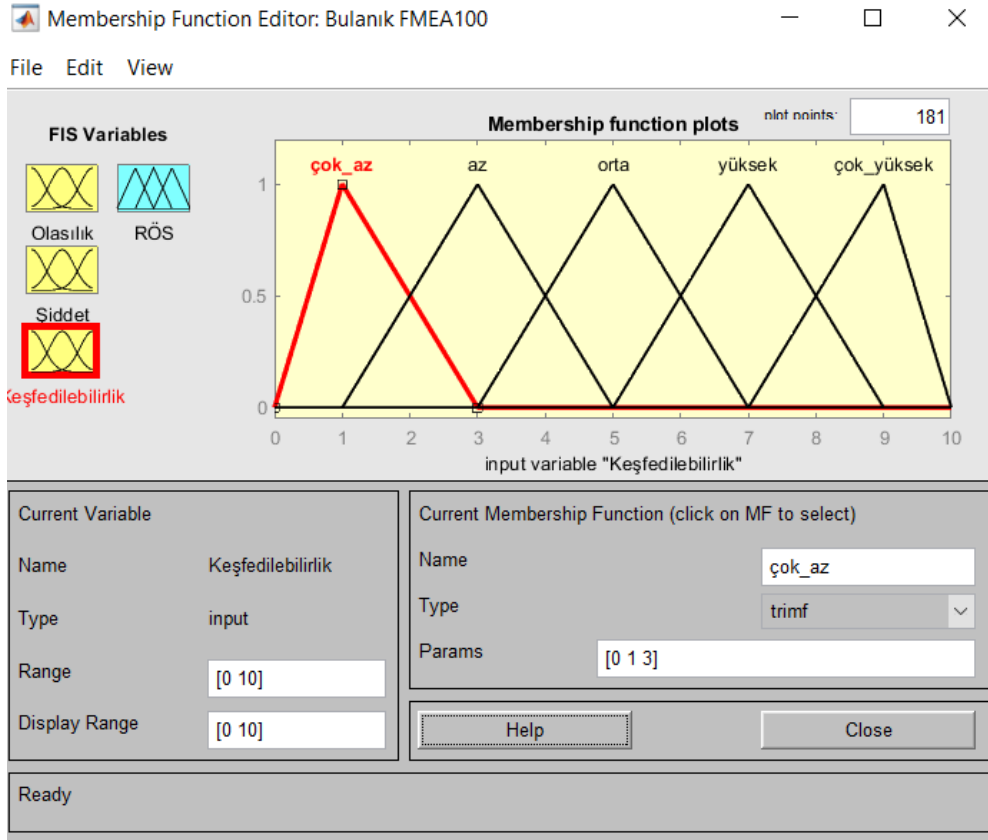
Bulanık mantık üyelik girişleri oluşturulurken uzman görüşlerinden ve deneyimlerden yararlanılarak olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri için çok az, az, orta, çok, çok fazla olarak oluşturulmuştur. Model kurulurken onluk sıklıkla 5 farklı bölüme ayrılmıştır. Olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri için ayrı ayrı olarak oluşturulan üyelik girişlerinin tanımlanması aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



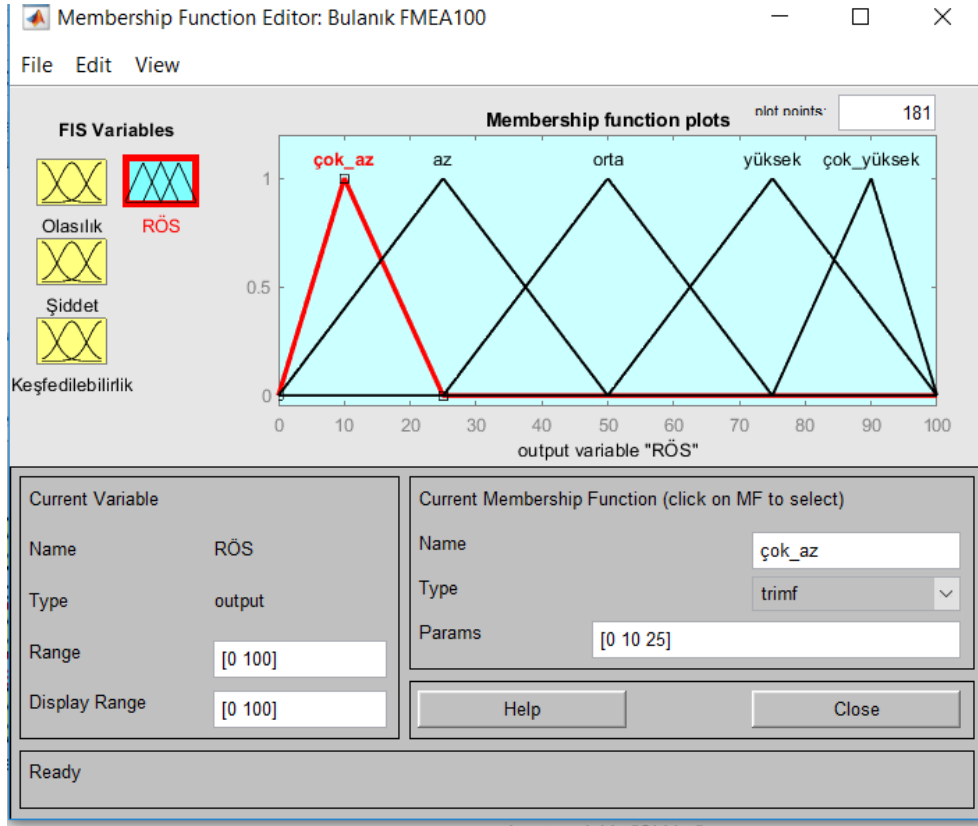
Şekil 4.2. Olasılık Değişkeni Üyelik Fonksiyonları



Şekil 4.3. Şiddet Değişkeni Üyelik Fonksiyonları



Şekil 4.4. Keşfedilebilirlik Değişkeni Girdi Fonksiyonları



Şekil 4.5. Çıktı Değişkeni Üyelik Fonksiyonu

4.3.4. Kural tabanın oluşturulması

Üretimi yapılan kabloların üretimi esnasında meydana gelen hata türlerinin türlerinin risk öncelik sayılarını çözebilmek için kural tabanına ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm hata türlerinin durumlarının ele alınabilmesi adına 125 tane kural ele alınmıştır. 125 kural tabanına 5*5*5 şeklinde elde edilmektedir.

