

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAKIM YÖNETİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ: TOPLU  
TAŞIMA SÜRECİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

MELİKE ERDOĞAN

DOKTORA TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN  
PROF. DR. İHSAN KAYA

İSTANBUL, 2018

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAKIM YÖNETİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ: TOPLU  
TAŞIMA SÜRECİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Melike ERDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 21.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. İhsan KAYA  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. İhsan KAYA  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nezir AYDIN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Alev Taşkın GÜMÜŞ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU  
İstanbul Teknik Üniversitesi



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 1053 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Akademik camiaya adım attığım andan itibaren desteğini sonsuz bir şekilde hissettiğim; bilgisini, tecrübesini ve hoşgörüsünü benden hiçbir zaman esirgemeyen ve “İyi bir akademisyen nasıl olunur?” sorusunun vücut bulmuş hali olan sayın hocam Prof. Dr. İhsan Kaya’ya teşekkürü borç bilirim. Kendisinin bilgi birikimi ve desteği sayesinde bu gün bu çalışma ortaya çıkabilmiştir, kendisine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tezimin her aşamasında değerli görüşlerine başvurduğum, tez çalışmalarına büyük katkılar sağlayan, tez izleme komitemde bulunan sayın hocalarım Doç. Dr. Nezir Aydın ve Doç. Dr. Emre Çevikcan’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez savunma sınavımda yer almayı kabul edip, değerli desteklerini benden esirgemeyen sayın Prof. Dr. Alev Taşkın Gümüş ve sayın Doç. Dr. Şule İtir Satoğlu hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tezde kullanılan verilerin elde edilmesine fırsat sağlayan İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) kurumuna teşekkürü borç bilirim. “Ölçemezseniz yönetemezsiniz” kavramını benimseyerek verilerin sağlıklı bir şekilde depolanması ile, bu tezin ortaya çıkmasına büyük katkı sağlamışlardır. Verilerin tarafımıza ulaştırılmasında büyük payı olan Yüksek Mühendis Fatmanur Yılmaz Kaval’a desteği için teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince sağladıkları “2211-A Genel Yurtiçi Doktora Burs Programı” burs desteği ile daha iyi çalışma koşulları oluşturup daha etkin bir tez hazırlamama imkân tanıyan “Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu”na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bana inanan herkese teşekkür ederim.

Aralık, 2018

Melike ERDOĞAN



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xv
ÖZET .....	xvii
ABSTRACT.....	xix
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	21
1.1 Literatür Özeti .....	21
1.1.1 Bakım Kavramı .....	22
1.1.2 Bakım Yönetiminde Kural Tabanlı Sistemler.....	23
1.1.3 Bakım Yönetiminde Bulanık Kural Tabanlı Sistemler .....	24
1.1.4 Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	25
1.2 Tezin Amacı .....	97
1.3 Hipotez.....	98
<b>BÖLÜM 2</b>	
BULANIK KÜMELER .....	99
2.1 Bulanık Mantık .....	99
2.2 Bulanık Mantığın Yararları .....	102
2.3 Bulanık Küme Teorisi.....	103
2.3.1 Bulanık Kümelerde İşlemler .....	103
2.3.1.1 Birleşim .....	104
2.3.1.2 Kesişim .....	104
2.3.1.3. Tümleme .....	104
2.3.2 Üyelik Fonksiyonları .....	105
2.3.3. Başlıca Üyelik Fonksiyonları Şekilleri .....	107
2.3.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu .....	107
2.3.3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu .....	107

2.3.3.3 Sigmoid Fonksiyonu .....	108
2.3.3.4. Gauss Üyelik Fonksiyonu .....	109
2.3.3.5. Genelleştirilmiş Çan üyelik Fonksiyonu .....	109
2.3.4 Bulanık Kümelerin Durulaştırılması .....	110
2.3.5 Bulanık Kesişimin Genelleştirilmesi - T-Normu .....	112
2.3.6 Bulanık Birleşimin Genelleştirilmesi - T-conorm (S-norm) .....	113
2.3.7 Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması .....	114
2.3.7.1 Algıya Dayalı Üyelik Fonksiyonları Oluşturma .....	116
2.3.7.2 Histogram Tabanlı Yöntemler .....	116
2.3.7.3 Özel Parametreleri Kullanarak Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması.....	117
2.3.7.4 Sezgisel Yöntemler .....	117
2.3.7.5 Sinir Ağı Tabanlı Yöntemler.....	117
2.3.7.6 Bulanık En Yakın Komşuluk Teknikleri .....	118
2.3.7.7 Kümeleme Algoritmalarına Dayanan Yöntemler .....	118
2.3.7.8 Genetik Algoritmalara Dayanan Yöntemler.....	119
2.3.7.9 Özel Ölçümlerin Kullanımına Dayanan Yöntemler .....	119
2.3.7.10 Olasılık Dağılımlarının Olabilirlik Dağılımlarına Dönüşümü .....	119
2.3.7.11 Matematiksel Programlama Yolu ile Üyelik Fonksiyonu Oluşturma .....	120
2.3.7.12 Diğer yaklaşımlar .....	120
<b>BÖLÜM 3</b>	
<b>BİLGİ TEORİSİ.....</b>	<b>122</b>
3.1 Bulanık Entropi.....	123
3.2 Bulanık Olayların Olasılık Entropisi .....	123
3.3 Shannon Bulanık Entropi.....	124
3.4 Olasılıksal Olmayan Entropi .....	124
3.5 Bulanık Kümelerin Toplam Bilgi Ölçümü.....	125
3.6 Hibrit Entropi .....	127
3.7 Yüksek Mertebeden Entropi .....	127
3.8 Yager Entropisi .....	128
3.9 Kaufmann Entropisi.....	128
<b>BÖLÜM 4</b>	
<b>BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMLER.....</b>	<b>130</b>
4.1 Kural Tabanlı Sistemler .....	130
4.1.1 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler .....	130
4.1.2. Bulanık Kural Tabanlı Çıkarım Modelleri.....	132
4.1.2.1 Mamdani Tipi bulanık modeller.....	133
4.1.2.2. Sugeno Tipi Bulanık Modeller .....	135
4.1.2.3. Tsukamoto Tipi Bulanık Modeller .....	136
4.1.2.4 Sugeno ve Mamdani Tipi Yöntemler Arasındaki Karşılaştırma.....	137
4.3. Bulanık Kural Tabanlı Sistemde Kullanılacak Elemanların Belirlenmesi .....	139

## BÖLÜM 5

METROBÜS SİSTEMİ.....	140
5.1 Tarihçe.....	141
5.2 Araç Özellikleri .....	144
5.2.1 Phileas .....	144
5.2.2 KARSAN .....	144
5.2.3 MERCEDES.....	145
5.2.3.1 Mercedes-Benz CapaCity .....	145
5.2.3.2 Mercedes-Benz Citaro .....	146
5.2.3.3 Mercedes-Benz Conecto.....	146
5.3 Genel İstatistikler .....	147
5.3.1 Phileas Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler.....	149
5.3.2 KARSAN Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler.....	151
5.3.3 Mercedes Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler .....	152
5.3.3.1 Mercedes-Benz CapaCity Alt Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler .....	153
5.3.3.2 Mercedes-Benz Citaro Alt Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler .....	155
5.3.3.3 Mercedes-Benz Conecto Alt Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler .....	156

## BÖLÜM 6

ARIZA ANALİZİNDE KULLANILACAK PARAMETRELER İÇİN OLASILIK DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ .....	158
6.1 Örneklem Büyüklüğü ve Hata Düzeyinin Belirlenmesi .....	159
6.2 Uyum İyiliği Testleri.....	163
6.2.1 Ki-kare Uyum Testi.....	163
6.2.2 Kolmogorov-Smirnov Uyum İyiliği Testi.....	164
6.2.3 Anderson-Darling Uyum İyiliği Testi .....	164
6.2.4 Analizlerde Kullanılacak Testin Belirlenmesi .....	165
6.3 Parametreler Arasındaki İlişkilerinin Çıkarılması .....	165
6.3.1 Ki-kare Bağımsızlık Testi.....	166
6.3.2 Hat Türü-Arıza Tipi Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi .....	166
6.3.3 Araç Modeli- Arıza Tipi Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi.....	167
6.4 Arızalar Arası Geçen Süreler için Belirlenen Dağılımlar .....	168
6.4.1 Phileas .....	168
6.5 Onarım Süreleri için Belirlenen Dağılımlar.....	170
6.2.1 Phileas .....	170
6.2.2 Karsan.....	170
6.2.3 MERCEDES.....	170
6.2.3.1 CAPACITY .....	170
6.2.3.2 CITARO .....	170
6.2.3.3 CONECTO .....	171
6.6 Dağılımlarla İlgili Genel Bilgiler .....	172

6.4.1 Aşamalı Bi-Weibull Dağılımı .....	172
6.4.2 Aşamalı Bi-Üssel Dağılım .....	173
6.4.3 Beta Dağılımı .....	173
6.4.4 Burr dağılımı.....	173
6.4.5 Dagum Dağılımı .....	174
6.4.6 Erlang Dağılımı .....	175
6.4.6 Genelleştirilmiş Lojistik Dağılımı .....	176
6.4.7 Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı.....	176
6.4.8 Genelleştirilmiş Uç Değer Dağılımı .....	177
6.4.9 Hiperbolik Kesen Dağılım .....	177
6.4.10 Johnson SB Dağılımı .....	178
6.4.11 Kumaraswamy Dağılımı .....	178
6.4.12 Log-Logistic Dağılımı .....	178
6.4.13 Lognormal Dağılımı .....	179
6.4.14 Log-Pearson 3 Dağılımı .....	180
6.4.15 Pearson 5 Dağılımı .....	180
6.4.16 Pearson 6 Dağılımı .....	180
6.4.17 Ters Gauss Dağılımı .....	181
6.4.18 Yorulma Ömrü (Birnbau-Saunders) Dağılımı .....	181
6.4.19 Wakeby Dağılımı .....	181
6.4.20 Weibull Dağılımı .....	182
6.4.21 Negatif Binom .....	182
6.4.22 Üssel Dağılım.....	183

## BÖLÜM 7

ARIZALARIN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ .....	184
7.1 Arıza Önceliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Ölçütler .....	185
7.2 Önerilen Yaklaşım .....	185
7.2.1 Delphi Yöntemi .....	186
7.2.2 Tip-2 Bulanık AHS.....	186
7.2.3 Stokastik TOPSIS.....	188
7.2.4 Uygulama .....	194

## BÖLÜM 8

BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMDE KULLANILACAK GİRDİLER İÇİN ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ.....	205
8.1 Sezgisel Yolla Oluşturulan Üyelik Fonksiyonları.....	205
8.1.1 Aracın Kullanımda Olduğu Döneme Göre Üyelik Fonksiyonu .....	205
8.1.2 Araç Yaşına Göre Üyelik Fonksiyonu.....	206
8.1.3 Arızanın Maliyetine Göre Üyelik Fonksiyonu.....	206
8.1.4 Bir Önceki Bakım Üzerinden Geçen Zamana Göre Üyelik Fonksiyonu	207
8.2. Matematiksel Modelleme Yolu İle Oluşturulan Üyelik Fonksiyonları .....	207
8.2.1 Matematiksel Programlama Yoluyla Üyelik Fonksiyonu .....	208
8.2.2 Bulanık Küme Boyutu ve Bulanık Shannon Entropisi arasındaki ilişki - Amaç fonksiyonunun belirlenmesi .....	213

8.2.3 İkili Karşılaştırma Bilgisine Dayanarak Toplam Ortalama Üyelik Derecesi .....	214
8.2.4 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu .....	216
8.2.5 Önerilen Yöntem .....	220
8.2.6 Olasılık Dağılımları Vasıtasıyla Elde Edilen Örnek Üyelik Fonksiyonları.....	221
8.2.6.1 Arıza Sıklığı Girdisi İçin Üyelik Fonksiyonu .....	222
8.5.6.2 Güvenilirlik Girdisi İçin Üyelik Fonksiyonları .....	225
8.5.6.3 Şoför Yeteneği Girdisi İçin Üyelik Fonksiyonları .....	225
8.5.6.4 Arızanın Önem Derecesine Göre Üyelik Fonksiyonları .....	226

## BÖLÜM 9

BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMDE KULLANILACAK ÇIKTILAR İÇİN ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ.....	227
9.1 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Çıktısı için Üyelik Fonksiyonları .....	227
9.2.1 Çıktının Belirlenmesinde Kullanılan Elemanlar .....	228
9.2.2 Çıktı Üyelik Fonksiyonlarının İlgili Elemanların Katsayılarının Hesaplanması .....	228
9.2.2.1 Arızaların Önem Derecesine Göre Belirlenen Katsayılar .....	228
9.2.2.2 Arıza Sıklığına Göre Belirlenen Katsayılar .....	231
9.2.2.3 Hat Başına Arıza Faktörüne Göre Belirlenen Katsayılar.....	231
9.2.3 Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi .....	232

## BÖLÜM 10

ÖNERİLEN BULANIK KURAL TABANLI SİSTEM İÇİN KURALLARIN BELİRLENMESİ VE SİSTEMİN OLUŞTURULMASI.....	234
10.1 Kuralların Belirlenmesi .....	236
10.2 Matlab Ortamında Önerilen Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Oluşturulması .	240
10.2.1 Phileas Markalı Araç İçin Oluşturulan Bulanık Kural Tabanlı Sistem .	240
10.2.1 Karsan Markalı Araca Ait Oluşturulan Bulanık Kural Tabanlı Sistem .	242
10.2.2 Capacity Markalı Araca Ait Oluşturulan Bulanık Kural Tabanlı Sistem ....	244
10.2.3 Citaro Markalı Araca Ait Oluşturulan Bulanık Kural Tabanlı Sistem ..	244
10.2.4 Conecto Markalı Araca Ait Oluşturulan Bulanık Kural Tabanlı Sistem ....	244
10.3 Kural Tabanlı Sistemin Doğrulanması .....	244
10.3.1 Phileas Aracı İçin Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Geçerlilik Tespiti ...	245
10.3.2 Karsan Aracı İçin Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Geçerlilik Tespiti ...	247
10.3.3 Capacity Aracı İçin Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Geçerlilik Tespiti.	248
10.3.4 Citaro Aracı İçin Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Geçerlilik Tespiti.....	249
10.3.4 Conecto Aracı İçin Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Geçerlilik Tespiti .	250
10.4 Duyarlılık Analizi.....	252
10.5 Kural Tabanlı Sistemde Yer Almayan Kuralların Tahmini.....	253
10.5.1 Yapay Sinir Ağları .....	253

10.5.2 Ulaşım ve Bakım Alanlarında Yapay Sinir Ağları Çalışmaları.....	254
10.5.3 Tez Kapsamında Başvurulan Yapay Sinir Ağları Yöntemi.....	255
11.5.3.1 WEKA .....	255
11.5.3.2 Sistemde yer almayan kuralların tahmini.....	256
BÖLÜM 11	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	262
KAYNAKLAR.....	265



## KISALTMA LİSTESİ

---

AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
B	Bildiri
BRT	Bus Rapid Transit
D	Doktora
BKTS	Bulanık Kural Tabanlı Sistemler
GA	Genetik Algoritmaları
KDS	Karar Destek Sistemi
KTS	Kural Tabanlı Sistemler
M	Makale
MCDM	Multicriteria Decision Making
oyf	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
TEV	Toplam Ekipman Verimliği
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TÜB	Toplam Üretken Bakım
TVB	Toplam Verimli Bakım
TZÜ	Tam Zamanında Üretim
ÜF	Üyelik Fonksiyonu
YSA	Yapay Sinir Ağları
YL	Yüksek Lisans

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1	Bakım yönetimi alanında çalışma konularına göre bakım alanında hazırlanan lisansüstü tezler.....	60
Şekil 1. 2	Bakım yönetimi alanında lisansüstü çalışma türüne göre tez dağılımları ...	60
Şekil 1. 3	Bakım yönetimi alanında yıllara göre lisansüstü tez dağılımları.....	61
Şekil 1. 4	Bakım yönetiminde çalışma alanlarına göre lisansüstü tezler.....	61
Şekil 1. 5	Kural tabanlı sistemler yöntemi için çalışma alanlarına göre lisansüstü tezler .....	68
Şekil 1. 6	Kural tabanlı sistemler yöntemi için yıllara göre lisansüstü tezler .....	68
Şekil 1. 7	Bulanık kural tabanlı sistemler yöntemi için çalışma alanlarına göre lisansüstü tezler .....	75
Şekil 1.8	Bulanık kural tabanlı sistemler yöntemi için yıllara göre lisansüstü tezler..	75
Şekil 1. 9	Metrobüs konulu çalışmalar için alanlarına göre dağılım.....	82
Şekil 1. 10	Metrobüs konulu çalışmalar için yıllara göre dağılım.....	82
Şekil 1. 11	Bakım alanında kural tabanlı çıkarım sistemlerinin kullanıldığı çalışmaların yayın türüne göre dağılımı .....	92
Şekil 1. 12	Bakım alanında kural tabanlı çıkarım sistemlerinin kullanıldığı çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	92
Şekil 1. 13	Bakım yönetiminde bulanık kural tabanlı sistemlerin kullanıldığı çalışmaların ayrımı .....	96
Şekil 1. 14	Bakım yönetiminde bulanık kural tabanlı sistemleri benimseyen çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	97
Şekil 2. 15	İki bulanık kümenin birleşimi .....	104
Şekil 2. 16	İki bulanık kümenin kesişimi .....	104
Şekil 2. 17	Bir bulanık kümenin tümleyeni.....	105
Şekil 2. 18	Bulanık üyelik fonksiyonunun sınırı, desteği ve çekirdeği .....	106
Şekil 2. 19	Üçgen üyelik fonksiyonu .....	107
Şekil 2. 20	Yamuk üyelik fonksiyonu .....	108
Şekil 2. 21	Sigmoid üyelik fonksiyonu .....	108
Şekil 2. 22	Farklı parametreler için gauss üyelik fonksiyonları .....	109
Şekil 2. 23	Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu.....	110
Şekil 2. 24	Net bir çıktı elde etmede kullanılan çeşitli durulaştırma yöntemleri .....	112
Şekil 4. 25	T-norm ve T-conorm operatörleri için sırasıyla min ve max kullanan Mamdani bulanık çıkarım sistemi .....	134



Şekil 4. 26	T-norm ve T-conorm operatörleri için sırasıyla product ve max kullanan Mamdani bulanık çıkarım sistemi .....	134
Şekil 4. 27	Sugeno bulanık model .....	136
Şekil 4. 28	Tsukamoto bulanık Modeli .....	137
Şekil 5. 29	Metrobüs durakları .....	142
Şekil 5. 30	Phileas model metrobüs görseli .....	144
Şekil 5. 31	Karsan model metrobüs görseli .....	145
Şekil 5. 32	Mercedes-Benz Capacity model metrobüs görseli .....	146
Şekil 5. 33	Mercedes-Benz Citaro model metrobüs görseli .....	146
Şekil 5. 34	Mercedes-Benz Conecto model metrobüs görseli .....	147
Şekil 5. 35	Ocak 2010-Ocak 2015 zaman diliminde meydana gelen tüm arızalar .....	148
Şekil 5. 36	Araçlar için arıza adetleri .....	148
Şekil 5. 37	Hat başına Arıza Adetleri .....	149
Şekil 5. 38	Phileas marka metrobüste meydana gelen arızalar ve yüzdeler dilimleri .	150
Şekil 5. 39	Phileas modeli için hat başına arıza yüzdeleri .....	150
Şekil 5. 40	Karsan marka metrobüste meydana gelen arızalar ve yüzdeler dilimleri..	151
Şekil 5. 41	Karsan modeli için hat başına arıza adetleri .....	152
Şekil 5. 42	Mecedes marka araçların alt modelleri için aylık araç başına yaklaşık .. arıza adeti .....	152
Şekil 5. 43	Mercedes markalı araçların için hat başına arıza adetleri .....	153
Şekil 5. 44	Capacity alt modelli metrobüslerde meydana gelen arızalar ve yüzdeler dilimleri .....	154
Şekil 5. 45	Capacity alt modelli araçların için hat başına arıza adetleri .....	154
Şekil 5. 46	Citaro alt modelli metrobüslerde meydana gelen arızalar ve yüzdeler dilimleri .....	155
Şekil 5. 47	Citaro alt modelli araçların için hat başına arıza adetleri .....	156
Şekil 5. 48	Conecto alt modelli metrobüslerde meydana gelen arızalar ve yüzdeler dilimleri .....	157
Şekil 5. 49	Conecto alt modelli araçların için hat başına arıza adetleri.....	157
Şekil 7. 50	Arızaların önceliklendirilmesinde kullanılan hiyerarşi .....	185
Şekil 7. 51	Dilsel terimlerin üyelik fonksiyonları .....	187
Şekil 7. 52	Arıza önceliklendirme çalışması için çizilen akış şeması .....	194
Şekil 8. 53	Aracın kullanımda olduğu döneme göre üyelik fonksiyonu .....	206
Şekil 8. 54	Araç yaşına göre üyelik fonksiyonu.....	206
Şekil 8. 55	Arızanın maliyetine göre üyelik fonksiyonu.....	207
Şekil 8. 56	Bir önceki bakım üzerinden geçen zamana göre üyelik fonksiyonu .....	207
Şekil 8. 57	Üyelik fonksiyonu elde etmede kullanılan PSO kodu için oluşturulan akış şeması .....	220
Şekil 8. 58	Phileas aracı için arıza sıklıkları girdisine ait histogram .....	222
Şekil 8. 59	Phileas aracının arıza sıklıkları için referans üyelik dereceleri.....	223
Şekil 8. 60	Phileas aracının arıza sıklığı girdisine ait üyelik fonksiyonu.....	224
Şekil 8. 61	Arıza sıklığı girdisi için belirlenen üyelik fonksiyonu .....	224
Şekil 8. 62	Güvenilirlik girdisi için belirlenen üyelik fonksiyonu.....	225
Şekil 8. 63	Şoför yeteneği girdisine ait üyelik fonksiyonu .....	226
Şekil 8. 64	Arızanın önem derecesi girdisi için oluşturulan üyelik fonksiyonu.....	226
Şekil 9. 65	Phileas markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu .....	232

Şekil 9. 66	Karsan markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu .....	233
Şekil 9. 67	Capacity markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu.....	233
Şekil 9. 68	Citaro markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu.....	233
Şekil 9. 69	Conecto markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu .....	233
Şekil 10. 70	Bakım yönetimi için önerilen bulanık kural tabanlı sisteme ait akış şeması ... .....	235
Şekil 10. 71	Phileas aracına ait oluşturulan kural tabanlı sistem giriş arayüzü .....	240
Şekil 10. 72	Phileas aracı için bulanık kural tabanlı sistem girdi ekranı.....	241
Şekil 10. 73	Phileas marka araç için bulanık kural tabanlı sistem kararı .....	242
Şekil 10. 74	Karsan aracı için bulanık kural tabanlı sistem girdi ekranı .....	243
Şekil 10. 75	Karsan markalı araç için kural tabanlı sistem kararı.....	243
Şekil 10. 76	Citaro marka araç için bulanık kural tabanlı sistem kararı .....	244
Şekil 10. 77	Örnek bir nöron yapısı .....	254
Şekil 10. 78	WEKA programı ekran görüntüsü.....	256
Şekil 10. 79	WEKA programına metrobüs ile ilgili kuralların aktarılması.....	257
Şekil 10. 80	WEKA programı ile oluşturulan YSA tasarımı .....	257
Şekil 10. 81	YSA sonuç ekranı.....	258
Şekil 10. 82	YSA'da kullanılacak girdilerin belirlenmesi için çizdirilen karar ağacı .....	259
Şekil 10. 83	Revize edilen YSA sonuçları .....	260
Şekil 10. 84	Kural tabanlı sistemde bulunmayan durumlar için yapılan tahminler .....	261

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1	Bakım yönetimi konusunda hazırlanan lisansüstü çalışmalar .....27
Çizelge 1. 2	Kural tabanlı sistemler yöntemi ile hazırlanan lisansüstü tezler .....62
Çizelge 1. 3	Bulanık kural tabanlı sistem yaklaşımı kullanılarak hazırlanan lisansüstü tez çalışmaları .....69
Çizelge 1. 4	Metrobüs konulu lisansüstü tezler .....76
Çizelge 1. 5	Kural tabanlı sistemler yöntemi ile hazırlanan çalışmalar .....84
Çizelge 1. 6	Bulanık kural tabanlı sistemler kullanılarak ile hazırlanan çalışmalar... 93
Çizelge 4. 7	Bazı sistem tanımlarında net ve bulanık veriler .....132
Çizelge 4. 8	Sugeno ve Mamdani bulanık çıkarım sistemlerinin avantajları ve dezavantajları .....137
Çizelge 5. 9	Yolcu adetleri .....142
Çizelge 5. 10	İETT Metrobüs hat-sefer bilgileri tablosu..... 143
Çizelge 5. 11	Araç filosu .....144
Çizelge 5. 12	Arıza ve hat bilgilerinin metrobüs modelleri bazında özeti .....157
Çizelge 6. 13	%2 Hata oranı için hesaplanmış örneklem büyüklükleri ve alınan örneklem büyüklüklerinin kıyaslanması .....160
Çizelge 6. 15	Hat türü- arıza tipi ilişkisi için Ki-kare Testi sonuçları..... 167
Çizelge 6. 16	Araç modeli- arıza tipi ilişkisi için Ki-kare Testi sonuçları.....167
Çizelge 6. 17	Phileas marka araç için arızalar arası geçen sürelerin dağılımları .....169
Çizelge 6. 18	Mercedes-Conecto marka araç için onarım süreleri dağılımları .....171
Çizelge 7. 19	Dilsel terimler ve karşılık gelen aralık tip-2 bulanık sayılar .....187
Çizelge 7. 20	Kriter ağırlıkları için uzman-1 değerlendirmeleri .....194
Çizelge 7. 21	Uzmanların değerlendirmeleri için tutarlılık oranları .....195
Çizelge 7. 22	Arıza analizinde kullanılan kriterlerin ağırlıkları .....195
Çizelge 7. 23	Kriter- alternatif matrisi .....196
Çizelge 7. 24	Stokastik TOPSIS için dilsel terimler .....197
Çizelge 7. 25	Beta dağıtılmış değerlendirme .....198
Çizelge 7. 26	Beta dağıtılmış değerlendirmelerin dönüştürüldüğü net değerler .....199
Çizelge 7. 27	Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi .....200
Çizelge 7. 28	Alternatifler için nihai katsayılar .....201
Çizelge 7. 29	Tüm araç modelleri için arızaların öncelik değerleri .....203
Çizelge 8. 30	Üyelik fonksiyonlarının matematiksel modelleme yoluyla elde edildiği çalışmalardan bazıları .....210
Çizelge 8. 31	İkili karşılaştırmalarda kullanılan değerlendirme ölçeği .....220
Çizelge 8. 32	Phileas aracının arıza sıklıkları için yapılan ikili karşılaştırmalar..... 222

Çizelge 9. 33	Bulanık kural tabanlı sistemde çıktının alabileceği durumlar .....	228
Çizelge 9. 34	Her bir araç-arıza için garajda tamir edilen arıza yüzdesi.....	229
Çizelge 9. 35	Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçeği .....	229
Çizelge 9. 36	Arızalar için araçlar bazında önem dereceleri .....	230
Çizelge 9. 37	Araçların arıza sayılarına ait istatistikler.....	231
Çizelge 9. 38	Hat başına arıza faktörüne ait istatistikler.....	231
Çizelge 9. 39	Bulanık kural tabanlı sistemin ardılı için hesaplanan tepe noktaları.....	232
Çizelge 10. 40	Girdiler için kullanılan kısaltmalar.....	236
Çizelge 10. 41	Girdilerin üyelik fonksiyonu seviyeleri.....	236
Çizelge 10. 42	Bulanık kural tabanlı çıkarım mekanizmasında kullanılacak kurallar listesi .....	237
Çizelge 10. 43	Karsan marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları.....	246
Çizelge 10. 44	Karsan marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları.....	248
Çizelge 10. 45	Capacity marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları.....	249
Çizelge 10. 46	Citaro marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları.....	250
Çizelge 10. 47	Conecto marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları.....	251
Çizelge 10. 48	Citaro markalı araç için gerçekleştirilen duyarlılık analizi.....	252
Çizelge 10. 49	Yeni kurallar tablosu.....	260

**BAKIM YÖNETİMİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ: TOPLU  
TAŞIMA SÜRECİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Melike ERDOĞAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan Kaya

Bir üretim veya hizmet işletmesindeki tüm ekipmanlar, zaman geçtikçe yaşlanma ve yıpranma sebebiyle çeşitli arızalar yaşarlar. Bu ekipmanların arızalanmadan önce kontrol edilmesi yahut arızalandıktan sonra tamir ya da onarım çalışmalarının gerçekleştirilmesi, bakım faaliyetlerini kapsamaktadır. Bakım faaliyetlerinin temel amacı, tüm ekipmanların etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayıp, beklenmeyen arızaları önleyebilmektir. Arızalar gerçekleşme zamanı önceden tahmin edilemez durumlardır ve stokastik belirsizlik sergilerler. Ayrıca özellikle hizmet işletmelerinde insan faktörünün sürece daha fazla dahil olması ve bu faktörün öngörülemez doğası nedeniyle, bakım faaliyetlerinde stokastik belirsizliğin yanı sıra bulanık belirsizlik de göz önünde bulundurulması gereken bir konudur. Bakım faaliyetlerinde arızaların stokastik belirsizliği ve sürece insan müdahalesi ile ortaya çıkan bulanık belirsizliği ele alarak etkili bir politika belirlemek oldukça önemlidir. Bu kapsamda, önceden tecrübe edilmiş arızaların davranışları analiz edilip, kural tabanlı bir bakım karar verme mekanizması geliştirilebilir. Bu mekanizma ile araç bazında uygun anlık bakım kararı oldukça kolayca ve etkin bir şekilde verilebilir.

Son yıllarda artan şehirleşme ve şehirlerde hızla yükselen nüfusa paralel olarak ulaşım sorunları da ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların çözümü konusunda atılacak adımlar, yalnızca toplu taşıma sistemlerine eklenecek yeni araçlar, alternatifler ya da yollar değil, varolan araçların hizmet kalitesini arttırmak için daha planlı bir şekilde işletilmesi,

bakım onarımının gerçekleştirilmesi ve kontrol edilmesidir. Toplu taşıma araçları, kullanıma ve yaşa bağlı olarak yıpranmaya maruz kalırlar. Bu da servis kalitesinin düşmesine, yolcu memnuniyetsizliğinin ve maliyetlerin artmasına ve hatta yolcuların hayatını tehlikeye atacak durumların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu da ilginin bu sistemlerin arızalanmasını önleyen, bakım maliyetlerini düşüren ve sistem güvenilirliğini artıran bakım stratejisinin tespit edilmesi konusuna kaymasına sebep olmuştur. Bununla birlikte literatürde, işletmelerin maliyetini etkileyen en önemli problemin optimum bakım modelinin oluşturulması olduğu görülmektedir. Bu anlamda üretim sektöründe faaliyet gösteren firmalar için arızaların önceden tespiti, güvenilirlik hesaplamaları, bakım politikası kararı oldukça önemlidir. Ancak bu konular ulaşım sektörü gibi hizmet üreten firmalar için de yukarıda sayılan sebeplerden ötürü büyük önem arz etmektedir.

2007 yılında kullanıma sunulan Metrobüs sistemi, İstanbul'da trafik yoğunluğunun önemli oranda düşmesini sağlayan ve toplu taşımaya olan ilgiyi arttıran önemli bir ulaşım hattıdır. Metrobüs sistemi günlük yaklaşık 800000 yolcuya toplu taşıma imkânı sunmaktadır. Dolayısıyla bu sistemde meydana gelen herhangi bir arıza & durma olayında, çok sayıda insanın etkileneceği açıktır. Bu bağlamda etkin bir bakım politikası oluşturma ve rassal olarak ortaya çıkan arızalar için çıkarımlı bir karar mekanizması geliştirebilmek süreklilik açısından oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, metrobüs sisteminde yaşanan arızalar için kural tabanlı bir çıkarım sistemi geliştirilmiştir. Süreçteki belirsizliklerin analizi için bulanık mantıktan yararlanılmıştır. Girdi değişkenleri olarak araç yaşı, arızaların etkisi, maliyeti, güvenilirlik, şoför yeteneği gibi farklı büyüklükler ile ifade edilen etkenler belirlenmiş, metrobüs araçlarına ait model bazında yenileme, bakım veya kullanıma devam edilmesi gibi aksiyonlar için örnek bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Kural tabanlı sistemde yer alamayan kuralların da tahmin edilebilmesi için, bir tahminleme mekanizması geliştirilmiştir. Kural ağırlıklarının sonuçlar üzerindeki etkisini araştıran duyarlılık çalışması yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, gerçek hayat verileri ile kıyaslanarak, doğrulama çalışması yapılmıştır. Arıza etkilerinin belirlenmesi adına yapılacak önceliklendirme çalışmasında, stokastik ÇKKV kullanılarak, literatüre gerek yöntem açısından gerekse ilgili alanda yapılan ilk çalışma olması sebebiyle önemli bir katkıda bulunulmuştur. Sonuçta, araçlar bazında anlık kullanıma devam etme ya da bakıma alma kararlarının kolaylıkla verilebildiği bir sistem geliştirilmiştir. Bu bulanık kural tabanlı karar sistemi sayesinde araçların bakım sürecinin her an kontrol altında olduğu bir yapı oluşturulmuş ve araçların henüz arıza yapmadan bakıma ihtiyaç duyup duymadığını kontrol eden bir sistem geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakım politikasının belirlenmesi, Bulanık kural tabanlı sistemler, Metrobüs, Stokastik parametreler

**THE RECOMMENDATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR  
MAINTENANCE MANAGEMENT: AN APPLICATION FOR THE PUBLIC  
TRANSPORTATION PROCESS**

Melike ERDOĞAN

Department of Industrial Engineering

Ph.D. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İhsan KAYA

All equipment in a production or service enterprise has various failures due to aging and wear over time. Maintenance activities can be determined as checking equipment before failure or after repair. Maintenance activities are to check the equipment before failure or to perform repair after failure. It is important to determine an effective policy by addressing the stochastic uncertainty of failures in maintenance activities and the fuzzy uncertainty associated with human intervention. In this context, the behavior of previously experienced failures can be analyzed and a rule based maintenance decision-making mechanism can be developed. With this mechanism, the appropriate instant maintenance decision on the vehicles can be given easily and effectively. The main purpose of maintenance activities is to ensure the efficient use of all equipment and to prevent unexpected failures. Failures are unpredictable and show stochastic uncertainty. Moreover, due to the greater inclusion of human factor in service businesses and the unpredictable nature of this factor, fuzzy uncertainty as well as stochastic uncertainty in maintenance activities should be considered.

In recent years, increasing urbanization and transportation problems in parallel with the rapidly rising population in cities are emerging. The steps to be taken to solve these problems are not only new vehicles, alternatives or paths to be added to public

transport systems; but also to carry out a more planned operation to improve the service quality of existing vehicles, and to perform maintenance and control. Public transportation vehicles are exposed to wear due to age and use. This leads to a decline in service quality, increased passenger dissatisfaction and costs, and even the emergence of situations that endanger the lives of passengers. This has led to the shift of interest to the determination of the maintenance policy, which prevents the failure of these systems, reduces maintenance costs and increases system reliability. Besides, it is seen in the literature that the most important problem affecting the cost of enterprises is the creation of an optimum maintenance model. In this sense, pre-determination of failures, reliability calculations and maintenance policy decision are very important for firms operating in the production sector. However, these issues are of great importance for the companies that produce services such as transportation sector for the reasons mentioned above.

The Metrobus system, introduced in 2007, is an important transportation line which increases the traffic density in Istanbul and increases the interest in public transportation. The metrobus system offers daily transportation to approximately 715.000 passengers between Beylikdüzü-Söğütlüçeşme. Therefore, it is clear that a large number of people will be affected by any failure & stop event occurring in this system. In this context, it is very important to create an effective maintenance policy and to develop an inference decision mechanism for randomly generated failures.

In this thesis, a rule-based inference system has been developed for failures in the BRT system. Fuzzy logic is used to analyze uncertainties in the process. Factors expressed as input variables with different sizes such as vehicle age, effect of failures, cost, reliability, driver ability have been determined and a decision support system has been established for actions such as renewal, maintenance or continued use of metrobus vehicles. A prediction mechanism has been developed in order to predict the rules that cannot be included in the rule-based system. A sensitivity study was conducted to investigate the effect of rule weights on results. In addition, the results were compared with real life data and validation study was performed. In the prioritization study to determine the effects of failures, a significant contribution is made by using the stochastic MCDM, because it is the first study on the literature both in terms of method and in the relevant field. As a result, a system has been developed in which tools such as resumption of instant use or maintenance can be easily given. A system has been developed in which the decision to use or maintenance can be easily given instantly on the basis of every vehicles.

**Keywords:** Determination of maintenance policy, Fuzzy rule based systems, Metrobus, Stochastic parameters



### GİRİŞ

Bu tez çalışmasında bakım yönetimi için bulanık kural tabanlı bir karar destek sistemi (KDS) önerilmiştir. Bu sayede, en uygun bakım kararının verilmesinde birçok farklı faktörü göz önünde bulunduran ve süreçteki belirsizlikleri de ele alarak gerçeğe en yakın ve geçerli sonuçlar elde eden bir yapı geliştirilmiştir. Çalışmanın kapsamında arızalar için bulanık ve stokastik belirsizliği aynı anda göz önünde bulunduran önceliklendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygulama olarak İstanbul'da kullanılan metrobüs sisteminde yaşanan arızalar analiz edilmiş ve en uygun bakım kararının belirlenmesi için bu bulanık kural tabanlı bakım mekanizması kullanılmıştır. Bu bölümde, ilgili yaklaşım ve yöntemler adına araştırılan literatüre yer verilmiştir.

#### 1.1 Literatür Özeti

Bu bölümde, bakım konsepti altında hazırlanan çalışmalar ile kural tabanlı sistemler kullanılarak oluşturulan modeller incelenmiştir. Literatürde örnek bir yaklaşımın mevcut olup olmadığı, kurgulanan hibrid yaklaşımın bir boşluğu doldurup doldurmayacağı araştırılmıştır. Ayrıca kullanılması planlanan yöntemlerin klasik ve bulanık mantıkla kullanımı ayrı ayrı incelenmiş; bulanık mantığın katkısı ve neden bulanık mantık kullanılmalı sorusuna cevap oluşturulması hedeflenmiştir. İncelenen yayınlar, alt başlıklar halinde sunulmuştur.

### 1.1.1 Bakım Kavramı

Bu alt bölümde, bakım çalışmaları ile ilgili son yıllarda yapılan ve çalışmanın altyapısının oluşturulmasına katkı sağlayan yayınlara yer verilmiştir.

Çırak [1] çalışmasında İstanbul'un raylı toplu taşıma sisteminde kullanılan tramvay filosuna uygulanan bakım politikaları ele alınmıştır. 10 tramvay aracı için M.S. Visual Studio C# yazılımını kullanarak Tramvay Bakım Optimizasyonu projesi hazırlanmıştır. Bu projedenin amacı, 10 araç filosunun haftalık bakım çizelgesini oluşturarak, araçların ayrı ayrı ağır mekanik, mekanik ve elektrik bakım başlama ve bitiş sürelerini, araçların hangi istasyonda bakıma alındığını, haftalık istasyonların iş gücünü, 10 aracın bakımını aksatmamak için gerekli olan ek mesai saatini, toplam bakım süresini ve istasyonların boş bekleme süresini elde etmektir. Oluşturulan projede öncelikle mevcut bakım politikası değerlendirilmiş, ardından programın monte carlo simülasyon modeli kullanılarak farklı sıralamalarda bakım işlemlerinin gerçekleştirildiği senaryolar değerlendirilmiştir. Ardından, senaryolar sonucu elde edilen bakım politikaları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı incelenmiştir.

Attepe [2], Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren mobilya şirketlerinden biri seçilerek uygulama burada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, fabrika içindeki hangi makinelerin çalışma konusu olarak belirleneceğini seçiminde, Pareto Analizi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre istasyonların duruş sürelerindeki arıza oranlarına göre yüksek, orta ve düşük seviyede olan makineler seçilmiştir. Ardından, ilgili makineler için MTTF (arızaya kadar ortalama süre) ve MTTR (ortalama tamir süresi) parametreleri hesaplanmış ve makineler için hata yoğunluk fonksiyonu, arıza hızı fonksiyonu ve güvenilirlik fonksiyonu tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda oluşturulacak bakım planının işletmenin diğer bölümleriyle de etkileşim halinde olması ve sistemin bütünleşik şekilde faaliyet sürdürmesi için, bilgi sistemine dönüştürme eylemi gerçekleştirilmiştir.

Ünal [3], kestirimci, koruyucu ve arıza bakım tekniklerini aynı çatı altında toplayan güvenilirlik merkezli bakım hakkında detaylı bilgiye yer verilmiş ve bir çimento fabrikası

için önerilerde bulunulmuştur. Çalışmada özellikle bakımın önemi ve farklı bakım politikalarının maliyet azaltıcı etkilerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Bal [4], bakım tekniklerinin RFID teknolojisi yardımıyla gerçekleştirilmesi önermiştir. Bu amaçla öncelikle bakım politikası belirlenecek kritik makineler belirlenmiş, bakım maliyetleri hesaplanıp mevcut durum analiz edilmiştir. Ardından tesiste uygulanan periyodik bakım politikasına alternatif olarak iki çeşit bakım politikası geliştirilmiş ve olası sonuçlar simülasyon modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında döküm fabrikasındaki bakım verilerinin otomatik olarak toplanması, analiz edilmesi ve elde edilen sonuçlara dayanılarak bakım politikaları geliştirilmesi için tesisin durumunu izlemeyi sağlayan bir RFID destekli bakım yönetim sistemi önerilmektedir.

Bu alt bölümde, bakım alanında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda, toplu taşıma araçlarının bakım faaliyetleri konusunda yeterli sayıda çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Bu alanda yapacağımız çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı gözlenmiştir. Bakım alanında karşımıza çıkan çalışmaların tümü, literatür sonuçlarının değerlendirildiği Bölüm 1.1.4'te tablolar halinde özetlenmiştir.

### **1.1.2 Bakım Yönetiminde Kural Tabanlı Sistemler**

Bu alt bölümde, bakım yönetiminde kural tabanlı sistemlerin kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir. Burada yer alan çalışmalar, yapılması planlanan çalışmayla doğrudan ilişkilidir.

West [5], Eastman Kimya Şirketinin Teksas Eastman tesisindeki ateşe dayanıklı balatalar için başlattığı önleyici bakım programı geliştirmiştir. Proje takımı, şirket tarafından ateşe dayanıklı balataların değerlendirilmesi için kurallara dayalı kriterler oluşturulmuştur.

Yao vd. [6], ekipmanların arıza teşhisi için JAVA Uzman Sistem Kabuk teknolojisini kullanarak bir kural tabanlı akıllı ekipman bakım platformu geliştirmiştir. Coğrafi sınır boyunca gerçek zamanlı ortak ekipman bakımını desteklemek için bulanık tabanlı bilgi sistemini ve çıkarsama motorunu birleştiren bir prototip sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen platform, bilgi mühendislerinin sürekli değişen işbirliği gereksinimlerini karşılamak için kuralları kolay ve esnek bir şekilde oluşturmasına, yönetmesine ve sürdürmesine izin verir.

Zhou vd. [7], çalışmalarında ardışık kusurlu bakım politikasına koşul tabanlı kestirimci bakım politikası entegre etmiştir. Farklı bakım döngülerinde sistem güvenilirliği evrimini tahmin etmek için yaş küçültme faktörü ve tehlike oranı artışı faktörü kavramına dayalı hibrid tehlike hızı yineleme kuralı geliştirilmiştir. Simülasyona dayanan sistemin kalan ömründe birim zaman başına kümülatif bakım maliyetini en aza indirecek optimal güvenilirlik eşiği çıkarılmıştır.

Borgia vd. [8] bakım performansını arttırmak amacıyla otomatik belirti sürecini yürütmede İtalya demiryollarında kullanılan bir lokomotif için kural tabanlı uzman sistem geliştirmiştir.

Zhou vd. [9] uzman bilgisi ve arıza nedeni analizini kullanılarak, arıza belirti modeli için bir kanı kural tabanlı bir oluşturmuştur. Ardından mevcut karakteristik değişken bilgilerine dayanılarak, bir online arıza belirti algoritması önerilmiştir. Arıza belirti modeli, dinamik sistemlerin değiştirme kararını desteklemek için durum dayalı karar modelinde kullanılmıştır.

Hadjiski ve Boshnakov [10], bir eşik tabanlı politika, Kural Tabanlı Çıkarım ve Durum Tabanlı Çıkarım kullanılarak etkin bakım kararı verilmesi için bir çok aşamalı prosedür önermişlerdir.

Doğan [11], AS-532 COUGAR helikopterleri bakım personeli için kural tabanlı muhakeme KDS oluşturmuştur. Sıra dışı arızalar, muhtemel sebepleri, kullanıcıya uyanlar ve tavsiye edilen çözüm önerileri "durum" yapısında sunulmuştur.

Yukarıda incelenen çalışmalar neticesinde kural tabanlı sistemlerin bakım yönetimi alanında başarılı şekilde uygulandığı yorumu yapılabilir. Ancak daha önceden toplu taşıma araçlarının bakım politikalarına yönelik bir çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir.

### **1.1.3 Bakım Yönetiminde Bulanık Kural Tabanlı Sistemler**

Bu alt bölümde, bakım yönetiminde kural tabanlı sistemlerin bulanık kümeler teorisi ile birlikte kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

Seines vd. [12], ölçümlerden elde edilen bulanık kural tabanlı modellerin, az sayıda kural ile şeffaf olacağını göstermiştir. Kurallar arasında bulanık bir geçişin, dilsel açıdan iyi bir

kalitatif açıklama ile birlikte hassasiyet elde etmeyi mümkün kılacağı açıklanmıştır. Bu uzman değerlendirmenin, kural-taban bakım, operatör eğitimi, kontrol sistemleri tasarımı, kullanıcı arabirim, vb için yararlı olacağı belirtilmiştir.

Yuniarto ve Labib [13], koruyucu bakım ve üretim kontrol sistemi için bir yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımda, arızaya eğilimli bir üretimin akıllı bir optimal kontrolörü ile akıllı bakım sistemi arasındaki entegrasyon çerçevesi geliştirmişlerdir.

Azdeh vd. [14], bir bulanık kural tabanlı çıkarsama sistemi ile bilgi edinme yoluyla pompa arızaları için doğru ve zamanında tanı mekanizması sağlamayı amaçlamışlardır. Önerilen bulanık çıkarım sistemi ile insan hatalarının ve onarım süresinin azaltılması, eğitim için kullanılabilir uzmanlık bilgisi oluşturma, gereksiz harcamaların ve bakım maliyetlerinin azaltılması sağlanarak bakım sürecinin geliştirilmesi sağlanmıştır.

Lee vd. [15], uzmanların bilgi ve tecrübesine dayanarak çamurlukların arızalarını teşhis etme ve kullanım ömürlerinin değerlendirme yoluyla, kauçuk çamurlukların bakım zamanını tahmin etmek için bir bulanık kural tabanlı karar verme sistemi geliştirmişlerdir.

Hussain [16], şanzıman arızalarının doğru teşhisinin bakım operatörleri için önemli ve kritik bir görev olduğu vurgulayarak, durum bazlı bakım kapsamında şanzıman arızalarına doğru ve zamanında tanı konulmasını amaçlamışlardır. Tanı koyulması, bulanık kural tabanlı çıkarsama sistemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

#### **1.1.4 Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Çalışmaların incelenmesi sonucunda, bazı genel yargılara varılmıştır. Hazırlanan çizelgeler ile incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımları ve çalışma alanı grafikleri çıkarılmış, çalışma türleri de incelenerek bazı genel yorumlar yapılmıştır. Bu çıkarımlar her bir ilgili grafiğin altında özetlenmiştir. Ayrıca, bir önceki alt bölümlerde konu bazında incelenen tüm çalışmalar, tablolar halinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Araştırma kapsamında ilk olarak bakım kavramı altında hazırlanan lisansüstü tezler incelenmiştir. Ardından kullanılması planlanan yöntemlerle ilgili tezler incelenerek bu

yöntemlerin bakım yönetiminde nasıl yer bulduğu ve son gelişmelerin neler olduğu yayın türü dikkate alınarak incelenmiştir.

Çizelge 1.1’de, bakım çalışmaları ile ilgili hazırlanan lisansüstü tezlere yer verilmiştir. Böylelikle hazırlanan lisansüstü çalışmalarda bakım kavramı hangi yöntemlerle ele alınmış, hangi endüstri mühendisliği teknikleri uygulanmış ve literatürde bu konudaki açıklık nedir sorusuna cevap aranmıştır.



Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
1	Bakım planlamasına olasılıklı yaklaşım-T.Ş.F.A.Ş Eskişehir Makina Fabrikasındaki torna tezgahlarına ilişkin uygulama [17]	Kestirimci bakım yaklaşımından yararlanılarak bakım zamanlarının planlaması gerçekleştirilmiştir. Makinaların bakıma gereksinim duyacağı zamanın belirlenmesinde arızalara ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmıştır.	1986	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
2	Computerized applications in the maintenance department of a textile plant [18]	Rassal olarak bozulan parçalar için bozulma zamanlarının önceden tespit edilmesinde yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca bakım departmanı için bazı temel operasyonların bilgisayarlar aracılığı ile yapılması önerilmiştir.	1987	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
3	Çimento sanayi için bilgisayar destekli bir bakım planlama modeli [19]	Bir çimento fabrikasının bakım planlama bölümüne planlama ve raporlama görevlerinde yardımcı olacak bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir.	1987	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
4	Fabrikalarda bakım-onarım maliyetlerinin minimizasyonu [20]	İşletmede öncelikle yönetimin bakım-onarım konusuna gereken önemi vermesi, iyi bir bakım-onarım bilgi sistemi ve kalifiye bakım-onarım elemanlarına sahip olması ile koruyucu bakım yaklaşımını benimsemesinin maliyetler üzerinde önemli bir etkiye sahip olacağı belirtilmiştir.	1987	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
5	Durum geçiş matrisi yöntemi ile yüksek gerilim hava iletim hatlarının güvenilirlik değerlendirilmesi [21]	Bursa ilindeki elektrik iletim hatları için güvenilirlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Güvenilirlik hesaplamalarında yaklaşıklık ve Markov zincirleri kullanılmıştır.	1989	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	D
6	Mikroişlemci temelli sistemlerde arıza arama teknikleri ve uygulamaları [22]	Elektronik cihazlarda kullanılan mikroişlemcilerde arızaların tespit edilmesi için bir yaklaşım oluşturulmuştur. Eldeki mevcut cihazlarla arıza tespitinin nasıl gerçekleştirilebileceği açıklanmıştır.	1989	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
7	Orta ölçekli üretim işletmelerinde uygulanabilir planlı bakım sisteminin geliştirilmesi ve bir uygulama [23]	Koruyucu bakımın önemine yer verilmiş ve bir işletme için planlı bakım sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır.	1989	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
8	Esnek üretim sistemleri için bir etkin üretim denetleme modeli [24]	Alınan siparişler, gönderilen siparişler, mamul stoku, üretim, kapasite ve rastsal arıza durumları Sürekli Simülasyon Yaklaşımı olan Sistem Dinamiği Yaklaşımı ile analiz edilmiş ve rastgele karşılaşılabilecek olan arızaların bütünleşik üretim sistemine etkisi sergilenmiştir.	1989	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Arıza Analizi	D
9	Güvenilirlik bakım ve yenileme kararları üzerine bir çalışma [25]	-	1990	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Bakım Politikaları	YL
10	A failure probability based troubleshooting expert system for complex mechanical systems [26]	Parçaların bozuk olma olasılığına dayalı bir yaklaşımın arıza tespiti uzman sistemlerinin geliştirilmesinde ne şekilde kullanılabileceği ve bu yaklaşımın varolan arıza tespit ve giderici uzman sistemlerinde kullanılan yaklaşımlara göre kazandırdıkları incelenmiştir. Sonuçların gösterilmesi amacıyla Airbus A-310 yolcu uçağının arıza tespitinde kullanılmak üzere bir uzman sistem geliştirilmiştir.	1990	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Arıza Analizi	YL
11	Yol Üstü Yapısı Bakım Yönetim Sistemi [27]	Kişisel bilgisayarlarda kullanılmak üzere bozulmuş yol kesimleri için uygun bir bakım veya onarım stratejisinin seçimi için bilgisayar programı geliştirilmiştir.	1990	İnşaat Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
12	Planlı bakım ve onarım [28]	Bakım ve onarım işlemleri konusunda detaylı bilgi verilmiş, ardından koruyucu bakımın öneminden bahsedilmiştir.	1990	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL



Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
13	Bilgisayar destekli güvenilirlik analizi [29]	İletim - dağıtım sistemleri için bilgisayara destekli güvenilirlik modeli oluşturulmuştur. İlgili modelin uygulanmasında çizge teorisi kullanılmış ve örnek sistemler üzerinde denenmiştir.	1991	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL
14	Demir ve çelik tesislerinde bakım uygulamaları [30]	Genel bakım ve onarım yöntemleri incelenerek bu yöntemlerin demir ve çelik tesislerindeki uygulamaları ele alınmıştır.	1991	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
15	Designing maintenance planning system for a large industrial facility [31]	Büyük bir fabrika için, haftalık planlı bakım çizelgesi oluşturulmuştur. Bu amaçla Bilgisayar Destekli Planlı Bakım Sistemi (BDPBS) tasarlanmış ve geliştirilmiştir.	1992	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri, Bakım Çizelgeleme	YL
16	Küçük boy telefon santrallerinin bakım ve onarımı için bir uzman sistem tasarımı [32]	Kural tabanlı çıkarım sistemleri kullanılarak telefon santrallerinin bakımında kullanılmak amacıyla bir uzman sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.	1993	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Bakım Politikaları	YL
17	Optimal replacement policies with minimal repair and random cost [33]	Sistemin ihtiyaç duyduğu onarım sayısını bulmak amacıyla maliyet limiti ve bozulma sayılarını dikkate alan iki ayrı model kurulmuştur. Bozulma sayılarını dikkate alan model için çözüm elde edilmiştir.	1993	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
18	Bakım kontrolleri ve Eskişehir Çimento Fabrikasında bilgisayar destekli bakım kontrollerinin uygulanması [34]	Eskişehir Çimento Fabrikasında, koruyucu ve kestirimci bakım yöntemleri uygulanmıştır.	1993	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
19	Karayolu esnek yol üstyapısında yapılan bakım hizmetleri ve esnek yol üstyapısında oluşan bozulmalar ve onarımı [35]	Esnek yol üstyapısında yapılan bakım hizmetlerinin tarifi ve sınıflandırılması yapılmış, bakım hizmetlerinde kullanılan malzemeler anlatılmıştır.	1993	İnşaat Mühendisliği	Diğer	YL
20	Tekstil işletmelerinde durum izlemeye dayalı bilgisayar destekli kestirimci bakım sistemlerini kullanarak optimum	İşletmelerde büyük üretim ve randıman kayıplarına yaratan duruşları ve yedek parça sarfiyatlarını optimize eden ve muhtemel problemleri henüz oluşmadan tespit etmeyi	1993	Tekstil ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	bakımın yapılması [36]	sağlayan bakım yöntemlerinin tekstil sektöründe uygulamaları araştırılmıştır				
21	Enflasyon ve vergi etkilerini içeren stokastik kapsamlı bakım-onarım ve yenileme modeli [37]	Teknolojik gelişmeden etkilenen donanımları kullanan işletmelerin kapsamlı bakım-onarım ve yenileme yatırımlarının değerlendirilmesinde uygulanabilecek sistematik bir karar prosedürünü geliştirilmiştir.	1994	Ekonomi; Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Yönetimi	D
22	Design and development of a computerized maintenance management system for a large production facility [38]	Dayanıklı tüketim malı üreten büyük bir işletme için, bilgisayar destekli bir bakım yönetim sistemi (BDBYS) tasarlanıp, geliştirilmiştir.	1994	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
23	Bakım planlaması problemlerinin çözümünde bir uzman sistem yaklaşımı [39]	Bakım personeli sayısına karar verebilmek için, benzetim modelinin sonuçlarını kullanan bir uzman sistem yaklaşımı kullanılmıştır.	1995	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
24	Ülkemiz otoyollarının bakım ve işletme sistemleri, uygulamada karşılaştırılan sorunlar ve çözüm önerileri [40]	Otoyolların bakım ve işletme hizmetleri incelenmiştir.	1995	İnşaat Mühendisliği	Diğer	YL
25	Toplam üretken bakım tekniklerinin demir ve çelik fabrikalarının sıcak haddehaneler ünitesine uygulanabilirliği konusunda araştırma [41]	TVB tekniklerinin demir ve çelik fabrikalarına uygulanabilirliği konusunda bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; klasik bakım yöntem ve uygulamaları eksik kalmaktadır ve TVB, verimli ve güvenli bakım uygulamaları için bir zorunluluktur sonucuna varılmıştır.	1995	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
26	Otomotiv bakım atölyelerinde uygulamalı etüdü ve islah imkanları üzerinde bir araştırma [42]	Oto bakım servislerinde çalışanların periyodik bakım işlemlerinde kullandıkları metodlar, işlemin mevcut durumdaki standart süresi, servisteki çeşitli düzensizlikler ergonomik gözlem ve iş etüdü	1996	Eğitim ve Öğretim; Makine Mühendisliği	Diğer	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
		ile incelenmiştir.				
27	Distribution system reliability assesment structural approach [43]	Elektrik dağıtım sistemleri için güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Güvenilirlik analizinin gerçekleştirilmesinde Markov Analizi kullanılmıştır.	1996	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL
28	Remote operation, maintenance and diagnostic unit for rural exchanges [44]	Kırsal alan santralleri için uzaktan bakım ve işletme sistemi oluşturulmuştur. Böylelikle kırsal şebekedeki arızalara müdahale süresinde azalma ve servis kalitesinden artış sağlanması amaçlanmıştır.	1996	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL
29	Optimal overhauls and replacements of deterioratingand stochastically failing equipment [45]	Yıpranan ve rassal olarak bozulan ekipmanların revizyon ve yenileme kararları araştırılmış ve yazarların geliştirdiği "Katmanlı Dinamik Programlama" olarak adlandırdıkları bir modelle çözülmüştür.	1996	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
30	TCDD' de yapılan yol bakım çalışmalarının ekonomik analizi [46]	TCDD yol bakım çalışmalarının ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir.	1996	İnşaat Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
31	Güç iletim sistemlerinin bakım sistematiği [47]	Üretilip, kullanıma sunulmuş olan "Güç İletim Sistemleri" nin bakım sistematiğinin genel bir şekilde ortaya konulmuştur.	1996	Makine Mühendisliği	Diğer	YL
32	Computerized aircraft maintenance management [48]	Hava aracı bakım sistemleri için otomasyon sisteminin oluşturulmasında bulanık mantığın katkıları araştırılmıştır. Ayrıca hava araçlarında kullanılan ömürlü parçaların ömürlerinin saptanmasında bulanık mantığın kullanımı araştırılmıştır.	1997	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
33	Toplam kalite açısından 5S ve toplam verimli bakım [49]	TVB ve 5S yaklaşımları incelenmiştir. Örnek bir işletmede bu yaklaşımlar için yapılan uygulamalar incelenmiştir.	1997	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
34	Maintenance and marginal cost analysis of a two-unit cold standby system [50]	İki-birimli yedekli sistemlere yani çalışan bir birim [0,T) aralığında bozulduğunda eğer yedek birim hazır durumdaysa onunla değiştirilen sistemlere Marjinal Maliyet Analizi uygulanmıştır. Ortalama maliyet ve marjinal maliyet fonksiyonları bulunmakta ve karşılaştırılmaktadır.	1997	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
35	A Policy for the maintenance of a multistate multicomponent series systems [51]	Çok bileşenli ve çok evreli bir bakım modeli üzerinedir; literatürde dört evreli çalışan bir model çok evreli modele genişletilmiştir.	1997	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
36	Bilgisayar destekli bakım yöntemleri ve gemilerde bakım yönetimi [52]	Bilgisayar destekli bakım yöntemleri ve gemilerde bakım yönetimi konusu ele alınmıştır.	1997	Gemi Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
37	İnşaat makine ve ekipmanlarının bilgisayarlı bakım yönetimi [53]	Bilgisayar kontrollü bakım yönetimi ele alınarak klasik bakım kayıt tutma sistemi ile kıyaslanmıştır.	1997	İnşaat Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
38	Atıksu sistemlerinin işletme ve bakım esasları [54]	Atıksu sistemlerinin işletme ve bakım esasları incelenerek, çevre üzerindeki etkileri araştırılmıştır.	1997	İnşaat Mühendisliği	Diğer	YL
39	Türkiye'deki toplu konut yerleşimlerinde yönetim, bakım-onarım modelleri ve sorunları [55]	Türkiye'de oluşmuş toplu konut yerleşimlerdeki Yönetim Modelleri incelenerek, buralardaki "Yönetim ve bakım-onarım sorunları" değerlendirilmiştir.	1997	Mimarlık	Diğer	YL
40	Toplam verimli bakım ve Kordsa'daki toplam verimli bakım uygulamalarının değerlendirilmesi [56]	TVB kavramına değinilmiş ve KORDSA'daki TVB uygulamalarının değerlendirilmesi yapılmıştır.	1997	Mühendislik Bilimleri, İşletme	TVB Uygulamaları	YL
41	Development and application of a simulation model to analyse the effectiveness of services in a computer repair and maintenance facility [57]	Bakım, onarım ve servis sistemlerinde kuyruk modellerinin incelenmesinde simülasyon yöntemi kullanılmıştır.	1998	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
42	Çimento fabrikalarında makina performansına dayalı bakım planlaması sistemi ve yönetimi [58]	Çimento fabrikalarının çalışma prensibi ile ürün eldesini doğrudan etkileyen kritik makinaların bir sınıflandırması yapılarak, makina performansına dayalı bakım tekniğinin bu kritik makinalar arasından seçilen 10 makina üzerinde uygulanması incelenmiştir.	1998	Makine Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	YL
43	Sonlu ara stoklu seri üretim sistemlerinde bakım politikalarının mukayesesi [59]	Seri üretim sistemlerine uygulanabilir, ara stok seviyesine göre önleyici bakım politikası tasarlamak için bir model geliştirilmesi ve değişik politikaların, sistem çıktısı ürünlerin sistemde kalma zamanı, üretim içi envanter ve makinaların duruş zamanları gibi sistem performansı ölçütlerine etkisinin incelenmesidir.	1998	Mühendislik Bilimleri	Bakım Politikaları	D
44	Kestirimci bakım ve elektronik motorlarında titreşim analizi ile erken arıza teşhisi [60]	Elektronik motorlarda titreşim analizi kullanarak kestirimci bakım çalışması gerçekleştirilmiştir.	1999	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
45	Toplam verimli bakım (tvb) anlayışı ile iyileştirme ve ekipman performansının artırılması [61]	TVB felsefesi kullanılarak ekipmanların verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Uygulama için bir fabrika içerisinde, pilot olarak bir ünite seçilmiştir. Bu üniteye ilişkin olarak, kronik kayba neden olan sorunlar belli bir süre izlenerek, belirlenmiş, TVB yöntemleri ile bu sorunlar giderilmeye çalışılmıştır.	1999	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
46	Kent içi yollarda üstyapıda bakım yönetiminin uygulanması ve mevcut kaynakların optimizasyonu (Elazığ örneği) [62]	Üstyapı bakım - onarım işlemlerinin düzenlenmesi ve mevcut kaynakların optimum düzeyde kullanılmasını sağlamak için bir Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) geliştirilerek, uygulanabilmesi için gerekli önerileri sunulmuştur.	1999	İnşaat Mühendisliği	Diğer	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
47	Uçaklarda bakım ve bakım esnasında karşılaşılan problemler ve çözümleri [63]	Uçakların bakımları sırasında yapılması gerekenler ve uçaktaki hangi sistemin ne zaman bakımının yapılması gerektiği araştırılmış, sivil ve askeri uçakların bakımları sırasında karşılaşılan problemler ile bunların çözümlerine yönelik nelerin yapılabileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır.	1999	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
48	Bakımda yeni teknolojiler [64]	Duruma dayalı veya kestirimci bakım olarak isimlendirilen bakım anlayışının, temel kuralları anlatılmıştır. Türkiye'deki bir fabrikada yapılan uygulamalı çalışmalar ve örneklerle gösterilmiştir. Erken arıza teşhisleri ile olabilecek muhtemel üretim kayıpları ve bakım maliyetlerinin azaltılmasının vibrasyon izleme sistemleriyle anlatılmıştır.	1999	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
49	Organizational performance Omeasurement in aircraft maintenance system for army aviation [65]	Kara havacılık birlik bakım seviyesinde mevcut performansını ortaya çıkarmak, bakım performans ölçüm sisteminde geliştirilebilecek alanları tespit etmek ve kara havacılık bakım sistemi için parasal değerlerle ölçüm yapmayan bir ölçüm sistemi oluşturmak amaçlanmıştır. Çalışmada Veri Zarflama Analizi kullanılmıştır.	2000	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Bakım Etkinliğinin Ölçülmesi	YL
50	Nonlineer yükleri içeren elektrik enerji sistemlerinde güvenilirlik analizi için yeni bir yaklaşım [66]	Enterkonekte bir şebekenin iletim hatları ve tüketicinin enerji ihtiyacını karşılayan barolar ile ilgili güvenilirlik hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada, bulanık küme teorisi ve bulanık küme teorisinin güvenilirlik mühendisliği uygulamalarına yer verilmiştir.	2000	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	D
51	Modelling and optimisation of Turkish army STH level renovation maintenance system	Türk Kara Kuvvetleri 5nci kademe yenileştirme sistemlerinin modellenmesi ve optimizasyon yollarının gösterilmesi benzetim yoluyla	2000	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	via simulation [67]	ifade edilmiştir.				
52	Uçak bakım planlamasında güvenilirlik analizi için bir yöntem geliştirilmesi [68]	Yurtdışı kaynaklı ve ülkemizde kullanılan bir silah sistemi olan F-16 uçaklarına ait F110-GE-100 motorlarının en çok hasarlanan iki parçasını ele alınıp, ülkemiz kullanım koşullarına göre F110-GE-100 motorlarının bakım standart ve politikasını gerçek verilere dayalı olarak güvenilirlik analizi yardımıyla bulunmuştur	2000	Sivil Havacılık	Güvenilirlik Analizi	D
53	Bir arıza izleme ve bildirim sistemi gerçekleştirilmesi [69]	PC tabanlı bir arıza izleme ve bildirim sistemi tanıtılmıştır. Sistem Oyak-Renault fabrikası, kaporta Megane hattına uygulanmıştır.	2001	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
54	Toplam verimli bakım ve bir işletmede uygulama çalışmaları [70]	Başarılı bir TVB uygulaması için dikkat edilmesi gereken hususlar ortaya konulmuştur. Örnek olması amacıyla atölyeler için yapılan uygulamalar eklenmiştir.	2001	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
55	Total productive maintenance:An application [71]	Bir işletmede TVB yaklaşımı altında anılan otonom bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir.	2001	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
56	Kalite yönetiminde hata türü ve etkileri analizi [72]	Hata türü ve etkileri analizinin (HTEA) güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ile olan ilişkisi değerlendirilmiş, daha sonra uygulamasına örnek olarak, Arçelik Çayırova İşletmesi'nde üretilen çamaşır makinesindeki kazan körüğü parçasına uygulanan HTEA ele alınıp açıklanmıştır.	2001	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL
57	Bakım planlaması ve İETT Genel Müdürlüğündeki toplu ulaşım araçlarının periyodik bakımlarının yeniden yapılandırılması [73]	İETT bünyesinde hizmet veren toplu taşıma araçları için planlı bakım çalışmalarının yeniden düzenlenmiştir.	2001	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
58	İşletmelerde toplam verimli bakım uygulamasında başarının kriterleri [74]	Başarılı bir TVB çalışması için gerekli kriterler ve Türk firmalarına uyarlanmasının öneminden bahsedilmiştir.	2001	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
59	İmalat işletmelerinde toplam verimli bakımın önemi ve bir uygulama [75]	TVB felsefesi kullanılarak, işletmelerde üretim performansını yükseltmek ve buna bağlı olarak da ekipman verimliliğinin en üst seviyeye çıkartılması için atılacak adımlar tarif edilmiştir. Bundan dolayı TVB' m önenini kavrayan Kayseri 2.Hv.İ.B.M' indeki uygulamalarla çalışma desteklenmiştir.	2001	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
60	Elektrik motorlarında dalgacık analizi yaklaşımı ile rulman arıza tanısı ve yapay zeka tabanlı bir durum izleme sistemi [76]	Asenkron motordaki rulman hatalarının özellikleri ortaya çıkartılarak yapay zeka tabanlı bir durum izleme sistemi geliştirilmiştir.	2002	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	D
61	Bakım Malzemeleri İhtiyaç Planlama Sistemi [77]	Bakım malzemelerinin planlanmasında bir MRP süreci geliştirilmiştir. İlgili süreç, koruyucu bakım takvimleri ve arıza istatistiklerine dayanmaktadır.	2002	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
62	Bir endüstri kuruluşunda bakım kayıt sistemi iyileştirilmesi [78]	Bir endüstriyel kuruluşun geçmiş dönem kayıtlarının incelenmesi sonucu ortaya çıkan eksiklerden hareketle; bakım onarım kayıt sistemlerinin sunabildiği olanakları esas alarak, bir bakım kayıt formu tasarımı ele alınmıştır.	2002	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL
63	Ordu bakım kademelerinde arıza teşhis uzman sistemi uygulaması [79]	Ordu bakım kademelerindeki tekerlekli araçların arıza durumları için bir arıza teşhis uzman sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir.	2002	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
64	Scheduling preventive maintenance on a single machine: A machining conditions based approach [80]	İlk olarak bir iş için üretim zamanı ile koruyucu bakım maliyetleri ilişkilendirilmiştir. Üretim ve koruyucu bakım maliyetleri toplamını enazlayan imalat koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca işlem zamanıyla	2002	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL



Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
		koruyucu bakım ihtiyacı arasındaki doğrusal olmayan ilişki de göz önünde bulundurulmuştur.				
65	Makinelere titreşim analizi yöntemiyle uyarıcı bakım [81]	Makine performansının titreşim izleme yöntemiyle nasıl belirleneceği anlatılmaya çalışılmıştır	2002	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
66	Bilgisayar destekli toplam verimli bakım uygulaması [82]	TVB faaliyetlerine destek olabilecek bir tür bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi yazılımı oluşturulmuştur.	2002	Makine Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
67	Predictive maintenance and its application in industry [83]	Titreşimin makine sağlığına etkisinden, titreşim ölçüm cihazlarından ve titreşim analiziyle arıza teşhisinden bahsedilmektedir. Döner ekipmanlarda oluşabilecek arızaları, titreşim analiziyle inceleyip arızanın kaynağının kesin olarak belirlenmesi hakkında bilgi verilmektedir.	2002	Makine Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
68	Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı [84]	Rulmanlarla yataklanmış dönen makine elemanlarında titreşim analizi kullanılarak kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir.	2002	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	D
69	Uçak jet motoru bakımında yorulma hasarlarının incelenmesi [85]	Uçak jet motoru bakımında yorulma hasarlarının önemi ele alınmıştır.	2002	Sivil Havacılık	Diğer	YL
70	A Study of the relative efficiency of maintenance and repair commands in general command of gendarmerie, using data envelopment analysis [86]	Jandarma Genel Komutanlığı bünyesindeki İl Jandarma Bakım Onarım komutanlıklarına Veri Zarflama Yöntemini uygulamayı kapsamaktadır. Çalışmanın amacı bakım birimlerinin görece araç bakım hizmetlerinin etkinliklerini bulmanın yanısıra; birim yöneticilerine, etkin olamamanın nedenleri ile etkinliğin nasıl artırılacağı konusunda öneriler sunmaktır.	2003	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol, Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Etkinliğinin Ölçülmesi	YL
71	Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemleri ve THY bakım yönetim	Bilgisayarın bir bakım yönetim sisteminde nasıl kullanılabileceği anlatılmıştır. Çalışmada bilgisayarlı yönetim	2003	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	sistemi [87]	sistemleri ile bakım verimliliği arttığı ve bakımla ilgili maliyetler azaldığı gösterilmiştir. Türk Hava Yolları Bakım Organizasyonundaki bilgisayarlı bakım yönetim uygulamalarına da yer verilmiştir.				
72	Temizlik kağıdı üretim hatları için önleyici bakım aralıklarının analizi [88]	Bir fabrikadaki üretim hatlarında arıza duruşları azaltmak ve makine etkinliğini arttırmak amacıyla ne kadar sıklıkta önleyici bakım yapılması gerektiği, çözümde işletmedeki bakım kayıtları kullanılarak ve Markov karar sürecinden yararlanılarak araştırılmıştır.	2003	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
73	Approche d'aide multicritere a la decision a la gestion de la productivite dans l'industrie automotive: Application de analytic hierarchy process [89]	Verimliliği arttırmak için öncelikle Analitik Hiyerarşi Sürecinden (AHS) yararlanılmış, incelenen sistemin verimliliğini en fazla etkileyen alternatifler belirli kriterler altında incelenmiştir. Verimliliği arttıracak en önemli alternatifin üretim postasında kayıpların azaltılması olarak bulunmuştur. Kayıpların azaltılmasında TVB 'da kullanılan arıza duruş formlarından yararlanılmıştır.	2003	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
74	Toplam verimli sürekli bakım iyileştirme faaliyetleri [90]	Üretimi gerçekleştiren operatörlerin de makinelerinin bakımında sorumlu olduğu TVB faaliyetlerinin detaylı açıklamalarına yer verilmiş ve TVB süreci ile elde edilebilecek iyileştirmeler açıklanmıştır.	2003	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
75	Toplam verimli bakım yöntemi ile işgücü verimliliğinin artırılması ve Çelikord A.Ş. işletmesinde bir uygulama [91]	Üretim sahasında çalışan işgücünün birim zamanda yaptığı eşdeğer üretimi arttırmak için bir TVB aktivitesi olan odaklanmış gelişim yöntem ve teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ilgili teknikler	2003	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
76	Güvenilirlik merkezli bakım (RCM) yöntemi ile asansör bakımı planlaması [92]	kullanılarak makinenin dururken operatörün yaptığı işlemler üzerinde iyileştirme sağlanabildiği görülmüştür. Güvenilirlik temelli bakım yaklaşımı kullanılarak elektrikli asansörlerin bakım planlaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda uygulanan sistematik yaklaşım sayesinde etkin ve verimli bir bakım planlaması ortaya çıkmıştır.	2003	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
77	Toplam verimli bakım (TPM) yaklaşımı ve gıda endüstrisinde uygulanabilirliği [93]	TVB'nin gıda endüstrisinde uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda bir fabrikada makinaların genel ekipman verimliliği hesaplanmış, TPM içinde yer alan otonom bakım, eğitim, -iş güvenliği ve çevre ilkeleri fabrika açısından incelenmiştir.	2003	Gıda Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
78	Toplam verimli yönetim anlayışı ekipman verimliliğinin artırılması [94]	Talaşlı üretim yapılan bir fabrikada kullanılan bir ekipmanın verimliliğini artırmak için Toplam verimli yönetim anlayışı ile yapılan bir çalışma yürütülmüş ve toplam verimli yönetim anlayışının işletmeye katkıları araştırılmıştır.	2003	İşletme	TVB Uygulamaları	YL
79	Endüstriyel sistemlerde kestirimci bakım açısından kademeli pompanın incelenmesi [95]	Dönen mekanik sistemlerin dinamik davranışının analizi çeşitli işletme şartları için sistem, titreşim parametreleri (genlik, hız ve ivme) yönünden araştırılmıştır.	2003	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
80	Bakım yönetimi ve bir işletmede toplam üretken bakım modelinin oluşturulması [96]	Bakım çeşitlerine değinilmiş ve orta ölçekli bir firmada TVB modelinin oluşturulması çalışmalarına yer verilmiştir.	2003	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
81	Elektrik dağıtım şebekelerinde güvenilirlik analizi [97]	Temel güvenilirlik kavram ve hesaplamaları, dağıtım şebeke tipleri, güvenilirlik indislerinin hesaplanması, en yaygın kullanılan şebeke tiplerinden olan radyal şebekelerin güvenilirlik analizine ait teknikler incelenmiştir	2004	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
82	Filo bakım malzemeleri ihtiyacı planlaması [98]	Bakım malzeme planlamasında koruyucu bakım takvimlerine geliştirilen bir MRP prosesi tanıtılmıştır.	2004	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
83	Toplam verimli (TPM) ve uygulama olanakları [99]	TVB kavramı incelenmiş ve uygulanabilirliğini göstermek üzere bir işletmede örnek uygulama gerçekleştirilmiştir.	2004	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
84	Toplam verimli bakım ve uygulama planının hazırlanması ve bir sanayi kuruluşu uygulaması [100]	"TVB nedir?", "Uygulama hedefleri nelerdir?", "TVB nasıl uygulanır?" gibi konular irdelenmiştir. Bir sanayi kuruluşunda uygulama yapılarak, kayıpların önüne nasıl geçileceği, TVB'nin uygulama hedefleri ve uygulama alanları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Toplam Ekipman Verimliliğinin (TEV) artırılması ile ilgili çalışmalar yapılarak, başlangıç seviyesinde TVB uygulamaları gerçekleştirilmiştir.	2004	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
85	Yüksek hızlı motorla tahrik edilen gemilerde ana ve yardımcı makinelerin bakım-tutum yöntemlerinin incelenmesi [101]	Bakım mühendisliği yaklaşımları kullanılarak ana ve yardımcı makinelerin bakım sistemlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.	2004	Gemi Mühendisliği	Diğer	YL
86	Bakım yönetimi ve bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinin Türkiye'de uygulama düzeyi [102]	Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri ve bu sistemlerin Türkiye'de uygulanma düzeyi incelenmiştir. Tez kapsamında yapılan anket çalışmasında Türkiye'de Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemi kullanan firmaların söz konusu yazılımları satın alırken nelere dikkat ettikleri, yazılım uygulamasındaki faktörlerin neler olduğu ve bu yazılımları satın alan firmaların beklentilerine ne derece karşılık bulduklarının tespiti yapılmaya çalışılmıştır.	2004	İşletme	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
87	B-200 uçağı bakım, arızacılık, test prosedürleri ve interaktif motor arıza	Geniş sistem bilgisi ve tespit edilmiş arızalar bir bilgisayar programında birleştirilerek bakım ekiplerinin	2004	Kazalar	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	çözüm programı [103]	yönlendirilmesi hedeflenmiştir. Özellikle bakım merkezinden uzakta bulunan diğer meydanlarda karşılaşılabilen arızalarda, uçuş ekibi, bu dokümanı kullanarak uçağın uçabilirliğine daha doğru karar vererek istenmeyen sonuçlar önlenebilecektir.				
88	Toplam verimli bakım ve bir uygulama [104]	Mercedes-Benz Türk A.Ş.'de yapılan bilgisayar destekli TVB uygulaması sonucunda verimliliğin önemli ölçüde arttığı incelenmiştir.	2004	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
89	Makinelere yapay sinir ağı (YSA) tabanlı titreşim esaslı kestirimci bakım [105]	Kestirimci bakım ve titreşim analizi için "ISO-2372 orta ölçekli makinelerin titreşim değerlendirme standartları" tablosu kullanılarak oluşturulan eğitim seti yapay sinir ağı (YSA) eğitmek için kullanılmıştır.	2004	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
90	Lif levha endüstrisinde bakım planlarının kalite üzerine etkisi [106]	Bakım ve kalite arasındaki ilişki incelenmiş ve iki ayrı bakım politikası için üretim sisteminin davranışları benzetim yoluyla incelenerek elde edilen üretim değerlerinin ürün kalitesi ve miktarı, üretim hızı, arıza duruşları, müşteri memnuniyeti ile ilişkisini karşılaştırmalı olarak ortaya koymak amaçlanmıştır.	2004	Ormancılık ve Orman Mühendisliği	Bakım Politikaları	D
91	İnternet üzerinden bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi ve havacılık uygulaması [107]	İnternet ile uçak bakımının nasıl birbirine yaklaştığı incelenmiş ve örnek bir programlama yapılmıştır.	2004	Sivil Havacılık	Diğer	YL
92	Güç trafolarına ait yağda erimiş gaz analizi sonuçlarının yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi ve arıza analizi [108]	Yağda erimiş gaz analizi sonuçlarına bağlı olarak arızanın teşhisinde yapay sinir ağları kullanılmıştır.	2005	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
93	Yapay zeka teknikleri kullanılarak marş motorlarında hata teşhisi [109]	Bulanık mantık, ileri beslemeli sinir ağı ve özöğütlemeli sinir ağı kullanılarak marş motorlarının arızaları teşhis edilmiştir.	2005	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	D

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
94	Bakım sistemlerinde envanter yönetimi [110]	Yedek parça optimum stok seviyelerini belirlemek için kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Bir çimento fabrikasındaki bazı yedek parçalar üzerinde en uygun model uygulanmış ve optimum stok ve sipariş seviyeleri bulunmaya çalışılmıştır.	2005	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
95	Bakım planlamasında yavaş ve hızlı işleyen stok kalemlerinin envanter kontrolü [111]	Bakım planlaması yapılabilmesi amacıyla yedek parçaların değişim periyotlarının kestirilmesi ve belirlenen periyotlar doğrultusunda yedek parça taleplerinin belirlenmesi ve etkin bir yedek parça stok kontrol modeli oluşturulması incelenmiştir.	2005	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
96	Bir demiryolu bölgesinde katener bakım şefliklerinin yeniden düzenlenmesi [112]	Belirlenen bir demiryolu bölgesinde bakım ve arıza olaylarına müdahale edecek bakım şeflikleri ve sorumluluk bölgeleri tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kurulan matematiksel modelde yedi alternatif tesisin hangilerinin faaliyet göstereceği ve sorumluluk bölgelerinin nereler olacağı sorusu cevaplanmıştır.	2005	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL
97	Titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisi [113]	Demir-çelik endüstrisinde kullanılan makinalarda titreşim analizi kullanılarak kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla makinalarda periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiş, elde edilen titreşim verileri frekans analizi metodu ile değerlendirilerek arızalar tespit edilmeye çalışılmıştır.	2005	Makine Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
98	Toplam kalite yönetimi, tam zamanında üretim ve toplam üretken bakım yönetim yaklaşımlarının entegrasyonunun	Prefabrikasyon yapım teknolojisi ve buna bağlı olarak prefabrike yapı elemanları üretim süreci incelenmiştir. Prefabrike yapı elemanları üretim sürecinde TKY,TZÜ VE TÜB yönetim	2005	Mimarlık	TVB Uygulamaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	Türk prefabrikasyon sektöründe uygulanabilirliği [114]	yaklaşımları entegrasyonun uygulanabilirliğini belirlemek ve bunun sonucunda üretim verimliliğindeki olası artışları analiz etmek hedeflenmiştir.				
99	Otellerde tesis işletme ve bakım yöntemi [115]	Küçük ve orta ölçekli otellerde tesis işletme ve bakım operasyonlarının yönetimine ilişkin bir model oluşturulmuştur.	2005	Mimarlık; İşletme	Diğer	D
100	Deniz yapılarında bakım ve onarım [116]	Değişik tipte deniz yapılarına, hangi periyotlarda ne gibi bakımlar yapılması gerektiği, hasar gören yapıların ne tür inceleme yöntemlerine tabi tutulması gerektiği ve en uygun tamir yönteminin hangisi olduğu anlatılmaktadır.	2005	Mühendislik Bilimleri; İnşaat Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
101	Toplam bakım yönetimi ve orman ürünleri işletmesinde uygulanması [117]	Modern işletmelerde hızla yaygınlaşan TVB uygulamasına Türkiye mobilya endüstrisi için geçiş koşullarının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan TVB ana planı bir orman ürünleri işletmesinde uygulanmıştır	2005	Ormancılık ve Orman Mühendisliği	TVB Uygulamaları	D
102	Uçak bakımında korozyon analizi [118]	Uçak bakımı ve korozyon ile ilgili analizler yapılmış, korozyonun emniyet ve ekonomiye olumsuz etkilerini vurgulanarak, bunların bakım uygulamalarındaki önemini ortaya konmuştur	2005	Sivil Havacılık	Diğer	YL
103	Periyodik bakım yapan bir tekstil işletmesinde bilgisayar destekli toplam verimli bakıma geçiş ve kaliteye etkisi [119]	Bir iplik işletmesinde toplam verimli bakım (TVB) yaklaşımı uygulanmış, uygulamada karşılaşılan zorluklar ve bu zorluklara bulunan çözümlerden bahsedilmiştir. Bu çalışma kapsamında hali hazırda kullanılan bakım yönetim sistemi yazılımları incelenmiş, işletme şartları değerlendirilerek kullanımı kolay, görsel, fonksiyonel bir yazılım ortaya konulmuştur.	2006	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol; Makine Mühendisliği; Tekstil ve Tekstil Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
104	Güç transformatörleri korumasında doğrusal olmayan çalışma durumlarının ve arızaların yapay sinir ağları ile belirlenmesi [120]	Güç transformatörü korumasında kullanılacak diferansiyel rölenin duyarlılığını artırmak, iç arıza durumunu arızasız durumlardan doğru olarak ayırt edebilmek için yeni bir yaklaşım olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılmıştır.	2006	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	D
105	Bir makinanın güvenilirliğinin tehlike fonksiyonu ve markov zinciri analizi modeliyle [121]	Havacılık sektörünün en temel problemlerinden birisini oluşturan bakım planlamalarının değerlendirilmesine yönelik, Markov zinciri ve Tehlike Fonksiyonu analizi uygulaması yapılmıştır.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
106	Kalite geliştirme sürecinde toplam verimli bakımın önemi, lastik sektörü uygulaması [122]	Yalın üretim sistemine değinilerek, genel kullanıma uygun bir biçimde TVB uygulama programı adımları ortaya konulduktan sonra, sistemlerle olan ilişkisi açıklanmış ve yapılan araştırmalar sonucu elde edilen uygulama örnekleriyle beraber bir lastik fabrikasında TVB uygulaması ve sonuçlarına yer verilmiştir.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
107	Önleyici bakım politikası optimum stok miktarının bulanık mantık yöntemiyle belirlenmesi [123]	İki adet zamana bağlı yıpranan tesis ve aralarında bulunan bir emniyet stoklu seri üretim sistemi göz önüne alınmıştır. Önleyici bakım politikası uygulanan sistemin herhangi bir arızalanma, kesintiye uğrama ve eksik stok durumuna düşmeden üretime devam edebilmesini sağlayan en uygun emniyet stokunu bulanık mantık yöntemiyle belirlemeye çalışılmıştır	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
108	Machine scheduling with preventive maintenances [124]	Önleyici bakım başlama zamanları ve süreleri belirlenmiş olan tek bir makinede toplam akış zamanını azaltmak için bölünemeyen işlerin çizelgelenmesi problemi incelenmiştir.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	YL



**Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)**

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
109	Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using hybrid genetic algorithms [125]	Bir imalat sisteminin koruyucu bakım ve yedek parça envanter politikalarının birlikte optimizasyonu için melez genetik algoritmaları (GA) kullanan bir simulasyon optimizasyonu yaklaşımı önerilmiştir.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
110	Toplam verimli bakım ve orta ölçekli bir işletmede sistem analizi [126]	TVB ve faydalarını tanıtılmış, aynı zamanda orta ölçekli imalat fabrikalarında uygulaması için bir sistem analizi gerçekleştirilmiştir.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
111	Toplam üretken bakım uygulamalarıyla maliyet düşürülmesinin ölçülmesi [127]	Toplam üretken bakım (TÜB) yaklaşımının bir şirkete nasıl tanıtılacağını tartışılmış; TÜB, Toplam Kalite Yönetimi (TKY) ve Tam Zamanında Üretim (TZÜ) arasındaki ilişkiye dikkat çekmeye çalışılmıştır. TÜB'ün maliyetler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
112	Factory level preventive maintenance in Turkish Air Force [128]	Türk Hava kuvvetlerinde koruyucu bakım çalışmaları, Mod Seçimli, Kaynak Kısıtlı ve Kesintisiz Çoklu Proje Çizelgelemesi Probleminin özel bir hali olarak ele alınmıştır.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
113	TCDD lokomotif bakım ve yakıt takibi bilgi sisteminin modellenmesi [129]	TCDD Lokomotif Bakım ve Yakıt Takibi Bilgi Sistemi modellenmiştir. Modellenen sistem; lokomotiflerin anlık durumları, bakım geçmişleri, yakıt tüketimleri gibi bilgiler üretmek için karar vericilerin kaynakları kontrol edebilmelerini ve aksaklıkları tespit ederek çözüm üretebilmelerini sağlayacaktır.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
114	An application of aircraft maintenance system development by lean thinking [130]	Yalın düşünce prensiplerinin bir havayolu şirketinde verimliliğin artmasında ve gereksiz iş süreçlerinin azaltılmasında nasıl katkı sağladığı açıklanmıştır.	2006	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL
115	Bakım yönetiminde bulanık çok amaçlı karar verme modeli [131]	Bakım stratejilerinin seçilmesine bulanık çok ölçütlü karar verme modeli kullanılmıştır. Klasik AHS-TOPSIS ve bulanık AHS-	2007	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	D

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
116	Bir üretim işletmesinde toplam verimli bakım uygulaması [132]	bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak bakım stratejilerinin seçimi için bir model geliştirilmiştir. Bir otomotiv firmasının boyahane departmanında mevcut üretim hatlarından birinin TVB sisteminin temel göstergesi olan Toplam Ekipman Etkinliği bazında analiz edilip, mevcut makine performansları, kalite ve verimlilik düzeyleri belirlenmiş; bu kriterler açısından uygunsuz makinelere düzeltici faaliyetler uygulanmış ve elde edilen gelişmeler ortaya konmuştur.	2007	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
117	Hava savunma sektörü tezgah yatırım projelerinin bulanık AHP ile değerlendirilmesi [133]	Hava savunma sektöründe askerî sistemlerin bakım ve onarımı konusunda hizmet veren üç adet Hava İkmal Bakım Merkezinin (HİBM) geleceğe yönelik (2007-2016 Dönemi) tezgah yatırım proje tekliflerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmiştir.	2007	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
118	Uçak bakım planlamasının en iyilenmesine yönelik bir karar destek tasarımı [134]	Uçak rotalarının belirlenmesi problemini bakım gereksinimleri ile birlikte ele alınmış, böylece uçakların etkin kullanımının yanısıra bakım maliyetlerinin enküçüklenmesi hedeflenmiştir.	2007	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği; Havacılık Mühendisliği; Sivil Havacılık	Bakım Maliyetleri Analizi	D
119	Toplam verimli bakım planlamasının hava araçlarına uygulanması: Cessna model R172H (T-41D) uçağı pervane çatlak çentik kontrolleri üzerinde uygulama [135]	hava araçları için bakım ve havacılık organizasyonlarının yönetiminde TVB'nin kaza kırım riskinin azaltılması, verimliliğin artırılması ve pilot istihdamı açısından taşıdığı önem vurgulanmıştır.	2007	Havacılık Mühendisliği; Kazalar; Sivil Havacılık	TVB Uygulamaları	YL
120	Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi [136]	Bakım onarım teknikleri tanıtılmış, kestirimci bakım metotları anlatılmış ve bazı uygulama örnekleri verilmiştir	2007	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
121	Toplam verimli bakım ve uygulaması [137]	TVB'nin ve ekipman iyileştirmelerinin üretim ve montaj verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca TVB'nin temeli olan 5S uygulamaları, Türk Havayolları Teknik A.Ş.' bağlı Motor Revizyon Atölyesinde gerçekleştirilmiştir.	2007	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
122	Kent içi raylı sistemlerde hat bakımı ve maliyeti [138]	Bu çalışmada İstanbul kent içi raylı sistemler olan Tramvay, LRT (Hafif Metro) ve Metroda yapılan kritik koruyucu bakım çalışmalarının nasıl ve hangi periyotlarda yapıldığı ve çıkabilecek arızaların nasıl giderileceği düzeltici bakım kapsamında anlatılmıştır.	2007	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
123	Esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi [139]	Esnek üstyapılı karayolları için dünyada uygulanan koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi ve ülkemizde uygulanabilirliğinin araştırılmıştır	2007	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	Diğer	YL
124	Rulman arızalarının gerçek zamanda analizi ve arıza kaynaklarının tespit edilmesi [140]	Rulmanların gerçek zamanda gözlemlenmesine ve olası arızalara karşı gerekli önlemlerin alınmasına imkân sağlayacak yeni bir sistem geliştirilmiştir. Gelişmiş titreşim ölçüm ve analiz teknikleri kullanılarak, dönen makinelerin kritik sonuçlar doğurabilecek arızalara karşı korunması ve rulman arızalarından dolayı ortaya çıkabilecek durma zamanlarının ve katastrofik sonuçların en aza indirgenmesi hedeflenmiştir.	2008	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol; Makine Mühendisliği; Mühendislik Bilimleri	Arıza Analizi	YL
125	Bakım kisiti altında genetik algoritmalarla üretim çizelgeleme [141]	Amaçlanan GA kullanarak işlerin toplam tamamlanma zamanını en küçükleme ve makineler için önleyici bakımları da üretim çizelgesi üzerinde göstermek hedeflenmiştir.	2008	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	YL
126	Maintenance of a multi-component dynamic system under partial	Belirli bir arıza hızıyla yaşanan bileşenlerden oluşan dinamik bir sistemin bakım problemi incelenmiştir.	2008	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	D

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	observations [142]					
127	The application of lean manufacturing principles to an aircraft maintenance, repair and overhaul (MRO) company [143]	İmalat ortamındaki paralel bir şekilde bazı yalın üretim teknikleri bir bakım, tamir ve revizyon şirketine uygulanmıştır. Uygulama firması olarak Türk Hava Yolları (THY) Teknik seçilmiştir. Bu bağlamda Değer Akışı Haritalama ve 5S yöntemlerine başvurulmuştur.	2008	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL
128	Müşteri odaklı bakım onarım faaliyetleri performansının dinamik tamirci rotalama problemi ile modellemesi ve optimizasyonu [144]	Bilişim firmalarının organizasyon yapılarındaki birimlerden birinin faaliyetleri incelenmiş ve bu problemlerin analizinde Düşünen Süreçlerden faydalanılmıştır.	2008	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	D
129	Kaynak kısıtlı bakım çizelgeleme problemine bir hibrid çözüm yaklaşımı [77]	Farklı dizilişlerdeki kromozomların; kaynak kısıtlarına göre, işlerin öncelikleri de dikkate alınarak tanımlı oldukları günlere atanmasını sağlayacak GA temelli bir çözüm tekniği geliştirilmiştir. Koruyucu Bakımların önceliklerinin belirlenmesinde ise Bulanık Mantık yaklaşımı tercih edilmiştir	2008	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	D
130	Overall equipment effectiveness (OEE) implementation: A case study [145]	Performans analiz yöntemlerinden birini kullanarak dinamik bir üretim sistemi içerisindeki dar boğazları değerlendirilmiştir. Bu amaçla Genel Ekipman Verimliliği'nin üretim geliştirme metodu olarak kullanımının faydaları açıklanmıştır.	2008	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL
131	Sürekli form baskı makinesinin titreşim sinyali yardımıyla kestirimci bakımının yapılması [146]	Kestirimci bakım, titreşim analizi ve sıkça tekrarlanan arızaların titreşim özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiş, matbaacılık sektöründe kullanılan sürekli form baskı makinesinin	2008	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
		kestirimci bakım uygulaması sonucunda tespit edilen farklı tipte arıza örnekleri incelenmiştir.				
132	Failure analysis and diagnostics of railway turnouts [147]	Zaman serisi analiz yöntemleri kullanılarak demiryollarının en önemli bileşeni olan makas sistemlerinde arıza tespit metotları üzerine çalışılmıştır.	2009	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Arıza Analizi	YL
133	Sabit mıknatıslı senkron motorda yapay zeka yöntemleri ile mekanik hataların teşhisi [148]	Sabit Mıknatıslı Senkron Motorda eksenden kaçıklık ve rulman arızası deneysel olarak çalışılmıştır. İzlenen sinyallerin Hızlı Fourier dönüşümü, Alfa-Beta dönüşümü ve Ani akım-hızın izlenmesi yöntemleriyle öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Elde edilen öznitelik vektörleri ise Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları ve Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağ eğitiminde kullanılarak motor durumu izlenmiş ve arıza teşhisi gerçekleştirilmiştir.	2009	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	D
134	Elektrik enerji sistemlerinde güvenilirlik temelli bakım [149]	Kestirimci bakımın en önemli özelliği kestirimci test ve denetleme yöntemleri tanımlanmış ve elektrik enerji iletim sistemlerinde güvenilirlik merkezli bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir.	2009	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL
135	Economical analysis of condition based maintenance on railway systems [150]	Ekonomik model arıza kritikliklerini göz önünde bulundurarak her bir arıza türü için takip edilmesi gereken en etkin bakım stratejisini (tamir, periyodik bakım veya koşul-bazlı bakım) belirlemeyi amaçlamaktadır.	2009	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
136	Bütünleşik koruyucu ve tahmin edici bakım sistemleri için kullanılabilir modeller [2]	Bakım faaliyetlerinin optimum şekilde yürütülmesi amacı ile bakım planı ve bütünleşik bakım sistemi geliştirmek için izlenecek yol haritası önerilmiştir	2009	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
137	Filo araçları bakım çizelgeleme [1]	İstanbul'un raylı toplu taşıma sisteminin kullanılan tramvay filosuna uygulanan bakım politikaları ele alınmıştır. 55	2009	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
		adet tramvay aracı için hazırlanan haftalık bakım periyodunda belli kabuller yapılarak ve simülasyon modelleme sistemi kullanılarak farklı senaryolar için bakım filosunun haftalık bakım süreleri çizelgelenmiştir.				
138	Üretim kayıp maliyetlerinin belirlenmesi ve bir uygulama [151]	Üretim birim performanslarının ölçülmesinde Toplam Tezgah Kullanım Etkinliği yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, uygulamanın yapıldığı işletmede TVB felsefesindeki kayıplar analiz edilmiş ve üretimde gerçekleşen kayıplar ile meydana gelme yerleri belirlenerek, toplam tezgah kullanım etkinliği ile üretim performansı ölçülmüştür.	2009	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
139	Güvenilirlik merkezli bakım ve bir endüstriyel uygulama [3]	Güvenilirlik merkezli bakımın tanımı, ortaya çıkışı, gelişimi, bu bakım türü ile ilgili literatür araştırması ve uygulama aşamasında izlenmesi gereken yöntem araştırılmıştır. Bu bilgiler ışığında Türkiye'nin çimento üreticilerinden birinin bakım stratejileri üzerine saha çalışması gerçekleştirilmiştir.	2009	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
140	Reliability and maintenance of semi-Markov missions [152]	Görev-tabanlı sistemlerin güvenilirliği ve bakımı ile ilgili problemler analiz edilmiştir. Bu bağlamda toplam maliyetin şimdiki beklenen değerini enküçükleyen bakım politikalarının yapısı ortaya çıkarılmıştır.	2009	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	D
141	Lastik endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları [153]	Kestirimci bakımın önemi vurgulanmış ve kestirimci bakım metotları anlatılıplastik endüstrisi için bazı uygulama örnekleri verilmiştir.	2009	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
142	Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım [154]	Sistemde çalışmakta olan bir şanzımandan alınan titreşim ölçümleri analiz edilmiş ve şanzıman'ın dişli çarklarında oluşan hasarlanmalar tespit	2009	Makine Mühendisliği	Arıza Analizi	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
		edilmiştir. Sistemde kestirimci bakım uygulanmış ve şanzımanın çok daha ciddi bir şekilde hasarlanarak plansız duruşlara sebep olması engellenmiştir.				
143	Toplam verimli bakım ve çimento sektöründe uygulamaları [155]	Çimento sektörü gibi bir proses endüstrisinde uygulanan TVB merkezli uygulamalar ve TVB'nin bir işletmede uygulanabilirliği incelenmiştir	2009	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
144	Otomotiv endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları [156]	Bakım onarım tekniklerinden bahsedilerek kestirimci bakım metotları anlatılmış ve otomotiv sektörü için bazı uygulama örnekleri verilmiştir	2009	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
145	Karınca kolonisi yaklaşımıyla karayolu üstyapı rutin bakım çalışmalarının planlanması [157]	Karınca kolonisi algoritma yöntemi ile karayolu üstyapı bakım çalışmalarının planlanması için bir optimizasyon modeli geliştirilmiş ve bu kapsamda bir bilgisayar programı yazılmıştır.	2009	Teknik Eğitim; Ulaşım ; İnşaat Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	YL
146	Olasılık sinir ağı kullanarak alternatör arızalarının tespiti [158]	Alternatörlerde arıza teşhisi yapılması amaçlanmıştır. Alternatör arızalarını tespit etmek için yapay zeka tekniklerinden bulanık mantık, ileri beslemeli ağı ve olasılık sinir ağı kullanılmıştır.	2010	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol; Elektrik ve Elektronik Mühendisliği; Enerji	Arıza Analizi	YL
147	Uçak arıza tespit amaçlı web tabanlı bulanık uzman sistem tasarımı [159]	Uçak Bakımı alanında uzman sistemlerin yeri araştırılmış ve arıza giderilmesi için çözüm ağaçları üretebilen uzman sistem tasarlanmış ve geliştirilmiştir.	2010	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol; Sivil Havacılık; Uçak Mühendisliği	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL
148	MEDEMAS-Medical device maintenance management system via remote Access [160]	Tıbbi cihazların, bakım prosedürlerinin ve bakımla ilgili diğer verilerin envanteri ile arıza ve bakım/kalibrasyon geçmişlerinin tutulduğu; etkin bakım takvimini otomatik olarak oluşturabilen bir tıbbi cihaz bakım yönetim sistemi oluşturulmuştur.	2010	Biyomühendislik	Bakım Otomasyon Sistemleri	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
149	Betonarme İskelelerin Bakım, Onarım ve Güçlendirilmesi [161]	Ege Bölgesindeki iskelelerin mevcut durumları araştırılarak; ülkemizdeki kıyı yapılarının insasına ilişkin mevcut esaslar ve yönetmelikler irdelenmiş ve betonarme iskelelerin bakım, onarım ve güçlendirilmesine ilişkin öneriler sunulmuştur.	2010	Deniz Bilimleri	Diğer	YL
150	Nevşehir bölgesi elektrik dağıtım şebekesinin güvenilirlik analizi [162]	Kırsal alan santralleri için uzaktan bakım ve işletme sistemi oluşturulmuştur. Böylelikle kırsal şebekedeki arızalara müdahale süresinde azalma ve servis kalitesinden artış sağlanması amaçlanmıştır.	2010	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL
151	Medikal ekipman bakım ve onarım hizmetleri işgücü planlaması için hiyerarşik yapıda karar destek sistemi [163]	Medikal ekipman bakım hizmetlerinde insan gücü planlaması için iki hiyerarşik düzeyde KDS temeli önerilmiştir.	2010	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım İşgücü Planlaması	YL
152	Bir işletmede makine etkinliğinin VZA (veri zarflama analizi) ile ölçümü ve toplam üretken bakım yönetiminde kullanımı [164]	Bir imalat birimindeki kalıp makinalarının verimliliğini VZA (Veri Zarflama Analizi) ile hesaplayıp, diğerlerine göre daha az etkin çıkan makinaların TÜB ile daha etkin nasıl olabileceğini göstermektedir.	2010	İşletme	TVB Uygulamaları	YL
153	DSİ 17. Bölge Müdürlüğü'ne ait bazı iş makinelerinin çalışma ve bakım analizleri [165]	Bazı iş makinelerine ait teknik özellikler, kullanım amaçları, bakım ve iş performanslarına dair değer ve bilgileri üzerinde durulmuştur. İş makinelerinin performans ve randımanlarına etki eden faktörler ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.	2010	Makine Mühendisliği	Diğer	YL
154	World class manufacturing on automobile industry and applications of autonomous maintenance in press shop [166]	Otonom Bakımın ve ekipman iyileştirmelerinin üretim verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.	2010	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL



Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
155	Su pompa istasyonunda kestirimci bakım ve yönetim organizasyonu [167]	Periyodik koruyucu bakım ile kestirimci bakım arasındaki fark açıklanmış,incelenen işletme için karma bir bakım modeli önerilmiştir. Ayrıca kestirimci bakım tekniklerinden, titreşim analizi yardımıyla, arızaların titreşim özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve su dağıtım sektöründe kullanılan ekipmanın kestirimci bakım uygulaması sonucunda tespit edilen farklı karakteristikteki muhtemel arıza örnekleri incelenmiştir.	2010	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
156	Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım [168]	Bir sistemde çalışmakta olan bir fanlar için muhtemel arızalar, kasıtlı olarak yapılmış, titreşim ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Yapılan ölçümlerde her arızanın belirli frekanslarda titreşim ürettiği görülmüş ve FFT (frekans, genlik eğrisi) analizi ile makinedeki arıza çeşitleri ve boyutları hakkında bilgi sahibi olunabileceği tespit edilmiştir.	2010	Makine Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
157	Toplam verimli bakım ve bir imalat işletmesinde uygulaması [169]	Toplam Kalite Yönetimini uygulayan MKE Silah Fabrikası için, klasik bakım yöntemlerinin de değiştirilerek TVB programının Fabrikada seçilen pilot tezgâhlara uygulanma safhası anlatılmıştır.	2010	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
158	An application of process management and process improvement [170]	Değer Akış Haritalama ve Kalite Fonksiyon Yayılımı kavramlarının havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir Bakım, Onarım ve Revizyon şirketinde uygulanmıştır. Müşteri memnuniyetini sağlamak için şirketin dikkate alması gereken öncelikli müşteri istekleri ve teknik özellikler belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir.	2011	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
159	Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım uygulamaları [171]	İşletme için kritik olan pompa grubu ABC analizi ile seçilmiş ve kestirimci bakım yöntemlerinden biri olan titreşim ölçümü yöntemiyle ekipman üzerinden ölçümler alınarak ekipmanın titreşim seyri izlenmiştir.	2011	Makine Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
160	Kent içi raylı sistemlerde balastlı ve balastsız (betona tespitli) üstyapılı hatların bakım maliyetlerinin karşılaştırılması [172]	Kent içi raylı sistemlerde işletme kayıplarının önüne geçmek, bakım maliyetlerini düşürmek, üst yapı elemanlarının daha uzun ömürlü olması, hattın daha konforlu olması için betona tespitli hat yapılması daha uygun görülmektedir	2011	Mühendislik Bilimleri; Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
161	Kentiçi raylı sistem hatlarında üstyapı bakımı ve maliyetleri: Aksaray-Havalimanı hattı örneği [173]	Kentiçi raylı sistem hatlarının üstyapısında meydana gelen arızaların giderilmesinde uygulanan bakım-onarım yöntemleri incelenmiş, Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı için bakım-onarımın periyodik uygulanması ile bölgesel uygulanması durumları karşılaştırılmış ve maliyet analizleri yapılmıştır.	2011	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
162	Bir tekstil fabrikasında bayes ağlarının bakım planı değerlendirmesi için uygulanması [174]	Bir üretim tesisinin bakım onarım planının değerlendirilmesi için olasılıklı ağ modellerden biri olan bayes ağları kullanılmıştır. Bayes ağları ile bir sistemin parçaları ve bu parçalarla olan ilişkileri göz önüne alındığından bakım onarım planı belirlemede etkin bir araç olduğu belirtilmiştir.	2012	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
163	Operational aircraft maintenance routing problem with remaining time consideration [175]	Filodaki bütün uçaklara bakım açısından olurlu rotalar sağlayabilecek, filonun kalan toplam uçuş süresinin verimini en büyükleyecek ve karşılaşılabilecek değişikliklere hızlı yanıt veren bir çözüm yöntemi geliştirmektir.	2012	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
164	Türkiye'de başarılı toplam verimli bakım uygulaması yapan seçilmiş kuruluşların kıyaslanması [176]	Değişik iş alanlarında faaliyet gösteren ve TVB yöntemini benimseyip bir ilke haline getiren ETİ, Türk Pirelli, Hugo-Boss, Ford Otosan, Beko gibi işletmelerden elde edilen veriler kıyaslanmıştır.	2012	Makine Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
165	Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak egzoz fanında arıza teşhisi [177]	Titreşim ölçümüne dayalı bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak arızalar oluşmadan tespit edilip müdahale edilirse, hem gereksiz duruşların önüne geçilebilir hem de işletme maliyeti azaltılabileceği iddia edilmiştir.	2012	Mühendislik Bilimleri	Arıza Analizi	YL
166	Dependent failures and propagation in electric power systems [178]	Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ), Trakya bölgesi için kaskat arızalarının yayılma süreçlerini sunulmuştur.	2013	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
167	Asenkron Motorlarda Rotor Arızalarının Stator Akımı Verileri Yardımıyla Analizi ve Tespiti [179]	Sincap kafesli asenkron motorlardaki kırık rotor çubuklarını tespit etmek için NLMS (Normalize Edilmiş En Küçük Ortalama Kareler) filtre ile Hilbert Zarf Analiz tekniklerini birleştiren bir yöntem sunulmuştur.	2013	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
168	Extending the lifespan of small kitchen appliances for sustainable design: A research on product maintenance and repair with technical services in Ankara [180]	Mutfakta kullanılan elektrikli küçük ev aletlerinin bakım ve onarım süreçleri incelenmiştir. Bu kapsamda, mutfakta kullanılan elektrikli küçük ev aletlerinin bakım ve onarım süreçlerine odaklanılarak incelenen ürün ömrünü uzatılması ile ilgili ürünlerin arızalanma nedenleri, kalıcı olarak birleştirilmiş ürün parçaları, planlı eskime ve teknolojik eskime ve benzeri problem alanlarını belirlemek amaçlanmıştır..	2013	Endüstri Ürünleri Tasarımı	Diğer	YL
169	Toplu üretim planlaması ve bakım faaliyet kararlarının entegrasyonuna yönelik bir model tasarımı ve	Önleyici bakım faaliyetleri dikkate alınarak toplu üretim planı modeli oluşturulmuş, daha sonra da modelin güvenilirliğinin kontrolünde hipotez testi	2013	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
	uygulaması [181]	kullanılmıştır.Geliştirilen model,bir fabrikada belirli bir planlama dönemi için çalıştırılmakta ve de modelin toplam maliyete etkisi incelenmiştir.				
170	Proactive maintenance of thermal power plants under limited observations [182]	Etkileşen bileşenleri olan termik santrallerinin kısıtlı gözlemler altında bir planlama ufku boyunca proaktif bakım kararlarını incelenmiştir.	2013	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
171	Common due date early/tardy scheduling on a single machine with deteriorating jobs and deteriorating maintenance [183]	Pozisyonlarına bağlı olarak bozulan işlerin ve makine bakım faaliyetinin, tek makinede çizelgelenmesi problemini incelenmiştir.	2013	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	YL
172	Uçuş hattı seviyesi bakım işlemlerinde toplam verimli bakım sisteminin uygulanabilirliği [184]	F-16 Blok 30 uçakları bulunan bir askeri havacılık kuruluşunda uçuş hattı seviyesi bakım işlemlerinde TVB uygulamaları sonucu elde edilen kazanımlar değerlendirilmiştir.	2013	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	TVB Uygulamaları	YL
173	Üretim tesisleri için RFID destekli bakım yönetimi [4]	Üretim sistemlerinde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerini analiz edilmiş ve RFID destekli bakım önererek bu sistemin etkinliğini araştırılmıştır.	2013	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği; Makine Mühendisliği	Bakım Yönetimi	YL
174	Engine maintenance time prediction with weibull distribution in commercial aviation [185]	Weibull metodu kullanılarak motorların öngörülemez hasarlanma ve servis dışı kalma zamanları hesaplanmaya çalışılmıştır.	2013	Havacılık Mühendisliği; Sivil Havacılık; Uçak Mühendisliği	Arıza Analizi	YL
175	Innovative reliability analysis of a heavy duty hydraulic driven machinery [186]	Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) ve Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) metotları, hidrolik tahrikli enjeksiyon makinasının ekipmanlarının güvenilirliklerinin belirlenmesinde ve aynı zamanda risk seviyelerinin tanımlanmasında kullanılmıştır.	2013	Makine Mühendisliği	Güvenilirlik Analizi	YL

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
176	Şehir içi yollarda üst yapı bakım yönetim sistemi kurulması, Türkiye örneği [187]	Şehir içi yolların yönetiminde sıklıkla tercih edilen, ASTM D 6433-11 standardıyla tanımlanan PAVER üstyapı yönetim sisteminin, üstyapıların mevcut performansını belirlemede kullanılan yönteminin kolay hale getirilmesidir.	2013	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	Diğer	D
177	Kritik bakım parçalarının yumuşak hesaplama algoritmalarıyla belirlenmesi [188]	Bakım yönetimi ve envanter sistemi arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak kritik bakım parçaları için stokta tutulması gereken miktarlar belirlenmiştir. Yumuşak hesaplama algoritması kullanılarak bakım parçalarının önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelin değişen bakım kayıtları için de başarılı olduğu belirlenmiştir.	2014	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	D
178	Ekipmanlarda kestirimci bakım teknolojilerinin araştırılması ve seçilen bir yöntemin uygulandığı sanayi tesisinde elde edilen neticelerin irdelenmesi [189]	-	2014	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
179	Rüzgâr santrallerindeki elektriksel ve mekanik arızaların temel bileşenler analizi ve destek vektör makinaları yöntemleriyle sınıflandırılması [190]	Rüzgâr türbinlerinde oluşan arızaların erken algılanması, oluşan arızanın ikincil etkilerinin ortaya çıkmasını önleme, gereksiz parça değişimini önleyecek odaklı bir bakım sağlanması, arıza tespiti için geçen sürenin azaltılması amacıyla hata tanısı yöntemi geliştirilmiştir.	2014	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Arıza Analizi	D
180	Bakım/onarım alternatiflerinin bulanık dematel ve smaa-2 yöntemleriyle değerlendirilmesi [191]	Bakım Birlik/Bakım Bölüklerinin faaliyetlerinin karşılaştıkları durumların alternatif analitik yöntemlerle sıralanması hedeflenmiştir.	2014	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL

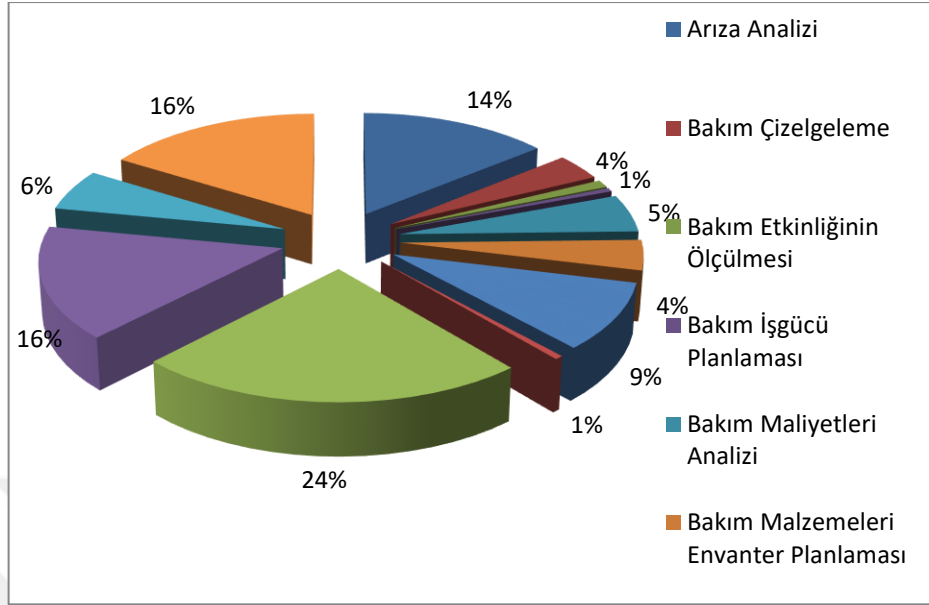
Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
181	An integrated model for preventive maintenance and spare part inventory planning [192]	Önleyici bakım ve yedek parça envanteri ortak problemi bir Dinamik programlama ile modellenmiştir.	2014	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Malzemeleri Envanter Planlaması	YL
182	Haber vermeyen arızalara sahip sistemler için bakım politikaları [193]	Markov eskiyen bir sistemin optimal bakım politikası, maliyeti enküçükleyen ve kontrol zamanını eniyileyen rassal karar modeli kurularak hesaplanmaktadır. Bu bağlamda arızalı sürenin beklenen değeri hesaplanmış, birim arızalı süre başına düşen maliyet başta olmak üzere kontrol maliyeti ve bakımdan kaynaklanan sabit maliyetler gibi çeşitli maliyetler çalışmada önerilmiştir.	2014	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
183	Dünyada gemi bakım-onarım sektörü ve gemi bakım-onarımının ekonomik maliyetinin modellenmesi [194]	Belli bir coğrafi bölgede bakım onarımına alınacak olan gemilerin fatura tutarını, daha önce bu bölgelerde 2013 yılına kadar bakım-onarımı yapılan gemilerin fatura ve yapılan iş kalemlerinden yararlanılarak modellemesi en küçük kareler yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.	2014	Gemi Mühendisliği	Bakım Maliyetleri Analizi	YL
184	Makinelere titreşim analizi ile kestirimci bakım [195]	Maliyetleri en aza indirmede etkili bir bakım yöntemi olan kestirimci bakım yaklaşımının titreşim analizi ile uygulaması gerçekleştirilmiştir.	2014	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
185	Otomotiv sektöründe kullanılan kestirimci bakım yöntemleri ve uygulamaları [196]	Bir fabrikada uygulanan kestirimci bakım uygulamaları tanıtılmış ve bazı sistemlerinde uygulanan kestirimci bakım uygulamaları gösterilmiştir. Kestirimci bakım uygulamaları sayesinde arıza nedenli duruşlarda yaşanan azalmalar, verimlilik artışları ve maliyet azaltmalarından bahsedilmiştir	2014	Makine Mühendisliği	Bakım Politikaları	YL
186	Sinyal işleme ve genetik-yapay sinir ağları ile rulman arızalarının teşhisi [197]	Rulman arızasının doğru teşhisi ve hassas ölçüm cihazları ile titreşimin olduğu noktalardan titreşim ve ses verilerinin elde	2014	Mekatronik Mühendisliği	Arıza Analizi	D

Çizelge 1. 1 Bakım Yönetimi Konusunda Hazırlanan Lisansüstü Çalışmalar (Devamı)

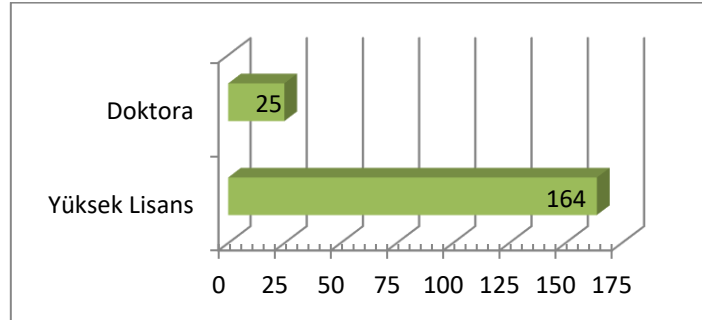
#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Çalışma Konusu	Tez Türü
		edilebilmesi için genel amaçlı bir rulman arıza teşhis sistemi geliştirilmiştir. Rulman arızalarının teşhisi için GA tabanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır.				
187	Developing a model of airline flight and maintenance operations using systems dynamics approach: An application in THY technic [198]	Türk Hava Yolları Bakım Onarım Bölümü operasyonları için bir sistem dinamiği modeli geliştirilmiştir.	2015	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Diğer	D
188	A heuristic approach on flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities by considering weight of the jobs [199]	Bakım aktiviteleri ile esnek atölye tipi çizelgeleme problemi incelenmiştir. Bu problemin çözülmesi için parçacık sürü optimizasyonuna dayalı bir sezgisel yaklaşım sunulmuştur.	2015	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	Bakım Çizelgeleme	YL
189	Hafif raylı sistem araçlarında bakım iyileştirmesi [200]	Hafif raylı sistem araç bakım türleri için; maliyet, işçi performansı, müşteri güvenliğini etkileyeceği için uygun bir araç bakım yöntemi kullanılması gerektiği ve günümüz teknolojisi geliştiği için sürekli yenilenmeye ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir.	2015	Ulaşım	Bakım Politikaları	YL

Çizelge 1.1 incelendiğinde, bakım yönetimi başlığı altında hazırlanan lisansüstü çalışmalarda en popüler çalışma alanının “bakım politikaları” ile ilgili olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında “TVB uygulamaları” ve “arıza analizleri” de yine araştırmacılar tarafından sıkça çalışılan konular olarak görülmüştür. Diğer konu analizleri ise yoğunluklarına göre Şekil 1.1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. 1 Bakım yönetimi alanında çalışma konularına göre bakım alanında hazırlanan lisansüstü tezler

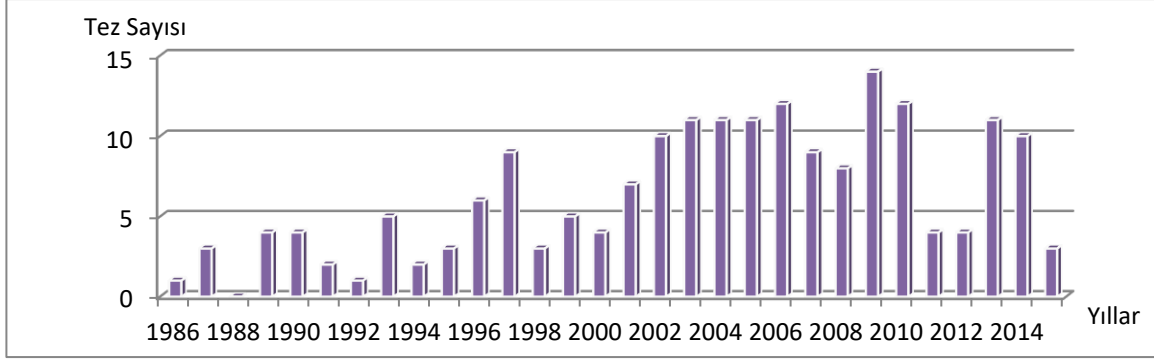
Bakım yönetimi altında yapılan çalışmalarda, daha çok Yüksek Lisans (YL) seviyesinde çalışmalar yapıldığı saptanmıştır. Bu da doktora seviyesinde çalışma yapılmasının literatüre katkı sağlayacağını ispat eder niteliktedir. Hazırlanan lisansüstü tezlerin YL ve doktora ayrımı Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1. 2 Bakım yönetimi alanında lisansüstü çalışma türüne göre tez dağılımları

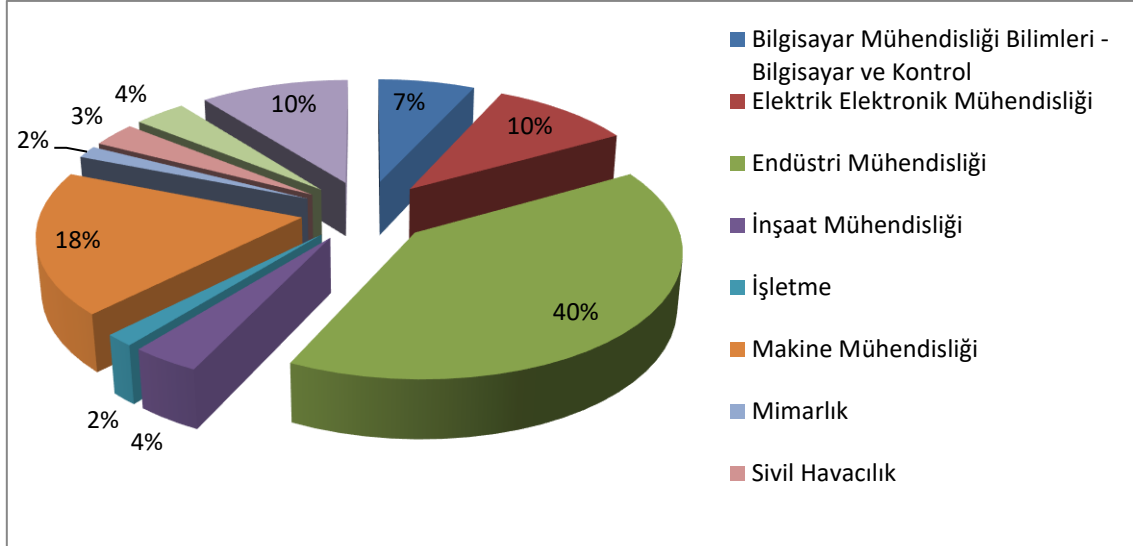
Çalışmaların zaman boyutu incelendiğinde ise son yıllarda konuyla ilgili çalışmaların sayısının arttığı, ancak yaklaşık son 5 yıldır nispeten azalan bir seyirde olduğu söylenebilir. Özellikle 2009 yılı, araştırılan konunun en fazla sayıda çalışmada ele alındığı yıl olarak karşımıza çıkmıştır. Şekil 1.3, bakım yönetimi alanında yapılan lisansüstü tezlerin yıllara göre dağılımını göstermektedir.





Şekil 1. 3 Bakım Yönetimi Alanında Yıllara göre Lisansüstü Tez Dağılımları

Son olarak, çalışma alanı kapsamında oluşturulan grafikte de bakım yönetimi konusunun en fazla endüstri mühendisliği alanında çalışıldığı gözlemlenmiştir. Bu alanı, makine mühendisliği izlemektedir. Şekil 1.4, tüm alanlar için dağılımı göstermektedir.



Şekil 1. 4 Bakım Yönetiminde Çalışma Alanlarına göre Lisansüstü Tezler

Bakım yönetimi başlığındaki çalışmalar incelendikten sonra, kullanılması planlanan yöntemlerden biri olan kural tabanlı sistemler hakkında yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Yöntemin hangi alanlarda ne tür problemleri çözmek için kullanıldığı saptanmaya çalışılmış, endüstri mühendisliği başlığı altında hangi problemlere uygulandığı incelenmiştir. Kural tabanlı sistemler kullanılarak hazırlanan lisansüstü tezler Çizelge 1.2'teki gibi özetlenmiştir.

