

**DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE BULANIK HATA
TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FUZZY FMEA)
YÖNTEMİ İLE RİSK DEĞERLENDİRME
UYGULAMASI**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

Muhammet ÇAKMAK

**DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE BULANIK HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ
ANALİZ (FUZZY FMEA) YÖNTEMİ İLE RİSK DEĞERLENDİRME
UYGULAMASI**

Muhammet ÇAKMAK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2015**

Muhammet ÇAKMAK tarafından hazırlanan “DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE BULANIK HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FUZZY FMEA) YÖNTEMİ İLE RİSK DEĞERLENDİRME UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

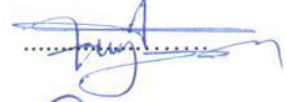


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/01/2015


Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Naci KURGAN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümit ATİLA (KBÜ)



.../.../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muhammet ÇAKMAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE BULANIK HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FUZZY FMEA) YÖNTEMİ İLE RİSK DEĞERLENDİRME UYGULAMASI

Muhammet ÇAKMAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ

Ocak 2015, 105 Sayfa

Risk değerlendirme, işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları ifade eder.

Risk değerlendirmede birçok yöntem bulunmaktadır. Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), risk faktörlerinin tespit edilip bilinen ve potansiyel risklerin değerlendirilerek önlenmesi amacıyla kullanılan en yaygın risk analizi yöntemlerinden birisidir. Risk seviyeleri belirlenirken genellikle geçmiş deneyimlerden ve mühendislik yöntemlerinden yararlanılmaktadır ve değerlendirmeler Risk Öncelik Sayılarına (RÖS) göre yapılmaktadır. RÖS

değerlerinin hesaplanmasında olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik girdileri kullanılmaktadır.

Bulanık mantık işlemleri, problemin analiz edilmesi ve tanımlanması, kümelerin ve mantıksal ilişkilerin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır. Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri $[0, 1]$ aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Bunlar üyeliğin derecelerinin devamlı ve aralıksız olduğu bir kümedir. Keskin kümelerdeki soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, aydınlık-karanlık gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz soğuk, biraz sıcak, biraz karanlık gibi esnek niteleyicilerle yumuşatılarak gerçek dünyaya benzetilir. Bulanık mantık yaklaşımının kullanıldığı sistemler klasik sistemlere göre daha etkin ısı ve hız denetimi yapabilmektedir. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlamak ve aygıt ömrünü uzamaktadır.

Bu çalışmada, Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi(Fuzzy FMEA) yöntemiyle; demir çelik şekillendirme(haddeleme) süreçlerinde can, mal ve zaman kaybına sebebiyet veren birçok risklerin önlenmesi için örnek bir haddehanede çalışma yapılmıştır. Risk Değerlendirme Yöntemlerinden FMEA yöntemiyle elde edilen girişler, klasik FMEA yöntemindeki kesin değerlerden farklı olarak, Bulanık Mantık yöntemiyle işlenip mevcut ve potansiyel risklerin tespiti kararlı bir şekilde ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca iki yöntem birbiri ile karşılaştırılarak Fuzzy FMEA yönteminin kazanımları ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler : Bulanık mantık, risk değerlendirme, fuzzy, FMEA.

Bilim Kodu : 902.1.182

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

RISK ASSESSMENT PRACTICES WITH FUZZY FAILURE AND EFFECTS ANALYSIS METHOD (FUZZY FMEA) IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY

Muhammet ÇAKMAK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Muharrem DÜĞENÇİ

January 2015, 105 Pages

Risk assessment states the necessary study to determine the hazards which exists in the workplace or the hazards which might come from outside and deciding about control measures. It also states studying the factors which causing hazards turn into risk and also grading and analizing the risk caused by hazards.

There are many methods in risk assessment. Failure Modes and Effects Analysis is one of the most common risk analysis methods used to determine risk factors and to protect risks or potential risks. While determining risk levels, previous experiments and engineering methods are used, and the assessment is done according to the risk priority number. The data for probability, severity and detectability are used for

assessing risk priority number. Fuzzy logic process is consist of analyzing and defining the problem, making sets and logical relations, converting the present data into fuzzy sets and iterpretation of the model. Unlike classical sets, membership degree of elements in fuzzy sets can vary in [0, 1] range in infinite number. They are sets of continuum whole with the degree of membership. Binary variables in sharp sets such as cold-hot, fast-slow, light-dark are likened to the real world softening with flexible determiners such as bit cold, a little hot and a little dark. Systems where fuzzy logic approach is used can effectively control heat and speed than conventional systems. Moreover it saves energy, and device life is prolonged.

In this study, using FMEA method; A new study was performed in a sample Rolling plant to prevent many risks causing loss of life, property and time in the process of Rolling. The input obtained from the Risk Assessment Methodology using FMEA method, unlike the exact value in the classical FMEA method, was processed by Fuzzy Logic method, and identfyng existing and potential risks was demonstrated in a stable manner. In addition two methods were compared to each other, and the achievements of FMEA was put forward.

Keywords : Fuzzy, failure modes and effects analysis, risk assessment.

Science Code : 902.1.182

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Muharrem DÜŐENCİ' ye teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1. TEZİN KAPSAM VE AMACI.....	1
2.1. LİTERATÜR.....	3
BÖLÜM 2	15
RİSK DEĞERLENDİRME.....	15
2.1. RİSK KAVRAMI.....	15
2.2. RİSK DEĞERLENDİRME.....	15
2.3. RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	17
2.3.1. Nitel Risk Değerlendirme Yöntemleri	19
2.3.2. Hem Nitel Hem Nicel Risk Değerlendirme Yöntemleri.....	20
2.4. HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ	20
2.5. FMEA’NİN TARİHSEL GELİŞİMİ	21
2.6. FMEA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	22
2.7. FMEA’NİN AMAÇLARI	23
2.8. FMEA’NİN UYGULANDIĞI DURUMLAR	24
2.9. FMEA’NİN SAĞLADIĞI ORTAK FAYDALAR	24
2.10. FMEA’NİN ÇEŞİTLERİ	25
2.10.1. Sistem FMEA	25

	<u>Sayfa</u>
2.10.2. Tasarım FMEA	26
2.10.3. Proses (Süreç) FMEA	27
2.10.4. Servis FMEA	28
2.11. FMEA YÖNTEMİ	29
2.12. FMEA SÜRECİNDEKİ HATALARA YÖNELİK ÇALIŞMALAR	34
2.12.1. Olası Hata Türlerinin Belirlenmesi.....	34
2.12.2. Olası Hata Nedenlerinin Belirlenmesi	35
2.12.3. Olası Hata Etkilerinin Belirlenmesi.....	35
2.12.4. Mevcut Kontrollerin Belirlenmesi	36
2.13. HATA TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	36
2.13.1. Olasılık Değerinin Belirlenmesi	37
2.13.2. Şiddet Değerinin Belirlenmesi.....	38
2.13.3. Tespit Edilebilirlik Değerinin Belirlenmesi.....	39
2.13.4. RÖS Sayısının Hesaplanması ve Değerlendirilmesi	40
2.13.5. Alınacak Önlemlerin Belirlenmesi ve Uygulanması	41
2.13.6. Yeni RÖS Değerinin Hesaplanması	42
BÖLÜM 3	43
BULANIK MANTIK.....	43
3.1. GİRİŞ.....	43
3.2. BULANIK MANTIĞIN TARİHSEL GELİŞİM	45
3.3. BULANIK MANTIK UYGULAMA ALANLARI	45
3.4. BULANIK KÜME TEORİSİ.....	47
3.5. BULANIK KÜME İŞLEMLERİ	49
3.5.1. Bulanık Kümelerde Birleşim	49
3.5.2. Bulanık Kümelerde Kesişim	50
3.5.3. Bulanık Kümelerde Tümleme İşlemi	51
3.6. BULANIK SİSTEM.....	52
3.6.1. Bulanıklaştırma	54
3.6.2. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması.....	55
3.6.3. Kural Tabanı	56

	<u>Sayfa</u>
3.6.4. Bulanık Çıkarım	57
3.6.3. Durulama	56
BÖLÜM 4	63
DEMİR-ÇELİK HADDEHANESİNDE FMEA ÇALIŞMASI	63
4.1. ÇALIŞMA ALANI	63
4.2. HADDEHANE TANIMI VE PROSESLERİ	63
4.2.1. Tavlama Prosesi	63
4.2.2. Haddeleme Prosesi	64
4.2.3. Paketleme Prosesi	66
4.2.4. Elektrik Bakım Onarım	67
4.2.5. Mekanik Bakım-Onarım	67
4.2.6. Kalite Kontrol	68
4.3. HADDEHANEDEKİ RİSKLERİN BELİRLENMESİ VE FMEA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ	69
4.3.1. Haddehanedeki Risk Durumlarını Tespit Edilmesi	70
BÖLÜM 5	72
FUZZY FMEA UYGULAMASI	72
5.1. UYGULAMA YÖNTEMİ	72
5.2. BULANIK GİRİŞLERİN SAĞLANMASI	72
5.3. ÜYELİK GİRİŞLERİNİN BELİRLENMESİ	73
5.4. KURAL TABANIN OLUŞTURULMASI	75
5.5. BULANIK ÇIKIŞLARIN ELDE EDİLMESİ	77
5.6. FUZZY FMEA İLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN FMEA İLE KARŞILAŞTIRILMASI	79
BÖLÜM 6	81
SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	85

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR A. FMEA YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN RİSK DURUMLARI	90
EK AÇIKLAMALAR B. FMEA İLE FUZZY FMEA RÖS DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	100
ÖZGEÇMİŞ	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. IS3110' da yer alan risk değerlendirme teknikleri.....	18
Şekil 2.2. Tasarım FMEA.....	26
Şekil 2.3. FMEA çeşitleri	29
Şekil 2.4. FMEA'nın işleyişi	30
Şekil 2.5. FMEA akış şeması	32
Şekil 2.6. FMEA' da uygulanacak ana sürece ait sistem yapısı.....	34
Şekil 3.1. Klasik kümelerin gösterimi	48
Şekil 3.2. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları.....	49
Şekil 3.3. A ve B bulanık kümeleri	50
Şekil 3.4. A ve B bulanık kümesi kesişim işlemi.....	51
Şekil 3.5. A ve B kümesi	52
Şekil 3.6. Bulanık sistemlerin genel yapısı	52
Şekil 3.7. Algılayıcılar.....	54
Şekil 3.8. Üçgen üyelik fonksiyonu	55
Şekil 3.9. Yamuk üyelik fonksiyonu	55
Şekil 3.10. Üyelik fonksiyonu denklemleri.....	56
Şekil 3.11. Normal olmayan bulanık küme	56
Şekil 3.12. $x=n$ ve $y=n$ olayları için bulanık çıkartım.....	58
Şekil 3.13. Çıkartım olayında sonuç durumu için karar aşaması	59
Şekil 3.14. Yükseklik yöntemi	60
Şekil 3.15. Merkez yöntemi.....	61
Şekil 3.16. Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	61
Şekil 3.17. Üyelik işlevinin maksimum noktalarının ortalamaları.....	62
Şekil 3.18. Geniş alan merkezi.....	62
Şekil 4.1. Kütüklerin tav fırınında gerekli sıcaklığa kadar tavlınması	64
Şekil 4.2. Haddelme prosesi	65
Şekil 4.3. Haddelenen çeliğin içersinden geçirilerek şekillendirildiği merdaneler .	65

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.4. Çeliğin soğutulması.....	66
Şekil 4.5. Paketlenen çubuk demirlerin istiflenmesi	67
Şekil 4.6. Haddehanedeki haddeleme prosesleri-1	68
Şekil 4.7. Haddehanedeki haddeleme prosesleri-2.....	69
Şekil 5.1. Risk öncelik sayısı için bulanık girişlerin belirlenmesi	72
Şekil 5.2. Öncelik sayısı için bulanık girişlerin belirlenmesi.....	73
Şekil 5.3. Olasılık üyelik fonksiyonu	73
Şekil 5.4. Şiddet üyelik fonksiyonu.....	74
Şekil 5.5. Tespit edilebilirlik üyelik fonksiyonu	74
Şekil 5.6. Üyelik fonksiyonu parametreleri.....	75
Şekil 5.7. Risk Öncelik değeri üyelik fonksiyonu	75
Şekil 5.8. Kural tabanı	77
Şekil 5.9. Kural tabanında elde edilen girişler	77
Şekil 5.10. Olasılık, Şiddet, Tespit Edilebilirlik=5 durumu için RÖS sayısı	78
Şekil 5.11. Bulanık RÖS değerleri şiddet ve olasılık	78
Şekil 5.12. Bulanık RÖS değerleri tespit edilebilirlik ve olasılık	79
Şekil 6.1. Klasik ve Bulanık FMEA risk grupları	81
Şekil 6.2. Klasik ve Bulanık FMEA RÖS sıralamaları	82
Şekil 6.3. Klasik RÖS değerleri	82
Şekil 6.4. Risk öncelik karar durumların karşılaştırılması	82
Şekil 6.5. Risk karar durumlarının grafiksel gösterimi	83
Şekil 6.6. Klasik RÖS değerleri	83
Şekil 6.7. Klasik ve Bulanık FMEA RÖS sıralaması.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Olasılık değer skalası	37
Çizelge 2.2. Şiddet etki skalası	38
Çizelge 2.3. Tespit edilebilirlik skalası	39
Çizelge 2.4. Risk öncelik sayılarının gösterimi	40
Çizelge 4.1. Mevcut risk durumlarının FMEA yöntemi ile belirlenmesi	71
Çizelge 5.1. Kural tabanı.....	76
Çizelge 5.2. FMEA RÖS ile FUZZY FMEA RÖS değerlerinin karşılaştırılması ...	80
Çizelge EK A.1. Haddehanedeki tehlikelere göre risk seviyesinin tespiti tablosu....	76
Çizelge EK B.1. FMEA ile Fuzzy FMEA RÖS değerlerinin karşılaştırılması.....	101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- $\mu_{A \cup B}$: Bulanık A birleşim B kümesi
 $\mu_A(x)$: Bulanık A kümesi
 $\mu_B(x)$: Bulanık B kümesi
 $\mu_{A \cap B}$: Bulanık A kesişim B kümesi
 $\mu(x_0)$: Bulanık sıfır noktası
 $\tilde{U}(x)$: Üyelik fonksiyonu
 $X a$: A kesim noktası
 $\tilde{U}(u; a, b, c)$: Üyelik fonksiyonun a, b, c değerleri
 $\sum \mu(\bar{x})\bar{x}$: Bulanık x değerlerinin toplamı

KISALTMALAR

- FMEA : Failure Modes Effect Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
- HTEA : Hata Türleri ve Etkileri Analizi
- RÖS : Risk Öncelik Sayısı
- ISO : International Standart Organisations (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu)
- O : Olasılık
- Ş : Şiddet
- T : Tespit Edilebilirlik
- NASA : National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
- DOW FEI: Dow Fire and Explosion Index (Dow Yangın ve Patlama İndeksi)
- MIL-P : Military Specification for Planned Maintenance (Askeri Planlı Bakım Şartnamesi)
- PHA : Preliminary Hazard Analysis (Birincil Tehlike Analizi)
- FHA : Functional Hazard Assessment (Fonksiyonel Tehlike Analizi)
- HAZOP : Hazard and Operability (Tehlike ve İşletilebilme)
- FTA : Fault Tree Analysis (Hata Ağacı Analizi)
- ETA : Event Tree Analysis (Olay Ağacı Analizi)
- PFMEA : Proces Failure Modes Effect Analysis (Proses Hata Türleri ve Etkileri Analizi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. TEZİN KAPSAM VE AMACI

Risk değerlendirmesi; tüm işyerleri için tasarım veya kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, dokümantasyon, yapılan çalışmaların güncellenmesi ve gerektiğinde yenileme aşamaları izlenerek gerçekleştirilen faaliyetleri kapsamaktadır. Risk değerlendirmesinde temel amaç işyerlerindeki çalışma koşullarından kaynaklanan her türlü tehlike ve sağlık riskini azaltmak, insan sağlığını etkilemeyecek seviyeye düşürmektir. Bu riskler iş kazaları olabileceği gibi her türlü meslek hastalığı ve diğer sağlık risklerini de kapsamaktadır. Risk değerlendirmesi sonucunda, işyerindeki tehlikelerin ne olduğuna karar verilebilmekte, kaza olma olasılığı ile olası kazaların boyutu/büyüklüğü hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Ayrıca, risk değerlendirmesi ile mevcut risk durumları ile ilgili risk altındaki kişilerin yeterli bilgi ile donatılması ve kaza olduğunda yapılması gerekenler konusunda eğitilmeleri sağlanmaktadır.

Risk değerlendirme yöntemleri arasından seçilen en etkili risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan FMEA'nın amacı; sistem, süreç ve ürünlere ait potansiyel hataların, oluşmadan önce, planlama ve geliştirme safhasında tespiti, önem derecelerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve önlenmesi için uygun önlemlerin alınmasını sağlamaktır. FMEA, hataların sistematik analizini ve giderilmesini sağlaması nedeni ile hataların oluşturabileceği risklerin minimizasyonuna, hata maliyetlerinin düşürülmesine, güvenilirliğin artırılmasına ve kalitenin sistematik olarak geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. FMEA ile elde edilen Risk Öncelik Sayıları (RÖS) risk durumlarının dereceleri ve etkileri hakkında yorum yapmayı sağlamaktadır. RÖS değerlerinin hesaplanmasında Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Tespit

Edilebilirlik (T) değerlerinin çarpımı kullanılır. RÖS değerleri, kesin ve tam O, Ş, T değerlerine gÖre sonuçlar vermektedir.

Bulanık mantık, tam ve kesin olmayan bilgilere dayanarak tutarlı ve doğru kararlar vermeyi sağlayan dÖşünme ve karar verme mekanizması olarak adlandırılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsözilerinden yararlanarak çalışma imkanı vermektedir. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sözel ifadeler kullanılır. Sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır. Bulanık mantık işlemleri, problemin analiz edilmesi ve tanımlanması, kümelerin ve mantıksal ilişkilerin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır [1].

Bu çalışmada, yasal zorunluluklar gereği risk analizi yaptıırma zorunluluğu olan demir-elik sektöründe hizmet veren bir haddehanede can, mal, iş ve zaman kayıplarına sebebiyet veren risk durumlarının değerlendirmesi Fuzzy FMEA yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Fuzzy FMEA yönteminde Klasik FMEA'daki RÖS hesaplamasında kullanılan giriş değerleri Olasılık, Şiddet, Tespit Edilebilirlik, Bulanık Mantık Yöntemiyle belirlenen kural tabanı ve değerlerin kesişim kümelerine gÖre etkili şekilde ortaya çıkartılarak gerçeğe daha yakın kararlı sonuçlar elde edilmiştir.

Birinci bölümde tezin kapsam ve amacıyla birlikte literatür çalışması hakkında bilgi verilmektedir.

İkinci bölümde Risk Değerlendirme ve Risk değerlendirme yöntemleri tanıtılmakta ve özalde FMEA'nın tanımı, tarihçesi, işleyiş ve prosedürleri hakkında bilgi verilmektedir. Kullanılan yöntemin fayda ve gerekliliği aktarılmaktadır.

Üçüncü bölümde Bulanık Mantık hakkında bilgi verilmektedir. Bulanık Mantık'ın tanımı ve tarihçesi, işleyişi ve çalışma sistemi anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde Demir-Çelik Sektöründe hizmet veren bir haddehanenin üretim, iş ve işleyiş yapısı hakkında bilgi verilmekte ve haddehanede karşılaşılan risk faktörleri FMEA yöntemi ile elde edilmektedir.

Beşinci bölümde Fuzzy FMEA yönteminin işleyişi aktarılmakta ve Fuzzy yöntemi ile FMEA'daki Olasılık, Şiddet, Tespit Edilebilirlik verileri işlenmekte ve elde edilen Fuzzy FMEA RÖS değerleri sıralanmaktadır.

Altıncı bölümde Fuzzy FMEA yöntemi ile elde edilen veriler Klasik FMEA yöntemiyle karşılaştırılmakta ve Fuzzy FMEA'nın neden kullanılması gerektiği ve kullanıldığı sisteme katkıları aktarılmaktadır.

1.2. LİTERATÜR

Bulanık FMEA yöntemi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar aşağıda incelenmiştir.

Guimares ve Lapa, Nükleer Santraller için uygun yer tespiti amacıyla bulanık mantıkla risk değerlendirme yöntemi olan FMEA'yı kullanmış ve bulanık RÖS sayılarını hesaplayarak nükleer santraller için uygun kuruluş yeri tespit etmiştir [2].

Yine Guimares ve Lapa, Dijital Nükleer Güç Santrallerinde, santraldeki su soğutma sisteminin girişleri olan su akışı, su seviyesi, su sıcaklığı gibi parametrelerin kontrolünde, FMEA yöntemiyle belirlenen riskleri değerlendirerek risk durumlarına Bulanık Mantık ile çözüm önermiştir [3].

Kumru, devlet hastanelerinde satın alma süreçlerinde karşılan zaman, maliyet ve iş kaybına sebebiyet veren durumları FMEA yöntemi ve bulanık çıkarım ile değerlendirmiş ve satın alma süreçlerinin izlenmesinde karşılaşılabilecek problemlere çözüm üretmek, satın alma işlemlerinde zaman, maliyet ve iş kaybını azaltmıştır [4].

Balmant ve Lafont denizde seyri sefer halinde olan gemiler için statik (geminin tonajı, yük durumu, bayrağı, yaşı, kullanıldığı alan) ve dinamik (denizin durumu,

rüzgarın durumu, görüş mesafesi) olarak belirledikleri durumları MARISA adıyla geliştirilen, grafik arayüzü olan risk durumlarını simüle eden bir programla risk değerlendirme durumları için bulanık çözüm üretmişlerdir. Statik ve dinamik değerlerin her biri için karşılaşılabilecek riskleri bulanık mantıkla değerlendirerek seyrüsefer halinde muhtemel kazaların önüne geçilmesi sağlanmıştır [5].

Silva ve Gusmao vd. Bilgi Güvenliği Yönteminde sunucu, ağ ve iş istasyonlarında performans düşmesi, ağ ve sistem bozulmaları, bilgi sızıntısı ve bilgi kaybı, mali kayıplar ve iş faaliyetlerinin bozulması gibi durumları önlemek için risk değerlendirmesi yaparak, bulanık mantık ile risk durumlarının önceliklerini tespit etmiştir [6].

Zhu ve Lin dünyanın en büyük metro hatlarından biri olan Çin'deki Şanghay Metro hattında metro araçlarının bakımında karşılaşılabilecek risk durumlarını FMEA yöntemi ile belirlemiştir. Çalışmada kapı, havalandırma, frenleme, çekiş, kontrol, yardım sistemi gibi alt sistemlere bölünen risk durumları dilsel ifadeler haline getirilerek bulanık mantık yöntemiyle çözümlenmiş ve metro bakımında zaman, maliyet ve iş gücünden kazanım sağlanmıştır [7].

Lin ve Wang kullanımı hergün artan tıbbi cihazların donanımsal, yazılımsal, çevresel ve insan kullanımından kaynaklanan risk durumlarının önlenmesi için FMEA yöntemiyle belirlenen risk durumlarını Bulanık Mantık kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme ile risk durumlarının ağırlıkları belirlenmiş ve öncelikli olarak önlem alınması gereken riskler tespit edilmiştir. Çalışma tıbbi cihazların insan hayatına verdiği zararların azaltılmasına katkı sağlamıştır [8].

Jong ve Tay yenilebilir kuş yuvalarının üretiminde karşılaşılan sıcaklık, nem, havalandırma gibi çevresel faktörler ve yenilebilir kuş yuvalarına zarar veren karınca, yarasa, sığircık, kertenkele gibi canlılardan gelebilecek tehlikeleri sınıflandırarak FMEA yöntemiyle elde edilen risk durumları Bulanık Mantık

kullanarak değerlendirilmiş ve çalışma ile yenilebilir kuş yuvalarının üretiminde artış sağlamıştır [9].

Kahraman ve Kaya sağlık kurumlarında hastalığın yanlış tespiti, tedavide gecikme, yanlış ilaç ve analjezik seçimi gibi risk durumlarının tespitinde FMEA ve Bulanık Mantık yöntemini birleştirerek hastalık, yanlış ilaç ve tedavi yöntemlerinin insan sağlığına zararlarının azaltılmasını sağlamışlardır [10].

Chen ve Wu, oksijen tüplerinin dolusunda meydana gelebilecek hata durumları için risk değerlendirme yapmış ve tank dolusunda karşılabilecek basınç, akış mukavemeti, mekanik stres, sıcaklık durumları bulanık mantık yöntemiyle değerlendirerek oksijen tüpünün dolusunda oluşabilecek kazaların önüne geçilmesini sağlamıştır [11].

Petrovic ve Tanasijevic yer altı kömür ocaklarında kömür taşıyan bantlı konveyrlerdeki elektrik motoru, vites kutusu, kasnak, kayış, makara, dedktr, şaft ve dönüş silindiri gibi parçalardan meydana gelebilecek risk durumları için bulanık küme yöntemi kullanılarak risk değerlendirme önermiş ve konveyörlerin sebebiyet verdiği kaza oranlarının maden ocaklarında azaltılmasını sağlamıştır [12].

Aqlan ve Mustafa Ali, kimya endüstrisindeki boya üretiminde ürün kalitesi, yangın, patlama, kişisel yaralanma, ergonomik risk, toksik maddelere maruz kalma ve kimyasal sızıntı risklerini için bulanık risk değerlendirme yöntemini kullanmıştır. Çalışma ile boya üretiminde karşılaşılan risklerin azaltılmasını sağlamıştır [13].

Puente ve Pino risklerin potansiyel başarısızlık nedenlerini sıralamak için nitel kurallara dayalı bir kritiklik değerlendirme yaklaşımını sunmuşlardır. FMEA'daki her bir hata durumu için bir risk öncelik sayısı metodolojisi geliştirmişler, risk durumlarını olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik girişleriyle kullanarak 125 kurallı 3 boyutlu bir grafik elde etmiş ve bu girişleri optimize etmek için bulanık mantık yöntemini önermişlerdir [14].

Bu çalışmada örnek bir demir-elik haddehanesinde karşılaşılan risk durumları, Klasik FMEA ve Fuzzy FMEA yöntemiyle elde edilerek kıyaslanmakta ve Fuzzy FMEA'daki RS değerlerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkartılmaktadır. Klasik FMEA'daki dilsel ifadeler halindeki Olasılık, Şiddet ve Tespit Edilebilirlik değerleri Bulanık Mantık kullanılarak değerlendirilmekte ve Fuzzy FMEA yönteminin risk değerlendirmeye katkısı ortaya konulmaktadır.

İncelenen literatür doğrultusunda bu tezde diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak ilk defa Demir-elik sektöründeki Haddehanede Fuzzy FMEA uygulaması yapılmakta Klasik FMEA ve Fuzzy FMEA değerleri kıyaslanarak Fuzzy FMEA'nın kazanımları ortaya konulmaktadır.

BÖLÜM 2

RİSK DEĞERLENDİRME

2.1. RİSK KAVRAMI

Risk ve risk yönetimi, günümüzde işletme planlamasının önemli bir konusu haline gelerek birçok işletme için rekabet aracı olarak düşünülmemekte ve endüstriler tarafından, faaliyet alanlarındaki farklılık nedeniyle değişik şekillerde algılanabilmektedir. Örneğin, sigorta ve finansal endüstriler, riski para birimi cinsinden görürken; kimya veya uzay endüstrisindeki üretim işletmeleri riski, insan yaralanmaları ile sonuçlanan ürün hataları olarak görmektedir.