Tablo 4.6. Bulanık Kural Tabanı

No	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	RÖS
1	Çok Yüksek	Çok Az	Çok Az	Az
2	Çok Yüksek	Çok Az	Az	Az
3	Çok Yüksek	Çok Az	Orta	Az
4	Çok Yüksek	Çok Az	Yüksek	Orta
5	Çok Yüksek	Çok Az	Çok Yüksek	Orta
6	Çok Yüksek	Az	Çok Az	Az
7	Çok Yüksek	Az	Az	Orta
8	Çok Yüksek	Az	Orta	Orta
9	Çok Yüksek	Az	Yüksek	Orta
10	Çok Yüksek	Az	Çok Yüksek	Yüksek
11	Çok Yüksek	Orta	Çok Az	Az
12	Çok Yüksek	Orta	Az	Orta

Tablo 4.6. (Devam) Bulanık Kural Tabanı

13	Çok Yüksek	Orta	Orta	Orta
14	Çok Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
15	Çok Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Yüksek
16	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Az	Orta
17	Çok Yüksek	Yüksek	Az	Orta
18	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
19	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
20	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek
21	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Az	Orta
22	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Az	Yüksek
23	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek
24	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
25	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek
26	Yüksek	Çok Az	Çok Az	Çok Az
27	Yüksek	Çok Az	Az	Az
28	Yüksek	Çok Az	Orta	Az
29	Yüksek	Çok Az	Yüksek	Az
30	Yüksek	Çok Az	Çok Yüksek	Orta
31	Yüksek	Az	Çok Az	Az
32	Yüksek	Az	Az	Az
33	Yüksek	Az	Orta	Orta
34	Yüksek	Az	Yüksek	Orta
35	Yüksek	Az	Çok Yüksek	Orta
36	Yüksek	Orta	Çok Az	Az
37	Yüksek	Orta	Az	Orta
38	Yüksek	Orta	Orta	Orta
39	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
40	Yüksek	Orta	Çok Yüksek	Yüksek
41	Yüksek	Yüksek	Çok Az	Az
42	Yüksek	Yüksek	Az	Orta
43	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
44	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
45	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
46	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Az	Orta
47	Yüksek	Çok Yüksek	Az	Orta
48	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek
49	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek
50	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek
51	Orta	Çok Az	Çok Az	Çok Az
52	Orta	Çok Az	Az	Az
53	Orta	Çok Az	Orta	Az
54	Orta	Çok Az	Yüksek	Az
55	Orta	Çok Az	Çok Yüksek	Az

Tablo 4.6. (Devam) Bulanık Kural Tabanı

56	Orta	Az	Çok Az	Az
57	Orta	Az	Az	Az
58	Orta	Az	Orta	Orta
59	Orta	Az	Yüksek	Orta
60	Orta	Az	Çok Yüksek	Orta
61	Orta	Orta	Çok Az	Az
62	Orta	Orta	Az	Orta
63	Orta	Orta	Orta	Orta
64	Orta	Orta	Yüksek	Orta
65	Orta	Orta	Çok Yüksek	Orta
66	Orta	Yüksek	Çok Az	Az
67	Orta	Yüksek	Az	Orta
68	Orta	Yüksek	Orta	Orta
69	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
70	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
71	Orta	Çok Yüksek	Çok Az	Az
72	Orta	Çok Yüksek	Az	Orta
73	Orta	Çok Yüksek	Orta	Orta
74	Orta	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek
75	Orta	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
76	Az	Çok Az	Çok Az	Çok Az
77	Az	Çok Az	Az	Çok Az
78	Az	Çok Az	Orta	Az
79	Az	Çok Az	Yüksek	Az
80	Az	Çok Az	Çok Yüksek	Az
81	Az	Az	Çok Az	Çok Az
82	Az	Az	Az	Az
83	Az	Az	Orta	Az
84	Az	Az	Yüksek	Az
85	Az	Az	Çok Yüksek	Orta
86	Az	Orta	Çok Az	Az
87	Az	Orta	Az	Az
88	Az	Orta	Orta	Orta
89	Az	Orta	Yüksek	Orta
90	Az	Orta	Çok Yüksek	Orta
91	Az	Yüksek	Çok Az	Az
92	Az	Yüksek	Az	Az
93	Az	Yüksek	Orta	Orta
94	Az	Yüksek	Yüksek	Orta
95	Az	Yüksek	Çok Yüksek	Orta
96	Az	Çok Yüksek	Çok Az	Az
97	Az	Çok Yüksek	Az	Orta
98	Az	Çok Yüksek	Orta	Orta

Tablo 4.6. (Devam) Bulanık Kural Tabanı

99	Az	Çok Yüksek	Yüksek	Orta
100	Az	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
101	Çok Az	Az	Çok Az	Çok Az
102	Çok Az	Az	Az	Çok Az
103	Çok Az	Az	Orta	Az
104	Çok Az	Az	Yüksek	Az
105	Çok Az	Az	Çok Yüksek	Az
106	Çok Az	Çok Az	Çok Az	Çok Az
107	Çok Az	Çok Az	Az	Çok Az
108	Çok Az	Çok Az	Orta	Çok Az
109	Çok Az	Çok Az	Yüksek	Çok Az
110	Çok Az	Çok Az	Çok Yüksek	Az
111	Çok Az	Yüksek	Çok Az	Çok Az
112	Çok Az	Yüksek	Az	Az
113	Çok Az	Yüksek	Orta	Az
114	Çok Az	Yüksek	Yüksek	Az
115	Çok Az	Yüksek	Çok Yüksek	Orta
116	Çok Az	Orta	Çok Az	Çok Az
117	Çok Az	Orta	Az	Az
118	Çok Az	Orta	Orta	Az
119	Çok Az	Orta	Yüksek	Az
120	Çok Az	Orta	Çok Yüksek	Az
121	Çok Az	Çok Yüksek	Çok Az	Az
122	Çok Az	Çok Yüksek	Az	Az
123	Çok Az	Çok Yüksek	Orta	Az
124	Çok Az	Çok Yüksek	Yüksek	Orta
125	Çok Az	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta

Kural tabanlarından bazıları açıklamak gerekirse;

Kural 5 ; Eğer olasılık çok yüksek ve şiddet çok az ve keşfedilebilirlik çok yüksek ise RÖS değeri orta olur.

Kural 25 ; Eğer olasılık çok yüksek ve şiddet çok yüksek ve keşfedilebilirlik çok yüksek ise RÖS değeri çok yüksek olur.

Kural 50 ; Eğer olasılık yüksek ve şiddet çok yüksek ve keşfedilebilirlik çok yüksek ise RÖS değeri çok yüksek olur.

Kural 75 ; Eğer olasılık orta ve şiddet çok yüksek ve keşfedilebilirlik çok yüksek ise RÖS değeri yüksek olur.

Kural 100; Eğer olasılık az ve şiddet çok yüksek ve keşfedilebilirlik çok yüksek ise RÖS değeri yüksek olur.

Kural 125 ; Eğer olasılık çok az ve şiddet çok yüksek ve keşfedilebilirlik çok yüksek ise RÖS değeri orta olur.

Kural tabanı için oluşturulmuş modelin ara yüzü şekil 4.6'deki gibidir. Her birinin ağırlığı 1 seçilen üyelik fonksiyonları ve ile bağlanmıştır.

The screenshot shows a software interface for defining fuzzy rules. It features four columns, each representing a different input variable: 'Olasılık is', 'Şiddet is', 'Keşfedilebilirlik is', and 'RÖS is'. Each column has a dropdown menu with six options: 'çok_az', 'az', 'orta', 'yüksek', 'çok_yüksek', and 'none'. Below each dropdown is a checkbox labeled 'not'. In the bottom left, there is a 'Connection' section with two radio buttons: 'or' and 'and', with 'and' selected. To the right of this is a 'Weight' field containing the number '1'. Further right are three buttons: 'Delete rule', 'Add rule', and 'Change rule'. At the bottom of the interface, there is a text box containing 'FIS Name: Bulanık FMEA100' and two buttons: 'Help' and 'Close'.