Çizelge 1. 2 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Lisansüstü Tezler

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
1	Bir Türkçe sesli ifade tanıma sisteminin tabanlı tasarımı ve gerçekleştirimi [201]	Bu çalışmada, farklı özellik vektörü çıkarma yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemlerin Türkçe sesli ifadeler için sınıflandırma başarımları sınanmıştır.	1999	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
2	Rule-based control for an autonomous vacuum cleaner [202]	Bu çalışmada, zemin temizleme robotuna algılayıcı tabanlı bir yöngüdümlü yöntemi sunulmaktadır. Bu yöngüdümlü yöntemi, kural tabanlı kontrol ve ızgara modelleme tekniğini kullanmaktadır. Temizleme robotunun, etrafı kapalı bir alan içerisinde tüm gezilebilir alanları gezmesi ve her gezdiği noktadan en az sayıda geçmesi bu çalışmanın temelini oluşturmuştur.	2002	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
3	A rule based expert system generation framework using an open source business rule engine [203]	Bu tezle bir kural tabanlı öğrenen uzman sistem çatısı oluşturulmuştur. Elde edilen çatı, uygun data kümesini alır, bu kümeden kurallar çıkarır, bu kurallara göre bir uzman sistem kurar ve yeni durumları test etmek için web tabanlı bir arayüz vermektedir	2006	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
4	Coupling speech recognition and rule-based machine translation [204]	Bu çalışmada, Otomatik Ses Tanıma (OST) sistemleri ile kural tabanlı Otomatik Çeviri (OÇ) sistemlerinin bağdaştırılmasını incelenmiştir, Ses Çevirisi (SÇ) amacıyla OST ve OÇleri entegre eden özgün bir yaklaşım sunulmuştur.	2008	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
5	Anlamsal web için kural tabanlı bir melez çıkarsama yöntemi [205]	Bu çalışmada, Anlamsal Web ontolojileri üzerinde ölçeklenebilir çıkarsama ve sorgulama yapabilecek yeni bir yöntem	2009	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve	D

Çizelge 1. 2 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Lisansüstü Tezler

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
		sunulmaktadır.		Kontrol	
6	Anlamsal web verisi üzerinde kural tabanlı dağıtık çıkarsama [206]	Bu çalışmada, hem büyük veri setlerinin düşük bellek kapasiteli bilgisayarlarda RDFS (Resource Description Framework Schema) düzeyinde çıkarılabileceği, hem de ölçeklenebilir ve yüksek hızlanma sağlayan bir dağıtık çıkarsama sistemi geliştirilmesi için geliştirilen algoritma ve yöntemler geliştirilmiştir.	2011	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
7	GA-NN approach for ECG feature selection in rule-based arrhythmia classification [207]	Bu çalışmada, elektrokardiyogram sinyallerindeki anormalliklerin tespiti için kural çıkarım ve öznelik seçim sistemi sunulmuştur. Kardiyak aritminin varlığı ve yokluğu arasındaki ayrımın yapılması ve öznelik seçimi için GA-YSA Yaklaşımı kullanılmıştır.	2012	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
8	Etkileşimli sürücü eğitimi için kural tabanlı bir platform geliştirilmesi [208]	Bu çalışmada, sürücü adaylarına güvenli sürüş becerilerini kazanmaları için eğitim ve test imkânları sağlayan 3 boyutlu grafik ortamında çalışan bir trafik simülasyon sistemi (TSS) geliştirilmiştir. Hiyerarşik eş zamanlı durum makineleri kullanılarak trafik akışını sağlayan otonom taşıtlar mikro simülasyon modeli ile geliştirilmiştir.	2012	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
9	Curriculum plan optimization with rule based genetic algorithms [209]	Bu çalışmada, kural tabanlı GA kullanılarak eğitim planı hazırlama problemine bir çözüm ortaya konmuştur. GA'nın uygunluk fonksiyonunun çözüm elde etmek için kullandığı veriler, eğitim programındaki bölümlerin birbirlerine göre ön koşul durumlarını içeren bir kurallar	2013	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D

Çizelge 1. 2 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Lisansüstü Tezler (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
		kümesinden oluşmaktadır.			
10	Yarı denetimli ve genişletilebilir kural tabanlı bir sağlık bilgi sisteminin geliştirilmesi [210]	Bu çalışmada, akıllı sağlık bilgi sistemleri geliştirilmesi için bir sağlık bilgi sistemi mimarisi sunulmuş ve ayrıca bu tür sistemlerin geliştirilmesi için bazı stratejiler tartışılmıştır. Bu mimariden türetilen sistemler kural tabanlıdır, çıkarılabilir ve kendisini geliştirme yeteneğine sahip olduğunu belirtmiştir. Kendini geliştirme yeteneği, sağlık personeli tarafından verilen geçmiş kararlardan kuralların elde edilmesi ve bu kuralların sisteme eklenmesi ile sağlanmaktadır.	2013	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
11	A TV content augmentation system exploiting rule based named entity recognition method [211]	Bu çalışmada, kural tabanlı varlık ismi tanıma yönteminden yararlanan bir televizyon içeriği zenginleştirme sistemi önerilmiştir. Bu amaçla, Türkçe için kural tabanlı bir varlık ismi tanıma algoritması geliştirilmiştir.	2014	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
12	A rule-based domain specific language for fault management [212]	Bu çalışmada, gerçek zamanlı bir olay işleme kural tabanlı dil ve onun işleme araçları çalışılmıştır. Dil ve onun işlemcisi testlerle geçerli kılınmış ve literatürdeki uygun benzer sonuçlara dayandırılmış, özellikle geliştirme amacı düşünülecek olursa, üstün bir şekilde gerçekleştirilmiştir.	2014	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
13	Rule-based natural language processing methods for Turkish [213]	Bu çalışmada kural-tabanlı bir yaklaşım kullanılarak Türkçe için Doğal Dil İşleme yöntemleri	2010	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri-	D

Çizelge 1. 2 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Lisansüstü Tezler (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
		geliştirilmiş ve yöntemleri gerçekleştirmek için Kural-Tabanlı Otomatik Derlem Oluşturma adında bir altyapı oluşturulmuştur.		Bilgisayar ve Kontrol; Bilim ve Teknoloji; Dilbilim	
14	A rule based missile evasion method for fighter aircrafts [214]	Bu çalışmada, savaş uçakları ve füzeler için birer güdüm yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni yöntem, kural tabanlı bir kaçma yöntemidir. Önerilen yöntemler, benzetim çalışmaları ile test edilmiştir.	2008	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	YL
15	An algorithm for multiscale license plate detection and rule-based character segmentation [215]	Bu çalışmada, çok ölçekli dikey kenar yoğunluğu özelliğine dayalı bir plaka tespit algoritması ve yerel eşikleme ve bağlantılı bileşen analizine dayalı bir karakter bölütleme algoritması önerilmektedir.	2011	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	YL
16	Siparişe montaj ve stoğa üretim için internet destekli kural tabanlı bir kullanılabilirlik/yapılabilirlik sistemi [216]	Bu çalışmada, bir imalat şirketinde tasarlanıp hazırlanan internet destekli ve kural tabanlı bir kullanılabilirlik/yapılabilirlik sistemi ve yazılımı oluşturulmuştur. Stoğa üretim ve siparişe göre montaj ortamları için hazırlanmış olan İnternet destekli kural tabanlı kullanılabilirlik/yapılabilirlik sistemi ve yazılım açıklanmıştır.	2004	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	D
17	Tezgah-işgücü kapasitelerinin planlamasına yönelik kural tabanlı bir uzman sistem [217]	Bu çalışmada, askeri lojistik sistemin içinde yer alan bir fabrikada, tezgah ve işgücü kapasite planlaması ele alınmıştır. Bu çalışmada, söz konusu fabrikadaki tezgah ve işgücü kapasitelerinin planlanmasını, silah sistemlerinin özellik ve önceliğini de gözönüne alacak şekilde tasarlanmış bir kural tabanlı uzman sistem tarafından gerçekleştirilmesi ele alınmıştır.	2005	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	YL

Çizelge 1. 2 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Lisansüstü Tezler (Devamı)

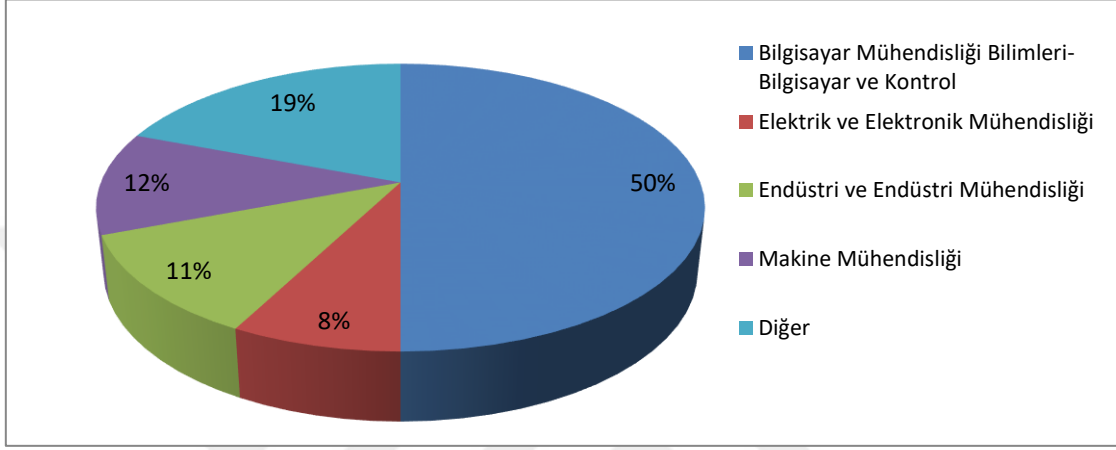
#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
18	Kurumsallaşma üzerine bir karar destek sistemi oluşturulması ve Türk inşaat sektöründe örnek uygulama (Kural tabanlı KDS modeli) [218]	Bu çalışmada, kurumsallaşma konusunda yetersiz sayılan aile şirketlerinin bu konuda yapmaları gerekenler için yol gösterici olacak bir KDS yapısının oluşturulmuştur. Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir aile şirketi ile birlikte kurumsallaşma konusunda tasarlanan kural tabanlı KDS'nin alt yapısının oluşturulması ve uygulamasına yer verilmiştir.	2011	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	YL
19	A rule-based reasoning decision support system for AS-532 Cougar helicopters' maintenance personnel [11]	Bu çalışmada, AS-532 COUGAR helikopterleri bakım personeli için kural tabanlı muhakeme KDS oluşturulmuştur. Sıra dışı arızalar, muhtemel sebepleri, kullanıcıya uyarılar ve tavsiye edilen çözüm önerileri "durum" yapısında sunulmuştur.	2004	Havacılık Mühendisliği; İşletme	YL
20	Mobilya endüstrisinde bütünleşik imalat yönetim sistemi ve bir kural tabanlı ana üretim çizelgeleme modeli [219]	Bu çalışmada, yeniden geliştirilen bir kural-tabanlı bilgisayar yazılımı ile, mobilya endüstrisinde faaliyet gösteren işletmeler için ana üretim çizelgesi hazırlanması, değiştirilmesi ve müşteri sipariş sözleşmesi aşamasında, bu işlemleri hızlandıracak karar desteği sağlanmıştır.	2001	İşletme	D
21	Stokastik talep durumunda çok ürünlü üretim sistemlerinde kural tabanlı çizelgeleme: Alüminyum sektöründe bir uygulama [220]	Bu çalışmada, siparişleri, kurulum maliyeti ve zamanı hesaba katarak üretim aşamasında kaybedilen zamanı ve maliyet minimize etmek için sıralama yönteminin modellenmesi ve siparişlerin zamanında müşteriye teslim edilmesi için bir model geliştirilmiştir. Bu yöntemin tek makine-çok ürün varsayımı altında uygulanması hedeflenmiştir.	2012	İşletme	YL

Çizelge 1. 2 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Lisansüstü Tezler (Devamı)

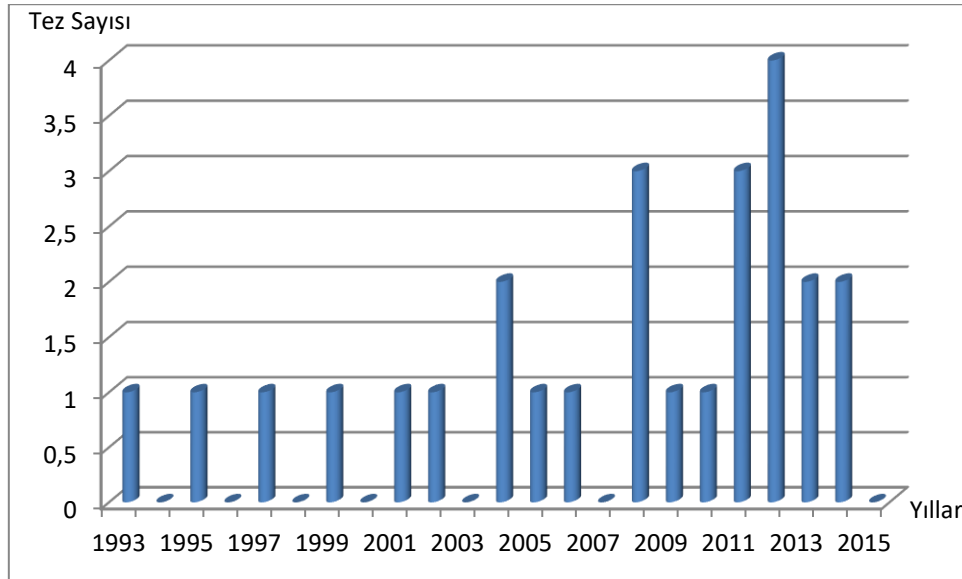
#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
22	A Rule-Based Approach to the selection of spindle bearing arrangement of machine tools [221]	Bu çalışmada, takım tezgahlarının fener mili ünitesinin seçimi ve tasarımı için bir algoritma geliştirilmiş ve denenmiştir. Fener mili ünitesi tipi seçimi için 100 civarında kural içeren bir kural tabanı oluşturulmuştur.	1993	Makine Mühendisliği	YL
23	Kural tabanlı sistematik aparat tasarımı [222]	Bu çalışmada ilk olarak literatürde yer alan aparat tip ve çeşitleri incelenmiş ve elli farklı aparat içeren bir aparat kütüphanesi oluşturulmuştur. Grup Teknolojisi ve kodlama yapıları işlendikten sonra aparatlar kodlanmış ve gruplanmıştır. Bu kod yapısını kullanarak; iş parçasına ve istenen talaşlı işleme uygun aparatlardan oluşan bir aparat grubuna ulaştıran algoritma oluşturulmuştur.	1995	Makine Mühendisliği	YL
24	Yol taşıtı boyuna dinamiği kural tabanlı kontrolcülerini [223]	Bu çalışmada, yol taşıtı boyuna dinamiği için kural tabanlı kontrol sistemler tasarlanmıştır. Yol taşıtı boyuna dinamiği sistemi olarak hem CarSim hem MATLAB/Simulink yazılımları kullanılmıştır.	2012	Makine Mühendisliği	YL
25	Banyo tasarımı için kural tabanlı uzman sistem [224]	Bu çalışmada, orta düzeyli konut banyosu tasarımı için kural tabanlı bir sistem geliştirilerek, yazılımın oluşturulmuştur.	1997	Mimarlık	YL
26	Konut ön tasarım sürecinde kural tabanlı bir yazılım modeli: Mardin örneği [225]	Bu çalışmada, kural tabanlı tasarım bazlı bir program geliştirilmiştir. Bu program erken tasarım sürecinde tasarımcıya yönelik Mardin'e özgü soyut konut plan alternatifleri vermektedir.	2008	Mimarlık	YL

Yapılan araştırma sonucunda, ilgili yöntemin daha çok “bilgisayar mühendisliği alanında çalışıldığı”, çalışma konusu olarak da “dil işleme” alanı olduğu tespit edilmiştir. Daha çok YL

seviyesinde tezlerin hazırlandığı ve son yıllarda yöntemin daha popüler olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının dağılımı ile ilgili oluşturulan grafik Şekil 1.5'teki gibidir. Çalışmaların %50'sinin bilgisayar mühendisliği alanında olduğu, bunu %12 ile makine mühendisliği alanının takip ettiği görülmektedir.



Şekil 1. 5 Kural tabanlı sistemler yöntemi için çalışma alanlarına göre lisansüstü tezler incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı da Şekil 1.6'da gösterildiği gibidir. İlgili konunun yıllara göre artan bir ilgiye sahip olduğu yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 1. 6 Kural tabanlı sistemler yöntemi için yıllara göre lisansüstü tezler

Bu araştırmanın ardından bulanık kural tabanlı sistemlerin konu edildiği çalışmalar incelenmiş, bulanık mantığın bu yöntemle kullanıldığında sağladığı esneklik ve avantajlar



tespit edilmeye çalışılmıştır. Bulanık kural tabanlı sistemler kullanılarak hazırlanan lisansüstü tezler Çizelge 1.3'teki gibi özetlenmiştir.

Çizelge 1. 3 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Yaklaşımı Kullanılarak Hazırlanan Lisansüstü Tez Çalışmaları

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
1	A Neurofuzzy network models for rule-based systems [226]	Kural Tabanlı Sistemler için Bulanık Sinir Ağları modeli geliştirilmiş ve çok seviyeli ileridoğru sinir ağları yapısında oluşturulmuştur. Öğrenme algoritması olarak, bulanık kuralları içinde kapalı olarak bulunduran, yeniden revize edilmiş "backpropagation" algoritması kullanılmıştır. Model, bazı doğrusal olmayan fonksiyonlar ve bir tıbbi teşhis sistemi (özel olarak, kalp hastalığı veritabanı) üzerinde denenmiştir.	1997	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	YL
2	Direct decomposed rule base fuzzy logic systems [227]	Standart kural tabanlı bulanık mantık yöntemi için yeni bir tasarım algoritması önerilmiştir. Bu yeni tip bulanık mantık sistemi gaz türbin sistemlerin denetiminde, özellikle de yakıt akış denetiminde ve değişken giriş vanası denetiminde kullanılmıştır. Geliştirilen bulanık mantık kural tabanı sisteminde öngörü özelliği taşıyan kurallar, hiyerarşik stratejiler ve kesin ve baskılama etkisi gösteren kurallar mevcuttur.	1998	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
3	Kural tabanlı karar verme sistemlerinde belirsizliğin modellenmesi [228]	Öncelikli olarak belirsizlik sorunu tanımlanmış ve literatür taraması sonunda bulunan belirsizlik türleri, kaynakları ve ne şekilde ortaya çıktıkları sıralanmıştır. Belirsizlik Matrisi ile, kural tabanlı karar verme sistemlerinde Olasılık Teorisi ile Bulanık Kümeler Teorisinin paralel bir şekilde kullanılabilmesi belirtilmiştir.	2008	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
4	Rule-based in-network processing for event-driven applications in wireless sensor networks [229]	Ham haldeki duyurulara verilerinden çok daha üst seviye bilgiyle ilgilenen olay tabanlı reaktif uygulamalar için bilgi işlemeyi, ağdaki uygun duyurulara cihazlarına dağıtan iki yöntem sunulmuştur. Duyuruların kaçınılmaz olarak sahip olduğu kesin olmama durumunu ele almak amacıyla da, bu yöntemleri baz alan bulanık kural tabanlı bir sistem önerilmektedir.	2011	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D

Çizelge 1.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Yaklaşımı Kullanılarak Hazırlanan Lisansüstü Tez Çalışmaları (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
5	Genetik algoritma ile bulanık kural kümesinin otomatik olarak yeni bir yaklaşım [230]	İdeal bulanık kural kümesinin oluşturulması için 3 yeni yaklaşıma sahip bir GA tasarlanmıştır. Bu yeni yaklaşımlarla verimliliği artırılan GA, bulanık sınıflandırıcı için ideal bulanık kural kümesini oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar sınıflandırma başarısı, kural sayısı ve kural uzunluğu açısından karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir.	2014	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol	D
6	Seri hibrit elektrikli aracın modellenmesi ve bulanık mantık enerji yönetim stratejisinin uygulanması [231]	Seri hibrit elektrikli aracı oluşturan elemanlar ve araç Matlab&Simulink ortamında modellenmiştir. Yakıt tüketimini azaltmak için bulanık mantık kural tabanlı güç yönetim algoritması geliştirilmiştir.	2010	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol; Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	YL
7	Bulanık mantık ile zarsız tavlamanın bilgisayar simülasyonu [232]	Oyun teorisi ve bulanık mantığın beraber kullanıldığı bir uygulama anlatılmıştır. Uygulamada, yeni bir oyun olan zarsız tavlama model alınmıştır. Bulanık mantık sayesinde sözlü ifadelerle oyun tasvir edilmiş ve bu ifadeler ile bulanık kural tabanlı sistem oluşturulmuştur. Çalışmanın en sonunda simülasyon değerlendirmesi yapılmış ve ayrıca kuralların oluşturulmasına ilişkin öneriler sunulmuştur.	2007	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri- Bilgisayar ve Kontrol; Matematik	YL
8	Endüstriyel tehlikeli maddeler için çevresel risk değerlendirme yaklaşımı [233]	Endüstriyel tehlikeli maddelerin üretim sürecinde kullanılmasından kaynaklanan tüm çevresel risklerin büyüklüğünü ortaya koyabilecek, çevre etki değerlendirmesi gibi çevre yönetim araçlarına girdi oluşturabilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çevre yönetim sistemlerinin ihtiyaçları, risk değerlendirme sürecinin adımları ve tehlikeli maddelerin özellikleri incelendikten sonra bu amaç doğrultusunda kullanılacak en uygun yöntemlerin AHS ve bulanık mantık modelleri olduğu tespit edilmiştir.	2009	Çevre Mühendisliği	YL

Çizelge 1.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Yaklaşımı Kullanılarak Hazırlanan Lisansüstü Tez Çalışmaları (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
9	LNG kara yolu taşımacılığında çevresel risk değerlendirmesi [234]	NG'nin özellikleri ve nasıl taşındığı açıklandıktan sonra LNG taşımacılığının karayolu taşımacılığında temel kuralı olan can, mal ve çevre emniyeti açısından ortaya koyduğu muhtemel tehlikeler sıralanmıştır. Çevre yönetim sistemlerinin ihtiyaçları, risk değerlendirme sürecinin adımları ve tehlikeli maddelerin özellikleri incelendikten sonra bu amaç doğrultusunda kullanılacak en uygun yöntemlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi ve bulanık mantık modelleri olduğu tespit edilmiştir. Bulanık kural tabanlı modelleme ise belirsizlik içeren ve veri eksikliği olan durumlar için uzman görüşlerinin dilsel değişkenlerini girdi verisi olarak kullanmayı sağlamıştır.	2010	Çevre Mühendisliği	YL
10	Automatic control of an atmospheric fluidized bed combustor [235]	Tanım kümesi uzmanlardan edinilen bilgi ile akışkan yataklı linyit yakıcısı ile ilgili bilgi tabanı oluşturulmuştur. Bilgi tabanını oluşturan kurallar bulanık mantık yolu ile yorumlanmış ve formüle edilmiştir.	1989	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	YL
11	Kural tabanlı ve bulanık denetim dizgeleri [236]	Kullanıcının dizge hakkındaki, eğer... ise... yoksa... şeklinde ifade edilebilen, bu deneyimlerinin mikroişlemciye öğretilerek mikroişlemcinin, kullanıcı yerine ve ona göre daha hatasız olarak dizgeyi denetlemesi ilkesine dayalı olan kural tabanlı denetim dizgeleri ve kural tabanlı denetim dizgelerinin bir üst aşaması olan bulanık denetim dizgeleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.	1997	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	YL
12	Kural tabanlı bulanık sistemlerde yeni çıkarım algoritmalarının incelenmesi ve simülasyonu [237]	Bulanık kural-tabanlı sistemlerde yeni bir çıkarım algoritması oluşturulmuş, gerekli karşılaştırmalar yapılmış ve bilinen bir problem algoritmik olarak çözülmüştür.	1997	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	YL
13	Kural tabanlı sistemlerin bulanık ve sinirsel	Bulanık sistemlerin klasik mantıksal çıkarım kurallarına uygun olması için gerekli şartlar aranmış ve bulanık kural tabanlı sistemler için	2003	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	D

Çizelge 1.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Yaklaşımı Kullanılarak Hazırlanan Lisansüstü Tez Çalışmaları (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
	bulanık gösterimi [238]	uygunluk teoremleri geliştirilmiştir. Bulanık kural tabanlı sistemlerin Sinirsel Ağlarla gösterimi incelenmiştir. Eğitim verileriyle bulanık kural tabanı elde edilerek max-min sinirsel ağlar oluşturularak eğitilmiştir.			
14	Modeling of multi-converter facts (flexible alternating current transmission systems) [239]	Çok konvertörlü FACTS cihazları, iletim seviyesinde modellenmiş ve analiz edilmiştir.	2012	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	D
15	Dijital görüntü analiz yöntemi ile siyah alaca ineklerde vücut ölçülerinin belirlenmesi ve canlı ağırlığının tahmin edilmesi [240]	Dijital görüntü analiz yöntemi ile Siyah Alaca ineklerde vücut ölçüleri belirlenmiş ve bu ölçülerden yola çıkılarak regresyon denklemleri ve bulanık kural tabanlı yaklaşımla canlı ağırlıkları tahmin edilmiştir.	2010	Elektrik ve Elektronik Mühendisliği ; Veteriner Hekimliği	D
16	Sürekli imalatta bulanık kural tabanlı uzman sistem tasarımı [241]	Sürekli imalatta bulanık kural tabanı uzman sistem tasarımında bulanık doğrusal regresyon analizi kullanılarak bir kural yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kural yapısı ile sürekli optimalliği sağlamak üzere bir sistem dizayn edilmiştir. Ele alınan sistemde bulanık tabanlı, bulanık kural yapıları bir sistem oluşturulmuştur. Bulanık kural yapısının oluşturulmasında ise bulanık doğrusal regresyon analizi ile istatistiksel doğrusal regresyon analizi karşılaştırılmış ve bulanık doğrusal analiz toplam mutlak sapma değerinin daha düşük olması nedeniyle tercih edilmiştir.	1997	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	YL
17	A fuzzy rule based expert system for stock evaluation and portfolio	Portföy yöneticilerini orta vadeli yatırım kararlarında destekleyecek bir bulanık kural tabanlı uzman sistem geliştirilmiştir.	2012	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	YL

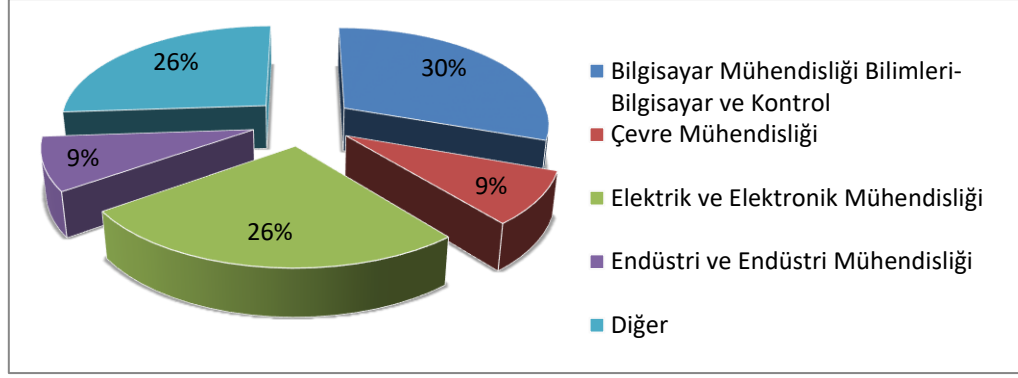
Çizelge 1.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Yaklaşımı Kullanılarak Hazırlanan Lisansüstü Tez Çalışmaları (Devamı)

#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
	construction: An application to Istanbul Stock Exchange [242]				
18	Toplu konutlarda çalışan yüklenici ve müşavirlerin iş sağlığı ve güvenliği kapsamında bulanık mantıkla risk analizi [243]	Yapı üretim sektöründe iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının uygulanma düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma kapsamında, yüklenici ve müşavir firmalara yönelik olarak toplu konut örneğinde anket çalışması yapılmıştır. Burada amaç, yüklenici ve müşavirlerin iş sağlığı ve güvenliği kapsamında hukuksal sorumluluklarını yerine getirip getirmediklerini belirlemek ve ne kadar risk altında olduklarını tespit etmektir. Çalışmada kullanılan yöntem; anket çalışması sonrasında, anket sonuçlarının bulanık kural tabanlı olarak sisteme uygulanması ve karşılaşılan risk değerinin belirlenmesi şeklindedir.	2015	İnşaat Mühendisliği	YL
19	Kural tabanlı bulanık modelleme ve fiyat tahminleme sürecinde bir uygulama [244]	Bulanık Mantık ile Bulanık Modelleme konuları teorik olarak incelenmiş ve bu kapsamda boya uygulamaları sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın katıldığı ihalelerdeki fiyat tahminlemesine yardımcı olacak, kural tabanlı bir bulanık model oluşturularak bir uygulama yapılmıştır.	2011	İşletme	YL
20	Fuzzy rule-based modeling in queuing systems [245]	Bulanık kuyruk sistemleri için nesnel bilgi sağlamaya yönelik yeni bir sabit kümeleme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde, yerel doğrusal denetleyicileri ayıklanıp birinci dereceden bulanık kural tabanlı Takagi-Sugeno modeline dönüştürülmektedir.	2012	İşletme	YL
21	Office rent variation in Istanbul CDB: An application of mamdani and TSK-type fuzzy rule based system [246]	İstanbul Merkezi İş Alanı'nda ofis kiralalarının ana belirleyicilerini incelemek için yaygın olarak kullanılan bulanık kural tabanlı iki sistem olan Mamdani ve Takagi-Sugeno-Kang (TSK) bulanık modeller uygulanmıştır. Bulanık kural tabanlı sistemlerin girdi değişkenleri; ofis alanları ve ofis binalarının fiziksel özellikleri, kira sözleşmesi koşulları ve kiracıların ofis kira bedeli olarak,	2010	Maliye; Matematik; İstatistik	YL

Çizelge 1.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Yaklaşımı Kullanılarak Hazırlanan Lisansüstü Tez Çalışmaları (Devamı)

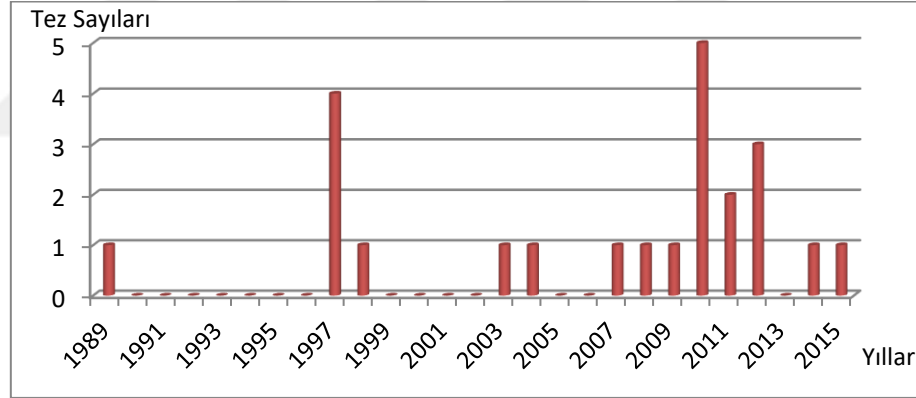
#	Çalışma Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
		kiracıların ikamet bölgeleri, kiracıların ulaşım yöntemleri vb. olarak belirlenmiş, çıktı olarak ise ofis kiralama fiyatı önerilmiştir.			
22	Askeri birliklerde personel yeterliliği için bulanık uzman sistem tasarımı [247]	Bulanık mantık teorisi ve uygulamalarından yararlanılarak askeri personelin göreve yönelik yeterlilik düzeyini tespit etmeyi amaçlayan bir uzman sistem modeli geliştirilmiştir. Model kullanılarak tim/manga komutanlığı seviyesinden alay komutanlığı seviyesine kadar olan kademelerde görev yapan askeri personelin göreve yönelik yeterlilik düzeyini tespit edilmiştir.	2004	Savunma ve Savunma Teknolojileri	YL
23	A genetic-fuzzy system modeling of trip distribution [248]	Kentsel seyahat dağılımı problemine Genetik Bulanık Kural Tabanlı Sistemler ve Kural Tabanlı Sistemler yaklaşımlarının potansiyel uygulanabilirliği araştırılmaktadır. Bu amaçla öncelikle, İstanbul şehir-içi seyahat dağılımını modellemek üzere basit bir BKTS ve orijinal bir GKBS tasarlanmıştır. Daha sonra tasarlanan bu modellerin doğruluğu, uygulanabilirliği ve genellenebilirliği gibi özellikleri, yaygın olarak kullanılan gravite ve sinir ağları tabanlı seyahat dağılımı modelleri ile kıyaslanmıştır.	2010	Ulaşım; Şehircilik ve Bölge Planlama	D

Bulanık kural tabanlı sistemler kullanılarak oluşturulan tezler incelendiğinde, risk alanında hazırlanan çalışmalar dikkat çekicidir. Ayrıca çalışan yeterliliğinin analizi konusunda hazırlanan çalışma da, yöntemin çok farklı disiplin ve alanlarda kullanılabilirliğini göstermektedir. Hazırlanan lisansüstü tezler, genellikle YL seviyesindedir. Yine diğer analizlerde karşılaştığımız gibi, genellikle bilgisayar mühendisliği alanında daha çok ilgi gördüğü, Şekil 1.7’de gözlemlenebilir.



Şekil 1. 7 Bulanık kural tabanlı sistemler yöntemi için çalışma alanlarına göre lisansüstü tezler

Bulanık Kural Tabanlı Sistemler yaklaşımı kullanılarak hazırlanan lisansüstü çalışmaların yıllara göre dağılımı, Şekil 1.8’de görülmektedir. Son yıllarda bu alanda daha sık çalışmalar yapıldığı, ilgili grafikten çıkarılabilecek yorumdur.



Şekil 1.8 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi için Yıllara göre Lisansüstü Tezler

İlgili yöntemlerin araştırılmasından sonra, uygulama alanı olan metrobüsle ilgili yapılan lisansüstü çalışmalar Çizelge 1.4’teki gibi özetlenmiştir.

Çizelge 1. 4 Metrobüs Konulu Lisansüstü Tezler

#	Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
1	Multi-objective rapid transit network design [249]	Çevreye salınan zehirli gazların etkisini azaltmak amacıyla toplu taşıma araçlarının kullanımı önerilmiştir. Bu araçların ağ tasarımında, gaz salınımının ve yapım maliyetinin iki ayrı amaç olarak üst seviyede en azlanacağı, kullanıcıların trafik davranış eğilimlerinin ise alt seviyede incelendiği çok ölçütlü iki seviyeli bir model tasarlanmıştır.	2010	Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	YL
2	İstanbul'da 2010 yılına ait hava kirliliği envanterinin halk sağlığı açısından değerlendirilmesi [250]	İstanbul'un hava kalitesi incelenmiş, Metrobüsün Hava Kalitesine Etkisi araştırılmıştır.	2014	Halk Sağlığı	YL
3	Analysis of passengers' travel behaviors and attitudes towards the brt line in İstanbul [251]	İstanbul'daki hızlı otobüs ulaşım sistemi hakkında bilgi verilmiş ve yolcuların seyahat davranışlarını ve İstanbuldaki hızlı otobüs ulaşım sistemine karşı olan tutumlarını bir anket uygulaması kullanarak incelenmiştir.	2015	İnşaat Mühendisliği	YL
4	Metrobüs sistemlerinin planlama, tasarım ve işletim özellikleri [252]	Metrobüs bileşenlerinin sistemin performansına olan etkileri seyahat süresi, güvenilirlik, sistem kimliği, güvenlik ve sistem kapasitesi bağlamında ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı'na da değinilmekte, sisteminin işletilmesine yönelik bazı öneriler sunulmaktadır.	2008	İnşaat Mühendisliği ; Şehircilik ve Bölge Planlama	YL
5	Hizmet kalitesi, algılanan değer ve müşteri tatmini arasındaki ilişkinin incelenmesi: Metrobüs üzerine bir araştırma [253]	Metrobüsler için hizmet kalitesi, müşteri tarafından algılanan değer ve müşteri tatmini arasındaki ilişki incelenmiştir.	2011	İşletme	YL



Çizelge 1.4 Metrobüs Konulu Lisansüstü Tezler (Devamı)

#	Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
6	Metrobüs güzergahında kullanılan halatlı otokorkulukların incelenmesi ve alternatif sistemlerin güvenlik dayanımının belirlenmesi [32]	Ülkemiz karayollarının teknik yapısı, fiziki durumu ve yakın çevresi itibariyle kritik görülen kesimlerine, sürücülere güven vermesi ve meydana gelebilecek trafik kazalarının sonuçlarını hafifletmesi bakımından yol kenarı güvenliği elemanlarının (otokorkulukların) herhangi bir sebeple yoldan çıkma eğilimindeki araçları tutarak tekrar yol içerisine güvenli bir şekilde yönlendirmesi gerektiği üzere otokorkuluk tasarımları incelenerek mevcut metrobüs güzergahındaki otokorkuluk sistemi incelenmiştir.	2010	Kazalar; Ulaşım	YL
7	İstanbul metrobüsü talep analizi [254]	Gelişen teknoloji ile sahaya çıkılmadan yolcu davranışı nasıl belirlenebilir sorusuna cevap vermeye çalışan bir yöntem izah edilmiştir.	2013	Mühendislik Bilimleri; Ulaşım	YL
8	Kentsel toplu taşıma kapsamında metrobüs sisteminin yaya erişilebilirliğinin değerlendirilmesi: İstanbul örneği [255]	Metrobüs sisteminin kentsel ulaşım sistemi içindeki diğer türlerle entegrasyonu anlatılmış ve metrobüs sistemine yaya erişimi irdelenmiştir. İstanbul Metrobüs hattının 'yaya erişilebilirliği' çerçevesinde değerlendirilmesi amacıyla; mevcut metrobüs hattı üzerinde 7 durak belirlenmiştir. Söz konusu duraklar ve yakın çevrelerinin yaya erişilebilirliği kapsamında irdelenmesi yaya erişilebilirliğine ve yürünebilirliğe göre tanımlanan kriterler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.	2012	Şehircilik ve Bölge Planlama	YL
9	An assessment of the planning and operational performance of the bus rapid transit in Istanbul [256]	Bu çalışmada, İstanbul'daki Metrobüs koridoru incelenerek bunun başarılı bir uygulama olup olmadığını araştırılmıştır. Başarı kriterlerini belirlemek üzere literatür incelenmiş; planlama, işletim ve yolcu sayısı özelliklerine bakılarak 3 başarılı HOT örneği olan Curitiba, Bogota ve Mexico City kentlerinde halihazırda işletilen HOT yatırımları kıyaslanmıştır.	2013	Şehircilik ve Bölge Planlama	YL
10	İstanbul metrobüs sisteminin kapasitesinin artırılması için alınması gereken	Bu çalışmada, İstanbul'da kullanılmakta olan metrobüs sisteminin aksayan yönleri ve bunların modern teknoloji ve yeni yaklaşım ve uygulamalar ile çözülmesi araştırılmıştır.	2010	Trafik; Ulaşım	YL

Çizelge 1.4 Metrobüs Konulu Lisansüstü Tezler (Devamı)

#	Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
	önlemler [257]				
11	Hızlı otobüs taşımacılığı ve İstanbul örneği [258]	Bu çalışmada, ülkemizde uygulanmaya başlanan HOT'un İstanbul uygulamasının, taşıt odaklı değil insan odaklı taşıma sağlayarak otomobil kullanıcılarını toplu taşımaya çekmede etkili olup olmadığı araştırılmıştır.	2010	Trafik; Ulaşım	YL
12	Şehir içi karayolunun etkin ve verimli kullanılmasına yönelik bir araştırma [259]	Bu çalışmada, dünyadaki ve İstanbul'daki Hızlı Otobüs Taşımacılığı uygulamaları (Metrobüs Sistemi ve Toplu Ulaşım Şeridi) ve birçok ülkede uygulamaları olan fakat Türkiye'de benzer uygulaması bulunmayan doluluk oranı yüksek olan (içinde 3 ve daha fazla kişi olan) araçlarında kullanılabileceği şerit uygulamaları incelenmiştir.	2014	Trafik; Ulaşım	YL
13	Özürülerin kent içinde erişilebilirliklerini etkileyen standartlar-Mecidiyeköy ve Yenibosna metrobüs duraklarının incelenmesi [260]	Bu çalışmada, özürülerin kent içinde erişilebilirliğini etkileyen standartlar ele alınarak İstanbul Avcılar - Söğütlüçeşme Metrobüs Hattı Mecidiyeköy ve Yenibosna durakları standartlara göre incelenmiştir. Bu iki durak ve duraklara ulaşan yaya akslarında olması gereken düzenlemeler ve uygulanan düzenlemelerin standartlara uygunluğu değerlendirilmiştir.	2009	Ulaşım	YL
14	Avcılar - Söğütlüçeşme koridorunda Metrobüs sisteminin işletim özelliklerinin simülasyon modeli ile incelenmesi [261]	Bu çalışmada, metrobüs sisteminin ülkemizdeki ilk uygulaması olan, Avcılar - Söğütlüçeşme hattı incelenmiştir. Sahada yapılan ölçümlerden yararlanarak metrobüs sistemi TSIS 5.1 benzetim programı yardımıyla modellenmiş, senaryo analizleri yapılmış ve başarı ölçütleri bulunmuştur.	2010	Ulaşım	YL
15	Megakentlerde yüksek kapasiteli otobüs taşımacılığına bütünsel bir yaklaşım: İstanbul BRT hattı incelenmesi [262]	Bu çalışmada, BRT hatlarında, rakibi otomobil ve ağır raylı ve sistemlere benzer hizmet kalitesi sunmanın mümkün olup olmadığını araştırarak, İstanbul Metrobüs (BRT) sistemi örneğinde tasarım, mühendislik, altyapı, araç ve sistem genelinde sorunların tespiti gerçekleştirilmiştir.	2010	Ulaşım	YL

Çizelge 1.4 Metrobüs Konulu Lisansüstü Tezler (Devamı)

#	Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
16	İstanbul'un sürdürülebilir ulaşım hedefleri kapsamında özel otomobil ve metrobüs sistemi araçlarının seyir çevrimlerinin incelenmesi [263]	Bu çalışmada, İstanbul Metrobüs Sistemi Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme güzergahında çalışan metrobüs araçlarının ve bu güzergaha paralel yol üzerinde seyreden özel otomobillerin seyir çevrimi diyagramlarını elde edilmiştir.	2012	Ulaşım	YL
17	Metrobüs sisteminin incelenmesi ve sosyal, çevresel, ekonomik etkileri [264]	Bu çalışmada, İstanbul Metropolitan Alanı Avcılar-Söğütlüçeşme Hattı sistemi incelenmekte, dünyadaki yapılmış örneklerine değinilmekte ve sistemin İstanbul'a kazandırdığı sosyal, çevresel ve ekonomik etkileri araştırılmaktadır.	2012	Ulaşım	YL
18	Bursa kenti için metrobüs koridoru araştırması [265]	Bu çalışmada, mevcut ve gelecekte olabilecek trafik ve yolculuk değerleri ışığında, Bursa kenti için ekonomik ve uygulanabilir Metrobüs koridoru araştırılmıştır.	2013	Ulaşım	YL
19	Hızlı Otobüs Tasımacılığının Başarı Ölçütlerinin İncelenmesi ve İstanbul Özelinde Değerlendirilmesi [195]	Bu çalışmada, İstanbul'da metrobüs kullanımı değerlendirilmiş, metrobüs öncesi ve sonrası kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca dünyadaki örnekleri de incelenmiştir.	2013	Ulaşım	YL
20	Otobüs öncelikli yolların tasarımı ve İstanbul'daki pilot otobüs şeridi uygulamaları [266]	Bu çalışmada, otobüs öncelikli yolların yurtiçinden, yurtdışından, günümüzden ve geçmişten uygulamalar açıklanarak kıyaslamaları yapılmıştır. Detaylı olarak kavşak ve durak tasarımlar incelenmiştir. Yurtdışındaki uygulamalar ile İstanbul'daki pilot uygulama arasındaki farklar anlatılmıştır	2013	Ulaşım	YL
21	İstanbul'da ulaşım sorunu ve metrobüs çözümü [267]	Bu çalışmada, toplu taşıma sistemlerinin bir parçası olan metrobüs sistemlerinin seyir yolları, istasyonları, taşıtları, işletim planı, ücret toplama sistemleri ve akıllı ulaştırma sistemleri ile olan ilişkileri gibi bileşenleri ele alınarak bu bileşenlerin sistemin performansında ve	2014	Ulaşım	YL

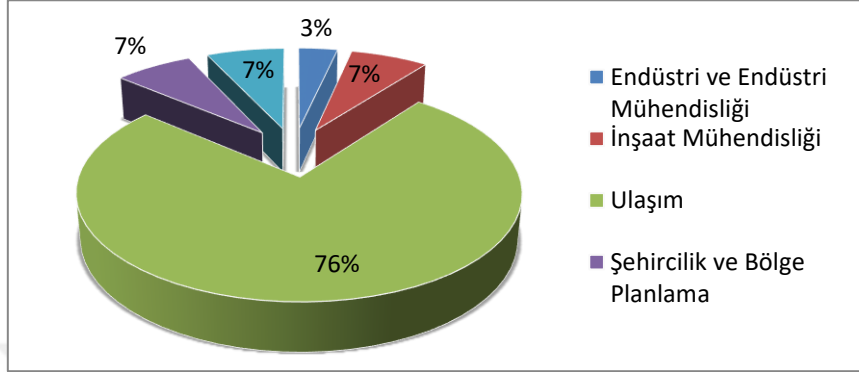
Çizelge 1.4 Metrobüs Konulu Lisansüstü Tezler (Devamı)

#	Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
		kullanıcıların sistemi kullanarak elde ettiği fayda üzerinde etkileri araştırılmıştır. Bileşenler arasındaki uyumun metrobüs sisteminin güvenilirliğini ve hizmet kalitesini artıracığından söz edilmiştir.			
22	Kentiçi raylı sistemler ve metrobüs işletme maliyeti değerlendirilmesi :İstanbul örneği [268]	Bu çalışmada, İstanbul içi raylı sistemler ile metrobüs sisteminin işletme maliyetleri incelenmiştir. Maliyetler enerji, personel, bakım-onarım, tesis, yönetim giderleri gibi alt başlıklar altında incelenmiş ve sistemlerin birim maliyetleri hesaplanmıştır.	2014	Ulaşım	YL
23	İstanbul metrobüs hattındaki aktarma durakları senaryolarının incelenmesi [269]	Bu çalışmada, metrobüs sisteminin durak bazında metrobüse binen yolcu sayısı incelenerek en yoğun dokuz durak çalışma kesimleri olarak belirlenmiştir. Çalışma sırasında özellikle Marmaray'ın metrobüs kullanımına olan etkisini belirlemek amacıyla, Marmaray'ın açılışından önceki ve sonraki veriler alınarak değerlendirilmiştir.	2014	Ulaşım	YL
24	Toplu taşıma hizmetlerinde sunulan kalite düzeyinin belirlenmesi: İETT örneği [270]	Bu çalışmada, İETT genel müdürlüğünün Toplu Taşıma Hizmet Standardı EN 13816'ya dayanarak hizmet kalitesini ölçmek için hazırladığı Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli metrobüs özelinde incelenmiştir.	2015	Ulaşım	YL
25	Metrobüs sistemlerinin ülkemizde uygulanabilirliğinin araştırılması ve Antalya örneği [271]	Bu çalışmada, Metrobüs sistemlerinin ülkemizde uygulanabilirliğinin araştırılmıştır. Öncelikle kentiçi toplu taşımacılığında kullanılan mevcut türler hakkında bilgiler verilmiştir, ardından kentiçi toplu taşımacılığında yeni bir anlayış olarak ortaya çıkan Metrobüs sistemlerinin özellikleri anlatılmış, diğer sistemlerle karşılaştırmaları yapılmış ve dünyadaki uygulamalarından bahsedilmiştir.	2007	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	YL
26	Metrobüs sisteminin Boğaziçi Köprüsü trafiğine etkilerinin simülasyon modeli ile incelenmesi [272]	Bu çalışmada, Metrobüs hizmete sokulmadan önceki 2008 Nisan ve sonraki 2010 Nisan aylarında, Metrobüs'e paralel O - 1 Karayolu'ndaki trafik koşulları, radar verileri kullanılarak CORSIM mikrosimülasyon programı	2010	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	YL

#	Adı	Kapsam	Yıl	Çalışma Alanı	Tez Türü
		yardımla analiz edilmiş ve metrobüsten önceki ve sonraki durum karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda 2008 Nisan ve 2010 Nisan aylarında, incelenen kesimde (Asya-Avrupa yönünde), toplam taşıt sayısında (yolculuklarında) ve ortalama yolculuk sürelerinde değişiklik gözlenmemiştir.			
27	İstanbul Avcılar-Söğütlüçeşme metrobüs sisteminin bileşenlerinin değerlendirmesi ve dünyadaki metrobüs sistemleri ile karşılaştırılması [273]	Bu çalışmada, İstanbul Avcılar - Söğütlüçeşme Metrobüs sisteminin bileşenlerini değerlendirilmiş ve dünyadaki metrobüs uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. İnceleme için seyir yolları, istasyonlar, taşıtlar, işletim planı, ücret toplama sistemi ve akıllı ulaşım teknolojileri ile ilişkiler metrobüs sisteminin bileşenleri olarak belirlenmiştir. Sistemin bileşenleri arasındaki ilişkiyi ve diğer toplu taşıma sistemleri ile olan uyumunu belirlemek, sistemin problemlerini çözme için gözlemler ve incelemeler yapılmıştır.	2012	Ulaşım; İnşaat Mühendisliği	YL
28	Statistical analysis of bus transportation networks for four largest cities in Turkey [274]	Bu çalışmada, Türkiye'nin dört büyük şehrinin otobüs ağlarının küçük dünya (small-world) ve ölçeksiz ağ özelliklerini yansıttığı gösterilmiştir. Ayrıca, Metrobüs hatlarının ve Üçüncü Boğaz Köprüsü'nün İstanbul otobüs ulaşım ağının özelliklerine olan etkileri de istatistiksel olarak incelenmiştir.	2011	Ulaşım; İstatistik	YL
29	Diyarbakır kentiçi ana ulaşım planı ile entegre edilmiş Üniversite-Dağkapı-Karacadağ Caddesi-Urfa Yolu-Silvan Yolu üniversite metrobüs ring sistemi güzergahı önerisi [275]	Bu çalışmada, Diyarbakır kent içi ulaşım ana planı çıktıları, yolculuk talepleri doğrultusunda Üniversite ile Kent Merkezinin erişebilirliğini rahatlatarak, çevreye duyarlı, ekonomik, hizmet seviyesi yüksek, revizyona açık toplu taşıma sistemi olan Üniversite Metrobüs Ring Sistemi önerilmektedir.	2013	Ulaşım; Şehircilik ve Bölge Planlama	YL

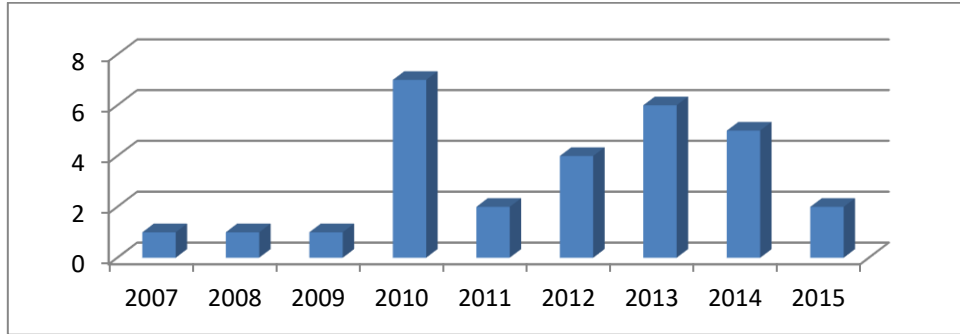
Metrobüs ile ilgili yapılan lisansüstü çalışmalar incelendiğinde, ulaşım alanında yapılan çalışmaların toplam çalışmaların %76'sını kapsadığı görülmektedir. Bu alanı endüstri

mühendisliği ve inşaat mühendisliği takip etmektedir. Şekil 1.9 metrobüs ile ilgili yapılan çalışmaların alanlara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 1. 9 Metrobüs Konulu Çalışmalar için Alanlarına göre Dağılım

Metrobüsü konu olarak yapılan lisansüstü çalışmaların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 2010 yılı en fazla sayıda çalışmanın yapıldığı tarih olarak ortaya çıkmaktadır. Devam eden zamanlarda aynı oranda ilgi ile bu alanda çalışmalar ortaya çıkmıştır. Şekil 1.10, metrobüs hakkında yapılan lisansüstü çalışmaların yıllara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 1. 10 Metrobüs Konulu Çalışmalar için Yıllara göre Dağılım

Metrobüs sistemi ile ilgili hazırlanan tezler incelendiğinde, henüz "bakım politikası" ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir. Metrobüs araçlarının yaşadığı arızalar ve arıza durumlarında alınacak aksiyonların belirlenmesi, ortaya konulması gereken analizlerdir ve bu alanda bir eksiklik olduğu söylenebilir. Bu çalışmayla bu eksikliğin de tamamlanması hedeflenmektedir.

Ayrıca Metrobüs ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılması planlanan yöntemlerle ilgili herhangi bir tezin olmaması da, yöntemlerin bu alandaki uygulamasını benzersiz kılmaktadır.

Hazırlanacak çalışmanın doktora tezi kapsamında gerek çalışma alanı gerekse yöntem açısından ilk olacağı belirlendikten sonra, ilgili yöntemlerin bakım konusunda dünyadaki uygulamaları incelenmiştir. Bunu yaparken ulusal ve uluslararası dergilerde basılan makaleler ile çeşitli konferanslarda sunulmuş bildiriler incelenmiştir. Bunun için yine bakım alanında "kural tabanlı yaklaşımlar" ve "bulanık kural tabanlı yaklaşımlar" ile hazırlanan çalışmalar, tablolar halinde sunulmuştur. İlk olarak, bakım yönetimi dâhilinde kural tabanlı sistemlerin kullanıldığı makale ve bildiriler Çizelge 1.5'teki gibi özetlenmiştir.

Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
1	Prototype rule-based decision support system for winter highway maintenance [276]	1991	Bu çalışmada, kış karayolu bakım çalışmalarında bakım çalışanlarının yararlanması için kural tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Prototip model Utah ve Colarado'da uygulanmıştır.	M
2	Hybrid neural net and rule based system for boiler monitoring and diagnosis [277]	1991	Bu çalışmada, tam tekrarlı sinir ağı kural tabanlı uzman sistemle birleştirilmiştir. Sinir ağı, santral kazanı normal yüksek verimli çalışma davranışını tanımak için eğitilmiştir ve kural tabanlı uzman sistem sorunları tanıyarak bakım ve / veya operatör eylemleri önermektedir.	B
3	An intelligent tool for distribution substations troubleshooting and maintenance scheduling [278]	1991	Bu çalışmada dağıtım santrali sorun giderme ve bakım planlaması için bir kural tabanlı uzman sistem yaklaşımı geliştirilmiştir.	B
4	Expert systems: Opportunities for the gas processing industry [279]	1991	Bu çalışmada, gaz işleme sanayii için kural tabanlı çıkarım ve nesne yönelimli programlama kullanılarak uzman sistem teknolojisi yaklaşımı oluşturulmuştur. Yaklaşımın, bir gaz işleme tesisinin tasarım, planlama, çizelgelem, bakım, süreç izleme ve kontrol gibi birçok alanı için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.	B
5	Automated system for motor-operated valve diagnostics [280]	1991	Bu çalışmada, motorla çalıştırılan vana güvenilirliğini ölçmede bakım teknisyenleri için bir akıllı test-yardımcısı olması için kural tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.	M
6	The development of an integrated mathematical and knowledge-based maintenance delivery system [281]	1992	Bu çalışmada, sürekli üretim ortamı için bir bakım problemi ele alınmıştır. Kullanılan matematiksel modelin çıkış aracı, değişim modellerinin matematiksel analizini içeren bir optimizasyon prosedürü ile kural tabanlı bir uzman sistemi entegre etmektedir.	M
7	Improvement of man-machine interaction by artificial intelligence for advanced reactors [282]	1992	Bu çalışmada, operasyon ve bakım destek sistemleri ile tesis teşhis sistemleri geliştirilmiş ve mevcut nükleer tesisler için uygulanmıştır.	M
8	RTDAMS: A real-time diagnosis and maintenance syste	1993	Bu çalışmada, gerçek zamanlı kural tabanlı tanı ve bakım sisteminin tasarımı ve uygulamasından bahsedilmiştir.	B



Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
	m [283]			
9	Rule-based real-time fault diagnosis and maintenance system for automatic GaAs production line on space station [284]	1993	Bu çalışmada, bir uzay istasyonunda otomatik Galyum arsenit üretim hattı için bir kural tabanlı arıza teşhis ve bakım sisteminin gerçek zamanlı özellikleri tartışılmıştır.	M
10	Rule-based troubleshooter design for the maintenance of manufacturing devices [285]	1995	Bu çalışmada, imalat donanımlarının bakımı için bölge odaklı tasarım yöntemine dayalı kural tabanlı sorun giderici önerilmiştir. Bu kural-tabanlı sorun giderici tasarım yöntemi, bir kalıp doldurma sisteminin performansının iyileştirilmesinde uygulanmıştır.	B
11	Hybrid expert maintenance advisory system for naval systems applications [286]	1995	Bu çalışmada, kural tabanlı ve olasılık tabanlı çıkarıcı içeren, karmaşık deniz sistemleri bakım ve tanısı için bir yaklaşım sunulmaktadır.	M
12	Initial use of an on-line expert system for condition assessment of pumped storage hydromachines [287]	1997	Bu çalışmada, pompalı depolama hidromakineleri için bir çevrimiçi uzman sistem geliştirilmiştir. Sistem çevrimiçi izleme ve kural tabanlı veri analizi yaklaşımlarını içermektedir. Önerilen yaklaşımlar, makine eskimeleri ya da arızalarının erken tespitini ve makine durumlarının doğru değerlendirilmesini sağlar.	B
13	A graph-based approach for rule integrity and maintainability in expert system maintenance [288]	1998	Bu çalışmada, kural tabanlı bakım için bir yöntem olarak, nesne sınıflandırma modeli olarak adlandırılan, bir grafik tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Klasik kural tabanlı bakım yöntemleri ile nesne sınıflandırma modelini kıyaslamak için bir deney yapılmıştır. Sonuçlar, nesne sınıflandırma modelinin kural tabanı bütünlüğünü korumak için bilgi mühendislerine yardımcı olduğunu ve böylelikle kural tabanı bakım yapılabilirliğini arttıracığını göstermiştir.	M
14	Fired Equipment Refractory Linings Maintenance Program [5]	2002	Bu çalışmada, Eastman Kimya Şirketinin Teksas Eastman tesisindeki ateşe dayanıklı balatalar için başlattığı önleyici bakım programından bahsedilmiştir. Proje takımı, şirket tarafından ateşe dayanıklı balataların değerlendirilmesi için kural tabanlı kriter geliştirilmesi için görevlendirilmiştir.	B

Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
15	Capacitor bank predictive maintenance and problem identification using conventional power quality monitoring systems [289]	2004	Bu çalışmada, geleneksel bir güç kalitesi izleme sistemi ile çalışan Otomatik kapasitör bankası kestirimci bakım sistemi için fonksiyonel özellikler tanıtılmıştır. Sistem altı kural tabanlı modülden oluşmaktadır	B
16	Prediction models for sewer infrastructure utilizing rule-based simulation [290]	2004	Bu çalışmada, sınırlı veriler göz önüne alınarak bir kanalizasyon borusu durumu ve ıslahı ile ilgili maliyetini tahmin etmek için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Kanada'nın Edmonton Şehrinde bakım harcamalarını etkili bir planlamak için üç model geliştirilmiştir. Her model, Kanalizasyon bakım için gelecek harcamaların planlanmasında yardımcı olmada kural tabanlı simülasyon ve olasılık analizinin bir kombinasyonu kullanmıştır.	M
17	Development of an expert system for detecting incipient fault in transformer by dissolved gas analysis [291]	2004	Bu çalışmada, transformatör arızası ve bakımları için Çözünmüş Gaz Analizi tekniğine dayalı bir kural tabanlı uzman sistem prototipi oluşturulmuştur.	B
18	Rule-based update methods for a hybrid rule base [292]	2005	Bu çalışmada, bir hibrid kural tabanının etkin güncellemeleri için yöntemler sunulmuştur. Hibrid kural tabanı, sembolik kurallar ve sinir ağlarını birleşimi olan hibrid kural tipi olan nörokuralları içerir. Sunulan yöntemler, yeni bir kural ekleme veya kaynak bilgisinden eski bir kural çıkarma nedeniyle, hedef bilgisinin modifikasyonları ile ilgilenir.	M
19	An intelligent reliability centered maintenance analysis system based on case-based reasoning & rule-based reasoning [293]	2005	Bu çalışmada, durum tabanlı çıkarsama ve kural tabanlı çıkarsamaya dayanan akıllı güvenilirlik tabanlı bakım analiz sistemi tanıtılmış ve sistemdeki kritik metotlar tartışılmıştır.	B
20	Develop an intelligent equipment maintenance system using cyber-enabled JESS technology [6]	2005	Bu çalışmada, ekipmanları arıza teşhisi için JAVA Uzman Sistem Kabuk teknolojisini kullanılarak bir kural tabanlı akıllı ekipman bakım platformu geliştirilmiştir. Coğrafi sınır boyunca gerçek zamanlı ortak ekipman bakımını desteklemek için bulanık tabanlı bilgi sistemini ve çıkarsama motorunu birleştiren bir prototip sistem tasarlanmıştır.	B

Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
21	Expert system of maintenance review board report based on CBR and RBR [294]	2006	Bu çalışmada, durum tabanlı çıkarsama ile kural tabanlı çıkarsamayı entegre eden bir sivil uçak bakım inceleme kurulu raporu geliştirme yöntemi geliştirilmiştir.	M
22	Project for implementation of Maintenance Rule based on risk-informed safety classification [295]	2007	Bu çalışmada, Bakım Kuralı gereksinimleri ve ABD nükleer santralleri uygulaması analiz edilmiştir. Çin'de nükleer santrallere uygulanabilir bir bakım kural uygulama projesi ortaya konulmuştur.	M
23	Research on maintenance errors in civil aviation and early-warning expert system [296]	2007	Bu çalışmada, havacılıkta bakım hataları kontrol etme için yönetimin mevcut durumu analiz edilmiştir. Sivil havacılık bakım hataları için erken uyarı uzman sistemi alanına kural tabanlı belirsizlik çıkarımını tanıtan erken uyarı yönetimi için bir uzman sistem yapı oluşturulmuştur.	M
24	Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation [7]	2007	Bu çalışmada, ardışık kusurlu bakım politikası koşul tabanlı kestirimci bakım politikasının entegre edilmiştir. Yaş küçültme faktörü ve tehlike oranı artışı faktörünün kavramına dayalı hibrid tehlike hızı yineleme kuralı farklı bakım döngülerinde sistem güvenilirliği evrimini tahmin etmek için geliştirilmiştir.	M
25	Rule-Based delay time data collection method for palm oil mills maintenance problem [297]	2008	Bu çalışmada, gecikme zamanı verisi toplamada subjektif anket yöntemi geliştirmek için bir teknik önerilmiştir. Bu teknik, yani kural tabanlı gecikme zamanlı veri toplama yöntemi, bilgi teknolojisi ve makinelerin bakım bilgileri toplanan kurallar kümesi bir kombinasyondur. Bu tekniği kullanarak, tahminleme sürecinde olduğundan az ya da fazla tahmin etme problemi, ortaya çıkarma aşaması ve model inşaa süresi azaltılabilir.	B
26	Development of SOA based equipments maintenance decision support system [298]	2008	Bu çalışmada, işbirlikçi bakım kararı, uzaktan ekipman tanısı vb yaklaşımları desteklemek için Servis Odaklı Mimari ortamına dayalı bir Entegre Akıllı Ekipman Bakım Karar platformu geliştirilmiştir.	B
27	Knowledge modelling for rule-based supervision and control of production facilities [299]	2008	Bu çalışmada kullanılan yaklaşım tesis işletimi bilgisi - matematiksel modelleme - veri güdümlü yöntemler ve senaryo odaklı denetim ile kontrol rutinlerinin bir entegrasyonudur. Tesis operasyon rutinleri 'eğer-ise' senaryoları şeklinde modellenmiştir.	M

Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
28	A rule based expert system for maintenance as a competitive advantage [300]	2009	Bu çalışmada, aynı ürünleri işleten bakım şirketleri ağı için durum bazlı bakım platformu geliştirilmiştir. Geliştirilen uzman sistem, hem sistemi hem de bakımını izleyen uzmanların yeteneklerini barındırmaktadır. Bu sayede kritik karmaşık sistemlerin güvenilirliğini artıran bir sistem geliştirilmiştir.	B
29	A rule-based approach for establishing states in a Markov process applied to maintenance modelling [301]	2009	Bu çalışmada, durumlardaki konukluk sürelerinin gamma dağıldığı ve gamma dağılımının üssel dağılan konukluk sürelerine sahip durumu Markov sürecine dönüştürüldüğü bir yöntem sunulmuştur. Bu, gamma dağılımının Markov sürecine yaklaştırıldığı, bakım modellemesini kolaylaştıran bir durumdur.	B
30	Configurative service engineering - A rule-based configuration approach for versatile service processes in corrective maintenance [302]	2009	Bu çalışmada, ticari hizmetler için kitlesel özelleştirme stratejisini desteklenerek, yapılandırılabilir servis mühendisliği yaklaşımı sunulmuştur. Ticari hizmetler için yapılandırılabilir süreç modeli oluşturulduktan sonra, yapılandırma mekanizmaları uygulanarak özelleştirilmiş hizmet süreçleri elde edilebilir.	B
31	From diagnosis to prognosis: A maintenance experience for an electric locomotive [8]	2009	Bu çalışmada, otomatik belirti sürecini yürütmek amacıyla İtalya demiryollarında kullanılan bir lokomotif için kural tabanlı uzman sistem geliştirilmiştir. Amaç, bakım performansını arttırmaktır.	B
32	A spatial decision support system aiding levee managers in their repair and maintenance planning [303]	2009	Bu çalışmada, Fransa'da sel baskınlarını engellemek için kurulan setlerin bakım kararının verilmesinde, karar vericilere yardımcı olması için bir kural tabanlı çok kriterli atama metodu geliştirilmiştir.	M
33	Corrective maintenance through dynamic work allocation and pre-emption: Case study and application [304]	2009	Bu çalışmada, bir üretim tesisindeki makinelerin düzeltici bakımı için yenilikçi bir yönetim ve planlama sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada kural tabanlı bakım sistemi önerilmiştir.	M
34	A rule based system for reliability centered maintenance [305]	2010	Bu çalışmada, iş makinelerinin arızasız bir şekilde işlevlerinin yerine getirmeleri için teknikleri önerilmiştir. Önceki metodlarda durum bazlı bakım çıkarım kullanılmış, ancak bu yaklaşım 2 ya da daha fazla durum çatıştığında çalışmadığından uygulanamaz çözümler ortaya çıkarmıştır. İşte bu sorunun çözümünde performans göstergelerinin başarmak için kural tabanlı çıkarım yaklaşımı	B

Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
			uygulanmıştır.	
35	Organizational knowledge transfer using ontologies and a rule-based system [306]	2010	Bu çalışmada, örgütsel bilgi aktarımı için bir kural ontolojisi ve kural tabanlı sistemin bileşimi önerilmiştir. Önerilen yöntem, Tokyo 'daki hidroelektrik santrallerin uzaktan kontrol ve bakım ofisinde uygulanmıştır.	B
36	Fact description based on rough sets for expert system [307]	2010	Bu çalışmada, kaba küme teorisi ve ekipmanları başarısızlıklarının kural tabanlı tanımı arasındaki ilişkiyi açıklanmıştır. Ardından, Ekipman Bakım Uzman Sistem Tanı modeline dayalı olarak özel kurallar, kapsayıcı kurallar ve ekipman yetersizliği görüntüleri oluşturulmuştur ve olasılık kural tanımı ortaya konmuştur.	B
37	Solution of MRO support system for large complex equipment [308]	2010	Bu çalışmada, sürekli iyileştirme destekleyen Bakım, Onarım/İşlemler gereksinimleri analiz edilmiş ve bir destek sistem önerilmiştir. Yalın bakım uygulanması için kural tabanlı bakım politikası gösterimi ve yargılama teknolojisi kullanılmıştır.	M
38	Case base maintenance method based on clustering and rule [309]	2011	Bu çalışmada, durum tabanlı bakımın etkinliğini arttırabilmek için durum kümeleme ve kurala dayalı bir yöntem önerilmiştir. Öncelikle, Kendi kendini Örgütleyen Harita ağları kullanarak, önceki durumların görsel bir kümeleme çıktısı elde edilmiştir. Ardından, yeni bir durum, için ekleme ve çıkarma kuralını da içeren bakım kuralları tanımlanmıştır. Elde edilen bakım kurallarına ve görsel kümeleme grafiğine göre, bir operatör kolaylıkla yeni bir durumun eklenmesine ya da çıkarılmasına karar verebilir hale gelmektedir.	M
39	Condition-based maintenance of dynamic systems using online failure prognosis and belief rule base [9]	2012	Bu çalışmada, uzman bilgisi ve arıza nedeni analizi kullanılarak, arıza belirti modeli için bir kural tabanlı model oluşturulmuştur. Ardından mevcut karakteristik değişken bilgilerine dayanılarak, bir online arıza belirti algoritması önerilmiştir. Arıza belirti modeli, dinamik sistemlerin değiştirme kararını desteklemek için durum dayalı karar modelinde kullanılmıştır.	M

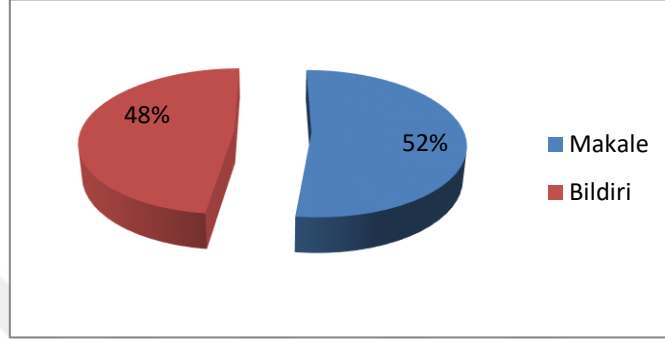
Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
40	Designing a rule based expert system for selecting pavement rehabilitation treatments using rough set theory [310]	2012	Bu çalışmada, kaldırım ıslahı alanında en iyi ıslah ya da bakım seçeneklerine karar vermede, uzman gruplarından elde edilen kurallardan oluşan bir uzman sistemin kullanışı ele alınmıştır. Kalitatif bilginin işlenmesinde, Kaba Kümeler Teoisi kullanılmıştır. Uzmanlardan alınan çeşitli görüşlerden karar kuralları türetmek için bu yöntem başvurulmuştur.	M
41	Application of Artificial Intelligence in maintenance modelling and management [311]	2012	Bu çalışmada, bakımda yapay zeka tekniği uygulamaları için geçtiğimiz yıllar boyunca tanımlanan özel uygulamaları ve yöntemlerin çeşitli versiyonlarını sunmaktadır. Çalışma, bir literatür araştırmasıdır.	B
42	Health condition-based maintenance decision intelligent reasoning method [312]	2012	Bu çalışmada, durum bazlı çıkarsama ile kural bazlı çıkarsamayı entegre eden bir yöntem geliştirilmiştir. Bu iki yapay zeka tekniğine dayanarak, bakım kararı sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir.	B
43	Protection of track work and maintenance of way personnel on Canadian railways [313]	2012	Bu çalışmada Kanada'da her yıl tren yollarında meydana gelen çarpışmaları engellemek için kullanılan mühendislik çalışmaları incelenmiştir.	M
44	Expert system application for helicopter fault diagnosis [314]	2012	Bu çalışmada, helikopter arıza teşhisi için bir uzman sistem geliştirilmiştir. Sistemde, hem durum-tabanlı hem de kural tabanlı çıkarım uygulanmıştır. Çalışmada AHS, hata oluşma önceliklerinin tespitinde kullanılmıştır.	M
45	Knowledge management of maintenance activities for potable water distribution business [315]	2012	Bu çalışmada, su dağıtım şirketlerinin bakım ve operasyon faaliyetlerinin yönetimi verimliliğini artırmak için kullanılacak bir bakım bilgi yönetim sistemi geliştirilmiştir. Bu yeni bilgi yönetim sistemi bilgi veritabanı, raporlama ve tarih, ilişkiler, kural tabanlı uzman sistem ve bağlantılar ve arayüzler gibi beş bileşenden oluşmaktadır.	M
46	Maintenance decision-making process for a multi-component production unit using output-based maintenance technique: A case study for non-repairable two serial components'	2013	Bu çalışmada, çıktı temelli bakım tekniğine dayalı bir çok-bileşenli birimin durumu için bakım karar verme süreci sunulmuştur. Önerilen algoritma, tüm karar sürecini kolay anlaşılır ve yorumlanabilir kılan kural tabanlı karar ağacı yaklaşımına dayanmaktadır.	M

Çizelge 1. 5 Kural Tabanlı Sistemler Yöntemi ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

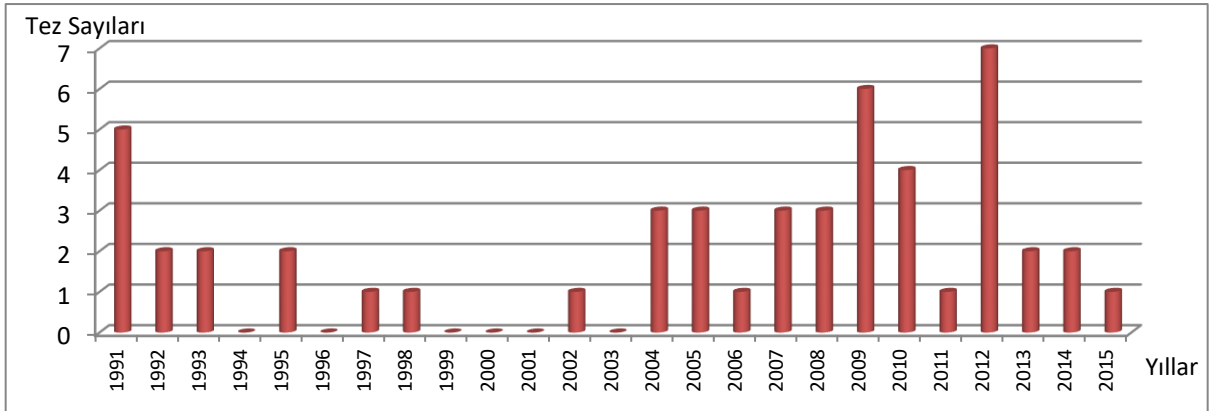
#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
	unit [316]			
47	The intelligent integration system of oil equipment information [317]	2013	Bu çalışmada, petrol ekipmalarının bakımında performans amaçlarını sağlamada hibrid bir yaklaşım önerilmiştir. Petrol ekipmanın arızaları, durum tabanlı çıkarım ve kural tabanlı çıkarım ile teşhis edilmiştir.	B
48	Verification of rule-based service routing via model checking [318]	2014	Bu çalışmada, kural motoru ile entegre kurum veri yolunda kural tabanlı mesaj yönlendirme doğruluğunu kontrol etmek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir.	M
49	Extended supervisory control of Peirce-Smith converter [10]	2014	Bu çalışmada, bir eşik tabanlı politika, Kural Tabanlı Çıkarım ve Durum Tabanlı Çıkarım kullanılarak etkin bakım kararı verilmesi için bir çok aşamalı prosedür önerilmiştir.	M
50	Diagnosis expert system design of a certain ordnance launch circuit [319]	2015	Bu çalışmada, bir mühimmat fırlatma devresi için arıza yeri tespiti ve arıza düzeltmenin düşük etkinlikte gerçekleşmesi problemini çözmede hibrid durum-bazlı çıkarsama ve kural bazlı çıkarsamaya dayalı bir hata tespit uzman sistemi tasarlanmıştır.	B

Çalışmalar incelendiğinde, kural tabanlı çıkarım sistemlerinin araç bakım alanında yapılmış en yakın uygulamanın lokomotiflerin bakım performansını arttırmak amacıyla kullanıldığı gözlemlenmiştir. İncelenen literatür sonucunda, ilgili konunun hem bildiri (B) hem de makale (M) çalışmaları açısından eşit ilgiye sahip olduğu Şekil 1.11’de gözlemlenebilir.



Şekil 1. 11 Bakım alanında kural tabanlı çıkarım sistemlerinin kullanıldığı çalışmaların yayın türüne göre dağılımı

İlgili çalışmalar yıllara göre de değerlendirilmiştir. 2012 yılı bakım alanında kural tabanlı sistemlerin en yoğun çalışıldığı dönem olarak görülmektedir. Ayrıca son yıllarda bu konuya artan bir ilginin olduğunu da söylemek yanlış olmayacaktır. Şekil 1.12, kural tabanlı sistem yaklaşımı kullanılarak bakım alanında yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 1. 12 Bakım alanında kural tabanlı çıkarım sistemlerinin kullanıldığı çalışmaların yıllara göre dağılımı

Çalışmalarında bakım yaklaşımı dahilinde bulanık kural tabanlı sistemlerin kullanıldığı makale ve bildiriler aşağıdaki Çizelge 1.6’daki gibi özetlenmiştir.



Çizelge 1. 6 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler Kullanılarak ile Hazırlanan Çalışmalar

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
1	An intelligent maintenance model (system): An application of the analytic hierarchy process and a fuzzy logic rule-based controller [320]	1998	Bu çalışmada, AHS ve bulanık mantıktan yararlanılarak bir entegre bakım karar verme modeli geliştirilmiştir. Çalışmada bakımdaki problemlerin; kriterlerin net ve arızalı ekipmanın bakımını yapmada gürbüz karar kriterinin olmaması olarak belirlenmiştir. Bakım eylemi için bir kuralcı bir model oluşturma amaçlı iki aşama olarak önerilen yöntemde, ilk aşamada AHS kullanılarak önceliklendirilmiş kriterler, en kritik makinalar ve ilgili arızalar tespit edilmiş; ikinci aşamada ilk adımda ağırlıklar bulanık mantık denetleyici için girdiler olarak kullanılmıştır.	M
2	Rule-based modeling: Precision and transparency [12]	1998	Bu çalışmada, ölçümlerden elde edilen bulanık kural tabanlı modellerin, az sayıda kural ile şeffaf olacağı gösterilmiştir. Kurallar arasında bulanık bir geçiş, dilsel açıdan iyi bir kalitatif açıklama ile birlikte hassasiyet elde etmeyi sağlamaktadır. Bu uzman değerlendirme, kural-taban bakım, operatör eğitimi, kontrol sistemleri tasarımı, kullanıcı arabirim, vb için yararlıdır.	B
3	A two-stage evolutionary process for designing TSK fuzzy rule-based systems [321]	1999	Bu çalışmada, Takagi-Sugeno -Kang bulanık kural tabanlı sistemlerin tasarımında iki aşamalı evrimsel süreç kullanılmıştır. Önerilen yöntemin performansı bazı üç boyutlu yüzeylerin bulanık modellenmesi ve İspanyol kasabalarında elektrik hattının bakım maliyetlerinin hesaplanması gibi iki farklı problemin çözümünde kullanılmıştır.	B
4	A rule-based approach for fuzzy overhaul scheduling [322]	2004	Bu çalışmada, zamanında üretime yardımcı olmada hızlı çizelgeleme için bulanık kural tabanlı sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Ek olarak, ilgili yaklaşımın bakım proje kararlarında yıllık önemli maliyet kazancı sağlamada şirkete destek olduğu belirtilmiştir.	B
5	Intelligent real time control of disturbances in manufacturing systems [323]	2005	Bu çalışmada, arızaya eğilimli bir üretim sisteminin gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolü zeki ve optimum şekilde gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık tabanlı kontrolör, istenen hedefi gerçekleştirmede kullanılan yaklaşımdır.	M
6	Rule-based fuzzy gain-scheduling PI controller to improve engine speed and	2006	Bu çalışmada, minimal kural tabanlı bulanık kazanç-ayarlı integral kontrolörü ve ve minimal bulanık kuralların formülasyonu istenen davranışı	B

Çizelge 1.6 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler Kullanılarak ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
	power behavior in a power-split hybrid electric vehicle [324]		elde etmek için tanımlanmıştır. Bu minimal kural tabanlı bulanık kontrolör Ford Escape Hibrid aracında uygulanmıştır.	
7	Fuzzy adaptive preventive maintenance in a manufacturing control system: A step towards self-maintenance [13]	2006	Bu çalışmada, koruyucu bakım ve üretim kontrol sistemi entegre bir yaklaşım önerilmiştir. Bulanık mantık, önleyici bakım ve bir üretim kontrol sisteminin entegre eden akıllı bir yaklaşım kullanımında önerilmiştir.	M
8	Trend analysis using real time fault simulation for improved fault diagnosis [325]	2007	Bu çalışmada, trend eşleme yaklaşımı kullanılarak analiz edilen entegre ekipman davranışları ve işlemler yürüncesinde, trend analizine dayalı arıza teşhisi gerçekleştirilmiştir.	B
9	Optimization of imperfect maintenance based on fuzzy logic for a single-stage single-product production system [326]	2009	Bu çalışmada, kusurlu önleyici bakım optimizasyonu için bir yaklaşım önerilmiş ve bakım kusurları modellemek için kural tabanlı bulanık mantık kullanılmıştır.	M
10	A fuzzy inference expert system to support the decision of deploying a military naval unit to a mission [327]	2009	Bu çalışmada, bulanık teori yoluyla belirsizlik göz önünde bulundurularak bir görev birimi değiştirmedeki kararı desteklemek için kural tabanlı çıkarım motoru kullanılmıştır.	B
11	A fuzzy inference system for pump failure diagnosis to improve maintenance processes: The case of a petrochemical industry [14]	2010	Bu çalışmada, bir bulanık kural tabanlı çıkarsama sistemi ile bilgi edinme yoluyla pompa arızaları için doğru ve zamanında tanı mekanizması sağlamak amaçlanmıştır. Önerilen bulanık çıkarım sistemi ile insan hatalarının azaltılması, onarım süresinin azaltılması, eğitim için kullanılabilir uzmanlık bilgisi oluşturma, gereksiz harcamaların azaltılması ve bakım maliyetlerinin azaltılması sağlanarak bakım sürecini geliştirilmesi hedeflenmiştir.	M
12	Health diagnosis of industrial equipments through used lubricant analysis process: A rule based inference approach [328]	2012	Bu çalışmada, rulman sistemlerin tanısı, yağ analizi süreci kullanılarak sağlık izleme sisteminin platformu olarak düşünülmüştür. Rulman sistemindeki olası karakterize aşınma parçacıklarının bulanık çıkarım mekanizmaları olarak yorumlanana kural tabanlı sistem benimsenmiştir. Önerilen strateji dayanarak, olası bakım politikaları dikkate alınmıştır.	M

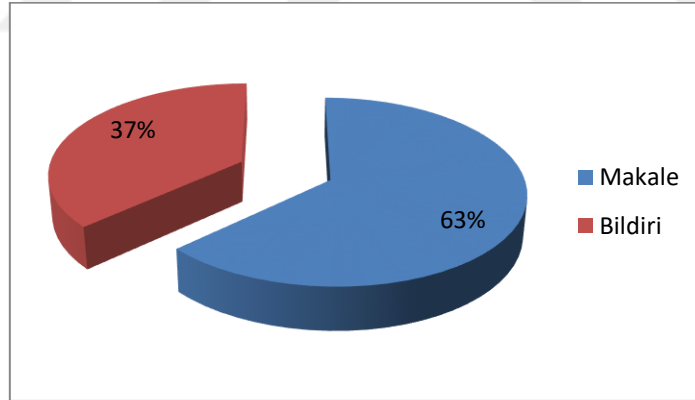
Çizelge 1.6 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler Kullanılarak ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
13	Apply degree of match & fuzzy rule based mode for FMECA in flight control system [329]	2012	Bu çalışmada, insansız araçtaki uçuş kontrol sistemi için bulanık Hata Türleri, Etkileri ve Kritiklik Analizi yöntemi önerilmiştir. Süreçteki bilgi eksikliği ve çeşitli belirsizlikler sebebiyle, geleneksel risk faktörleri Oluşum, Önem ve Tespit edilebilirlik; bulanık sayılar olarak kullanılmıştır.	B
14	Fuzzy rules-based approach to estimate the availability of transportation system [330]	2012	Bu çalışmada, vinç kontrol problemi ve otomatik malzeme taşıma cihazının kullanılabilirliği ele alınmıştır. İlgili salınımsız vinç kontrol problemi, bir vinç dinamik model parametrelerinin bulanık tahmincisi ile Dolaylı adaptif kutup yerleştirme sistemini kullanılarak çözülmüştür. Önerilen bulanık modelde, sistem kullanılabilirliği katsayısının sezgisel tahmininde ve arızalar arası çalışma sürelerinin tahmininde bir genetik bulanık sistem kullanılmıştır	M
15	Predictive fault diagnosis system for intelligent and robust health monitoring [331]	2012	Bu çalışmada, sağlık izleme uygulamalarında koşul tabanlı bakım sistemlerinin bir parçası olarak sistemler ve alt sistemler ile parçaların arıza tespiti, tanımlanması, arıza tespitinin gerçekleştirilmesi için bir yaklaşım önerilmiştir. Geliştirilen yaklaşımda, eğitim verileri ön işleme için bulanık mantık ve kural tabanlı bilgi kullanımıdır.	M
16	Evolutionary algorithm-based design of a fuzzy TBF predictive model and TSK fuzzy anti-sway crane control system [332]	2014	Bu çalışmada, bulanık mantık tabanlı veri güdümlü tahminleyici arızalar arası zaman modeli için evrimsel algoritma önerilmiştir. Kural tabanının eniyileme ve kural tabanlı sistemin etkinliğini ve doğruluğunu arttırmak için üçgen üyelik fonksiyonunu ayarlamak için aritmetik çapraz, düzgün ve düzgün olmayan mutasyon ve silme /ekleme mutasyonu birleştirilerek sezgisel arama stratejisi geliştirilmiştir. Evrimsel algoritmanın etkinliği aynı zamanda salınımsız vinç kontrol sisteminde bir Takagi-Sugeno-Kang bulanık denetleyici tasarımı ile doğrulanmıştır.	M
17	A review on expert system applications in power plants [333]	2014	Bu çalışmada, elektrik üretim tesislerinde çeşitli uzman sistem yaklaşımlarının sunulduğu bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uzman sistem teknolojisindeki teknolojik gelişmeler ve bulanık, sinir ağları, yapay görme ve veri toplama sistemleri gibi birçok modern teknik entegrasyonuna işaret edilmiştir.	M
18	Development of a Fuzzy Rule-based Decision-making System for Evaluating	2015	Bu çalışmada, uzmanların bilgi ve tecrübesine dayanarak çamurlukların arızalarını teşhis etme ve kullanım ömürlerinin değerlendirme yoluyla, kauçuk	M

Çizelge 1.6 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler Kullanılarak ile Hazırlanan Çalışmalar (Devamı)

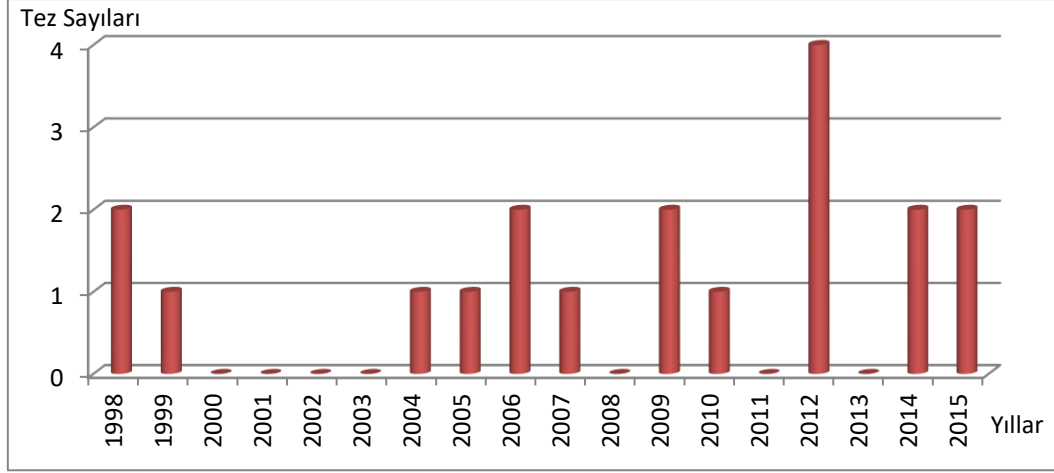
#	Yayın Adı	Yıl	Kapsam	Yayın Türü
	the Lifetime of a Rubber Fender [15]		çamurlukların bakım zamanını tahmin etmek için bir bulanık kural tabanlı karar verme sistemi geliştirilmiştir.	
19	Fuzzy information system for condition based maintenance of gearbox [16]	2015	Bu çalışmada, şanzıman arızalarının doğru teşhisinin bakım operatörleri için önemli ve kritik bir görev olduğu vurgulanmış, durum bazlı bakım kapsamında şanzıman arızalarına doğru ve zamanında tanı konulması amaçlanmıştır. Tanı koyulması, bulanık kural tabanlı çıkarsama sistemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.	M

Çizelge 1.6 incelendiğinde, bakım yönetimde bulanık kural tabanlı sistemlerin uygulamasının gerçekleştirildiği on dokuz adet çalışmaya rastlanmıştır. Şekil 1.13, bu çalışmaların makale-bildiri (M-B) düzeyinde ayrımını içermektedir. Çalışmaların %63 makale düzeyinde gerçekleştirilmişken, geri kalanlar bildiri düzeyine gerçekleştirilerek çeşitli sempozyum ve kongrelerde sunulmuştur.



Şekil 1. 13 Bakım yönetimde bulanık kural tabanlı sistemlerin kullanıldığı çalışmaların ayrımı

İlgili çalışmalar, basım yıllarına göre de değerlendirilmiştir. Şekil 1.14, bakım yönetimde bulanık kural tabanlı sistemleri benimseyen çalışmaların yıllara göre dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 1. 14 Bakım yönetiminde bulanık kural tabanlı sistemleri benimseyen çalışmaların yıllara göre dağılımı

İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımlarına bakıldığında, 2012 yılı yine en popüler dönem olarak karşımıza çıkmıştır. Yine son yıllarda artan sayıda çalışmalara rastlamak mümkündür.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tezde, bakım yönetimine temel oluşturmak üzere bir KDS geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen KDS'nin içeriğinde yer alan bulanık çıkarılma ve ağırlık belirleme yaklaşımı ile hata arıza tespit/teşhisine destek sağlaması hedeflenmektedir. Uygulama olarak da, Metrobüs ulaşım ağında yaşanan arızalara karşı alınacak önlemlerin saptanmasında bir uzman KDS oluşturulması planlanmıştır. Bu sistem arızaların maliyetini, etkisini ve diğer bazı özelliklerini göz önünde bulundurarak bakım veyahut yenileme kararı için bir altyapı oluşturacaktır. Önerilen KDS, ilginin arızanın gerçekleşmesi durumunda alınacak önlemler konusunda öneriler sunulmaktadır.

İlk olarak arızaların önceliklendirilmesi planlanmaktadır, bunun için bulanık ve stokastik çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılacaktır.

Ardından arıza öncelikleri de dikkate alınarak, bu girdi ile birlikte başka girdi değişkenleri (güvenilirlik, maliyet vb.) belirlenecek, bunlara ait üyelik fonksiyonları

çıkarsanacak, son olarak da kural tabanlı bir uzman sistem oluşturulup bir bakımı destekleyen bir sistem elde edilecektir.

Son olarak mevcut durumla önerilen durumun kıyaslaması yapılarak, önerilen durumun avantajları belirlenecektir. Modelin geçerlilik ve duyarlılık analizleri de ek olarak incelenmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Bu tezde hipotez olarak,

- Bakım yönetiminde arıza önceliklendirilmesi ile faktörlerin önem seviyelerinin etkin olup olmadığı;
- Bulanık kural/bulanık çıkarsama yaklaşımlarının hata analizinde daha etkin olup olmadığı;
- Bulanık mantık ve stokastik hibrid yaklaşımın daha büyük avantaj sağlayıp sağlamadığı tespit edilecektir.

## BÖLÜM 2

### BULANIK KÜMELER

Bu bölümde, bulanık küme teorisi hakkında detaylı bilgi sunularak bulanık mantık, üyelik fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları işlemlerinden bahsedilmiştir. Ardından üyelik fonksiyonu oluşturma yöntemlerine giriş yapılmış; bu amaçla, öncelikle, üyelik fonksiyonu hesaplamada kullanılan entropi kavramından ve türlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra üyelik fonksiyonu oluşturma yöntemleri detaylandırılmış ve sezgisel yolla üretilen üyelik fonksiyonları sunulmuştur.

#### 2.1 Bulanık Mantık

Bir net kümenin karakteristik fonksiyonu, küme elemanları ve kümeye ait olmayan elemanlar arasında ayırım yapmak için evrensel kümedeki her bireye 1 veya 0 değerini atar. Bu fonksiyon, evrensel kümenin elemanlarına atanan değerlerin belirtilen bir aralıkta olduğu ve söz konusu kümedeki üyelik elemanların üyelik derecesini gösterecek şekilde genelleştirilebilir. Daha büyük değerler daha yüksek seviyede üyelik derecesini gösterir. Böyle bir fonksiyona, üyelik fonksiyonu denir ve belirlenen küme de bulanık küme olarak adlandırılır [334].

Bulanık küme, değişen derecelerde üyelik derecesine sahip öğeler içeren bir kümedir. Bu fikir klasik ya da net kümelere zittir, çünkü net kümenin üyeleri, üyelikleri tam olmadıkça, bu kümede üye olamazlar. Bulanık kümedeki elemanlar, üyeliklerinin tam olması gerekmediği için, aynı evrende başka bulanık kümelerin de üyesi olabilir[335].

Bulanık kümelerle ilgili temel tanımları aşağıdaki gibidir [335]:

**Tanım 1:** [335]  $X$  boş olmayan söylem evreni olsun.  $X$ 'deki bir Bulanık  $\tilde{A}$  kümesi üyelik fonksiyonu  $A: X \rightarrow [0,1]$  ile tanımlanır.  $\forall x \in X$  için;  $x$ 'in üyelik derecesi,  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  olarak gösterilir.

Söylem evreninin  $X$ , ayrık ve sonlu olduğu zaman, bulanık küme  $\tilde{A}$  'nın gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.1)$$

Evren,  $X$ , sürekli ve sonsuz olduğunda, bulanık küme  $\tilde{A}$  aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \right\} \quad (2.2)$$

Her iki gösterimde de yatay bar bir bölüm değil, bir sınırlayıcıdır. Her terimdeki pay, paydada belirtilen evrenin elementi ile ilişkili  $\tilde{A}$  kümesindeki üyelik değeridir. İlk gösterimde, toplama sembolü cebirsel toplam için değil, her bir elemanın birleştirilmesini ifade eder; bu nedenle, ilk gösterimdeki “+” işaretleri cebirsel “ekleme” değil, bir birleştirme operatörüdür. İkinci gösterimde, integral işareti bir cebirsel integral değil, sürekli değişkenler için sürekli bir fonksiyon-teorik birleştirme operatörüdür.

**Tanım 2 :** [335] Normal bulanık küme, evrende üyelik derecesi 1'e eşit olan en az bir  $x$  elemanının bulunduğu kümedir. Bir ve tek bir elemanın bire eşit bir üyeye sahip olduğu bulanık kümelerde, eleman tipik olarak kümenin prototipi veya prototipsel elemanı olarak adlandırılır.

**Tanım 3:** [335] Bir bulanık küme  $\tilde{A}$  'nın yüksekliği, üyelik derecesinin en büyük olduğu noktadır.

$$hgt(\tilde{A}) = \max \{ \mu_{\tilde{A}}(x) \} \quad (2.3)$$

Eğer bir bulanık kümenin yüksekliği 1'den düşük ise, bulanık kümenin normal olmadığı söylenir.



**Tanım 4:** [335] Bir üyelik fonksiyonunun geçiş noktaları, belirli bir bulanık kümenin üyelik derecelerinin 0,5'e eşit değerlere sahip olduğu, yani  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0,5$  olan elemanlar olarak tanımlanır.

**Tanım 5:** [335] Bulanık bir  $\tilde{A}$  kümesi için  $\alpha$ -kesiti, ( $\alpha \in [0,1]$ ),  $A_\alpha$  aşağıdaki gibi tanımlanmış net kümelerdir:

$$A_\alpha = \{ x \mid A(x) \geq \alpha \} \quad (2.4)$$

**Tanım 6:** [335] Bir dışbükey bulanık set, üyelik değerleri tamamen monotonik olarak artmakta olan veya üyelik değerleri tamamen monotonik olarak azalan veya üyelik değerleri tamamen monotonik olarak artmakta olan ve daha sonra evrendeki elementler için artan değerler ile tekdüze biçimde azalan bir üyelik fonksiyonu olarak tarif edilmektedir. Bu konvekslik tanımının, matematikte aynı terimin bazı tanımlarından farklı olduğunu burada belirtmek önemlidir. Matematiğin bazı alanlarında, şeklin dışbükeyliği, şeklin herhangi bir bölümü boyunca düz bir çizginin bu şeklin sınırları dışına çıkıp çıkmadığı ile ilgilidir.

Gerçek dünyadaki karar vermede bir karar vericinin belirsizliği sayısal olarak temsil edilmelidir. Belirsizlik genellikle rasgele değişken olarak düşünülür. Bununla birlikte, insan bilişsel davranış, yarar ve öznellikten türetilmiş bir başka belirsizliği matematiksel olarak tanımlamakta önemlidir. Bu durumda, bulanık teori, belirsizlikle başa çıkmak için en faydalı teorilerden biridir [336]. Uzman bir sistem, bilgi tabanında saklanan bilgilere ilişkin sorulara yanıt veren bir bilgi sistemi olarak modellenebilir. Gerçek dünya uygulamalarında bilgi belirsizlik dolu olduğu için, uzman bir sistem yüksek performans elde etmek için belirsizliği yönetme kapasitesine sahip olmalıdır [337]. Belirsizlik ve gürültünün yönetilmesine ilişkin birçok teori ilerlemiştir. Bunlar, bulanık küme teorisi, olasılık teorisi, Dempster–Shafer Teorisi ve kesinlik faktörlerine dayalı yaklaşımlardır [337].

Son on yıl içinde bulanık sistemler, kontrol ve otomasyon, görüntü tanıma, tıbbi teşhis ve tahmin gibi birçok alanda önemli ölçüde kabul görmüştür [246].

## 2.2 Bulanık Mantığın Yararları

Bulanık mantık, insan akıl yürütme ve karar verme mekanizmasını matematiksel şekilde analiz etmeye yarayan bir tekniktir. Bulanık mantık, çeşitli endüstri branşlarında kontrol sistemleri, karar verme ve teşhis sistemlerini uygulamak için mühendislere anlaşılır ve sezgisel bir yol sunar [245]. Dolayısıyla, bulanık mantık, mühendislerin "eğer / o zaman" kurallarında temsil edilen ampirik bilgiden istifade edip bir işleve aktarmasına izin verir. Bulanık mantık algoritmalarının endüstriyel otomasyonda ileri uygulama örnekleri aşağıdaki gibidir [245]:

- Akıllı kontrol sistemleri: Bulanık kontrol çözümleri, özellikle standart kontrolün başarısız olduğu karmaşık sistemler için yararlıdır. Bulanık mantık, çok fazla karışık olan geleneksel analitik süreç modellerinde bir avantajdır. Bulanık mantık, geleneksel denetleyicilerle kolayca birleştirilebilir ve bulanık mantığın bir başka avantajı olan işlevselliğini geliştirir [245].
- Proses teşhisi, arıza tespiti: Analitik bir proses modeli erişilebilir değilse veya gerçek zamanlı olarak çalıştırılmayacak kadar bileşik ise, ampirik bilgi, proses koşullarını sınıflandırmak ve arızaları erken tespit etmek için kullanılabilir [245].
- Karar verme ve uzman sistemler: Bulanık kurallar deneyimli bir makine operatörünü gerçek zamanlı olarak analiz edebilir, örn. İmalat sürecindeki özel durumlara göre uygun içerikleri, bileşenleri veya makineleri seçebilir [245].

Bulanık mantıkla ilgili avantajlar aşağıdaki gibi listelenebilir [246]:

1. Bulanık mantık anlaşılması kavramsal olarak kolaydır. Bulanık mantığın ardındaki matematiksel kavramlar oldukça basittir. Bulanıklığı güzel yapan şey, yaklaşımının "doğallığı" ve geniş kapsamda karmaşık olmamasıdır.
2. Bulanık mantık esnektir. Sıfırdan başlamadan üstünde daha fazla işlevsellik katmak kolaydır.
3. Bulanık mantık, net olmayan verilere toleranslıdır. Yakından bakarsanız hiçbir şey kesin değildir, ancak bunun ötesinde, çoğu şey dikkatli incelemelerde dahi net

değildir. Bulanık muhakeme, bu anlayışı, son üzerine tutturmak yerine, sürece dönüştürür.

4. Bulanık mantık nedensiz karmaşıklığın doğrusal olmayan fonksiyonlarını modelleyebilir. Herhangi bir girdi çıktı veri kümesini eşleştirecek şekilde bulanık bir sistem oluşturulabilir. Bu işlem, özellikle ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) gibi uyarlanabilir tekniklerle kolaylaştırılmıştır.
5. Bulanık mantık, uzman deneyimi üzerine kurulabilir. Eğitim verilerini kullanan ve opak & erişilmez modeller üreten sinir ağlarının tersine, bulanık mantık sisteminizi zaten anlayan kişilerin omuzlarında durmanızı sağlar.
6. Bulanık mantık geleneksel kontrol teknikleri ile harmanlanabilir. Bulanık sistemler mutlaka geleneksel kontrol yöntemleriyle yer değiştirmek zorunda değildir. Çoğu durumda, bulanık sistemler geleneksel sistemleri genişletir ve uygulanmasını basitleştirir.
7. Bulanık mantık doğal dile dayanır. Bulanık mantık için insan iletişiminin esası için temel oluşturur. Bu gözlem, bulanık mantık hakkındaki diğer ifadelerin çoğuna dayanak oluşturmaktadır.

### **2.3 Bulanık Küme Teorisi**

Klasik kümede sınırlar, kesin bir şekilde çizilir, dolayısıyla bir elemanın küme üyeliği net bir sayı ile tanımlanır. Bir eleman, kümenin ya tamamen üyesi olmalı ya da tamamen olmamalıdır. Ancak, birçok küme ve önerme gerçekte tam olarak karakterize edilemez. Örneğin, uzun insanlar kümesi sınırları kesin belirlenemeyen bir kümedir. Klasik kümenin bu kısıtlamasından kurtulmak için, bulanık küme kavramı geliştirilmiştir [246].

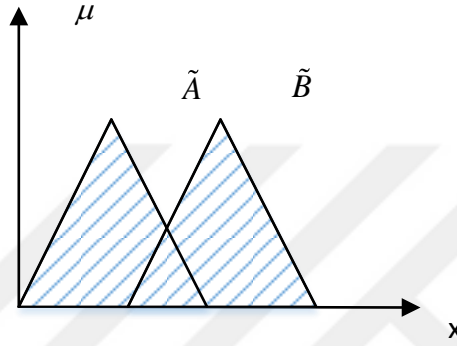
#### **2.3.1 Bulanık Kümelerde İşlemler**

X söylem evrenindeki  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{B}$  ve  $\tilde{C}$  bulanık kümelerini ele alalım. Evrendeki bir  $x$  elemanı için, teorik küme işlemleri birleşim, kesişim ve tümleme işlemleri  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{B}$  ve  $\tilde{C}$  için aşağıdaki gibi ifade edilir [244]–[246]:

### 6.3.1.1 Birleşim

İki bulanık küme  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$ 'nin birleşimi aşağıdaki gibi ifade edilir [244]–[246]:

$$\mu_{A \cup B}(x) := \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.5)$$

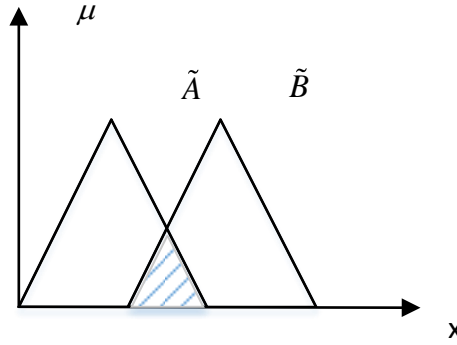


Şekil 2.15 İki bulanık kümenin birleşimi

### 2.3.1.2 Kesişim

İki bulanık küme  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$ 'nin kesişimi aşağıdaki gibidir [244]–[246]:

$$\mu_{A \cap B}(x) := \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.6)$$

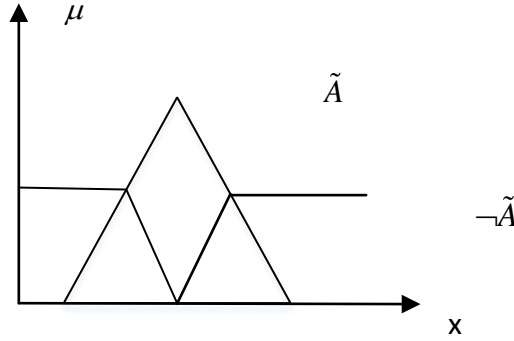


Şekil 2.16 İki bulanık kümenin kesişimi

### 2.3.1.3. Tümlleme

$\tilde{A}$  bulanık kümesinin tümleni aşağıdaki gibidir [244]–[246]:

$$\mu_{\sim\tilde{A}}(x) := 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (2.7)$$



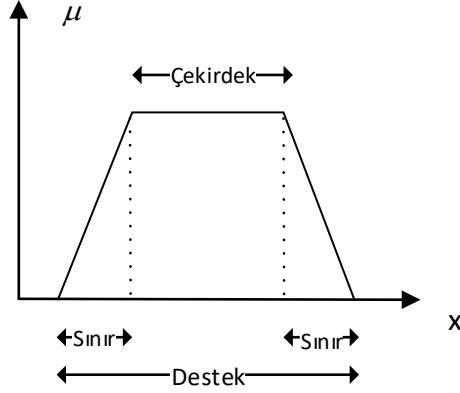
Şekil 2. 17 Bir bulanık kümenin tümleyeni

### 2.3.2 Üyelik Fonksiyonları

Bulanık teorinin en önemli matematiksel ögesi, verilen küme için bir üyelik fonksiyonu oluşturmaktır [336]. Bir bulanık kümedeki bulanıklık, kümenin üyelik fonksiyonları ile karakterize edilir. Üyelik fonksiyonu, kesikli ya da sürekli şekilde, kümedeki elemanı sınıflandırır. Üyelik fonksiyonu, fonksiyon ve grafiksel gösterim kullanarak oluşturulabilir. Grafik gösterimler farklı şekilleri içerebilir. Ancak kullanılan şekillere ilişkin bazı kısıtlamalar vardır. Üyelik fonksiyonunun "şekli", dikkate alınması gereken önemli bir kriterdir. Bir üyelik fonksiyonunu oluşturmak için üçgen, yamuk vb gibi farklı yöntemler vardır. Üyelik fonksiyonu üç temel özellik ile tanımlanır. Bunlar [244], [246]:

1. Çekirdek,
2. Destek,
3. Sınırdır.

Aşağıda gösterilen Şekil 2.18, yukarıda listelenen özellikleri tanımlar. Üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasında bir değer alabilir [244], [246].



Şekil 2. 18 Bulanık üyelik fonksiyonunun Sınırı, Desteği ve Çekirdeği [244], [246]

1. Çekirdek –  $\tilde{A}$  kümesinde evrenin bir bölgesi tam üyelik ile karakterize edilirse, yani 1 ise, bu  $\tilde{A}$  'daki bulanık üyelik fonksiyonunun çekirdeğini verir. Üyelik fonksiyonu 1'e eşit olan elemanlar, yani  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ , çekirdeğin elemanlarıdır [244], [246].
2. Destek - Evrenin belli bir bölgesi,  $\tilde{A}$  kümesindeki sıfır olmayan üyelikle karakterize edilirse, bu bulanık küme  $\tilde{A}$  için üyelik fonksiyonunun desteğini tanımlar. Destek, üyeliği 0'dan büyük, yani  $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ , elemanlardan oluşur [244], [246].
3. Sınır - Evrenin belli bir bölgesi sıfır olmayan bir üyeliğe sahipse ancak tam üyeliğe sahip değilse, bu bir üyelik sınırını tanımlar. Sınır, üyeliği 0 ile 1 arasında olan, yani  $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ , elemanlara sahiptir [244], [246].

Üyelik fonksiyonlarında tanımlanan standart bölgeler:

- i) Geçiş noktası - Üyelik fonksiyonunun geçiş noktası, tanım kümesi içindeki üyelik değeri 0,5'e eşit olan, yani  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0,5$ , elemanlardır.
- ii) Yükseklik - Bulanık küme  $\tilde{A}$  'nın yüksekliği, üyelik fonksiyonunun maksimum değeridir,  $\max(\mu_{\tilde{A}}(x))$ . Bulanık mantığın kural tabanlı uygulamalarında üyelik fonksiyonları,  $\mu_{\tilde{F}}(x)$ , kuralların öncülerinde veya ardılarında ya da ifadelerde bulunan terimlerle ilişkilendirilir [244], [246].

### 2.3.3. Başlıca Üyelik Fonksiyonları Şekilleri

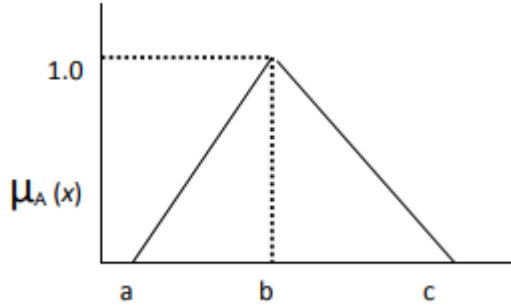
Üyelik fonksiyonları simetrik veya asimetrik olabilir. Bunlar genellikle tek boyutlu evrenler üzerinde tanımlanır, ancak çok boyutlu evrenler üzerinde de tarif edilebilirler[335]. Bulanık mantıktan yararlanarak yapılan çalışmalarda başlıca kullanılan üyelik fonksiyonu şekilleri aşağıdaki alt bölümlerde anlatılmıştır[334], [335], [338], [339].

#### 2.3.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu,  $\{a,b,c\}$  olmak üzere üç parametre ile özelleştirilmiştir. Söz konusu üyelik fonksiyonunun denklemi ise,

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1 & x = b \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.8)$$

Şekil 2.19, tipik bir üçgen üyelik fonksiyonunu göstermektedir:



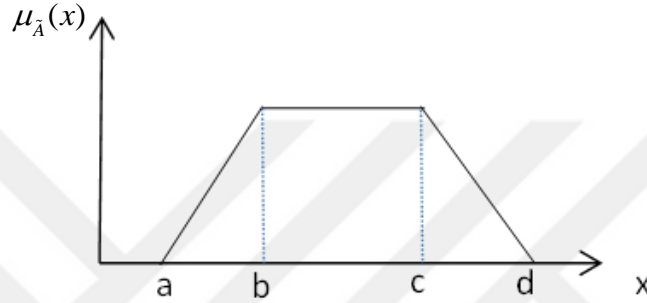
Şekil 2. 19 Üçgen Üyelik Fonksiyonu

#### 2.3.3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk bulanık sayıların üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ (x-a)/(b-a), & b \leq x \leq a \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (x-d)/(c-d), & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (2.9)$$

Şekil 2.20, X evrensel kümesindeki  $\tilde{A} = (a,b,c,d)$  yamuk üyelik fonksiyonunu göstermektedir:

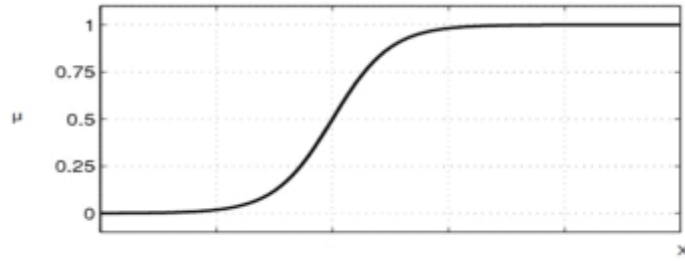


Şekil 2. 20 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

### 2.3.3.3 Sigmoid Fonksiyonu

Aşağıdaki denklemde  $f(x,a,c)$  ile verildiği gibi sigmoidal fonksiyon,  $x=c$  çaprazlama noktasındaki eğiminden sorumludur ve  $a$  ve  $c$  parametrelerine bağlıdır.

$$\text{sigmf}(x;a,b,c) = \frac{1}{1+e^{-a(x-c)}} \quad (2.10)$$



Şekil 2. 21 Sigmoid Üyelik Fonksiyonu

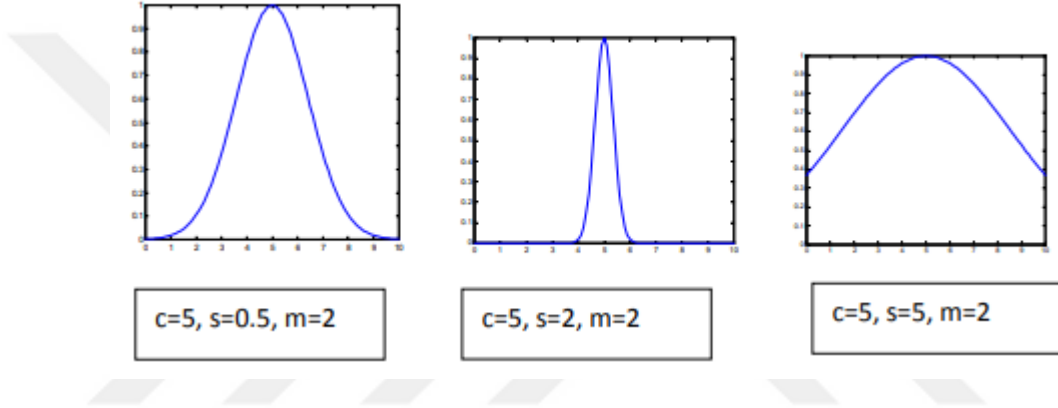


### 2.3.3.4. Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyeliği fonksiyonu genellikle Gaussian (x:c,s) olarak temsil edilir; burada c, ortalama ve s standart sapmadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x, c, s, m) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left|\frac{x-c}{s}\right|^m\right] \quad (2.11)$$

Burada c merkezi, s genişliği, m'de bulanıklaştırma faktörünü gösterir.

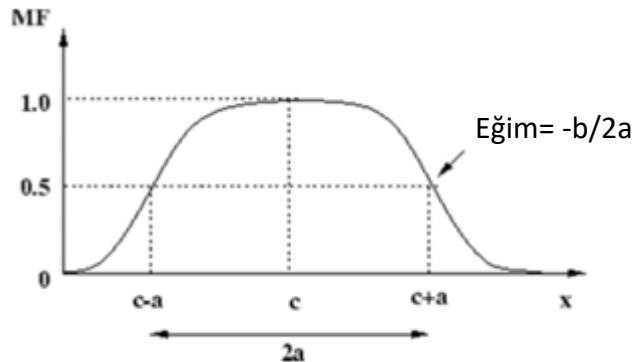


Şekil 2.22 Farklı Parametreler için Gauss Üyelik Fonksiyonları

### 2.3.3.5. Genelleştirilmiş Çan üyelik Fonksiyonu

Genelleştirilmiş çan üyeliği fonksiyonu üç parametreye sahiptir: a-genişlik, c-merkez ve b-eğimi gösterir.

$$gbellmf(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{b}\right|^{2b}} \quad (2.12)$$



## Şekil 2. 23 Genelleştirilmiş Çan Üyelik Fonksiyonu

### 2.3.4 Bulanık Kümelerin Durulaştırılması

Durulaştırma, bulanık kümeden temsilci bir değer olarak net bir değer çıkarma yoludur. Bir Z söylem evreninin bulanık küme  $\tilde{A}$  'yı durulaştırmak için aşağıdaki yöntemlere başvurulur [246], [335], [340], [341]:

- *En Büyük Üyelik İlkesi:* Bulanık kümedeki en yüksek üyelik derecesine sahip elemandır.

$$\mu(z^*) \geq \max\{\mu(z), z \in Z\} \quad (2.13)$$

- *Ağırlık Merkezi Yöntemi:* Olasılık dağılımlarının beklenen değerlerinin hesaplanmasını hatırlatan bu yöntemde, üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezi hesaplanır.

$$z^* = \frac{\int \mu(z)zdz}{\int \mu(z)dz} \quad (2.14)$$

- *Ağırlıklı Ortalama Yöntemi:* Bulanık kümedeki en yüksek üyelik derecesine sahip eleman ile bu elemanın üyelik derecesinin değeri çarpılarak uygulanan yöntemdir.

$$z^* = \frac{\sum_i \mu_i z_i}{\sum_i \mu_i} \quad (2.15)$$

- *Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi:* Üyelik fonksiyonunda en büyük değere sahip birden fazla eleman bulunduğu durumda, sıklıkla bu yöntem kullanılmaktadır. A ve b, üyelik fonksiyonları tepe noktası değerine ait iki eleman ise, net değer aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (2.16)$$

- *Toplamların Merkezi Yöntemi:* İki bulanık kümenin cebirsel toplamlarını ele alınarak uygulanan yöntemdir.

$$z^* = \frac{\int_z \bar{z} \sum_{k=1}^n \mu \tilde{C}_k(z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu \tilde{C}_k(z) dz} \quad (2.17)$$

- *En Büyük Alan Merkezi Yöntemi:* Çıktı bulanık kümesinde en az iki adet dışbükey alt bulanık küme mevcutsa, en büyük alana sahip bulanık kümenin ağırlık merkezi net değer olarak hesaplanır.

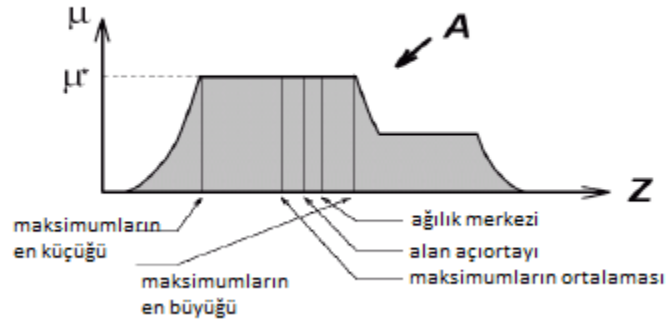
$$z^* = \frac{\int \mu \tilde{C}_m(z) z dz}{\int \mu \tilde{C}_m(z) dz} \quad (2.18)$$

- *En Büyük İlk ve Son Üyelik Derecesi Yöntemi:* En büyük üyelik derecesine sahip ilk ve ya son bulanık küme değeri, net değer olarak belirlenir.
- *Alan Açıortayı Yöntemi:* Açıortay yöntemi ile bölgeyi eşit alandaki iki alt bölgeye ayıracak olan dikey çizgi hesaplanır. Alanın açıortay  $z_{BOA}$ :

$$\int_{\alpha}^{z_{BOA}} \mu_{\tilde{A}}(z) dz = \int_{z_{BOA}}^{\beta} \mu_{\tilde{A}}(z) dz \quad (2.19)$$

$y = \mu_{\tilde{A}}(z)$ , alanı 2 eşit paçaya böler.

Bu tez kapsamında, Mamdani bulanık mantık denetleyicisi olarak, Mamdani'nin bulanık mantık denetleyicilerinde kullanılan durulaştırma stratejisi, maksimumların ortalamasıdır [246]. Arıza önceliklendirme çalışmasında ise durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2.24, bazı durulaştırma yöntemleri için hesaplanmış net değerleri gösterir.



Şekil 2. 24 Net bir çıktı elde etmede kullanılan çeşitli durulaştırma yöntemleri

### 2.3.5 Bulanık Kesişimin Genelleştirilmesi - T-Normu

$\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  gibi iki bulanık kümenin kesişimi genel olarak ,  $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  fonksiyonu ile belirtilir, bu da aşağıdaki gibi 2 üyelik derecesini birleştirir [246]:

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) := T(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) * \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.20)$$

Burada "\*", T fonksiyonu için ikili bir işlemdir. Genellikle T-norm (üçgen normlu) işlemler olarak anılan bu bulanık kesişim operatörleri sınıfı, aşağıdaki temel gereksinimleri karşılamaktadır[246].

Bir T-norm operatörü  $T(\cdot, \cdot)$ , aşağıdaki özellikleri sağlayan iki aşamalı bir fonksiyondur[246]:

$$1. \text{ Sınırlılık: } T(0,0) = 0, \quad T(a,1) = T(1,a) = a, \quad (2.21)$$

$$2. \text{ Monotonluk: } T(a,b) \leq T(c,d) \text{ eğer } a \leq c \text{ ve } b \leq d, \quad (2.22)$$

$$3. \text{ Değişim: } T(a,b) = T(b,a), \quad (2.23)$$

$$4. \text{ Birleşim: } T(a, T(b,c)) = T(T(a,b), c). \quad (2.24)$$

İlk şart, net kümelere doğru genellemeyi uygular. İkinci şart,  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$ 'nin üyelik değerlerindeki bir azalmanın  $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ 'nin üyelik derecesinde bir artma oluşturamayacağını gösterir. Üçüncü şart operatörün birleştirilen bulanık kümelerin sıralamasına duyarsız olduğudur. Son şart ise, herhangi bir sıradaki çiftli gruptaki herhangi bir sayıda kümenin kesişim noktasını almamızı sağlar. En sık kullanılan 4 t-norm operatörü aşağıdaki gibi ifade edilir [246]:

$$1. \text{ Minimum: } T_{\min}(a,b) = \min(a,b) = a \wedge b \quad (2.25)$$

$$2. \text{ Cebirsel Çarpım: } T_{ap}(a,b) = ab \quad (2.26)$$

$$3. \text{ Sınırlı çarpım: } T_{bp} = 0 \vee (a+b+1) \quad (2.27)$$

$$4. \text{ Kesin çarpım: } T_{dp}(a, b) = \begin{cases} a, & \text{eğer } b = 1, \\ b, & \text{eğer } a = 1, \\ 0, & \text{eğer } a, b < 1. \end{cases} \quad (2.28)$$

Matematiksel olarak aşağıdaki ifade kolayca doğrulanabilir [246]:

$$T_{dp}(a, b) < T_{bp}(a, b) < T_{ap}(a, b) < T_{\min}(a, b) \quad (2.29)$$

### 2.3.6 Bulanık Birleşimin Genelleştirilmesi - T-conorm (S-norm)

Bulanık kesişim gibi, bulanık birleşim operatörü de genel olarak bir fonksiyon  $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  ile belirtilir [246]:

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) := S(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \tilde{\mp} \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.30)$$

Burada " $\tilde{\mp}$ " S fonksiyonu için ikili operatördür. Bulanık birleşim operatörleri sınıfı, genellikle T-conorm (S-norm) olarak adlandırılır.

Bir T-conorm (S-norm) operatörü  $S(\cdot, \cdot)$ , aşağıdaki özellikleri sağlayan iki aşamalı bir fonksiyondur [246]:

$$1. \text{ Sınırlılık: } S(1,1) = 1, \quad S(a,0) = S(0,a) = a, \quad (2.31)$$

$$2. \text{ Monotonluk: } S(a \leq b) \leq S(c, d), \text{ eğer } a \leq c \text{ ve } b \leq d, \quad (2.32)$$

$$3. \text{ Değişim: } S(a, b) = S(b, a), \quad (2.33)$$

$$4. \text{ Birleşim: } S(a, S(b, c)) = S(S(a, b), c). \quad (2.34)$$

Bu temel şartların doğrulanması, T normu operatörleri için olan gereklere benzemektedir. Önceki örnekte dört T-norm operatörüne karşılık olarak, dört T-conorm operatörü mevcuttur [246]:

$$1. \text{ Maksimum: } S_{\max}(a, b) = \max(a, b) = a \vee b \quad (2.35)$$

$$2. \text{ Cebirsel toplam: } S_{as}(a, b) = a + b - ab \quad (2.36)$$

$$3. \text{ Sınırlı toplam: } S_{bs} = 1 \wedge (a + b) \quad (2.37)$$

$$4. \text{ Kesin toplam: } S_{ds} = \begin{cases} a, & \text{eğer } b = 0 \\ b, & \text{eğer } a = 0 \\ 1, & \text{eğer } a, b > 0 \end{cases} \quad (2.38)$$

Ayrıca aşağıdaki ifade de kolayca doğrulanabilir [246]:

$$\max(a, b) < S_{as}(a, b) < S_{bs}(a, b) < S_{ds}(a, b) \quad (2.39)$$

### 2.3.7 Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Bulanık teoriyi kullanarak bir karar verme probleminde insan bilişsel davranış, faydalılık ve özelliğin matematiksel formülleri ve tasarımlarında, en önemli adım, uygun üyelik fonksiyonunu belirlemek ve oluşturmaktır [342].

Bulanık kümelere dayanan problem formülasyonları, net kümelere dayanan muadillerine göre daha fazla ifade gücüne sahip olabilir, ancak bulanık teknolojinin uygulanabilirliği, çeşitli kavramları farklı bağlamlarda uygun bir şekilde temsil eden üyelik işlevleri oluşturma yeteneğine bağlıdır. Bulanık teknolojinin sağladığı faydalardan tam olarak yararlanmak için aşağıdaki istenen özelliklere sahip etkin bir üyelik fonksiyonu üretme mekanizmasına ihtiyaç vardır [343]:

1. Doğru. Verilerin varlığında, ortaya çıkan üyelik işlevleri verinin içerdiği bilgiyi mümkün olan en doğru şekilde yansıtmalıdır. Evrendeki noktalar için üyelik değerleri şeklinde olan veriler genellikle uzmanlardan elde edilir.
2. Esnek. Metodoloji geniş bir üyelik fonksiyon ailesi sağlamalıdır.
3. Kolaylıkla Hesaplanabilir: Yöntem pratik olarak kullanılabilmesi için hesaplanabilir bir şekilde çözülebilir olmalıdır.
4. Kolay kullanım: Bir üyelik fonksiyonu oluşturulduktan sonra, belirli bir  $x$  için üyelik derecesi  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 'i ya da verilen bir  $\alpha$  için,  $A_{\alpha}$  'yı bulmak kolay olmalıdır.

Bulanık küme teorisi, basitliği ve insan mantığına benzerliği nedeniyle uzman sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Çoğu bulanık sistem sayısal verileri dilsel değişken terimlerle eşleştirmek ve bulanık mantık yürütmek için üyelik fonksiyonlarını ve bulanık çıkarım

kurallarını bilgi tabanlarında saklar. Bilgi edinmek için yaygın olarak üç yaklaşım kullanılır [337]:

1. Uzmanları bilgi mühendisleri tarafından sorgulamak;
2. Bilgi edinme araçlarını kullanma;
3. Makine öğrenme tekniklerine başvurmak.

Üyelik derecesinin anlamı ve ölçümü, bir üyelik fonksiyonunun belirlenmesindeki başlıca zorluklardan biridir. Normalde, üyelik fonksiyonunun sınırları ve biçimi, kesinlikle bir gözlem için bir yoruma karşılık gelmelidir. Dolayısıyla, bulanık bir kümeyi temsil etmek için üyelik fonksiyonunu belirlemede objektif bir ölçüm, ilk seçimdir ve en uygun yoldur [344].

Bulanık kural tabanını kullanan bulanık sistemlerin uygun performansı için, veriden uygun üyelik fonksiyonlarını otomatik olarak üretme görevi temel alınır. Bulanık sistemlerin elde ettiği sonuçlar üzerindeki doğrudan etkisinden dolayı temel konu, hem şekillerin (Üçgen, trapezoidal, S-fonksiyonu, vb.) hem de alanların bölümlendirilmesi (Bulanık kümelerin sayısı ve tanım kümesindeki dağılımı) açısından, verilen bir tanım kümesinin dilsel değişkenlerini modelleyen bulanık kümelerin tanımıdır [345].

Üyelik fonksiyonu üretme problemi temel önem taşımaktadır çünkü bir algoritmanın başarısı kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlıdır. Çoğu uygulama için tek bir üyelik oluşturma metodu üretmek, imkansız olmasa da, zor olabilir. Bunun yerine, birkaç yöntemin birlikte kullanılması gerekebilir ve yöntemin seçimi, sorunun çeşidine ve mevcut veri türüne bağlı olabilir. Model belirsizliğine diğer yaklaşımlar (olasılık gibi) duruma bağlı olarak temel dağılımları tahmin etmek için çeşitli yöntemler de kullanılmaktadır [346].

Üyelik fonksiyonunun şeklini ve değerlerini doğru seçmek genellikle kolay bir iş değildir [347]. Belirli bir uygulama ve tanım kümesi için uygun üyelik fonksiyonlarını bulmada birçok yöntemin test edilmesi gerekebilir. Üyelik fonksiyonlarının tanımının ampirik olarak yapıldığı çalışmalar bulmak da sıklıkla görülür. Aslında, yamuk ve üçgen şekiller literatürde en çok kullanılanlardır, muhtemelen tanım kümelerinin çoğunda iyi sonuçlar verirler [348]. Bulanık kümelerin sayısının tanımı ve bölümler üzerindeki dağılımı ile ilgili olarak, literatürdeki çalışmaların çoğunda bulanık kümelerin düzgün dağılımı olduğunu sunular,

yani diğer bir deyişle, tüm bulanık kümeler, verilen bir niteliğin tanım kümesine eşit olarak yerleştirilir [345].

### **2.3.6 Üyelik Fonksiyonu Oluşturma Yöntemleri**

Üyelik fonksiyonlarını elde etme, bulanık küme teorisinin uygulanması ile ilgili temel meselelerden biridir. Üyelik fonksiyonlarının veriden hesaplanması, bulanık teorisinin birçok uygulamasında önemli bir adımdır. Uygun üyelik oluşturma tekniğini seçmek için kullanılacak genel geçer bir kural yoktur. Üyelik fonksiyonu üretilmesini zor bir görev haline getiren bir başka sorun, üyelik fonksiyonlarının tanımlanması ve yorumlanması konusunda fikir birliği bulunmamasıdır. Üyelik fonksiyonu için kullanılan modellerin yeterince esnek olması gerekir; böylece onları kullanan algoritma performansını optimize etmek için kolayca ayarlanabilir veya değiştirilebilirler [346].