Risk ile ilgili literatürde yapılan tanımlara bakıldığında çeşitli tanımlar bulunmaktadır. Risk, gerçekleştiğinde organizasyonun hedefleri üzerinde olumsuz etki yapan ve gerçekleşme ihtimali olan rastgele olaylardır [15]. Risk; yaralanma veya hastalığın meydana gelme olasılığı ile yaralanma veya rahatsızlığın potansiyel şiddeti unsurlarının birleşimidir [16]. Risk, zarar verici bir aktiviteye açık olma potansiyeli olarak tanımlanabilir. Tehditler, zayıflıklar, etkiler ve olasılıklar riskin bileşenleridir. Teknik anlamda risk, olasılık değerlerinin ortalama değer etrafındaki dağılımı ile ifade edilebilir [17]. Risk; belirsizliği, şüpheyi, kayıp olasılığını, zarar ihtimalini ifade eder. Risk belirli bir tehdidin sistemin, belirli bir zayıflığından faydalanarak sisteme zarar verme olasılığıdır [18].

2.2. RİSK DEĞERLENDİRME

Risk Değerlendirme; riskin büyüklüğünü hesaplama ve riskin tolere edilebilir olup olmadığına karar verme yani riskleri makul bir seviyeye indirebilmek için gerekli önlemlerin belirlenmesi ve bu önlemlerin hangilerinin öncelikle alınması gerektiğine karar verilmesi işlemidir [19]. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nde ise "İşyerinde

var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin, işçilere, işyerine ve çevresine verebileceği zararların ve bunlara karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi amacıyla yapılması gerekli çalışmalardır.” olarak tanımlanmıştır.

Tehlike belirleme ve risk değerlendirmenin amacı, alınması gereken önlemlerin tespit edilmesidir. Risk değerlendirmesiyle, işyerindeki tehlikelerin belirlenmesi böylece her bir tehlikenin ortaya çıkma olasılığıyla, olası sonuçların şiddet derecesinin değerlendirilmesi, mevcut kontrollerin etkinliğinin gözden geçirilmesi, dolayısıyla da acil önlem gerektiren göz ardı edilemeyecek risklerle, maliyet etkin önlemlerle orta vadede kabul edilebilir düzeylere indirilebilecek risklerin tanımlanması, ayırt edilmesi sağlanmış olmaktadır [20]. Risk değerlendirmesinin yapılma süreci tehlikelerin belirlenmesi, risklerin analizi, risk değerlendirmesi, kontrol önlemlerinin belirlenmesi, kontrol önlemlerinin yerine getirilmesi, izleme ve gözden geçirme, iletişim ve danışma süreçlerinden oluşmaktadır [21].

Risk değerlendirmesi yapılırken, hangi yöntemlerin kullanılacağı, verilerin ne şekilde elde edildiği, güvenilir sonuçların ne şekilde sağlandığı, risk modellemesinin ne şekilde yapıldığı önem kazanmaktadır. Risk değerlendirmesinin ayrıştırma prensibine dayalı olduğu düşünülürse, pek çok değişken ve model parametrelerindeki hatalar, karar alma sürecinde başarısızlığa neden olabilmektedir. Dolayısı ile karar alma süreçlerinde ve risk modellemesi yapılırken bilgi kaynaklarının güvenilirliği ve değişkenlerin doğru saptanması önemlidir. Risk değerlendirmeleri yapılırken, sistemin yapısı ve sistemi oluşturan dinamiklerin bütünü hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir. Mierzwicki, hataları görebilmenin, başarının temel unsuru olduğunu ve her hatanın mantıksal bir sebebinin olduğunu, bu sebebi belirlemenin de riskleri önleyeceğini ifade etmiştir [22].

Bir çalışma ortamındaki ya da iş kolundaki risk değerlendirmesinin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Bilgilerin toplanması,
- Tehlikelerin belirlenmesi,

- Tehlikelerden kaynaklanan risklerin değerlendirilmesi, (sonuçların olasılık ve Őiddetinin tahmin edilmesi ve kabul edilebilirliğine karar verilmesi),
- Riski ortadan kaldırmak ya da azaltmak için gerekli önlemlerin planlanması,
- Değerlendirmenin gözden geçirilmesi,
- Risk değerlendirmesinin yazılı hale getirilmesi

2.3. RİSK DEğERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Tüm dünyadaki risk değerlendirme metodolojilerine ve standartlara bakıldığında 150'den fazla yöntem bulunduğu görülmektedir. Bu yöntemlerin birçoğu ihtiyaçtan doğmuştur, özellikle de sigorta Őirketleri, niversiteler, enstitüler ile NASA'nın bu yöntem bilimlerinin çeŐitlenmesinde büyük rolleri olmuştur. Endüstriyel fabrikaları sigortalayan Őirketler bu fabrikalardaki iş sağlığı ve güvenliğini ilgilendiren tehlikeler, yangın, patlama, deprem, sel, evre felaketi vb. konulardaki risklerinin net olarak tayin edilmesini istemiŐ ve birçok yöntemin geliştirilmesinde öncülük yapmıŐlardır [23]. Örneğin Zürih Sigortanın geliŐtirdięi Zürih Tehlike Analizi, DOW Chemical Co.'nun geliŐtirdięi DOW F&EI indeksi bunlara örnek olarak verilmektedir. Günümüzde risk değerlendirme yöntemleri, değerlendirme yapılacak alana göre deęiŐmekte ve risk değerlendirme yöntemleri ihtiyaç duyulan alana göre çeŐitlenmektedir. AŞağıdaki Şekil 2.1'de risk değerlendirme eŐitleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1. IS3110' da yer alan risk değerlendirme teknikleri [24].

Risk değerlendirme yöntemleri ile ilgili kaynaklarda farklı sınıflandırmalar yapılmakta fakat genel olarak 2 tür analiz sistemi bulunmaktadır. Bunlar;

- Nitel
- Hem nitel hem nicel (karma)

2.3.1. Nitel Risk Değerlendirme Yöntemleri

Nitel risk analizi daha çok riski değerlendirmede sayısal veriler elde etmek mümkün olmadığı durumlarda kullanılır. Ayrıca nitel risk analizine katılacak kişilerin matematik bilgisine sahip olmaları da gerekmez. Bu değerlendirmenin başarılı bir şekilde yapılabilmesi daha çok, katılımcıların kurumsal süreçlere hakim olmalarına ve benzer projelerde deneyim sahibi olmalarına bağlıdır. Nitel risk analizinde risk, sayısal değerlerden çok tanımlar ile ifade edilir. Riski hesaplarken ve ifade ederken nümerik değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı değerler kullanılır.

Nitel Risk Değerlendirme Yöntemlerinden; Birincil Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis – PHA) 1966 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın ürün geliştirme aşamasında güvenlik ile ilgili yaptırdığı çalışmalar sırasında geliştirilmiştir. Bu yöntemin amacı, güvenlikle ilgili kritik durumları tespit etmek, tehlikelerle ilgili bir ön değerlendirme yapmak ve gerekli tehlike kontrollerini tanımlamaktır. Fonksiyonel Tehlike Analizi (Functional Hazard Assessment-FHA) bir dizaynın, fonksiyonel bir bakış açısı ile analiz edilmesidir. Bu yöntemin amacı, sistemin hangi fonksiyonunun tehlikelere yol açabileceğinin belirlenmesi ve bu tehlikelerin kritiklik derecelerinin tespit edilmesidir. Fonksiyonel Tehlike Analizi Yöntemi, ilk olarak uzay ve havacılık endüstrisinde, donanım ve yazılım arasında bir bağlantı kurmak amacı ile geliştirilmiştir. Tehlike ve İşletilebilme (Hazard and Operability - HAZOP) bir ekipmanın taslak tasarımının önerilmesinden sonra temel tasarımının bileşenlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Tehlike Çeklistleri (Hazard Checklists) güvenlikle ilgili unsurları içeren bir dizi sorudan oluşan anket özelliğindedirler ve bir sürecin işleyişi ile ilgili analizler yapılmasını sağlarlar. Yapısal Ne Olur Çeklistleri (Structural What-if Checklist-SWIFT) beyin fırtınasına dayalı bir yöntem olup Tehlike ve İşletilebilme Yöntemi ile kıyaslandığında biraz daha az titiz ancak buna karşın daha fazla zaman kazandıran bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Risk Matrisi (Risk Matrix) yöntemi ile özellikle aciliyet

gerektiren ve hemen önlem alınması gerekli olan tehlikeler belirlenebilir. Herhangi bir olayın gerçekleşme olasılığı ve bu olayın gerçekleşmesi durumunda sonucunun derecelendirilmesi ve ölçümü yapılmaktadır.

2.3.2. Hem Nitel Hem Nicel Risk Değerlendirme Yöntemleri

Hem nitel hem nicel risk değerlendirme yöntemleri bakıldığında ise; Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemi (FMEA), sistem, tasarım, proses veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirmesini ve bu tür hataların sürekli azaltılmasını hedefleyen özel bir yöntemdir. Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis – FTA) yönteminin temel amacı, tepe olay (top event) olarak adlandırılan istenmeyen olayların oluşmasına neden olan olasılıkların kombinasyonunu belirlemektir. Bir tepe olayın gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi için alınması gereken önlemler ayrıntılı bir şekilde analiz edilir. Hata Ağacı Analizi Yöntemi ile gerçekleşmemesi istenen tepe olay belirlenip bu olaya neden olabilecek tüm faktörler analiz edilir. Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis – ETA) başlangıçta seçilmiş olan olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçların / etkilerin akışını diyagram ile gösteren bir yöntemdir. Kaza öncesi ve kaza sonrası durumları gösterdiğinden sonuç analizinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Papyon Analizi (Bow Tie Analysis) ölçümleme yapmanın olanaksız ya da gereksiz olduğu durumlarda kullanılmak üzere geliştirilen bir yöntemdir. Neden Sonuç Analizi (Cause Consequence Analysis) olaylar arasındaki zinciri tanımlarken istenilmeyen sonuçların nelerden meydana geldiğini belirlemektir.

2.4. HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Hata Türleri ve Etkileri Analizi, sistem, tasarım, proses veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirmesini ve bu tür hataların (problemler, yanlışlıklar, riskler v.s.) sürekli azaltılmasını hedefleyen özel bir metodolojidir. FMEA'nın amacı; sistem, süreç ve ürünlere ait potansiyel hataların, oluşmadan önce, planlama ve geliştirme safhasında tespiti, önem derecelerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve önlenmesi için uygun önlemlerin alınmasını sağlamaktır. FMEA, hataların sistematik analizini

ve giderilmesini sağlaması nedeni ile hataların oluşturabileceği risklerin minimizasyonuna, hata maliyetlerinin düşürülmesine, güvenilirliğin artırılmasına ve kalitenin sistematik olarak geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, FMEA, işletmelerin rekabette üstünlük sağlamak için uygulamaya koydukları önleyici kalite güvence yaklaşımları arasında en çok ilgi çeken ve kabul göreni olmaktadır. Son dönemlerde otomotiv sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerde hataların önlenmesine yönelik olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Zira FMEA; QS 9000, ISO/TS 16949, ISO 9001:2000 ve diğer Kalite Yönetim Sistemleri dahilinde zorunluluk haline gelmiştir.

FMEA sürekli iyileştirmenin ve risk yönetiminin bir bölümüdür. FMEA ürün ve süreç geliştirmenin anahtar kısmıdır. Ürün ve süreç geliştirmenin bütününde potansiyel hataları değerlendirmeyi ve riski azaltacak uygulamaları gerçekleştirmeyi sağlamak için kullanılan uzun süreli bir çalışmadır [25]. FMEA çalışması; tasarımdaki eksikliklerin daha hızlı görülmesi, bir işletmeye daha yüksek ürün güvenilirliği, daha az tasarım değişikliği, daha iyi bir kalite planlaması, ürün ve süreç tasarımında sürekli gelişme, üretim sırasında daha az değişiklik ve daha düşük üretim ve geliştirme maliyetleri gibi yararlar sağlamaktadır [26].

Hata Türü ve Etkileri Analizi, yüzlerce hata türü için iyileştirme yapılmasının planlanması yerine, sistemin bütünü üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir. Ancak yüzlerce hata türü için, veri derleme ve analizi de büyük zaman ve işgücü gerektirmektedir. FMEA'nin başlangıcında ön eleme yapmak ve sadece önemli olarak belirlenen parçalar için veri derlemek, FMEA'nin etkinliğini artırmaktadır [27].

2.5. FMEA'NİN TARİHSEL GELİŞİMİ

FMEA'nın tarihsel gelişimine bakıldığında zaman askeri prosedür olan MIL-P-1629 Hata Türü Etkileri ve Kritiklik Analizi'nin bir parçası olan FMEA, Amerikan ordusu tarafından ekipmanların ve askeri çalışmaların başarısının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir [28]. FMEA, ABD'de ilk kez 1950'li yıllarda uçuş

sistemlerinin kontrolünde kullanılmıştır. 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından aya insan indirme (Apollo) projesinde kullanılmış ve 1965 yıllarında ABD Silahlı Kuvvetleri askeri standartlarına girmiştir [29].

Endüstride 1970-1975 yılları arasında kullanılmış, 1975'te bilgisayar üretiminde ve Japon NEC firmasında uygulanmıştır. 1977'de otomobil endüstrisinde faaliyet gösteren Ford, 1985'de Fiat firmalarında olmak üzere özellikle, otomotiv endüstrisinde yaygınlaşmıştır. Bu uygulamalardan sonra otomotiv endüstrisinde Chrysler ve General Motors'da uygulamaları yapılmıştır [30]. Hatta çoğu endüstri, bu analizi gerçekleştirmek için (Automotive Industry Action Group, The US Department of Defense, the Society of Automobile Engineers, the Verband der Automobile Industrie Germany) kendi standartlarını oluşturmuştur [31].

Global firmalar 25 yılı aşkın bir süredir FMEA'yı sürekli olarak geliştirmektedir. Günümüzde FMEA yalnızca havacılık, nükleer enerji ve elektronik sektörleri gibi ileri teknoloji alanlarında ve otomotiv sektöründe değil, üretim sektörü, yazılım/donanım sektörü ile beraber sağlık, turizm gibi birçok hizmet sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin medikal hatalar yüzünden yılda ortalama 98.000 insanın ölmesi yüzünden, Sağlık Organizasyonları Birleşik Akreditasyon Komisyonu hastanelerin FMEA'nın bir disiplin olarak uygulamasını ve her yıl güncellemesini istemektedir [32].

2.6. FMEA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Aşağıda FMEA ile ilgili çeşitli kavramların açıklamaları verilmiştir.

- Müşteri: Hata türünden etkilenebilecek son kullanıcı, iç veya dış departmanlar, kişiler ve proseslerdir.
- Fonksiyon: Bir proses veya üründen gerçekleştirmesi beklenen amaçlardır.
- Hata Türü: Hata kategorisi olarak da kullanılmaktadır. Bir ürün veya prosesin istenilen fonksiyonunu gereği gibi veya hiçbir şekilde yerine getirememesidir.

- Hata Nedeni: Tasarım veya prosesin belli bir elemanın hata türü ile sonuçlanmasına yol açan faktördür.
- Hata Etkisi: Müşterinin yaşayabileceği hoşnutsuzluk ve tehlike oluşturabilecek durumlardır.
- Mevcut Kontroller: FMEA çalışması yapıldığı sırada hatanın ortaya çıkmasını veya müşteriye ulaşmasını önlemek için kullanılmakta olan mekanizmalardır.
- FMEA Elemanı: FMEA çalışmasında belirlenen veya incelenen konulardır.
- Olasılık: Hata nedeninin oluşması ve ürünün beklenen ömrü içinde kullanımı sırasında hata türüne yol açmasının ihtimalidir.
- Tespit Edilebilirlik: Mevcut kontrollerin hatanın bulunarak müşteriye ulaşmasını engelleme derecesidir.
- Şiddet: Hata etkisinin müşteriye yansıyan sonuçlarının değerlendirilmesidir.
- Risk Öncelik Sayısı: Belirlenen ortaya çıkma (O), Şiddet (Ş), Tespit Edilebilirlik (T) değerleri kullanılarak elde edilen bir değerdir. Hata türlerini öncelik sırasına koymakta kullanılır.

2.7. FMEA'NİN AMAÇLARI

FMEA tekniğinin amaçlarını şöyle sıralamak mümkündür:

- Ürün veya proseste oluşabilecek hata türlerini, etkilerini ve kritiklerini kararlaştırmak.
- Ürün veya proseste oluşabilecek potansiyel hataları önceden belirleyerek bu hataların oluşmasını engellemek
- Nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj prosesleriyle bağlantılı olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmek
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri almak veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak ve böylece ürünün geliştirilmesini sağlamak
- Montaj veya imalat prosesi için sistemin dayandığı neden ve ilkeleri de dokümante etmek [33].

2.8. FMEA'NIN UYGULANDIĞI DURUMLAR

Bir FMEA'nın uygulanmasını gerektiren durumlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- Emniyet, güvenlik ile ilgili parça ve fonksiyonlar söz konusu olduğunda,
- Ağır ve yüksek maliyet ile sonuçlanabilecek hata durumlarında,
- Yeni ürün veya proses geliştirmelerinde,
- Yeni teknoloji, malzeme ve proseslerde,
- Önemli tasarım ve proses değişikliklerinde,
- Mevcut ürünlerin yeni uygulama alanlarında,
- Kalite açısından yüksek risk beklentisi olan problemlili parça ve proseslerde uygulanmaktadır [34].

2.9. FMEA'NIN SAĞLADIĞI ORTAK FAYDALAR

Hata türü ve etkileri analizlerinin türden bağımsız olarak sağladığı ortak bazı yararlar vardır. Bu yararların özelliği, firma seviyesinde olmaları ve disiplinler üstü bir karakter taşımalarıdır. Sözü edilen yararlar ana başlıklar altında özetlenecek olursa;

- Ürün/ proses ve hizmet kalitesi, güvenilirliği ve emniyetinin artırılması
- Firma rekabet yeteneklerinin artırılması
- Firma imajının desteklenmesi
- Müşteri tatmininin artırılması
- Garanti maliyetlerinin azaltılması
- Mühendislik ve organizasyon bilgisinin artırılması
- Olası risklerin önceliklerine göre sıralandırılması
- Geç değişikliklerin ve buna bağlı maliyetlerin azaltılması
- Yapılan çalışmaların dokümanite edilerek; gelecekteki projeler için bir referans bilgi kaynağı oluşturulması
- Ekip çalışması ruhu ve fonksiyonlar arası iletişimin güçlendirilmesi
- Sürekli gelişme bilincinin hem firma hem de tedarik zinciri içerisinde yaygınlaştırılması [35].

2.10. FMEA'NİN ÇEŞİTLERİ

İlk FMEA uygulamaları donanıma yönelik olarak yapılmıştır. Yöntem yaygınlaştıkça fonksiyonel olarak prostedeki olası hataların belirlenip bunların giderilmesi için kullanılmaya başlamıştır. FMEA, daha sonraları tasarım ve hizmet alanlarında da uygulama bulmuştur [36]. Günümüzde genel olarak 4 çeşit FMEA olduğundan söz edilmektedir. Bunlar:

- Sistem FMEA,
- Tasarım FMEA,
- Proses FMEA ve
- Servis FMEA

2.10.1. Sistem FMEA

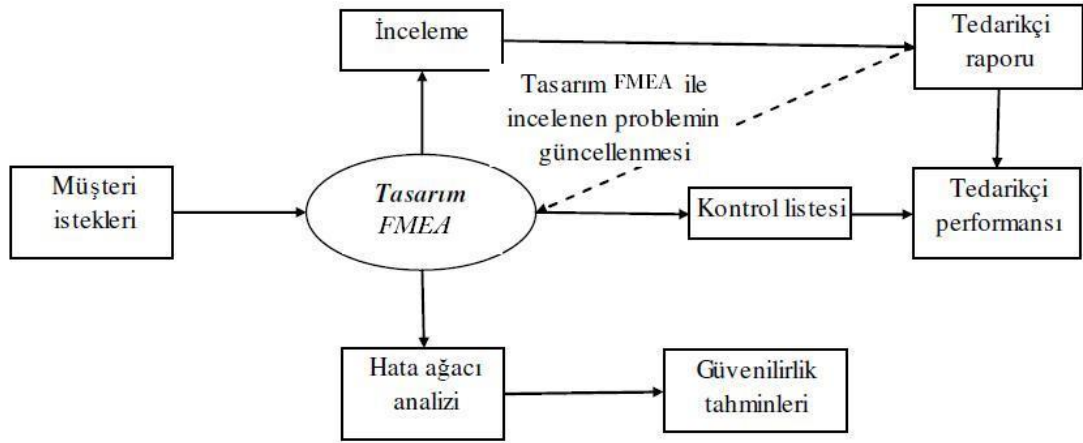
Bütün donanımların ve tasarımın tamamlanmasının sonrasında üretim, kalite ve güvence gibi sistemlerin akışını en elverişli hale getirmek için kullanılan bir yöntemdir. Sistem FMEA' nın faydaları şunlardır;

- Potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daraltır.
- Sistem seviyesindeki teşhis prosedürleri için bir temel oluşturulmasına yardımcı olur.
- Fazlalıkların tespit edilmesine yardım eder.
- Optimum sistem tasarım alternatiflerinin seçilmesinde yol gösterir.

Sistem FMEA etkin bir şekilde uygulandığında hata türü ile güvenlik konularını ortadan kaldıracak ve hataları azaltacak potansiyel tasarım faaliyetlerinin listesi, potansiyel hata türlerinin RÖS tarafından ağırlıklandırılmış bir listesi ve aynı zamanda potansiyel hata türlerini tespit edebilecek potansiyel sistem fonksiyonlarının bir listesi elde edilmektedir [37].

2.10.2. Tasarım FMEA

Tasarım FMEA, ürünlerin üretim kararı verilmeden önce uygulanmaktadır. Tasarımdaki hatalardan dolayı hizmet veya imalat aşamalarında ortaya çıkabilecek olası ürün hata şekillerini ele almaktadır. Tasarım bütünlüğünü sürekli kılmak amacı doğrultusunda, tasarım aşaması dışında imalatta, montajda, donanımda ve müşterinin kötü kullanımından dolayı üründe oluşacak tasarımla ilgili sorunları tanımlamaktadır. Bu teknik ile sistem veya bileşenlerin güvenilirlik riskleri yazılı hale getirilir, her hata türünün etkisi analiz edilir ve düzeltici faaliyetler yani tasarım değişiklikleri tanımlanır. Tasarım FMEA tekniğinde iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda, sistem ya da ürün bir bütün olarak ele alınarak başlanır ve en alt birime kadar analiz edilir. İkincisinde ise parça, bileşen gibi sistemlerin en alt düzeydeki birimlerden başlanır, alt montaj, alt sistem gibi aşamaları geçerek sistemin ya da ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. Bu yaklaşımlardan birinin seçimi, sistemin ve sorunun büyüklüğüne bağlı olacaktır. Uygulamada kabul gören ikinci yaklaşımdır [38]. Aşağıdaki şekilde Tasarım FMEA diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.2. Tasarım FMEA [39].

Tasarım FMEA' nın çıktıları şunlardır:

- Risk Öncelik Sayısına göre sıralanmış potansiyel hata türleri listesi,
- Kritik ve/veya önemli hata karakteristiklerinin potansiyel listesi,

- Hata türlerini ortadan kaldıracak, güvenlik konularını ön plana çıkaracak ve olasılık değerini azaltacak potansiyel tasarım önlemlerinin listesi,
- Uygun test etme, muayene ve/veya hata yakalama önlemleri parametrelerinin potansiyel listesi,
- Kritik ve önemli karakteristikler için önerilen potansiyel önlemlerin listesi.

2.10.3. Proses (Süreç) FMEA

Kalite planlama çalışmaları sırasında ve üretim proseslerine başlamadan önce kullanılan analitik bir tekniktir. PFMEA (Proses FMEA)'nin amacı müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak, tasarlanmış ürün karakteristiklerinin imalat veya prosesleri sırasında tasarım amacına uygun olarak gerçekleştirilmesini güvence altına almaktır. PFMEA genel olarak, üretim ve montaj süreci yetersizliklerinin neden olduğu hata türlerine odaklanır.

Bir proses FMEA genellikle işçi, makine, metot, malzeme, ölçme ve çevreyi içine alan geniş bir çerçevede ele alınarak belirli bir sistematik içinde yürütülür. PFMEA, sistem ve tasarım FMEA dan daha karmaşık ve zaman harcanmasını gerektiren bir tekniktir. Etkili bir PFMEA temel olarak mühendislik tasarım süreci, ürün gelişimi, Ar-Ge, kalite güvencesi, pazarlama, üretim veya bunların kombinasyonları boyunca gerçekleştirilir. Bu aşamadaki amaç, üretim süreci hata etkilerini FMEA'nın uygulandığı aşamayı dikkate almaksızın en aza indirmektir.

Proses FMEA çalışmaları yürütülürken aşağıdaki sorular önemli olmaktadır [40].

- Sürecin hedef performansı veya etkinliği nedir?
- Süreç, fonksiyonlarını nasıl yerine getirmektedir?
- Süreçte kullanılan ham maddeler ve parçalar nelerdir?
- Süreç, ne şekilde ve nasıl diğer süreçlerle karşı karşıya gelmektedir?
- Süreç nasıl kullanılmakta, nasıl sürdürülmekte, nasıl onarılmakta ve gerektiğinde nasıl ortadan kaldırılmaktadır?

- Üretim sürecinin aşamaları nelerdir ve bu süreçte hangi enerji kaynakları, nasıl kullanılmaktadır?
- Süreç, maliyet açısından etkin midir?

2.10.4. Servis FMEA

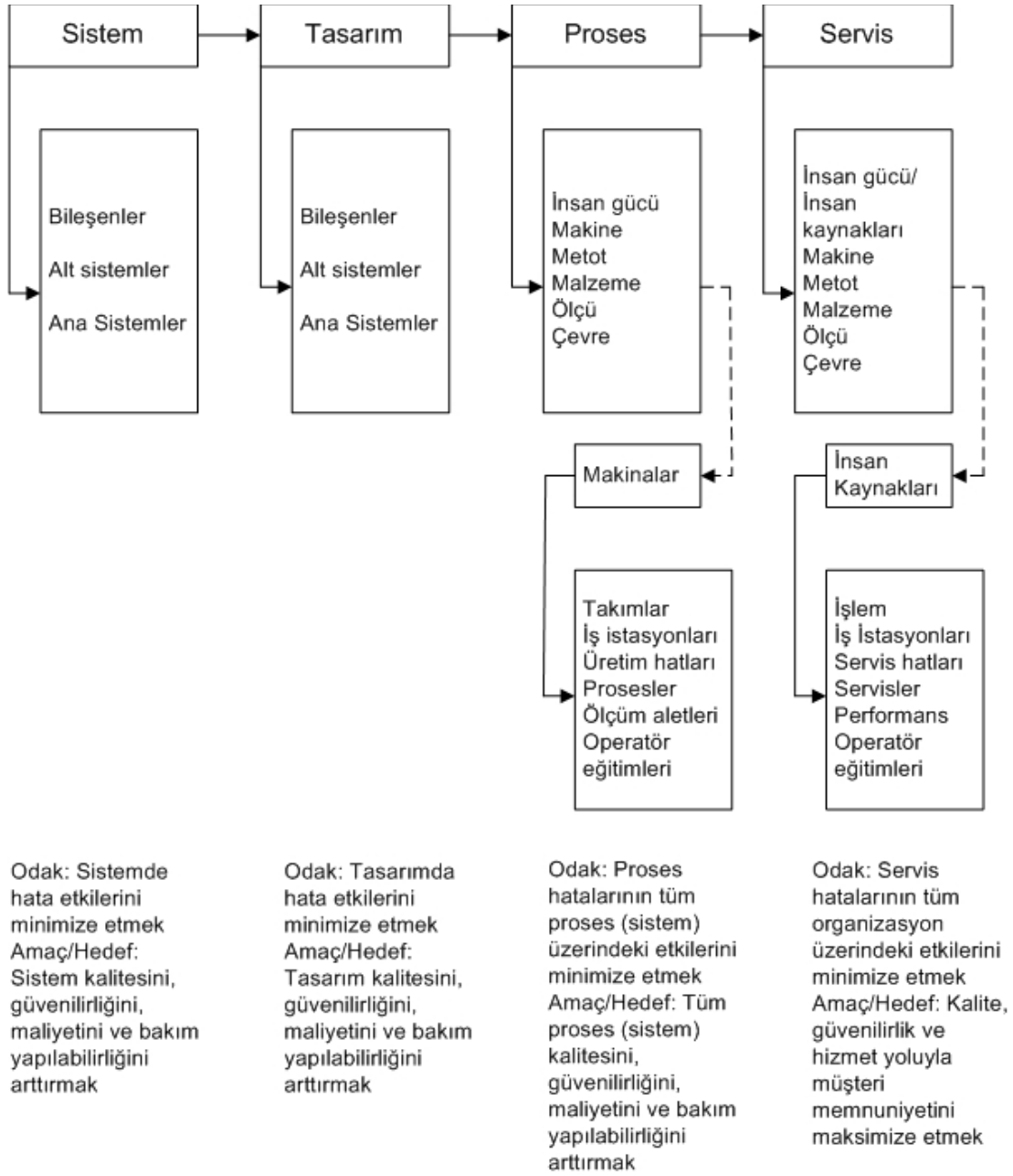
Hizmetler müşteriye ulaşmadan önce hizmetlerin analiz edilmesinde kullanılır. Sistem veya proses yetersizliklerinden kaynaklanan hata türleri üzerinde odaklanır. Servis FMEA' nın çıktıları şunlardır:

- Risk Öncelik Sayısına göre sıralanmış potansiyel hata türleri listesi,
- Kritik veya önemli proses veya işlemlerin potansiyel listesi,
- Darboğaz yaşanan proses veya işlemlerin potansiyel listesi,
- Hataları ortadan kaldıracak potansiyel önlemler listesi,
- Gözlenecek sistem veya proses fonksiyonlarının potansiyel listesi.