Şekil 4.6. Kural Tabanı Arayüzü

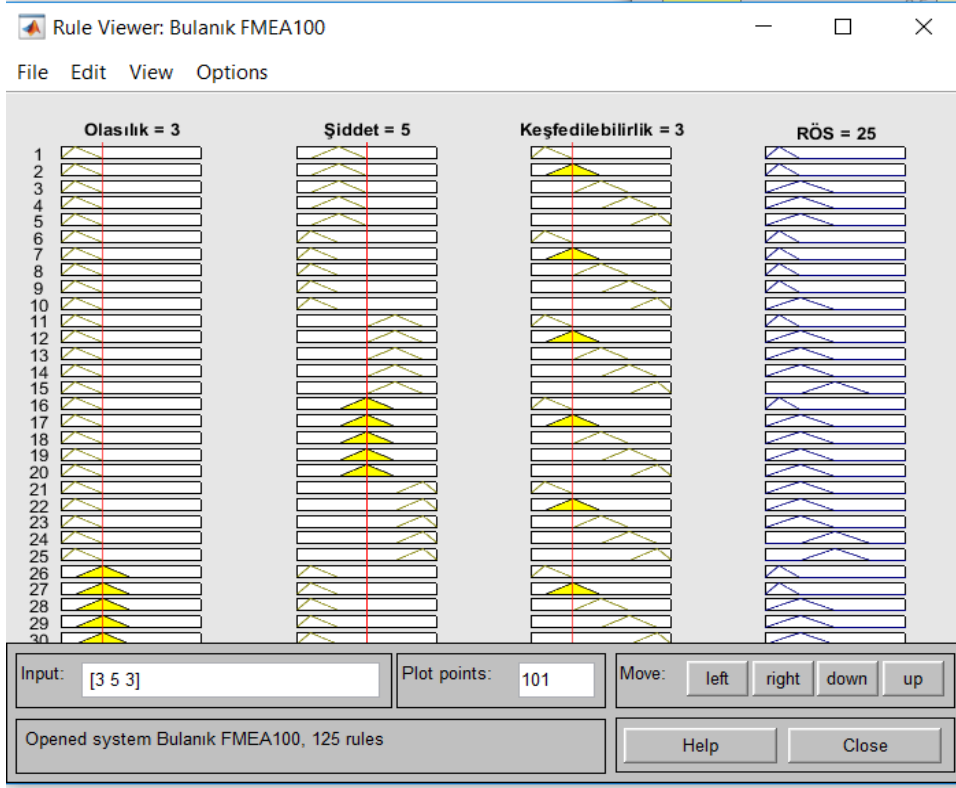
1. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is az) and (Keşfedilebilirlik is çok_az) then (RÖS is çok_az) (1)
2. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is az) and (Keşfedilebilirlik is az) then (RÖS is çok_az) (1)
3. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is az) and (Keşfedilebilirlik is orta) then (RÖS is az) (1)
4. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is az) and (Keşfedilebilirlik is yüksek) then (RÖS is az) (1)
5. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is az) and (Keşfedilebilirlik is çok_yüksek) then (RÖS is az) (1)
6. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is çok_az) and (Keşfedilebilirlik is çok_az) then (RÖS is çok_az) (1)
7. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is çok_az) and (Keşfedilebilirlik is az) then (RÖS is çok_az) (1)
8. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is çok_az) and (Keşfedilebilirlik is orta) then (RÖS is çok_az) (1)
9. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is çok_az) and (Keşfedilebilirlik is yüksek) then (RÖS is çok_az) (1)
10. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is çok_az) and (Keşfedilebilirlik is çok_yüksek) then (RÖS is az) (1)
11. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is yüksek) and (Keşfedilebilirlik is çok_az) then (RÖS is çok_az) (1)
12. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is yüksek) and (Keşfedilebilirlik is az) then (RÖS is az) (1)
13. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is yüksek) and (Keşfedilebilirlik is orta) then (RÖS is az) (1)
14. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is yüksek) and (Keşfedilebilirlik is yüksek) then (RÖS is az) (1)
15. If (Olasılık is çok_az) and (Şiddet is yüksek) and (Keşfedilebilirlik is çok_yüksek) then (RÖS is orta) (1)

Şekil 4.7. Kural Tabanı Girişleri

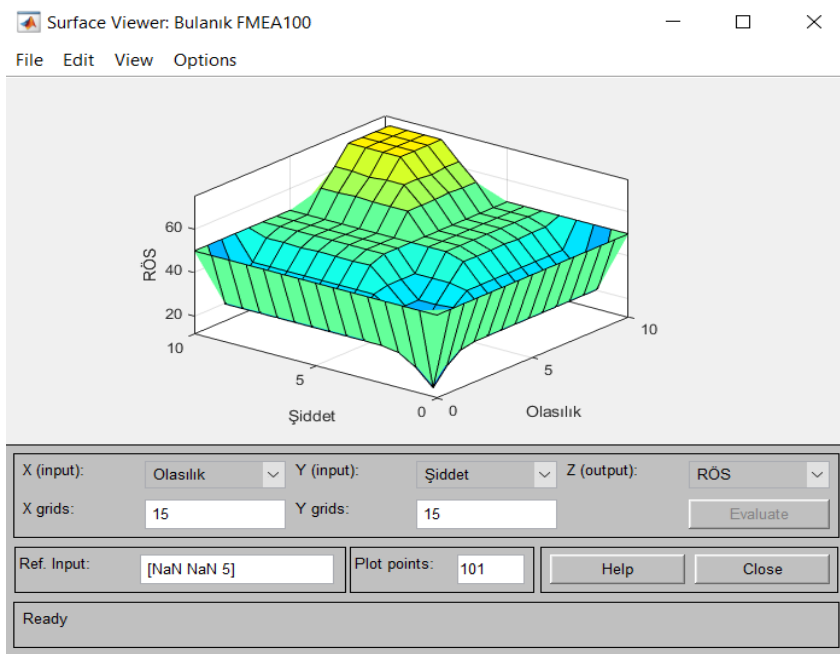
4.3.5. Bulanık çıktıların elde edilmesi

Oluşturulan modelde ilk olarak bulanık girişler daha sonra üyelik fonksiyonları ve kural tabanının kurulması gerçekleştirilmiştir. 125 adet kural tabanı kullanılarak oluşturulan RÖS değerleri belirlenmiştir. Matlab programı kullanılarak ulaşılan RÖS değerleri şekilde gösterilmiştir. Aşağıdaki şekil 4.8'de de belirtildiği gibi olasılık

değeri 3, şiddet 5, keşfedilebilirlik 3 olduğunda tespit edilen RÖS değeri 25'tir. Fuzzy Logic kullanılarak hatanın olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik değerleri matlab programı kullanılarak girilerek bulanık hata türleri ve etkilerine erişilmiştir.