Devam eden alt bölümlerde, üyelik fonksiyonlarının elde edilmesi yöntemlerinden bahsedilmiştir.

#### **2.3.7.1 Algıya Dayalı Üyelik Fonksiyonları Oluşturma**

Üyelik fonksiyonu uydurma yöntemlerinde ilk akla gelen, algıya dayalı üyelik fonksiyonları oluşturmaktır. Birçok karar verme uygulamasında, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları verilen probleme dahil veri ya da diğer objektif girdilere bağlı olmaksızın, belirsiz kategorilerin subjektif algılarına dayanır. Belirsiz kategorilerin sübjektif algılamalarına sayılar atama problemi, matematiksel bir psikoloji meselesi olup, ölçme ve ölçeklendirme teorisinin çeşitli tekniklerinin kullanılmasını gerektirir [346]. Ancak oluşturulan üyelik fonksiyonları karar vericilerin hissiyatı ile doğrudan ilişkili olduğundan, objektif bir yöntem değildir.

#### **2.3.7.2 Histogram Tabanlı Yöntemler**

Niteliklerin histogramları, girdi özellik değerlerinin dağılımı ile ilgili bilgi sağlar. Bir görüntünün ilgili bölgelerinden gelen n-boyutlu özellik vektörlerinin çok boyutlu bir histogramı her sınıf için oluşturulabilir. Bu şekilde üretilen histogram, Gauss gibi



parametreleştirilmiş fonksiyonların bir birleşimi ile modellenebilir. Parametrelili hale getirilmiş bu birleşim daha sonra belirli sınıf için üyelik fonksiyonu olarak kullanılabilir. Bu yöntem uygulanması kolaydır ve bir kez üretilen üyelikler, test aşamasında sınıflandırma için kullanılabilir [346].

### **2.3.7.3 Özel Parametreleri Kullanarak Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması**

Literatürde, bu amaçla yapılmış iki çalışma bulunmaktadır. İlkinde [349] her girdi örneği için, bir çift Gauss fonksiyon şekli ve örneğin değeri için maksimum üyelik derecesi ile bulanık bir terim yaratılmıştır. Böylece, mümkün olan en fazla sayıda bulanık küme, eğitim setindeki örnek sayısı olacaktır [345]. Diğer çalışmada ise [350] dilsel terimlerini tanımlamak için 2-öğelilik kavramını kullanılmıştır [345].

### **2.3.7.4 Sezgisel Yöntemler**

Uygun üyelik fonksiyonunun şekli ve değerlerini istatistiksel olarak seçmek genellikle kolay bir iş değildir, daha önceki araştırmalarda, matematiksel ve istatistiksel olarak garanti edilmeyen sezgisel yöntemler kullanılmıştır[342].

Sezgisel yöntemler üyelik fonksiyonları için önceden tanımlanmış şekilleri kullanır ve kural tabanlı örüntü tanıma uygulamalarında başarıyla kullanılmıştır. Bilgisayar görüntüsünde, sezgisel üyelik fonksiyonları belirli uzaysal ilişkileri ve bazı özellikleri tanımlamak için kullanılabilir [346].

### **2.3.7.5 Sinir ağı tabanlı yöntemler**

İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağları, etiketli eğitim verilerinden üyelik fonksiyonları üretmek için kullanılabilir. Bir nöronun sigmoid aktivasyon fonksiyonunun çıktı değerleri, bulanık kümelerin üyelik değerlerine oldukça benzerdir. Sinir ağındaki giriş düğümlerinin sayısı, özellik sayısına eşit olacak şekilde ve çıkış düğümlerinin sayısı sınıf etiketlerinin sayısına eşit olacak şekilde seçilir. Bir girdi özellik vektörünün istenen çıktı değeri, özellik vektörü ile ilişkili etiketi temsil eden düğüm için 1'dir ve diğer tüm çıkış düğümleri için 0'dir. Sınıf üyelik değerlerini üretmek için, çok katmanlı bir ağ, geri yayılım algoritması gibi

uygun bir eğitim algoritması kullanılarak eğitilir. Eğitim prosedürü yakınsadıktan sonra ortaya çıkan ağ üyelik oluşturma ağı olarak kabul edilebilir, burada girdiler özellik değerleridir ve çıktılar farklı sınıflardaki üyelik değerleridir. Bu yöntem, ağ genel olarak son derece doğrusal olmadığından oldukça karmaşık üyelik fonksiyonları üretilmesini sağlar. Üyelik fonksiyonları, üyelik değerleri bir sınıfın özelliğine göre tipikliğinin derecesini göstermeye gerek duymamasına rağmen, sınıflandırma açısından üretildiğinden örüntü tanıma uygulamaları için oldukça uygundur. Bu yöntemin bir dezavantajı, eğitim verilerinin bulunmadığı bölgelerde üyelik fonksiyonunun şeklinin önceden tahmin edilememesidir. Bu problem, tüm hedefleri sıfır olan yapay verileri (istenen çıktı değerleri) ile aşılabilir. Eğitim verilerinin olmadığı bölgeler genellikle ideal üyeliklerden uzak olduğu için, bu yapay noktalara sıfır hedefleri atamak mantıklıdır [346].

Yapay sinir ağları, iyi sonuçlar vermesine rağmen parametrelerin ayarlanması sorununa da sahiptir ve yorumlanamaz [345].

#### **2.3.7.6 Bulanık en yakın komşuluk teknikleri**

Bulanık kümeler teorisi Keller vd. [351] tarafından en yakın komşu tanım kümesine tanımlanmıştır. Bulanık K-NN algoritması, sınıf üyeliklerini, vektörü belirli bir sınıfa atamaktan ziyade bir örnek vektöre atar. Bu, rasgele atamaların yapılmamasını sağlar. Örnek vektörüne atanan üyelikler, numunenin K-NN'den uzaklığına ve muhtemel sınıflardaki K-NN üyeliklerine bağlıdır [346].

#### **2.3.7.7 Kümeleme algoritmalarına dayanan yöntemler**

Kümeleme yöntemleri de üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında sıklıkla başvurulan yöntemlerden biridir. Bu yöntemler bulanık c-means algoritması, gürbüz aglomeratif gauss karışım dekompozisyonu gibi yöntemlerden oluşur [346]. Bazen bir görüntüyü tanımlayan istatistiksel veriler C-means algoritması ile kümelenebilir [347].

Kümeleme yöntemleri, her eğitim örneğiyle ilişkili etiketi bilmesine gerek duyulmadığı için eğitimsizdir. Üyelik verilerimizi eğitim verilerindeki doğal gruplara uydurmamıza izin vererek, kümeleme yöntemleri üyelik fonksiyonlarının boyutu ve şekli konusunda bize çok

fazla esneklik sağlayabilir. Bulanık C-means algoritması en popüler bulanık kümeleme algoritmalarından biridir [352].

Bulanık C-means algoritmasında kullanılan kısıtlamanın dayattığı bazı sınırlamaların üstesinden gelmek üzere son zamanlarda olabirlikli kümeleme başlatılmıştır. Özellikle, olabirlikli kümeleme, bulanık küme kuramı ve kümeleşmeyi pratikte kullanırken ortaya çıkan iki önemli sorunu çözmek için başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir [352]:

- I) Üyelik işlevlerinin belirlenmesi ve
- II) Kümelerin sayısının belirlenmesi.

### **2.3.7.8 Genetik algoritmalara dayanan yöntemler**

Genetik algoritmalar bulanık kümelerin parametrelerini ayarlamak için kullanılabilir [345]. Kümeleme yöntemlerine benzer şekilde, GA'ya dayanan yöntemlerin dezavantajı bulanık kümelerin sayısının bildirilmesi gerekliliğidir [345].

GA'ya dayanan yöntemler hesaplama açısından uğraştırıcı olma eğilimindedir. Bu yöntemlerin bir diğer eksik yanı, iyi bir çözüme yaklaşmak genellikle uzun zaman alır ve kromozomların uygun bir kodlamaya bağımlı olmasıdır. Ayrıca bulanık kümelerin sayısı en baştan bilinmelidir [345].

### **2.3.7.9 Özel ölçümlerin kullanımına dayanan yöntemler**

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde bu başlık altında literatürde entropi [353] ve Kappa ölçütü [354] gibi yaklaşımlar kullanılmıştır.

### **2.3.7.10 Olasılık dağılımlarının olabirlik dağılımlarına dönüşümü**

Belirsizlik ölçümü için birçok yaklaşım daha önce, olabirlik veya olasılık teorilerine atıfta bulunarak geliştirilmiştir. Olabirlik teorisi, Dubois [355] tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Ayrıca üyelik fonksiyonlarının oluşturulması için bulanık kümeleme yönteminde de olabirlik yaklaşımından yararlanılmıştır [352].

### **2.3.7.11 Matematiksel Programlama Yolu ile Üyelik Fonksiyonu Oluşturma**

Bulanık kümeler için üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında birçok yaklaşım geliştirilmiştir. İkel yaklaşımlarda üyelik fonksiyonunun şekli ve değerlerini istatistiksel ve uygun olarak seçmek zordur, dolayısıyla genellikle sezgisel ve öznel yöntemler kullanılmıştır. Bununla birlikte, bir karar vericinin üyelik fonksiyonlarını matematiksel programlama problemindeki sezgisel yöntemlere dayanarak kullanması durumunda, en uygun çözüm kendi öznelliğini de içerir. Dolayısıyla, başkaları bu kararı objektiflik eksikliği nedeniyle her zaman kabul etmeyebilir [336], [356]–[359].

Bu anlamda [336], [356]–[359], çalışmalarında belirli bir olasılık yoğunluk fonksiyonunu ve bulanık Shannon entropisini entegre etmek için, istatistiksel teoriyi insan bilişsel davranışına ve öznelliğe dayanan sezgisel yöntem haline getirerek uygun bir üyelik fonksiyonunun oluşturulmasına yeni bir yaklaşımı geliştirmiştir. Bu alanda yapılmış önceki çalışmaların dezavantajlarını gidermek ve avantajlarını uygulamak için, bulanık entropinin maksimizasyonu ve subjektif aralık tahminini kullanarak uygun üyelik fonksiyonlarının oluşturulması için bir yapı önerilmiştir.

Bulanık entropi yaklaşımlarının avantajı, karar vericinin üyelik fonksiyonunu istatistiklere ve matematiksel programlamaya dayalı olarak oluşturabilmesidir. Bununla birlikte, hemen hemen tüm parametreler bu yaklaşımlarla otomatik olarak belirlenir ve bu nedenle insan bilişsel davranışları ve öznelliği sonuçta ortaya çıkan üyelik işlevinde yeterince yansıtılamaz [336], [356]–[359].

### **2.3.7.12 Diğer yaklaşımlar**

Literatürde çeşitli teknikler ile bulanık kümelerin otomatik tanımlanması için birkaç farklı yaklaşım daha bulunmaktadır [360]–[363]. Literatürde farklı yaklaşımları kullanan çeşitli yöntemler mevcut olmasına rağmen, herhangi bir uygulama ya da tanım kümesi için, için en iyisini seçme konusunda basit bir kural, yönerge ya da fikir birliği bulunmamaktadır. Aslında, bulanık üyelik işlevlerinin oluşturulması için yöntemin tanımı, kullanım ve uygulamadaki tanım kümesiyle yakından ilgilidir. Araştırmacıların belirli bir teknik için kişisel tercihleri de bu seçim üzerinde önemli bir rol oynayabilir [345]. Ve uygun üyelik

fonksiyonunu bulmak için birçok yöntemin test edilmesi gerekebilir. Bu sebeple, üyelik işlevlerinin ampirik tanımı hala en uygun ve uygulanabilir çözüm olabilir [345].



## BÖLÜM 3

### BİLGİ TEORİSİ

Bu bölümde, bulanık kural tabanlı sistemde yer alan girdi ve çıktılar için üyelik fonksiyonlarını oluşturmada başvurulan matematiksel modelleme yaklaşımında kullandığımız entropi kavramı tanıtılmıştır. Bu amaçla, literatürde yer alan ve bulanık mantık içeren yaklaşımlarda da kullanabileceğimiz entropi türleri, alt bölümler halinde sunulmuştur.

Shannon tarafından önerilen bilgi teorisi, başlangıçta iletişim sistemleri ile ele alınsa da, aynı zamanda kümeleme, bulanık mantık sistemleri, karar verme gibi diğer alanlara da uygulanmıştır [364]. Bilgi teorisi, bilginin nicelleştirilmesi ile ilgilidir. Bilgi miktarı bir olayda iletilen bilgi toplam miktarı olarak tanımlanır ve olayın olasılığına bağlıdır. Bilgi miktarının tanımı, bir  $A$  olayının olasılığı  $P(A)$ 'nın logaritmasıdır ve eşitlik 1'de verildiği gibi  $\log P(A) < 0$  olduğunda  $A$ 'nın Shannon entropisini  $I(A)$ 'yı pozitif yapmak için başına eksi değeri getirilmiştir [364].

$$I(A) = -\log P(A) \quad (3.1)$$

Tüm olaylardaki ortalama bilgi, entropi olarak adlandırılır. Klasik bilgi entropisini belirtirse genelde Shannon entropisi olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi gösterilir [364]:

$$H(X) = -\sum_{k=1}^n P_k \log P_k \quad (3.2)$$

Burada  $X$  bir rasgele değişken kümesidir ve  $P_k$ ,  $x$ 'deki değişkenler için tüm olasılıkların kümesidir;  $P_k = P [x = x_k]$  ve  $k = 1,2, ..n$ .

### 3.1 Bulanık Entropi

Bulanık kümeden veya bulanık sistemden elde edilen bulanık bilgilerin miktarının ölçüsü bulanık entropi olarak adlandırılmıştır [364]. Burada bulanık entropinin anlamının klasik Shannon entropisinden oldukça farklı olduğunu vurgulamak gerekir çünkü tanımlamak için hiçbir olasılık kavramına ihtiyaç duyulmaz. Bunun nedeni, bulanık entropinin muğlak belirsizlikleri içerdiği, Shannon entropisinin rasgelelik belirsizliğini (olasılıksallık) içerdiği gerçeğidir. De Luca ve Termini [365] tarafından önerilen bulanık entropi, denklem (3.3) 'de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonu kavramı,  $n$  adet üyelik fonksiyonları temel alınarak tanımlanır ( $\mu_i$ ) [364].

$$H_A = -K \sum_{i=1}^n \{ \mu_i \log(\mu_i) + (1 - \mu_i) \log(1 - \mu_i) \} \quad (3.3)$$

Bu bulanık entropinin dört özelliği şöyledir:

P-1: Eğer  $A$  net küme ise ( $\mu_i = 0$  ya da  $1, \forall x_i \in A$ ),  $H_A = 0$

P-2: Eğer  $\mu_i = 0,5 \quad \forall x_i \in A$  ise,  $H_A$  maksimumdur.

P-3:  $H \geq H^*$ ,  $H^*$   $A$ 'nın net versiyonu  $A'$  'nün entropisi.

P-4:  $H = \bar{H}, \bar{H}$   $A$  kümesinin tümleyeninin entropisi.

### 3.2 Bulanık Olayların Olasılık Entropisi

Bulanık olayların olasılık entropisi aşağıdaki şekilde ifade edilir [364]:

$$H = - \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) p_i \log(p_i) \quad (3.4)$$

Burada  $\mu_A$ ,  $A$ 'nın üyelik fonksiyonudur ve  $p_i$ ,  $x_i$ 'nin oluşma ihtimalidir. Bu durumun üç belirsizlik çeşidini içerdiğini görebiliriz: rassallık, net olmama ve belirsizlik; yani rassallık ve bulanıktır.

### 3.3 Shannon Bulanık Entropi

$X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  kesikli sonlu kümesini ve tüm  $x_i \in X$   $i=1,2,\dots,n$  için  $F_p$ ,  $p \in [0,1]$  sabit bulanık kümelerini gösteren  $F_p(x_i) = p$ 'yi ele alalım.  $f \in [0,1]^X$  bulanık kümesinin gücü aşağıdaki büyüklükle tanımlanır [364]:

$$P(f) = \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad (3.5)$$

### 3.4 Olasılıksal Olmayan Entropi

De Luca ve Termini [365], Shannon entropisini bulanıklığın ölçümüne kadar genişleten ilk kişiler arasında düşünülür ve onu bir bilgi yorumlaması olarak tanıtmışlardır. De Luca ve Termini [365], Eşitlik (3.6)'daki  $H(f)$  fonksiyonunu  $M(I)$  'de bir entropi olarak tanımlamışlardır, burada  $I$  bulanık kümedir ve  $M(I)$  'da  $I$  'dan  $L$  örgüsüne tüm eşleştirmelerin sınıfıdır. Her ne kadar kavramsal olarak farklı olsa da,  $H(f)$  fonksiyonunun Shannon entropisi ile belirli benzerlikleri vardır. Aralığı, negatif olmayan gerçek sayıların kümesidir ve (3.6) numaralı denklemde tanımlandığı gibidir; burada,  $n$ ,  $I$  'in elemanlarının sayısıdır ve  $K$ , pozitif bir sabittir ( $H(f)$  'nin normalleştirilmiş versiyonunu elde etmek genellikle  $1/n$ 'ye eşittir) [364].

$$H(f) = -K \sum_{i=1}^n f(x_i) \ln(f(x_i)) \quad (3.6)$$

$H(f)$ 'in tanımından maksimumuna,  $I$  'nın tüm  $x$ 'leri için  $f(x) = 1/n$  'de erişir, yani  $f(x) \neq 0,5$  'tir, bu nedenle ikinci özellik tam olarak sağlanamamıştır. De Luca ve Termini Termini [365],  $H(f)$  'nin uygun bulanıklık ölçüsü olmadığını fark etmişlerdir. Bulanık kümenin entropisi olarak adlandırdıkları yeni bir işlevsel entropi,  $d(f)$  geliştirmişlerdir [364]:

$$d(f) = H(f) + H(\bar{f}) \quad (3.7)$$

Burada  $\bar{f}$ ,  $1-f(x)$  ile gösterilen bulanık kümenin tümleyenidir. Eşitlik (3.7)'den  $d(f) = d(\bar{f})$  ve  $d(f)$  Shannon fonksiyonu  $S(x) = -\ln x - (1-x) \ln(1-x)$  'a göre aşağıdaki gibi yazılabilir:



$$d(f) = -K \sum_{i=1}^n S(f(x_i)) \quad (3.8)$$

Bulanık entropi H aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$H = -K \sum_{i=1}^n (\mu_i \log(\mu_i) + (1 - \mu_i) \log(1 - \mu_i)) \quad (3.9)$$

Burada  $\mu_i$  üyelik fonksiyonu, K ise sabittir (=1/n).

### 3.5 Bulanık Kümelerin Toplam Bilgi Ölçümü

Olasılıksal (Shannon) ve olabilirlik (bulanık) entropileri birleştirmek için çeşitli girişimler yapılmıştır. De Luca ve Termini Termini [365] bu entropiyi aşağıdaki gibi tanıtmıştır [364]:

Bir deneyde  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  rassal olaylar olan bir  $I$  kümesi için, her denemede ilgili olasılıklarla  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  yalnızca ve yalnızca bir olay meydana gelebilir.  $I$  kümesinin bulanıklaştırılması iki tür belirsizlik uyandırır [364]:

- Deneyin "rassal" doğasından kaynaklanan belirsizlik. Bu belirsizlik ortalama Shannon entropisi ile hesaplanır.

$$H\{p_1, p_2, \dots, p_n\} = -\sum_{i=1}^n p_i \log(p_i), \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10)'da  $H$ , aynı zamanda hangi olayın gerçekleştiğini bilerek alınan ortalama bilgiyi sağlar [364].

- Bulanık kümenin klasik kümeye göre bulanıklığından kaynaklanan belirsizlik. Bu belirsizlik miktarı  $X_i$ 'nin yorumlanmasını içerir (eleman hakkında bir karar alma) ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$S(\mu_i) = \mu_i \log(\mu_i) - (1 - \mu_i) \log(1 - \mu_i) \quad (3.11)$$

Tüm küme için belirsizliğin istatistiksel ortalaması  $m$ , denklem (3.12) 'da verilmişken, toplam entropi denklem (3.13)' da olduğu gibi düşünülebilir [364].

$$m(\mu, p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{i=1}^n p_i S(\mu_i) \quad (3.12)$$

$$H_{total} = H(p_1, p_2, \dots, p_n) + m(\mu, p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (3.13)$$

$H_{total}$ ,  $I$ . rastgele bir deneyle ilgili toplam ortalama belirsizlik olarak yorumlanabilir. İlk belirsizlik, deneyin sonucu olarak ortaya çıkacak olan  $I$ 'nin elemanı hakkında bir tahminde bulunmaktan kaynaklanmaktadır. İkinci belirsizlik, elemana atanacak değerin  $1$  veya  $0$  olup olmadığı kararını almaktır. Bulanıklık ortadan kaldırılırsa (yani,  $m = 0$ ) toplam entropi,  $H_{total}$ , Shannon entropisine  $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$  indirgenir. Öte yandan, rasgelelik ortadan kaldırılırsa,  $H_{total} = S(\mu_i)$  olur. Bu, rastgele bir deneyin olmadığı ve sadece sabit bir öğenin  $x_i$  olacağı anlamına gelir [364].

Bir bulanık kümenin diğer bir toplam entropisi Xie ve Bedrosian [366] tarafından tanımlanmıştır. Olasılıkları  $p_0$  ve  $p_1$  olan  $0$  ve  $1$  elemanlarını içeren bir kümeyi ele almışlardır.  $A'$ , bulanık küme  $A$  ile ilgili klasik (keskin) bir kümedir. Bazı sebeplerden dolayı,  $A'$  keskinliğindeki değişikliğe bağlı olarak  $A'$  kümesinden yeni bir bulanık küme çıkarsandığını varsayalım. Bir elemanın üyelik değerleri,  $0$ 'dan  $[0,0.5]$  aralığında keyfi bir değere ve  $1$ 'den  $[0.5,1]$  aralığında keyfi bir değere değiştirilir. Bu şekilde sıradan  $A'$  kümesi bir bulanık set  $A$  olarak değiştirilmiştir. Bulanık küme  $A$ , iki tür belirsizlik içerir: sıradan bir kümedeki rassal belirsizlik ve bulanıklık belirsizliği. Xie ve Bedrosian, denklem (10) 'da açıklanan, De Luca ve Termini'nin [365] bulanık toplam entropisinin bazı dezavantajlarına işaret ettiler. Bu sebeple toplam belirsizlikten başka bir entropi ortaya koymuşlardır [364]:

$$H_{tot} = H(p_0, p_1) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(\mu_i) \quad (3.14)$$

Eşitlik (7.13) 'teki entropi, bulanık entropinin dört özelliğini karşılar (P1-P4). Bununla birlikte, aşağıdaki dezavantaja sahiptir: Bulanık bilgiler ile Shannon bilgi ölçümleri arasında bir denklik oluşturulmuştur, çünkü her ikisi de aynı matematiksel formdadır. Eğer  $p_i = \mu_i$  ise, ne elemanlı bulanık kümenin ürettiği bulanık bilginin ortalama miktarı, aynı sayıda bağımsız ikili Shannon bilgi kaynağı tarafından üretilen Shannon'un ortalama miktarına "eşdeğerdir". Bu eşdeğerlik için fiziksel bir anlam yoktur, ancak her iki ölçüm de aynı sayısal değeri verir, çünkü hem bulanık hem de Shannon entropileri kavramsal olarak

farklıdır. Toplam entropinin bir diğer istenmeyen özelliği, durulaştırma işlemi ne olursa olsun, bulanıklık giderilirse her zaman  $H(p_0, p_1)$ 'e indirgemesidir [364].

### 3.6 Hibrit Entropi

Pal ve Pal [367] tarafından tanıtılan bu entropinin arkasındaki temel fikir, bulanık kümenin sıradan klasik kümenin bir genellemesi olması nedeniyle, bulanık küme entropisinin klasik entropinin geliştirilmiş bir versiyonu olabileceğidir. Bir başka deyişle, klasik entropi, bulanıklık ortadan kaldırıldığında özel bir durum haline gelir [364].

Gürültülü bir kanal üzerinden dijital iletişim için (aynı örnek, toplam entropi için Xie ve Bedrosian tarafından kullanılır),  $p_0$  ve  $p_1$ , 0 ve 1 sembollerin oluşma olasılıkları olsun.  $P_i$ , bulanık kümenin "1'e yakın sembol" üyelik fonksiyonunu gösterebilir. Alınan bir sembolün 0,  $E_0$  ve 1,  $E_1$  olarak yorumlanmasının ortalama ihtimali sırasıyla 3.15 ve 3.16'te ifade edilir [364].

$$E_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu_i) \exp(\mu_i) \quad (3.15)$$

$$E_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i \exp(1 - \mu_i) \quad (3.16)$$

Hem  $E_0$  hem de  $E_1$ ,  $\mu_i \in [0,1]$ 'in monoton olarak artan fonksiyonlarıdır.  $p_0$  ve  $p_1$ , sırasıyla 0 ve 1 ortaya çıkma olasılıkları olduğundan, bulanık kümenin  $\tilde{A}$ 'nın hibrid entropisi, denklem (3.17) 'da tanımlanmaktadır[364].

$$H_{hy} = -p_0 \log(1 - E_0) - p_1 \log(E_1) \quad (3.17)$$

Hibrit entropi, belirli bir bulanık kümenin uygun şekilde durulaştırılması için objektif bir ölçüm olarak kullanılabilir. Bulanıklığın olmaması durumunda olasılık entropilerini hesaba katar [364].

### 3.7 Yüksek Mertebeden Entropi

Yine Pal ve Pal [367]aşağıdaki yaklaşımda yüksek dereceli bir entropi geliştirmişlerdir.  $P$  sonlu sayıda  $n$  destekle belirlenmiş bir bulanık özellik olsun [364]:

$$P = \left\{ \frac{\mu_i}{x_i}, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (3.18)$$

Burada  $\mu_i, x_i$ 'nin  $P$  özelliğine ne derece sahip olduğunu belirtir.  $R$  elemanın kombinasyonu,  $n$  dışındaki elemanlardan oluşur.  $S_i^r$  böyle  $i$ 'inci kombinasyonu gösterebilir ve  $\mu(S_i^r)$  de  $S_i^r$  kombinasyonuna derecesini gösterebilir, yani bütün olarak,  $P$  özelliğine sahipliğini.  $t = \binom{n}{r}$

adet böyle kombinasyon mevcuttur. Bulanık küme  $\tilde{A}$ 'nın  $r$  sırasının entropisi şöyle tanımlanır [364]:

$$H^r = (-1/t) \sum_{i=1}^n \{ \mu(S_i^r) \log(\mu(S_i^r)) + \{1 - \mu(S_i^r)\} \log\{1 - \mu(S_i^r)\} \} \quad (3.19)$$

### 3.8 Yager Entropisi

Bir bulanık kümesi ile onun tümleyeni arasındaki kesişim, boş kümeden farklı olduğu için, Yager bulanık entropi kartını ( $C$ ),  $A$  kümesi için uygun bir bulanıklık ölçütü olarak aşağıdaki gibi tanıtmıştır [364].

$$\begin{aligned} \mu_c(x) &= \min\{\mu_A(x), 1 - \mu_A(x)\} \\ &= \frac{1}{2} \{ \mu_A(x) + (1 - \mu_A(x)) - |\mu_A(x) - (1 - \mu_A(x))| \} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$X$  sonlu evreni için;

$$H_A = \frac{1 - \sum_{x \in \chi} (|\mu_A(x) - (1 - \mu_A(x))|)}{\text{card } \chi} \quad (3.21)$$

### 3.9 Kaufmann Entropisi

Kaufmann [368] bulanık kümenin bulanıklığını ölçmek için aşağıdaki gibi bir entropi ortaya koymuştur:

$$H_K(A) = -\frac{1}{\ln(n)} \sum \pi_A(x_i) \int \sum \mu_A(x_i) \quad (3.22)$$

Burada;

$$\pi_A(x_i) = \frac{\mu_A(x_i)}{\sum \mu_A(x_i)} \quad (3.23)$$

Bu tez kapsamında, üyelik fonksiyonlarının hesaplanması için benimsenen matematiksel modelleme yaklaşımında, entropi kavramından yararlanılmıştır. Başvurulan matematiksel modelleme modelinde, üyelik fonksiyonundan elde edilebilecek toplam bilgi enbüyüklenerek ilgili üyelik fonksiyonlarına ait referans noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, bulanık entropi (Shannon Entropisi) kullanılmıştır.



### BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMLER

Bu bölümde tezin uygulamadaki ana yöntemi olan bulanık kural tabanlı sisteme ve MATLAB programında uygulamasına yer verilmiştir.

#### 4.1 Kural Tabanlı Sistemler

Kural tabanlı sistemler, birçok karar problemini çözmeye kullanılabilecek oldukça etkin ve basit modellerdir. Bilgi statik bir şekilde, görece açıklayıcı yolla sunulmaktansa, bu yolla bir kurallar bütünü olarak gösterilebilir. Bir kural tabanlı sistem, EĞER-İSE kuralları -yani gerçekler- demetinden ve kuralların uygulamasını kontrol eden bir yorumlayıcıdan oluşur [203].

##### 4.1.1 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler

Bulanık Kural Tabanlı Sistemler (BKTS), bulanık küme teorisinin en önemli uygulama alanlarından biridir. Klasik kurala dayalı sistemlerin bir uzantısı olarak, bir BKTS genellikle dilsel olan bilgiyi temsil etmek ve birleştirmek için bulanık kümeler ve bulanık mantık kullanırlar [248]. Kural tabanı, veritabanı ve mantık mekanizması, bulanık çıkarım sisteminin temel yapı bileşenleridir. Kural tabanı bulanık kuralların bir seçimini içerir; veritabanı, bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarını tanımlar ve makul bir çıktı veya sonuç elde etmek için bir akıl muhakeme mekanizması, kurallar ve verilen gerçekler üzerine çıkarım prosedürü uygular [246].

Uygun dilsel kural tabanını tanımlamak ve karar vermede desteklemek için, insan bilişsel sürecini simüle eden dilsel değişkenlerdeki kesin durumları analiz etmede bulanık EĞER-İSE kuralına başvurulmuştur. Genel olarak, “eğer durumlar kümesi sağlandıysa, sonuçlar kümesi üretilebilir” formundadır [369]. Bulanık kuralın genel formu şöyle açıklanabilir [246]:

*R: Eğer  $x$  P ise  $y$  Q'dur.*

Burada R bulanık kuralı, ilk kısım “ $x$  P ise” öncül/durumu, son kısım “ $y$  Q'dur” ise ardılı gösterir. Çoklu öncüller durumunda, bulanık kural aşağıdaki gibi genellenebilir [246]:

*R<sub>j</sub>: eğer  $x_j$ , P<sub>j</sub> ise,  $y$  Q'dur.*

Bulanık sistem, bulanık kümeler veya bulanık mantıktan yararlanan statik veya dinamik bir sistemdir. Bulanık kümeleri bir sistemde kullanmak için bazı yollar vardır [245]:

- Sistemin açıklamasında: bir dizi “eğer-ise” bulanık kuralı ya da bulanık yöntemlerle bulanık ilişkiler bir sistemi açıklayabilir. Örneğin, bir kuyruk sistemindeki varış oranı ve kuyruk uzunluğu arasındaki ilişki bir bulanık kural tarafından aşağıdaki gibi tanımlanır:

*Eğer varış oranı kalabalık ise beklenen kuyruk uzunluğu büyüktür.*

- Sistem parametrelerinin belirlenmesinde: Bir cebirsel veya diferansiyel denklem, parametreler bulanık sayılar olup gerçek sayı olmadığı durumda bir bulanık sistemi açıklayabilir.
- Bulanık girdi setleri ve sistem durumu değişkenleri: İnsanların dilsel terimleriyle ilgili belirsiz bilgiler, bulanık girdiler çıkarabilir, örneğin hızlı, yavaş vb. gibi. Bulanık sistemler, geleneksel sistemler ile kullanılmayan bu tür verilerin bilgilerini işleyebilir.

Yukarıdaki özelliklerden bazıları bulanık bir sisteme dahil edilebilir. Çizelge 4.7, bulanık ve keskin sistem açıklamalarındaki ilişkileri göstermektedir [245].

Çizelge 4. 7 Bazı sistem tanımlarında net ve bulanık veriler

Sistem Tanımı	Girdi verisi	Sonuç	Matematiksel yöntem
Net	Net	Net	<i>Geleneksel analiz</i>
Net	Bulanık	Bulanık	<i>Zadeh ve Mamdani'nin genişleme prensibi</i>
Bulanık	Net/Bulanık	Bulanık	<i>Bulanık Analiz</i>

#### 4.1.2. Bulanık Kural Tabanlı Çıkarım Modelleri

Neredeyse her zaman, bir hedef sistemin geçmişteki bilinen davranışına dayanan bir bulanık çıkarım sistemi tasarlanır ve tasarlanan bulanık sistemin hedef sistemin davranışını yinelemesi beklenmektedir. Genellikle, genellikle bulanık modelleme olarak adlandırılan süreç olan bulanık çıkarım sistemini oluşturmak için standart yöntem şu özelliklere sahiptir [246]:

1. Bir bulanık çıkarım sisteminin kuralı yapısı, hedef sistemle ilgili insan uzmanlığını doğrudan modelleme sürecine dahil etmeyi kolaylaştırır.
2. Bir hedef sistemin giriş-çıkış verileri mevcut olduğunda, bulanık modelleme için geleneksel sistem tanımlama teknikleri kullanılabilir.

Kavramsal olarak, bulanık modelleme, tamamen ayırık olmayan iki aşamada takip edilebilir. Birinci aşama, aşağıdaki görevleri içeren yüzey yapısının tanımlanmasıdır[246]:

(i) İlgili girdi ve çıktı değişkenlerini seçilir.

(ii) Belirli bir bulanık çıkarım sistemi türünü seçilir.

(iii) Her girdi ve çıktı değişkeniyle ilişkili dilsel terimlerinin sayısını belirlenir. Sugeno modelinde, ardıl eşitliklerinin sırası belirlenir.

(iv) Bulanık eğer-ise kuralları toplamı tasarlanır.

Önceki görevleri yerine getirmek için, hedef sistem hakkındaki kendi bilgilerimize, hedef sisteme aşina olan insan uzmanları tarafından sağlanan bilgilere ya da yalnızca deneme



yanılma yöntemine güveniriz. Bulanık modellemenin ilk aşamasından sonra, hedef sistemin davranışını linguistik terimlerle az çok tarif edebilen bir kural tabanı elde ederiz [246]. Bu dilsel terimlerin anlamı, ikinci aşamada yani her dilsel teriminin ÜF'lerini ve eğer bulanık Sugeno modeli kullanıldıysa her bir kuralın çıktı polinomunun katsayılarını belirleyen, ikinci aşamada- derin yapının belirlenmesi aşamasından tanımlanır. Özellikle, derin yapının belirlenmesi aşağıdaki görevleri içerir [246]:

(i) Uygun parametrelili ÜF ailesi seçilir.

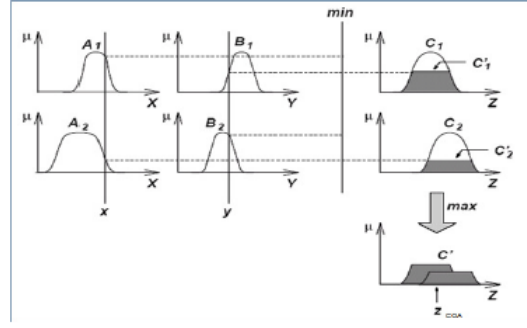
(ii) Kural tabanında kullanılan ÜF'lerin parametrelerini belirlemek için hedef sisteme aşına olan insan uzmanlarıyla görüşülür.”

(iii) ÜF'lerin parametreleri, regresyon ve optimizasyon teknikleri kullanarak hassaslaştırılır.

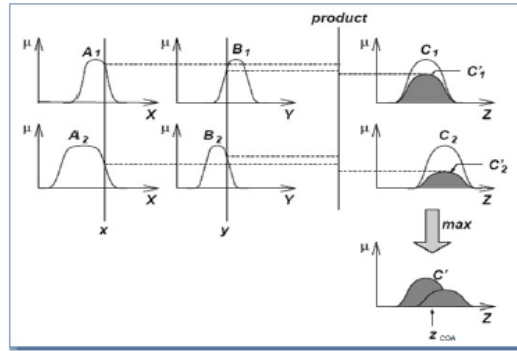
Görev (iii) istenen girdi-çıkıı veri kümesinin bulunduğunu varsayarken, görev (i) ve (ii) insan uzmanlarının varlığını varsaymaktadır[246].

#### **4.1.2.1 Mamdani tipi bulanık modeller**

1975 tarihinde E.H. Mamdani ve S. Assilian [370], deneyimli insan operatörlerinden elde edilen bir dizi dilsel kontrol kuralıyla bir buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etmeye yönelik ilk girişim olan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemini önermiştir [246]. Şekil 4.25'de, iki kurallı Mamdani bulanık çıkarım sisteminin, iki keskin girdi x ve y'ye tabi tutulduğunda "z" çıktısını elde etmek için nasıl çalıştığını görebiliriz[371]. T-norm ve T-conorm operatörlerinin sırasıyla max ve cebirsel çarpım olarak tanımlandığını varsayalım ve max-min kompozisyonu yerine max-product yapısı kullanılsın [246]. Böyle bir durumda, Şekil 4.26 sonuçlanan bulanık çıkarımı göstermektedir. Basitçe T-norm ve T-conorm operatörlerini değiştirerek, farklı bulanık çıkarımlar oluşturulabilir. [246].



Şekil 4. 25 T-norm ve T-conorm operatörleri için sırasıyla min ve max kullanan Mamdani bulanık çıkarım sistemi



Şekil 4. 26 T-norm ve T-conorm operatörleri için sırasıyla product ve max kullanan Mamdani bulanık çıkarım sistemi

Mamdani bulanıklık çıkarım sisteminin çalışmasını tamamen tanımlamak için, aşağıdaki operatörlerin her biri için bir işlev atanması gerekir [246]:

1. VE operatörü (genellikle T-normu): VE öncüllerine sahip bir kuralın ateşleme sistemini yani kuralın öncül bölümünün ne derecede tatmin edildiğini hesaplamak için.
2. VEYA operatörü (genellikle T-conorm): VEYA öncüllü bir kuralı ateşleme gücünü hesaplamak için.
3. Çıkarım operatörü (genellikle T-normu): verilen Verilen ateşleme gücüne dayalı olarak uygun ardıl ÜF'nu hesaplamak için.
4. Birleşme operatörü (genellikle T-conorm): tüm çıktı ÜF'larını üretmede uygun ardıl ÜF'larını birleştirmek için.

5. Durulaştırma operatörü: Bir çıktı ÜF'nunu net bir tek çıktı değerine dönüştürmek için.

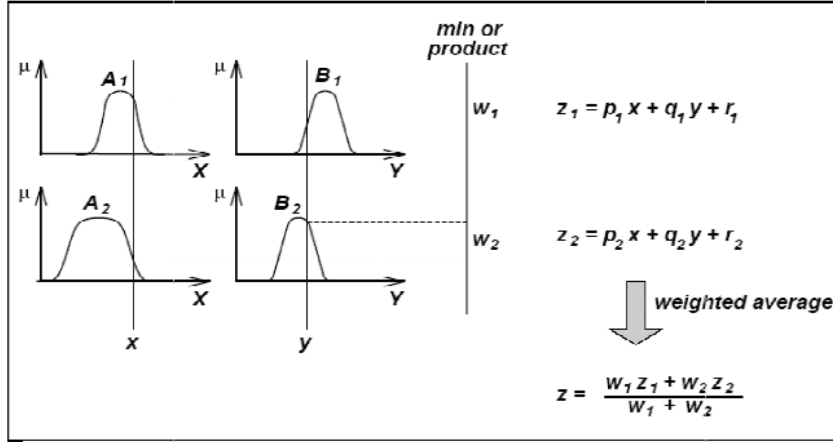
#### 4.1.2.2. Sugeno tipi Bulanık Modeller

Verilen bir girdi-çıkı veri setinden bulanık kurallar üretmeye yönelik sistematik bir yaklaşım geliştirmek amacıyla, Takagi, Sugeno ve Kang [372] makalelerinde, Sugeno ya da TSK bulanık model önerdiler. Sugeno bulanık modelinde tipik bir bulanık kural şu şekildedir [246]:

Eğer  $x \in A$  ve  $y \in B$  ise,  $z=f(x,y)$ 'dir.

Burada  $A$  ve  $B$  öncüldeki bulanık kümeler,  $z=f(x,y)$  ardıldaki net fonksiyondur. Genellikle,  $f(x,y)$  kuralın öncülü tarafından belirtilen bulanık bölge dahilinde modelin çıktısını uygun bir şekilde tanımlayabilen herhangi bir fonksiyon olabilir, fakat çoğu durumda  $f(x,y)$ ,  $x$  ve  $y$  girdi değişkenleri için polinomialdir.  $f(x,y)$ , birinci dereceden polinomial olduğunda, ortaya çıkan bulanık çıkarım sistemi bir birinci mertebe Sugeno bulanık model olarak adlandırılır[246].  $f(x,y)$  sabit olduğunda, sıfırıncı-dereceden Sugeno bulanık model elde ederiz, bu da her bir kuralın ardılının bir bulanık tekil ile belirtildiği Mamdani bulanık çıkarım sisteminin özel bir durumudur; ya da her bir kuralın çıktısının sabitteki bir basamak fonksiyon merkezinin üyelik fonksiyonu tarafından belirtildiği Tsukamoto bulanık modelinin özel bir halidir[246].

Şekil 4.27'de birinci dereceden Sugeno bulanık modelinin bulanık muhakeme prosedürü görülebilmektedir [246], [371]. Tüm çıktıların ağırlıklı ortalamayla elde edildiğini görülebilir, çünkü her kural net bir çıktıya sahiptir [246].

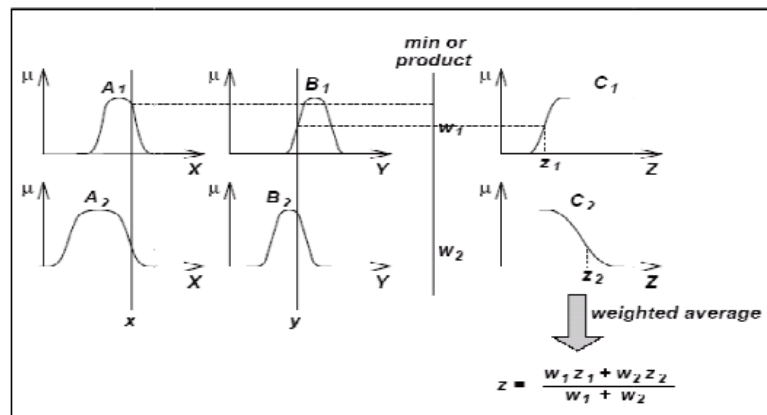


Şekil 4. 27 Sugeno bulanık model

Sugeno bulanık çıkarım sistemi net girdiler yerine, bulanık girdileri alırken bazı problemler ortaya çıkabilir, çünkü Sugeno bulanık sistemi, kendi bulanık mantık mekanizmasındaki çıkarımın birleştirme kuralını sıkı bir şekilde izleyemez [246]. Bunun üstesinden gelmek için, her kuralın ateşleme gücünü bulmada bulanık kümeler dönüşümünü kullanabilir [246].

#### 4.1.2.3. Tsukamoto tipi Bulanık Modeller

Tsukamoto [373] 1979 yılında yayınlanan çalışmasında, yeni bir model olan sonraları adıyla anılan Tsukamoto bulanık modellerini önermişlerdir. Bu modelde, Şekil 4.28'da gösterildiği gibi, her bulanık eğer-ise kuralının ardılı, monoton bir ÜF'ye sahip bulanık bir küme ile temsil edilir. Sonuç olarak, her kuralın çıkarsanan çıktısı, kuralların ateşleme gücü ile uyarılan keskin bir değer olarak tanımlanır [246].



#### Şekil 4. 28 Tsukamoto Bulanık Modeli

Her kural net bir çıktı belirlediğinden, Sugeno bulanık mantığı gibi Tsukamoto bulanık modeli, her bir kuralın çıktısını ağırlıklı ortalamanın yöntemi ile birleştirir ve böylece zaman kaybettirici durulaştırma işlemlerin yapılmasını önler [246]. Fakat Tsukamoto bulanık modeli, Mamdani veya Sugeno bulanık modelleri kadar şeffaf olmadığı için sık kullanılmaz. Tsukamoto bulanık modelinin mantık mekanizması çıkarımın bileşimsel kuralını sıkı bir şekilde takip etmediğinden, girdiler bulanık olsa bile çıktı her zaman nettir [246].

#### 4.1.2.4 Sugeno ve Mamdani Tipi Yöntemler Arasındaki Karşılaştırma

Mamdani ve Sugeno arasındaki temel fark, Sugeno çıktı üyelik fonksiyonlarının sabit, doğrusal veya başka herhangi bir fonksiyon olabileceğidir [246]. Sugeno ve Mamdani bulanık çıkarım sistemlerinin avantajlarının ve dezavantajlarının listesi Çizelge 4.8'deki gibidir [246]:

Çizelge 4. 8 Sugeno ve Mamdani bulanık çıkarım sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

<i>Sugeno</i>		<i>Mamdani</i>	
<i>Avantaj</i>	<i>Dezavantaj</i>	<i>Avantaj</i>	<i>Dezavantaj</i>
Hesaplama açısından avantajlı olması	Sezgisel olmaması	Sezgisel olması	Süreci hızlıca kontrol etmek için fazla basit olması
Doğrusal tekniklerle iyi çalışması	Daha yüksek dereceli Sugeno yöntemini kullanırken karmaşık olması	Yaygın kabul görmesi	Yalnızca uzun gecikmeli sistemlere uygun olması
Optimizasyon ve uyarlamalı tekniklerle iyi çalışması		İnsan girdisi için uygun olması	Yüksek frekanslı girdi sistemini kontrol ederken, etkinliği arttırmak için ekstra araçlara ihtiyaç duymaları
Çıkış yüzeyinin sürekliliğini garanti etmesi			
Matematiksel analiz için çok uygun olması			

Bu çalışma kapsamında bulanık kural tabanlı sistemde kullanılacak olan girdi ve çıktılar için üyelik fonksiyonlarının oluşturulması başlığı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu amaçla kümeleme, olabilirlik teorisi, entropi kavramı ve matematiksel programlama yolu ile üyelik fonksiyonlarının elde edilmesi araştırılmıştır. İlgili yöntemler kıyaslandığında, elde “olasılık dağılım fonksiyonu” istatistiksel verisinin varlığında, en az varsayım ile en iyi parametre değerlerinin optimizasyon (matematiksel programlama) yolu ile elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, üyelik fonksiyonlarının bu yolla eldesi amaçlanmaktadır. Ardından, kuralların belirlenmesi ile süreç MATLAB programında analiz edilecektir.

Üyelik fonksiyonlarının matematiksel programlama ile elde edilmesinin dezavantajı, eldeki olasılık yoğunluk fonksiyonu karmaşık olduğu durumlarda çözümün uzun ve zahmetli olmasıdır. Sonuç, lineer olmayan bir amaç fonksiyonun çözülmesi ile elde edilecektir. Ancak yöntemler kısmında da belirtildiği gibi diğer yaklaşımlara nazaran en az varsayım uygulayan yöntemdir. Literatürde, yalnızca uzmanların sübjektifliklerinin yansıtılabilmesi için, üyelik fonksiyonu aralıklarının dilsel değişkenlerle belirlendiği saptanmıştır. Bu tezde de, oluşturulacak metodolojinin belli ayağının (üyelik fonksiyon aralıkları belirleme), matematiksel programlama ile birlikte bu yaklaşıma dayanması planlanmaktadır.

Ayrıca, karar vermede kullanılacak olan bulanık çıkarım sisteminin yöntemleri incelenmiş ve tez kapsamında ele alınan probleme göre en uygun yöntemin Mamdani çıkarım sistemi olduğu tespit edilmiştir. Sugeno yönteminin çıktısı, fonksiyondur. Genellikle,  $f(x,y)$  kuralın öncülü tarafından belirtilen bulanık bölge dahilinde modelin çıktısını uygun bir şekilde tanımlayabilen herhangi bir fonksiyon olabilir. Tsukamoto bulanık modeli ise, Mamdani veya Sugeno bulanık modelleri kadar şeffaf olmadığı için sık kullanılmaz. Tsukamoto bulanık modelinin mantık mekanizmasında, girdiler bulanık olsa bile çıktı her zaman nettir. Mamdani modeli ise bulanık girdilerden bulanık çıktılar üretip, bu çıktıların çeşitli durulaştırma yöntemi ile netleştirilip bir karar verilmesini sağlar, kullanımı basit ve anlaşılması kolaydır. Literatürde oldukça sıkça rastlanan kabul görmüş bir yöntemdir. Dolayısıyla bakım sürecinin kararının verilmesinde bu yaklaşımın kullanılması planlanmaktadır.

### 4.3. Bulanık Kural Tabanlı Sistemde Kullanılacak Elemanların Belirlenmesi

Metrobüsün bakım prosedürü kararında kullanılacak bulanık kural tabanlı sistemde yer alan girdiler, eldeki veriler ve uzman görüşleri doğrultusunda aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- ❖ Aracın arıza yapma sıklığı: Her bir aracın arıza yapma sıklıkları belirlenecek, ilgili değerler üzerinden üyelik fonksiyonları oluşturulacaktır.
- ❖ Aracın kullanımda olduğu dönem: Verilerin dağılımlara uydurulmasında uzman görüşü sonucunda okul dönemi-arıza dönemi bölünmesine gidilmesi kararı verilmiştir. Bu ayrıma üyelik fonksiyonu uydurularak kural tabanlı yapıda göz önünde bulundurulacaktır.
- ❖ Aracın yaşı: Araç yaşı da kural tabanlı sistemde göz önüne alınacak faktörlerden biridir.
- ❖ Arızanın öncelik derecesi: Stokastik çok kriterli karar verme yöntemi sonucunda elde edilen öncelik derecelerine üyelik fonksiyonları uydurulacaktır. Arızanın ne kadar önemli olduğu da süreçte ele alınacaktır.
- ❖ Arıza Maliyeti: Arıza maliyetleri bilgisi, sözel değerlendirmeler ışığında kural tabanlı sisteme dahil edilecektir.
- ❖ Güvenilirlik Değerleri: Araçlar ve arızalar için bulunan güvenilirlik değerleri, üyelik fonksiyonları ile süreçte ele alınacaktır.
- ❖ Bir önceki bakımın üstünden geçen süre: Aracın arıza yaptığında en son ne zaman bakıma uğradığı bilgisi de göz önünde bulundurulacaktır.
- ❖ Şoför yeteneği: Şoför yeteneği yaşanan arıza sayılarına bağlı olarak, sözel ifadelerle sürece eklenecektir.

Tüm bu elemanlara uygun üyelik fonksiyonlarının saptanmasıyla, uygun bakım prosedürü elde edilmeye çalışılacaktır.

### METROBÜS SİSTEMİ

İstanbul, Asya ve Avrupa arasında köprü görevi yapan önemli bir coğrafi konuma sahiptir ve yaklaşık 15 milyon nüfusuyla Türkiye'nin en büyük şehridir[374]. Son yıllarda nüfusun daha da büyümesi ve bireylerin otomobil sahipliğindeki artış sebebiyle, şehir içindeki trafik sıkışıklığı da eş zamanlı olarak artmaktadır [375]. İstanbul, Avrupa'nın metropolitan bölgelerine benzer şekilde nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bir şehirdir [376]. Dolayısıyla İstanbul da nüfusu yoğun olan diğer büyükşehirler gibi trafik, ulaşım, planlama sorunlarına sahiptir [377]. Türkiye'de trafiğe kayıtlı araç sayısı 2018 yılı Mayıs ayı sonu itibari ile 22.645.085'tir; bu araçların 4.167.889 adeti İstanbul'a kayıtlı olup, bu da toplam araç sayısının yaklaşık %18'ine karşılık gelmektedir[378]. İstanbul'da şehir içi ulaşım da yoğun trafikten kaynaklı problemlerin çözümünde, toplu taşıma araçlarının kullanımını desteklemek oldukça önemlidir. Yolcuların toplu taşıma sistemlerini daha fazla kullanmasını sağlamak için, servis kalitesini sürekli yüksek tutmak gerekir. Yolculara güvenli, güvenilir ve sürekli hizmet sunmak adına bu sistemlerin sürekli kontrol altında tutulması gerekir. İstanbul'da toplu taşımaya en önemli katkıyı sağlayan sistemlerden biri, genel adıyla hızlı otobüs taşımacılığı olarak geçen, ülkemizde ise "metrobus" olarak adlandırılan taşıma sistemidir. Metrobus, ana arterlerdeki trafik yoğunluğunu azaltıp, yolcuların trafiğe takılmadan daha hızlı, daha konforlu, daha ekonomik seyahat etmeleri amacıyla kurulan çevreye duyarlı ulaşım sistemidir [379]. Hızlı, rahat, konforlu ve altyapı maliyeti düşük bir toplu taşıma sistemidir. Geleneksel otobüs taşımacılığından ayrılan en



önemli özelliği, ayrılmış şerit uygulamasıyla aynı sayıda araçla, daha fazla yolcu tasıma imkânını sağlamasıdır [379], [380].Metrobüs sistemi temel elemanları, istasyonlar, ayrılmış şeritler, araçlar, turnikeler, işletim planları, komuta kontrol merkezi ve yolcu bilgilendirme sistemidir [379]. Metrobüs ile ilgili detaylı bilgiler, devam eden alt bölümlerde detaylı şekilde verilmiştir.

## 5.1 Tarihçe

Metrobüs sistemi, İstanbul'un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla ilk olarak Topkapı-Avcılar hattında hizmete başlamıştır. 2007 yılında yapımına başlanmış olup, 18,3 kilometrelik hat, tam tarihi ile 17 Eylül 2007'de kullanıma ağılmıştır. Metrobüsün ikinci etabı olan Zincirlikuyu ayağı, 8 Eylül 2008 Pazartesi günü hizmete ağılmıştır. İlgili hat kısa sürede tamamlanarak durak sayısı 25'e yükselmiştir [379], [380].

Metrobüs hattının üçüncü etabı Söğütlüçeşme hattı, 2009 yılında hizmete ağılarak İstanbul'un iki yakası en kısa yoldan birbirine bağlanmıştır. Hattın Avcılar-Beylikdüzü güzergâhının açılışı, 2012 yılında gerçekleşmiştir. Toplam uzunluğu 52 kilometreyi bulan 44 istasyonlu Beylikdüzü-Söğütlüçeşme metrobüs hattında yolculuk süresi 100 dakika ve günlük ortalama 870 bin yolcu taşınmaktadır [379], [380]. Dünyanın değişik metropollerinde benzer uygulamaları bulunan Metrobüs sisteminin olmazsa olmaz üç parametresi vardır [379]:

- i. Hızlı ulaşım,
- ii. Yüksek nüfus yoğunluğu olan metropol,
- iii. Çevreye duyarlı alternatif ulaşım modlarıyla entegrasyon ve konfor.

Metrobüs sistemi yatırım ve işletme maliyeti diğer raylı sistemlere oranla oldukça düşük olan ve kurulumu çok daha kısa sürede tamamlanan bir ulaşım sistemidir [379]–[381]. Araçların kendine ait yolda ilerlemesi dolayısıyla kaza oranı ve riski azalmakta; sistemde çalışan yüksek teknolojik araçlar, güvenlik ve konforu arttırmakta ve çevreci motorları



Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme hattında göreceli olarak az sayıda araç çalışmasına rağmen, günlük hareket sayısı maksimum olan hattır. 34G Beylikdüzü-Söğütlüçeşme ise uzunluğu en yüksek hat olup, en az sayıda araç ile işlemekte, dolayısıyla günlük sefer sayısı en düşük hat olmaktadır.

Çizelge 5. 10 İETT Metrobüs Hat-Sefer Bilgileri Tablosu [382]

Hat	Güzergah	Araç Sayısı	Sefer Süreleri (Gidiş/Dönüş)	Hat Uzunluğu (Km)	Durak Sayısı	Ortalama Araç Hızı	Seferler Arası Ortalama Süre (Sn)	Günlük Hareket Sayısı
34	Avcılar Zincirlikuyu	92	125	30	27	34	82	1296
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	22	94	22	20	30	256	88
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	100	162	41,5	35	31	97	1188
34 BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	128	154	40	39	31	72	1798
34 C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	70	115	29	26	35	99	872
34 G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	15	180	52	44	35	720	75
34 U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	38	40	11	6	38	63	110
34 Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	30	52	11,5	8	31	104	1827
<b>Metrobüs Genel</b>		495	922	237	205	264	1494	7254

Metrobüs filosunda Mercedes, Karsan, Man ve Phileas olmak üzere dört tip modele sahip araçlar kullanılmıştır. Man markalı araçların araçların SL 200 ve SG 220 alt modelleri, 2010 yılında metrobüse duyulan acil ihtiyaçtan ötürü çok kısa bir süre kullanımda kalmıştır. Mercedes marka aracı Citaro, Capacity, Conecto ve O345K olmak üzere dört alt model aracı kullanımdadır. Yine MERCEDES O345K araçları filo içerisinde çok az sayıdadır. Dolayısıyla yapılan analizlerde Man ve Mercedes O345K araçları hesaba katılmamıştır. Yalnızca genel istatistiklerde bu araçlarla ilgili bilgilere yer verilmiştir. Çizelge 5.11, araçlara ait adet ve yolcu kapasiteleri bilgisini göstermektedir[379], [380].

Çizelge 5. 11 Araç Filosu

Araç Tipleri	Araç Sayısı	Alçak Taban Özelliği	Yolcu Kapasitesi
Capacity	250	Var	165
Phileas	50	Var	258
Citaro	100	Var	160
Conecto	85	Var	160
Karsan	50	Var	155

## 5.2 Araç Özellikleri

Bu alt bölümde metrobüs araçları ile ilgili teknik özelliklere yer verilmiştir.

### 5.2.1 Phileas

İstanbul'da görev yapan Phileas 4 akslı, 26 metre uzunluğa, 2,55 m genişliğe ve 3,20 m yüksekliğine sahiptir. Bu araçta sıralı 6 silindirli 340 HP'lik güç ve 1500 Nm tork üreten Cummins ISLe4 marka 8.9 lt'lik dizel motor, Allison Ep50 marka şanzımanla birlikte görev yapmaktadır. Müsaade edilen maksimum ağırlığı 27.060 kg olan aracın, maksimum hızı 80 km/s. Yüksüz olarak 0-30 km/s hızlanmasını 6.20 sn'de tamamlayan Phileas'ın teknik olarak azami ağırlıkla tırmanabileceği eğim yüzde 9 olarak verilmiştir [383]–[385].



Şekil 5. 30 Phileas Model Metrobüs Görseli

### 5.2.2 KARSAN

AVANCITY+'ın körüklü versiyonu, bağımsız ön süspansiyon, disk frenler, görüş rahatlığı ve güvenlik bakımından en iyi özellikleri sağlayan, ISO-VDV ergonomi standartlarına uygun şekilde geliştirilmiş, yeni sürücü kabini gibi AVANCITY+ ailesinin temel özelliklerini

bünyesinde barındırmaktadır. 12.8 litre silindir hacmine sahip MAN E2876 motoru ve katalitik susturucu egzoz EEV emisyon standartlarını sağlamaktadır [386].



Şekil 5. 31 KARSAN Model Metrobüs Görseli

### 5.2.3 MERCEDES

MERCEDES markalı metrobüslerin 4 adet alt modeli bulunmaktadır. Bunlar Capacity, Citaro, Conecto ve O345K'dır. Devam eden alt bölümlerde arıza analizlerinde ele alınan Capacity, Citaro ve Conecto alt modelleri için teknik bilgilere yer verilmiştir.

#### 5.2.3.1 Mercedes-Benz CapaCity

2007 yılında Daimler AG kuruluşu olan EvoBus tarafından Mannheim'de üretilen CapaCity, dört dingilli ve alçak tabanlı bir şehiriçi taşımacılık için kullanılan otobüstür. 43+1 koltuk adedi ve 150 ayakta yolcu kapasitesiyle bir seferde yaklaşık 200 yolcu taşımaktadır. Boş ağırlığı 18 ton olan bu aracın azami yüklü ağırlığı ise tam 32 tondur. 19.54 metre uzunluğa sahip bu araç aynı zamanda en uzun otobüslerdendir ve şehir içine çıkarmak için özel bir izin ve kavşakların sağa dönüşlerinin yeniden düzenlenmesini gereklidir. Türkiye'de ise bu otobüs metrobüs olarak çalıştırılmaktadır. Diğer bir adı ise Mercedes-Benz O 530 GL'dir [387], [388].



Şekil 5. 32 Mercedes-Benz CapaCity Model Metrobüs Görseli

### 5.2.3.2 Mercedes-Benz CITARO

Citaro, Mercedes-Benz firmasının ilk olarak 1997 yılında ürettiği alçak tabanlı otobüs modelidir. Euro III standartında çevreci motora sahiptir. İETT bu otobüslerden 2006 yılında 494 adet alarak İstanbul şehir içi ulaşımına sokmuştur. Alınan otobüslerin 100 adedi körüklü, 394 adedi ise solo otobüslerdir. İETT bünyesinde aktif halde 493 adet Citaro bulunmaktadır. Bunlardan 142 adedi Anadolu Yakası'na, geri kalan 351 adedi Avrupa Yakası'na bağlıdır. Avrupa Yakası'ndan farklı olarak, Anadolu Yakası'nda 2007 yılında gelen Citaro'lar da çalışmaktadır [389].



Şekil 5. 33 Mercedes-Benz Citaro Model Metrobüs Görseli

### 5.2.3.3 Mercedes-Benz CONECTO

İlk olarak 1996 yılında İstanbul, Hoşdere Fabrikası'nda üretilen Conecto, şehiriçi taşımacılık için üretilmiş olan otobüstür. 2007 yılında ikinci neslinin üretimine başlanmıştır. Genellikle Avrupa pazarı için üretilen Conecto'nun ilk modelinde olduğu gibi ikinci modelinde de Conecto Solo ve Conecto G (Körüklü) olmak üzere iki modeli vardır. 2007 yılına kadar tek

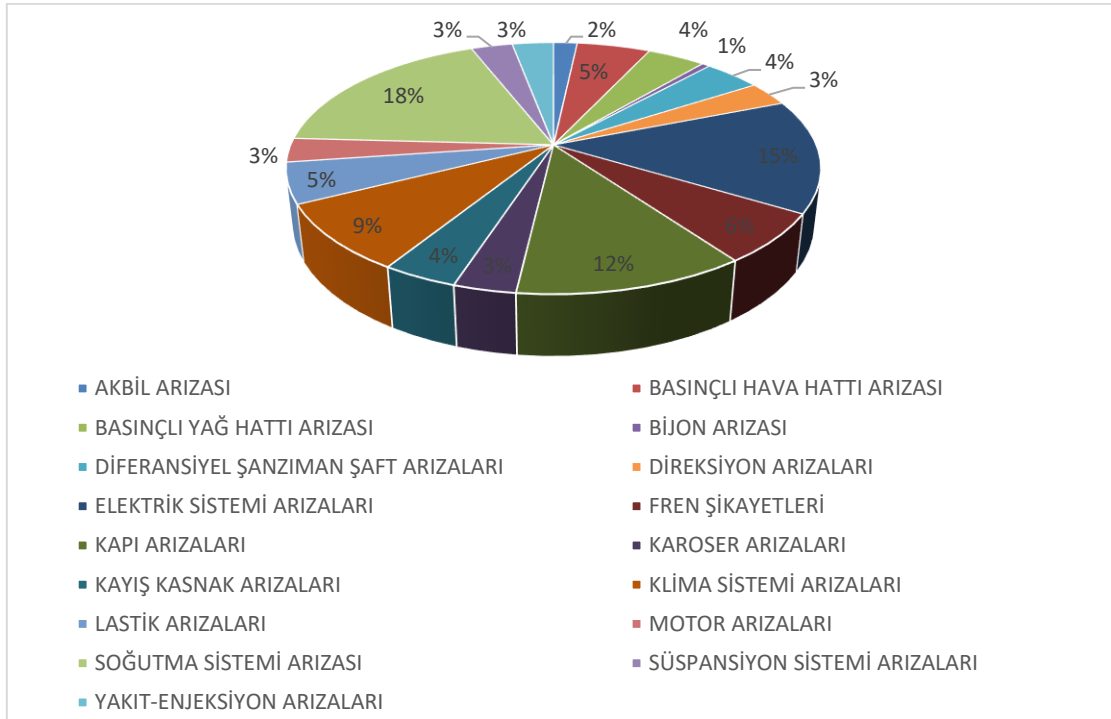
basamaklı (yarı alçak tabanlı) olarak üretilen Conecto, 2007 yılında yeni modelinde tam alçak tabanlı otobüs olarak neslini sürdürmektedir [389], [390].