Servis FMEA' nın sağladığı faydalar şöyle sıralanılabilir:

- İş akışının analiz edilmesinde yardımcı olmaktadır.
- Sistem ve/veya proseslerin analiz edilmesinde yardımcıdır.
- İşlem yetersizliklerini belirler.
- Kritik veya önemli işlemleri belirler ve kontrol planlarının geliştirilmesinde yardımcı olur.
- İyileştirme çalışmaları için öncelikleri ortaya koyar.
- Değişiklerin ne amaçla yapıldığını doküman eder.

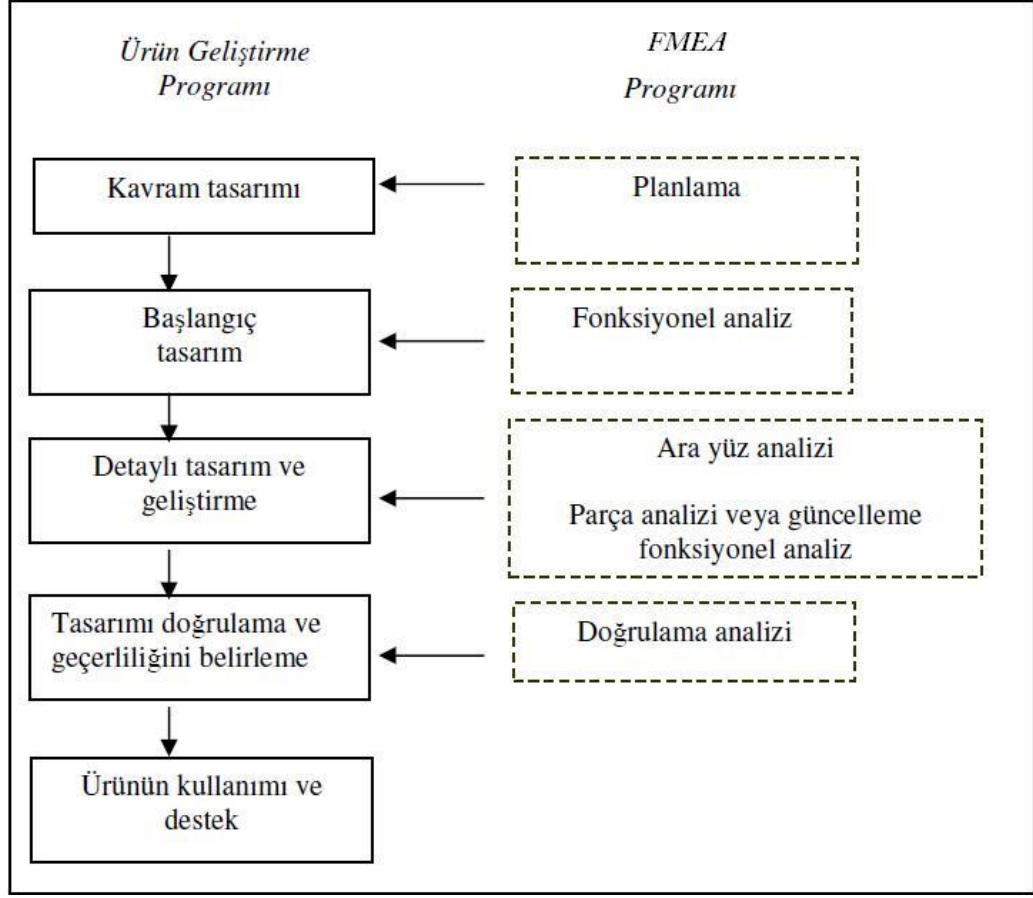
Şekil 2.3' de FMEA çeşitlerinin birlikte gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3. FMEA çeşitleri [40].

2.11. FMEA YÖNTEMİ

Genel olarak bakıldığında FMEA yönteminde olası hatalar tanımlanır; her bir olası hatanın nedenleri belirlenir, müşteri üzerindeki etkileri değerlendirilir, uygulanan kontroller gözden geçirilir, düzenleyici faaliyetler önerilir ve bunların uygulanması izlenir. FMEA'nın işleyişi aşağıdaki Şekil 2.4 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. FMEA'nın işleyişi.

FMEA'nın amacı, bilinen ve potansiyel problemleri müşteriye ulaşmadan önce belirlemek ve önlemektir. Problemlerin farklı öncelikleri vardır. Bu yüzden bu önceliklerin belirlenmesi FMEA metodolojisinin önemli bir uğraş alanıdır. Hata önceliklerini belirlemede yardımcı üç bileşen vardır:

- Olasılık (O)
- Şiddet(Ş)
- Tespit Edilebilirlik (T)

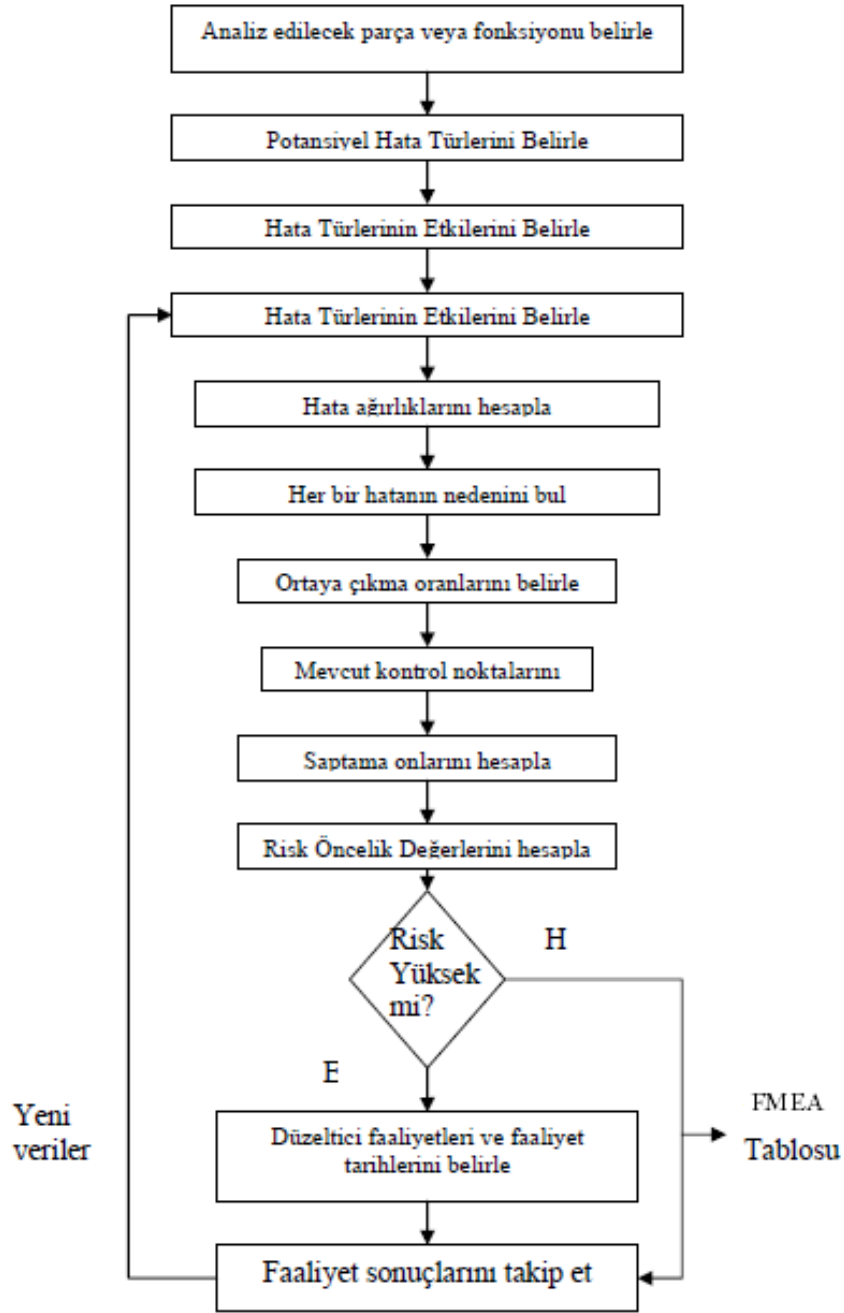
Olasılık, hatanın sıklığını; Şiddet, hatanın ciddiyetini (etkisini); Tespit Edilebilirlik, hatayı ürün müşteriye ulaşmadan tespit etme yeteneğini gösterir. Bu bileşenlerin değerlerini belirlemede pek çok yöntem vardır. Alışılmış yöntem, nümerik skalaların (risk ölçüt tablosu) kullanımınıdır [38]. Bu aşamada bir FMEA projesine ne zaman ve

hangi şartlar altında başlanması gerektiği sorusu akla gelebilir. Daha önce de belirtildiği üzere FMEA bilinen veya potansiyel problemlerin ortadan kaldırılması ile müşteri memnuniyetini arttırmayı amaçlayan bir metodolojidir. Bunu gerçekleştirmek için FMEA mümkün olduğunca erken, hatta bütün gerçekler ve bilgiler mevcut değilken başlatılmalıdır. FMEA'yı uygulayan kişiler bütün bilgilerin toplanmasını beklememelidir çünkü bütün veri ve bilgilere sahip olunması çok zor olmaktadır. FMEA uygulamasına başlanabilecek bazı durumlar aşağıda verilmiştir [40]:

- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya servisler oluşturulurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler sebeplerine bakılmaksızın değiştirilirken,
- Mevcut koşullardaki sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin geliştirilmesi düşünüldüğü zaman.

Önemli problemlerden bir tanesi FMEA çalışmasının ne zaman sona erdirileceğidir. Normal olarak FMEA yapılan sistem, tasarım, proses veya hizmet var oldukça FMEA devam etmektedir. Sadece sistem, tasarım, ürün, proses veya servisin sona erdirilmesi veya sürdürülmesi kararı verildiğinde FMEA son bulmaktadır. FMEA uygulamasının sonlandırılacağı bazı durumlar aşağıda sayılmıştır:

- Sistem FMEA, bütün donanımın belirlendiği ve tasarımın son şeklini aldığı noktada,
- Tasarım FMEA, üretime geçişin kesin tarihi saptandığında,
- Proses FMEA, bütün proseslerin belirlendiği, değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarına taşındığı anda.
- Servis FMEA, sistem tasarımı ve bireysel görevlerin tanımlandığı, değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarında adreslendiği zaman sona erdirilmesi düşünülebilir [40].



Şekil 2.5. FMEA akış şeması [41].

FMEA süreci ile ilgili başlangıç çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Başlangıç çalışmaları FMEA uygulaması öncesinde yapılması gereken hazırlıklardan oluşur. Bu aşama üç başlıkta incelenebilir.

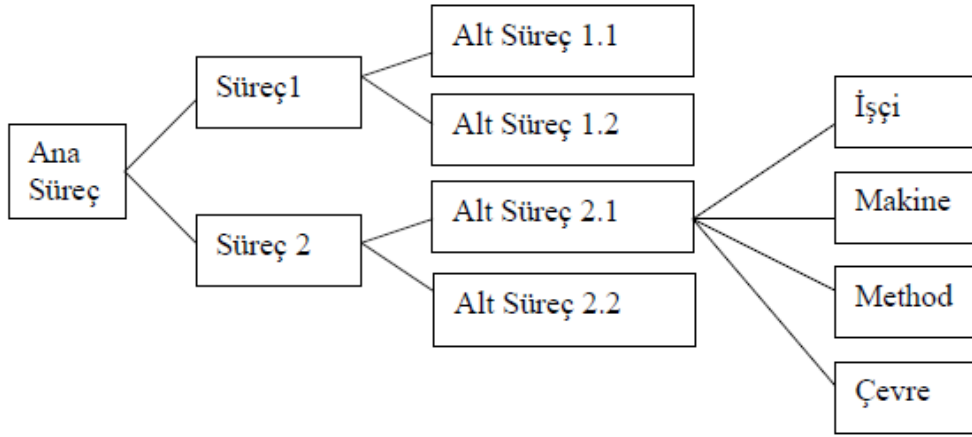
- FMEA kapsamının belirlenmesi
- FMEA takımının kurulması ve

- FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi [36].

FMEA Kapsamının Belirlenmesi: Çalışmanın başında FMEA'nın sınırları ve amacı tam olarak belirlenmelidir. Bununla ilgili yazılı bir doküman hazırlanıp buna incelenecek sistem, tasarım, proses veya servis hakkında bilgiler eklenmelidir. Kapsam belirlenirken ayrıca FMEA takımının sorumluluklarını da ortaya konulmalıdır. FMEA takımı oluşturulduktan sonra da FMEA kapsamı ile ilgili değişikliklere gidilebilmektedir.

FMEA takımının kurulması: FMEA geliştirme süreci çapraz fonksiyonlu ve çok disiplinli bir takımın sorumluluğundadır. Bu nedenle takım, FMEA uygulanacak süreç hakkında bilgi sahibi olan ve bu konuda uzmanlaşmış kişilerden oluşturulmalıdır. Takım yaklaşımı, FMEA sürecinden etkilenecek tüm alanlar için girdilerin ve işbirliğinin sağlıklı olması için gereklidir. Alanında bilgi sahibi kişilerden oluşan takımda FMEA uygulanacak süreç hakkında tüm bilgiler paylaşılır. FMEA süreci başlamadan önce takıma eğitim verilmesi, sürecin sağlıklı işlemesi bakımından yararlı olmaktadır.

FMEA'da uygulanacak süreçlerin belirlenmesi: FMEA uygulamasından önce mevcut sürecin tüm adımlarının takip edilmesi, o süreci daha iyi anlamak açısından çok önemlidir. FMEA uygulanacak süreci oluşturan fonksiyonlar, alt sistemler ve bileşenler Şekil 2.6' daki gibi belirlenerek bu sürece ait tüm dokümantasyonlar detaylıca incelenmesi gerekmektedir [42]. Bu amaçla geçmiş dönemlere ait kayıtlar, süreç akış diyagramları, tasarım özelliklerinin yer aldığı formlar kullanılabilir. Takımın her üyesi kendi süreci dışında diğer süreçleri takip ederek, bu süreçler hakkındaki bilgileri incelemelidir.



Şekil 2.6. FMEA’ da uygulanacak ana sürece ait sistem yapısı [43].

2.12. FMEA SÜRECİNDEKİ HATALARA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Başlangıç çalışmaları bittiğinde FMEA’nın kapsamı, FMEA’yı yapacak kişiler ve FMEA yapılacak konu hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmektedir. Bu aşamadan sonra FMEA yapılacak konuda yer alan hatalarla ilgili bölüme geçilmektedir. Bu kısım aslında çoğu zaman inceleme kısmı ile iç içe girmiş durumdadır. Daha sonraki aşamalara önemli ölçüde etki edeceğinden bu aşama titizlikle ele alınması gerekmektedir [40].

Bu alt başlık altında,

- Olası hata türlerinin belirlenmesi
- Olası hata etkilerinin belirlenmesi
- Olası hata nedenlerinin belirlenmesi
- Olası hataları saptamak için yapılan kontrollerin belirlenmesi konuları incelenecektir.

2.12.1. Olası Hata Türlerinin Belirlenmesi

Olası hata türünü belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat ortaya çıkmasının gerekmeyeceği kabulü yapılmaktadır. Olası hata türü, genellikle hatanın ortaya

çıkma türü ve sistemin çalışmasındaki etkisini içerir [36]. Hata türlerinin tespit edilebilmesi için aşağıdaki sorulara cevap bulunması gerekmektedir:

- Süreçte yanlış gidebilecek şeyler neler olabilir?
- Bir müşteri objektif olarak neleri düşünür, göz önüne alır?
- Müşteri merkezli bir yaklaşımla nelerin ters gidebileceği tahmin edilir.

Olası hata türleri tanımlanırken;

- Müşteri şikayetlerinden,
- Bakım raporlarından,
- Benzer ürün veya sitem bilgilerinden,
- Daha önce yapılan FMEA raporlarından,

faydalanılır [50].

2.12.2. Olası Hata Nedenlerinin Belirlenmesi

Potansiyel hata nedeni, hatanın nelerden nasıl oluşabileceğini belirtir. Hata ile nedeni arasında direkt bir bağlantı vardır ve “eğer... olursa, ... olur” kalıbı kullanılarak potansiyel hata nedenleri belirlenir. Kök nedenleri bulmak çok önemlidir. Çünkü olası hataların yok edilmesinde uygun kontrollerin ve hareket planlarının oluşturulması gerekmektedir ve adımların doğru yapılmasında kök nedenler oldukça önemli rol oynar. Bir hata birden çok nedenden meydana gelebilir ya da bir neden birden çok hataya sebep olabilir. Bunda dolaylı neden-sonuç ilişkisinin iyi kurulması gerekmektedir [25].

2.12.3. Olası Hata Etkilerinin Belirlenmesi

Hatanın olası etkisi, müşterinin bu hata sonucunda oluşan düşünceleri olarak tanımlanabilir. Olası hata etkisi, hatanın ortaya çıktığı kabul edildiğinde müşterinin neyin farkında olacağı ile ilgilenmektedir. Buradaki müşteri, bir sonraki bölüm,

işlem, kişi ya da son kullanıcı olabilir. Olası hata etkisi, “Bu hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?” sorusuna cevap aranarak saptanmaktadır. Olası hata etkilerini saptamada kullanılan kaynaklardan bazıları şöyle sıralanabilir [40].

- Müşteri şikayetleri,
- Garanti verileri,
- Benzer ürün için yapılmakta olan veya yapılmış FMEA sonuçları,
- Güvenilirlik verileri,
- İlgili deney çalışmalarının sonuçlarından elde edilen veriler.

2.12.4. Mevcut Kontrollerin Belirlenmesi

Mevcut kontroller, FMEA çalışması yapıldığı sırada söz konusu hata türünün ortaya çıkmasını veya müşteriye ulaşmasını önlemek için kullanılmakta olan mekanizmalardır. FMEA çalışmasında düşünülmesi gereken kontroller sadece olası hata türünün saptanabilme derecesini bulmada katkıda bulunacak kontrollerdir. Bir hatanın ortaya çıkmasını önlemek veya azaltmak için yapılan kontroller ortaya çıkma derecesini bulmada katkı sağlarlar [40]. Mevcut kontroller bulunurken “Bu hata türü nasıl saptanmaktadır?” ve “Bu hata türü nasıl fark edilmektedir?” sorularına cevap aranmaktadır. İşletmeler de yapılan ağırlık, boyut kontrolleri, çalışırılık testleri, kaçak kontrolleri, gözle muayeneler vb. önlemler mevcut kontrollere örnek gösterilebilir.

2.13. HATA TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

FMEA, kaynakları etkin bir şekilde kullanmak amacıyla hataları önceliklendirmektedir ve en yüksek önceliğe sahip hatadan başlayarak önlem almaktadır. Böylelikle aşama aşama hatalar kabul edilebilir bir düzeye indirilmektedir. FMEA hataların öncelik sıralarını Olasılık, Şiddet, Tespit Edilebilirlik değerlerine göre belirler. Bu aşamada her bir olası hatanın risk esasına göre kritiklikleri belirlenir. MIL-STD-1629A'da kritiklik "Hata türü ve onun ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının görelî ölçüsüdür" şeklinde tanımlanmaktadır. Kritikliği belirleyen ölçüt risk öncelik sayısıdır. Risk öncelik sayısı, risk faktörlerinin olasılık

değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Risk öncelik sayısının bir değeri veya anlamı yoktur, sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar [54].

Hataların türlerinin değerlendirilmesi;

- Olasılık (Sıklık, ortaya çıkma),
- Şiddet (Ağırlık, ciddiyet) ,
- Tespit Edilebilirlik (Saptama, bulma, yakalama) ve
- Risk Öncelik Sayısının

puanlandırılmasıyla mümkün olacaktır [45].

2.13.1. Olasılık Değerinin Belirlenmesi

Ortaya çıkma, hatanın oluşma olasılığıdır [42]. Bu değere hatanın frekansı da denir [46]. Hatanın ortaya çıkma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşme olasılığıyla ilgilidir [36]. Olasılıkların derecelendirilmesinde farklı skalalar kullanılmaktadır. Fakat bunlar arasında en yaygını 1-10 skalasıdır. Çizelge 2.1' de onlu bir skala verilmiştir.

Çizelge 2.1. Olasılık değer skalası.

Ortaya Çıkma İhtimali	Hata İhtimali (İşgünü olarak)	Derece
Neredeyse Hiç	< 1:20.000	1
Düşük	1:20.000	2
Orta	1:10.000	3
	1:2.000	4
	1:1.000	5
	1:200	6
Yüksek	1:100	7
	1:20	8
Çok Yüksek	1:10	9
	1:2	10

2.13.2. Şiddet Değerinin Belirlenmesi

Şiddet değeri, potansiyel hatanın diğer bileşene, alt sisteme, sisteme ya da müşteriye olan etkisini belirten değerdir [47]. Şiddet değeri belirlenirken yine takımın tecrübelerinden ve geçmiş kayıtlardan yararlanılır. Geçmişte oluşmuş ve yeni oluşabilecek benzer hatalar incelenerek karar verilir. Çalışma içinde belirlenen bir hata geçmişte yaşanan hatalarla benzerlik göstermiyorsa takımın tecrübelerine göre değerlendirme yapılır. Çizelge 2.2’ de 1-10 arası puanlama sistemi kullanılarak örnek bir skala gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Şiddet etki skalası.

ŞİDDET ETKİ SINIFLAMASI		
ETKİ	ŞİDDETİN ETKİSİ	DERECE
Uyarısız Gelen Tehlike	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	10
Uyarısız Gelen Tehlike	Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	9
Çok Yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3.derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata	8
Yüksek	Ekipmanın tamamen hasar görmesine sebep olan ve ölüme, zehirlenme, 3.derece yanık, akut ölümcül hastalık vb. etkiye sahip hata	7
Orta	Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata	6
Düşük	Kırık, kalıcı küçük iş görmemezlik,2.derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip hata	5
Çok Düşük	İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata	4
Küçük	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata	3
Çok Küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata	2
Yok	Etki yok	1

2.13.3. Tespit Edilebilirlik Değerinin Belirlenmesi

Tespit Edilebilirlik değeri, işletmenin uyguladığı kontrol işlemlerine bağlı olarak hatayı yakalayabilme yeteneğidir. Bir başka deyişle kontrol yöntemlerini uygunluk ve etkinlik açısından değerlendirilmesidir. Tespit edilebilirlik yeterince sağlanabiliyorsa bile fazla miktarda kontrol etmenin maliyet ve zaman açısından yük getirdiği düşüldüğünde hatanın ortaya çıkma olasılığını azaltıcı çalışmalar yaparak, kontrol sayısını azaltmak en etkin yol olmaktadır [37]. Çizelge 2.3' de gösterildiği gibi 1-10 arası puanlama sistemi ile hatanın tespit edilme derecesi gösterilmiştir [48].

Çizelge 2.3. Tespit edilebilirlik skalası [25].

TESPİT ETME	KRİTER	DERECE
Tespit Edilemez	Tespit etme imkanı yok	10
Çok Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği çok uzak	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği uzak	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği çok düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği orta	5
Yüksek Ortalama	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği yüksek ortalama	4
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Keşfedilebilirliği yüksek	3
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği çok yüksek	2
Hemen Hemen Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın Tespit edilebilirliği hemen hemen kesin	1

2.13.4. RÖS Sayısının Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), belirlenen Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Tespit Edilebilirlik (T) değerlerinin çarpımıyla elde edilir. Bu değer, iyileştirme faaliyetlerinin başlangıcında sistem ya da servis kullanıcılarına hata seçme konusunda bir kriter oluşturmaktadır [43]. Risk öncelik sayısı en yüksek olandan en düşük olana kadar FMEA çalışması boyunca belirlenen tüm potansiyel hatalar sıraya konulmaktadır.

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Olasılık (O)} \times \text{Şiddet (Ş)} \times \text{Tespit Edilebilirlik (T)}$$

Sıralanmış hatalar içinde bir öncekinden daha yüksek RÖS değerine sahip hata türleri, en fazla risk teşkil eden ve dolayısı ile daha öncelikli iyileştirme faaliyeti gerektiren hataları ifade eder [46]. Bu nedenle en yüksek RÖS değeri olan hata türünden başlanarak sırası ile diğer hata türleri için tek tek iyileştirme adımları uygulanır. Burada önemli olan RÖS değeri için bir eşik değerinin belirlenmesidir. RÖS değeri, FMEA takımı tarafından belirlenecek eşik değerinin üstünde kalan hata türlerinin için iyileştirme adımları uygulanırken, eşik değerinin altında kalan hata türleri için bir fonksiyon uygulanmaz. Aşağıdaki çizelgede RÖS değerlerinin eşit değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. Risk öncelik sayılarının gösterimi.

Sıra	Risk Öncelik Sayısı	Karar
1	1 - 50 arası	Düşük Riskli
2	50 - 100 arası	Orta Riskli
3	100 - 200 arası	Yüksek Riskli
4	200 - 1000 arası	Çok Yüksek Riskli

Uygulamada kullanılan en yaygın yaklaşım ise eğer RÖS 100 den büyük ise mutlaka önlem alınması gerektiği ve RÖS değeri en yüksek olan hata türünün öncelikle ele alınması şeklindedir. Uygulamalarda RÖS ile ilgili rastlanan durumlardan biri de

farklı hataların aynı RÖS değerine sahip olmasıdır. Aynı RÖS değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı ve sonra da saptama değeri yüksek olan ele alınmalıdır. Şiddeti yüksek olan hata önceliklidir, çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir. Tespit edilebilirlik, olasılık değerinden daha önemlidir çünkü burada söz konusu olan hatanın müşteriye ulaşmasıdır. Müşteriye ulaşan hatalara, sık ulaşan hatalardan daha öncelikli olarak yaklaşılmalıdır [50].