Şekil 4.8. Bulanık Çıktıları



Şekil 4.9. Girdi ve Çıktı Arasındaki İlişki Yüzeyi (Şiddet, Olasılık)

Tablo 4.7. Bulanık HTEA Tablosu

Hata No	Hatalar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	RÖS Değerleri	Hata No
F1	Kablo boylarının ölçülendirilirken boyunun uzun kesilmesi	8	6	7	336	75
F2	Kablo boyları ölçülendirirken boyunun kısa kesilmesi	8	7	7	392	75
F3	Kablo dallarının yanlış örülmesi ve eklenmesi	3	6	6	108	50
F4	Kablo izolesinin yanık olması	4	5	4	80	37,5
F5	Uygun kesitte kablo kullanmaması	4	6	5	120	50
F6	Kablo izolesinin zedelenmesi	6	5	4	120	50
F7	Hasarlı darplı adaptör	3	7	6	126	50
F8	Adaptörlerin iyi sıkılmaması, torkların açılması	7	5	6	210	62,5
F9	Adaptör kodunun silik olması	4	6	3	72	37,5
F10	Yanlış adaptör kullanılması	3	6	5	90	50
F11	Markalama işleminin okunmaması ya da silik olması	4	4	4	64	37,5
F12	Etiketın ısıtılmaması	3	3	6	54	25
F13	Markalama yapılmaması	4	5	6	120	50
F14	Markalamanın işlemlerinin yanlış dallar üzerinde kullanılması	4	6	5	120	50
F15	Markalama makaronlarının okuma yönlerinin yanlış yönde takılması ve ısıtılarak sabitlenmesi	3	5	4	60	37,5
F16	Markalama işleminde üzerindeki şeffafın olmaması	3	5	3	45	25
F17	Yanlış etiketleme	4	5	5	100	50
F18	Markalama makaronlarının kablo üzerinde ısıtılma boylarının yanlış yapılması	3	5	5	75	50
F19	Etiketın teknik dokümana göre uygun olmaması	3	6	5	90	50
F20	Malzemelerin eksik takılması	6	5	6	180	62,5
F21	Kullanılan malzemelerin hasarlı olması	3	6	5	90	50
F22	Yanlış konnektör takılması	3	6	5	90	50
F23	Konnektörün hasarlı darplı olması	4	5	6	120	50
F24	Makaron yüzeylerinde delik çatlak ve çiziklerin oluşması	6	3	5	90	50
F25	Makaron ölçülerinin teknik dokümana göre uygun olmaması	3	5	6	90	50
F26	Bantlamanın eksik ya da fazla yapılması	3	5	5	75	50
F27	Makaron yüzeylerine yapıştırıcıların bulaşmış olması	4	4	4	64	37,5
F28	Makaronların ısıtılırken fazla ya da az ısıtılması sonucu bölgesel farklılıklar oluşması	4	6	3	72	37,5

Tablo 4.7. (Devam) Bulanık HTEA Tablosu

Hata No	Hatalar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	RÖS Değerleri	Hata No
F29	Makaronların takılmaması veya ısıtılmaması	4	5	3	60	37,5
F30	Makaronların ek yerlerinin yanlış eklenmesi	4	5	6	120	50
F31	Makaron ölçülerinin teknik resme uygun olmaması	3	5	6	90	50
F32	Makaron yanlış ısıtılmasından dolayı yüzeyde meydana gelen deformasyonlar	4	6	5	120	50
F33	Rötuş işlemi esnasında göçüklerin meydana gelmesi	8	6	7	336	75
F34	Kablodaki rötuşların açılması	9	6	6	324	62,5
F35	Kabloya rötuş yapılmaması	5	6	7	210	62,5
F36	Rötuş işleminde fazla zımpara uygulanması	3	6	5	90	50
F37	Zımpara yapılmaması	4	5	6	120	50
F38	Sızdırmazlık uygulamaların teknik dokümana uygun yapılmaması	3	8	8	192	62,5
F39	Güncel olmayan teknik resim baz alınarak süreçlerin ilerlemesi	1	8	6	48	37,5
F40	İş emrinin doldurulmaması	2	6	4	48	37,5
F41	Ara kontrol ve denetimlerin atlanmış olması	2	8	3	48	37,5

4.4. Gri İlişkisel Analizin Uygulanması

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Sonucun tam olarak olumlu ya da olumsuz olarak belirleyemediğimiz durumlarda kullanılan yöntemdir. 41 tane deney ölçütü kullanılmıştır. İlk aşama olarak matris oluşturma işlemi yapılır.

$$\begin{bmatrix}
x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) \\
x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) \\
x_3(1) & x_3(2) & x_3(3) \\
x_4(1) & x_4(2) & x_4(3) \\
x_5(1) & x_5(2) & x_5(3) \\
x_6(1) & x_6(2) & x_6(3) \\
x_7(1) & x_7(2) & x_7(3) \\
x_8(1) & x_8(2) & x_8(3) \\
x_9(1) & x_9(2) & x_9(3) \\
x_{10}(1) & x_{10}(2) & x_{10}(3) \\
x_{11}(1) & x_{11}(2) & x_{11}(3) \\
x_{12}(1) & x_{12}(2) & x_{12}(3) \\
x_{13}(1) & x_{13}(2) & x_{13}(3) \\
x_{14}(1) & x_{14}(2) & x_{14}(3) \\
x_{15}(1) & x_{15}(2) & x_{15}(3) \\
x_{16}(1) & x_{16}(2) & x_{16}(3) \\
x_{17}(1) & x_{17}(2) & x_{17}(3) \\
x_{18}(1) & x_{18}(2) & x_{18}(3) \\
x_{19}(1) & x_{19}(2) & x_{19}(3) \\
x_{20}(1) & x_{20}(2) & x_{20}(3) \\
x_{21}(1) & x_{21}(2) & x_{21}(3) \\
x_{22}(1) & x_{22}(2) & x_{22}(3) \\
x_{23}(1) & x_{23}(2) & x_{23}(3) \\
x_{24}(1) & x_{24}(2) & x_{24}(3) \\
x_{25}(1) & x_{25}(2) & x_{25}(3) \\
x_{26}(1) & x_{26}(2) & x_{26}(3) \\
x_{27}(1) & x_{27}(2) & x_{27}(3) \\
x_{28}(1) & x_{28}(2) & x_{28}(3) \\
x_{29}(1) & x_{29}(2) & x_{29}(3) \\
x_{30}(1) & x_{30}(2) & x_{30}(3) \\
x_{31}(1) & x_{31}(2) & x_{31}(3) \\
x_{32}(1) & x_{32}(2) & x_{32}(3) \\
x_{33}(1) & x_{33}(2) & x_{33}(3) \\
x_{34}(1) & x_{34}(2) & x_{34}(3) \\
x_{35}(1) & x_{35}(2) & x_{35}(3) \\
x_{36}(1) & x_{36}(2) & x_{36}(3) \\
x_{37}(1) & x_{37}(2) & x_{37}(3) \\
x_{38}(1) & x_{38}(2) & x_{38}(3) \\
x_{39}(1) & x_{39}(2) & x_{39}(3) \\
x_{40}(1) & x_{40}(2) & x_{40}(3) \\
x_{41}(1) & x_{41}(2) & x_{41}(3)
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
8 & 6 & 7 \\
8 & 7 & 7 \\
3 & 6 & 6 \\
4 & 5 & 4 \\
4 & 6 & 5 \\
6 & 5 & 4 \\
3 & 7 & 6 \\
7 & 5 & 6 \\
4 & 6 & 3 \\
3 & 6 & 5 \\
4 & 4 & 4 \\
3 & 3 & 6 \\
4 & 5 & 6 \\
4 & 6 & 5 \\
3 & 5 & 4 \\
3 & 5 & 3 \\
4 & 5 & 5 \\
3 & 5 & 5 \\
3 & 6 & 5 \\
6 & 5 & 6 \\
3 & 6 & 5 \\
3 & 6 & 5 \\
4 & 5 & 6 \\
6 & 3 & 5 \\
3 & 5 & 6 \\
3 & 5 & 5 \\
4 & 4 & 4 \\
4 & 6 & 3 \\
4 & 5 & 3 \\
4 & 5 & 6 \\
3 & 5 & 6 \\
4 & 6 & 5 \\
8 & 6 & 7 \\
9 & 6 & 6 \\
5 & 6 & 7 \\
3 & 6 & 5 \\
4 & 5 & 6 \\
3 & 8 & 8 \\
1 & 8 & 6 \\
2 & 6 & 4 \\
2 & 8 & 3
\end{bmatrix}$$

Yukarıda matris üzerinde görüldüğü üzere hata türleri ve etkileri analizindeki kullanılan parametreler olan olasılık, şiddet, karar, keşfedilebilirlik matrisi oluşturulmuştur.