Şekil 5. 34 Mercedes-Benz Conecto Model Metrobüs Görseli

### 5.3 Genel İstatistikler

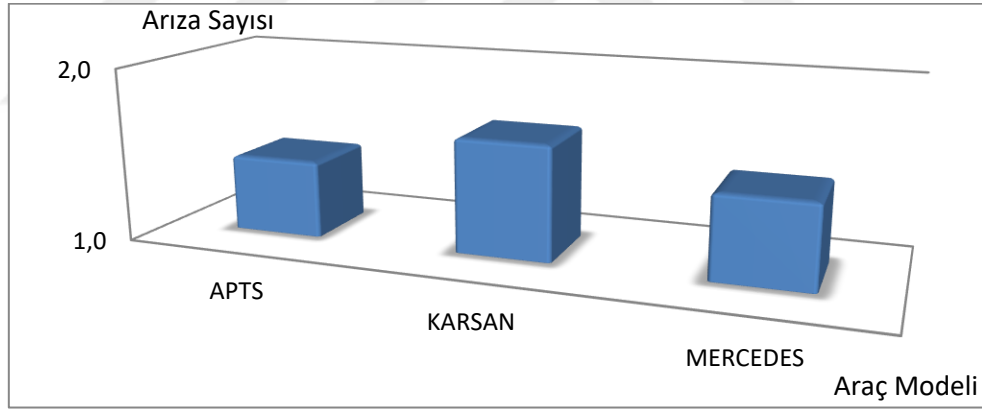
Bu kısımda metrobüs sistemi ile ilgili çıkarılan özet tablolara yer verilmektedir. En başta, tez ile ilişkili olarak araçların ana ve alt modelleri ile ilgili arıza istatistiklerine yer verilmiştir. İstatistiklerin çıkarılmasında Ocak 2010-Ocak 2015 arasında arıza ile ilgili tutulan veriler baz alınmıştır. İlk olarak, tüm araçlar genelinde en fazla hangi arızaların meydana geldiği incelenmiştir. Şekil 5.35, analizlerde kullanılan süre için tüm araçlarda meydana gelen toplam arızaların yüzde cinsinden değerlerini göstermektedir.



### Şekil 5. 35 Ocak 2010-Ocak 2015 Zaman Diliminde Meydana Gelen Tüm Arızalar

Şekil 5.35’de görüldüğü üzere, arızalar on sekiz başlık altında incelenmiştir. Bu ayırım, İETT Araç Bakım Onarım Daire Başkanlığınca yapılmış olup, tezde de bu şekliyle kullanılmıştır. Genel olarak grafik incelendiğinde, en sık karşılaşılan arızaların “soğutma sistemi arızaları” ve “elektrik sistemi arızaları” olduğu görülmektedir. En seyrek arızalara örnek olarak ise “bijon arızası” veya “akbil arızası” verilebilir. Bazı araçlarda bijon arızası, diferansiyel şanzıman şaft arızası altında incelenmiştir. Bu nedenle bu arıza ileriki bölümlerde diferansiyel şanzıman şaft arızası başlığında incelenmiştir. Akbil arızası da aracın performansını etkileten bir arıza olmadığından, yapılan analizlerde göz önünde bulundurulmamıştır.

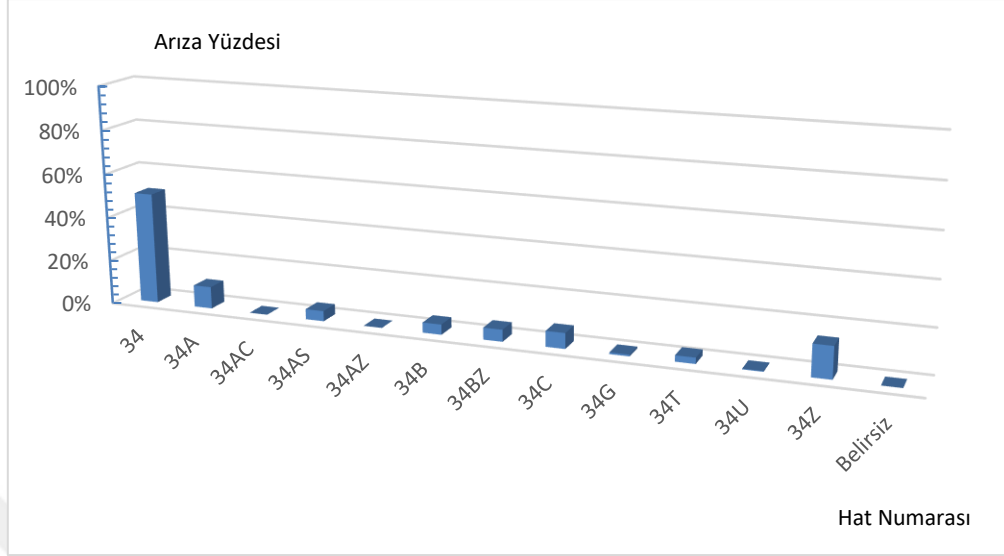
Şekil 5.36, araç başına aylık hesaplanan yaklaşık arıza adetlerini vermektedir. İlgili grafiğe göre herhangi bir model araç ayda en az bir kez arızalanmaktadır.



Şekil 5. 36 Araçlar için arıza adetleri

Şekil 5.36’ya göre, ayda yaklaşık iki arıza ile en fazla KARSAN marka araçlar arızalanmaktadır. Şekil 5.37, hat başına arıza yüzdelerini göstermektedir.



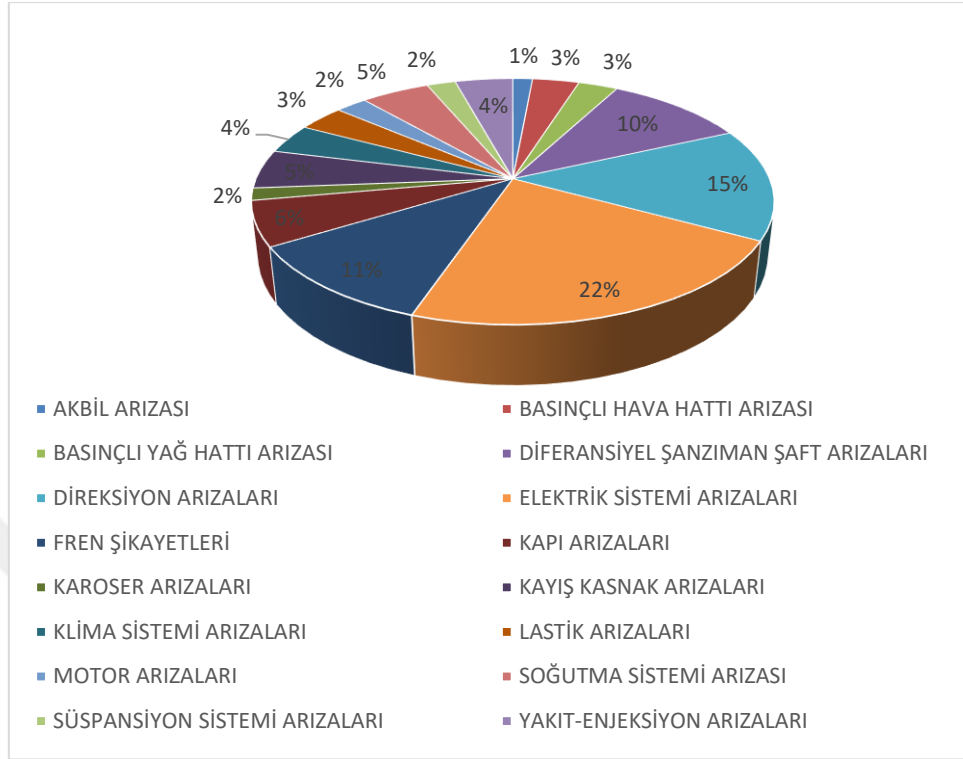


Şekil 5. 37 Hat Başına Arıza Adetleri

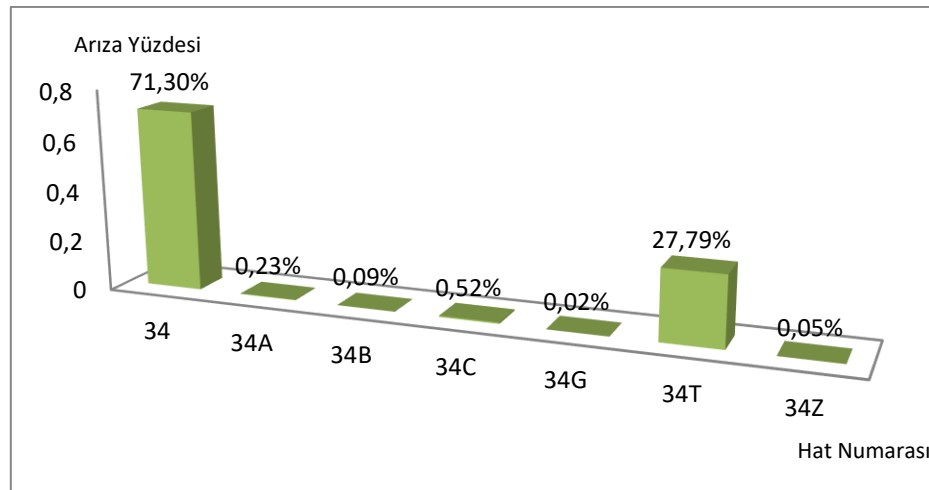
Şekil 5.37, meydana gelen arızaların en fazla “34 Avcılar- Zincirlikuyu” hattında meydana geldiğini göstermektedir. Ardından bu hattı “3Z Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme” hattı takip etmektedir. İlgili grafikte artık kullanımda olmayan hatlar da mevcuttur. Örneğin 34AC Avcılar- Cevizlibağ hattı artık kullanılmamaktadır. 34 hattında en fazla kayış kasnak arızası yaşanmış, en az ise bijon arızası meydana gelmiştir.

### 5.3.1 Phileas Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler

Phileas aracında yaşanan arızaların tespitiyle ilgili olarak, Şekil 5.38’teki grafik ortaya çıkarılmıştır. Bu model araçta en sık yaşanan arızalar, elektrik sisteminde meydana gelmektedir. Ardından direksiyon arızaları ve fren şikayetleri gelmektedir. En seyrek rastlanan arızalar ise karoser arızaları veya akbil arızasıdır.



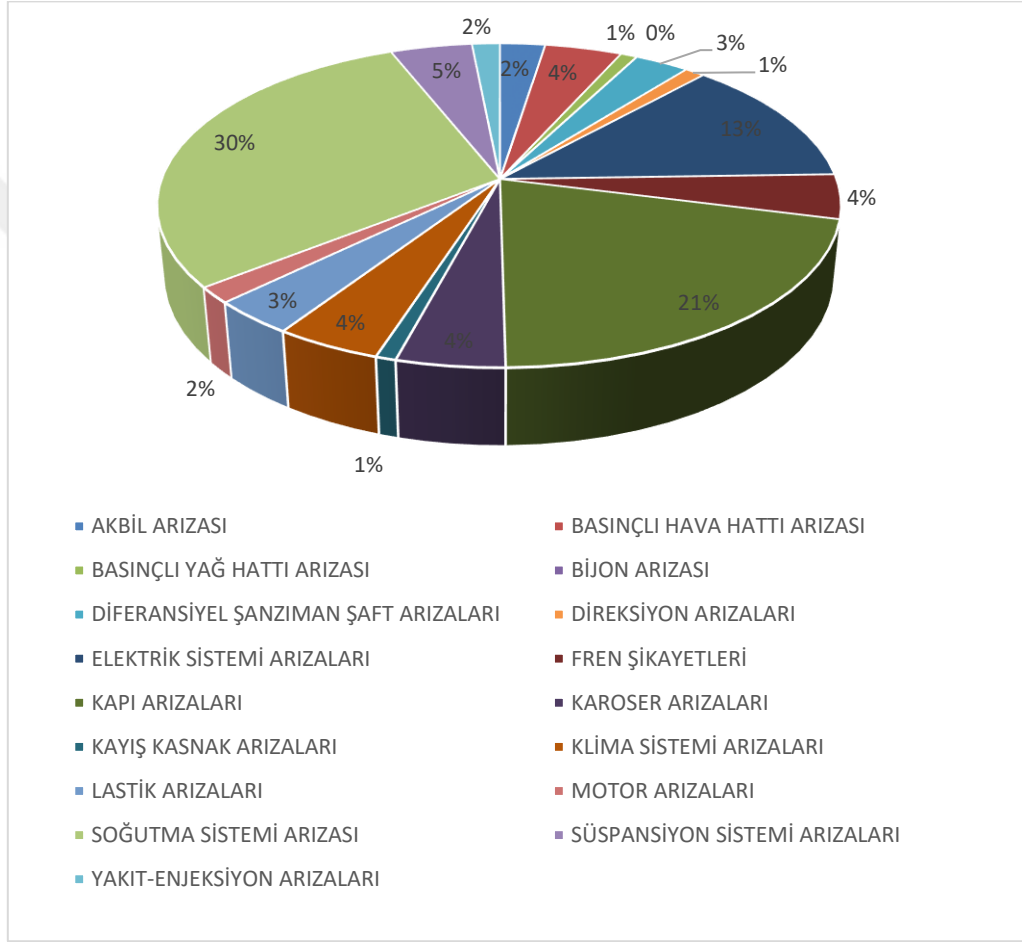
Şekil 5. 38 Phileas Marka Metrobüste Meydana Gelen Arızalar ve Yüzdelerinin Ardından, ilgili modelin en çok hangi hatta arıza yaptığı tespit edilmiştir. Phileas modeli araçlar en fazla 34 hattında arıza yapmıştır. Ardından, artık kullanımda olmayan 34T hattı gelmektedir. Şekil 5.39, Phileas aracı için hat başına arıza oranlarını göstermektedir.



Şekil 5. 39 Phileas Modeli için Hat Başına Arıza Yüzdeleri

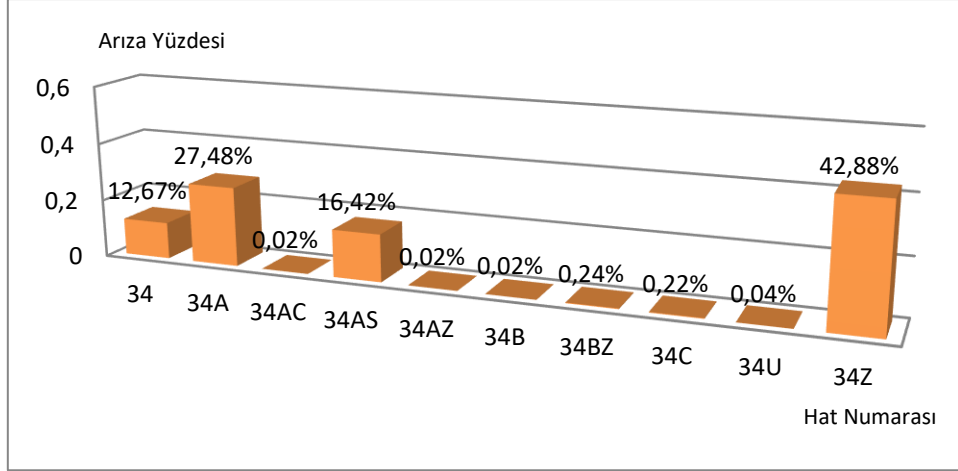
### 5.3.2 KARSAN Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler

KARSAN aracında yaşanan arızaların tespitiyle ilgili olarak, Şekil 5.40'daki grafik ortaya çıkarılmıştır. Bu model araçta en sık yaşanan arızalar, soğutma sisteminde meydana gelmektedir. Ardından kapı arızaları ve elektrik sistemi arızalarıdır. En seyrek rastlanan arızalar ise bijon arızaları veya kayış kasnak arızalarıdır.



Şekil 5. 40 Karsan marka metrobüste meydana gelen arızalar ve yüzdeleri

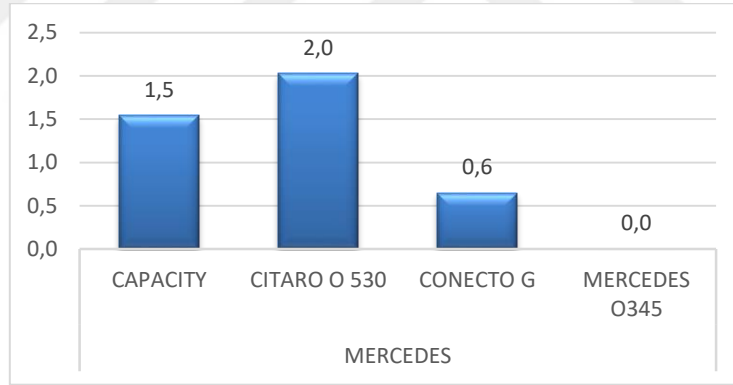
KARSAN markalı araçların en fazla 34Z hattında arıza yaptığı, bunu 34A hattının izlediği, Şekil 5.41'te görülmektedir.



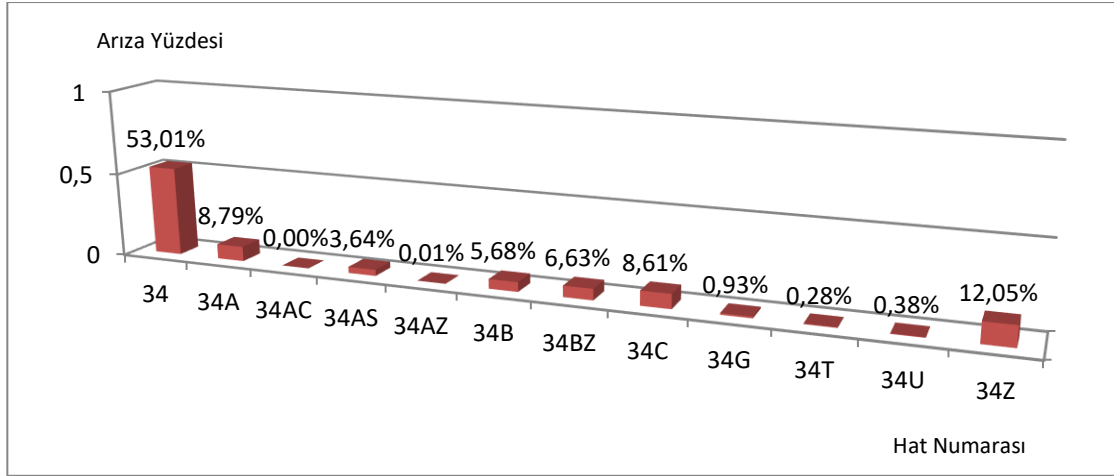
Şekil 5. 41 Karsan modeli için hat başına arıza adetleri

### 5.3.3 Mercedes Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler

Mercedes marka araçların alt modellerine ait araç başına aylık arıza adetleri aşağıdaki Şekil 5.42’te görülebilir.



Şekil 5. 42 Mercedes marka araçların alt modelleri için aylık araç başına yaklaşık arıza adeti Mercedes araçları için özele inildiğinde Citaro alt modelleri araçların ayda yaklaşık iki kez arıza yaptığı tespit edilmiştir. O345 alt modelleri araç sayısı az olduğundan, toplama oranla sıfıra yakın bir arıza oranı tespit edilmiştir.

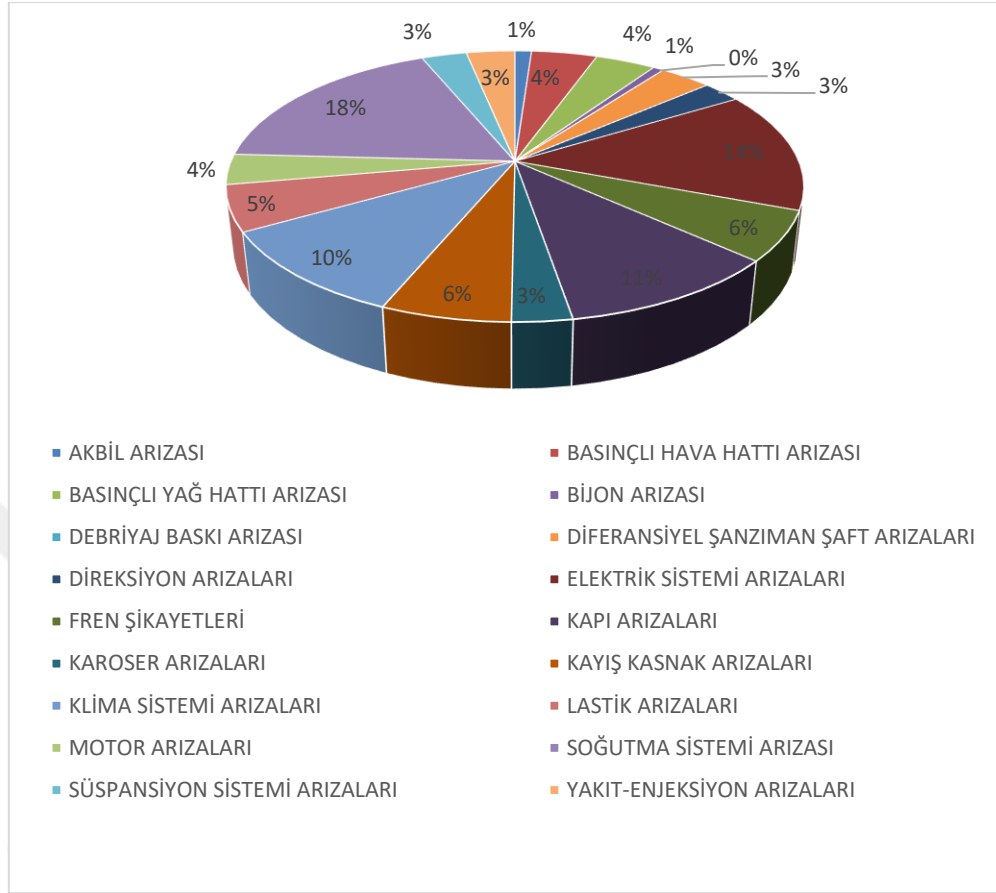


Şekil 5. 43 Mercedes Markalı Araçların için Hat Başına Arıza Adetleri

Mercedes markalı araçların en fazla 34 hattında arıza yaptığı, bunu 34Z hattının izlediği, yukarıdaki Şekil 5.43'ta gözlemlenebilir.

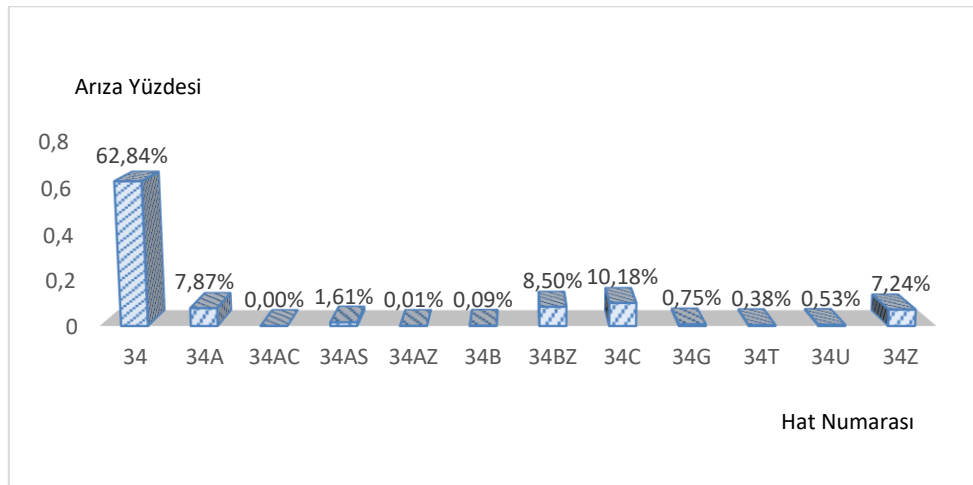
### 5.3.3.1 Mercedes-Benz Capacity Alt Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler

Capacity alt modelli Mercedes aracında yaşanan arızaların tespitiyle ilgili olarak, Şekil 5.44'deki grafik ortaya çıkarılmıştır. Bu model araçta en sık yaşanan arızalar, soğutma sisteminde meydana gelmektedir. Ardından kapı arızaları ve elektrik sistemi arızalarıdır. En seyrek rastlanan arızalar ise bijon arızaları veya kayış kasknak arızalarıdır.



Şekil 5. 44 Capacity alt modelli metrobüslerde meydana gelen arızalar ve yüzdeleri

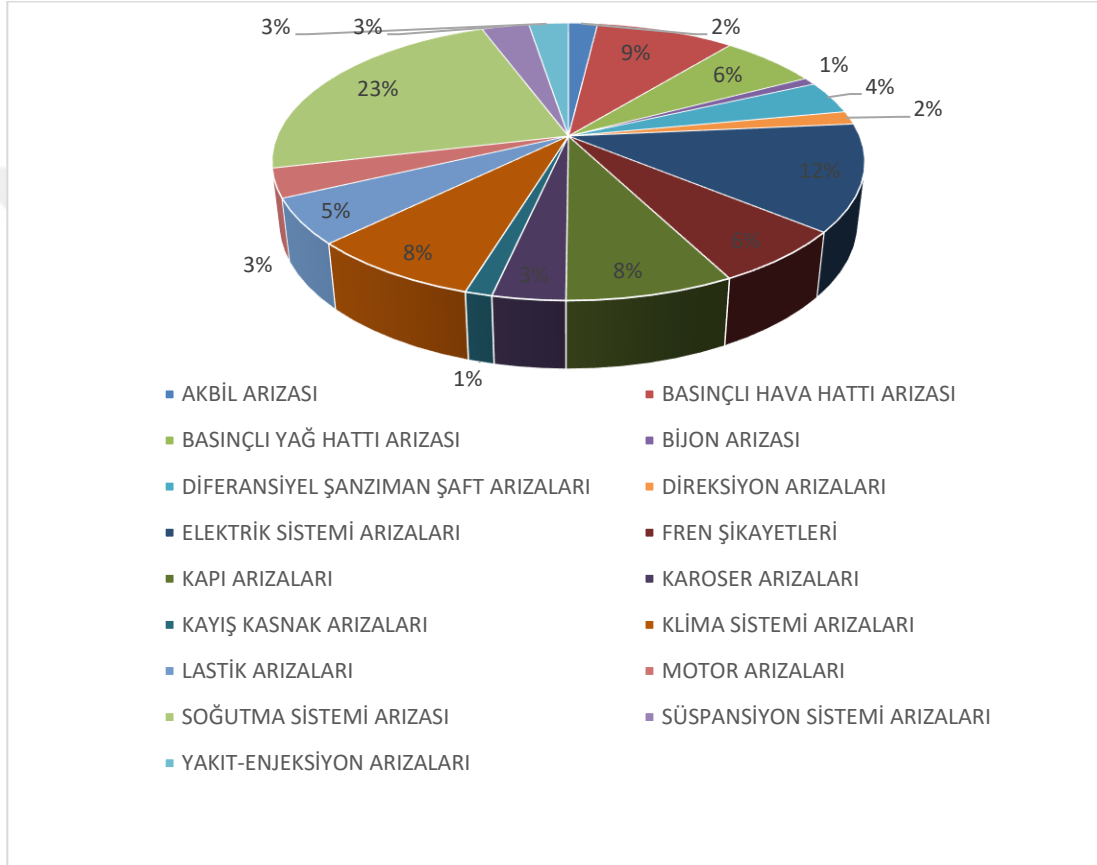
Mercedes markalı araçların alt modeli Capacity araçlarının en fazla 34 hattında arıza yaptığı, bunu 34Z hattının izlediği, Şekil 5.45’de gösterilmiştir.



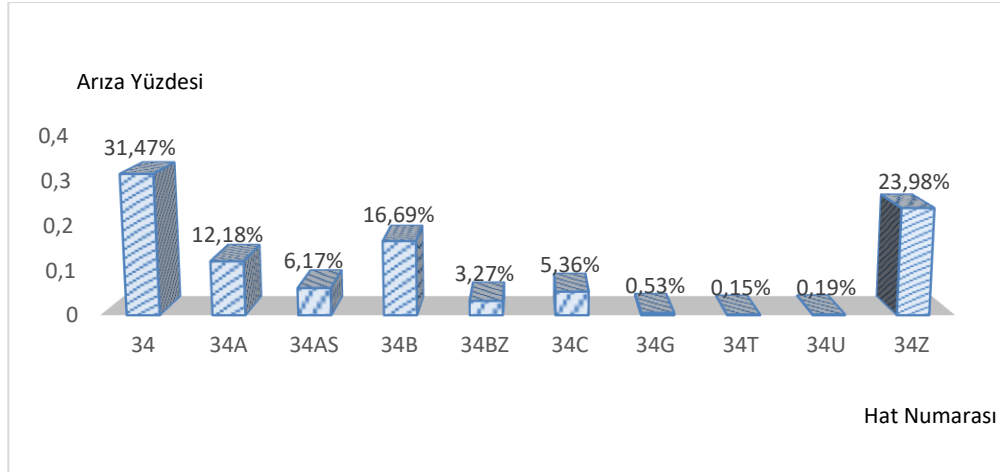
Şekil 5. 45 Capacity alt modelli araçların için hat başına arıza adetleri

### 5.3.3.2 Mercedes-Benz Citaro Alt Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler

Citaro alt modellenli Mercedes aracında yaşanan arızaların tespitiyle ilgili olarak, Şekil 5.46'daki grafik ortaya çıkarılmıştır. Bu model araçta en sık yaşanan arızalar, soğutma sisteminde meydana gelmektedir. Ardından elektrik sistemi arızaları ve basınçlı hava hattı arızalarıdır. En seyrek rastlanan arızalar ise bijon arızaları veya kayış kasnak arızalarıdır.



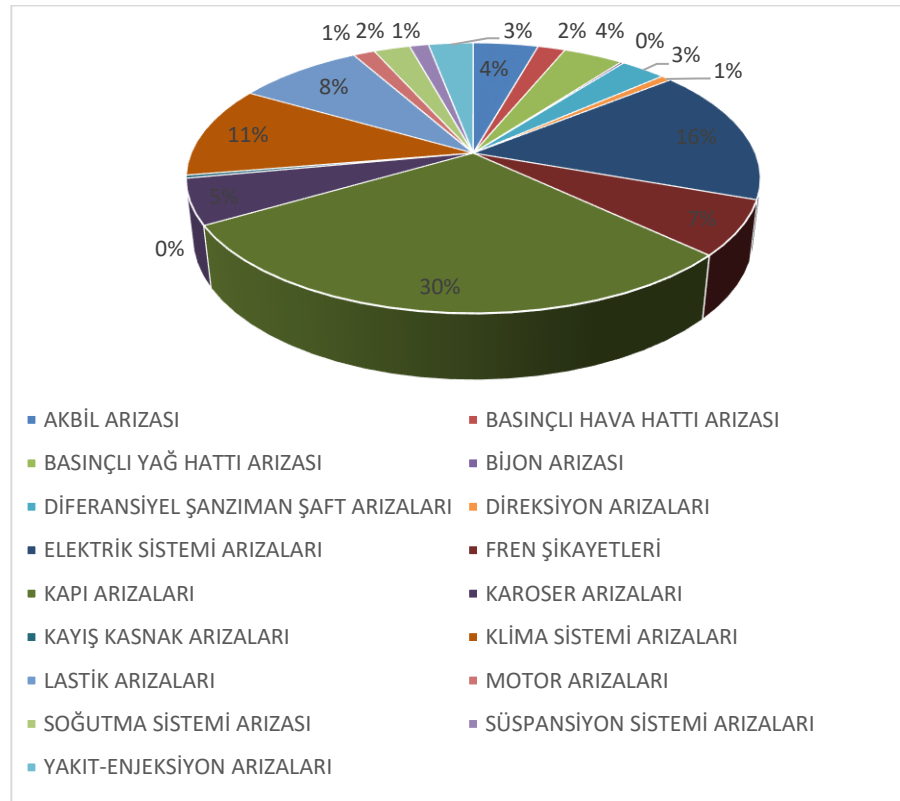
Şekil 5. 46 Citaro alt modellenli metrobüslerde meydana gelen arızalar ve yüzdelik dilimleri Mercedes markalı araçların alt modellenli Citaro araçlarının en fazla 34 hattında arıza yaptığı, bunu sırasıyla 34Z ve 34B hatlarının izlediği, Şekil 5.47'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 47 Citaro alt modellenli araçların için hat başına arıza adetleri

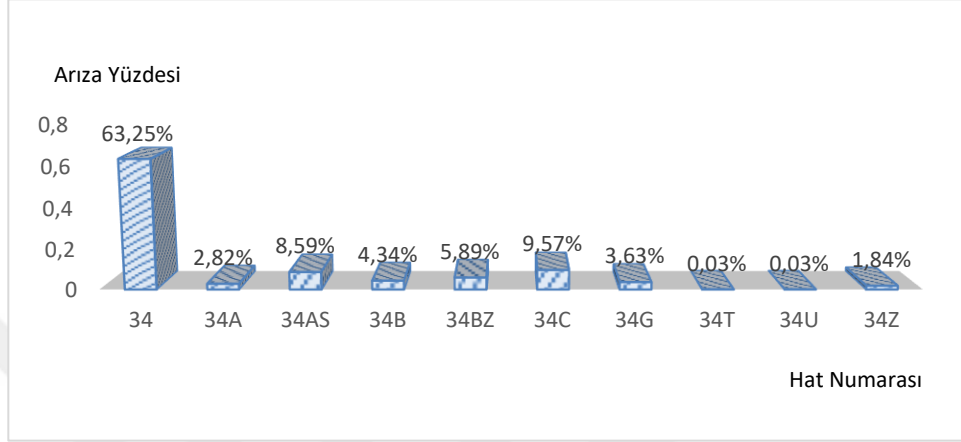
### 5.3.3.3 Mercedes-Benz Conecto Alt Markalı Metrobüs Aracı ile İlgili İstatistikler

Conecto alt modellenli Mercedes aracında yaşanan arızaların tespitiyle ilgili olarak, Şekil 5.48'deki grafik ortaya çıkarılmıştır. Bu model araçta en sık yaşanan arızalar, kapı arızalarıdır. Ardından elektrik sistemi arızaları ve klima sistemi arızalarıdır. En seyrek rastlanan arızalar ise bijon arızaları veya direksiyon arızalarıdır.





Şekil 5. 48 Conecto alt modelli metrobüslerde meydana gelen arızalar ve yüzdelik dilimleri Mercedes markalı araçların alt modeli Conecto araçlarının en fazla 34 hattında arıza yaptığı, bunu 34C ve 34AS hatlarının izlediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 49 Conecto alt modelli araçların için hat başına arıza adetleri

Yukarıda çıkarılan ve yorumlanan istatistikler için özet tablo, Çizelge 5.12'deki gibidir:

Çizelge 5. 12 Arıza ve hat bilgilerinin metrobüs modelleri bazında özeti

<b>Model</b>	<b>En Sık Yaşanan Arıza</b>	<b>En Sık Sayıda Arızanın Yaşandığı Hat</b>	<b>En Az Yaşanan Arıza</b>	<b>En Az Sayıda Arızanın Yaşandığı Hat</b>
<b>Karsan</b>	<i>Soğutma Sistemi Arızaları</i>	34Z	<i>Kayış Kasnak Arızaları</i>	34Z
<b>Phileas</b>	<i>Elektrik Sistemi Arızaları</i>	34	<i>Karoser Arızaları</i>	34G
<b>Mercedes Capacity</b>	<i>Soğutma Sistemi Arızaları</i>	34	<i>Kayış Kasnak Arızaları</i>	34AC
<b>Mercedes Citaro</b>	<i>Soğutma Sistemi Arızaları</i>	34	<i>Kayış Kasnak Arızaları</i>	34T
<b>Mercedes Conecto</b>	<i>Kapı Arızaları</i>	34	<i>Direksiyon Arızaları</i>	34T

### ARIZA ANALİZİNDE KULLANILACAK PARAMETRELER İÇİN OLASILIK DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ

Bu aşamada, araçları ve arızaları birbiri ile kıyaslayabilecek bazı parametreler için bu parametrelerin dağılımları belirlenmiştir. Bu aşamada, EasyFit 5.6 programı kullanılmıştır. EasyFit, örnek veriye olasılık dağılımı uydurmaya, en uygun modeli seçmeye ve daha iyi kararlar almak için analiz gerçekleştirmeye izin veren bir veri analizi ve simülasyon programıdır. EasyFit, tek başına bir Windows uygulaması olarak veya Microsoft Excel ve diğer üçüncü taraf Excel tabanlı simülasyon araçları ile kullanılabilir. EasyFit, klasik istatistiksel analiz yöntemlerini ve yenilikçi veri analizi tekniklerini birleştiren bir programdır [391].

Bu program aracılığıyla, arıza verileri için karakteristik parametreleri oluşturan arızalar arası geçen süre ve arızayı onarma süresi verilerinin dağılımları çıkarılmıştır. EasyFit programı dağılımların oluşturulması sürecinde ilgili verilerin hipotezlenen dağılıma ne kadar iyi uyduğunu gösteren uyum iyiliği testlerini kullanmaktadır. Literatürde bulunan üç uyum iyiliği testi de bu programda göz önünde bulundurulur. Yine bu program verileri %1, %2, %5, %10 ve %20 hata düzeyleri için test etmektedir. Analizlerde hangi hata düzeyinin kullanılacağına karar vermede, her bir örneklem büyüklüğü için örneklem sayısının yeterli olup olmadığını inceleyen örneklem büyüklüğü belirleme yöntemine başvurulmuştur. Bu sayede örneklem büyüklüğünün yeterli olduğu en küçük hata düzeyi seçilmiştir. Böylelikle hem evreni temsil edecek şekilde uygun bir örneklem büyüklüğü ile çalışıldığı varsayılmış,

hem de bu örneklem büyüklükleri ile minimum hata düzeyinde analizler gerçekleştirilmiştir.

### 6.1 Örneklem Büyüklüğü ve Hata Düzeyinin Belirlenmesi

Örneklem büyüklüğü belirlemek adına ortaya konmuş iki formulasyon mevcuttur. Bunlardan ilki evrendeki eleman sayısının bilindiği durumda, diğeri ise bilinmediği durumda kullanılır.

$$\text{Evrendeki eleman sayısı bilinmiyorsa: } n = (t^2 \cdot p \cdot q) / d^2 \quad (6.1)$$

$$\text{Evrendeki eleman sayısı biliniyorsa: } n = (N \cdot t^2 \cdot p \cdot q) / (d^2(N-1) + t^2 \cdot p \cdot q) \quad (6.2)$$

Formüllerde  $N$ ; evrenin büyüklüğü,  $n$ ; örneklem büyüklüğü,  $p$ ; incelenecek olayın görülüş sıklığı (olasılığı),  $q$ ; incelenecek olayın görülmeyiş sıklığı ( $1-p$ ),  $t$ ; belirli serbestlik derecesinde ve saptanan yanılma düzeyinde  $t$  tablosunda bulunan teorik değer ve  $d$ ; araştırmacı tarafından kabul edilen örnekleme hatası olarak belirtilmiştir [392], [393].

Evren büyüklüğü bilinmediğinden, Eşitlik (6.1) kullanılarak sırasıyla %1, %2 ve %5 hata olasılıkları için hesaplamalar yapılmıştır. %1 hata düzeyi için örneklem büyüklükleri yetersiz bulunmuş %2 ve %5 için yeterli olduğu hesaplanmıştır. Aşağıdaki çizelgede %2 hata oranı için örneklem hesaplanmış büyüklükleri yer almaktadır. Bu büyüklükler, mevcut örneklem hacimleri ile kıyaslanmış, ilgili hata düzeyinin kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. Böylelikle %2 hata oranının kullanımının uygun olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 6. 13 %2 Hata Oranı için Hesaplanmış Örneklem Büyüklükleri ve Alınan Örneklem  
Büyüklüklerinin Kıyaslanması

Arıza Tipi	Karsan			APTS		
	Alınması Gereken Örneklem Büyüklüğü (AGÖB)	Mevcut Örneklem Sayısı (MÖS)	Sonuç	AGÖB	MÖS	Sonuç
AKBİL ARIZASI	35,0	126	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	17,8	64	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
BASINÇLI HAVA HATTI ARIZASI	59,6	215	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	42,2	152	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
BASINÇLI YAĞ HATTI ARIZASI	12,8	46	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	35,5	128	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
BİJON ARIZASI	0,3	1	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	0,3	1	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
DİFERANSİYEL ŞANZİMAN ŞAFT ARIZALARI	42,2	152	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	126,3	458	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
DİREKSİYON ARIZALARI	15,6	56	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	178,5	650	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
ELEKTRİK SİSTEMİ ARIZALARI	177,1	645	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	268,0	983	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
FREN ŞİKAYETLERİ	62,1	224	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	133,9	486	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
KAPI ARIZALARI	287,0	1054	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	71,7	259	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
KAROSER ARIZALARI	61,8	223	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	19,7	71	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
KAYIŞ KASNAK ARIZALARI	11,7	42	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	62,3	225	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
KLİMA SİSTEMİ ARIZALARI	60,7	219	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	48,0	173	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
LASTİK ARIZALARI	48,5	175	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	41,9	151	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir

Çizelge 6. 13%2 Hata Oranı için Hesaplanmış Örneklem Büyüklükleri ve Alınan Örneklem

Büyüklüklerinin Kıyaslanması( Devamı)

Arıza Tipi	Karsan			APTS		
	Alınması Gereken Örneklem Büyüklüğü (AGÖB)	Mevcut Örneklem Sayısı (MÖS)	Sonuç	AGÖB	MÖS	Sonuç
MOTOR ARIZALARI	22,5	81	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	28,6	103	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
SOĞUTMA SİSTEMİ ARIZASI	403,6	1496	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	61,8	223	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
SÜSPANSİYON SİSTEMİ ARIZALARI	63,2	228	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	25,8	93	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
YAKIT-ENJEKSİYON ARIZALARI	21,7	78	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	52,1	188	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir

Çizelge 6. 143 %2 Hata Oranı için Hesaplanmış Örneklem Büyüklükleri ve Alınan Örneklem Büyüklüklerinin Kıyaslanması (Devam)

Mercedes								
CAPACITY			CITARO			CONECTO		
AGÖB	MÖS	Sonuç	AGÖB	MÖS	Sonuç	AGÖB	MÖS	Sonuç
72,2	261	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	65	235	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	41	147	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
281,9	1035	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	303	1115	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	17	62	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
258,2	946	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	215	786	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	38	136	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
46,6	168	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	29	106	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	2	7	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
223,6	817	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	131	477	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	29	103	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
167,6	610	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	53	191	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	7	24	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
881,2	3404	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	413	1532	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	150	545	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
377,4	1396	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	218	796	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	61	220	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
662,8	2511	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	261	957	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	272	996	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
183,6	669	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	114	413	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	50	182	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
390,7	1447	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	43	154	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	3	12	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
652,3	2469	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	269	987	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	102	369	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
346,9	1280	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	180	654	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	79	285	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
234,0	856	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	114	414	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	14	49	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
1072,1	4217	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	746	2846	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	23	82	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
194,2	708	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	105	381	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	12	43	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir
209,6	765	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	88	319	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir	28	101	Örneklem Büyüklüğü Kullanılabilir

## 6.2 Uyum iyiliği testleri

Uyum iyiliği veya iyi uyum testleri verilerin dağılımını herhangi bir kuramsal dağılım ya da bu dağılımdan türetilen diğer fonksiyonları temel alarak, belirli bir yanılma olasılığına göre kuramsal dağılımdan sapmalarının anlamlı olup olmadığı üzerine kurulur [394]. Uyum iyiliği testleri, örnek verisinin belirli bir dağılımdan gelip gelmediğini test etmek amacıyla kullanılır; bu da kurulan hipotezlerin sınanması ile sonuca ulaşılan bir durumdur [395]. Uyum iyiliği testlerinden en yaygın olarak kullanılan testler, Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testleridir. [396].

### 6.2.1 Ki-kare Uyum Testi

Ki-Kare uyum iyiliği testi ilk olarak 1900'de Pearson tarafından önerilmiştir [396]. Ki-kare testi, histogram ya da doğru grafiğinin teorik dağılım ile kıyaslanması üzerine kuruludur [397]. Veri analizinde geniş bir kullanım alanına sahiptir, çünkü uygulanması kolaydır; ayrıca kesikli ve sürekli durumların her ikisi için de kullanılabilir [397].

Sınıflama ölçme düzeyinde ölçülmüş değişkenler için uyum iyiliği testi olan Ki-Kare testi için yokluk hipotezinin doğruluğu altında, yığından seçilen örneğin yığının karakteristiklerini taşıması yani sınıfların her birinde beklenen frekanslar ile gözlenen frekansların birbirine eşit ya da yakın olması beklenir [396].

Buna göre Ki-Kare test istatistiği;

$$\chi_h^2 = \sum_{j=1}^c \frac{(G_j - B_j)^2}{B_j} \quad (6.3)$$

olarak tanımlanır. Burada  $c$  sınıf sayısı olmak üzere  $G_j$ ,  $j$ 'inci sınıftaki örnek birimlerin sayısı yani gözlenen frekans ve  $B_j$  beklenen frekans şeklindedir [17]. Yokluk hipotezinin doğruluğu altında, rastgele seçilen herhangi bir birimin  $j$ 'inci sınıfta olma olasılığı  $p_j$  ise beklenen frekans  $B_j = np_j$  şeklinde olur [396].

Yokluk hipotezi doğru iken test istatistiği, yaklaşık olarak  $(c - 1)$  serbestlik dereceli Ki-Kare dağılımına sahiptir.  $\alpha$  anlamlılık düzeyinde Ki-Kare dağılımından elde edilen değer  $\chi_{c-1,\alpha}^2$  olmak üzere,  $\chi_h^2 > \chi_{c-1,\alpha}^2$  ise  $H_0$  reddedilir [396].

### 6.2.2 Kolmogorov-Smirnov Uyum İyiliği Testi

Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi, oranlama ya da eşit aralıklı düzeyde ölçülen değişkenler için geliştirilmiştir [396]. Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi ampirik birikimli dağılım testleri ailesinin en temel test yöntemidir ve birçok istatistik yazılımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [394], [395].

Kolmogorov-Smirnov testi yokluk hipotezinde belirtilen dağılım fonksiyonu  $F_0(x)$  ile tüm  $x$ 'ler için örneğin dağılım fonksiyonu olan  $F_n(x)$  arasındaki mutlak farklara dayanır. Buna göre Kolmogorov-Smirnov test istatistiği ( $D$ ) [396]:

$$D = \sup_x |F_n(x) - F_0(x)| \quad (6.4)$$

şeklindedir.

Tek örnek için kullanılan  $D$  istatistiği için örnek dağılımından elde edilen kritik değerler Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testine ilişkin tablodan  $n$  ve  $1-\alpha$  değerlerine göre bulunan  $D_k$  değeri ve örnekten hesaplanan değer  $D_h$  olmak üzere,  $D_h \geq D_k$  ise  $H_0$  reddedilir [395], [396].

Ayrıca tek örnek Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği test istatistiğinin değeri  $F_0(x)$  ve  $F_n(x)$  fonksiyonlarının grafikleri çizilerek de bulunabilir. Tek örnek Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği test istatistiğinin  $F_0(x)$  ve  $F_n(x)$  arasındaki en büyük dikey uzunluk hesaplanarak bulunur [353]. Kolmogorov-Smirnov testi için kullanılan standart tablolar dağılımın parametrelerinin bilindiği durumlar için geçerlidir [395]. Eğer dağılıma ait bir veya birden çok parametre gözlemden tahmin edilmek zorunda kalırsa klasik tablolar artık geçerliliğini kaybeder [395].

### 6.2.3 Anderson-Darling Uyum İyiliği Testi

Anderson-Darling testi bir kümeden alınan verilerin belirli bir teorik dağılımdan olan sapmalarını inceleyen en etkin istatistik yorumlama yöntemlerinden biridir [394]. Bu test için olasılık fonksiyonu ve bu olasılık fonksiyonunu tam olarak belirleyen parametre değerlerinin bilindiği bir yığından  $n$  birimlik bir rastgele örnek  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  seçilir [353].



Anderson-Darling testi için yokluk hipotezi, örnek verilerin tüm parametre değerleri ile belirlenen dağılımdan geldiğidir [353]. Eğer yokluk hipotezi test sonucu red edilirse, verilerin parametreler ile belirlenmiş dağılıma uymadığı sonucuna varılır [353]. Anderson-Darling test istatistiği (A2) ;

$$A2 = -\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \left( i - \frac{1}{2} \right) \log \{ F_0(x_{(i)}) \} + \left( n - i + \frac{1}{2} \right) \log \{ 1 - F_0(x_{(i)}) \} \right] - n \quad (6.5)$$

şeklinde elde edilir [353]. Yokluk hipotezinde belirtilen olasılık dağılımına göre, elde edilen A2\* değerinin belirli bir sabitle çarpılması sonucu değiştirilmiş Anderson-Darling istatistiği A2\*test istatistiği bulunur. A2\*test istatistiği;

$$A^{2*} = A^2 \left( 1 + \frac{0,75}{n} + \frac{2,25}{n^2} \right) \quad (6.6)$$

şeklinde [353]. Normal dağılıma uygunluğu test etmek için A2\* değeri kritik değerden büyük ise Ho yokluk hipotezi red edilir [353]. Kritik değerler A2 istatistik dağılımı bilinmediğinden simülasyon yoluyla elde edilir [353].

#### 6.2.4 Analizlerde Kullanılacak Testin Belirlenmesi

Daha önce de bahsedildiği gibi EasyFit veri analizi programı, verilerin dağılımını belirlerken yukarıda bahsedilen üç farklı uyum iyiliği testini de araştırmaktadır. Literatürde, bu testlerin gücü arasında anlamlı farklar bulunamamıştır [398]. Bu tezde de verilerin dağılımını belirlerken en az iki uyum testi için de hipotezin reddedilemediği dağılımların kullanılması planlanmıştır.

#### 6.3 Parametreler Arasındaki İlişkilerinin Çıkarılması

Bu bölümde, arızaların güzergâhında meydana geldiği hatlarla ya da araç modelleriyle ilişkisi olup olmadığı incelenmiştir. Ele alınan verilerin hepsi nominal değişkenlerdir. Nominal değişkenler, nicel olarak ölçülemeyen veya sıralanamayan değişkenlerdir. İki adet nominal değişken arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek için Ki-kare testi kullanılmaktadır. Devam eden alt bölümde, bu testle ilgili bilgilere yer verilmiştir.

### 6.3.1 Ki-kare Bağımsızlık Testi

Bu test, iki kategorik değişken arasından anlamlı bir ilişki olup olmadığını incelemek için de kullanılmaktadır. İki değişkenin arasında ilişkinin olması, bir değişken düzeyindeki cevapların, diğer değişken düzeyinde farklılaştığını gösterir. Yani değişkenler arasında bağımsızlık olup olmadığı araştırılır [399], [400]. Hipotezler;

$H_0$ : Değişkenler birbirinden bağımsızdır.

$H_A$ : Değişkenler birbirinden bağımsız değildir.

Ki-kare testi gerçekte iki sınıflamalı değişkenin düzeylerine göre gözlenen değerlerle, beklenen değerlerin birbirinden anlamlı bir şekilde farklılık gösterip göstermediğini test eder. Buna göre bu iki değer arasında fark arttıkça, değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı çıkma olasılığı artar [399], [400].

Ki kare testinde gözlenen değerlerin %20'sinden fazlasında beklenen değerlerin 5'ten küçük olmaması gerekir. Böylesi bir durumda ya ilgili satır ya da sütun düzeyinde mantıklı bir birleştirme yapılmalı, ya bu satır ya da sütunlar analiz dışı bırakılmalı ya da yorumlar çapraz tablo üzerinden sadece frekans ve yüzde değerleri kullanılarak yapılmalıdır [399], [400].

### 6.3.2 Hat Türü-Arıza Tipi Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

Mevcut verilere göre hat türleri ile bu hatlarda meydana gelmiş arızalar arasında ilişki olup olmadığının belirlenmesi için ki-kare testi uygulanmıştır. İlgili test, SPSS analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. On yedi farklı arıza tipi ve verilerde yer alan on hat türü için gerçekleştirilen analizde, anlamlılık düzeyi p değeri çok düşük (0'a çok yakın) bulunmuştur. Dolayısıyla,  $H_0$  hipotezi reddedilmiştir ve hat türü ile arızaların birbirinden bağımsız olmadığı yorumu yapılabilir. Çizelge 6.15, analiz sonucunda SPSS çıktısını göstermektedir.

Çizelge 6. 15 Hat türü- arıza tipi ilişkisi için Ki-kare Testi sonuçları

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	10196,008 <sup>a</sup>	153	,000
Likelihood Ratio	10787,463	153	,000
Linear-by-Linear Association	87,508	1	,000
N of Valid Cases	58164		

a. 18 cells (10,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,00.

### 6.3.3 Araç Modeli- Arıza Tipi Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

Aynı şekilde yine araç türleri le arıza tipleri arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için Ki-kare testi uygulanması sonucunda, aşağıdaki çizelge elde edilmiştir. Bu aşamada, üç ana metrobüs modeli için analiz gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6. 16 Araç modeli- arıza tipi ilişkisi için Ki-kare Testi sonuçları

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	5231,207 <sup>a</sup>	34	,000
Likelihood Ratio	4512,482	34	,000
Linear-by-Linear Association	218,620	1	,000
N of Valid Cases	48770		

a. 3 cells (5,6%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,09.

Çizelge 6.16'da görüldüğü üzere yine p değeri sıfıra çok yakın çıkmış,  $H_0$  hipotezi reddedilmiştir. Araç türleri ile meydana gelen arızalar, birbirinden bağımsız değildir.

Burdan elde edilen sonuçlara göre, arızaların meydana gelmesinde aracın hangi hatta çalıştığı veya hangi model araç olduğu da önemlidir. Dolayısıyla karar verme mekanizması oluşturulurken bu iki değişkenin de kural tabanlı sürece dahil edilmesi gerektiği yorumu yapılabilir.

#### **6.4 Arızalar Arası Geçen Süreler için Belirlenen Dağılımlar**

Güvenilirlik, belli bir zaman aralığında bir sisteme tanımlanmış olan görevini başarıyla yerine getirme olasılığıdır. Bir sistemin güvenilirliğini analiz etmek için arıza ve onarım oranları ile ilişkili olarak arızalar arası geçen süre ve ortalama tamir süresi gibi verilere ihtiyaç duyulur. Arızalar arası geçen süre, onarılabilir sistemlerde birbiri ardına gelen iki arıza arasında beklenen ortalama süredir [401].

Bu bölümde arızalar arası geçen süreler incelenen üç metrobüs modeli için her bir arıza türü bazında ayrı ayrı belirlenmiştir. İlk olarak Phileas marka metrobüs için, ikinci olarak Karsan marka metrobüs için, son olarak da Mercedes markalı araçların Capacity, Citaro ve Conecto alt modelleri için arızalar arası geçen sürelerin dağılımları saptanmıştır.

Alt bölümde örnek teşkil etmesi amacıyla Phileas markalı araç için programın çıkardığı dağılımlar tablo halinde gösterilmiştir.

##### **6.4.1 Phileas**

Çizelge 6.17, Phileas model metrobüs için her bir arıza türünde ardışık iki arıza arası geçen zamanın dağılımını göstermektedir.

Çizelge 6. 17 Phileas Marka Araç için Arızalar Arası Geçen Sürelerin Dağılımları

	APTS					
	En uygun Dağılım	Kolmogorov-Smirnov Testi		Andersen-Darling Testi	Ki-Kare Testi	
		Istatistik Değeri	p-değeri	Istatistik Değeri	Istatistik Değeri	p-değeri
AKBİL ARIZASI	Wakeby $\alpha=0$ $\beta=0$ $\gamma=4,0E+2$ $\delta=0,42$ $\xi=-15,0$	0,05	0,99	0,24	2,8	0,73
BASINÇLI HAVA HATTI ARIZASI	Johnson SB $\gamma=1,7$ $\delta=0,65$ $\lambda=2,2E+3$ $\xi=-6,5$	0,05	0,83	0,73	7,9	0,34
BASINÇLI YAĞ HATTI ARIZASI	Gen. Pareto $k=-0,2$ $\sigma=4,2E+2$ $\mu=-14,0$	0,04	1	0,22	0,39	1
DİFERANSİYEL ŞANZİMAN ŞAFT ARIZALARI	Wakeby $\alpha=-73,0$ $\beta=11,0$ $\gamma=83,0$ $\delta=0,19$ $\xi=0$	0,04	0,43	0,47	8,7	0,37
DİREKSİYON ARIZALARI	Gamma $\alpha=0,75$ $\beta=91,0$	0,03	0,58	Ho Red	15	0,1
ELEKTRİK SİSTEMİ ARIZALARI	Wakeby $\alpha=-28,0$ $\beta=3,8$ $\gamma=43,0$ $\delta=0,17$ $\xi=-0,8$	0,04	0,04	3	Ho Red	
FREN ŞİKAYETLERİ	Wakeby $\alpha=0$ $\beta=0$ $\gamma=81,0$ $\delta=0,17$ $\xi=-5,2$	0,06	0,04	1,6	8,1	0,42
KAPI ARIZALARI	Pearson 6 $\alpha 1=0,75$ $\alpha 2=18,0$ $\beta=4,0E+3$	0,05	0,59	0,39	5	0,76
KAROSER ARIZALARI	Dagum $k=0,46$ $\alpha=1,6$ $\beta=5,8E+2$	0,06	0,97	2,2	2,1	0,91
KAYIŞ KASNAK ARIZALARI	Dagum $k=0,29$ $\alpha=2,1$ $\beta=3,2E+2$	0,04	0,83	0,5	15	0,04
KLİMA SİSTEMİ ARIZALARI	Dagum $k=0,38$ $a=1,5$ $b=2,4E+2$	0,06	0,63	0,5	6,4	0,5
LASTİK ARIZALARI	Gen. Gamma $k=0,72$ $\alpha=1,4$ $\beta=1,4E+2$	0,05	0,89	2,4	5,1	0,65
MOTOR ARIZALARI	Dagum $k=0,19$ $\alpha=3,3$ $\beta=8,2E+2$	0,07	0,63	0,39	6,1	0,41
SOĞUTMA SİSTEMİ ARIZASI	Johnson SB $\gamma=3,0$ $\delta=0,82$ $\lambda=4,4E+3$ $\xi=-16,0$	0,05	0,59	0,62	3,6	0,83
SÜSPANSİYON SİSTEMİ ARIZALARI	Gen. Pareto $k=0,19$ $\sigma=3,9E+2$ $\mu=-19,0$	0,05	0,98	0,29	0,69	0,99
YAKIT-ENJEKSİYON ARIZALARI	Gen. Pareto $k=0,34$ $\sigma=1,6E+2$ $\mu=-7,5$	0,05	0,8	0,51	5,1	0,64

Phileas türü metrobüste meydana gelen her bir arıza türü için ardışık iki arıza arası geçen sürelerin dağılımı, EasyFit programı aracılığıyla üç ayrı uyum testine göre değerlendirilmiştir. Analizlerin başlangıcında, verilerin ilgili uyum testlerinden en az ikisine uyum sağladığı dağılımların baz alınması kararlaştırılmıştır. Görüldüğü üzere, her bir arıza türü için elde edilen veriler, çeşitli sürekli dağılımlara uymaktadır. Verilerin uydukları dağılımlarla ilgili herhangi bir belirsizlik söz konusu olmamıştır. Bu çizelgede gösterilen her satır, ilgili arıza için p-değeri ve olasılık değeri arasındaki ilişkiye bağlı olarak dağılımın uyup uymadığını göstermektedir. Eğer p-değeri, istatistik değerinden büyük ise,  $H_0$  hipotezi kabul edilir. Yanıseçilen örneklem, ilgili dağılımın karakteristiklerini taşıyor demektir. Bir diğer ifade ile örneklem verileri tüm parametreleri ile belirlenen dağılımdan gelmektedir.

Diğer marka araçlarda ise, arızalar arası geçen sürelerin dağılımları Phileas marklı araçlarda olduğu gibi kolaylıkla tespit edilememiştir. Diğer araçlarda meydana gelen arızaların bazıları için arızalar arası geçen süreler, hiçbir dağılıma uymamaktadır. Bu da

belirsizliğin yalnızca stokastik boyutunu değil, bulanık boyutunu da ele almamız gerektiğini gözler önüne sermektedir.

## **6.5 Onarım Süreleri için Belirlenen Dağılımlar**

Bu bölümde, güvenilirlik çalışmalarında kullanılan başka bir parametre olan her bir arızanın ortalama onarım (tamir) süreleri için modeller bazında dağılımlara yer verilmiştir. Bu kez Conecto markası için dağılımlar tablo halinde gösterilmiştir. Diğer araçlar için onarım süreleri için tespit edilen dağılımlar yorumlanmıştır.

### **6.2.1 Phileas**

Örneklem büyüklüğü çok fazla olan bazı arıza türlerinde uygun bir dağılım bulunabilmesi için verilerin bölünmesi yoluna gidilmiştir. Ancak yine de yalnızca tek bir uyum testinin hipotezinin reddedilemediği verilerle karşılaşılmıştır. Veriler okul dönemi-yaz dönemi bölünmesine gidildiği halde yine de bir dağılıma uymamıştır. Bu durum, verilerin dağılımıyla ilgili belirsizlik yaratmaktadır.

### **6.2.2 Karsan**

Örneklem büyüklüğü çok fazla olan arızalarda uygun dağılımlar tespit edilememiştir. Bazı arızaların onarım süreleri hiçbir dağılıma uymamaktadır. Yine program sonuçlarına göre bazı arızaların uymadığı ama en yakın davranış gösterdiği dağılımlar baz alınmıştır.

### **6.2.3 MERCEDES**

Bu bölümde, Mercedes markalı araçlarda meydana gelen arızaların onarım süreleri, farklı alt modeller kırılımında değerlendirilmiştir.

#### **6.2.3.1 CAPACITY**

Mercedes Capacity araç modeli metrobüslerde de birçok arızanın onarım süreleriyle ilgili dağılım tespit edilememiştir.

#### **6.2.3.2 CITARO**

Mercedes Citaro alt modelli araç, onarım süreleri konusunda en az sayıda arızanın dağılıma uydurulabildiği araç türü olmuştur. On sekiz arıza tipinden yalnızca dördü dağılımlara uygunluk sağlamıştır. Onarım süreleri herhangi bir dağılıma uymayan arızalar, öncelikle yaz ve okul dönemlerine bölünmüş, ancak yine de sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Bu sebepten ilgili arızalar, testlerin çıkardığı en yakın dağılımlara göre değerlendirilecektir.

### 6.2.3.3 CONECTO

Çizelge 6.18, Mercedes-Capacity alt modellenli metrobüs için her bir arıza türünde onarım için geçen sürelerin dağılımını göstermektedir.