Önlem alınacak hata türlerine karar verildikten sonra alınacak önlemler belirlenmektedir. Her ürün veya süreç farklı özelliklere sahip olduğundan belirlenmesi gereken önleyici ve düzeltici faaliyetler de farklı olmaktadır. FMEA ekibi farklı tekniklerden faydalanarak önlemleri kendi bilgi ve tecrübesine göre belirlenmelidir. Fakat FMEA uygulamasında amacın riski yani risk öncelik sayısını düşürmek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle önleyici faaliyetler ile aşağıdakilerden en az biri gerçekleşmelidir.

- Olasılığının düşürülmesi,
- Şiddetin düşürülmesi,
- Tespit edilebilirlik değerinin düşürülmesi

2.13.5. Alınacak Önlemlerin Belirlenmesi ve Uygulanması

Düzeltilici faaliyetler, RÖS değeri daha önceden belirlenmiş olan eşik değerini aşan hatalar için uygulanmaktadır. Bu iyileştirme çalışmaları ile RÖS değerleri aşağıya çekilmeye çalışılır. Olasılık, Şiddet ve Tespit Edilebilirlik değerleri küçültülerek RÖS değeri aşağıya çekilmiş olmaktadır. Tüm bu bileşenlerin değerlerinin azaltılmasında şu noktalara dikkat edilmelidir [48].

İyileştirme adımları tasarım değişikliği, deney tasarımı, toleransların değiştirilmesi, test yöntemlerinin iyileştirilmesi, test faaliyet planı, süreç akış diyagramları, yerleşim planı, iş planı ya da bakım planlarının iyileştirilmesi, ekipman, donanım ve makine spesifikasyonlarının gözden geçirilmesi ile sağlanabilir [37]. İyileştirme adımları FMEA takımı tarafından uygulanabileceği gibi her konu ile ilgili görev verilen kişi

veya farklı gruplarca da ele alınabilir. Belirli bir form çerçevesinde çalışmaların tamamlanması istenir. Uygulamaların takibi ve değerlendirilmesinin takım tarafından yapılması daha uygun olmaktadır [29]. Sonuçlar raporlanarak üst yönetime sunulmalıdır.

2.13.6. Yeni RÖS Değerinin Hesaplanması

Belirlenen önlemlerin uygulanmasından sonra FMEA'nın başında belirlenen potansiyel hatalar için yeni bir RÖS değeri hesaplanır. Aynı hatalar için yeni değer, öncekinin ne kadar altında olduğu belirlenir. Yeni değer istenilen seviyeye inmiş ise uygulanan önlemler başarı ile sonuçlanmıştır. İstenilen seviye için belirli bir limit yoktur. Bu tamamen takımın kararına bağlıdır. Eğer önlemler sonucu istenilen değere ulaşamadıysa olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik tekrar gözden geçirilmeli, yeni önlemler kararlaştırılmalıdır. Gerekli ise yeni bir FMEA uygulaması başlatılmalıdır [48].

BÖLÜM 3

BULANIK MANTIK

3.1. GİRİŞ

Bulanık mantık, tam ve kesin olmayan bilgilere dayanarak tutarlı ve doğru kararlar vermeyi sağlayan düşünme ve karar verme mekanizması olarak adlandırılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışma imkânı vermektedir. Bulanık mantık sistemlerin matematiksel modellerine ihtiyaç duymadan dilsel değişkenlerin kullanılmasıyla kontrol işlemlerini gerçekleştirmektedir [49].

Bulanık Mantık, Aristoteles' in "Sadece doğrular ve yanlışlar vardır" mantığına alternatif olarak kendini ifade eder. Modern teknolojinin kullandığı kodlama biçimi olan 0,1 mantığına karşın bulanık mantık, 0 ile 1 arasındaki değerlerin varlığından bahsetmektedir. Klasik mantık 30 C 'yi "sıcak" kümesinin sınırı olarak kabul ediyorsa, 29,9 C 'yi sıcak olarak kabul etme hakkını kaybetmektedir. Aradaki bu küçük fiziksel fark, klasik mantık için hayati anlam ifade etmektedir. Çünkü bu değerün üyelik kümesi değişmiş ve 29,9 C "sıcak" olma kümesinden dışlanmaktadır. Oysa günlük hayatta bu kadar küçük bir farkın önemi yoktur ve değişimler bu kadar kesin sınırlarla ifade edilmez. Bulanık mantık bu tür keskin sınırları kaldırarak, 29,9 C 'yi " hemen hemen" tamamen (1'e yakın bir değerle) sıcak olarak kabul eder. Bulanık mantık fiziksel dünya ile bilimsel dünyanın paralel bakış açısıyla çalışan bir sistemi ortaya atar. Klasik mantık için "soğuk" ya da "sıcak" olma vardır. Bulanık mantık ise "soğuk-sıcak" gibi kavramların yanında, "az soğuk", "çok sıcak", biraz sıcak" gibi söylemleri de kabullenir ve bunları matematiksel olarak tanımlamaya çalışır [51].

Klasik mantığın kesin bilgi anlayışına karşın günlük hayatta karmaşa ve belirsizlikler vardır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncelerinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işlemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın tam olarak kavranılması insan bilgisinin yetersizliği sonucunda tam anlamı ile mümkün olamadığından insan, düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlarda bulunur. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme ve oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh tarafından gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelemeye alınır, çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. Çünkü çok fazla olan bilgi kaynaklarının tümünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz.

Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgileri de ihtiva ettiği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenemez [52]. Bulanık mantığın en çok geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunamaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyulan hallerdir. İnsan düşüncesinde sayısal olmasa bile belirsizlik, yararlı bir bilgi kaynağıdır [53].

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından şu şekilde ifade edilmiştir [54];

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.

- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.

Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

3.2. BULANIK MANTIĞIN TARİHSEL GELİŞİM

Bulanık mantık kavramı ilk defa Amerika Birleşik Devletleri'nde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında duyurulmuştur. Ancak bu konudaki ilk ciddi adım 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından yayımlanan bir makalede bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adı altında ortaya konulmuştur [55].

Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ile modellemesini başarmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ama sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır. 1980 yılında bir Hollanda şirketi çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık denetim uygulamıştır. 3 yıl sonra Fuji elektrik şirketi su arıtma alanları için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapmıştır. 1987'de ikinci IFSA kongresinde ilk bulanık mantık denetleyicileri sergilenmiştir. Bu denetimler 1984 yılında araştırmalara başlayan Omron şirketinin 700'den fazla yaptığı uygulamayı içermektedir. Japon Sendai Metrosun da bulanık denetleyicilerle kontrol edilmektedir. Bulanık Mantık çalışmaları, Batı da çok yavaş olurken, Doğu'da ve özellikle Japonya, Singapur, Kore ve Malezya'da kendisini fazlaca göstermiştir [53].

3.3. BULANIK MANTIK UYGULAMA ALANLARI

Bulanık mantıkla ilgili yöntem ve tekniklerin yaygın olarak kullanıldığı temel konular görüntü işleme, sinyal işleme, denetleyici sistemler, uzman sistemler, veritabanları ve veri madenciliği olarak sıralanabilir. Başlangıçta bulanık kümeler geleneksel yapay zeka karar destek sistemlerinin kırılmağını çözümlenmek

amacıyla, kurala dayalı sistemlerle bütünleştirilmiştir. Sonraki dönemlerde ise bulanık sınıflama ve örüntü tanıma yöntemleri kullanılmaya başlanmış, hibrid (karma) sistemler gündeme gelmişti ve bütünleşik sistemlerde bulanık mantığın değeri daha iyi anlaşılmıştır [56]. Sonuç olarak bulanık mantık kullanılan birçok araç günlük hayatımıza girmiştir. Örneğin;

- Hidroelektrik güç üniteleri için kullanılan Baraj kapılarının otomatik kontrolü (Tokio Electric Pow.)
- Stok kontrol değerlendirmesi için bir uzman sistem (Yamaichi, Hitachi)
- Klima sistemlerinde istenmeyen ısı iniş çıkışlarının önlenmesi
- Araba motorlarının etkili ve kararlı kontrolü (Nissan)
- Otomobiller için “Cruise-control” (Nissan, Subaru)
- Dokümanların arşivleme sistemi (Mitsubishi Elec.)
- Depremlerin önceden bilinmesi için Tahmin Sistemi (Inst. of Seismology Bureau of Metrology, Japan)
- İlaç teknolojileri: Kanser teşhisi (Kawasaki Medical School)
- Cep bilgisayarlarında el yazısı algılama teknolojisi (Sony)
- Video Kameralarda hareketin algılanması (Canon, Minolta)
- El yazısı ve ses tanımlama (Hitachi, Hosai Univ., Ricoh)
- Helikopterler için uçuş desteği (Sugeno)
- Çelik sanayinde makine hızı ve ısısının kontrolü (Kawasaki Steel, New-NipponSteel)
- Raylı metro sistemlerinde sürüş rahatlığı, duruş mesafesinin kesinliğini ve ekonomikliğin geliştirilmesi (Hitachi)
- Otomobiller için gelişmiş yakıt tüketimi [57].

Bulanık mantık kullanılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bulanık mantık kullanım gerekçelerini şu şekilde sıralayabiliriz [58]:

- Sistemin kesin bir matematiksel modelinin elde edilememesi gerekmektedir.
- Sistemlerin non-lineer olması, eldeki bilgilerin eksik olması veya sistemin çok karışık olması gibi nedenlerden dolayı matematiksel modelin elde edilememesi

veya elde edilse bile çok karmaşık olması nedeniyle klasik yöntemlerin uygulanmasından kaçınılması.

- Sistemin eksik veri ile çalışması mümkündür veya zorunludur, dolayısıyla çalışması bir uzmana bağlıdır.
- Sistem çıkışında düzgün ve yavaş bir değişim istenmektedir, ani ve kesin değişimlerin olması istenmemektedir.
- Sistem değişen koşullar ve bozucu etkiler altında çalışmak zorundadır.
- Sistemin esnek olması ve değişen koşullar altında minimum değişikliklerle çalışabilmesi istenmektedir.
- Sonuçlar klasik kontrol yöntemleri ile elde edilenden daha doğrudur ya da daha kolay veya doğrudan elde edilebilmişlerdir.
- Bulanık çıkarsama donanımları ve bulanık kontrollerin geliştirilmesi ile kontrol algoritmalarını geliştirme süresi ve maliyeti azalmıştır.
- Daha az kodlama ve daha az hafıza gereksiniminden dolayı donanım maliyetleri düşer.

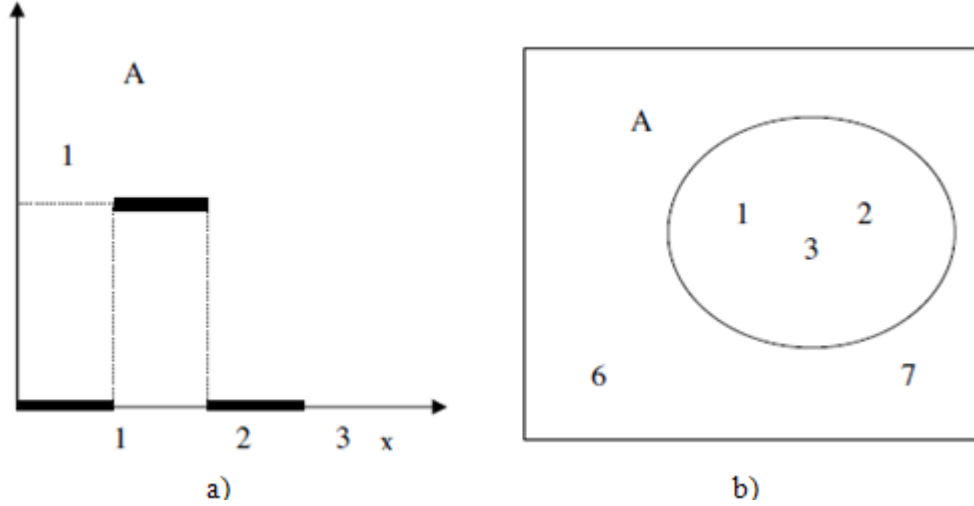
Bulanık kümeye dayanan bulanık mantığın dezavantajları ise şöyle sıralanabilir [58]:

- Uygulamalarda kullanılan kuralların mutlaka uzman deneyimine bağlı olarak koyulması gereksinimi,
- Üyelik fonksiyonları deneme ile bulunduğu için zaman kaybı olabilmesi,
- Bulanık mantık ile oluşturulan bir sistemin kararlılık analizinin yapılması [51].

3.4. BULANIK KÜME TEORİSİ

Klasik küme teorisinde, bir eleman bir kümeye kesin olarak ya girer ya da girmez. Bulanık küme teorisi ise, elemanların farklı üyelik dereceleriyle birden fazla kümeye girmesini sağlayan, klasik küme teorisinin genişletilmiş versiyonudur. Üyelik fonksiyonları bir elemanın bir kümeye ne kadar ait olduğunu gösteren değerlerdir. “0” olması durumu, elemanın kümeye ait olmadığını, “1” olması durumu ise kesin olarak ait olduğunun gösterir. 1’ e yakın değerler elemanın yüksek derecede kümeye

ait olduğunu, 0'a yakın değerlerde ise düşük derecede ait olduğunu gösterir. Aşağıdaki Şekil 3.1 a) ve Şekil 3.1 b)' de klasik bir küme tanımı yapılmıştır.

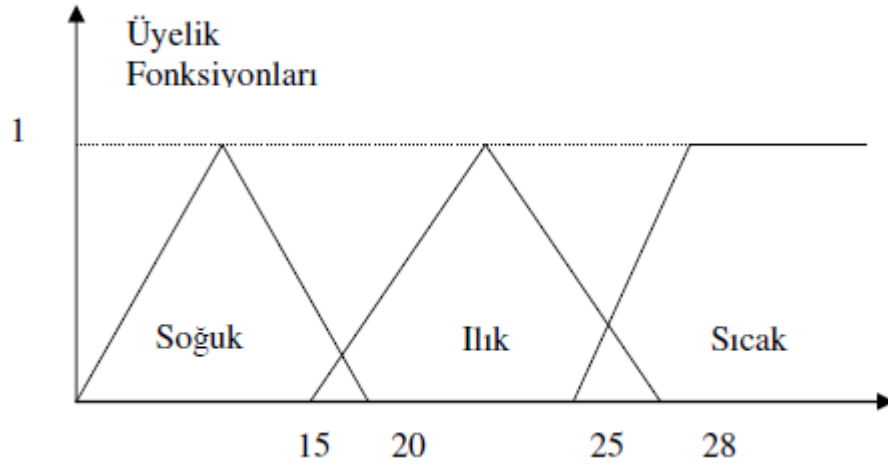


Şekil 3.1. Klasik kümelerin gösterimi a) Klasik küme-1 b) Klasik küme-2.

Bu ifadenin grafiksel gösterimi Şekil 3.1 a)' da verilmiştir. Böylece 1, 2 ve 3 elemanları A kümesinin elemanı olup, kümeye ait olma dereceleri 1 iken bunun dışında kalan tamsayılar A kümesinin elemanı değildir ve 0 üyelik derecesine sahiptir. A kümesinin bir başka gösterimi de Şekil 3.1 b)' de verilmiştir. Görüldüğü gibi A kümesinin sınırları kesin olarak belirlenmiş ve 6 ile 7 elemanları A kümesinin dışında kalmış yani 0 üyelik derecesine sahip olmuştur. Elemanların bu şekilde mevcut bir kümeye dahil edilip edilmemesi konusunda kesin bir sınırın bulunduğu klasik küme teorisi uygulamada esnek olamamaktadır. Günlük yaşantımızdan, bilimsel araştırmalara kadar bu güne değin kullandığımız mantık yapısı içerisinde bir kümeyi oluşturan elemanlar, kesin olup bir eleman bir kümenin elemanıdır ya da değildir düşüncesini savunulmaktaydı. Bu tür kesin yargılara varabileceğimiz kümelere “keskin kümeler” denilmektedir. Ancak belirlilik derecesi ya hep ya da hiç dışına çıktığında ortaya bulanık kümeler kavramı çıkmaktadır.

25-35 derece arasının sıcak, 25 derecenin altının ılık aldığını farz edersek örneğin 30 derecelik bir hava sıcaklığı bizim için keskin kümeler açısından bakılırsa sıcak kabul edilecektir. Aynı şekilde 24,5 derece ılık sayılacak, 25,5 derece ise sıcak olacaktır. Biz bu yakın derecelerin hem sıcak hem de ılık olarak düşünülmesini isteyebiliriz

işte fark bu noktada ortaya çıkacak çünkü keskin kümelerde böyle bir gösterim düşüncesi oluşturulamamaktadır. Bu gösterimi ancak bulanık kümelerde yapabilir, istediğimiz geçişleri yansıtabilmektedir. Şekil 3.2’ de bulanık mantık kümesinin gösterimine bir örnek verilmiştir. Bu örneğe göre 15 dereceden küçük değerler soğuk, 15-20 derece arası hem soğuk hem ılık, 25 dereceden büyük değerler sıcak, 25-28 derece arası hem ılık hemda sıcak olarak tanımlanmıştır [57].



Şekil 3.2. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları [57].

3.5. BULANIK KÜME İŞLEMLERİ

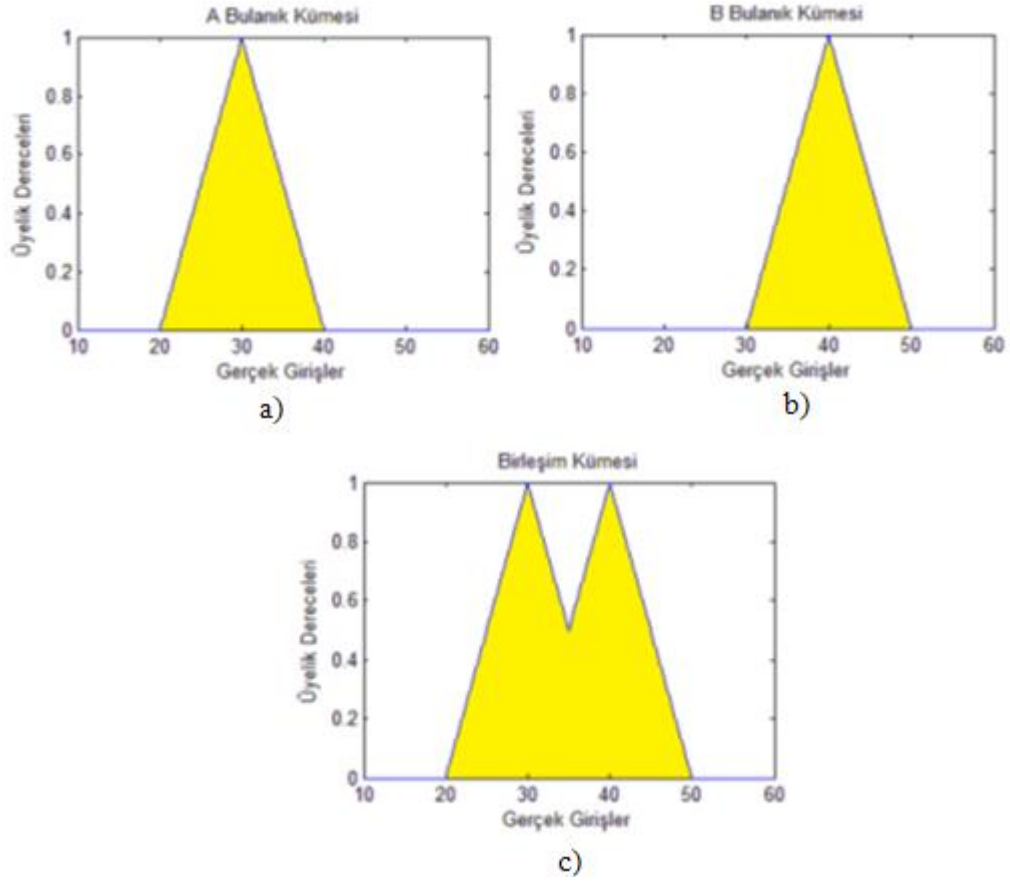
Bulanık kümelerde klasik kümelerdeki gibi işlemler yapılmaktadır. Aşağıda küme işlemleri anlatılmaktadır.

3.5.1. Bulanık Kümelerde Birleşim

A ve B iki bulanık küme olmak üzere bu iki bulanık kümenin birleşim kümesi;

$$\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Bu işlem, iki bulanık kümeye ait elemanların ait oldukları kümelerdeki üyelik derecelerinin karşılaştırılarak en büyük olan üyelik derecelerinin birleşim kümesine atanması esasına dayanır.



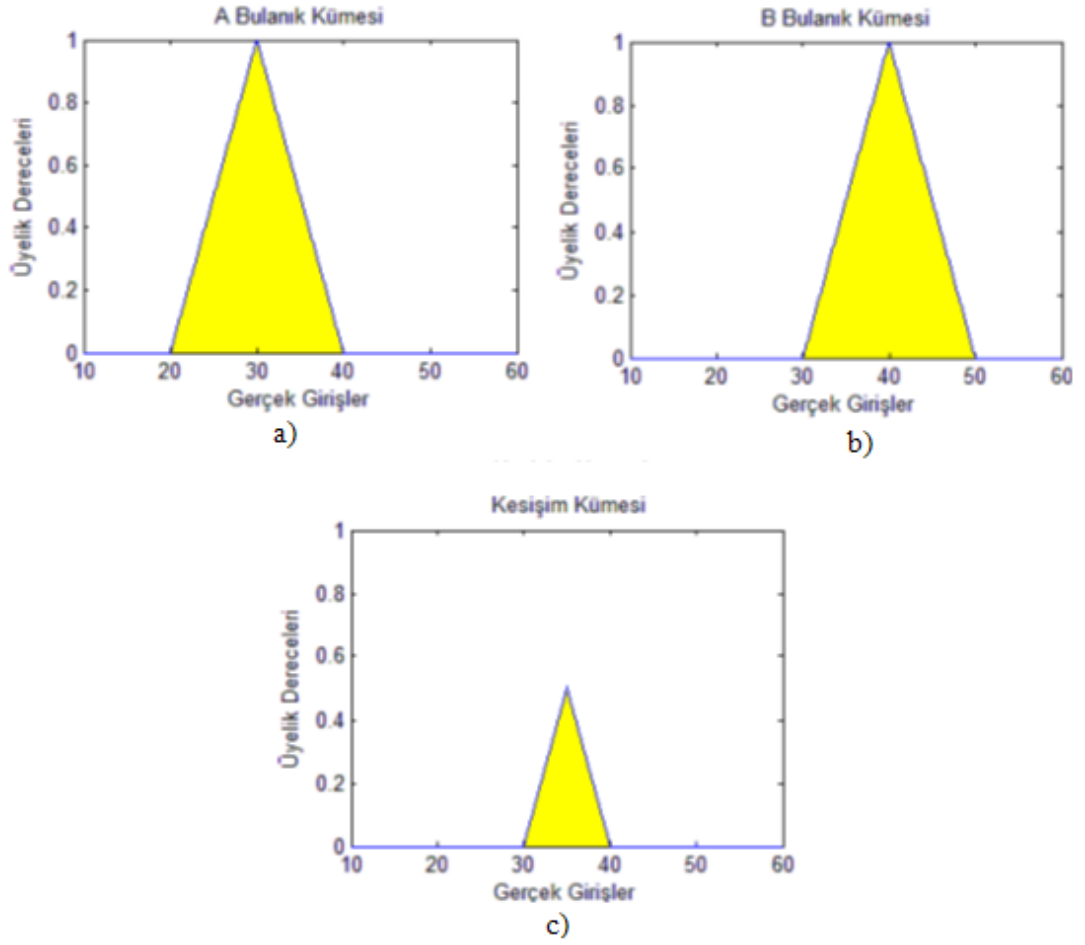
Şekil 3.3. A ve B bulanık kümeleri a) A kümesinin girişleri b) B kümesinin girişleri c) Birleşim kümesi [59].

3.5.2. Bulanık Kümelerde Kesişim

A ve B iki bulanık küme olmak üzere bu iki bulanık kümenin kesişimi;

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

şeklinde ifade edilir. Bu işlemde ise, iki bulanık kümeye ait elemanların ait oldukları kümelerdeki üyelik derecelerinin karşılaştırılarak küçük olan üyelik derecelerinin birleşim kümesine atanması esasına dayanır.



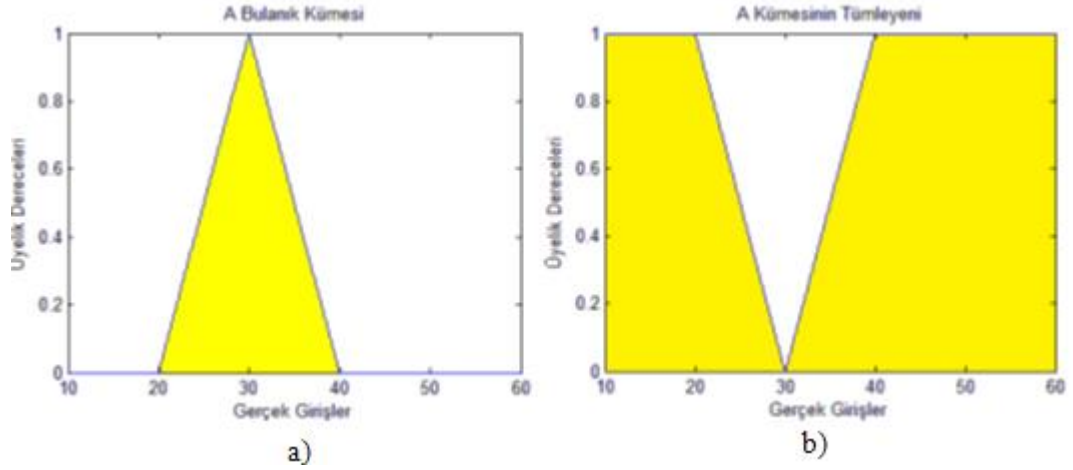
Şekil 3.4. A ve B bulanık kümesi kesişim işlemi a) A kümesinin girişleri b) kümesinin girişleri c) Kesişim kümesi [59].

3.5.3. Bulanık Kümelerde Tümlleme İşlemi

Bulanık bir kümenin tümlenyeni, bu kümeye ait elemanların üyelik derecelerinin 1'den çıkartılmasıyla hesaplanır. Bir A kümesinin tümlenyeni;

$$\mu_{A^-}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.3)$$

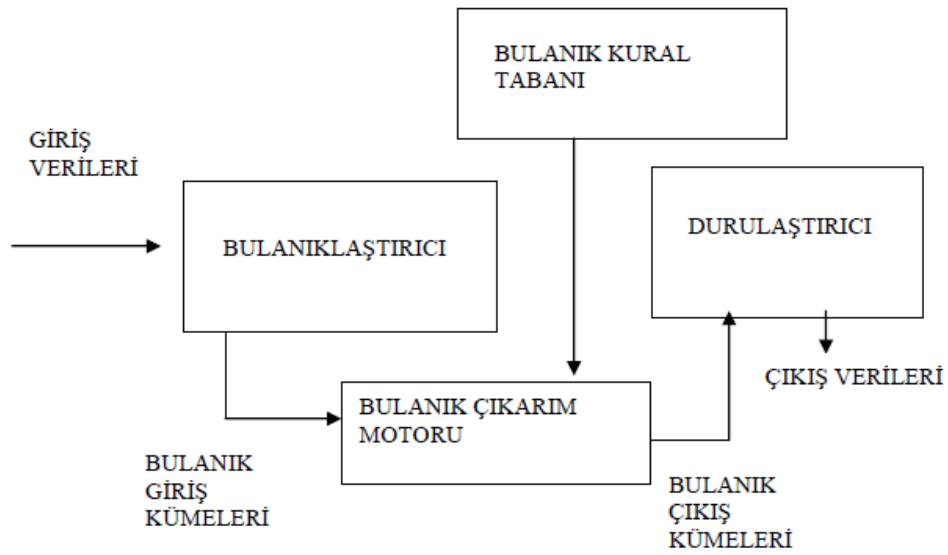
(3.3) basit formülü ile hesaplanır.