Bir sonraki aşama olarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Min-max normalizasyon işlemi uygulanmıştır.

Örneğin; $x_{20}(1)$ değeri normalizasyon işlemi öncesi içinde bulunduğu sütundaki minimum değeri bulunmuştur. Minimum değer 1, maksimum değer 9'dur. Aşağıdaki denklem 'de gösterilmiştir.

$$x_{20}(1) = \frac{6-1}{9-1} = 0,625$$

Uzaklık matrisi hesaplanırken bir önceki aşamada normalize edilmiş eden değerler 0-1 aralığında değere sahip olmuştur. En büyük değer 1 olarak belirlenir ve değerden çıkarılır. Aşağıdaki denklem uzaklık matrisine örnektir.

$$x_{20}(1) = |1 - 0,625| = 0,375$$

Fark matrisinin hesaplanmasından sonra gri ilişkisel katsayı hesaplanır. Fark veri matrisinden sağlanan değerler $\Delta_{min} = 0$, $\Delta_{max} = 1$ şeklindedir ve literatürde tercih edilmesi tavsiye edilen $\delta = 0.5$ olarak kabul edilmektedir. Aşağıda

$x_{20}(1)$ denklemi örnek olarak gösterilmiştir.

$$x_{20}(1) = (0 + 1 * 0,5) / (0,375 + 1 * 0,5) = 0,57142857$$

Gri ilişki katsayısı hesabının ardından da gri ilişkisel derecesi hesaplanır. Eşit ağırlıklı olarak hesaplanmıştır.

Örneğin; olasılık için ($x_{20}(1)$), şiddet için ($x_{20}(2)$), keşfedilebilirlik için ($x_{20}(3)$) satırının gri ilişkisel derecesi hesaplanırken;

$$\frac{x_{20}(1) + x_{20}(2) + x_{20}(3)}{3} = 0,527176527$$

(0,571428571 + 0,454545455 + 0,555555556 toplanıp üçe bölünmüştür. 0,527176527 çıkmıştır.)

Tablo 4.8. Değerlerin Normalizasyonu Tablosu

Hata No	Hatalar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	NORMALİZASYON		
F1	Kablo boylarının ölçülendirilirken boyunun uzun kesilmesi	8	6	7	0,875	0,6	0,8
F2	Kablo boyları ölçülendirirken boyunun kısa kesilmesi	8	7	7	0,875	0,8	0,8
F3	Kablo dallarının yanlış örülmesi ve eklenmesi	3	6	6	0,25	0,6	0,6
F4	Kablo izolesinin yanık olması	4	5	4	0,375	0,4	0,2
F5	Uygun kesitte kablo kullanmaması	4	6	5	0,375	0,6	0,4
F6	Kablo izolesinin zedelenmesi	6	5	4	0,625	0,4	0,2
F7	Hasarlı darplı adaptör	3	7	6	0,25	0,8	0,6
F8	Adaptörlerin iyi sıkılmaması, torkların açılması	7	5	6	0,75	0,4	0,6
F9	Adaptör kodunun silik olması	4	6	3	0,375	0,6	0
F10	Yanlış adaptör kullanılması	3	6	5	0,25	0,6	0,4
F11	Markalama işleminin okunmaması ya da silik olması	4	4	4	0,375	0,2	0,2
F12	Etiketlin ısıtılmaması	3	3	6	0,25	0	0,6
F13	Markalama yapılmaması	4	5	6	0,375	0,4	0,6
F14	Markalamanın işlemlerinin yanlış dallar üzerinde uygulanması	4	6	5	0,375	0,6	0,4
F15	Markalama makaronlarının okuma yönlerinin yanlış yönde takılması ve ısıtılarak sabitlenmesi	3	5	4	0,25	0,4	0,2
F16	Markalama işleminde üzerindeki şeffafın olmaması	3	5	3	0,25	0,4	0
F17	Yanlış etiketleme	4	5	5	0,375	0,4	0,4
F18	Markalama makaronlarının kablo üzerinde ısıtılma boylarının yanlış yapılması	3	5	5	0,25	0,4	0,4
F19	Etiketlin teknik dokümana göre uygun olmaması	3	6	5	0,25	0,6	0,4
F20	Malzemelerin eksik takılması	6	5	6	0,625	0,4	0,6
F21	Kullanılan malzemelerin hasarlı olması	3	6	5	0,25	0,6	0,4
F22	Yanlış konnektör takılması	3	6	5	0,25	0,6	0,4
F23	Konnektörün hasarlı darplı olması	4	5	6	0,375	0,4	0,6
F24	Makaron yüzeylerinde delik çatlak ve çiziklerin oluşması	6	3	5	0,625	0	0,4
F25	Makaron ölçülerinin teknik dokümana göre uygun olmaması	3	5	6	0,25	0,4	0,6
F26	Bantlamanın eksik ya da fazla yapılması	3	5	5	0,25	0,4	0,4
F27	Makaron yüzeylerine yapıştırıcıların bulaşmış olması	4	4	4	0,375	0,2	0,2

Tablo 4.8. (Devam) Değerlerin Normalizasyonu Tablosu

Hata No	Hatalar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	NORMALİZASYON		
F28	Makaronların ısıtılırken fazla ya da az ısıtılması sonucu bölgesel farklılıklar	4	6	3	0,375	0,6	0
F29	Makaronların takılmaması veya ısıtılmaması	4	5	3	0,375	0,4	0
F30	Makaronların ek yerlerinin yanlış eklenmesi	4	5	6	0,375	0,4	0,6
F31	Makaron ölçülerinin teknik resme uygun olmaması	3	5	6	0,25	0,4	0,6
F32	Makaron yanlış ısıtılmasından dolayı yüzeyde meydana gelen deformasyonlar	4	6	5	0,375	0,6	0,4
F33	Rötuş işlemi esnasında göçüklerin meydana gelmesi	8	6	7	0,875	0,6	0,8
F34	Kablodaki rötuşların açılması	9	6	6	1	0,6	0,6
F35	Kabloya rötuş yapılmaması	5	6	7	0,5	0,6	0,8
F36	Rötuş işleminde fazla zımpara uygulanması	3	6	5	0,25	0,6	0,4
F37	Zımpara yapılmaması	4	5	6	0,375	0,4	0,6
F38	Sızdırmazlık uygulamaların teknik dokümana uygun yapılmaması	3	8	8	0,25	1	1
F39	Güncel olmayan teknik resim baz alınarak süreçlerin yapılması	1	8	6	0	1	0,6
F40	İş emrinin doldurulmaması	2	6	4	0,125	0,6	0,2
F41	Ara kontrol ve denetimlerin atlanmış olması	2	8	3	0,125	1	0