Çizelge 6. 18 Mercedes-Conecto Marka Araç için Onarım Süreleri Dağılımları

	CONECTO					
	En uygun Dağılım	Kolmogorov-Smirnov Testi		Andersen-Darling Testi	Ki-Kare Testi	
		İstatistik Değeri	p-değeri	İstatistik Değeri	İstatistik Değeri	p-değeri
AKBİL ARIZASI	Burr k=0.647 $\alpha=2.78$ $\beta=0.085$	Ho Red		Ho Red		Ho Red
BASINÇLI HAVA HATTI ARIZASI	Burr k=0.147 $\alpha=4.13$ $\beta=0.06$	0,128	0,244	1,45	7,61	0,107
BASINÇLI YAĞ HATTI ARIZASI	Dagum k=67.1 $\alpha=1.18$ $\beta=0.002$	0,117	0,044	Ho Red	8,23	0,222
DİFERANSİYEL ŞANZİMAN ŞAFT ARIZALARI	Inv. Gaussian (3P) $\lambda=0.125$ $\mu=0.399$	0,088	0,379	0,712	6,99	0,322
DİREKSİYON ARIZALARI	Burr k=0,719 $\alpha=3,07$ $\beta=0,075$	0,19	0,311	0,521	0,339	0,844
ELEKTRİK SİSTEMİ ARIZALARI	Inv. Gaussian (3P) $\lambda=0.085$ $\mu=0.285$ $\gamma=0.012$	Ho Red		Ho Red		Ho Red
FREN ŞİKAYETLERİ	Lognormal (3P) $\sigma=1.23$ $\mu=-2.32$ $\gamma=0.018$	Ho Red		Ho Red		Ho Red
KAPI ARIZALARI	Gen. Extreme Value k=0.373 $\sigma=0.136$ $\mu=0.145$	Ho Red		Ho Red		Ho Red
KAROSER ARIZALARI	Pearson 5 $\alpha=1.02$ $\beta=0.102$	Ho Red		Ho Red		Ho Red
KAYIŞ KASNAK ARIZALARI	Johnson SB $\gamma=0,425$ $\delta=0,524$ $\lambda=1,39$ $\xi=0,041$	0,122	0,985	0,186	0,37	0,543
KLİMA SİSTEMİ ARIZALARI	Pearson 5 $\alpha=1.25$ $\beta=0.1$	Ho Red		Ho Red		Ho Red
LASTİK ARIZALARI	Wakeby $\alpha=5,09$ $\beta=3,83$ $\gamma=0,538$ $\delta=0,171$ $\xi=-0,217$	0,058	0,281	1,2	7,71	0,462
MOTOR ARIZALARI	Log-Pearson 3 $\alpha=81,6$ $\beta=0,145$ $\gamma=-13,7$	0,11	0,551	0,559	0,689	0,953
SOĞUTMA SİSTEMİ ARIZASI	Fatigue Life (3P) $\alpha=1,54$ $\beta=0,252$ $\gamma=0,013$	0,079	0,664	0,436	5,17	0,522
SÜSPANSİYON SİSTEMİ ARIZALARI	Frechet (3P) $\alpha=0,742$ $\beta=0,071$ $\gamma=0,017$	0,104	0,705	0,622	2,78	0,594
YAKIT-ENJEKSİYON ARIZALARI	Gen. Pareto k=-0,144 $\sigma=1,02$ $\mu=-0,096$	0,107	0,185	1,25	3,98	0,679

Bu alt model araçta da üç uyum testinin de hiçbir dağılıma uymadığı arızalar mevcuttur. Yine en yakın dağılımlar ilgili arızaların yanına belirtilmiştir. Onarım süresi tablosund yorumlandığı gibi, yine her bir satır ilgili arızanın uyum gösteren dağılımı ve bu dağılımla ilgili hesaplanan p-değeri ve istatistik değerini göstermektedir.

Araç arıza dağılımlarının belirsizliği ile ilgili bu durum, kural tabanlı sistemin oluşturulmasında bulanık mantık yaklaşımının kullanımını tetikleyen en önemli etkenlerden biridir. Sürecin halihazırda stokastik davranış gösterdiği açıktır, ancak belirlenen bazı veri gruplarına uygun dağılımlar saptanamamıştır. Dolayısıyla,

dağılımlarla ilgili kullanılacak parametre değerleri ve güvenilirlik değerleri, bulanık değerler olarak ele alınacak ve üyelik dereceleri belirlenecektir.

## 6.6 Dağılımlarla İlgili Genel Bilgiler

Arızalar arası geçen süreler ve onarım süreleri ile ilgili dağılımlar incelendiğinde, bir kısmının uç değerler istatistiği adı altında incelenen dağılımlar olduğu görülebilir.

Burada klasik istatistik kapsamında arıza ile ilişkilendirilen bazı genel dağılımlar (örneğin, weibull) dışında birçok farklı dağılım çalışma kapsamında yer almıştır. Tespit edilen dağılımlar, bulanık kural tabanlı sistemin girdileri için üyelik fonksiyonlarının tespit edilmesinde kullanılacaktır. Bu da, arızaların analizinde ele aldığımız çalışmayı bu konudaki diğer tüm çalışmalardan farklı ve özgün kılmaktadır. Aşağıdaki alt bölümler, arızalarla ilgili parametrelerin uyduğu dağılımlarla ilgili genel bilgileri içermektedir [402].

### 6.4.1 Aşamalı Bi-Weibull Dağılımı

Parametreleri  $\alpha_1 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta_1 > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\gamma_1$  sürekli konum parametresi,  $\alpha_2 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta_2 > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\gamma_2$  sürekli konum parametresidir ( $\gamma_2 > \gamma_1$ ). Parametreler aşağıdaki ilişkiyle sınırlandırılmıştır:

$$\left( \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\beta_1} \right)^{\alpha_1} = \left( \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\beta_2} \right)^{\alpha_2} \quad (6.8)$$

Tanım kümesi  $\gamma_1 \leq x \leq +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha_1}{\beta_1} \left( \frac{x - \gamma_1}{\beta_1} \right)^{\alpha_1 - 1} \exp \left( - \left( \frac{x - \gamma_1}{\beta_1} \right)^{\alpha_1} \right) & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ \frac{\alpha_2}{\beta_2} \left( \frac{x - \gamma_2}{\beta_2} \right)^{\alpha_2 - 1} \exp \left( - \left( \frac{x - \gamma_2}{\beta_2} \right)^{\alpha_2} \right) & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases} \quad (6.9)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;



$$F(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma_1}{\beta_1}\right)^{\alpha_1}\right) & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma_2}{\beta_2}\right)^{\alpha_2}\right) & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases} \quad (6.10)$$

#### 6.4.2 Aşamalı Bi-Üssel Dağılım

Parametreleri  $\lambda_1 > 0$  sürekli ters ölçek parametresi,  $\gamma_1$  sürekli konum parametresi,  $\lambda_2 > 0$  sürekli ters ölçek parametresi,  $\gamma_2$  sürekli konum parametresidir ( $\gamma_2 > \gamma_1$ ). Tanım kümesi  $\gamma_1 \leq x \leq +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \lambda_1 e^{-\lambda_1(x-\gamma_1)} & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ \lambda_2 e^{-\lambda_2(x-\gamma_2)-\lambda_1(\gamma_2-\gamma_1)} & \gamma_2 \leq x \leq +\infty \end{cases} \quad (6.10)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_1(x-\gamma_1)} & \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \\ 1 - e^{-\lambda_2(x-\gamma_2)-\lambda_1(\gamma_2-\gamma_1)} & \gamma_2 < x < +\infty \end{cases} \quad (6.11)$$

#### 6.4.3 Beta Dağılımı

Parametreler  $\alpha_1 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\alpha_2 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $a$  ve  $b$  sürekli sınır parametreleridir ( $a < b$ ). Tanım kümesi  $a \leq x \leq b$  aralığıdır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}} \quad (6.12)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = I_z(\alpha_1, \alpha_2) \quad (6.13)$$

$$z \equiv \frac{x-a}{b-a} \quad (6.14)$$

$B$ , beta fonksiyonu ve  $I_z$  düzenlenmiş tamamlanmamış beta fonksiyonudur.

#### 6.4.4 Burr dağılımı

Bu dağılım, 1941 yılında Irving W. Burr tarafından geliştirilen bu dağılım, yoğunluk fonksiyonu birçok farklı şekil alabildiğinden histogramlara yakınsamada oldukça

kullanışlıdır. Ayrıca simülasyonda, var-yok yanıtı, dağılımlara yakınsama ve normal olmayan kontrol grafiklerinde kullanılır [22,23]. Parametreleri  $k>0$  sürekli şekil parametresi,  $\alpha>0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta>0$  sürekli ölçek parametresi ve  $\gamma >0$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda üç parametrelili Burr dağılımı haline gelir. Tanım kümesi  $\gamma < x < \infty$  aralığındadır. Dört parametrelili Burr dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha k \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{k+1}} \quad (6.15)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = 1 - \left( 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-k} \quad (6.16)$$

Üç parametrelili Burr dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha k \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{k+1}} \quad (6.16)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = 1 - \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-k} \quad (6.17)$$

#### 6.4.5 Dagum Dağılımı

Parametreleri  $k>0$  sürekli şekil parametresi,  $\alpha >0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta >0$  sürekli ölçek parametresi ve  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda üç parametrelili Dagum dağılımı haline gelir. Tanım kümesi  $\gamma < x < +\infty$  aralığındadır. Dört parametrelili Dagum dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha k \left( \frac{x-y}{\beta} \right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x-y}{\beta} \right)^\alpha \right)^{k+1}} \quad (6.18)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \left( 1 + \left( \frac{x-y}{\beta} \right)^\alpha \right)^{-k} \quad (6.19)$$

Üç parametrelili Dagum dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha k \left( \frac{x}{\beta} \right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right)^{k+1}} \quad (6.20)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right)^{-k} \quad (6.21)$$

#### 6.4.6 Erlang Dağılımı

Parametreleri  $m$  pozitif tamsayı şekil parametresi,  $\beta > 0$  sürekli şekil parametresi ve  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda iki parametrelili Erlang dağılımı haline gelir. Tanım kümesi  $\gamma < x < +\infty$  aralığındadır. Dört parametrelili Dagum dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

Üç parametrelili Erlang dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{(x-\gamma)^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp(-(x-\gamma) / \beta) \quad (6.22)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \frac{\Gamma(x-\gamma) / \beta(m)}{\Gamma(m)} \quad (6.23)$$

İki parametrelili Erlang dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{x^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp(-x/\beta) \quad (6.24)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \frac{\Gamma(x/\beta)(m)}{\Gamma(m)} \quad (6.25)$$

$\Gamma$  gamma fonksiyonudur ve  $\Gamma_2$  tamamlanmamış Gamma Fonksiyonudur.

#### 6.4.6 Genelleştirilmiş Lojistik Dağılımı

Parametreleri  $k$  sürekli şekil parametresi,  $\sigma > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\mu$  sürekli

konum parametresidir. Tanım kümesi  $k \neq 0$  için  $1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} > 0$ ,  $k = 0$  için  $-\infty < x < +\infty$

aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(1+kz)^{-1-1/k}}{\sigma(1+(1+kz)^{-1/k})} & k \neq 0 \\ \frac{\exp(-z)}{\sigma(1+\exp(-z))^2} & k = 0 \end{cases} \quad (6.25)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \begin{cases} \frac{1}{1+(1+kz)^{-1/k}} & k \neq 0 \\ \frac{1}{1+\exp(-z)} & k = 0 \end{cases} \quad (6.26)$$

$$z \equiv \frac{(x-\mu)}{\sigma} \quad (6.27)$$

#### 6.4.7 Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı

Parametreleri  $k$  sürekli şekil parametresi,  $\sigma > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\mu$  sürekli

konum parametresidir. Tanım kümesi  $k \geq 0$  için  $\mu \leq x < +\infty$ ,  $k < 0$  için  $\mu \leq x \leq \mu - \sigma/k$

'dir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left( 1 + k \frac{(x-\mu)^{-1-1/k}}{\sigma} \right) & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases} \quad (6.28)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + k \frac{(x - \mu)^{-1-1/k}}{\sigma}\right) & k \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases} \quad (6.29)$$

#### 6.4.8 Genelleştirilmiş Uç Değer Dağılımı

Parametreleri  $k$  sürekli şekil parametresi,  $\sigma > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\mu$  sürekli konum parametresidir. Tanım kümesi  $k \neq 0$  için  $1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0$ ,  $k = 0$  için  $-\infty < x < +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp(-(1 + kz)^{-1/k})(1 + kz)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases} \quad (6.30)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \begin{cases} \exp(-(1 + kz)^{-1/k}) & k \neq 0 \\ \exp(-\exp(-z)) & k = 0 \end{cases} \quad (6.31)$$

$$z \equiv \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (6.32)$$

#### 6.4.9 Hiperbolik Kesen Dağılım

Parametreleri  $\sigma > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\mu$  sürekli konum parametresidir. Tanım kümesi  $-\infty < x < +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\operatorname{sech}\left(\frac{\pi(x - \mu)}{2\sigma}\right)}{2\sigma} \quad (6.33)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \frac{2}{\pi} \arctan\left(\exp\left(\frac{\pi(x - \mu)}{2\sigma}\right)\right) \quad (6.34)$$

#### 6.4.10 Johnson SB Dağılımı

Parametreleri  $\gamma$  sürekli şekil parametresi,  $\delta > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\lambda > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\xi$  sürekli konum parametresidir. Tanım kümesi  $-\xi \leq x \leq \xi + \lambda$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi z(1-z)}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right) \quad (6.35)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \Phi\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right) \quad (6.36)$$

$$z \equiv \frac{(x - \xi)}{\lambda} \quad (6.37)$$

$\Phi$ , Laplace integralidir.

#### 6.4.11 Kumaraswamy Dağılımı

Parametreler  $\alpha_1 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\alpha_2 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $a$  ve  $b$  sürekli sınır parametreleridir ( $a < b$ ). Tanım kümesi  $a \leq x \leq b$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha_1 \alpha_2 z^{\alpha_1 - 1} (1 - z^{\alpha_1})^{\alpha_2 - 1}}{(b - a)} \quad (6.38)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = 1 - (1 - z^{\alpha_1})^{\alpha_2} \quad (6.39)$$

$$z \equiv \frac{x - a}{b - a} \quad (6.40)$$

#### 6.4.12 Log-Logistic Dağılımı

Parametreleri  $\alpha > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta > 0$  sürekli ölçek parametresi ve  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda iki parametrelili Log-Logistic dağılımı haline gelir. Tanım kümesi  $\gamma \leq x < +\infty$  aralığındadır. Üç parametrelili Log-Logistic dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \left( 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-2} \quad (6.41)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \left( 1 + \left( \frac{\beta}{x-\gamma} \right)^{\alpha} \right)^{-1} \quad (6.42)$$

#### 6.4.13 Lognormal Dağılımı

Logaritması normal dağılım gösteren herhangi bir rassal değişken için tek-kuyruklu bir olasılık dağılımdır. Parametreleri;  $\sigma > 0$ ,  $\mu$  sürekli parametreleri ile üç parametrelili lognormal dağılımı için  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda ki parametrelili lognormal dağılıma düşür. Tanım kümesi  $\gamma < x < +\infty$  aralığındadır. Üç parametrelili lognormal dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}{(x-\gamma)\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (6.43)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right) \quad (6.44)$$

şeklindedir.

İki parametrelili lognormal dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right)}{\sigma} \quad (6.45)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\mu)}{\sigma}\right) \quad (6.46)$$

'dır. Burada  $\Phi$  laplace integralidir.

#### 6.4.14 Log-Pearson 3 Dağılımı

Parametreleri  $\alpha > 0$  sürekli parametresi,  $\beta \neq 0$  sürekli parametresi ve  $\gamma$  sürekli parametresidir. Tanım kümesi  $\beta < 0$  için  $0 < x \leq e^\gamma$ ,  $\beta > 0$  için  $e^\gamma \leq x < +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{x|\beta|\Gamma(\alpha)} \left( \frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left( -\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right) \quad (6.47)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(\ln(x)-\gamma)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (6.48)$$

#### 6.4.15 Pearson 5 Dağılımı

Parametreleri  $\alpha > 0$  sürekli parametresi,  $\beta > 0$  sürekli parametresi ve  $\gamma$  sürekli parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda iki parametrelili Pearson 5 dağılıma dönüşür. Tanım kümesi  $\gamma < x < +\infty$  aralığıdır. Üç parametrelili Pearson 5 dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\exp(-\beta/(x-\gamma))}{\beta\Gamma(\alpha)((x-\gamma)/\beta)^{\alpha+1}} \quad (6.49)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = 1 - \frac{\Gamma_{\beta/(x-\gamma)}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (6.50)$$

#### 6.4.16 Pearson 6 Dağılımı

Parametreleri  $\alpha_1 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\alpha_2 > 0 > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta > 0$  sürekli ölçek parametresi,  $\gamma$  sürekli konum parametresidir,  $\gamma \equiv 0$  olduğunda üç parametrelili Pearson 6 dağılıma dönüşür. Tanım kümesi  $\gamma \leq x < +\infty$  aralığıdır. Dört parametrelili Pearson 6 dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{((x-\gamma)/\beta)^{\alpha_1-1}}{\beta B(\alpha_1, \alpha_2) (1 + (x-\gamma)/\beta)^{\alpha_1+\alpha_2}} \quad (6.51)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = I_{(x-\gamma)/(x-\gamma+\beta)}(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (6.52)$$



#### 6.4.17 Ters Gauss Dağılımı

Parametreleri  $\lambda > 0$  sürekli parametresi,  $\mu > 0$  sürekli parametresi ve  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda iki parametrelili Ters Gauss dağılımına dönüşür. Tanım kümesi  $\gamma < x < +\infty$  aralığıdır. Üç parametrelili Ters Gauss dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi(x-\gamma)^3}} \exp\left(-\frac{\lambda(x-\gamma-\mu)^2}{2\mu^2(x-\gamma)}\right) \quad (6.53)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}-1\right)\right) + \Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}+1\right)\right) \exp(2\lambda/\mu) \quad (6.54)$$

$\Phi$  Laplace integralidir.

#### 6.4.18 Yorulma Ömrü (Birnbau-Saunders) Dağılımı

Parametreleri  $\alpha > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta > 0$  sürekli ölçek parametresi ve  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma \equiv 0$  olduğunda iki parametrelili yorulma ömrü dağılıma dönüşür. Tanım kümesi  $\gamma < x < +\infty$  aralığıdır. Üç parametrelili yorulma ömrü dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\sqrt{(x-\gamma)/\beta} + \sqrt{\beta/(x-\gamma)}}{2\alpha(x-\gamma)} \cdot \phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}\right)\right) \quad (6.55)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = \Phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}\right)\right) \quad (6.56)$$

$\phi$  standart normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $\Phi$  laplace integralidir.

#### 6.4.19 Wakeby Dağılımı

Wakeby dağılımı yüzdellik fonksiyon ile tanımlanır:

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta}(1-(1-F)^\beta) - \frac{\gamma}{\delta}(1-(1-F)^{-\delta}) \quad (6.57)$$

Parametreleri tümü sürekli olmak üzere  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \xi$  'dir. Aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

$$\begin{aligned} \alpha \neq 0 \text{ ya da } \gamma \neq 0, \\ \beta + \delta > 0 \text{ ya da } \beta = \gamma = \delta = 0, \\ \text{eğer } \alpha = 0, \beta = 0, \\ \text{eğer } \gamma = 0, \delta = 0, \\ \gamma \geq 0 \text{ ve } \alpha + \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Tanım kümesi eğer  $\delta \geq 0$  ya da  $\gamma > 0$  ise  $\xi \leq x < \infty$  , eğer  $\delta < 0$  ya da  $\gamma = 0$  ise  $\xi \leq x < \xi + \alpha / \beta - \gamma / \delta$  (6.58)

'dir.

#### 6.4.20 Weibull Dağılımı

Parametreleri  $\alpha > 0$  sürekli şekil parametresi,  $\beta > 0$  sürekli ölçek parametresi ve  $\gamma$  sürekli konum parametresidir.  $\gamma = 0$  olduğunda iki parametrelili weibull dağılıma dönüşür. Tanım kümesi  $\gamma \leq x < +\infty$  aralığıdır. Üç parametrelili weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \exp \left( - \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right) \quad (6.59)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{x - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right) \quad (6.60)$$

#### 6.4.21 Negatif Binom

Parametreleri  $n$  pozitif tamsayı başarı oranı ve  $p$  ( $0 < p < 1$ ) tek bir başarının sürekli olasılığıdır. Tanım kümesi  $0 \leq x < +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \binom{n + x - 1}{x} p^n (1 - p)^x \quad (6.61)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = p^n \sum_{i=0}^x \binom{n + i - 1}{i} (1 - p)^i \quad (6.62)$$

### 6.4.22 Üssel Dağılım

Parametreleri sürekli ters ölçek parametresi  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) ve sürekli konum parametresi  $\gamma$  (Sıfıra denk olduğunda tek parametreleri üssel dağılıma dönüşür). Tanım kümesi  $\gamma \leq x < +\infty$  aralığıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x) \quad (6.63)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x) \quad (6.60)$$

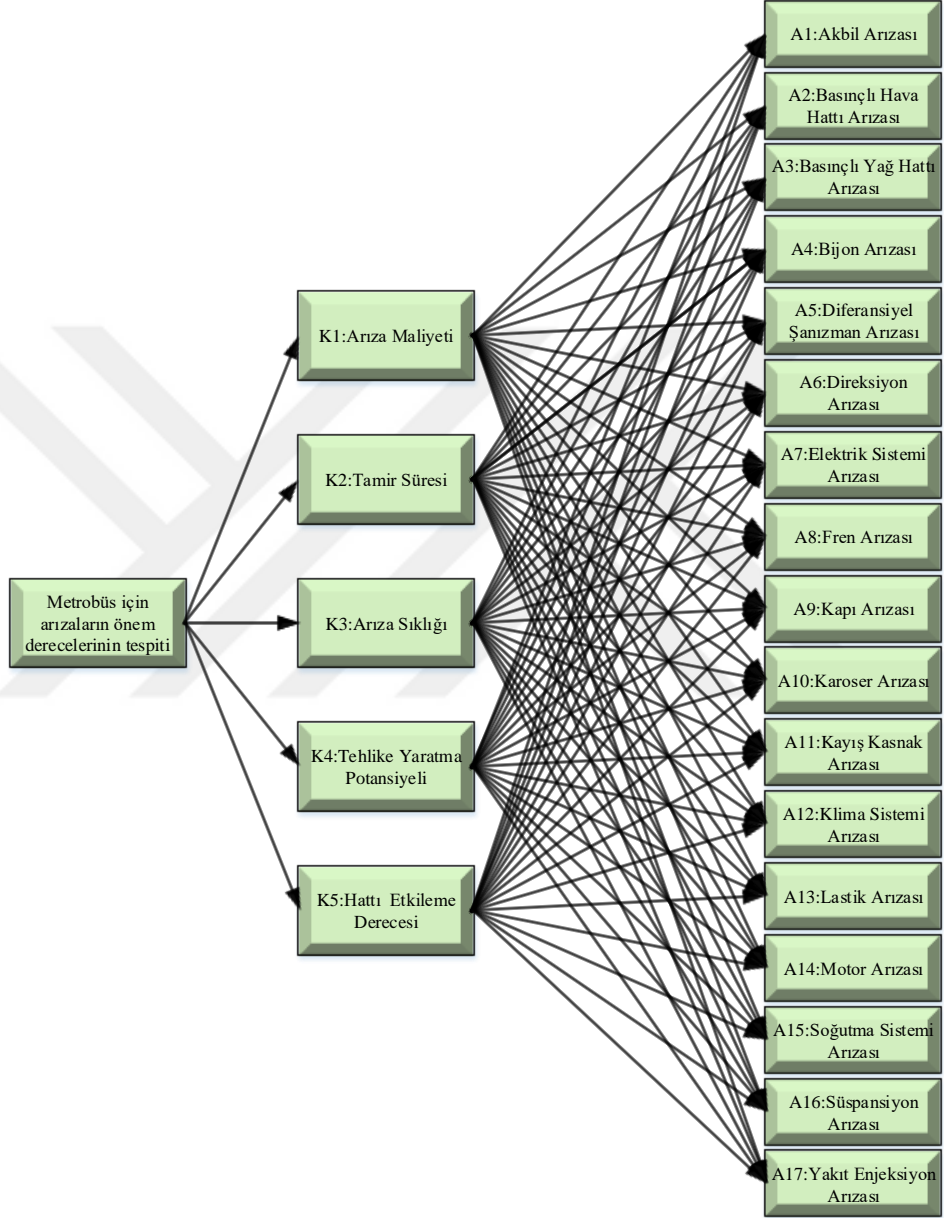


### ARIZALARIN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bakım yönetimi ve güvenilirlik konuları açısından sürdürülebilirliği korumak için hataların modellenmesi ve analizi çok önemlidir. Özellikle toplu taşımacılıkta kullanılan araçlar için arıza analizi yapılması, şirketleri önemli yüklerden ve yüksek maliyetlerden koruyabilir. Arızaların sayısal olarak ölçülebilen etkileri vardır. Araçların ilgili arızalarını daha önce yaşamış olan kişilerin görüşlerini alarak bir karar verme süreci oluşturmak, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesinde daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu nedenle, sürecin doğasından kaynaklanan stokastik belirsizliği ve başarısızlıkları analiz ederken karar vericilerin değerlendirmelerinden kaynaklanan bulanık belirsizliği aynı anda dikkate almak çok önemlidir. Tezin bu kısmında bu amaçla Delphi yöntemi, tip-2 bulanık AHS ve stokastik TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemlerinin birarada kullanarak arızaların önem sıralamalarını belirlenmiştir. Bu sayede, bu çalışmanın bir bakım politikası oluşturmada hangi arızanın etkisinin büyük olduğu ve bu yönde strateji geliştirilmesi konusunda yol göstereceği açıktır. Delphi yöntemi ile uzmanların kriter ve alternatif değerlendirmelerini elde edilmiş, tip-2 AHS metodu ile kriter ağırlıklarının hesaplanması gerçekleştirilmiş ve son olarak stokastik TOPSIS yaklaşımı ile de sıralama elde edilmiştir. Özetle bu bölümde, metrobüs sisteminin geçirdiği arızaların önceliklendirme çalışması gerçekleştirilmiştir.

## 7.1 Arıza önceliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçütler

Değerlendirme sürecinde kullanılacak kriterler belirlenirken, uzman görüşü ve literatür taraması baz alınmıştır. Aşağıda görülen hiyerarşi, ilgili araştırmalar sonucunda oluşturulan değerlendirme kriterleri kümesini göstermektedir.



Şekil 7. 50 Arızaların önceliklendirilmesinde kullanılan hiyerarşi

## 7.2 Önerilen Yaklaşım

Bu alt bölümde, arıza önceliklerini belirlemede başvurulan hibrit yaklaşım detaylı şekilde açıklanmıştır.

### **7.2.1 Delphi Yöntemi**

Delphi yöntemi, uzman görüşlerinin anketler vasıtasıyla elde edilme yöntemidir. Dalkey ve Helmer [403] tarafından geliştirilen geleneksel Delphi Yöntemi yaygın olarak anketlerin sonuçlarıyla tutarlı bir cevap akışı elde etmek için kullanılmaktadır. Delphi yöntemi, belirli bir konu hakkında yazılı, tartışarak ve geri bildirim verme formatlarında iletişim kuran anonim uzmanların sonuçlarını bir araya getirir ve analiz eder. Anonim uzmanlar, karşılıklı bir fikir birliği sağlanana kadar bilgi becerileri, uzmanlık ve fikirleri paylaşırlar [404], [405]. Bu tez kapsamında uzmanların kriter ve alternatif değerlendirmelerini elde ederken, Delphi yönteminden faydalanılmıştır. Hazırlanan anketler uzmanlara gönderilerek, tutarlı sonuçlar elde edinceye dek değerlendirmeleri talep edilmiştir.

### **7.2.2 Tip-2 Bulanık AHS**

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Saaty tarafından geliştirilen çok kriterli bir karar verme yöntemidir [406]. Bu yaklaşım, niceliksel ve niteliksel kriterleri içeren problemlerin çözümünde çok kullanışlıdır [407], [408]. Laarhoven ve Pedrycz [409], ilk olarak bulanık mantıkla AHS'yi kullanmayı öneren araştırmacılarıdır. Buckley [410] tarafından önerilen yöntemde ise bulanık ağırlık ve performans skorları elde etmek için geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni, bulanık durumları kolayca genelleştirmek ve karşılaştırma matrislerinden tek bir çözüm elde etmeyi garanti etmektir. Bu tez kapsamında Buckley'in yaklaşımına dayanarak, kriter ağırlıklarının belirleme konusundaki belirsizlikleri daha iyi yansıtabilmek için interval tip-2 bulanık AHS yöntemi uygulanmıştır [408].

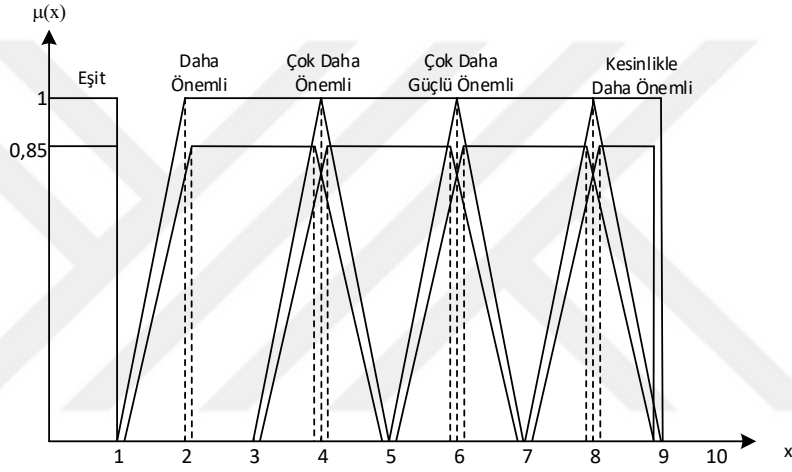
Tip-2 bulanık AHS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [408], [411]–[413]:

Adım 1: Karar hiyerarşisi oluşturulur.

Adım 2: Dilsel terimleri ve üyelik fonksiyonlarını belirlenir. Bu yazıda Çizelge 7.19'da gösterilen dilsel ölçekler ve Şekil 7.51'de gösterilen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Çizelge 7. 19 Dilsel terimler ve karşılık gelen aralık tip-2 bulanık sayılar

Dilsel terimler	Karşılık gelen interval tip-2 bulanık sayılar
Eşit (E)	((1, 1, 1, 1; 1, 1), (1, 1, 1, 1; 0.85, 0.85))
Daha Önemli (DÖ)	((1, 2, 4, 5; 1, 1), (1.1, 2.1, 3.9, 4.9; 0.85, 0.85))
Çok daha önemli (ÇÖ)	((3, 4, 6, 7; 1, 1), (3.1, 4.1, 5.9, 6.9; 0.85, 0.85))
Çok daha güçlü önemli (ÇGÖ)	((5, 6, 8, 9; 1, 1), (5.1, 6.1, 7.9, 8.9; 0.85, 0.85))
Kesinlikle daha önemli (KÖ)	((7, 8, 9, 9; 1, 1), (7.1, 8.1, 8.9, 8.9; 0.85, 0.85))



Şekil 7. 51 Dilsel Terimlerin Üyelik Fonksiyonları

3. Adım: Bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \dots & \tilde{a}_{1m} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \dots & \tilde{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \tilde{a}_{1n} & \tilde{a}_{2n} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \tilde{a}_{ij} = \frac{1}{\tilde{a}_{ji}} \quad (7.1)$$

örneğin;  $\tilde{a}_{31} = \frac{1}{\tilde{a}_{13}}$

$$\tilde{a} = ((a_{11}^U; a_{12}^U; a_{13}^U; a_{14}^U; H_1(a^U); H_2(a^U)), ((a_{11}^L; a_{12}^L; a_{13}^L; a_{14}^L; H_1(a^L); H_2(a^L))) \quad (7.2)$$

Yani;

$$\frac{1}{\tilde{a}} = ((\frac{1}{a_{14}^U}; \frac{1}{a_{13}^U}; \frac{1}{a_{12}^U}; \frac{1}{a_{11}^U}; H_1(a_{12}^U); H_2(a_{13}^U)), ((\frac{1}{a_{14}^L}; \frac{1}{a_{13}^L}; \frac{1}{a_{12}^L}; \frac{1}{a_{11}^L}; H_1(a_{12}^L); H_2(a_{13}^L))) \quad (7.3)$$

Adım 4: İkili karşılaştırmalar için tutarlılık oranı hesaplanır:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (7.4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7.5)$$

Tutarlılık oranı (CI) 0,1'den küçükse, ikili karşılaştırma matrisleri tutarlıdır. Aksi halde karar vericilerden karşılaştırma matrislerini yeniden oluşturmaları istenir ve karar matrisleri yeniden değerlendirilir.

Adım 5: Geometrik ortalamalar hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}] \quad (7.6)$$

$$(\tilde{a}_{ij})^{1/n} = \left( (\tilde{a}_{i1}^U)^{1/n}, (\tilde{a}_{i2}^U)^{1/n}, (\tilde{a}_{i3}^U)^{1/n}, (\tilde{a}_{i4}^U)^{1/n}, H_1(a_{i2}^U), H_2(a_{i3}^U); (\tilde{a}_{i1}^L)^{1/n}, (\tilde{a}_{i2}^L)^{1/n}, (\tilde{a}_{i3}^L)^{1/n}, (\tilde{a}_{i4}^L)^{1/n}, H_1(a_{i2}^L), H_2(a_{i3}^L)) \right) \quad (7.7)$$

Adım 6: Kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi elde edilir:

$$w_i = \tilde{r}_i = [\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad (7.8)$$

Adım 7: Kriterlerin önem derecesini belirlemek için bulanık sayıları netleştirilir. Bu tezde, ağırlık merkezi (COA) metodu aşağıdaki gibi kullanılmıştır (Çolak ve Kaya, 2017):

$$\tilde{w}_j = \frac{\int xu(x)dx}{\int u(x)dx} = \frac{-w_{j1} \times w_{j2} + w_{j3} \times w_{j4} + 1/3(w_{j4} - w_{j3})^2 - 1/3(w_{j2} - w_{j1})^2}{-w_{j1} - w_{j2} + w_{j3} + w_{j4}} \quad (7.9)$$

Kriter ağırlıkları bu 7 adım sonunda belirlenmesinin ardından, hesaplanan ağırlıkları kullanarak arızaların önem sıralamasını elde etmede başvurduğumuz yaklaşım olan TOPSIS yöntemine geçilmiştir. Aşağıdaki alt bölümde, bu yöntemin açıklamaları yer almaktadır.

### 7.2.3 Stokastik TOPSIS

Hwang ve Yoon [414] tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüme en kısa ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki alternatifin seçilmesini amaçlar. Bu yöntem, karar vericinin belirli kriterlere göre gerçekleştirdiği sayısal değerlendirmeler yoluyla farklı alternatifleri sıralamak için çok kriterli bir karar verme tekniğidir [415]. Gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek ve sürece insan doğasının müdahalesinden



kaynaklı belirsizliği modellemede TOPSIS yönteminin bulanık mantık yaklaşımı ile kullanılması oldukça yaygındır; literatürde bu yolla yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [408], [411]–[413]. Ancak bu yöntem, elde edilen verilerin rassallığından kaynaklanan belirsizliğin yansıtıldığı herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu tez kapsamında ilke kez stokastik belirsizliği göz önünde bulunduran TOPSIS yaklaşımı geliştirilmiştir.

Bu tez, toplu taşıma araçları için arıza analizini ele alan ve bir önceliklendirme gerçekleştiren ilk çalışmadır. Bununla birlikte ilk kez bu çalışma ile birlikte bu amaç için stokastik TOPSIS yöntemi geliştirilmiştir. Bu nedenle bu tezin daha önce sayılan nedenlerle birlikte bu yönden de literatürde bir boşluğu dolduracağı açıktır. Geliştirilen stokastik TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [411], [414], [416]–[418]:

Adım 1: Standartlaştırılmış stokastik karar matrisi  $A$  oluşturulur.  $n$  değerlendirme birimi ve  $m$  değerlendirme indeksi için ile bütünsel bir değerlendirme için, karar matrisi  $A$ :

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} f_1 & f_2 & \dots & f_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7.10)$$

Uzmanlar, net değerler, üst ve alt sınırlarla en olası değeri (kesin olmayan) veya iki öğenin karşılaştırılması için alt ve üst sınırlarla bir aralık (tamamen kesin olmayan) şeklinde değerlendirmeler yapabilir. Formülde,  $a_{ij} = f_j(x_i)$   $i$ 'nci değerlendirmenin  $j$ 'nin değerlendirme göre indeksini gösterir,  $i = 1, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ .

Adım 2: Uzmanların kesin olmayan tercihleri beta stokastik değerlendirmelere dönüştürülür. Stokastik bir değerlendirmenin net değerini elde etmek için,  $a_{ij}$ , dönüşümler  $\theta_{ij}$  parametrelili  $f_{ij}(a_{ij} | \theta_{ij})$  olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre yapılır. Örneğin,  $a_{12}=5$  ise  $a_{12} \sim f_{12} = 5$  'tir. Eğer  $a_{12} = [1, 3, 5]$  ise, o zaman bir alt sınır ( $LL$ ), büyük olasılıkla ( $ML$ ) ve üst sınır ( $UL$ ) olarak üçgen bir dağılım  $a_{12} \sim f_{12}(LL, ML, UL) = T_{12}(1, 3, 5)$  olarak modellenir. Son olarak, eğer  $a_{12} = [1, 3]$  ise, o zaman  $a_{12} \sim f_{12}(LL, UL)$  olarak düzgün dağılım ile modellenir. Bu farklı dağılımların hesaplanma zorluğu nedeniyle, stokastik ikili karşılaştırmalar beta dağılımına sahip ikili karşılaştırmalara,  $\tilde{\alpha}_{ij}$ , dönüştürülür.  $\tilde{\alpha}_{ij}$  terimi,  $LL \leq \tilde{\alpha}_{ij} \leq UL$  ve  $\alpha, \beta \geq 1$  ile, şekil

parametresi  $(\alpha, \beta)$  ve lokasyon parametresi  $(UL, LL)$  ile  $B(\tilde{\alpha}_{ij} | \alpha, \beta, LL, UL)$  beta dağılımına sahiptir.

Tüm  $a_{ij}$  'leri beta rasgele değişken  $\tilde{\alpha}_{ij}$  olarak modellemek için, şekil  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$  ve konum  $(LL_{ij}, UL_{ij})$  parametreleri momentler yöntemine (MOM) göre tahmin edilir. Birinci ve ikinci momentler alınarak örneklem ortalaması ve varyans elde edilir.

$$E[\tilde{\alpha}_{ij}] = LL + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} (UL - LL) \quad (7.11)$$

$$Var(\tilde{\alpha}_{ij}) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)} (UL - LL) \quad (7.12)$$

Eşitlik (7.11) ve (7.12) ile örneklem ortalaması  $\tilde{\alpha}_{ij}$  ve varyans  $S_{ij}^2$  hesaplanarak, şekil parametreleri  $\hat{\alpha}_{ij}$  ve  $\hat{\beta}_{ij}$  'nin tahminleri aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır:

$$\hat{\alpha}_{ij} = \left( \frac{\bar{a}_{ij} - LL}{UL - LL} \right) \left( \frac{\left( \frac{\bar{a}_{ij} - LL}{UL - LL} \right) \left( 1 - \frac{\bar{a}_{ij} - LL}{UL - LL} \right)}{\frac{s_{ij}^2}{(UL - LL)^2}} - 1 \right) \quad (7.13)$$

$$\hat{\beta}_{ij} = \left( 1 - \frac{\bar{a}_{ij} - LL}{UL - LL} \right) \left( \frac{\left( \frac{\bar{a}_{ij} - LL}{UL - LL} \right) \left( 1 - \frac{\bar{a}_{ij} - LL}{UL - LL} \right)}{\frac{s_{ij}^2}{(UL - LL)^2}} - 1 \right) \quad (7.14)$$

Stokastik ikili karşılaştırmaların beta dağılımlı ikili karşılaştırmalara dönüştürülmesi için MOM'un uygulanmasıyla, aşağıdaki çıktılar elde edilir:

$$\tilde{\alpha}_{ij} = a_{ij} \quad \text{eğer } a_{ij} \text{ net ise} \quad (7.15)$$

$$\tilde{\alpha}_{ij} \sim B(\hat{\alpha}_{ij} = 1, \hat{\beta}_{ij} = 1, LL_{ij}, UL_{ij}) \quad \text{eğer } a_{ij} \sim U(LL_{ij}, UL_{ij}) \text{ ise} \quad (7.16)$$

$$\tilde{\alpha}_{ij} \sim B(\hat{\alpha}_{ij}, \hat{\beta}_{ij}, LL_{ij}, UL_{ij}) \quad \text{eğer } a_{ij} \sim T(LL_{ij}, LL_{ij}, UL_{ij}) \text{ ise} \quad (7.17)$$

$\hat{\alpha}_{ij}$  ve  $\hat{\beta}_{ij}$  Eşitlik (7.13) ve (7.14)'ten elde edilir.

Bu hesaplamalar için [418];

$$\bar{a}_{ij} = (LL_{ij} + ML_{ij} + UL_{ij}) / 3 \quad (7.18)$$

$$ve S_{ij}^2 = (LL_{ij}^2 + ML_{ij}^2 + UL_{ij}^2 - LL_{ij}ML_{ij} - LL_{ij}UL_{ij} - ML_{ij}UL_{ij})/18 \quad (7.19)$$

Adım 4: Beta dağılımlı değerlendirmeler, net değerlere dönüştürülür. Her bir  $\tilde{\alpha}_{ij}$ 'nin net değeri olarak, beta dağılımının medyan değeri hesaplanır. Beta dağılımının medyanı,  $m(\tilde{\alpha}_{ij}, \tilde{\beta}_{ij})$ , Kerman [419] tarafından önerilen kapalı form yaklaşımı kullanılarak elde edilir.

$$m(\hat{\alpha}_{ij}, \hat{\beta}_{ij}) \approx \frac{\hat{\alpha}_{ij} - 1/3}{\hat{\alpha}_{ij} + \hat{\beta}_{ij} - 2/3} \quad (7.20)$$

Medyan, mod değerinin altında ve ortalama değerinin üstünde aşağıdaki gibi sınırlandırılır:

$$\frac{\hat{\alpha}_{ij} - 1}{\hat{\alpha}_{ij} + \hat{\beta}_{ij} - 2} \leq m(\hat{\alpha}_{ij}, \hat{\beta}_{ij}) \leq \frac{\hat{\alpha}_{ij}}{\hat{\alpha}_{ij} + \hat{\beta}_{ij}} \quad (7.21)$$

$\hat{\beta}_{ij} \leq \hat{\alpha}_{ij}$  olduğu durumda, eşitlik yer değiştirir. Daha sonra,  $a_{ij}$  karşılaştırması için,  $LL_{ij}$  ve  $UL_{ij}$  parametreleri dikkate alınarak, medyan değeri aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir [420]:

$$a_{ij} = LL_{ij} + m(\hat{\alpha}_{ij}, \hat{\beta}_{ij}) * (UL_{ij} - LL_{ij}) \quad (7.22)$$

Adım 4: Beta stokastik değerlerini net değerlere dönüştürdükten sonra matris A, matris R olarak standardize edilir:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & \dots & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (7.23)$$

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (7.24)$$

Adım 5:  $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$  ağırlık vektörü ile ağırlıklandırılmış ve standartlaştırılmış karar matrisi V oluşturulur:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{21} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & \dots & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (7.25)$$

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7.26)$$

**Step 6:** Pozitif ideal çözüm  $x^+$  ve negatif ideal çözüm  $x^-$  aşağıdaki gibi belirlenir:

$$x^+ = \left\{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, n \right\} = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_m^+\} \quad (7.27)$$

$$x^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, n \right\} = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_m^-\} \quad (7.28)$$

**Step 7:** İdeal çözüm ve alternatifler arasındaki mesafeleri hesaplanır. Her bir alternatifin ideal çözüm  $x^+$  'ya olan uzaklığı:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - x_j^+)^2} \quad (7.28)$$

Her bir alternatifin negatif ideal çözüm  $x^-$  'ye uzaklığı:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - x_j^-)^2} \quad (7.29)$$

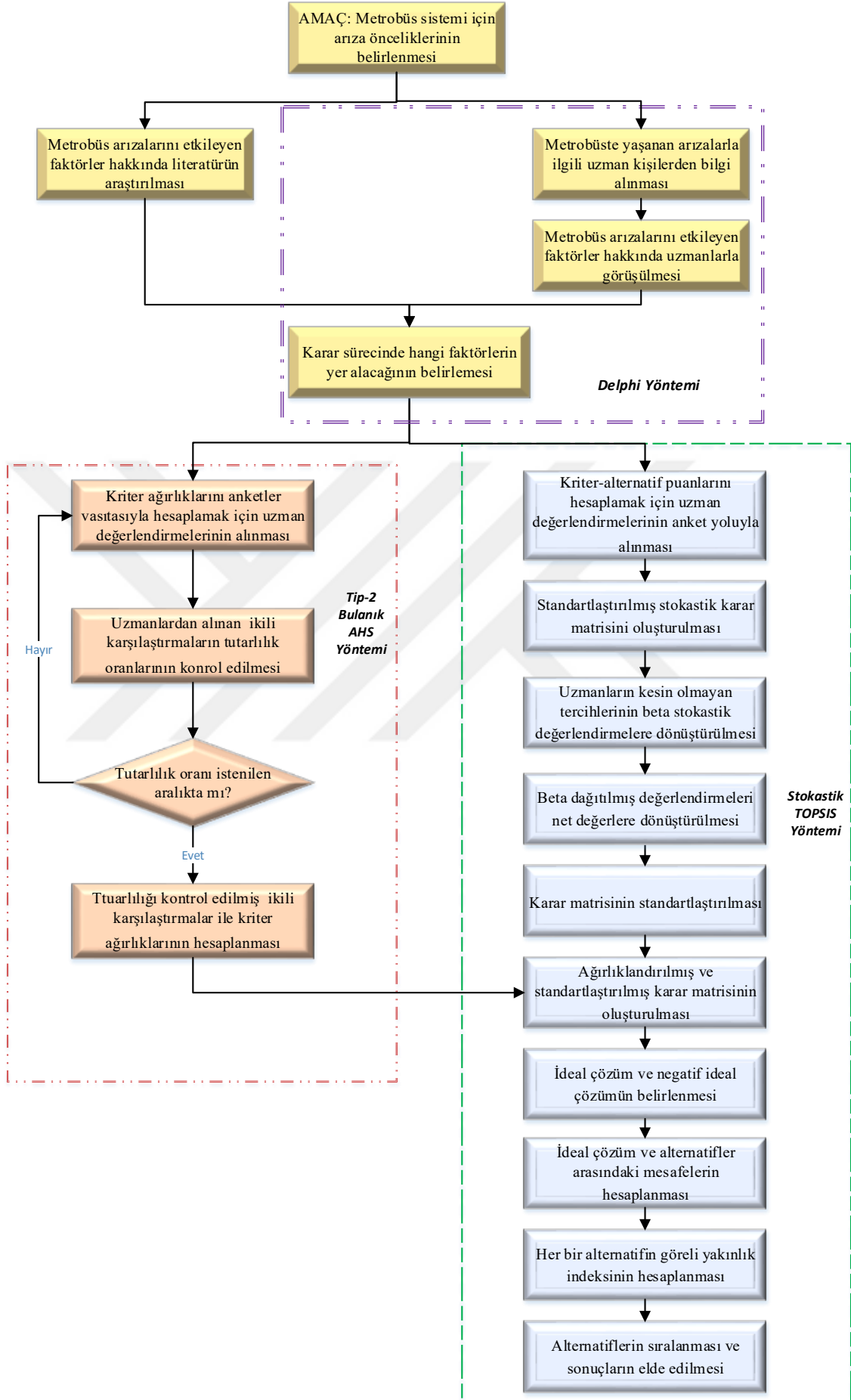
**Step 8:** Her bir alternatifin ideal çözüm  $c_i$  'ye göre göreceli yakınlık indeksini hesaplayın:

$$c_i = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad (7.30)$$

$0 \leq c_i \leq 1$ . Eğer  $x_i = x^+$  ise,  $c_i = 1$  ; eğer  $x_i = x^-$  ise,  $c_i = 0,5$  ; eğer  $x_i = x^-$  ise,  $c_i = 0$  .

**Step 9:** Arıza önceliklerini  $c_i$  'nin azalan değerlerine göre sıralayın.

Önerilen hibrit yaklaşıma ait akış şeması aşağıdaki Şekil 7.52' deki gibidir:



Şekil 7. 52 Arıza önceliklendirme çalışması için çizilen akış şeması

#### 7.2.4 Uygulama

Çalışmanın bu alt bölümünde Delphi Yöntemi ve tip-2 interval bulanık AHS yöntemi ve ilk kez bu çalışma kapsamında metrobüssistemi için geliştirilen stokastik TOPSIS yöntemi ile oluşturulan hibrit yaklaşım sonucunda önceliklendirilen arızalar için çıkan sonuçlar yer almaktadır. Örnek olarak Capacity markalı araç için ara hesaplamalar gösterilmiştir. Diğer araçlar için sonuçlar, Çizelge 4.26'da yer almaktadır.

Arızaların sıralamasını elde etmek için öncelikle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bu amaçla, süreçteki belirsizlik göz önüne alınarak bulanık mantık kullanılmış ve kriter ağırlıklarının hesaplanmasında tip-2 bulanıklığına dayalı AHS kullanılmıştır. Alternatiflerin sıralanması için kullanılacak beş kriter belirlenmiştir. Bu kriterler aşağıdaki gibidir: K1: Onarım süresi, K2: Arıza Frekansı, K3: Tehlike yaratma potansiyeli, K4: Hattı etkileme derecesi etkisi ve K5: Arıza maliyeti. Belirlediğimiz kriterleri değerlendirmek için on uzmandan tarafımızdan hazırlanan anketi doldurmaları istenmiştir. Çizelge 7.20, Çizelge 7.18'de gösterilen dilsel terimleri kullanarak Uzman-1 tarafından doldurulan değerlendirme matrisini göstermektedir.

Çizelge 7. 20 Kriter ağırlıkları için uzman-1 değerlendirmeleri

<i>Uzman-1</i>	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	1/DÖ	1/ÇDÖ	1/DÖ	1/ÇGÖ
K2	DÖ	1	E	E	1/DÖ
K3	ÇDÖ	E	1	E	1/ÇDÖ
K4	DÖ	E	E	1	1/KÖ
K5	ÇGÖ	DÖ	ÇDÖ	KÖ	1

On adet uzman ağırlıkları elde etmek için kriterleri değerlendirildikten sonra, tüm ikili karşılaştırma matrisleri tutarlılık açısından kontrol edilir. Matrislerden herhangi biri tutarsız bulunursa, uzmanlardan anketleri tutarlı hale gelene kadar tekrar doldurmaları istenir. Çizelge 7.17, uzmanların ölçüt ağırlıkları için değerlendirmelerinin tutarlılık oranlarını göstermektedir.

Çizelge 7. 21 Uzmanların değerlendirmeleri için tutarlılık oranları

<b>Tutarlılık Oranları</b>	
Uzman-1	0.070382
Uzman-2	0.080838
Uzman-3	0.083257
Uzman-4	0.066799
Uzman-5	0.082064
Uzman-6	0.040538
Uzman-7	0.078631
Uzman-8	0.085656
Uzman-9	0.072571
Uzman-10	0.094063

Kriter ağırlıkları, tüm ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığının ölçülmesinden sonra interval tipi-2 bulanık AHS yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 7.22 kriterlerin ağırlıklarını göstermektedir.

Çizelge 7. 22 Arıza analizinde kullanılan kriterlerin ağırlıkları

<b>Kriter Ağırlıkları</b>	
<b>K1</b>	0.093
<b>K2</b>	0.145
<b>K3</b>	0.200
<b>K4</b>	0.159
<b>K5</b>	0.544

Çizelge 4.18 incelendiğinde, en yüksek ağırlığa sahip olan kriterin K5 olarak kodlanan “arıza maliyeti” olduğu görülmektedir. En düşük ağırlıklı kriter, K1 olarak kodlanan “Onarım süresi” olarak belirlenmiştir. Bu noktadan alınacak sonuç, arıza önceliklendirmesi sürecinde bu iki kriter en yüksek ve en düşük öneme sahiptir. Bu kriterlerde sağlanacak iyileştirmeler süreci sırasıyla en fazla/en az etkileyecektir.

Kriterler ağırlıklarının hesaplanmasından sonra, kriter-alternatif matrisleri oluşturulur. Bu matrisler oluşturulurken, birinci ve ikinci kriter için beta dağılımı, beşinci kriter için düzgün dağılım ve kalan kriterler için net değerler kullanılmıştır. Bu dağılımları belirlemek için Easyfit yazılımı kullanılmış ve hesaplamalarda ilgili verilere en yakın

dağılıma başvurulmuştur. Bu esneklik, stokastik karar verme yaklaşımında çok farklı dağılımların kullanılabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yöntemle farklı dağılımlar, ortak dağılım “beta dağılımına” dönüştürülerek değerlendirilmiştir. Oluşturulan kriter-alternatif matrisi, Çizelge 7.23'de görülmektedir.

Çizelge 7. 23 Kriter- alternatif matrisi

Kriter/ Alternatif	A1	A2	A3	A4	A5	A6
K1	B(2.25,4.17E+6,0.013,2.57E+5)	B(0.806,21.9,-1.00E-14,13.3)	B(0.546,16.1,6.27E-15,17.0)	B(0.944,6.0,0.05,4.72)	B(1.62,30.8,5.86E-15,10.5)	B(0.739,26.7,1.43E-15,12.3)
K2	U(-6.9E+2,1.0E+3)	B(0.561,5.01,-1.00E-14,456.0)	B(0.584,6.51,-1.00E-14,620.0)	U(-8.2E+2,1.3E+3)	B(0.397,4.42,-1.00E-14,782.0)	B(0.532,4.65,-1.00E-14,782.0)
K3	1	5	5	5	7	7
K4	3	3	7	3	5	5
K5	1	5	5	5	5	7
Kriter/ Alternatif	A7	A8	A9	A10	A11	A12
K1	B(0.673,27.2,1.07E-15,18.1)	B(0.777,12.6,2.98E-17,7.94)	B(1.66,6.20E+1,4.13E-4,9.64E+10)	B(0.406,7.17,1.60E-15,3.95)	B(1.2,26.3,0.05,12.6)	B(0.494,33.3,2.26E-15,17.1)
K2	B(0.501,5.79,-1.00E-14,164.0)	B(0.471,5.09,-1.00E-14,435.0)	B(0.393,8.35,-2.20E-15,546.0)	U(1.6E+2,2.9E+2)	B(0.575,5.71,-1.00E-14,355.0)	B(0.441,12.0,7.43E-15,702.0)
K3	5	7	7	5	7	3
K4	3	7	3	3	5	1
K5	5	7	5	5	7	5
Kriter/ Alternatif	A13	A14	A15	A16	A17	
K1	B(0.772,56.3,7.58E-15,49.2)	B(0.871,23.1,-7.21E-16,9.57)	B(1.52,2.00E+1,1,-7.57E-5,7.57E+10)	B(1.17,13.8,1.30E-15,4.95)	B(0.863,20.0,-2.55E-15,11.7)	
K2	B(0.577,6.07,-1.00E-14,419.0)	B(0.513,4.51,-1.00E-14,528.0)	B(0.386,7.92,-1.00E-14,271.0)	B(0.456,6.01,-1.00E-14,1.04E+3)	B(0.51,4.2,-1.00E-14,597.0)	
K3	7	9	7	5	9	
K4	7	7	5	3	9	
K5	7	9	7	7	7	

İlk kriter için değerlendirmeler yapılırken, ilgili araç için yaklaşık 5 yıl boyunca toplanan tamir süreleri ele alınmış ve bu verilerin beta dağılımları EasyFit programı ile hesaplanmıştır. İkinci kriter olan arıza sıklığı için arızalar arasındaki süreler değerlendirilmiştir ve ilgili dağılımlar aynı zaman dilimi için hesaplanmıştır. Kalan kriterler için İETT'de çalışan uzmanlardan dilsel değerlendirmeler alınmıştır. Kriter-alternatif değerlendirmeleri, İETT'den üç uzmanla görüşülerek yine anketler vasıtasıyla



elde edilmiştir. Çizelge 7.24, kriter-alternatif değerlendirmelerinde kullanılan dilsel ölçeği göstermektedir.

Çizelge 7. 24 Stokastik TOPSIS için dilsel terimler

<b>Dilsel Terim</b>	<b>Karşılık Gelen Değerlendirme Puanı</b>
Düşük (D)	1
Orta Düşük (OD)	3
Orta (O)	5
Yüksek (Y)	7
Çok Yüksek ÇY)	9

Kriter-alternatif tablosu incelendiğinde, bazı alternatifler için belirlenen dağılımların beta dağılımı ile uyuşmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda, hesaplamalarda düzgün dağılım kullanılır, düzgün dağılım kolayca beta dağılımına çevrilebilir. Bu noktada hesaplamalar artık beta'dan farklı dağılımlar içerdiğinden, öncelikle bu dağılımlar beta dağılımına dönüştürülmüştür. Çizelge 7.25, bu dönüştürülmüş dağılımları göstermektedir.

Çizelge 7. 25 Beta dağıtılmış değerlendirmeler

Kriter / Alternatif	A1	A2	A3	A4	A5	A6
K1	B(2.25,4.17E+6,0.013,2.57E+5)	B(0.806,21.9,-1.00E-14,13.3)	B(0.546,16.1,6.27E-15,17.0)	B(0.944,6.0,0.05,4.72)	B(1.62,30.8,5.86E-15,10.5)	B(0.739,26.7,1.43E-15,12.3)
K2	B(1,1,-6.9E+2,1.0E+3)	B(0.561,5.01,-1.00E-14,456.0)	B(0.584,6.51,-1.00E-14,620.0)	B(1,1,-8.2E+2,1.3E+3)	B(0.397,4.42,-1.00E-14,782.0)	B(0.532,4.65,-1.00E-14,782.0)
K3	1	5	5	5	7	7
K4	3	3	7	3	5	5
K5	1	5	5	5	5	7

Kriter / Alternatif	A7	A8	A9	A10	A11	A12
K1	B(0.673,27.2,1.07E-15,18.1)	B(0.777,12.6,2.98E-17,7.94)	B(1.66,6.20E+11,4.13E-4,9.64E+10)	B(0.406,7.17,1.60E-15,3.95)	B(1.2,26.3,0.05,12.6)	B(0.494,33.3,2.26E-15,17.1)
K2	B(0.501,5.79,-1.00E-14,164.0)	B(0.471,5.09,-1.00E-14,435.0)	B(0.393,8.35,-2.20E-15,546.0)		B(0.575,5.71,-1.00E-14,355.0)	B(0.441,12.0,7.43E-15,702.0)
K3	5	7	7	5	7	3
K4	3	7	3	3	5	1
K5	5	7	5	5	7	5

Kriter / Alternatif	A13	A14	A15	A16	A17
K1	B(0.772,56.3,7.58E-15,49.2)	B(0.871,23.1,-7.21E-16,9.57)	B(1.52,2.00E+11,-7.57E-5,7.57E+10)	B(1.17,13.8,1.30E-15,4.95)	B(0.863,20.0,-2.55E-15,11.7)
K2	B(0.577,6.07,-1.00E-14,419.0)	B(0.513,4.51,-1.00E-14,528.0)	B(0.386,7.92,-1.00E-14,271.0)	B(0.456,6.01,-1.00E-14,1.04E+3)	B(0.51,4.2,-1.00E-14,597.0)
K3	7	9	7	5	9
K4	7	7	5	3	9
K5	7	9	7	7	7

Tüm değerlendirmeler beta dağılımına dönüştürüldükten sonra, beta dağılmış değerler net değerlere dönüştürülür. Bu amaçla, beta dağılımın medyan değeri kullanılır. Çizelge 7.26, ilgili değerler için oluşturulan tabloyu göstermektedir.

Çizelge 7. 26 Beta dağıtılmış değerlendirmelerin dönüştürüldüğü net değerler

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<b>A1</b>	0,13	155,00	1	3	1
<b>A2</b>	0,29	0,68	5	3	5
<b>A3</b>	0,23	0,58	5	7	5
<b>A4</b>	0,51	240,00	5	3	5
<b>A5</b>	0,43	12,60	7	5	5
<b>A6</b>	0,19	34,93	7	5	7
<b>A7</b>	0,23	4,98	5	3	5
<b>A8</b>	0,28	12,51	7	7	7
<b>A9</b>	0,21	4,26	7	3	5
<b>A10</b>	0,04	225,00	5	3	5
<b>A11</b>	0,46	15,46	7	5	7
<b>A12</b>	0,08	6,61	3	1	5
<b>A13</b>	0,39	17,29	7	7	7
<b>A14</b>	0,22	22,15	9	7	9
<b>A15</b>	0,45	1,98	7	5	7
<b>A16</b>	0,29	22,57	5	3	7
<b>A17</b>	0,31	26,53	9	9	7

Bu değerler daha sonra normalize edilir ve interval tip-2 bulanık AHS metodolojisinden elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılır. Ortaya çıkan ağırlıklı normalleştirilmiş matris, Çizelge 7.27'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 7. 27 Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

<b>Alternatif/Kriter</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>
<b>A1</b>	0,0096	0,0608	0,0077	0,0228	0,0217
<b>A2</b>	0,0211	0,0003	0,0387	0,0228	0,1087
<b>A3</b>	0,0169	0,0002	0,0387	0,0531	0,1087
<b>A4</b>	0,0371	0,0942	0,0387	0,0228	0,1087
<b>A5</b>	0,0313	0,0049	0,0542	0,0379	0,1087
<b>A6</b>	0,0138	0,0137	0,0542	0,0379	0,1522
<b>A7</b>	0,0167	0,0020	0,0387	0,0228	0,1087
<b>A8</b>	0,0205	0,0049	0,0542	0,0531	0,1522
<b>A9</b>	0,0152	0,0017	0,0542	0,0228	0,1087
<b>A10</b>	0,0032	0,0883	0,0387	0,0228	0,1087
<b>A11</b>	0,0335	0,0061	0,0542	0,0379	0,1522
<b>A12</b>	0,0062	0,0026	0,0232	0,0076	0,1087
<b>A13</b>	0,0283	0,0068	0,0542	0,0531	0,1522
<b>A14</b>	0,0163	0,0087	0,0697	0,0531	0,1957
<b>A15</b>	0,0330	0,0008	0,0542	0,0379	0,1522
<b>A16</b>	0,0213	0,0089	0,0387	0,0228	0,1522
<b>A17</b>	0,0226	0,0104	0,0697	0,0683	0,1522

Ağırlıklı normalize matris hesaplandıktan sonra ideal çözüm ve negatif ideal çözüm belirlenir ve her bir alternatifin bu negatif ve pozitif ideal çözümlere olan mesafeleri hesaplanır. Bu iki değeri kullanarak, göreceli yakınlık indeksi hesaplanır ve alternatiflerin sıralaması ortaya çıkar. Çizelge 7.28, her bir alternatif için ilgili indeks değerlerini göstermektedir.

Çizelge 7. 28 Alternatifler için nihai katsayılar

<b>Arıza</b>	<b>Göreceli yakınlık indeksi</b>	<b>Sıra</b>
<b>A1</b>	0,261	17
<b>A2</b>	0,403	15
<b>A3</b>	0,440	11
<b>A4</b>	0,550	9
<b>A5</b>	0,439	12
<b>A6</b>	0,595	3
<b>A7</b>	0,408	14
<b>A8</b>	0,587	4
<b>A9</b>	0,428	13
<b>A10</b>	0,563	7
<b>A11</b>	0,567	6
<b>A12</b>	0,388	16
<b>A13</b>	0,586	5
<b>A14</b>	0,686	1
<b>A15</b>	0,558	8
<b>A16</b>	0,549	10
<b>A17</b>	0,621	2

Hesaplamalar sonucunda, en yüksek önceliğe sahip olan hata, 0.686 göreceli yakınlık katsayısı değeri ile “Motor Arızası” olarak belirlenmiştir. Bu arızayı, 0,621'lik katsayı değerine sahip “Yakıt Enjeksiyon Arızası” takip etmektedir. En önemli üçüncü arıza “Direksiyon Arızası” olarak görülmektedir. Motor arızası, bir aracın performansını önemli ölçüde etkileyen çok ciddi bir arızadır. Yani, bu başarısızlığı ilk sırada tespit etmek makuldür. Yakıt enjeksiyon arızası, aracı ve diğer araçların hareket programlarını etkileyebilecek kritik bir arızadır. Bu arızanın özellikle hangi araçlarda ne sıklıkta meydana geldiğini belirlemek, arızalar için arızalar adına alınabilecek en önemli önlemlerden biridir. Bu nedenle, hangi aracın sorun yaşayacağına veya bir arıza meydana gelmeden önce hangi aracın çekilmesi gerektiğine karar verme sürecinden belirlene önceliklerin yardımı olabilir.