Şekil 3.5. A ve B kümesi a) A bulanık kümesi b) A kümesinin bulanık tümlenyeni [59].

3.6. BULANIK SİSTEM

Bulanık kümeler ya da bulanık mantığı ve buna karşılık gelen matematiksel çatıyı kullanan statik veya dinamik sistemler bulanık sistemler olarak tanımlanır. Bu sistemler bulanık mantıkta çıkarım ve karar vermeye dayalı çalışma ilkeleri olan mekanik, elektriksel vb. istemlerdir [56]. Bulanık sistemin yapısı Şekil 3.6’ da gösterilmektedir. Bulanık sistemler genel olarak bulandırma ara yüzü, kural tabanı, çıkarım motoru ve durulama ara yüzü olmak üzere dört bölümden oluşur [45].



Şekil 3.6. Bulanık sistemlerin genel yapısı [52].

Bulandırma ara yüzü; kesin girdi değerlerini bulanık değerlere çevirir. Bunun için girdi değerlerini alır, girdi değişken aralığının uygun evrensel kümeye dönüştürülmesini sağlar ve girdi verilerini sözel değerlere (bulanık kümelere) dönüştürmektedir. Kural tabanı; stratejiyi ve kuralları sözel ifadeler aracılığı ile tanımlar. Kural tabanı sözel olarak ilgili sistemin modellenmiş hali olarak görülebilir.

Çıkarım motoru; bulanık kavramlara dayalı olarak insan karar verme işlevini taklit eder. Ayrıca bulanık içerme ve sözel kuralları kullanan bulanık denetim etkinliklerini uygular. Çıkarım motoru akıl yürütme işlemini elde etmek üzere uygulanmaktadır [53].

Durulama ara yüzü ise bulanık çıktı değerlerini kesin değerlere çevirmektedir. Bir sistem hakkında ne kadar çok bilgi sahibi olunursa, sistem o kadar daha iyi anlaşılabilir. Sistem hakkındaki karmaşıklıklar azalır, fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemlerin karmaşıklığının fazla olması ve yeterli miktarda veri bulunmaması bulanıklığı etkili kılmaktadır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilmektedir [60].

Bulanık uzman sistemler lineer ve non-lineer kontrol, örnek tanıma, finansal sistemler, işletme araştırmaları, veri analizleri v.b. birçok alanda kullanılmaktadır. Birçok sistem, bulanık sistemler yardımı ile modellenebilir ve hatta kopyalanabilir. Günümüzde bulanık mantığın uygulama ve araştırmalarda dünya çapında yaygınlaştığı görülmektedir. Bunlardan bazıları; yüksek boyutlarda bulanık modelleme, tıbbi görüntüleme örnek tanıma, akıllı otoyol için olay tespit tabanlı bulanık mantık vb. çalışmalardır. Bulanık mantık yaklaşımı ile modelleme aşağıdaki beş aşamada gerçekleştirilir.

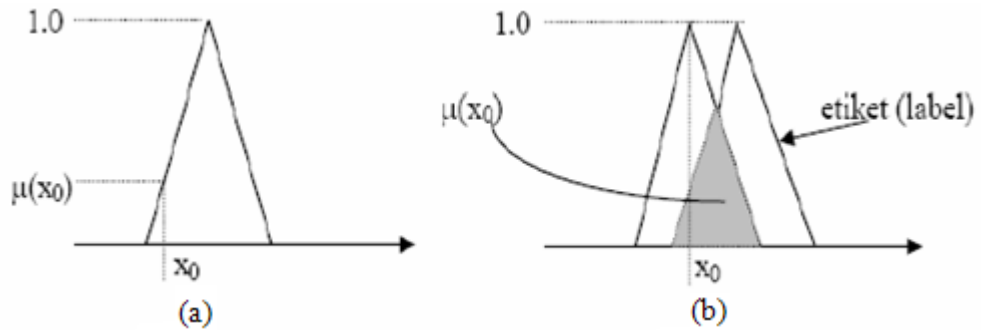
- Bulanıklaştırma
- Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

- Kural tabanı
- Bulanık çıkarım
- Durulama [45].

3.6.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma her bir kural varsayımının doğruluk derecesini belirlemek için gerçek değerlere uygulanmış giriş değişkenleri üzerindeki üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ve sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürülme işlemidir. Bulanıklaştırma, üyelik işlevinden yararlanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişken değerleri atama işlemidir. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik şeklerde (üçgen, yamuk, çan ergisi vs.) bulanık kümeler seçilir.

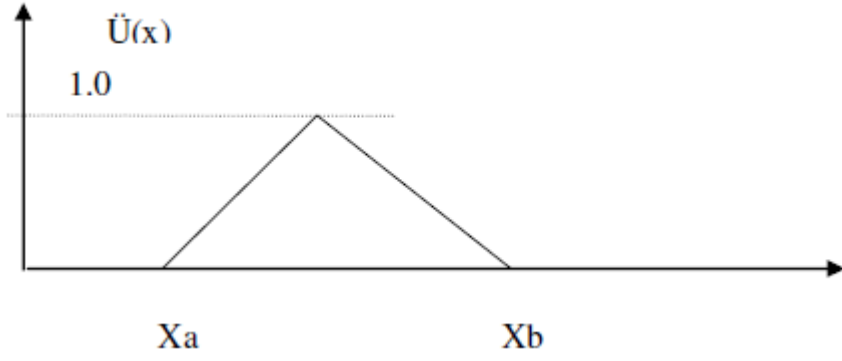
Eğer algılayıcı kesin bir değer olursa, o zaman Şekil 3.7 a)' da görüldüğü gibi bulanıklaştırma aşamasında dilsel etiketin üyelik fonksiyonuyla algılayıcı ölçme karşılaştırılması gerektirir. Eğer algılayıcı okuyucusunda gürültü var ise, üçgenin tepesi, algılayıcı ölçülerinin veri kümesinin değeri anlamında başvurulmuş üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak modellenmiş olabilmektedir ve bilgi tabanı standart sapma fonksiyonuna başvurmaktadır. Bu örnek, bulanıklaştırma üyelik fonksiyonunu Şekil 3.7 b)' de görüldüğü gibi anlamlandırılmış bir yapı haline getirmektedir.



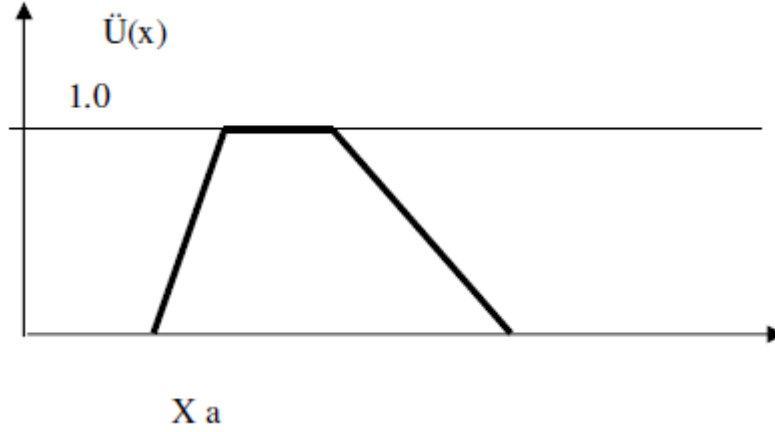
Şekil 3.7. Algılayıcılar a) Keskin algılayıcı b) Bulanık algılayıcı.

3.6.2. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

Bir bulanık küme, elemanlarının üyelik değerini belirlemek için üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan üçgen, yamuk, pi v.b. fonksiyonlar kullanılmaktadır. Tasarlanan sistemin özelliğine göre uygun bir üyelik fonksiyonu da tanımlanabilmektedir. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 3.8’ de, yamuk üyelik Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Şekil 3.8. Üçgen üyelik fonksiyonu.



Şekil 3.9. Yamuk üyelik fonksiyonu.

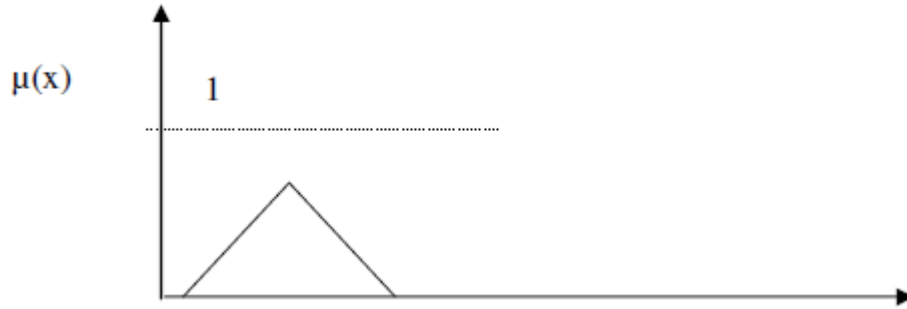
Aşağıdaki Şekil 3.10’ da üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarına ait denklemler verilmiştir.

$$\tilde{U}(u, a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u - a)/(b - a) & a \leq u \leq b \\ (c - u)/(c - b) & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases}$$

$$Y(u, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u - a)/(b - a) & a \leq u < b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ (d - u)/(d - c) & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases}$$

Şekil 3.10. Üyelik fonksiyonu denklemleri.

Eğer bulanık kümede yalnızca bir elemanın üyelik değeri 1 ise bu eleman, kümenin özel tipli elemanı olarak adlandırılır. Bunun dışındaki bulanık kümelere ise normal olmayan bulanık kümeler denir. Aşağıda Şekil 3.11’ de normal olmayan küme gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Normal olmayan bulanık küme.

3.6.3. Kural Tabanı

Kural tabanında, sistemin bilgi girişlerinin alabileceği çeşitli değerlere göre mantıki olarak uygunluk gösteren sistem çıkış değerleri, kural satırları haline getirilerek, kural tabanı oluşturulmaktadır [53]. Basit olarak bir sistem için kural tabanı geliştirdiğimizde, sistem çıkışını etkileyebilecek ölçülebilen giriş değerleri tespit

edilmelidir. Giriş bilgisine ait değer uzayı, üyelik fonksiyonları ile bölgelere ayrılarak, dilsel ifadelerle isimlendirilir ve aynı zamanda her giriş değeri için bir üyelik ağırlığı tespit edilmiş olur. Böylece her giriş değerinin, ait olduğu bir bölgesi ve bir üyelik ağırlığı olur. Kural tabanı, her birisi bir bölgeyi temsil eden dilsel ifadelerle düzenlenir. Örneğin “1. giriş sıcak, 2. giriş normal ise, çıkış yüksektir.” gibi bir kural satırında görüldüğü gibi, kural tabanını oluşturan bilgiler, tamamen dilsel ifadelerdir. Fakat her kural satırındaki, tespit edilmiş olan çıkış değeri, birim fonksiyonlarla oluşturulmuş ise, sayısal değerlerle de ifade edilebilir. Bu durumda oluşturulacak kural satırları “1. giriş sıcak, 2. giriş normal ise, çıkış 1.5 tir.” şeklinde bir kuralın benzeri olabilir [53].

Kural satırları Eğer-İse (If- Then) kelimeleri ile ayrılmış olan iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan EĞER ile İSE kelimeleri arasında bulunan kısma öncül veya ön şartlar, İSE kelimesinden sonraki kısma ise soncul veya kural çıkarımı adı verilmektedir. Aşağıda kaynaklarda kural tabanını açıklamak için yaygın olarak kullanılan iki örnek kural verilmiştir [61].

“EĞER hız düşük İSE gaza fazlaca bas”

“EĞER hız yüksek İSE gaza az bas”

Kural tabanı olası koşulların tamamını kapsayacak sayıda ve tutarlı kurallardan oluşmalıdır.

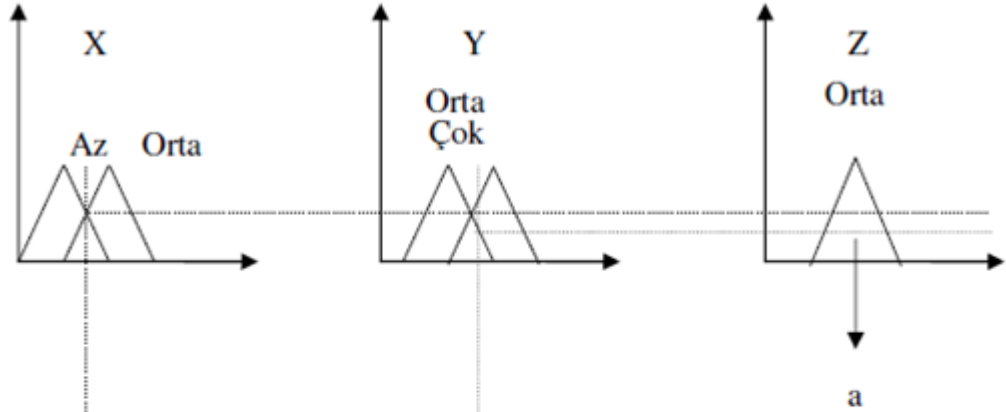
3.6.4. Bulanık Çıkarım

Minimum ilişki yöntemi kullanılarak elde edilen çıkarım sonuçları “ve” bağlacı kullanılarak yorumlanmaktadır. Bulanık mantıkta “veya” bağlacı maksimum işlemine karşılık gelmektedir. İlk olarak girişler arasında minimum işlemi uygulanarak, her bir kuralın çıkış üzerinde ne kadar etkili olacağı bulunmaktadır. Sonra çıkışlar üzerinde max işlemi uygulanarak bulanık sonuç elde edilmektedir. Eğer kurallar arasında aynı çıkışı veren kurallar mevcut ise bunların en büyüğü seçilerek diğer kural iptal edilmektedir. Şimdi iki tane kural yazalım. Kurallarımız,

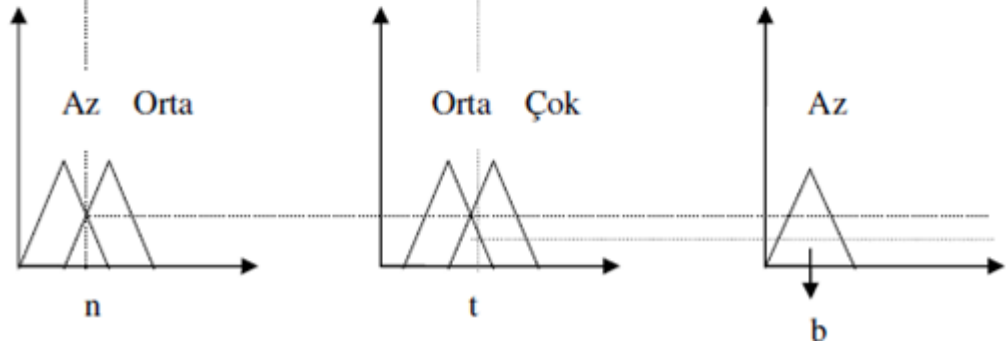
EĞER X Az VE Y Orta İSE Z Orta olacak,
EĞER X Orta VE Y Az İSE Z Az olacak,

şeklinde olsun. Aşağıda n ve t girdi değişkenlerine grafikleri şöyle tanımlayabiliriz; 1.Kuralda n girdi değişkenine göre A üçgeninin kesildiği nokta ile, t girdi değişkeninin Orta üçgenini kestiği nokta Orta üçgeninde uzatılarak birleştirilir ve bu çizgiler altında kalan 2 tane alan elde edilir. Bu alanların yüksekliği daha önce kesilen noktaların yüksekliği ile aynıdır. İlgilendiğimiz üçgenlerin kuralda yazılan üçgenler olduğu unutulmamalıdır. Aynı işlem 2. kural içinde yapılır. (Şekil 3.12). Bu adımlardan sonra minimum yüksekliğe sahip alanlı üçgen seçilecektir. Eğer değişkenler arasında VE kullanılmış ise buna bağlı olarak ortaya çıkacak fonksiyon En Küçük (EK) değeri olacaktır. Her iki üçgen alındığında Şekil 3.13' deki görünüm elde edilmektedir.

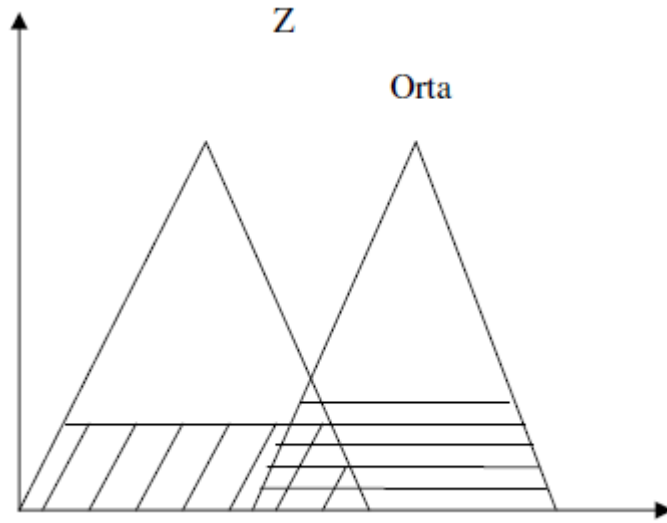
1.KURAL



2.KURAL



Şekil 3.12. $x=n$ ve $y=n$ olayları için bulanık çıkartım.



Şekil 3.13. Çıkartım olayında sonuç durumu için karar aşaması.

Şekil 3.13’ de verilen görünüm yukarıda verilen örnekten minimum kuralına göre seçilen alanlardır. İki kuralın sonucu farklı olduğu için (az ve orta) şekil yukarıdaki gibi ortaya çıkmıştır. Eğer iki kuralda ‘’orta’’ sonucuna varsaydı tek bir üçgende üst üste binmiş alanlar görülecektir. Elde ettiğimiz üçgende ise maksimum yükseklik sonuç olarak seçilmektedir [57].

ÖYLE İSE bağlantısının yapılmasında Mamdani-çıkartımı adı verilen çıkarım kullanılabilir. Bu çıkartımda sonuç çıkarımın doğruluk değerinin şartından daha büyük olmamalı temel düşüncesi yatmaktadır. Şartlar güncel bir durum için, örneğin sadece 0,5 değerinde üyelik derecesini karşılırsa böylece sonuç çıkarımın üyelik fonksiyonunun derecesi en fazla 0,5 değerini göstermelidir. Buna göre kuralın $A \rightarrow B$ üyelik fonksiyonu basitçe, her iki üyelik fonksiyonun en küçük değerinin mantıksal VE bağlantısında seçildiği gibi oluşturulmaktadır [62].

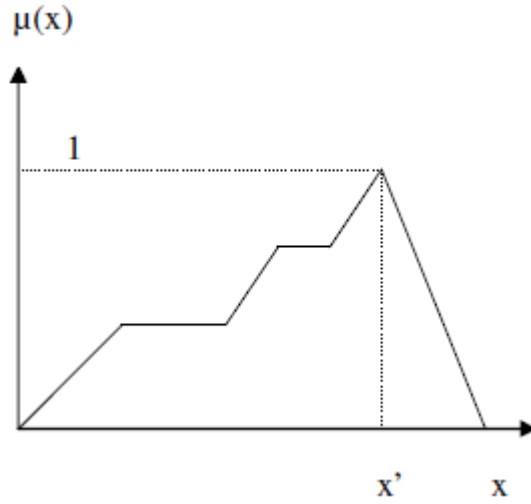
$$\mu_{A \Rightarrow B}(x,y) = EK(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.4)$$

Keskin olmayan EĞER... İSE.... kuralının modellenmesi için bütün gerçekleştirme şekillerinden en basiti olan bu uygulama (operatör), bulanık denetimde en çok kullanılmıştır. Çıkartım mekanizması Mamdani-çıkartımı esasına dayanıyorsa EB-EK (MAX-MIN) çıkarımından söz edilir.

3.6.5. Durulama

Bu adım, çıkarım ünitesinden gönderilen kontrol işaretinin fiziksel ve kesin sayılara getirilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.13’ te verilen sonuçlandırma işlemi bir durulama işlemidir. Durulayıcı, bu işlemi aşağıda kullanılan yöntemlerden birini kullanarak yapmaktadır. Bu yöntemlerden en önemli beş adet yöntem aşağıda incelenmiştir.

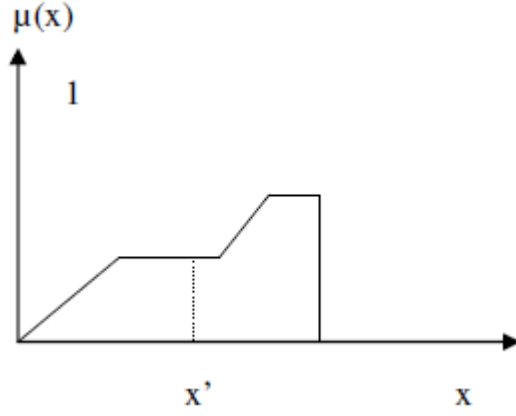
Üyelik Fonksiyonunun Max Noktası (Max - Membership Principle): Bu yöntemin diğer bir adı ‘‘Yükseklik Yöntemi’’ dir ve kuralların en büyük üyelik derecesi alınır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Yükseklik yöntemi.

Merkez Yöntemi (Centroid Method): Alan merkezi ya da ağırlık merkezi de denilen bu yöntem, durulama yöntemi olarak çok kullanılan yöntemlerden biridir ve ağırlık merkezi hesaplanarak yapılmaktadır (Şekil 3.15).

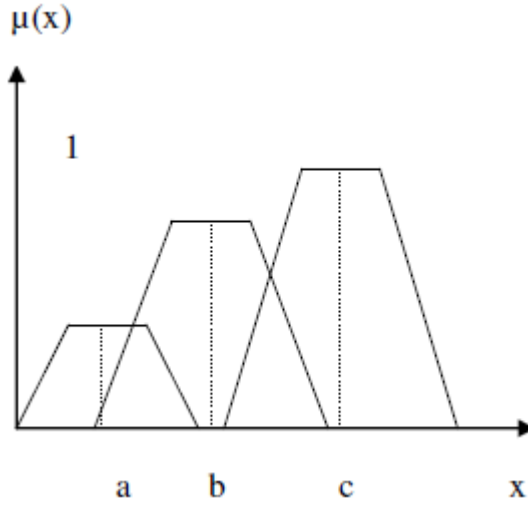
$$X' = \frac{\int \mu(x)x}{\int \mu(x)dx} dx \quad (3.5)$$



Şekil 3.15. Merkez yöntemi.

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi (Weighted Average Method): Yalnızca simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonlarının üyelik değerinin tepe noktası değeri belirlenerek, ortalamaların alınmasıyla yapılır (Şekil 3.16).

$$X' = \frac{\sum \mu(\bar{x})\bar{x}}{\sum \mu(\bar{x})} \quad (3.6)$$

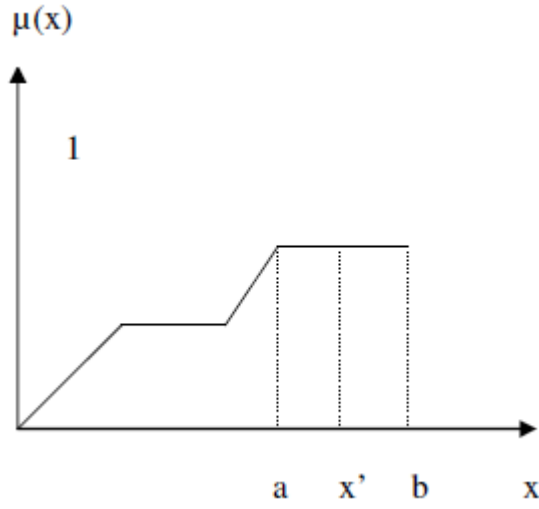


Şekil 3.16. Ağırlıklı ortalama yöntemi.

Üyelik İşlevinin Max Noktalarının Ortalaması (Mean – Max Membership=MOM): Yüksek noktaların ortası da denilen bu yöntem, ilk yöntemle benzemektedir. Ancak üyelik işlevinin en yüksek noktası burada tek değildir (Şekil 3.17).

$$X'=(a+b)/2$$

(3.7)

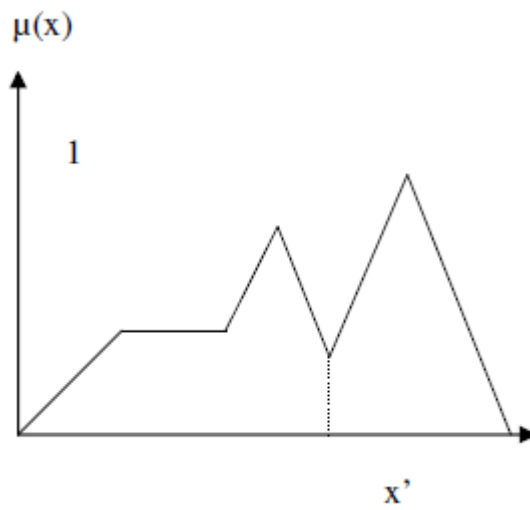


Şekil 3.17. Üyelik işlevinin maksimum noktalarının ortalamaları.

Geniş Alan Merkezi (Center of Largest Area =COA): Bulanık çıkarımlar en az iki tane dışbükey üyelik elamanından oluşuyorsa bu yöntem kullanılmaktadır ve dışbükey olmayan üyelik değerlerinin bileşkeleri parçalanarak durulanır. (Şekil 3.18).

$$X'=(\int \mu_{Ak}(x).x.dX) / \int \mu_{Ak}(x).dX$$

(3.8)



Şekil 3.18. Geniş alan merkezi.

BÖLÜM 4

DEMİR-ÇELİK HADDEHANESİNDE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ ÇALIŞMASI

4.1. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmada, Bartın ilinde Demir-Çelik Sektöründe 15 yıldır aktif olarak hizmet veren TUĞRA Demir-Çelik Haddehanesinde haddeleme süreçlerindeki risk durumları incelenmiştir. Bu amaçla uygulama yapılan haddehane, tüm bölümleriyle gezilmiş, işyeri İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) yetkilileriyle işyeri çalışma ortamı hakkında görüşmeler yapılmış, işletmenin bölümlerinde daha önce yaşanmış kazalar, ramak kala olaylar, yaralanma türleri ve edinilmiş tecrübeler dikkate alınarak tehlike kaynakları tespit edilmiş, risk değerleri belirlenmiştir.

4.2. HADDEHANE TANIMI VE PROSESLERİ

Haddehane, kütük halindeki çeliğin tav fırınında tavlanması ardından farklı kesitlerdeki hadde gruplarından geçirilerek istenilen kesitlerde nervürlü veya düz yuvarlak inşaat demiri haline getirilmesi işlemlerinin bütünü olarak nitelendirilebilir.

4.2.1. Tavlama Prosesi

Tav fırınında kütüklerin tavlama işleminin yapıldığı işlemidir. Çeşitli boyutlardaki kütükler tavlama fırına getirilerek istenilen ebatlara göre üretim yapılır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kütüklerin tav fırınında gerekli sıcaklığa kadar tavlınması.

Tav fırınında yanma kontrolü otomasyonla sağlanmaktadır. Fırın içi serbest oksijen değeri online olarak sürekli takip edilmektedir. Fuel Oil ve yanma havası oranı ayarlanarak tam yanma sağlanmaktadır. Fırın içindeki serbest oksijen miktarı ideal oran olan % 1 civarında tutulmaktadır. Baca gazı, bacadan atmosfere salınmakta veya karbondioksit fabrikasına gönderilmektedir. Karbondioksit fabrikasında baca gazından karbondioksit gazı ayrıştırılarak atmosfere salınımı önlenmektedir.