Tablo 4.9. Gri İlişki Derecesi

Hata No	UZAKLIK MATRİSİ			GRI İLİŞKİ KATSAYISI			GRI İLİŞKİ DERECESİ
F1	0,125	0,4	0,2	0,8	0,5555556	0,7142857	0,6899471
F2	0,125	0,2	0,2	0,8	0,7142857	0,7142857	0,7428571
F3	0,75	0,4	0,4	0,4	0,5555556	0,5555556	0,5037037
F4	0,625	0,6	0,8	0,4444444	0,4545455	0,3846154	0,4278684
F5	0,625	0,4	0,6	0,4444444	0,5555556	0,4545455	0,4848485
F6	0,375	0,6	0,8	0,5714286	0,4545455	0,3846154	0,4701965
F7	0,75	0,2	0,4	0,4	0,7142857	0,5555556	0,5566138
F8	0,25	0,6	0,4	0,6666667	0,4545455	0,5555556	0,5589226
F9	0,625	0,4	1	0,4444444	0,5555556	0,3333333	0,4444444
F10	0,75	0,4	0,6	0,4	0,5555556	0,4545455	0,4700337
F11	0,625	0,8	0,8	0,4444444	0,3846154	0,3846154	0,4045584
F12	0,75	1	0,4	0,4	0,3333333	0,5555556	0,4296296
F13	0,625	0,6	0,4	0,4444444	0,4545455	0,5555556	0,4848485
F14	0,625	0,4	0,6	0,4444444	0,5555556	0,4545455	0,4848485
F15	0,75	0,6	0,8	0,4	0,4545455	0,3846154	0,4130536
F16	0,75	0,6	1	0,4	0,4545455	0,3333333	0,3959596
F17	0,625	0,6	0,6	0,4444444	0,4545455	0,4545455	0,4511785
F18	0,75	0,6	0,6	0,4	0,4545455	0,4545455	0,4363636
F19	0,75	0,4	0,6	0,4	0,5555556	0,4545455	0,4700337
F20	0,375	0,6	0,4	0,5714286	0,4545455	0,5555556	0,5271765
F21	0,75	0,4	0,6	0,4	0,5555556	0,4545455	0,4700337
F22	0,75	0,4	0,6	0,4	0,5555556	0,4545455	0,4700337
F23	0,625	0,6	0,4	0,4444444	0,4545455	0,5555556	0,4848485
F24	0,375	1	0,6	0,5714286	0,3333333	0,4545455	0,4531025
F25	0,75	0,6	0,4	0,4	0,4545455	0,5555556	0,4700337
F26	0,75	0,6	0,6	0,4	0,4545455	0,4545455	0,4363636
F27	0,625	0,8	0,8	0,4444444	0,3846154	0,3846154	0,4045584
F28	0,625	0,4	1	0,4444444	0,5555556	0,3333333	0,4444444
F29	0,625	0,6	1	0,4444444	0,4545455	0,3333333	0,4107744
F30	0,625	0,6	0,4	0,4444444	0,4545455	0,5555556	0,4848485
F31	0,75	0,6	0,4	0,4	0,4545455	0,5555556	0,4700337
F32	0,625	0,4	0,6	0,4444444	0,5555556	0,4545455	0,4848485
F33	0,125	0,4	0,2	0,8	0,5555556	0,7142857	0,6899471
F34	0	0,4	0,4	1	0,5555556	0,5555556	0,7037037
F35	0,5	0,4	0,2	0,5	0,5555556	0,7142857	0,5899471
F36	0,75	0,4	0,6	0,4	0,5555556	0,4545455	0,4700337
F37	0,625	0,6	0,4	0,4444444	0,4545455	0,5555556	0,4848485
F38	0,75	0	0	0,4	1	1	0,8
F39	1	0	0,4	0,3333333	1	0,5555556	0,6296296
F40	0,875	0,4	0,8	0,3636364	0,5555556	0,3846154	0,4346024
F41	0,875	0	1	0,3636364	1	0,3333333	0,5656566

5. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Öncelik Sıralarının Karşılaştırılması

Tablo 5.1. Yöntemlerin Sıralanması

Hata No	HTEA	SIRALAMA	BULANIK MANTIK	SIRALAMA	GİA	SIRALAMA
F1	0,838616715	2	1	1	0,68994709	4
F2	1	1	1	2	0,742857143	2
F3	0,181556196	18	0,5	9	0,503703704	12
F4	0,100864553	28	0,25	30	0,427868428	36
F5	0,216138329	10	0,5	10	0,484848485	13
F6	0,216138329	11	0,5	11	0,47019647	20
F7	0,233429395	9	0,5	12	0,556613757	10
F8	0,475504323	5	0,75	4	0,558922559	9
F9	0,077809798	31	0,25	31	0,444444444	30
F10	0,129682997	20	0,5	13	0,47003367	21
F11	0,054755043	33	0,25	32	0,404558405	39
F12	0,025936599	37	0	40	0,42962963	35
F13	0,216138329	12	0,5	14	0,484848485	14
F14	0,216138329	13	0,5	15	0,484848485	15
F15	0,043227666	35	0,25	33	0,413053613	37
F16	0	41	0	41	0,395959596	41
F17	0,158501441	19	0,5	16	0,451178451	29
F18	0,086455331	29	0,5	25	0,436363636	32
F19	0,129682997	21	0,5	21	0,47003367	22
F20	0,389048991	8	0,75	5	0,527176527	11
F21	0,129682997	22	0,5	24	0,47003367	23
F22	0,129682997	23	0,5	27	0,47003367	24
F23	0,216138329	14	0,5	18	0,484848485	16
F24	0,129682997	24	0,5	22	0,453102453	28
F25	0,129682997	25	0,5	23	0,47003367	25
F26	0,086455331	30	0,5	29	0,436363636	33
F27	0,054755043	34	0,25	34	0,404558405	40
F28	0,077809798	32	0,25	35	0,444444444	31
F29	0,043227666	36	0,25	36	0,410774411	38
F30	0,216138329	15	0,5	17	0,484848485	17
F31	0,129682997	26	0,5	26	0,47003367	26
F32	0,216138329	16	0,5	19	0,484848485	18

Tablo 5.1. (Devam)Yöntemlerin Sıralanması

Hata No	HTEA	SIRALAMA	BULANIK MANTIK	SIRALAMA	GİA	SIRALAMA
F33	0,838616715	3	1	3	0,68994709	5
F34	0,804034582	4	0,75	6	0,703703704	3
F35	0,475504323	6	0,75	7	0,58994709	7
F36	0,129682997	27	0,5	28	0,47003367	27
F37	0,216138329	17	0,5	20	0,484848485	19
F38	0,423631124	7	0,75	8	0,8	1
F39	0,008645533	38	0,25	37	0,62962963	6
F40	0,008645533	39	0,25	38	0,434602435	34
F41	0,008645533	40	0,25	39	0,565656566	8

Tablo 5.1’de hata türlerinin kendi aralarındaki öncelik sıralamalarına yer verilmektedir. Tüm değerlere min max normalizasyon işlemi uygulanmıştır. RÖS değerlerinin sıralanması sonucu sıralamalar arasında değişiklik gözlemlenmiştir. Veriler incelendiğinde bazı hata kodlarında üç yöntem için de aynı sıralamaya sahip olduğu saptanmaktadır. F31 kodlu hata türü üç yöntem içinde 26. sırada yer almaktadır, F16 kodlu hata da tüm yöntemlerin öncelik sıralamasında en sonda yer almaktadır. Sıralama olarak çok yakın sıralamalar da saptanmıştır. Buna örnek hatalar olarak F35, F36, F29, F25, F21, F19, F14, F13, F2, F9 verilebilmektedir.