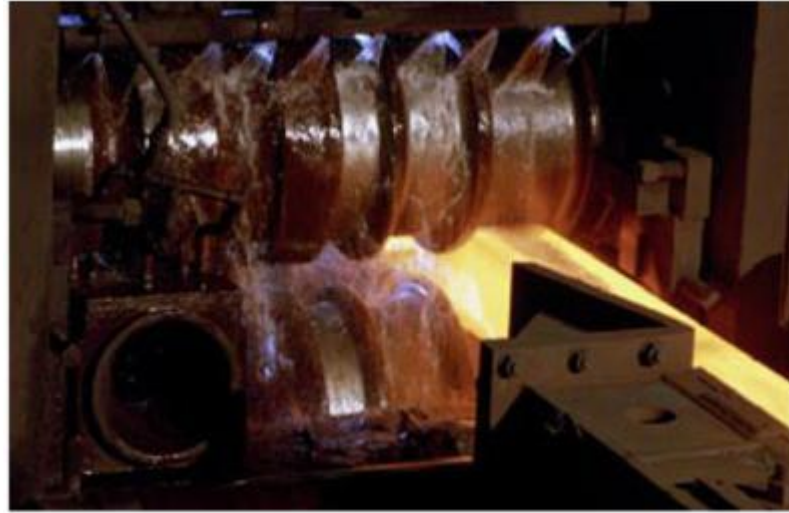
4.2.2. Haddeleme Prosesi

Fırından çıkan tavlınmış kütük müşteri talebine göre değişik ebatlarda mamul haline getirilmektedir. Haddeleme prosesinde 8-50 mm arası nervürlü ve düz yuvarlak inşaat demiri üretimi yapılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Haddeme prosesi.

Haddeme sistemi genel olarak ezme ve uzama prensibine dayanmaktadır. Tavlanmış kütük, yatık/dik, hazırlama, ara ve finiş hadde gruplarından geçerken kare, oval ve yuvarlak kesitler haline getirilerek ezilmekte, bu sırada boyu da uzayarak istenilen kesite getirilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Haddelenen çeliğin içersinden geçirilerek şekillendirildiği merdaneler.

Fırından çıkan kütükler 3 hadde grubundan geçmektedir. Her hadde grubunda yaklaşık 2-3 adet tezgah bulunmaktadır. Üretimi yapılacak ebada göre tezgah sayısı değişmektedir. Haddelme yapıldıktan sonra malzeme soğutma ünitesinden geçirilir. Soğutma işlemi ile standartların gerektirdiği mekanik özellikler sağlanır. Soğutma bölgesinden çıkan malzeme paketlenme bölgesine gelir.

4.2.3. Paketleme Prosesi

Boy makasında kesilen malzemeler röle yolu vasıtasıyla 120 metrelik “Temperit” adı verilen kontrollü soğutma platformuna gönderilmektedir. Şekil 4.4’ de soğutma platformuna gönderilen demir çubuklar gösterilmiştir. Izgarada soğutulan ve hizalanan mamul röle yoluna aktarılarak müşteri talebine göre 6-18 metre arasında kesilmektedir.



Şekil 4.4. Çeliğin soğutulması.

Kesilen bu malzemeler bağlama ünitesinde müşteri isteğine göre bağlanıp etiketlenmekte ve istif sahasına gönderilmektedir. Şekil 4.5’ de istiflenmiş demir çubuklar gösterilmektedir. Paketlerin uç kısımlarını boyamak için istenilen renkte boya kullanılmaktadır.



Şekil 4.5. Paketlenen çubuk demirlerin istiflenmesi.

4.2.4. Elektrik Bakım Onarım

Haddehane elektrik bakım çalışanlarının görevi, haddehane elektrik sisteminin bakım ve onarımını yaparak fabrikanın sürekli çalışmasını sağlamak, sorumlu olduğu alan içerisinde ilgili yasal mevzuat, iş sağlığı, iş güvenliği ve çevre ile ilgili şartları sağlamak ve uygulamak, hidrolik ünitelerini, gres ünitelerini, thermex ünitelerini, yağlama ünitelerini, vinçleri ve motorları kontrol etmektir. Ayrıca haddehanedeki bölümlerle ilgili periyodik bakım ve kontrolleri gerçekleştirmektir.

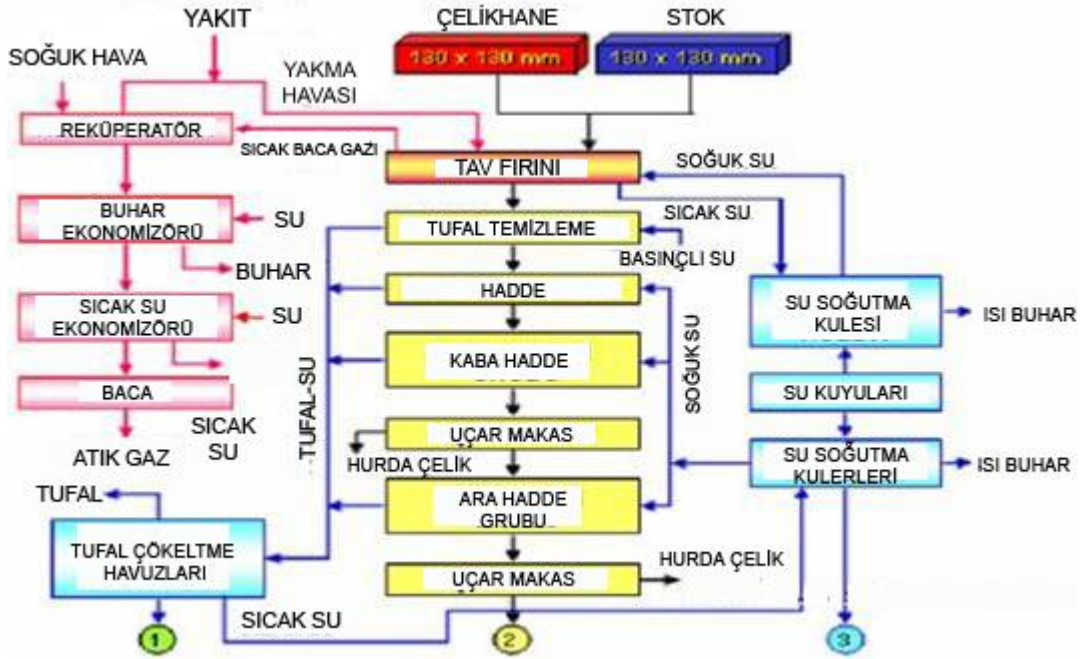
4.2.5. Mekanik Bakım-Onarım

Haddehane mekanik bakım-onarım bölümü çalışanlarının görevi, haddehanelerdeki her türlü mekanik, hidrolik ve pnömatik, makine ve ekipmanın kontrolünü, bakımını, değişimini ve yedeğinin hazırlanmasını sağlamaktır. Çalışanlar, bu görevleri yerine getirirken işletme ve diğer yardımcı bölümlerle işbirliği içindedir. Ayrıca haddehane bölümüne ait atölyede, torna, freze vb. tezgâhlarda her türlü mekanik ekipmanların onarım işlemi yapılmaktadır.

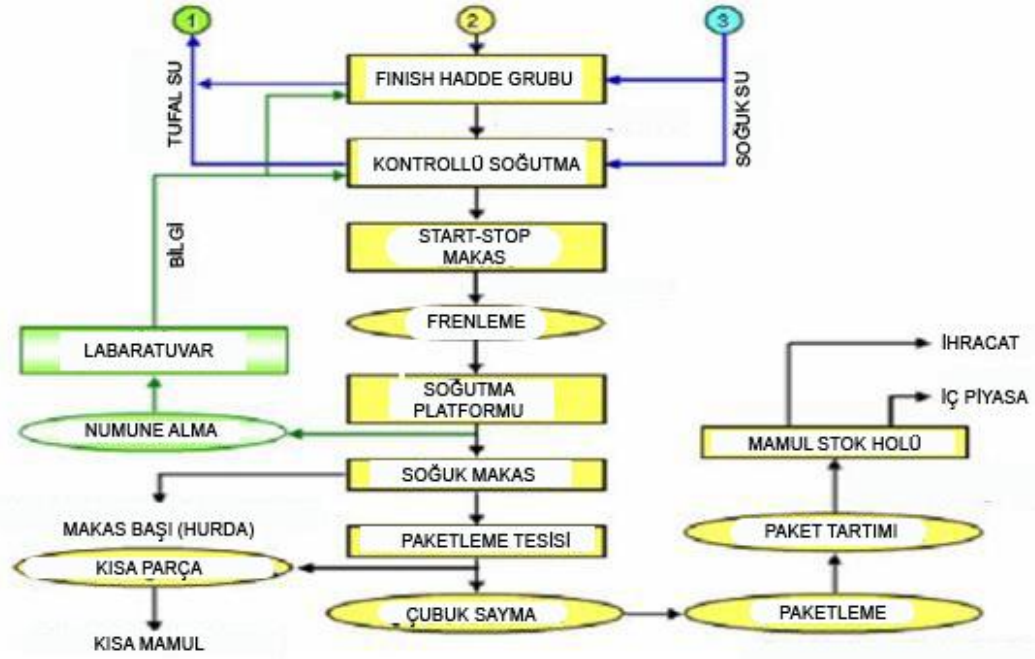
4.2.6. Kalite Kontrol

Haddehane Kalite Kontrol Laboratuvarının görevi, haddehanelerde üretilen mamullerin ilgili standartlar doğrultusunda mekanik ve fiziksel testlerini yaparak, ürünlerin bu standartların gerekliliklerini karşılayıp karşılamadığını test etmek, gerekli durumlarda haddehane işletmelerini uyararak olası uygunsuz ürünlerin oluşumunu engellemek, oluşmuş uygunsuz ürünleri tespit ederek bunların müşteriye ulaşmasını engelleyerek bertaraf edilmesini sağlamaktır. Haddehane Kalite Kontrol Laboratuvarı, bu görevlerini yerine getirmek için numune alma, ağırlık kontrolü, çekme testi, bükme testi, nervür geometrisi ölçümü ve bu işlemlerin kayıt / raporlama faaliyetlerini yürütür.

Haddehanedeki tüm prosesler aşağıda Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Haddehanedeki haddeleme prosesleri-1 [63].



Şekil 4.7. Haddehanedeki haddeleme prosesleri-2 [63].

4.3. HADDEHANEDEKİ RİSKLERİN BELİRLENMESİ VE FMEA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

İşyeri üretim yetkililerinden işyerinin genel çalışma prensibi, iş akış prosesi ve uygulama süreciyle ilgili detaylı bilgiler ve dokümantasyon desteği alınmasının ardından yapılan sektör araştırması akabinde işyerinin tüm bölümleri atlanılmadan dolaşmış, sonucunda tespit edilen tehlikeler, tehlikelerden kaynaklanabilecek riskler ve işyerindeki mevcut önlemlerle risklerin analizi Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının iş müfettişlerine yaptırdığı çalışmalardan da faydalanılarak derecelendirilme işlemi FMEA metoduyla gerçekleştirilmiş, ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 4.1’ de verilmiştir [63].

FMEA yöntemi için çalışmada kullanılacak Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Tespit Edilebilirlik (T) değerleri belirlenmiş ve Risk Öncelik Sayıları (RÖS) hesaplanmıştır. Olasılık, Şiddet ve Tespit Edilebilirlik girişlerinin ve RÖS çıkışının FMEA daki sınıflandırılması yapılmıştır.

4.3.1. Haddehanedeki Risk Durumlarını Tespit Edilmesi

Bu kapsamda haddehanedeki olası bütün durumlar uzman ve geçmiş deneyimlerden faydalanılarak bir tablo halinde belirlenmiştir. Mevcut risk durumları tespit edilmiş bunun için haddehanedeki tüm birimler atlanılmadan gezilmiş ve uzman görüşü alınarak her durumla ilgili analiz yapılarak FMEA yöntemi ile risk durumlarının RÖS sayıları bulunmuştur. Aşağıdaki Çizelge 4.1' de haddehanede karşılaşılabilecek 5 tane risk durumu gösterilmiştir. Haddehanedeki karşılaşılabilecek 93 risk durumunun tamamı Ek Açıklamar A'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Mevcut risk durumlarının FMEA yöntemi ile belirlenmesi.

HADDANEDEKİ TEHLİKELERE GÖRE RİSK SEVİYESİNİN TESPİT TABLOSU							
S N	Tehlike	Olası Etki (Risk)	Mevcut Durum	MEVCUT DURUMDA RİSKİN DERECELENDİRİLMESİ			
				O	Ş	T	RÖS
1	Ortamın sıcak olması (ortamın sıcak olması, bayılma olmasa bile termal şartların yetersizliği nedeniyle her an iş kazasına sebebiyet verebilecek bir unsurdur)	Çalışanların bayılması neticesinde sert yüzeylere düşme sonucu ölüm- Termal Konforsuzluk	Havalandırma sistemi mevcut olmasına rağmen sıcaklık ve nem değerleri uygun seviyelerde değildir.	4	5	4	80
2	Kullanılan el aletlerinin yıpranmış olması	Yıpranmış aletlerin neden olduğu kazalar sonucu Ölüm	Yıpranmış durumda olan el aletleri bulunmaktadır.	4	6	5	120
3	Çalışan makinelerde(büyük döner aksamları mevcut olan) iş yapılması	Döner aksamlara sıkışma sonucu Ölüm	Bazı makinelerin döner aksamları açıkta bulunmaktadır	5	5	4	100
4	Döner aksamli alet ve makinelerde(el, kol girebilecek döner aksamları mevcut olan) muhafaza olmaması	Döner aksamlara sıkışma sonucu Ölüm	Bazı makinelerin döner aksamları açıkta bulunmaktadır.	6	5	4	120
5	Kablosu ekli, açık elektrikli aletlerle çalışmak	Akıma kapılarak Ölüm	Kablosu yıpranmış durumda olan elektrikli aletler bulunmaktadır	6	6	5	180

BÖLÜM 5

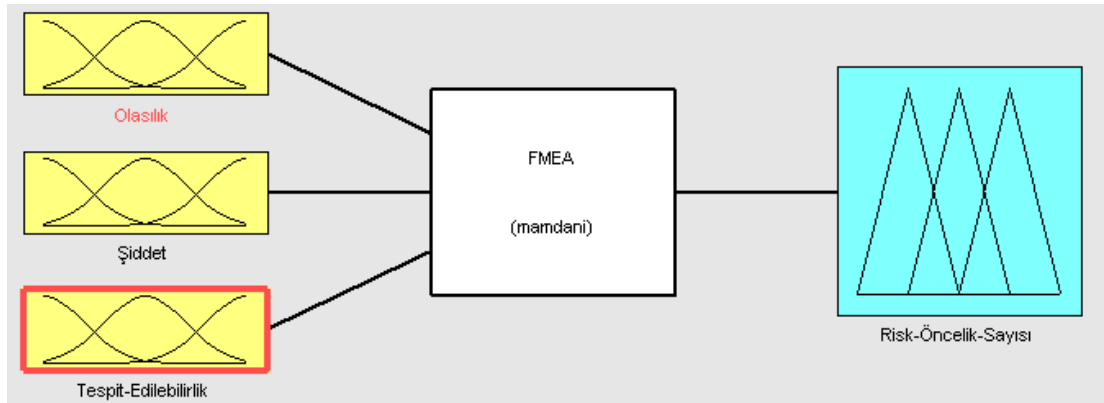
FUZZY FMEA UYGULAMASI

5.1. UYGULAMA YÖNTEMİ

Fuzzy FMEA uygulaması ile Demir-Çelik Haddehanesinde FMEA yöntemi ile tespit edilen riskler için bulanık mantık yöntemi kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla, öncelikli olarak haddehanedeki FMEA yöntemi ile elde edilen Olasılık, Şiddet ve Tespit Edilebilirlik durumları bulanık sistemin oluşturulmasında giriş olarak kullanılmakta, üyelik fonksiyonları, kural tabanı ve çıkış fonksiyonları oluşturulmaktadır. Aşağıda Fuzzy FMEA uygulaması adım adım incelenmektedir.

5.2. BULANIK GİRİŞLERİN SAĞLANMASI

FMEA yöntemiyle belirlenen girişler için MATLAB programında giriş ve çıkış birimleri Mamdani bulanık çıkarımı kullanılmak üzere belirlenir. Şekil 5.1’ de giriş ve çıkışlar gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Risk öncelik sayısı için bulanık girişlerin belirlenmesi.

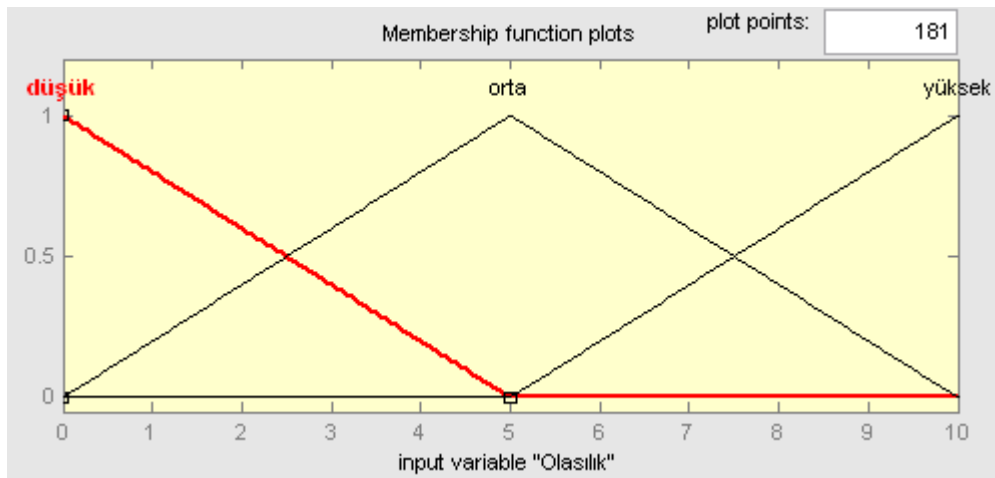
Bu çalışmada “VE” metodu için minimum değerleri “VEYA” metodu için maksimum değerleri kullanılmıştır. Durulaştırma için ağırlık merkezi yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 5.2’ de uygulanan yöntemler gösterilmiştir.

FIS Name:	FMEA	FIS Type:	mamdani
And method	min	Current Variable	
Or method	max	Name	Olasılık
Implication	min	Type	input
Aggregation	max	Range	[0 10]
Defuzzification	centroid		
		Help	Close

Şekil 5.2. Öncelik sayısı için bulanık girişlerin belirlenmesi.

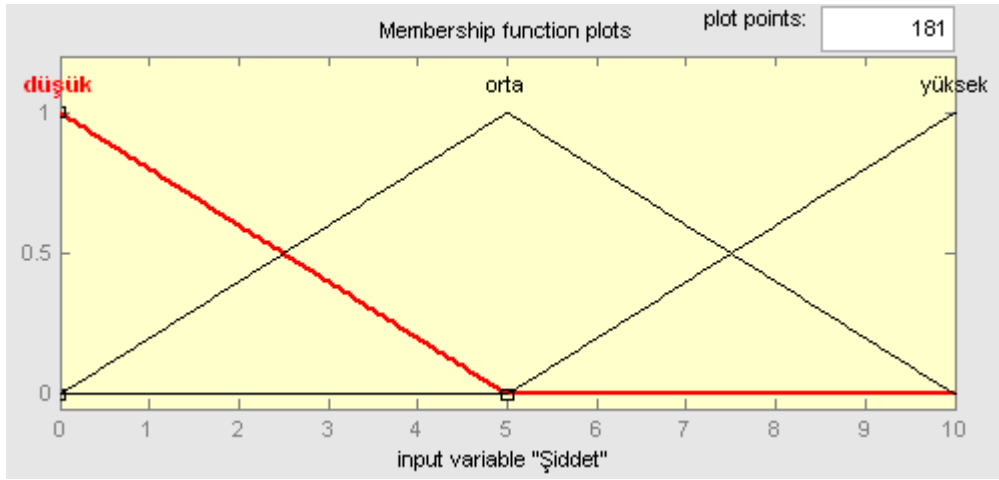
5.3. ÜYELİK GİRİŞLERİNİN BELİRLENMESİ

Olasılık, Şiddet ve Tespit Edilebilirlik girişleri için üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Düşük, orta ve yüksek olarak belirlenen durumlar uzman görüşü ve mevcut tecrübelerle dayanarak oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonu için onlu bir skala kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.3’ de Olasılık üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



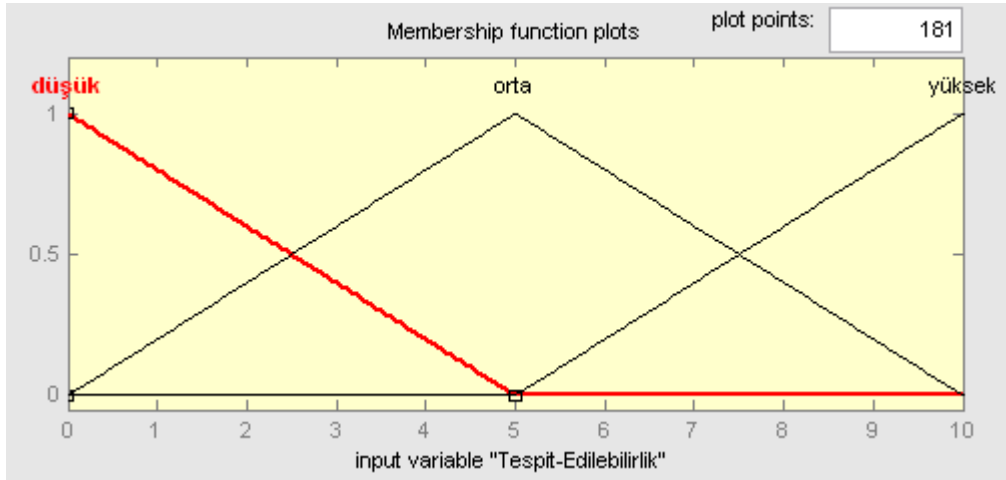
Şekil 5.3. Olasılık üyelik fonksiyonu.

Şekil 5.4' de Şiddet üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Şiddet üyelik fonksiyonu.

Şekil 5.5' de Tespit edilebilirlik üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



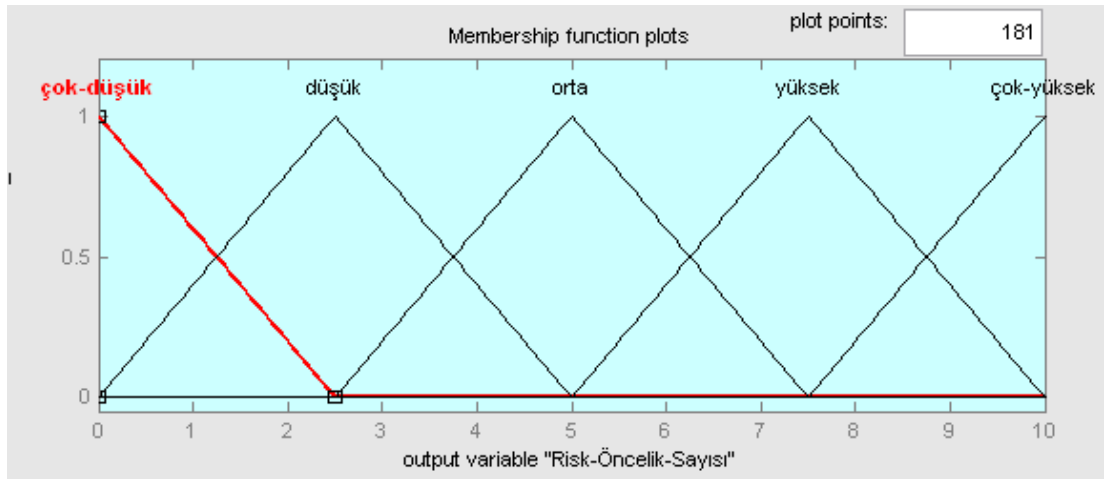
Şekil 5.5. Tespit edilebilirlik üyelik fonksiyonu.

Üyelik fonksiyonlarının giriş değerleri için trimf fonksiyonu kullanılmış ve aralık değerleri ve parametreler Şekil 5.6' da gösterilmiştir.

Current Variable		Current Membership Function (click on MF to select)	
Name	Olasılık	Name	düşük
Type	input	Type	trimf
Range	[0 10]	Params	[0 0 5]
Display Range	[0 10]	<input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Close"/>	

Şekil 5.6. Üyelik fonksiyonu parametreleri.

Risk Öncelik Sayısı Çıkışı için Şekil 5.7' deki üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Risk durumları için beş durum belirlenip, uzman görüşü ve mevcut tecrübelerle dayanarak fonksiyonun aralık değeri onlu skalaya göre yapılmıştır.



Şekil 5.7. Risk Öncelik değeri üyelik fonksiyonu.

5.4. KURAL TABANIN OLUŞTURULMASI

Haddehanedeki haddeleme süreçleri için elde edilen risk durumlarının Bulanık Mantık ile çözümlenebilmesi için kural tabanı belirlenmektedir. Kural tabanı uzman görüşü ve geçmiş tecrübelerden faydalanılarak hazırlanmıştır. Çizelge 5.1' de sistem için oluşturulan kural tabanı gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kural tabanı.

1	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış Çok DÜŞÜK
2	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe YÜKSEK İSE Çıkış DÜŞÜK olur.
3	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış Çok DÜŞÜK
4	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış DÜŞÜK
5	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe Çok İSE Çıkış ORTA
6	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet YÜKSEK VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK
7	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet YÜKSEK VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış ORTA
8	EĞER Olasılık DÜŞÜK VE Şiddet YÜKSEK VE Tespit Edilememe YÜKSEK İSE Çıkış YÜKSEK
9	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış Çok DÜŞÜK
10	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış DÜŞÜK
11	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe Çok İSE Çıkış ORTA
12	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK
13	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış ORTA
14	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe YÜKSEK İSE Çıkış YÜKSEK
15	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet YÜKSEK VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
16	EĞER Olasılık ORTA VE Şiddet YÜKSEK VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış YÜKSEK
17	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK olur
18	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış ORTA
19	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet DÜŞÜK VE Tespit Edilememe YÜKSEK İSE Çıkış YÜKSEK
20	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
21	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış YÜKSEK
22	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet ORTA VE Tespit Edilememe YÜKSEK İSE Çıkış Çok YÜKSEK
23	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet YÜKSEK VE Tespit Edilememe Az İSE Çıkış YÜKSEK
24	EĞER Olasılık YÜKSEK VE Şiddet Çok VE Tespit Edilememe ORTA İSE Çıkış Çok YÜKSEK

Kural tabanı için giriş yapılan ekran aşağıdaki Şekil 5.8’ de gösterilmiştir. Kurallar “ve” bağlacı ile bağlanmış ve ağırlık oranı “1” olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.8. Sistemdeki kural tabanı.