5.2. Yöntemlerin İstatiksel Değerlendirilmesi

Hata türlerinin risk öncelik değerleri hata türleri ve etkileri analizi, bulanık mantık ve gri ilişkisel yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu kullanılan üç yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. Bu kullanılan üç yöntemin kendi aralarında kıyaslanabilmesi için tüm değerlerin belirli bir değer skalası arasında değere sahip olması gerekmektedir. Belirli değer aralığına girmesi için tüm değerlere min-max normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu farklı yöntemler ile hesaplanan 3 farklı RÖS değerlerinin kendileri arasında anlamlı fark olup olmadığının tespiti için istatistiksel test uygulanmıştır. Uygulanan istatistiksel test anova yöntemi seçilmiştir. Veriler SPSS programı üzerinde değerlendirilmiştir. Kullanılan anova yöntemi ile uygulanan yöntemler arasında farklılaşmanın olup olmadığı analiz edilmiştir. 3 ölçümün üçü de aynı hatalara ait olduğundan tekrarlı tek yönlü anova kullanıldı.

Measure: F

sıra	Dependent Variable
1	VAR00001
2	VAR00002
3	VAR00003

Şekil 5.1. Üç Boyut

Bir hata yani değişken için 3 farklı boyut bulunmaktadır. Bu aşamada boyut kullanılan üç farklı yöntemi kastetmektedir.

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
VAR00001	,2259	,24558	41
VAR00002	,4817	,23312	41
VAR00003	,5049	,09810	41

Şekil 5.2. Üç Boyut

Şekilde 3 ayrı yöntemin mean (ortalamasını), std. deviation (standart sapmasını) ve de N hata sayısı adetini temsil etmektedir. Klasik HTEA ile hesaplanan 41 hatanın ortalaması 0,2259, standart sapması 0,24558 çıkmıştır. Bulanık mantık ile hesaplanan 41 hatanın ortalaması 0,4817 standart sapması 0,23312 çıkmıştır. Gri ilişkisel analiz ile hesaplanan 41 hatanın da ortalaması 0,5049, standart sapması 0,09810 çıkmıştır.

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: MEASURE_1

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b
					Greenhouse-Geisser
sıra	,802	8,612	2	,013	,835

Şekil 5.3. Mauchly's Testi

Yukarıdaki tabloda Mauchly's test değeri ve anlamlı olup olmadığı belirtilmektedir. Küresellik varsayımını test etmek için Mauchly's test kullanılır. Bu testin anlamlı bulunmaması ($p > 0.05$) küresellik varsayımının sağlandığı anlamına gelir. Yukarıdaki tabloya göre ($p = 0.013$) çıkmıştır. Anlamlı fark bulunmuştur. Küresellik varsayımı sağlanamamıştır. Uygulanan üç test arasında katılımcılar içinde anlamlı fark

bulunmaktadır. Test farkın hangi testler arasında olduğu detayını açıklayamamaktadır. Bu durumda sıfır hipotezi reddedilmektedir.

$H_0=3$ testte katılımcılar arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

$H_1=3$ testte katılımcılar arasında anlamlı fark bulunmaktadır.

Estimates

Measure: MEASURE_1

sıra	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	,226	,038	,148	,303
2	,482	,036	,408	,555
3	,505	,015	,474	,536

Şekil 5.4. Estimates Değerleri

Pairwise Comparisons

Measure: MEASURE_1

(I) sıra	(J) sıra	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,256*	,018	,000	-,302	-,210
	3	-,279*	,027	,000	-,347	-,211
2	1	,256*	,018	,000	,210	,302
	3	-,023	,027	1,000	-,091	,045
3	1	,279*	,027	,000	,211	,347
	2	,023	,027	1,000	-,045	,091

Şekil 5.5. İkili Karşılaştırma

Yukarıdaki ikili karşılaştırma testinde, bu yöntem ile üç test arasında çoklu karşılaştırma uygulanmıştır. 1 ile yani hata türleri ve etkileri analizi ve bulanık mantık, gri ilişkisel analiz arasındaki ilişki karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki tabloya göre 1 ile 2 arasında ve 1 ile 3 arasında anlamlı bir fark bulunduğunu söyleyebiliriz. Estimates tablosunda hata türleri ve etkilerinin mean (ortalama) değeri 0,226 çıkmıştır. Bulanık mantık değeri 0,482 son olarak gri ilişkisel analizinde değeri 0,505 çıkmıştır. 1 numaralı (mean=0,226) sıralama, 2 (0,482) numaralı ve 3 (0,505) numaralı sıralamadan anlamlı olarak daha düşüktür. Fakat sıralama 2 ve sıralama 3 arasında anlamlı fark yoktur ($p>0,05$).

6. SONUÇ

Hatalar tüm sektörlerde farklı farklı sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu hatalar hem maddi hem de manevi zarara uğratmaktadır. Bu zararları önlemek, azaltmak için hataların ve de nedenlerinin tespit edilmesi kritik bir durum oluşturmaktadır. Hatalar hurdaya yol açmakta emek, enerji, zaman, fireye sebep olmaktadır. Bu çalışmada da bir kablo üretim tesisinde kablonun üretimi sırasında geçirdiği çeşitli proseslerde meydana gelen hatalar ve hatalara sebep olan noktalar üzerinde durulmuştur. Literatürde hataların önlenmesini, önceliklendirmesini amaçlayan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Hata türleri ve etkileri analizi de bu yöntemlerden biridir. RÖS değeri hesaplayarak önceliklendirme yapmaktadır ama son zamanlarda RÖS değerinin hesaplanmasında yetersizlikler görülmekte ve eleştirilmektedir. Hata türleri ve etkileri sayısal verilere ihtiyaç duyar bu sayısal verilerin yetersiz olduğu durumlarda uzman görüşlerinden faydalanmaktadır. Uzman kişi veya grupların görüşleri de kesin veriler içermediğinden çalışmada bulanık mantığa yer verilmiştir. Dilsel değişkenlerle uzman görüşlerine yer verilmiştir. Çalışmada 3 farklı yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler hata türleri ve etkileri, bulanık mantık ve gri ilişkisel analiz yöntemidir. Bu 3 yöntem kendi aralarında karşılaştırılmış olup kendi içlerinde sıralanmıştır. 3 yönteme ihtiyaç duyulmasının nedeni geleneksel hata türleri ve etkileri analizinin yetersiz kalmasıdır. Gri ilişkisel analiz ve bulanık mantık hata türleri ve etkileriyle karşılaştırıldığında daha esnek ve hızlı sonuç vermektedir. Bu yetersiz kalınan noktalarda diğer yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. 41 tane hata belirlenmiştir. Belirlenen hatalar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılabilmesi için değerlerin belirli bir skala arasında olması gerekmektedir dolayısıyla tüm verilere normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Uygulanan normalizasyon işlemi sonrası değerlerin tümü 0-1 arasında değer almıştır. Kullanılan normalizasyon yöntemi min-max yöntemidir. Hatalar incelendiğinde en önemli hatanın kullanılan üç yöntemde en küçük risk değerine sahip hatanın F16 kodlu hata olduğu tespit edilmiştir. F16 kodlu hata markalama işleminde üzerindeki şeffaflığın olmaması hatasıdır. Aynı değere sahip hatalar sıralanırken uzman görüşlerinden faydalanılmış olup sıralama ona göre yapılmıştır. Yöntemlerden çıkmış olan sonuçları değerlendirmek için istatistiksel testler