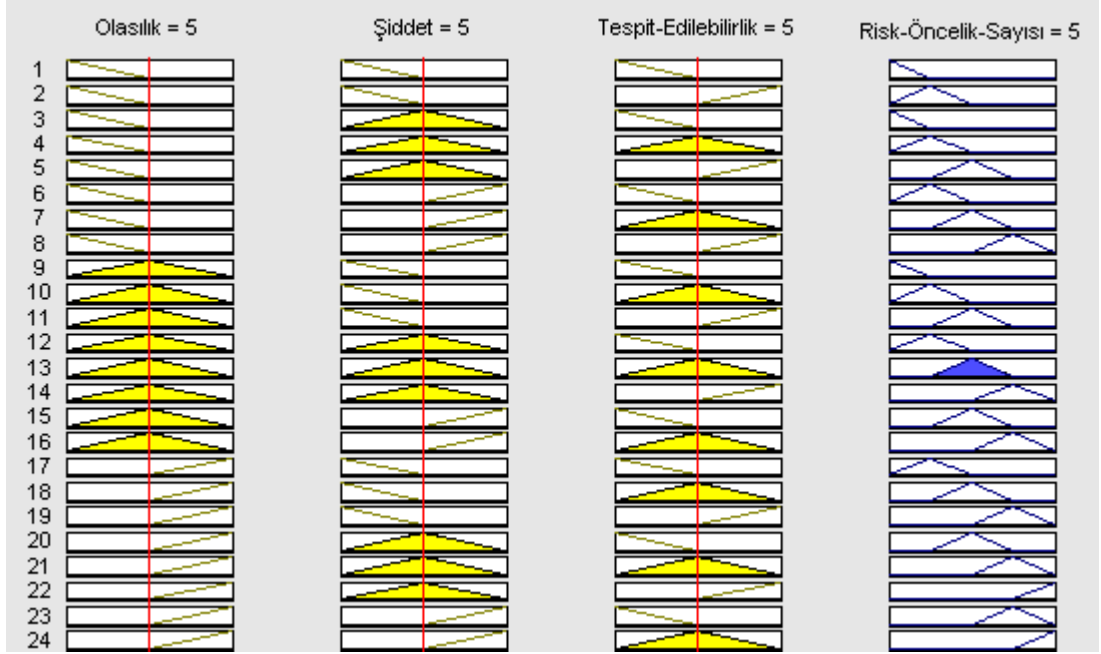
Çizelge 5.1’ de belirlenen kurallar programa giriş olarak verilmiştir. Şekil 5.9’ da kural tabanda girilen girişler gösterilmektedir.

Şekil 5.9. Kural tabanında elde edilen girişler.

5.5. BULANIK ÇIKIŞLARIN ELDE EDİLMESİ

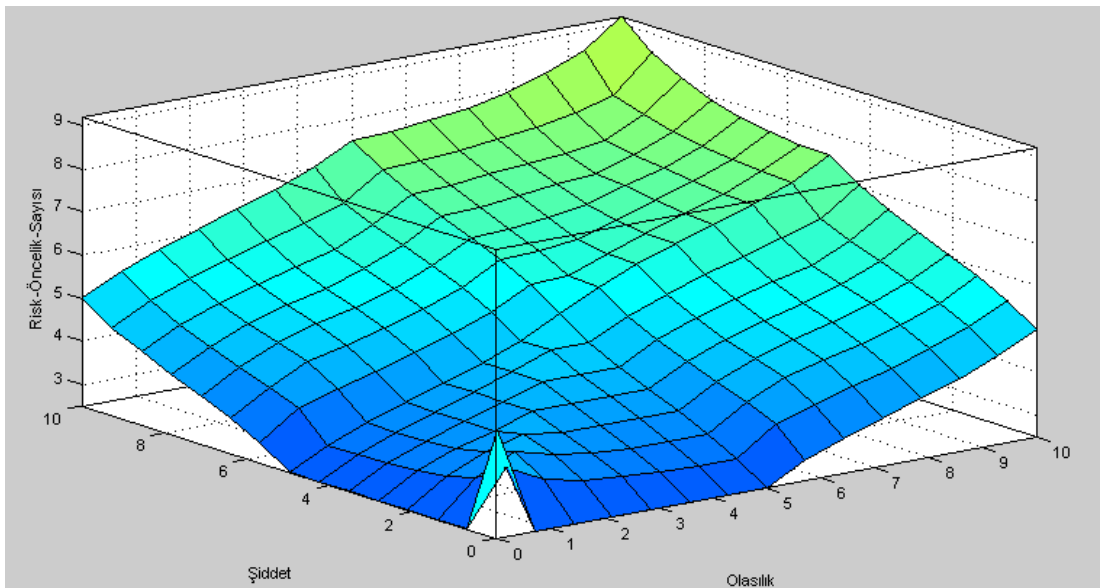
Giriş ve çıkış fonksiyonunun tanımlanması ve kural tabanının oluşturulmasının ardından elde edilen bulanık girişlerin değerlendirilmesi işlemine geçilmiştir. Kural tabanına göre elde edilen Bulanık RÖS değerleri teker teker elde edilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 5.10’ da kural tabanına göre oluşturulan bulanık RÖS değerleri gösterilmiştir.



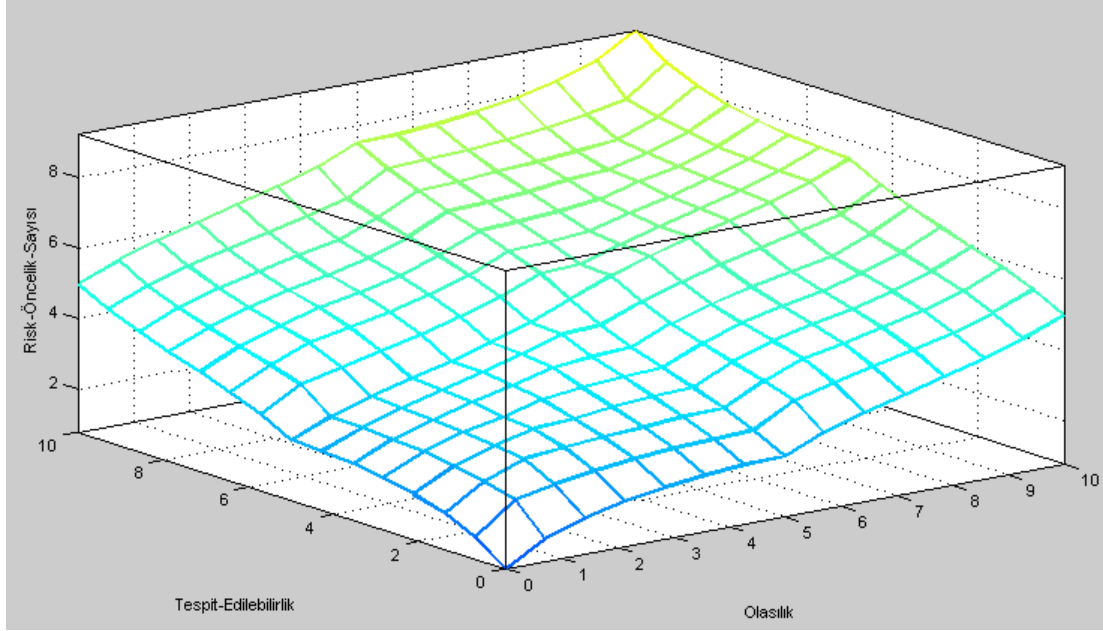
Şekil 5.10. Olasılık, Şiddet, Tespit Edilebilirlik=5 durumu için RÖS sayısı örneği.

Bulanık RÖS değerlerinin, Olasılık ve Şiddet giriş değerlerine göre durumu 3 boyutlu grafikte Şekil 5.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Bulanık RÖS değerleri şiddet ve olasılık.

Bulanık RÖS değerlerinin, Tespit Edilebilirlik ve Olasılık giriş değerlerine göre durumu 3 boyutlu grafikte Şekil 5.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Bulanık RÖS değerleri tespit edilebilirlik ve olasılık.

5.6. FUZZY FMEA İLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN FMEA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Haddehanedeki mevcut risk durumlarının risk öncelik sayılarının elde edilmesinden sonra Klasik FMEA’deki giriş değerleri ile Fuzzy FMEA ile işlenen olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik girişlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda RÖS sıralamalarındaki bir değişimin olduğu gözlenmiştir. İş Güvenliği Uzmanı ile yapılan değerlendirme sonucunda Fuzzy FMEA ile elde edilen RÖS değerlerin gerçek hayattaki durumlarla daha fazla örtüştüğü tespit edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.2’ de 20 tane durum için karşılaştırma işlemi gösterilmiştir. 93 durum için karşılaştırmanın tamamı Ek Açıklamalar B’ de gösterilmiştir.

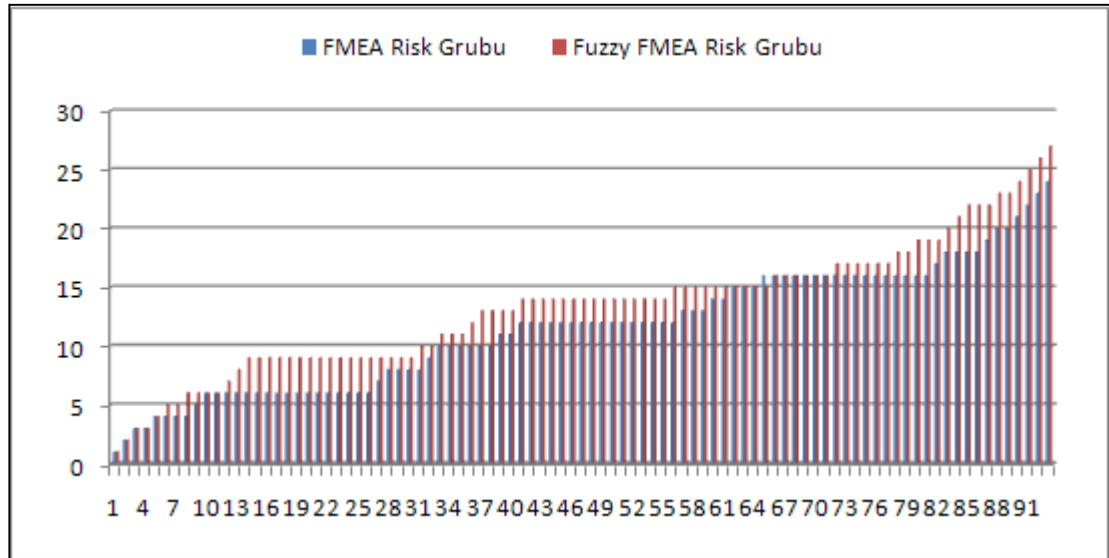
Çizelge 5.2. FMEA RÖS ile FUZZY FMEA RÖS değerlerinin karşılaştırılması.

N o	Hata Türü	FMEA RÖS		Fuzzy FMEA RÖS	
		RÖS	Sıralama	RÖS	Sıralama
1	Ortamın sıcak olması (ortamın sıcak olması, bayılma olmasa bile termal şartların yetersizliği nedeniyle her an iş kazasına sebebiyet verebilecek bir unsurdur)	80	14	4,31	18
2	Kullanılan el aletlerinin yıpranmış olması	120	6	5,00	9
3	Çalışan makinelerde(büyük döner aksamları mevcut olan) iş yapılması	100	10	4,40	16
4	Döner aksamli alet ve makinelerde(el, kol girebilecek döner aksamları mevcut olan) muhafaza olmaması	120	6	5,00	9
5	Kablosu ekli, açık elektrikli aletlerle çalışmak	180	2	5,69	2
6	Kütüğün tırdan düşmesi	120	6	5,00	9
7	Kütüğün ızgaraya düzensiz konması	90	12	4,58	14
8	Kütüğün ızgarada çapraz ilerlemesi	90	12	4,58	14
9	Kütüğün röle yoluna (2 adet düşmesi)	72	16	4,51	15
10	Kütüğün röle yolunda ilerlememesi	48	20	4,17	20
11	Kütüğün fırında tampondan kurtulup duvara gitmesi	72	16	5,05	8
12	Kütüğün fırın içerisinde eğri hareket etmesi	72	16	4,51	15
13	Kütüğün dengesiz tavlması	120	6	5,30	5
14	Fırın önüne fazla kütük alınması	48	20	3,88	23
15	Baskı rölesinin çalışmaması	40	21	3,48	26
16	İade kütüklerin istife alınırken düşmesi	96	11	4,92	10
17	Fırın refrakterinin kırılırken düşme, Uzuvsıkıştırma	72	16	4,33	17
18	Üretimde röle yolu üzerinden geçilmesi(1)	90	12	4,58	14
19	Üretimde röle yolu üzerinden geçilmesi(2)	90	12	4,58	14
20	Hadde tezgâhlarından haddelenen kütüğün çıkması	108	8	4,67	13

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonrasında Şekil 6.1’ de verilen Klasik FMEA’daki 93 risk durumunda risk grubu 24 iken Bulanık FMEA’nın risk grubu 27 olarak çıkmaktadır. Bu da Fuzzy FMEA yönteminin daha fazla risk grubu aralığı oluşturduğunu ve daha hassas bir değerlendirme yaptığını göstermektedir.



Şekil 6.1. Klasik ve Bulanık FMEA risk grupları.

Şekil 6.2’ de verilen 11 ve 12 nolu risk durumlarına bakıldığı zaman Klasik FMEA’da iki durum için aynı RÖS ve aynı sıralama değeri elde edilmekte fakat Fuzzy FMEA’da farklı RÖS değeri ve farklı bir sıralama elde edilmektedir.

SN	Mevcut Risk Durumu	RÖS	KS	BRÖS	BS
11	Kütüğün fırında tampondan kurtulup duvara gitmesi	72	16	5,05	8
12	Kütüğün fırın içerisinde eğri hareket etmesi	72	16	4,51	15

Şekil 6.2. Klasik ve Bulanık FMEA RÖS sıralamaları.

İş güvenliği uzmanı ile yapılan görüşmeler neticesinde 11 nolu risk durumun Şekil 6.3' e göre Tespit Edilebilirlik değerinin 6' nın üzerinde olması daha tehikeli bir risk içerdiğini göstermektedir. Hazırlanan bulanık sistemde tespit edilebilirlik değeri 6' nın üzerindeki değerler için kural tabanında daha yüksek bir RÖS değeri tanımlanmıştır. Dolayısıyla Bulanık FMEA sistemi daha etkili bir çıkarımda bulunarak gerçeğe yakın bir sonuç vermiştir.

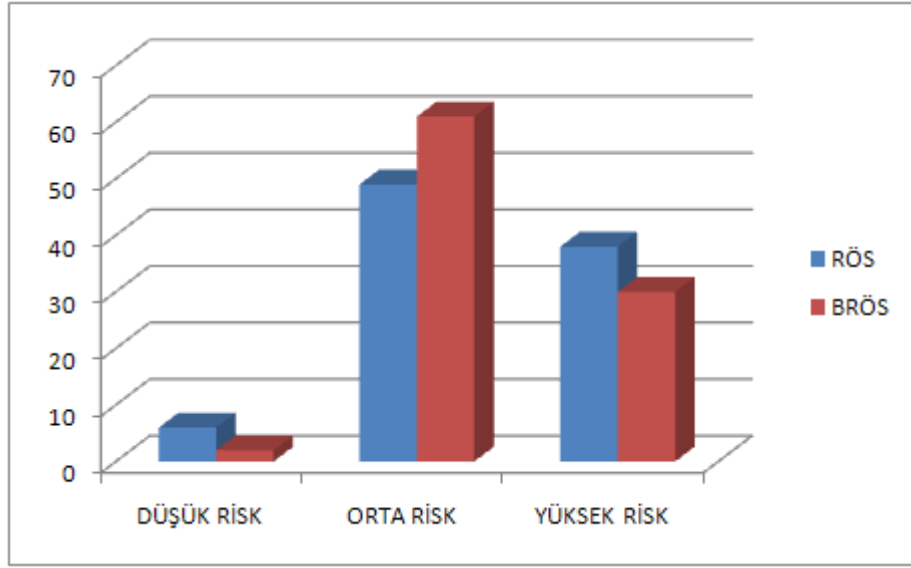
SN	Mevcut Risk Durumu	O	Ş	T	RÖS
11	Kütüğün fırında tampondan kurtulup duvara gitmesi	3	3	8	72
12	Kütüğün fırın içerisinde eğri hareket etmesi	3	4	6	72

Şekil 6.3. Klasik RÖS değerleri.

Şekil 6.4' deki Klasik FMEA' daki risk durumları Fuzzy FMEA'daki risk öncelik karar durumları ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma'nın grafiksel sonucu Şekil 6.5' de gösterilmektedir.

	RÖS	BRÖS
DÜŞÜK RİSK	6	2
ORTA RİSK	49	51
YÜKSEK RİSK	38	40

Şekil 6.4. Risk öncelik karar durumların karşılaştırılması.



Şekil 6.5. Risk karar durumlarının grafiksel gösterimi.

Sonuçlar incelendiğinde Fuzzy FMEA yöntemi Klasik FMEA yöntemine göre risk karar durumlarını farklı şekilde sınıflandırmıştır. Fuzzy FMEA yönteminde yüksek risk grubundaki risk sayısı fazla çıkmakta buda işyerinde acil önlem alınması gereken durumlarla ilgili işverene bilgi vermektedir. Dolayısıyla işyerinde çözüm üretilmesi gereken risk durumlarının daha etkin hesaplandığını ve bunun işyeri için zaman, maliyet ve iş gücünden kazanım sağlayacağı görülmektedir.

Klasik FMEA'ya göre yüksek olan risk öncelik değeri bulanık giriş değerlerine bağlı olarak Fuzzy FMEA'da daha düşük, düşük olan değerler ise daha yüksek çıkmıştır. Aşağıdaki Şekil 6.6' da Klasik RÖS değerleri, Şekil 6.7' de Klasik ve Bulanık RÖS değerlerinin sıralaması gösterilmiştir.

S	Mevcut Risk Durumu	O	Ş	T	RÖS
22	Yolluk, suluk veya diğer parçaların kayması, düşmesi	3	4	6	72
23	Üretim hattında kalan malzemenin temizlenmesi	3	5	5	75

Şekil 6.6. Klasik RÖS değerleri.

SN	Mevcut Risk Durumu	RÖS	KS	RÖS	BS
22	Yolluk, suluk veya diğer parçaların kayması, düşmesi	72	16	4,51	16
23	Üretim hattında kalan malzemenin temizlenmesi	75	16	3,95	15

Şekil 6.7. Klasik ve Bulanık FMEA RÖS sıralaması.

Yapılan çalışma ile bulanık mantığın, FMEA yöntemiyle uygulandığında risk değerlendirme durumlarında karşılaşılabilecek olumsuz durumları önleme için daha etkili sonuç elde etmeyi sağlayan bir yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır. Fuzzy FMEA yöntemi, Demir-çelik sektöründeki haddehanelerde karşılaşılan risk durumlarının azaltılmasında etkili bir değerlendirme yöntemi sunarak fayda sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Elmas, Ç., “Bulanık mantık”, Yapay Zeka Uygulamaları 2. baskı, *Seçkin Yayınevi*, Ankara, 186,187 (2011).
2. Guimaraes, A. C. F. and Franklin Lapa, C. M., “Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning”, *Annals of Nuclear Energy*, 31: 107–115 (2004).
3. Guimaraes, A. C. F., Lapa, C. M. F., and Moreira, M. D. L. “Fuzzy methodology applied to probabilistic safety assessment for digital system in nuclear power plants”, *Nuclear Engineering and Design*, 241: 3967–3976 (2011).
4. Kumru, M. and Kumru, P. Y., “Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital”, *Applied Soft Computing*, 13: 721–733 (2013).
5. Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R. and Pessel, N., “Maritime Risk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor”, *Ocean Engineering*, 36: 1278–1286 (2009).
6. Silva, M. M., Gusmao, A. P. H. and Poletto, T., “A multi dimensional approach to information security risk management using FMEA and fuzzy theory”, *International Journal of Information Management*, 34: 733–740 (2014).
7. Zhu, W., Lin, S. and Hu, H., “Fuzzy-set based treatment for FMEA in optimum metro-vehicle maintenance strategy”, *International Journal of Control and Automation*, 6-13 (2013).
8. Lin, Q., Wang, D. and Liu, H., “Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory”, *Safety Science*, 62: 248–256 (2014).
9. Jong, C. H., Tay, K. M. and Lim, C. P., “Application of the fuzzy failure mode and effect analysis methodology to edible bird nest processing”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 96: 90-108 (2013).
10. Kahraman, C., Kaya, İ. and Şenvar, Ö., “Healthcare failure mode and effects analysis under fuzziness”, *An International Journal*, 19 (2): 538-552 (2013).
11. Chen, Z., Wu, X. and Qin, J., “Risk assessment of an oxygen-enhanced combustor using a structural model based on the FMEA and fuzzy fault tree”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32: 349-357 (2014).

12. Petrovic, D. V., Tanasijevic, M., and Milic V., “Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic”, *Expert Systems with Applications*, 41: 8157–8164 (2014).
13. Aglan, F. and Mustafa A. E., “Integrating lean principles and fuzzy bow-tie analysis for risk assessment in chemical industry”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 29: 39-48 (2014).
14. Puente, J., Pino, R., Priore, P., and de la Fuente, D. “A decision support system for applying failure mode and effects analysis”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19: 137–150 (2002).
15. Vose, D., “Risk Analysis A Quantitative Guide”, *New York: John Wiley & Sons Ltd*, New York, USA, 135-139 (2008).
16. Molak, V. and B, Raton., “Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management”, *CRC Press, Lewis Publishers*, New York, USA, 55-63 (1997).
17. Onur, Ö., “İnşaat projelerine teklif aşamasında simülasyon tekniğiyle risk yönetimi uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enistüsü*, İstanbul, 38,39 (2010).
18. Hubbard, W. D., “The Failure of Risk Management: Why It’s Broken and How to Fix It”, *Wiley & Sons Ltd*, New York, 22-26 (2009).
19. Boyle, T., “Risk Assessment, Health And Safety: Risk Management”, *IOSH Services Limited*, London, 77-93 (2002).
20. Özkılıç, Ö., “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri”, *Ajans-Türk Basın ve Basım A.Ş*, Ankara, 160-169 (2005).
21. Onodera, K., “Effective techniques of FMEA at each life-cyclestage”, *Hitachi Ltd*, Morgantown, 101-107 (2001).
22. Mierzwicki, T. S., “Risk index for multi-objective design optimization of naval ships”, Yüksek Lisans Tezi, *Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg, Virginia, 38-47 (2003).
23. Özlüç, Ö., “Büyük endüstriyel kazaları önleme çalışmalarında kritik sistemlerin tespiti ve risk değerlendirme yaklaşım ve yöntemleri”, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Bildirisi*, Ankara, 22-24 (2009).
24. Canbolat, R. “Kamu idarelerinde iç kontrol sistemine geçiş ve risk yönetimi: sorunlar ve çözüm önerileri”, Hazine Uzmanlığı Yeterlik Tezi, *Hazine Müsteşarlığı*, Ankara, 2-8, 12-21, 42-44 (2011).
25. Down, M., Brozowski, L., Younis, H., Benedict, D., Feghali, J., Schubert, M., Brender, R., Gruska, G., Vallance, G., Krasich, M., Haughey, W., “Potential

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Reference Manual”, Chrysler LLC, *Ford Motor Company*, General Motors Corporation, 96-104 (2008).

26. Teng, S. H. ve Ho, S. Y., “Failure mode and effects analysis an integrated approach for product design and process control”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 13: 8-26 (1996).
27. Musabeyli, E., “Ürünün önemli kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde tasarım tata türü ve etkileri analizi ile kalite evinin birlikte kullanılması”, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 68-73 (2001).
28. Davie, J. L., “An analysis of risk perception and the RPN index within failure modes and effects analysis”, Yüksek Lisans Tezi, *University at Buffalo, The State University of New York*, Buffalo, 81-74 (2008).
29. Eryürek, Ö. F., “Hata türü ve etkileri analizi yönteminde yeni bir karar verme modeli”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2004).
30. Musubeyli Erginel, N., “Tasarım hata türü ve etkileri analizinin etkinliği için bir model ve uygulaması”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15 (3): 17-26 (2004).
31. Atmaca, E. ve Keskin, H. “Bursa ili otomotiv sektöründe TS 16949 kalite yönetim sisteminin rekabetçi avantajları”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 25-27 Kasım, İstanbul, 209-214 (2005).
32. Mohammed, A. S., “Failure mode and effect analysis (FMEA) – a comprehensive quality tool”, *The 2nd Seminar on Development of Modular Products*, 13-14 December, Dalarna, Sweden, 1-6 (2004).
33. Gül, B., “Kalite yönetiminde hata türü ve etkileri analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2001).
34. Düzgüner, E., “Ürün geliştirme sürecinde önleyici kalite güvence: FMEA metodu ve bu metodun bir sanayi işletmesindeki uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kayseri (2002).
35. Taşan, K., “Bir risk değerlendirme ve güvenilirlik metodu olarak hata türü ve etkileri analizi (Htea) yöntemi: bir otomotiv yan sanayi işletmesinde uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir (2006).
36. Durhan, D., “Hata türü ve etkileri analizi (Fmea) ve bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).

37. Erginel, N. B., "Tasarım hata türü ve etkileri analizinin etkinliği için bir model ve uygulaması", *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15 (3): 17-26 (2004).
38. Yılmaz, A., "Hata türü ve etki analizi", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-60 (1997).
39. Teng, S. H. ve Ho, S. Y. "Failure mode and effects analysis: An integrated approach for product design and process control", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22,23 (1996).
40. Stamatis, D. H., "Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution", *ASQ Quality Press*, Milwaukee (2003).
41. Su, C. T. and Chou, C. J., "A systematic methodology for the creation of Six Sigma projects: A case study of semiconductor foundry", *Expert Systems with Applications*, 34: 2693–2703 (2008).
42. Sellappan, N., and Sivasubramanian, R., "Modified Method for Evaluation of Risk Priority Number in Design FMEA", *Icfai University Press*, India (2008).
43. Bertsche, B., "Reliability in Automotive and Mechanical Engineering", *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, 45,68 (2008).
44. Söylemez, C., "Hata türü etkileri analizi iş güvenliği uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14, 35, 37 (2006).
45. Öztürk, T., "Hata türü ve etkileri analizinde bulanık mantık kullanarak bir kamu hastanesinin satın alma sürecinin iyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 24-27 (2008).
46. Chang, D. S., and Sun, K. P., "Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26: 629-643 (2009).
47. Tay, K. M., and Lim, C. P., "Fuzzy FMEA with a guide rules reduction system for prioritization of failures", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23: 1047-1066 (2006).
48. Çeber, Y., "Hata türü ve etkileri analizi yönteminin(Fmea) üretim sektöründe uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir, 45-48 (2010).
49. Aran, G., "Kalite iyileştirme süreçlerinde hata türleri ve etkileri analizi bir uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Tokat, 68,69 (2013).

50. Eğrisöğüt, A. and Kazan. R, “Bulaşık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sakarya, 48: 565 (2010).
51. Sırmakaya, E., “Veri madenciliğinde bulanık mantık uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 25 (2005).
52. Şen, Z., “Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri”, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, 1, 7, 9, 22- 30, 93 (2004).
53. Özkan, İ. A., “Tornalamada kesme kuvvetlerinin ve takım ucu sıcaklığının bulanık mantık ve yapay sinir ağı teknikleriyle tahmin edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 4, 15-20 (2006).
54. Özden, S., “Bir elektrikli asansör sisteminin bulanık mantık tekniği ile denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 28-31 (2007).
55. Kuşçu, D., “Karar verme süreçlerinde bulanık mantık yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 9 (2007).
56. Baykal, N. ve Beyan T., “Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler”, *Bıçaklar Kitabevi*, Ankara, 105-106, 132-133, 190, 214 (2004).
57. Bilgin, Ö., “Hata türü ve etkileri analizi’nde bulanık mantık uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 29, 36, 40 (2006).
58. Okul, D., “Analitik ağ süreci ve bulanık mantık kullanımıyla kalite fonksiyon yayılımının mobilya sektöründe uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 70,71 (2007).
59. Bodur, K., “ Bulanık mantık yaklaşımı ile deprem konumlarının belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 75,76 (2012).
60. Kişi, Ö., Karahan M. E., and Şen, Z. “Nehirlerdeki askı maddesi miktarı bulanık mantık ile modellenmesi” *İTÜ Dergisi*, 2-3: 43-54 (2003).
61. Aydın, N., “Katı atık yönetiminde optimal planlama için bulanık doğrusal programlama yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 56 (2007).
62. Terzi, Ü., “Taguchi yöntemi ve bulanık mantık kullanılarak çok yanıtlı kalite karakteristiklerinin eşzamanlı en iyilenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 20-51 (2004).
63. Özgür, M., “Metal sektöründe risk analizi uygulaması”, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Raporu*, İzmir, 54-58 (2013).

EK AÇIKLAMALAR A.

FMEA YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN RİSK DURUMLARI

Çizelge Ek A.1. Haddehanedeki tehlikelere göre risk seviyesinin tespiti tablosu.

HADDANEDEKİ TEHLİKELERE GÖRE RİSK SEVİYESİNİN TESPİT TABLOSU							
S N	Tehlike	Olası Etki (Risk)	Mevcut Durum	MEVCUT DURUMDA RİSKİN DERECELEN DİRİLMESİ			
				O	Ş	T	ROS
1	Ortamın sıcak olması (ortamın sıcak olması, bayılma olmasa bile termal şartların yetersizliği nedeniyle her an iş kazasına sebebiyet verebilecek bir unsurdur)	Çalışanların bayılması neticesinde sert yüzeylere düşme sonucu ölüm- Termal Konforsuzluk	Havalandırma sistemi mevcut olmasına rağmen sıcaklık ve nem değerleri uygun seviyelerde değildir.	4	5	4	80
2	Kullanılan el aletlerinin yıpranmış olması	Yıpranmış aletlerin neden olduğu kazalar sonucu Ölüm	Yıpranmış durumda olan el aletleri bulunmaktadır.	4	6	5	120
3	Çalışan makinelerde(büyük döner aksamları mevcut olan) iş yapılması	Döner aksamlara sıkışma sonucu ölüm	Bazı makinelere döner aksamları açıkta bulunmaktadır	5	5	4	100
4	Döner aksamli alet ve makinelerde(el, kol girebilecek döner aksamları mevcut olan) muhafaza olmaması	Döner aksamlara sıkışma Sonucu Ölüm	Bazı makinelere döner aksamları açıkta bulunmaktadır.	6	5	4	120
5	Kablosu ekli, açık elektrikli aletlerle çalışmak	Akıma kapılarak Ölüm	Kablosu yıpranmış durumda olan elektrikli aletler bulunmaktadır	6	6	5	180
6	Kütüğün tığdan düşmesi	Kütüğün çalışanların üzerine düşmesi sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	4	6	5	120
7	Kütüğün ızgaraya düzensiz konması	Kütüğün çalışanlara çarpması sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	6	90

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

8	Kütüğün ızgarada çapraz ilerlemesi	Kütüğün çalışanlara çarpması sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	6	90
9	Kütüğün röle yoluna (2 adet düşmesi)	Kütüğün çalışanlara çarpması sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72
10	Kütüğün röle yolunda ilerlememesi	Kütüğün çalışanlara çarpması sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	4	6	48
11	Kütüğün fırında tampondan kurtulup duvara gitmesi	Kütüğün çalışanlara çarpması sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	3	8	72
12	Kütüğün firm içerisinde eğri hareket etmesi	Kütüğün çalışanlara Çarpması sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72
13	Kütüğün dengesiz tavlama	Çalışanların Yaralanması Tezgâh Yıpranması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	8	120
14	Firm önüne fazla kütük alınması	Çalışanların Yaralanması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	4	48
15	Baskı rölesinin Çalışmaması	Çalışanların Yaralanması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	4	5	40
16	İade kütüklerin istife alınırken düşmesi	Çalışanların Yaralanması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	4	4	6	96
17	Firm refrakterinin kırılırken düşme, UzuV sıkıştırma	Kaza sonucu UzuV Kaybı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	6	6	72
18	Üretimde röle yolu Üzerinden geçilmesi	Kütüğün çarpması sonucu UzuV Kaybı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur. Röle yolu üzerindeki bazı geçiş yollarının korkulukları yoktur.	3	6	5	90
19	Üretimde röle yolu Üzerinden geçilmesi	Sıcak kütüğün üzerine düşme sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur. Röle yolu üzerindeki bazı geçiş yollarının korkulukları yok.	3	6	5	90

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

20	Hadde tezgâhlarından haddelenen kütüğün Çıkması	Haddelenen kütüğün çarpması sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	6	6	108
21	Uretimde tezgâh aralarından diğer tarafa geçilmesi	Haddelenen kütüğün çarpması sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur. Bazı geçiş yollarının korkulukları bulunmamaktadır.	4	5	6	120
22	Yolluk, suluk veya diğer parçaların Kayması, düşmesi	Kaza sonucu Uzuv Kaybı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72
23	Uretim hattında kalan malzemenin temizlenmesi	Kaza sonucu Uzuv Kaybı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	5	75
24	Yollukların vinç ile Değiştirilirken İnsana çarpması	Çalışanların Yaralanması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72
25	Thermex hortumunun yerinden çıkması	Çalışanların Yaralanması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	2	5	20
26	Thermex (Soğutma) hattında malzeme kalması	Çalışanların Yaralanması	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	2	6	24
27	Röle yolundan çubuğun fırlaması	Çalışanlara çarpması Sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	6	90
28	Çubuğun ızgarada Karışması	Çalışanlara çarpması Sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	4	5	6	120
29	Malzemenin el makası ile kesilirken çarpması	Çalışanlara çarpması Sonucu Yaralanma/ Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	5	75
30	Çubuk sayarken malzemenin çarpması	Çalışanlara çarpması sonucu Yaralanma/ Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	6	90
31	Paket tamponlanırken aradan geçilmesi	Sıkışarak Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	6	5	90
32	Bağlamada tel değiştirirken eli sıkıştırma, düşme	Elin sıkışması, Uzuv Kaybı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	4	5	6	120
33	Etiketleme yaparken elim paket arasında kalması	Paket arasında kalarak Uzuv Kaybı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

34	Etiketleme yaparken Paket üzerine düşme	Düşme sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72
35	Fırkete bağlama telinin kopması	Çarpma sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	5	60
36	Halka makinesinde çubuğun kopması	Çarpma sonucu Yaralanma	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	4	6	72
37	Manyetik vinç arızası	Paketin düşmesi sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur. Manyetik vincin periyodik bakımları yapılmaktadır.	2	6	6	72
38	Malzemenin karışması	Sıcak demire temas sonucu Oluşan Ağır Yanıklar	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	5	6	90
39	Mamullerin gelişigüzel ve dengesiz istiflenmesi	İstiflerin devrilmesi sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur. Bazı paketler düzensiz istiflenmiş durumdadır.	4	5	6	120
40	Boya kimyasallarının havaya karışması	Akciğer Meslek Hastalığı	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur. Çalışanların bazıları uygun koruyucu maske kullanmamaktadır.	4	5	6	120
41	Vincin termik açması	Çalışanlara paket çarpması Sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	5	6	60
42	Şoförün araçta Beklemesi sırasında araca paket düşmesi	Araca paket düşmesi sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	4	6	4	96
43	Raylarda aşınma meydana gelmesi	Sarsıntıyla paketin düşmesi Sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	2	7	6	84
44	Yüksekte çalışma	İstiften düşme sonucu Ölüm	Haddehane İşletme Talimatları mevcuttur.	3	6	7	126
45	Hadde giriş rulolarının değişimi tufal Kuyularının hadde giriş rulolarının yanında olması	Tufal kuyularına düşme sonucu Ölüm	Mekanik Bakım- Onarım talimatları mevcuttur. Kuyuların etrafında koruyucu bulunmamaktadır.	2	6	6	72
46	Fırın girişi role dişlilerinin üzerindeki muhafaza kapağının takılı olmaması	Döner aksamlara temas sonucu Uzun Kaybı	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları Mevcut. Bazı Dişlilerin muhafazaları yok	3	5	5	75

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

47	Fırın girişi motor Redaktör arası kaplinlerin muhafazasının Olmaması	Döner aksamlara temas sonucu Uzuv Kaybı	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur. Bazı Kaplinlerin muhafazaları eksiktir.	3	5	6	90
48	Fırın deşarj kapaklarının kütük deşarj dışında açık kalması	Fırın içinden sıçrayan sıcak malzemelerin çalışanlara çarpması sonucu Ölüm	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur.	3	6	6	108
49	Makasların kayış kasnak muhafazasının bulunmaması	Döner aksamlara temas Sonucu Uzuv Kaybı	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur. Muhafazaların bazıları eksik durumdadır.	2	5	6	60
50	Hadde şaftlarının üzerinde muhafaza Bulunmaması	Döner aksamlara Temas sonucu Uzuv Kaybı	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur. Muhafazaların bazıları eksik durumdadır.	4	5	6	120
51	Motor redaktör arası kaplinlerin üzerine Muhafaza kapaklarının bulunmaması	Döner aksamlara temas Sonucu Uzuv Kaybı	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur. Muhafazaların bazıları eksik durumdadır.	3	5	6	90
52	Uretim prosesi devam ederken soğutma platformu altında kontrol yapılması sırasında malzeme girmesi	Malzeme çarpması sonucu Ölüm	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur.	2	6	6	72
53	Tarak değiştirirken Personelin tarakların Arasına düşmesi	Takılıp düşerek Ölüm	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur.	2	6	6	72
54	Manyetik zincirlerinin, kilitlerinin ya da halkaların kopması	Düşen parçaların çalışanların üzerine düşmesi sonucu Ölüm	Vinçlerde Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur. Periyodik kontroller yapılmaktadır.	3	5	7	105
55	Vinçle taşınan yükün yere düşürülmesi	Düşen parçaların çalışanların üzerine düşmesi sonucu Ölüm	Vinçlerde Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur.	2	5	7	70
56	Bakım yapılmadan Önce sahaya emniyet Şeridinin çekilmemesi	İş kazası sonucu Ölüm	Vinçlerde Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur.	2	5	5	50
57	Bakım esnasında aşağıdan personel Geçmesi	İş kazası sonucu Ölüm	Vinçlerde Bakım- Onarım talimatları mevcuttur.	3	5	6	90

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

58	Yürüme yolunda Korkuluk bulunmaması	Düşme sonucu Ölüm	Vinçlerde Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur. Bazı yürüme yolları korkuluksuzdur.	2	6	7	84
59	Asit tanklarının krom saçtan olmaması, tankların delinmesi	Asidin tankı delmesi sonucu Ölüm	Asit tankları krom saçtan yapılmamıştır.	4	7	4	112
60	Pompa motorlarının yakınında start-stop Düğmelerinin olmaması, acil bir durumda motorun durdurulamaması	Ölüm	Su Unitesi Bakım- Onarım Talimatları Mevcuttur. Start stop Düğmesi pompa Yakınında değildir.	3	6	4	72
61	Şaloma ve kesme taşı kullanırken koruyucu gözlük kullanılmaması	Göz Hasarı	Mekanik Bakım- Onarım Talimatları mevcuttur.	6	4	6	144
62	Ortamın sıcak olması (ortamın sıcak olması, bayılma olmasa bile termal şartların yetersizliği nedeniyle her an iş kazasına sebebiyet verebilecek bir unsurdur)	Çalışanların bayılması neticesinde sert yüzeylere düşme sonucu Ölüm- Termal Konforsuzluk	Havalandırma sistemi mevcut olmasına rağmen sıcaklık ve nem değerleri uygun seviyelerde değildir	5	4	6	120
63	Ortamın gürültülü olması	İşitme Kaybı	Kulak tıkacı kullanmayan çalışanlar bulunmaktadır.	5	4	5	100
64	Ortamın tozlu olması (Yanda da görüleceği gibi akciğer meslek hastalıkları riski ölüm riskiyle eşdeğer kabul edilmiş ve risk şiddeti olarak 40 puan alınmıştır.)	Akciğer Meslek Hastalıkları	Toz tutma sistemi mevcut olmasına rağmen ortamda toz partikülleri bulunmaktadır. Yapılan toz ölçümü sonuçlarına göre sınırların aşıldığı yerlerde çalışanlara toz maskesi dağıtılmıştır.	5	6	5	150
65	Ortamda kimyasal partiküller olması (Yanda da görüleceği gibi akciğer meslek hastalığı riski ölüm riskiyle eşdeğer kabul edilmiş ve risk şiddeti olarak 40 puan alınmıştır.)	Akciğer Meslek Hastalıkları	Filtrasyon sistemi mevcut olmasına rağmen ortamda kimyasal partiküller bulunmaktadır. Çalışma ortamında yapılan kimyasal partikül ölçümü sonuçlarına göre sınırların aşıldığı yerlerde çalışanlar uygun kimyasallara karşı koruyucu maskeler kullanmaktadır.	4	6	6	144

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

66	Ortam aydınlatmasının yeterli olmaması	Yetersiz aydınlatmanın yol açtığı kaza sonucu Ölüm	Bazı alanların aydınlatması yetersizdir. Ortam aydınlatma ölçümleri yapılmamıştır.	4	5	6	120
67	Ortamda dağınık kabloların olması	Ortamdaki kabloların deformasyon u ile oluşan elektrik kaçağı sonucu Ölüm	Ortamda dağınık ve korunmamış kablolar bulunmaktadır.	4	6	5	120
68	Zeminin yağlı veya kaygan olması	Kayarak düşme-başı çarpma sonucu Ölüm	Çalışma ortamında yağ birikintileri vardır. Çalışanlar baret kullanmaktadır	5	4	5	100
69	Malzemelerin düzgün istiflenmemesi	İstiflerin düşmesi sonucu Ölüm	Bazı malzeme istifleri uygun değildir.	4	5	6	120
70	Ortamda dağınık olarak malzemelerin bırakılması	Malzemelere takılarak düşme sonucu Yaralanma/Ölüm	Ortamda dağınık olarak malzemeler bulunmaktadır	5	5	4	100
71	Ağır parça kaldırılması	Bel, kas-iskelet sistemi incinmeleri	Ağır parçaların kaldırılması ile ilgili talimatlar mevcuttur	3	4	3	36
72	Elektrikte çalışan makine ve ekipmanların gövde topraklamalarının olmaması	Akıma kapılarak Ölüm	Gövde topraklamaları yapılmayan makineler bulunmaktadır.	4	6	6	144
73	Parçayı iyi bağlamama sonucunda parçanın fırlaması	Parça çarpması sonucu Ölüm	Torna Tezgâhında Çalışma Talimatları mevcuttur.	4	4	5	80
74	Torna aynasma iş elbisesinin kapıtılması	Döner aksamlara temas Sonucu Ölüm	Torna Tezgâhında Çalışma Talimatları mevcuttur.	3	6	6	108
75	Acil durdurma butonunun çalışmaması	Acil bir durumda tezgâhın durdurulamaması sonucu Ölüm	Torna Tezgâhında Çalışma Talimatları mevcuttur.	2	7	6	84
76	Gözlük kullanılmaması	Göze çapak kaçması	Torna Tezgâhında Çalışma Talimatları mevcuttur. Gözlük kullanılmadığı görülmüştür.	5	5	6	150
77	İş milime iş elbisesinin kapıtılması	Döner aksamlara temas sonuc Ölüm	Freze Tezgâhında Çalışma Talimatları mevcuttur.	3	5	6	90

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

78	Bileme taşı ile koruyucu mesnet arasma parça girmesi	Sıkışan parçanın eli yaralaması	Taşlama Tezgâhı Kullanım Talimatı mevcuttur. Taş ile saç mesnet arasındaki mesafe, olması gerekenden fazladır.	4	5	6	120
79	Koruyucu gözlük kullanılmaması	Göze toz ve taş parçacıkları kaçması	Taşlama Tezgâhı Kullanım Talimatı mevcuttur. Gözlük Kullanılmadığı görülmüştür.	5	4	6	120
80	Sabit taşlama taşının yan muhafazalarının olmaması	Taşın patlaması durumunda Ölüm	Taşlama Tezgâhı Kullanım Talimatı mevcuttur. Yan muhafazaları eksik olan tezgâhlar bulunmaktadır.	4	6	6	144
81	Kaynak makinesi ile çalışılan yerde havalandırma sisteminin olmaması veya işlevsel olmaması	Solunum sistemi hastalıkları	Kaynak Makinesi Kullanım Talimatı mevcuttur. Lokal Havalandırma sistemi, kaynak yapılan yerin çok üzerindedir.	4	5	6	120
82	Sıcak yüzeyin ve kaynak kıvılcımının varlığı	Kıvılcım sıçramalar sonucu oluşan yanıklar	Kaynak Makinesi Kullanım Talimatı mevcuttur. Koruyucu malzeme kullanılmaktadır.	3	4	6	72
83	Basınçlı hava ile temizlik yapılması esnasında ortamdaki maddelerin çalışanın gözüne kaçması	Göz Hasarı	Koruyucu gözlük dağıtılmasına rağmen zaman zaman kullanılmamaktadır	5	4	5	100
84	Tavan Vincinin kapasite fazlası yük taşınması	Vinç bağlantı elemanlarının kopması sonucu Ölüm	Vinç Kullanım Talimatları mevcuttur. Tavan vincinde taşınacak yükün kapasitesini belirten levha asılmamıştır.	2	6	5	60
85	Yetkin olmayan kişinin vinç kullanması	Hatalı vinç kullanımı sonucu Ölüm	Vinç Kullanım Talimatları mevcuttur.	3	6	5	90
86	Kaldırılan veya taşınan yükün altından geçilmesi	Yüklerin çalışanlara Çarpması sonucu Ölüm	Vinç Kullanım Talimatları mevcuttur.	3	6	5	90
87	Parçanın halatla dengeli bir şekilde bağlanmaması	Yüklerin çalışanlara çarpması sonucu Ölüm	Vinç Kullanım Talimatları mevcuttur.	3	6	6	108

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

88	Halatın kancadan çıkması	Vinç bağlantı elemanlarının kopması veya çıkması sonucu Ölüm	Mandali olmayan kancalar mevcuttur	2	6	6	72
89	Kesme işinin çalışanın gözünü etkilemesi	Göz Hasarı	Çalışanlara dağıtılan gözlüğün kızılötesi ışınları engelleyici nitelikte olup olmadığı araştırılmamıştır.	4	5	5	100
90	Sıcak yüzeyin ve kesme kıvılcığının sıçraması	Dâhili İlk Yardım İhtiyacı	Oksijen Takımı ile Çalışma Talimatları mevcuttur. Koruyucu malzeme dağıtılmıştır.	3	4	6	72
91	Geri tepme emniyet Ventillerinin olmaması	Ateşin içeri çekilmesiyle oluşan patlama sonucu Ölüm	Oksijen Takımı ile Çalışma Talimatları mevcuttur. Bazı şalomaların geri tepme ventilleri bulunmamaktadır.	3	6	5	90
92	LPG ve Oksijen Tüplerinin sabitlenmemesi	Tüplerin devrilmesiyle oluşan patlama sonucu Çoklu Ölüm	Sabitlenmemiş durumda olan tüpler bulunmaktadır.	2	1 0	1 0	200
93	Yağlı el veya eldivenle oksijen tüplerinin kullanılması	Patlama sonucu Çoklu Ölüm	Oksijen Takımı ile Çalışma Talimatları mevcuttur.	3	1 0	3	90

EK AÇIKLAMALAR B.

FMEA İLE FUZZY FMEA RÖS DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge Ek B.1. FMEA ve Fuzzy FMEA RÖS değerlerinin karşılaştırılması.

No	Hata Türü	FMEA RÖS		Fuzzy FMEA RÖS	
		RO S	Sıralama	ROS	Sıralama
1	Ortamın sıcak olması (ortamın sıcak olması, bayılma olmasa bile termal şartların yetersizliği nedeniyle her an iş kazasına sebebiyet verebilecek bir unsurdur)	80	14	4,31	18
2	Kullanılan el aletlerinin yıpranmış olması	120	6	5,00	9
3	Çalışan makinelerde(büyük döner aksamları mevcut olan) iş yapılması	100	10	4,40	16
4	Döner aksamli alet ve makinelerde(el, kol girebilecek döner aksamları mevcut olan) muhafaza olmaması	120	6	5,00	9
5	Kablosu ekli, açık elektrikli aletlerle çalışmak	180	2	5,69	2
6	Kütüğün trdan düşmesi	120	6	5,00	9
7	Kütüğün ızgaraya düzensiz konması	90	12	4,58	14
8	Kütüğün ızgarada çapraz ilerlemesi	90	12	4,58	14
9	Kütüğün röle yoluna (2 adet düşmesi)	72	16	4,51	15
10	Kütüğün röle yolunda ilerlememesi	48	20	4,17	20
11	Kütüğün fırında tampondan kurtulup duvara gitmesi	72	16	5,05	8
12	Kütüğün fırın içerisinde eğri hareket etmesi	72	16	4,51	15
13	Kütüğün dengesiz tavllanması	120	6	5,30	5
14	Fırın önüne fazla kütük alınması	48	20	3,88	23
15	Baskı rölesinin çalışmaması	40	21	3,48	26
16	İade kütüklerin istife alınırken düşmesi	96	11	4,92	10
17	Fırın refrakterinin kırılırken düşme, Uzuvsıkıştırma	72	16	4,33	17
18	Üretimde röle yolu üzerinden geçilmesi(1)	90	12	4,58	14
19	Üretimde röle yolu üzerinden geçilmesi(2)	90	12	4,58	14
20	Hadde tezgâhlarından haddelenen kütüğün çıkması	108	8	4,67	13
21	Üretimde tezgâh aralarından diğer tarafa geçilmesi	120	6	5,00	9
22	Yolluk, suluk veya diğer parçaların kayması, düşmesi	72	16	4,51	15
23	Üretim hattında kalan malzemenin temizlenmesi	75	15	3,95	22
24	Yollukların vinç ile Değiştirilirken İnsana çarpması	72	16	4,51	15
25	Thermex hortumunun yerinden çıkması	20	24	3,24	27
26	Thermex(Soğutma) hattında malzeme kalması	24	23	3,97	21

Çizelge Ek B.1. (devam ediyor).

27	Röle yolundan çubuğun fırlaması	90	12	4,58	14
28	Çubuğun ızgarada karışması	120	6	5,00	9
29	Malzemenin el makası ile kesilirken çarpması	75	15	3,95	22
30	Çubuk sayarken malzemenin çarpması	90	12	4,58	14
31	Paket tamponlanırken aradan geçilmesi	90	12	4,58	14
32	Bağlamada tel değiştirirken eli sıkıştırma, düşme	120	6	5,00	9
33	Etiketleme yaparken elin paket arasında kalması	72	16	4,51	15
34	Etiketleme yaparken paket üzerine düşme	72	16	4,51	15
35	Firkete bağlama telinin kopması	60	18	3,88	23
36	Halka makinesinde çubuğun kopması	72	16	4,51	15
37	Manyetik vinç arızası	72	16	4,33	17
38	Malzemenin karışması	90	12	4,58	14
39	Mamullerin gelişigüzel ve dengesiz istiflenmesi	120	6	5,00	9
40	Boya kimyasallarının havaya karışması	120	6	5,00	9
41	Vincin termik açması	60	18	4,24	19
42	Şoförün araçta beklemesi sırasında araca paket düşmesi	96	11	4,92	10
43	Raylarda aşınma meydana gelmesi	84	13	4,77	11
44	Yüksekte çalışma	126	5	5,07	7
45	Hadde giriş rulolarının değişimi tufal Kuyularının hadde giriş rulolarının yanında olması	72	16	4,33	17
46	Fırın girişi role dişlilerinin üzerindeki muhafaza kapaklarının takılı olmaması	75	15	3,95	22
47	Fırın girişi motor redaktör arası kaplinlerin muhafazasının olmaması	90	12	4,58	14
48	Fırın deşarj kapaklarının kütük deşarj dışında açık kalması	108	8	4,67	13
49	Makasların kayış kasnak muhafazasının bulunmaması	60	18	4,24	19
50	Hadde şaftlarının üzerinde muhafaza bulunmaması	120	6	5,00	9
51	Motor redaktör arası kaplinlerin üzerine muhafaza kapaklarının bulunmaması	90	12	4,58	14
52	Üretim prosesi devam ederken soğutma platformu altında kontrol yapılması sırasında malzeme girmesi	72	16	4,33	17
53	Tarak değiştirirken personelin tarakların arasına düşmesi	72	16	4,33	17
54	Manyetik zincirlerinin, kilitlerinin ya da halkaların kopması	105	9	5,00	9

Çizelge Ek B.1. (devam ediyor).

55	Vinçle taşınan yükün yere düşürülmesi	70	17	4,70	12
56	Bakım yapılmadan Öce sahaya emniyet şeridinin çekilmemesi	50	19	3,55	25
57	Bakım esnasında aşağıdan personel geçmesi	90	12	4,58	14
58	Yürüme yolunda korkuluk bulunmaması	84	13	4,77	11
59	Asit tanklarının krom saçtan olmaması, tankların delinmesi	112	7	5,33	4
60	Pompa motorlarının yakınında start-stop düğmelerinin olmaması, acil bir durumda motorun durdurulamaması	72	16	4,51	15
61	Şaloma ve kesme taşı kullanırken koruyucu gözlük kullanılmaması	144	4	5,08	6
62	Ortamın sıcak olması (ortamın sıcak olması, bayılma olmasa bile termal şartların yetersizliği nedeniyle her an iş kazasına sebebiyet verebilecek bir unsurdur)	120	6	5,00	9
63	Ortamın gürültülü olması	100	10	4,40	
64	Ortamın tozlu olması	150	3	5,60	3
65	Ortamda kimyasal partiküller olması	144	4	5,08	6
66	Ortam aydınlatmasının yeterli olmaması	120	6	5,00	9
67	Ortamda dağınık kabloların olması	120	6	5,00	9
68	Zeminin yağlı veya kaygan olması	100	10	4,40	16
69	Malzemelerin düzgün istiflenmemesi	120	6	5,00	9
70	Ortamda dağınık olarak malzemelerin bırakılması	100	10	4,40	
71	Ağır parça kaldırılması	36	22	3,71	24
72	Elektrikle çalışan makine ve ekipmanların gövde topraklamalarının olmamaşı	144	4	5,08	6
73	Parçayı iyi bağlamama sonucunda parçanın fırlaması	80	14	4,31	18
74	Torna aynasına iş elbisesinin kaptrılması	108	8	4,67	13
75	Acil durdurma butonunun çalışmaması	84	13	4,77	11
76	Gözlük kullanılmaması	150	3	5,60	3
77	İş milme iş elbisesinin kaptrılması	90	12	4,58	14
78	Bileme taşı ile koruyucu mesnet arasına parça girmesi	120	6	5,00	9
79	Koruyucu gözlük kullanılmaması	120	6	5,00	9

Çizelge Ek B.1. (devam ediyor).

80	Sabit taşlama taşının yan muhafazalarının olmaması	144	4	5,08	6
81	Kaynak makinesi ile çalışılan yerde havalandırma sisteminin olmaması veya işlevsel olmaması	120	6	5,00	9
82	Sıcak yüzeyin ve kaynak kıvılcımının varlığı	72	16	4,51	15
83	Basınçlı havayla temizlik yapılması esnasında ortamdaki maddelerin çalışanın gözüne kaçması	100	10	4,40	16
84	Tavan vincinde kapasite fazlası yük taşınması	60	18	4,24	19
85	Yetkin olmayan kişinin vinç kullanması	90	12	4,58	14
86	Kaldırılan veya taşınan yükün altından geçilmesi	90	12	4,58	14
87	Parçanın halatla dengeli bir şekilde bağlanmaması	108	8	4,67	13
88	Halatın kancadan çıkması	72	16	4,33	17
89	Kesme işinin çalışanın gözünü etkilemesi	100	10	4,40	16
90	Sıcak yüzeyin ve kesme kıvılcımının sıçraması	72	16	4,51	15
91	Geritopma emniyet ventillerinin olmaması	90	12	4,58	14
92	LPG ve Oksijen Tüplerinin sabitlenmemesi	200	1	7,71	1
93	Yağlı el veya eldivenle oksijen tüplerinin kullanılması	90	12	5,30	5

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet ÇAKMAK, 1985 yılında Giresun/Bulancak'ta doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Bulancak'ta tamamladı. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliğinden 2008 yılında mezun oldu. 2008-2010 yılları arasında Arhavi Orhan Yücel Kız Meslek Lisesinde bilgisayar öğretmeni olarak çalıştı. Halen Necip Fazıl Kısakürek Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kartaltepe Mah. Cevizkent TOKİ Merkez/KARABÜK

E-posta : muhammetcakmak1@gmail.com