uygulanmıştır. Aralarındaki anlamlılık ilişkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. 1 numaralı (hata türleri ve etkileri) ve 2 numaralı (bulanık mantık), 3 numaralı (gri ilişkisel analiz) arasında anlamlı fark vardır. 2 numaralı ve 3 numaralı arasında anlamlı fark yoktur. HTEA ile aralarında anlamlı fark bulunan bulanık mantık ve gri ilişkisel analizin risklerin değerlendirilmesinde meydana gelebilecek olumsuzlukların tespiti, önlenmesi bakımından daha sağlıklı ve başarılı olacağını belirtmektedir. Buna karşılık gri ilişkisel analiz ve bulanık mantık arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Abdelgawad, M., & Fayek, A. R. (2010). Risk Management İn The Construction İndustry Using Combined Fuzzy FMEA And Fuzzy AHP. Journal Of Construction Engineering And Management, 136(9), 1028-1036.
- [2] Akpınar, B. (2015). Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi
- [3] Aktağ H., Çağman N., Bulanık ve Yaklaşımlı Kümeler, Çankaya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi, 2005, 3, 13-25.
- [4] Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 62, 80-85.
- [5] Avcı, S., Şahin, Y., & Çelik, B. (2017). Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle En İyi Konaklama Yeri Seçimi. 7th International Conference Of Strategic Research On Social Science And Education (S. 173-182). Antalya/Turkey: Icosresse.
- [6] Aydemir, E., Bedir, F., & Özdemir, G. (2013). Gri Sistem Teorisi ve Uygulamaları: Bilimsel Yazın Taraması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3), 187-200.
- [7] Aytaç E., (2011), Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Uygulama Örneği [Yüksek Lisans Tezi]. Adnan Menderes Üniversitesi.
- [8] Bahrami, M., Bazzaz, D. H., & Sajjadi, S. M. (2012). Innovation And Improvements In Project Implementation And., (S. 418 – 425). Doi:Http://Doi.Org/10.1016/J.Sbspro.2012.04.050
- [9] Chin, K., Wang Y., Poon G., Yang J., (2009) Failure Mode And Effects Analysis By Data Envelopment Analysis, Decision Support Systems 48 (2009) 246–256
- [10] Dagsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A. (2016). Classical And Fuzzy FMEA Risk Analysis İn A Sterilization Unit. Computers & Industrial Engineering, 101, S. 286-294. Doi:Http://Dx.Doı.Org/10.1016/J.Cie.2016.09.015
- [11] Dolaş, K. (2016). Bulanık Mantık Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi: Matbaa Sektörü Örneği (Doctoral Dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- [12] Erdil, A., & Ekerim, A. Üretim ve Hizmet Sektöründe Kalite Değerlendirilmesine Genel Bakış: Üretim Sektöründe Hata Türleri Ve Etki Analiz Uygulaması. Pressacademia Procedia, 7(1), 170-175.
- [13] Gemici, F., & Şahin, A. Ş. Estimation Of Wind Speed With Artificial Neural Networks Method For Isparta Using Meteorological Measurement Data. International Journal Of Energy Applications And Technologies, 8(2), 65-69.

- [14] Ivancan, J., & Lisjak, D. (2021). New FMEA Risks Ranking Approach Utilizing Four Fuzzy. Machines, 9, S. 292. Doi:https://doi.org/10.3390/Machines9110292
- [15] Karatepe M. (2019), AN Intuitionistic Fuzzy Rule-Based Approach To Fmea, [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [16] Kara-Zaitri C, Fleming PV (1997) Application Of Fuzzy Inference Methods To Failure Modes Effects And Criticality Analysis (FMECA). In: International Conference On Safety And Reliability, Pp 2403–241
- [17] Kiraz, A. (2017). Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları.
- [18] Korucu, A., Tuğrul A. (2007), Bulanık Mantık Problemleri İçin Türkçe Görsel Bir Arayüz Tasarım [Yüksek Lisans Tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- [19] Kursun, B., Kurt, U., Guvercin, S., Okten, K., Akgul, S., & Yildiz, A. (2016). An Application For The Failure Mode And Effects Analysis Integrated With The Grey Relational Analysis. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- [20] Özçalık, H. R., Türk, A., C. Y., & Koca, Z. (2008, 11 1). Katı Yakıtlı Buhar Kazanında Yakma Fanının Bulanık Mantık Denetleyici İle Kontrolü. KSÜ Fen Ve Mühendislik Dergisi, S. 52-58.
- [21] Özdemir, O., & Kalıncara, Y. (2020). Bulanık Mantık: 2000-2020 Yılları Arası Tez ve Makale Çalışmalarına Yönelik Bir İçerik Analizi. Acta Infologica, 4(2), 155-174.
- [22] Singhkhuman, A. (2021). The Similarities And Divergences Between Grey And Fuzzy Theory. Expert Systems With Applications, 186. Doi:https://doi.org/10.1016/J.Eswa.2021.115812
- [23] Şimşek, B., & İç, Y. T. (2020). Fuzzy Failure Mode And Effect Analysis Application To Reduce Risk Level. Mathematics And Computers In Simulation, 178, S. 549–587.
- [24] Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006). Fuzzy FMEA With A Guided Rules Reduction System For Prioritization Of Failures. International Journal Of Quality & Reliability Management.
- [25] Tok Ünlü, E. (2019). Risk Değerlendirmesinde FMEA Yöntemine Bulanık Mantık Yaklaşımı: Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarları Uygulaması.
- [26] Turan M., Transformatör Üreten Bir Firmada Bulanık FMEA İle Risk Analizi Uygulaması [Yüksek Lisans Tezi]. Balıkesir Üniversitesi.
- [27] Turgut M., Bulanık Mantık Ve Gri Teori Esaslı HTEA İle Otomotiv Endüstrisi İmalatında Hata Önceliklendirme [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- [28] Wang, H., Yi-Min Zhang, & Zhouyangc. (2019). A Risk Evaluation Method To Prioritize Failure Modes Based On Failure Data And A Combination Of Fuzzy Sets Theory And Grey Theory. Engineering Applications Of Artificial Intelligence, 82, S. 216-225. Doi:https://doi.org/10.1016/J.Engappai.2019.03.023

- [29] Wang, Y.-M., Chin, K.-S., Poon, G. K., & Yang, J.-B. (2009). Risk Evaluation In Failure Mode And Effects Analysis Using Fuzzy. *Expert Systems With Applications*, 36, S. 1195–1207.
- [30] Yel, İ. (2009). Lojistik Sektöründe Bulanık Mantık Karar Sürecinin Uygulanması [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi
- [31] Yerebakan S.(2019), Hata Türü Ve Etkileri Analizi İle Gri İlişkisel ,Analiz Bütünleştirilmesi – Bir İşletmede Uygulama Denemesi [Yüksek Lisans Tezi], Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- [32] Yıldırım, B. F. (2014). Gri İlişkisel Analiz. Fatih Bahadır Yıldırım Ve Emrah Önder), Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayıncılık, 227-242.
- [33] Yörükoğlu H., (2014), Yenilenebilir Enerji Kaynakları Risklerinin Fuzzy-Fmea Yöntemi ile Analizi [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- [34] Zhou, Q., & V.Thai, V. (2015). Fuzzy And Grey Theories In Failure Mode And Effect Analysis For Tanker Equipment Failure Prediction. *Safety Science*, 83, S. 74-79. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.013>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Betül AKTÜRK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2020,Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2022,Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,Endüstri Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM

Özel bir fabrikada üretim planlama uzmanı görev yapmaktayım.