Listenin en altındaki “akbil arızası”dır. Son sırada bu arızayı bulmak, araçların performansını etkilememesi nedeniyle oldukça mantıklıdır. Bu arızadan bir önceki sırada bulunan arıza, “klima sisteminin arızalanması”dır. Arızanın tipi oldukça sık

görölmele birlikte, sadece araç içi sorunlardan kaynaklandığından ve aracı veya devam eden hattı çok fazla etkilemediği için yine makul bir sırada bulunmuştur. Çizelge 7.29, diğer tüm araç modelleri bazından arızaların önem sıralamalarını içermektedir.



Çizelge 7. 29 Tüm araç modelleri için arızaların öncelik değerleri

Arıza Türü	Araç Modeli							
	PHILEAS		KARSAN		CITARO		CONECTO	
	Öncelik Değeri	Sıra	Öncelik Değeri	Sıra	Öncelik Değeri	Sıra	Öncelik Değeri	Sıra
A1:AKBİL ARIZASI	0,2300	16	0,14979	16	0,3205	17	0,2616	17
A2: BASINÇLI HAVA HATTI ARIZASI	0,4242	11	0,50338	10	0,4638	14	0,4342	13
A3: BASINÇLI YAĞ HATTI ARIZASI	0,4437	10	0,48529	12	0,6604	1	0,4543	11
A4: BİJON ARIZASI	Diferansiyel Şanzıman Şaft Arızası altında incelenmiştir	-	Diferansiyel Şanzıman Şaft Arızası altında incelenmiştir	-	0,5556	9	0,6062	4
A5: DİFERANSİYEL ŞANZIMAN ŞAFT ARIZALARI	0,4173	14	0,57113	9	0,4808	11	0,4614	10
A6: DİREKSİYON ARIZALARI	0,4444	9	0,49605	11	0,6362	3	0,6257	3
A7: ELEKTRİK SİSTEMİ ARIZALARI	0,5334	8	0,67212	3	0,4623	15	0,4277	15
A8: FREN ŞİKAYETLERİ	0,4230	12	0,46048	15	0,5806	5	0,5634	5
A9: KAPI ARIZALARI	0,5475	4	0,63602	6	0,4780	13	0,4443	12
A10: KAROSER ARIZALARI	0,6561	1	0,57142	8	0,4784	12	0,4329	14
A11: KAYIŞ KASNAK ARIZALARI	0,4197	13	0,47028	13	0,5793	6	0,6639	1
A12: KLİMA SİSTEMİ ARIZALARI	0,5363	7	0,68109	2	0,4365	16	0,4137	16
A13: LASTİK ARIZALARI	0,4002	15	0,46716	14	0,5855	4	0,5420	8
A14: MOTOR ARIZALARI	0,5454	5	0,63901	4	0,6543	2	0,6324	2
A15: SOĞUTMA SİSTEMİ ARIZASI	0,5572	3	0,76968	1	0,5670	8	0,5563	6
A16: SÜSPANSİYON SİSTEMİ ARIZALARI	0,5375	6	0,63744	5	0,5733	7	0,5513	7
A17: YAKIT-ENJEKSİYON ARIZALARI	0,6150	2	0,57699	7	0,5026	10	0,5168	9

Çizelge 7.29 incelendiğinde, şu sonuçlara varmak mümkündür. Phileas markalı araçlar için tespit edilen en önemli olarak arıza “karoser arızası”dır, en az öneme sahip arıza ise “akbil arızası” olarak bulunmuştur. Karsan markalı araçlar için tespit edilen en önemli arıza “soğutma sistemi arızası”dır. Citaro markalı araçlar için en önemli arıza, “basınçlı yağ hattı arızası”dır, en az öneme sahip arıza ise yine “akbil arızası”dır. Son olarak, Conecto markalı araçlar için tespit edilen en önemli arıza “kayıp kasnak arızaları” iken, en önemsiz arıza “akbil arızası”dır.

Bu katsayıların dağılımı göz önünde bulundurularak arıza öncelikleri için üyelik fonksiyonları belirlenecektir. Easyfit programı vasıtasıyla elde edilen bu öncelik değerlerinin dağılımı belirlenecek, ardından arızaların önem dereceleri adına üyelik fonksiyonları oluşturulacaktır. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasının ardından, arızaların önem dereceleri, bulanık kural tabanlı sistemde girdi olarak yer alacaktır.



### BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMDE KULLANILACAK GİRDİLER İÇİN ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde kural tabanlı sistemde kullanılan girdiler için üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur.

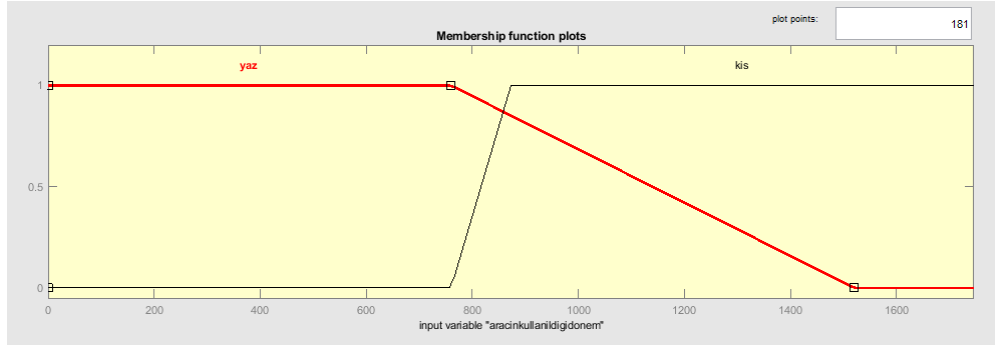
#### 8.1 Sezgisel yolla oluşturulan üyelik fonksiyonları

Çalışmanın bu kısmında veri yetersizliğinden ötürü analitik tekniklerin uygulanamayacağı öncüller için üyelik fonksiyonlar geliştirilmiştir. Bu fonksiyonlardaki sözel veriler ve referans noktaları, uzman görüşleri ve sübjektif yorumlar ile bazı çıkarımsal istatistikler (ortalama,.. vb) kullanılarak oluşturulmuştur.

##### 8.1.1 Aracın Kullanımında Olduğu Döneme Göre Üyelik Fonksiyonu

İlgili uzman görüşüne göre, arızaların yıl içinde tatil dönemi ve okul dönemi olmak üzere iki farklı dönemde belirgin farklıklar olduğu belirtilmiştir. Bu öncülün oluşturulmasında, uzman görüşüne dayalı sezgisel üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur.

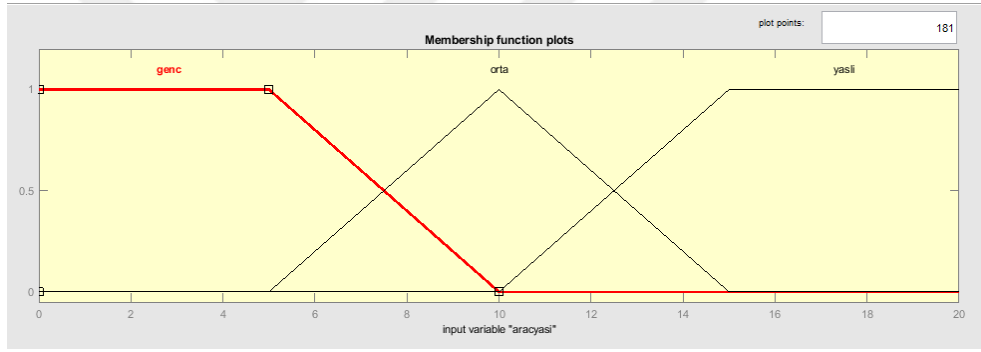
Araçlar ayda ortalama yaklaşık 790 arıza yapmaktadır. Göz önüne alınan zaman peridyunda yaz döneminde ay başına ortalama 884 arıza yaşanmışken, kış döneminde bu sayı 760 olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden yararlanarak arızaların üzerinden yaz dönemi ve kış dönemi etkilerinin üyelik fonksiyonları Matlab ortamında Şekil 8.53'deki gibi belirlenmiştir:



Şekil 8. 53 Aracın kullanımda olduğu döneme göre üyelik fonksiyonu

### 8.1.2 Araç Yaşına Göre Üyelik Fonksiyonu

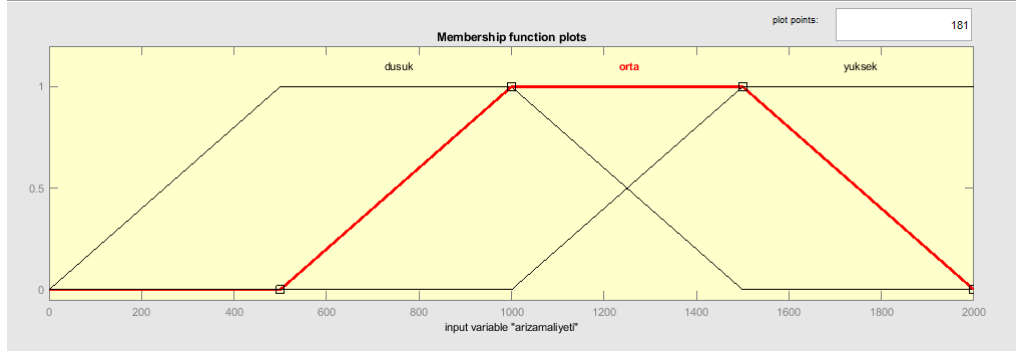
Bu öncül için yine uzman görüşüne dayanarak sezgisel yolla üyelik fonksiyonun çıkarılması sağlanmıştır. Şekil 8.54, araç yaşına göre oluşturulan üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 8. 54 Araç yaşına göre üyelik fonksiyonu

### 8.1.3 Arızanın Maliyetine Göre Üyelik Fonksiyonu

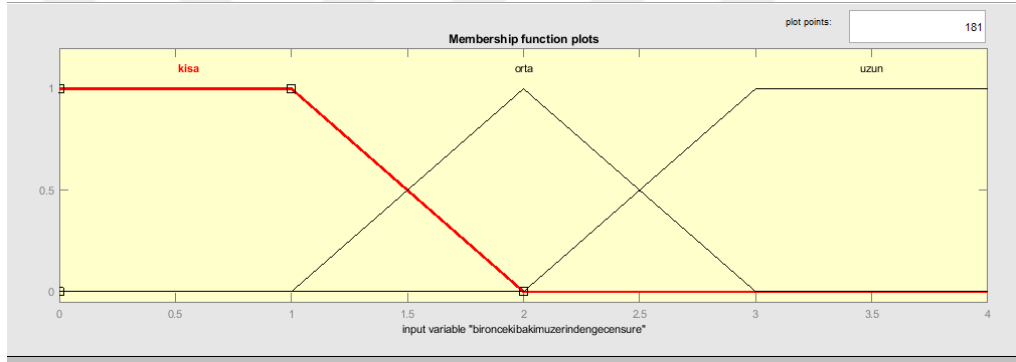
Maliyetler ilgili konular özel bilgi teşkil ettiğinden, yine uzman görüşü ve subjektif yorumlardan hareketle Matlab ortamında aşağıdaki gibi bir üyelik fonksiyonu elde edilmiştir. Şekil 8.55, arıza maliyetleri için oluşturulan üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 8. 55 Arızanın maliyetine göre üyelik fonksiyonu

### 8.1.4 Bir Önceki Bakım Üzerinden Geçen Zamana Göre Üyelik Fonksiyonu

Bir önceki bakım üzerinden geçen zamana göre sezgisel olarak uzman görüşü ile oluşturulan üyelik fonksiyonları, Şekil 8.56'daki gibidir.



Şekil 8. 56 Bir önceki bakım üzerinden geçen zamana göre üyelik fonksiyonu

## 8.2. Matematiksel Modelleme Yolu İle Oluşturulan Üyelik Fonksiyonları

Önceki bölümlerde, üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ile ilgili literatürde yer alan tüm yöntemler incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, en az varsayım yapılarak, sübjektif ve objektif yöntemler kullanılarak en uygun üyelik fonksiyonları elde etmenin, matematiksel modelleme yoluyla gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu anlamda, matematiksel modelleme yoluyla üyelik fonksiyonunun elde edildiği tüm çalışmalar incelenmiş ve elde edilen verilere en uygun yöntem uygulanmıştır. Devam eden bölümlerde bu alanda yapılan çalışmalara yer verilmiş, yöntemin detayları irdelenmiş ve gerçekleştirilen uygulamalar sunulmuştur.

### 8.2.1 Matematiksel Programlama Yoluyla Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu oluşturma sıkça başvurulan yöntemlerden biri, sezgisel yaklaşımlardır. Literatürde bu yaklaşımın benimseyen birçok çalışma mevcuttur [421], [422]. Ancak yalnızca bu sezgisel ve öznel yöntemlere başvurarak üyelik fonksiyonu elde etmek doğru değildir, çünkü ortaya çıkan üyelik fonksiyonu, sezgisel değerlendirmede bulunan karar vericinin hislerine doğrudan bağlıdır, dolayısıyla elde edilen üyelik fonksiyonu objektiflikten uzaktır [375], [377], [391]–[393], [394], [409]. Bu nedenle literatürde bu yöntemlerin aksine üyelik fonksiyonlarını tanımlamada çok sıkı yöntemler vardır [424]. Ancak, üyelik fonksiyonlarının şekil ve değerlerini tamamen objektif yaklaşımlar ile belli varsayımlar altında elde etmek yerine, objektif ve sübjektif yaklaşımların birlikte kullanılması daha makul üyelik fonksiyonlarının elde edilmesini sağlayabilir. Örneğin üyelik fonksiyonlarını matematiksel modelleme yoluyla elde ederken sübjektif yaklaşımların da beraberinde kullanılması, optimal sonuçta sübjektifliğinde yer almasını sağlayacaktır. Bu anlamda, örneğin, üyelik derecelerinin 0 ve 1 olduğu aralıklara karar vermek ve bunu matematiksel programlama içine dahil etmek bu durumu sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında da üyelik fonksiyonlarının elde edilmesinde bu yol izlenmiştir [375], [377], [391]–[393], [394], [409].

Literatürde matematiksel modelleme yoluyla üyelik fonksiyonu elde etmede başvurulan başlıca çalışma, Civanlar ve Trussell'in [425] çalışmasıdır. Bu çalışmada, istatistik bazlı bir yaklaşım önerilerek, üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Yazarlar, olasılık yoğunluk fonksiyonlarının (oyf) bilindiği durumlarda en yüksek ortalama üyelik derecelerinin saptanmasında en küçük bulanık kümenin bulunmasını amaçlar. Önerdikleri yöntem, olasılık-olabilirlik tutarlığı prensibine göre herhangi bir oyf için üyelik dereceleri üretebilmektedir. İstatistiksel olarak elde edilen üyelik fonksiyonları, muhtemelen kullanılacak en doğal üyelik fonksiyonlarıdır, doğal olarak kantitatifler; böylelikle üyelik fonksiyonunun, değerlerin bazı fiziksel özellikleri ile ilişkili olduğuna inanılmasını sağlarlar [425]. İlgili çalışmada önerilen matematiksel model aşağıdaki gibidir:

$$\min_{\mu} f(\mu) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \mu^2(x) dx$$

$$\text{öyle ki } G(\mu) = c - E\{\mu\} = c - \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x)p(x) dx \leq 0, \quad (8.1)$$

$$\text{ve } \mu \in \Omega = \{\mu(x) \mid 0 \leq \mu(x) \leq 1\},$$

Kesikli hali de aşağıdaki gibi yazılabilir [423]:

$$\text{Minimize } \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \mu_k^2$$

$$\sum_{k=1}^n \mu_k p_k \geq C, \quad (8.2)$$

$$0 \leq \mu_k \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Burada  $\mu_k = \mu(x_k)$  'dır

Civanlar ve Trussell [425], optimal bir üyelik fonksiyonu elde etmek için aşağıdaki koşulların sağlanması gerektiğini öne sürmüştür:

i)  $E\{\mu(x) \mid x \text{ ilgili olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre dağılmış}\} \geq c$ , burada güven seviyesi "c", bire yakın olmalıdır. Kalitatif olarak kümenin üyeleri için elde edilen tek bilgi oyf olduğundan bu oyf'ye göre dağılan değerlere atanan ortalama üyelik dereceleri büyük olmalıdır.

ii)  $0 \leq \mu(x) \leq 1$ . Çünkü üyelik derecelerinin atamak için sonsuz bir ölçüğe ihtiyaç yoktur; [0,1] aralığı üyelik derecelerinin tanımlandığı klasik aralıktır.

iii)  $\int \mu^2(x) dx$  minimize edilmelidir. Bu koşul seçici bir üyelik fonksiyonu elde edebilmek için gereklidir, yani kümenin boyutu mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Kareli üyelik fonksiyonunun integrali, bulanık kümenin boyutu ile ilgilidir. Böylelikle onu enküçükleyerek diğer gereksinimleri sağlayan en küçük küme elde edilebilir.

Bu çalışma temel alınarak üyelik fonksiyonlarının matematiksel olarak elde edilmesinde sübjektif yaklaşımlarında kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Ancak çalışmanın tüm aşamalarının benimsendiği ve yeni yaklaşımların dahil edildiği akademik yayınlar, aşağıdaki gibi listelenebilir:

Çizelge 8. 30 Üyelik fonksiyonlarının matematiksel modelleme yoluyla elde edildiği çalışmalarından bazıları

#	Yayın Adı	Yazarlar	Makale / Bildiri	Basım Yeri	Basım Yılı
1	Constructing an appropriate membership function integrating fuzzy Shannon entropy and human's interval estimation [342]	Hasuike, T., Katagiri, H., Tsubaki, H. & Tsuda	B	IEEE	2012
2	Constructive Method for Appropriate Membership Function Integrating Fuzzy Entropy with Smoothing Function into Interval Estimation [356]	Hasuike T., Katagiri H., Tsubaki H.	B	IEEE	2014
3	A constructing algorithm for appropriate piecewise linear membership function based on statistics and information theory [357]	Hasuike T., Katagiri H., Tsubaki H.	B	Procedia Computer Science	2015
4	An Interactive Algorithm to Construct an Appropriate Nonlinear Membership Function Using Information Theory and Statistical Method [358]	Hasuike T., Katagiri H., Tsubaki H.	B	Procedia Computer Science	2015
5	A Subjective and Objective Constructing Approach for Reasonable Membership Function Based on Mathematical Programming [336]	Hasuike T., Katagiri H.	B	Procedia Computer Science	2016
6	An objective approach for constructing a membership function based on fuzzy harvda charvat entropy and mathematical programming [426]	Hasuike T., Katagiri H.	M	Journal of Advance Computational Intelligence and Intelligent Informatics	2016
7	Construction of an Appropriate	Hasuike T.,	B	Proceedings of the	2016

Çizelge 8. 30 Üyelik fonksiyonlarının matematiksel modelleme yoluyla elde edildiği

çalışmalardan bazıları (Devamı)

Membership Function Based on Size of Fuzzy Set and Mathematical Programming[359]	Katagiri H.		International MultiConference of Engineers and Computer Scientists	
<b>8</b> An objective formulation of membership function based on fuzzy entropy and pairwise comparison [423]	Hasuike T., Katagiri H.	M	Journal of Intelligent & Fuzzy Systems	2017

Görüldüğü üzere tüm çalışmalar, aynı yazarların elinden çıkmıştır. Çalışmalar, son 6 yıldan bugüne yayınlanmıştır. Sekiz çalışmadan ikisi makale kalanlar ise bildiri olarak hazırlanmıştır. Hasuike vd. [342] ilk çalışmalarında, S-şekilli fonksiyonu altta yatan üyelik fonksiyonu olarak kabul edip üyelik fonksiyonunun parametrelerini buna göre inşa etmeye çalışmışlardır. Yazarların bunun dışındaki ilk çalışmalarında, yani, Hasuike vd. [356], Hasuike vd. [357] ve Hasuike vd. [358]'te, bilinen bir oyf altında insan bilişsel davranışı ve sübjektifliğine dayanan sezgisel yöntemce aralıkları belirlenen düzgünleştirici fonksiyonu, Bulanık Shannon Entropisi ile entegre ederek üyelik fonksiyonu oluşturmuştur. Altta yatan üyelik fonksiyonuna belli bir şekil varsayılmamış, bunun yerine her bir üyelik fonksiyonuna alt yapı oluşturabilecek bir düzgünleştirici fonksiyon önerilmiştir. Düzgünleştirici fonksiyon olarak parçalı lineer fonksiyon kullanılmıştır. Burda güven seviyesi ya da toplam ortalama üyelik derecesi, c, karar vericiler tarafından sezgisel olarak atanmıştır. Lineer olmayan programlama kullanılarak üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Bir sonraki çalışmalarında [359], yine üyelik fonksiyonlarını elde etmede 0-1 sezgisel aralık değerlendirmeleri ile bilinen oyf için genel sürekli bir üyelik fonksiyonu elde etmeyi amaçlamışlardır. Burda, problemi lineer olmayan yollarla çözmek yerine yaklaşık olarak parçalı lineer fonksiyona dönüştürmüşler ve uygun üyelik fonksiyonları bu sıkı optimal çözüme dayanarak oluşturulmuştur. Yine toplam ortalama üyelik derecesi *-ya da beklenen üyelik derecesi-* değeri için karar vericilerden alınan direk değerlere başvurmuşlardır. Aynı yıl yaptıkları diğer bir çalışmada [426], öncekilerden farklı olarak Bulanık Shannon Entropisi'nin doğal bir genişlemesi olan Bulanık Harvda Charvat entropisini minimize etmeye çalışmışlardır. Yine 0 ve 1 üyelik derecesine sahip aralıklar karar vericinin sezgisel aralık

tahminince belirlenmiş, lineer olmayan programlama yaklaşımıyla en uygun üyelik fonksiyonları elde edilmeye çalışılmıştır. Hasuıke ve Katagiri [336]'de ise, Civanlar ve Trussell'in amaç fonksiyonunda minimize etmeye çalıştığı bulanık küme boyutunu, entropi bazlı eşitlikler yerine kullanıp, lineer olmayan matematiksel modeli yaklaşık olarak parçalı lineer fonksiyona dönüştürerek en uygun üyelik fonksiyonları hesaplanmıştır. Son çalışmalarında, Hasuıke ve Katagiri [423], önceki temelde matematiksel modelleme yoluyla üyelik fonksiyonu elde etmeyi amaçlayan önceki çalışmalarını genişleterek, hem nesnelik hem de özneliğin yer aldığı bir yaklaşımla üyelik fonksiyonu oluşturmaktadır. Elde edilen üyeli fonksiyonunun özneliği kadar nesneliğini de sağlamak için, matematiksel modellemeye dayanan entropi temelli yaklaşım, karar verici tarafından belirlenen aralık tahminine entegre edilmiştir. Amaç, Bulanık Shannon entropisinin doğal bir genişlemesi olan Bulanık Harvda Charvat entropisini minimize etmektir. Bunlara ek olarak, ikili karşılaştırmaya dayalı kalitatif ve sübjektif değerlendirmeler, iki üyelik fonksiyonu arasındaki farkı göstermek için kullanılmıştır. Varsayılan üyelik fonksiyonu, lineer olmayan fonksiyonların yaklaşığı olan parçalı lineer üyelik fonksiyonudur.

Son yaptıkları çalışmada ikili karşılaştırma yöntemi ile toplam ortalama üyelik derecesini mümkün olduğunca objektif bir şekilde, sayısal hesaplamalara dayanarak bulmuşlardır. Bu çalışma, diğerlerine göre daha genişletilmiş ve objektifliği arttırılmış bir yaklaşım benimsenmiştir. Bulanık entropinin maksimize edildiği tüm bu çalışmalar, karar vericinin üyelik fonksiyonunu objektif bir şekilde elde edebilmesinin sağlar, çünkü neredeyse tüm parametreler matematiksel programlama modeli çözülerek kendiliğinden belirlenir. Ancak insan bilişsel davranış ve özneliği, elde edilen üyelik fonksiyonuna yeterince yansıtılamayabilir. Bu nedenle entegre yaklaşımları benimsemek önemlidir. Bu çalışmada, bu entegre yaklaşım benimsenirken, toplam ortalama üyelik derecesine de ikili karşılaştırmalar yoluyla nümerik elde sağlamaktadır.

Bu son çalışma ayrıca, yine önceki çalışmalardan farklı olarak, Civanlar ve Trussell'in [425] çalışmasında üyelik fonksiyonlarının saptanması için minimize ettiği bulanık küme boyutu ile entropi bazlı yaklaşımlar arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak kanıtlamıştır. Sonuç olarak bu çalışma şu yönleriyle yazarların diğer çalışmalarından ayrılmıştır: Üyelik fonksiyonları, altta yatan herhangi bir üyelik fonksiyonu olduğu



varsayılmadan elde edilmiş, ikili karşılaştırmalar ile matematiksel modelleme yaklaşımı belirlenerek hem objektif hem de sübjektif sonuçlar elde edilmiş ve optimal üyelik değerleri direkt elde edilmiştir.

### 8.2.2 Bulanık Küme Boyutu ve Bulanık Shannon Entropisi arasındaki ilişki - Amaç fonksiyonunun belirlenmesi

Bulanık entropi için önerilen çeşitli tanımlar arasında en yaygın kullanılanı, Bulanık Shannon Entropisidir. Shannon entropisi, bilgi teorisindeki en standart entropilerdendir ve  $-\sum_{i=1}^n p_i \log p_i$  şeklinde formüle edilir [423]. Her bir olasılık  $p_i$ , buna karşılık gelen üyelik derecesi  $\mu_i$  ile değiştirilerek, Bulanık Shannon Entropisi elde edilir. Öte yandan Shannon entropisinin doğal bir genişlemesi olarak Harvda ve Charvat aşağıdaki entropiyi tanımlamıştır:

$$\frac{1}{q-1} \left( 1 - \sum_{i=1}^n p_i^q \right), \quad (q > 0, q \neq 1) \quad (8.3)$$

Eğer  $q \rightarrow 1$  durumunu düşünürsek, yukarıdaki eşitlik Shannon entropisine denk bir şekilde dönüşür. Bu sayede, Harvda-Charvat entropisinin Shannon Entropisinin doğal bir genişlemesi olduğu söylenebilir. Harvda-Charvat entropisinin bulanıklaştırılması aşağıdaki gibidir:

$$\frac{1}{q-1} \left( 1 - \sum_{i=1}^n \mu_i^q \right), \quad (q > 0, q \neq 1) \quad (8.4)$$

Ayrıca Bulanık Harvda-Charvat Entropisini basitçe maksimize etmeyi ele alırsak,  $q=2$  olduğu durumda aşağıdaki forma dönüşür:

$$\begin{aligned} \text{Maksimize} \quad & \frac{1}{2-1} \left( 1 - \sum_{i=1}^n \mu_i^2 \right) \\ \Leftrightarrow \text{Maksimize} \quad & 1 - \sum_{i=1}^n \mu_i^2 \\ \Leftrightarrow \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^n \mu_i^2 \end{aligned} \quad (8.5)$$

Böylelikle Civanlar ve Trussell'in modelinin,  $q=2$  olduğu durumda Bulanık Harvda-Charvat entropi bazlı model olduğu görülebilir [423].

Bu çalışma kapsamında üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde,  $q=2$  olduğu durumda bulanık kümenin boyutuna eşit olan bulanık Harvda-Charvat entropisini kullanılacaktır.

### 8.2.3 İkili karşılaştırma bilgisine dayanarak toplam ortalama üyelik derecesi

Toplam ortalama üyelik derecesinin,  $C$ , objektif bir şekilde belirlenmesi, objektif üyelik fonksiyonlarının elde edilmesi açısından çok önemlidir.  $C$ , 1'e yakın büyük bir değere sahipse, elde edilen üyelik fonksiyonu,  $p(x)>0$  olan  $x$  değerlerini sağlayan üyelik değerleri 1 olan fonksiyona benzer. Diğer taraftan,  $c$ , 0'a yakın küçük bir değer ise, elde edilen üyelik fonksiyonu, hemen hemen tüm  $x$ 'te 0 olan fonksiyonlara benzer. Bu nedenle, karar vericinin duygularına göre esnek ve etkileşimli bir şekilde  $C$  parametresinin bir değerini ayarlamak önemlidir [423].

Karar vericilerden anket ya da görüşme yolu ile elde edilen ve parçalı lineer üyelik fonksiyonlarının orta noktalarındaki değerlere  $\left(\bar{a}_k = \frac{a_{k-1} + a_k}{2}\right)$  karşılık gelen üyelik değerlerinin ikili karşılaştırmaları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Örneğin, karar verici üyelik dereceleri açısından Likert skalasının 5 nokta tahminini ele alırsa (aynı, biraz fazla, ortalama fazla, çok fazla, aşırı fazla) ve " $\mu_k$ 'nin üyelik derecesi  $\mu_{k-1}$ 'den çok fazla" değerlendirmesini yaparsa, aşağıdaki eşitsizlik durumu oluşur [423], [427]:

$$b_2 \leq \mu_k - \mu_{k-1} + \varepsilon_{k,k-1} \leq b_3 \quad (8.6)$$

Burada " $b$ " değerleri, nokta tatmin değerlerini;  $\varepsilon$  ise ikili karşılaştırmadan kaynaklanan hata terimini gösterir. Buradan, bulanık entropi maksimizasyonunu amaçlayan matematiksel modelimizle birlikte ikili karşılaştırmaları ele alan modeli aşağıdaki gibi elde ederiz:

$$\text{Maksimize } \frac{1}{q-1} \left( 1 - \sum_{k=1}^n \mu_k^q \right) - W \sum_{i=1}^n \sum_{i < j} \varepsilon_{ij}$$

şu kısıtlar altında

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \mu_k p_k &\geq C, \\ -b_0 &\leq \mu_i - \mu_j + \varepsilon_{ij} \leq b_0 \\ \forall (i, j) &\in R_0 \\ b_{u-1} &\leq \mu_i - \mu_j + \varepsilon_{ij} \leq b_u \\ \forall (i, j) &\in R_u \\ 0 &\leq \mu_k \leq 1, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{8.7}$$

Yani;

$$\text{Minimize } \frac{1}{1-q} \left( 1 - \sum_{k=1}^n \mu_k^q \right) + W \sum_{i=1}^n \sum_{i < j} \varepsilon_{ij}$$

şu kısıtlar altında

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \mu_k p_k &\geq C, \\ -b_0 &\leq \mu_i - \mu_j + \varepsilon_{ij} \leq b_0 \\ \forall (i, j) &\in R_0 \\ b_{u-1} &\leq \mu_i - \mu_j + \varepsilon_{ij} \leq b_u \\ \forall (i, j) &\in R_u \\ 0 &\leq \mu_k \leq 1, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{8.8}$$

Burada  $w$ , Harvda-Charvat Entropisi ile kıyaslanan;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{i < j} \varepsilon_{ij} \tag{8.9}$$

'nin ağırlığıdır. Burada,  $C$  parametresinin belirlemek için yukarıdaki problem ikiye bölünür. İlk problem:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{i < j} \varepsilon_{ij}$$

şu kısıtlar altında

$$\begin{aligned} -b_0 &\leq \mu_i - \mu_j + \varepsilon_{ij} \leq b_0 \\ \forall (i, j) &\in R_0 \\ b_{u-1} &\leq \mu_i - \mu_j + \varepsilon_{ij} \leq b_u \\ \forall (i, j) &\in R_u \\ 0 &\leq \mu_k \leq 1, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{8.10}$$

Burada karar değişkenleri  $\mu_i$  ve  $\varepsilon_{ij}$  'dir. Problem, lineer programlama modelidir ve optimal değer etkin bir şekilde elde edilebilir. C parametresi,

$$\hat{C} = \sum_{k=1}^n \mu_k p_k \quad (8.11)$$

olarak belirlenir. Önceki yöntemlerde bu parametre karar verici tarafından en başta deneme yanılma yolu ile belirleniyordu. Ancak şimdi, yukarıdaki lineer programlama modeli çözümlenerek objektif bir şekilde belirlenebilmektedir. Hasuike ve Katagiri [423] tarafından önerilen bu yaklaşım, bu tez çalışmasından da C parametrelerini belirlemek için kullanılacaktır.

#### 8.2.4 Parçacık sürüsü optimizasyonu

Matematiksel modelleme vasıtasıyla üyelik fonksiyonları elde etme aşamasında, parçacık sürüsü optimizasyonu yönteminden yararlanılmıştır. Referans üyelik derecelerini elde ettiğimiz ikinci model olan lineer-olmayan modelin çözümü, parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılarak elde edilmiştir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Kenedy ve Eberhart [428] tarafından 1995 yılında geliştirilen bir optimizasyon yöntemidir. Sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek geliştirilmiştir. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rasgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. PSO bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır. Arama işlemi genetik algoritmalarda olduğu jenerasyon sayısına yapılır. Her bireye parçacık; parçacıklardan oluşan popülasyona ise sürü adı verilir. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. PSO, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Bu yaklaşım hızı rasgele gelişen durumdur ve çoğu zaman sürü içinde bulunan bireyler yeni hareketlerinde bir önceki konumdan daha iyi konuma gelirler ve bu süreç hedefe ulaşmaya kadar devam eder [428]–[430].

PSO algoritması rastgele çözümler içeren bir sürüyle başlar ve her iterasyonda güncelleme yaparak en iyi değeri bulmaya çalışır. Sürü içerisindeki her bir parçacık, bir sonucu temsil etmektedir. Aynı zamanda her bir parçacık, bilinmeyen sayısı kadar yanıt

üretmektedir. Verilen cevaplar o parçacığın o andaki pozisyonudur. Her bir parçacık o andaki ve önceki pozisyonlarını hafızasında tutarak o ana dek en iyi pozisyonu belirler; bu pozisyon  $p_{best}$  olarak adlandırılmıştır. Yine algoritma tüm parçacıkların  $p_{best}$ 'lerini kontrol ederek, tüm sürünün en iyi pozisyonu olan  $g_{best}$ 'i belirler. İterasyon sayısı kadar döngü gerçekleştirildikten sonra ortaya çıkan  $g_{best}$  değeri sürünün o probleme verdiği en iyi sonuç olarak ortaya çıkar [428]–[431].

S boyutlu bir arama uzayında hareket eden T adet parçacığın hız ve konumları aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Burada, X konumu V ise hızı ifade eder [428]–[431].

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1s} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{r1} & x_{r2} & x_{r3} & \dots & x_{rs} \end{bmatrix} \quad (8.12)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1s} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{r1} & v_{r2} & v_{r3} & \dots & v_{rs} \end{bmatrix} \quad (8.13)$$

Eşitlik 1'deki matriste, i'nci parçacık  $X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iN}]$  olarak ifade edilir. Kişisel en iyi konumu ( $p_{best}$ ) veren matris ise Eşitlik 8.14'deki gibidir [428]–[431].

$$P_{best} = \begin{bmatrix} p_{best\ 11} & p_{best\ 12} & p_{best\ 13} & \dots & p_{best\ 1s} \\ p_{best\ 21} & p_{best\ 22} & p_{best\ 23} & \dots & p_{best\ 2s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ p_{best\ r1} & p_{best\ r2} & p_{best\ r3} & \dots & p_{best\ rs} \end{bmatrix} \quad (8.14)$$

Eşitlik 8.14'de her bir satır; bir parçacığın S boyutlu arama uzayındaki kişisel en iyi konumlarıdır. Global en iyi pozisyon ( $g_{best}$ ) ise tüm  $p_{best}$  ler arasındaki en iyi konum olarak adlandırılır ve matris formu Eşitlik 8.15'teki gibidir [428]–[431].

$$G_{best} = [g_{best_1} \quad g_{best_2} \quad \dots \quad g_{best_s}] \quad (8.15)$$

Parçacık sürüsü algoritması kavramsal olarak, parçacıkların hızlarının her bir nesilde kendi yerel en iyi konumlarına ve sürünün global en iyi konumuna göre belirlenmesine dayanır. Evrimsel gelişim süresinde her bir parçacığın hızı ve konumu Eşitlik 8.16 ve 8.17 ile güncellenir [428]–[431].

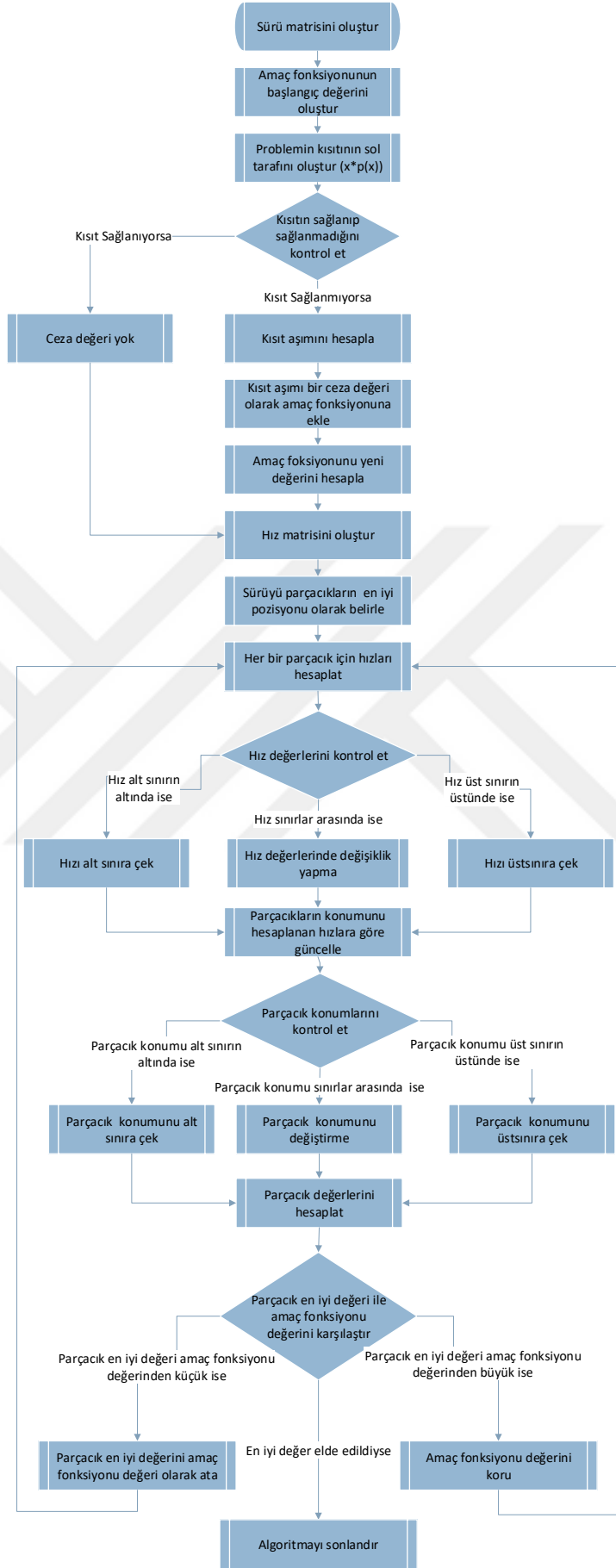
$$v_{i,d}^{(t+1)} = w * v_{i,d}^{(t)} + c_1 * r_1 * (p_{best_{i,d}} - x_{i,d}^{(t)}) + c_2 * r_2 * (g_{best_d} - x_{i,d}^{(t)}) \quad (8.16)$$

$$x_{i,d}^{(t+1)} = x_{i,d}^{(t)} + v_{i,d}^{(t+1)} \quad (8.17)$$

$$i = 1, 2, \dots, t ; \quad d = 1, 2, \dots, s$$

Eşitlik 8.16'daki  $c_1$  ve  $c_2$  sabitleri pozitif değerli olup  $c_1$   $p_{best}$ ,  $c_2$  ise  $g_{best}$  etkisi ile oluşan katsayılarıdır ve bu katsayılar sosyal etkiler nedeniyle oluşmaktadır.  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri genellikle 0,2 ile 2 arasında değişmektedir.  $r_1$  ve  $r_2$  katsayıları rastgele sayılardır ve her iterasyonda yenilediğinden probleme verilen yanıtta bir rassallık katmaktadır.  $r_1$  ve  $r_2$  katsayıları 0 ile 1 aralığında değişmektedir.  $w$  ise atalet momenti olup, genellikle 0,1 ile 1 aralığında değişmektedir [428]–[431].

Tez kapsamında, üyelik derecelerinin bulunmasında başvurulan parçacık sürüsü optimizasyonuna ait akış şeması Şekil 8.57'de görülmektedir.



Şekil 8. 57 Üyelik fonksiyonu elde etmede kullanılan PSO kodu için oluşturulan akış şeması

### 8.2.5 Önerilen yöntem

Bu tez çalışması kapsamında üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için matematiksel programlama yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım, bir elemanın özelliğine dair olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilindiği durumlarda, en iyi yöntem olarak görüldüğünden bu tezde de kullanılmıştır. Gerek optimal üyelik fonksiyonları elde etme, gerekse objektif bir şekilde çözüm bulma sağlandığından, son zamanlarda bu yaklaşım birçok çalışmada benimsenmiştir. Ayrıca, üyelik fonksiyonu değerleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak yöntemin sübjektif bir yaklaşıma da sahip olması sağlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak, üyelik fonksiyonu belirlenecek elemanların olasılık yoğunluk dağılımları belirlenmiştir. Bu aşama, tezin ilk döneminde EasyFit dağılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından, bu dağılım programı tarafından oyf için oluşturulan histogramlar ele alınmıştır. Her bir histogram aralığının orta değeri bulunarak, bu değerler için ikili kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir. İkili kıyaslamalar için aşağıdaki skala kullanılmıştır [423];

Çizelge 8. 31 İkili karşılaştırmalarda kullanılan değerlendirme ölçeği

Değerlendirme	Ölçek
Aynı	0,1
Biraz Fazla	0,3
Ortalama Fazla	0,5
Çok Fazla	0,7
Aşırı Fazla	0,9

Bu ikili kıyaslamaların ardından, Model (8.10), GAMS programı yardımıyla çözülmüş ve  $c$  parametresini hesaplamada kullanılacak referans üyelik dereceleri elde edilmiştir. Bu adımın ardından, Eşitlik (8.11) kullanılarak ortalama toplam üyelik dereceleri –  $C$  parametresi hesaplanmıştır.

$C$  parametresinin hesaplanmasının ardından, üyelik derecelerinin hesaplanması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, aslında bulanık entropinin bir genişlemesi olan Bulanık Harvda-Charvat Entropisi maksimize edilmiştir. Bu entropi hesaplanırken,  $q=2$  değeri alınmış ve Civanlar ve Trussell'in çalışmasında kullandığı amaç fonksiyonu da



korunmuştur. Burada, lineer olmayan matematiksel modelin çözülmesinde parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi Matlab ortamında kodlanarak, üyelik dereceleri elde edilmiştir. Burada, verilerin sahip olduğu dağılım, üyelik derecelerini elde etmede kısıt olarak yer almıştır. Bu aşamanın ardından, elde edilen üyelik derecelerini bir eğriye uydurmak ve fonksiyon elde etmek için, kuadratik regresyon yöntemine başvurulmuştur [432]. Böylelikle her bir elemana ait üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının elde edilmesi için önerilen sıralı adımlar aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Histogram temelli oyf 'leri elde et, her bir histogram aralığının orta noktasını bul.

Adım 2.Orta noktalar arasında ikili karşılaştırmalar yap, bunun için tablo 15'teki ölçeği kullan.

Adım 3. İkili karşılaştırma değerleri ve olasılık yoğunluk değerleri kullanarak lineer model (8.10)'nu çöz, referans üyelik derecelerini elde et.

Adım 4. Önceki adımda elde ettiğin üyelik dereceleri ile eşitlik (8.11)'i kullanarak  $C$  parametresini hesapla.

Adım 5. Hesapladığın  $C$  parametresi ile beraber lineer olmayan model (8.2)'yi parçacık sürüsü optimizasyonu kullanarak çöz, her bir orta nokta için üyelik derecelerini elde et.

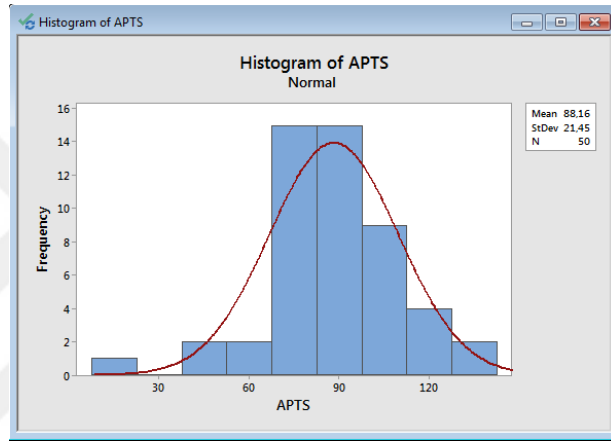
Adım 6. Elde ettiğin üyelik derecelerinden bir üyelik fonksiyonuna yakınsamak için kuadratik regresyon kullan.

### **8.2.6 Olasılık Dağılımları Vasıtasıyla Elde Edilen Örnek Üyelik Fonksiyonları**

Bu bölümde, analitik yollarla hesaplama yaparak elde ettiğimiz üyelik fonksiyonlarına yer verilmiştir. Daha önceki bölümlerde elde edilen üyelik fonksiyonları, sayısal veri eksikliğinden ötürü uzman sezgilerine göre çizilmiştir. Bu bölümde yer alan girdilere ait üyelik fonksiyonları, ilgili girdilerin olasılık dağılımlarından yola çıkılarak matematiksel modelleme yolu ile hesaplanmıştır.

### 8.2.6.1 Arıza sıklığı girdisi için üyelik fonksiyonu

İlgili girdinin üyelik fonksiyonunun hesaplanmasında, öncelikle her bir araç için arıza sıklıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken, araç kimlik numaralarından yararlanılmıştır. Bu hesaplama sonucunda elde edilen verilerin EasyFit programı vasıtasıyla olasılık dağılım fonksiyonları çizdirilmiştir. Bu girdiye ait histogram oluşturulurken, Minitab 18 programından yararlanılmıştır. Şekil 8.58, örnek olarak, Phileas aracı için elde edilen arıza sıklığı girdisinin histogramı gösterilmektedir. İlgili veriler, negatif binom dağılımına uymaktadır. Bu dağılımın parametreleri, son aşamada üyelik derecelerinin tespitinde Matlab ortamında kısıtlar olarak kullanılacaktır.



Şekil 8. 58 Phileas aracı için arıza sıklıkları girdisine ait histogram

Her bir histogram kutucuğunun orta noktaları belirlenip, bunlar arasında ikili karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 8.32, yine Phileas aracı için uzmanlar tarafından yapılan ikili karşılaştırmaları içerir.

Çizelge 8. 32 Phileas aracının arıza sıklıkları için yapılan ikili karşılaştırmalar

İkili Karşılaştırma								
$b_u$	19	45	60	75	90	105	120	135
19	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9
45		0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7
60			0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
75				0,1	0,3	0,3	0,5	0,5
90					0,1	0,1	0,3	0,5
105						0,1	0,1	0,3
120							0,1	0,1
135								0,1

Bu ikili karşılaştırmalar ve üst sınır ve her bir ikili karşılaştırma değerinin skaladaki bir alt değeri alt sınır olarak, bir önceki bölümde gösterilen matematiksel model çözülerek, referans üyelik dereceleri elde edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 8.59'daki GAMS programı çıktısı, ilgili lineer modelinin sonuçlarını yani referans üyelik derecelerini göstermektedir.

```

*** REPORT SUMMARY :      0 NONOPT
                        0 INFEASIBLE
                        0 UNBOUNDED
GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows      11/06/18 19:15:27 Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution
-----
51 VARIABLE z.L          =      0.100
-----
52 VARIABLE y.L
1 0.800,  2 0.600,  3 0.500,  4 0.400,  5 0.300,  6 0.200,  7 0.100

EXECUTION TIME          =      0.000 SECONDS      3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

USER: Gary Goldstein          G010614:2121CA-WIN
      Decision Ware, Inc.          DC2807

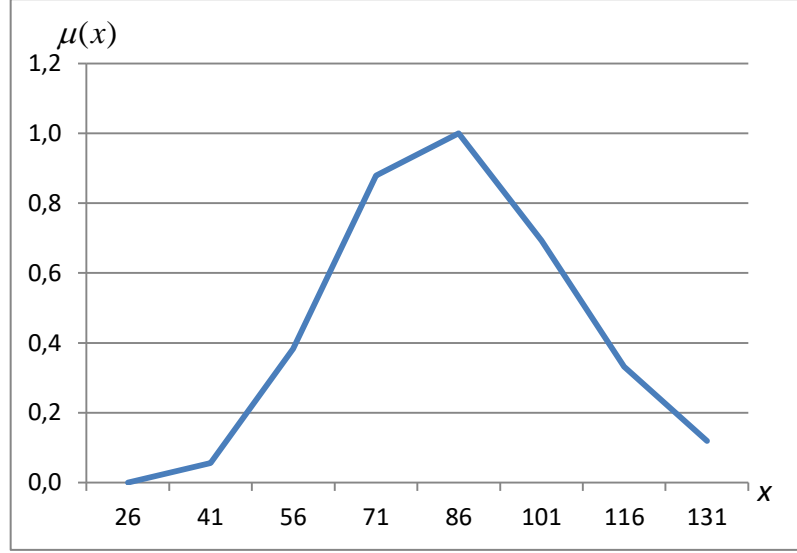
*** FILE SUMMARY

Input   C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Output  C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.lst

```

Şekil 8. 59 Phileas aracının arıza sıklıkları için referans üyelik dereceleri

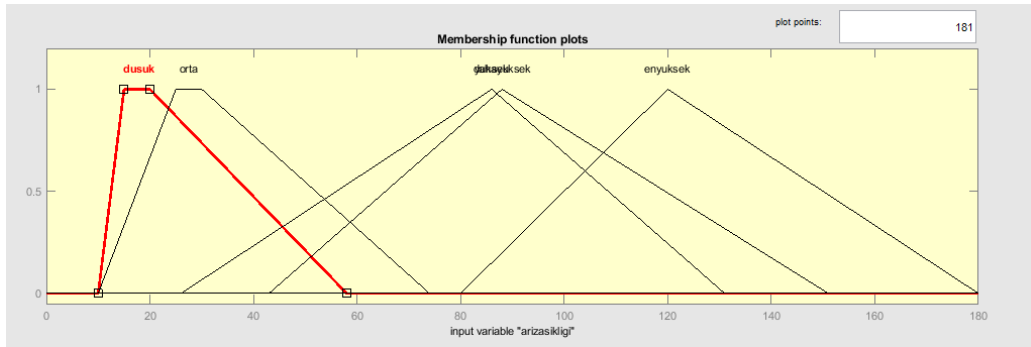
Bu aşamdan sonra, elde edilen bu referans değerlerle, üyelik derecelerini bulmada gerekli olan “c” değeri hesaplanmıştır. Bu değer hesaplanmasının ardından Matlab ortamında kodlanan parçacık sürüsü optimizasyon yöntemi ile lineer olmayan model çözdürülmüştür. Bu çözüm sonucunda elde edilen değerler, kuadratik regresyon yardımıyla, 0-1 arasına çekilerek hem normal bulanık sayılar elde edilmiş, hem sürekli bir forma kavuşturulmuştur. Şekil 8.60'da yine aynı araca ait arıza sıklığı girdisi için bulunan üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 8. 60 Phileas aracının arıza sıklığı girdisine ait üyelik fonksiyonu

Çizilen bu fonksiyon, Matlab ortamında kullanılabilmek için üçgen üyelik fonksiyonu olarak yakınsamıştır.

Bu yolla tüm araçlar için ayrı ayrı arıza sıklıkları üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen her bir üyelik fonksiyonu, ayrı bir seviye olarak ele alınmıştır. Beş farklı araca ait üyelik fonksiyonları, ilgili girdinin beş farklı seviyesini oluşturmuştur. Bu seviyeler, düşük, orta, yüksek, daha yüksek ve en yüksek olarak adlandırılmıştır. Şekil 8.61'de bu beş farklı seviye ile gösterilen arıza sıklığı girdisinin üyelik fonksiyonu yer almaktadır.

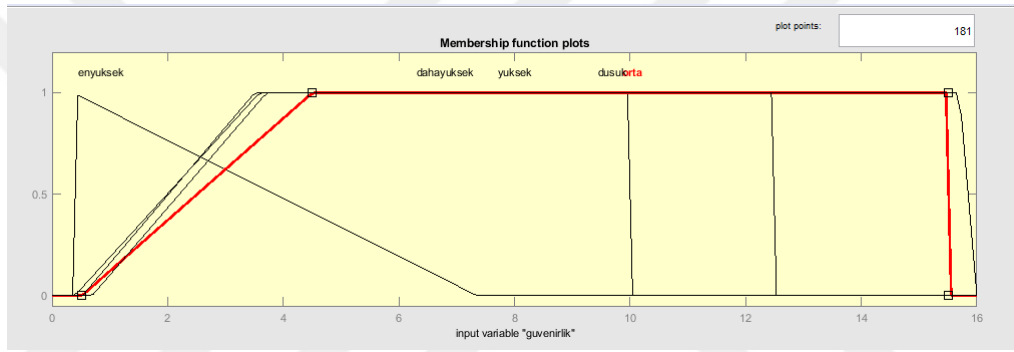


Şekil 8. 61 Arıza sıklığı girdisi için belirlenen üyelik fonksiyonu

Görüldüğü üzere üç fonksiyon üçgen üyelik fonksiyonu ile gösterilirken, iki fonksiyon yamuk üyelik fonksiyonu şeklindedir.

### 8.5.6.2 Güvenilirlik girdisi için üyelik fonksiyonları

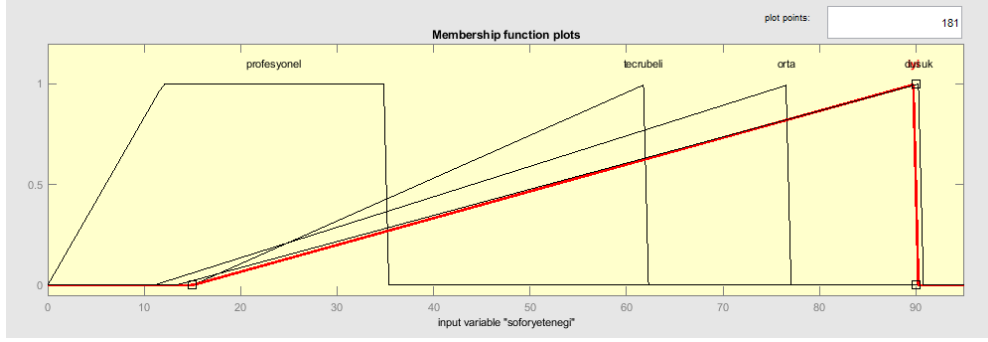
Güvenilirlik kavramı, arızalar arası ortalama süre yahut ortalama onarım süresi ile temsil edilebilir. İlk girdide hesaplanan arıza sıklığı değerleri, arızalar arası ortalama süreyi de kapsadığı için, bu aşamada güvenilirlik değeri yalnızca ortalama onarım süreleri ile temsil edilmiştir. Önceki girdide olduğu gibi her bir model bazında ayrı ayrı hesaplanarak bulunan üyelik fonksiyonları, beş farklı seviye içermektedir. İlk etapta yine onarım süreleri hesaplanmış, histogramları tespit edilmiş, ikili karşılaştırma yapılmış ve son olarak uyduğu dağılım kısıt olarak eklenerek Matlab ortamında kodlanan parçacık sürüsü optimizasyonu vasıtasıyla üyelik dereceleri elde edilmiştir. İlgili girdi için belirlenen üyelik fonksiyonu Şekil 8.62’te görülmektedir.



Şekil 8. 62 Güvenilirlik girdisi için belirlenen üyelik fonksiyonu

### 8.5.6.3 Şoför yeteneği girdisi için üyelik fonksiyonları

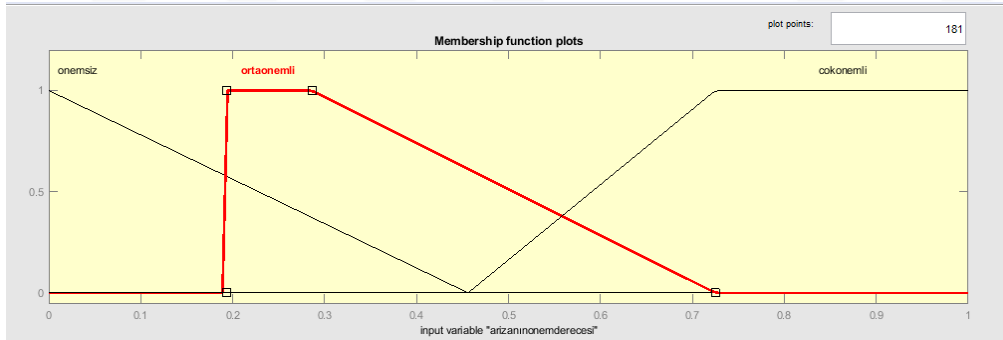
Yukarıdaki iki girdi için yapılan işlemler, bu girdi için de tekrarlanmıştır. Yine şoför kimlik numaralarına göre pivot tablolar oluşturularak, dağılımları belirlenmiş, histogramları çizdirilmiş, ikili karşılaştırmalar yapılmış, referans üyelik dereceleri bulunmuş ve son olarak hesaplanan “c” değeri ile birlikte lineer olmayan model parçacık sürüsü optimizasyonu sezgiseli kullanarak Matlab ortamında çözdürülmüştür. Beş farklı model araç için tekrarlanan bu işlem sonucunda elde edilen üyelik fonksiyonu aşağıdaki Şekil 8.63’deki gibidir:



Şekil 8. 63 Şoför yeteneği girdisine ait üyelik fonksiyonu

#### 8.5.6.4 Arızanın önem derecesine göre üyelik fonksiyonları

Bölüm 7’de her bir araç modeli için ayrı hesaplanan arıza öncelik değerlerinin olasılık dağılımı çıkarılarak yine matematiksel yolla bir adet üyelik fonksiyonu elde edilebilmiştir. Bu fonksiyonun, “orta önemli” seviyesine sahip olduğu kabul edilmiştir. Önem derecesi girdisinin 0-1 arasında değişmesinden ve elde edilen üyelik derecesinden yola çıkarak, bu seviyeye birlikte “önemsiz” ve “çok önemli” seviyeleri için de üyelik fonksiyonları sezgisel yolla oluşturulmuştur. Şekil 8.64, ilgili girdi için oluşturulan üyelik fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil 8. 64 Arızanın önem derecesi girdisi için oluşturulan üyelik fonksiyonu

Son olarak oluşturulan bu üyelik fonksiyonu ile birlikte, tüm girdiler için üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Bundan sonraki aşamada çıktıların tanımlanması ve çıktılara ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması yer almaktadır.

### **BULANIK KURAL TABANLI SİSTEMDE KULLANILACAK ÇIKTILAR İÇİN ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ**

Önceki bölümlerde bulanık kural tabanlı sistem için ilgili girdiler belirlenmiştir. Bu girdilerden sezgisel yolla oluşturulabilecek üyelik fonksiyonları uzman görüşleri yardımı ve bazı istatistiki veriler ile hesaplanmıştır. Olasılık dağılımlarını elde edebildiğimiz öncüller için ise matematiksel modelleme yolu ile üyelik fonksiyonları hesaplanmıştır. Bu bölümde ise belirlenen girdilere karşılık çıktıların neler olacağı ve bu çıktılara ait üyelik fonksiyonlarının nasıl hesaplandığı açıklanmıştır.

#### **9.1 Bulanık Kural Tabanlı Sistem Çıktısı için Üyelik Fonksiyonları**

Metrobüs için bakım politikası belirlemede, kural tabanlı sistemde kullanılacak girdiler (öncüller) ve bu girdilere ait üyelik fonksiyonları önceki bölümlerde belirlenmiştir. Bu bölümde sistem çıktısı (ardıl) belirlemede kullanılan faktörler, çıktının sahip olabileceği durumlar ve belirlenen ardıl için üyelik fonksiyonunun hesaplanması yöntemine yer verilmiştir. İlk olarak, bakım faaliyetlerine göre araçların hangi çıktılara sahip olacağı araştırılmıştır. Uzman kişiler ve yapılan araştırmalar sonucunda sistemin çıktısının (bakım kararı) şu dört durumdan biri olarak ortaya çıkacağı belirlenmiştir:

Çizelge 9. 33 Bulanık Kural Tabanlı Sistemde Çıktının Alabileceği Durumlar

<i>Kısaltma</i>	<i>Durum</i>
<b>KDE</b>	Kullanmaya Devam Et
<b>UZZ</b>	Uygun Zamanda Bakıma Al
<b>ABA</b>	Acil Bakıma Al
<b>AKK</b>	Aracı Kullanımdan Kaldır

Bu durumların hepsi, çıktı olan bakım kararı için birer üyelik fonksiyonu ile temsil edilecektir. İlgili üyelik fonksiyonlarını oluşturabilmek için bazı sayısal katsayılar hesaplanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde çıktının üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan elemanlar ve hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

### 9.2.1 Çıktının Belirlenmesinde Kullanılan Elemanlar

Çizelge 9.33'deki her bir durum, bakım kararı çıktısı için ortaya konabilecek sonuçlardır. Dolayısıyla bu dört durum için farklı üyelik fonksiyonlarının oluşturulması gerekir. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması için bu dört durumu etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu faktörlerin belirlenmesi için yine uzman kişilerin görüşüne başvurulmuştur. Bu görüşlerden hareketle, çıktıyı etkileyen aşağıdaki faktörler belirlenmiştir:

- Arızalar için önem dereceleri (araçlara göre),
- Arıza sıklığı,
- Hat başına arıza.

### 9.2.2 Çıktı Üyelik Fonksiyonlarının İlgili Elemanların Katsayılarının Hesaplanması

Bu alt bölümde çıktı üyelik fonksiyonunun hesaplama yöntemine yer verilmiştir.

#### 9.2.2.1 Arızaların Önem Derecesine Göre Belirlenen Katsayılar

İlk olarak, arızaların araçlara göre önem dereceleri belirlenmiştir. Bu amaçla yine stokastik AHS yöntemine başvurulmuştur. Öncelikle, stokastik AHS yönteminde kullanılacak ikili karşılaştırma matrisleri için anketler oluşturulmuştur. Ancak belirlenen



15 arıza, mevcutta kullanımda olan 5 araç için değerlendirildiğinden oldukça uzun bir anket oluşturulmuştur. Bu ankette yalnızca bir araç için 105 adet ikili karşılaştırma değeri vardır. Bu uzun anket, uzmanlarda tutarsız değerlendirmelere sebep olabileceği için, uzmanların değerlendirmelerine destek olabilmesi açısından iki arızanın ilgili araca göre karşılaştırma değerini belirlerken, bu arızalardan kaçının garaja çekilerek tamir edilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Yani “ilgili aracın ilgili arızasının yüzde kaç garaja çekilerek tamir edilmiştir” oranı hesaplanmıştır. Böylece ilgili aracın iki arızası arasında yapılan karşılaştırılmanın kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Çizelge 9.34, her bir araç için ilgili arızanın yüzde kaçının garaja çekilerek tamir edildiğini göstermektedir (BHH: Basınçlı Hava Hattı Arızası, BYH: Basınçlı Yağ Hattı Arızası, DŞ: Diferansiyel Şanjıman Şaft Arızaları, DR: Direksiyon Arızaları, EA: Elektrik Arızaları, FR: Fren Arızası, KP: Kapı Arızaları, KAR: Karoser Arızaları, KYŞ: Kayış Kasnak Arızaları, KL: Klima Sistemi Arızaları, LS: Lastik Arızaları, MT: Motor Arızaları, SOĞ: Soğutma Sistemi Arızaları, SÜS: Süspansiyon Sistemi Arızaları, YKT: Yakıt Enjeksiyon Arızaları).

Çizelge 9. 34 Her bir araç-arıza için garajda tamir edilen arıza yüzdesi

	BHH	BYH	DŞ	DR	EA	FR	KP	KAR	KYŞ	KL	LS	MT	SOĞ	SÜS	YKT
PHILEAS	%51,31	%34,37	%93,45	%42,30	%70,83	%91,95	%70,27	%76,05	%17,33	%93,06	%22,51	%82,52	%60,18	%89,24	%86,17
KARSAN	%41,39	%26,08	%17,76	%46,42	%29,76	%63,83	%11,76	%26,45	%11,90	%54,79	%51,42	%48,14	%12,30	%58,77	%70,51
CAPACITY	%50,19	%40,29	%96,20	%81,63	%47,17	%84,42	%65,53	%70,25	%9,01	%83,56	%25,93	%77,10	%48,93	%80,48	%67,97
CITARO	%84,09	%52,67	%91,16	%82,72	%63,27	%82,79	%43,78	%76,99	%88,24	%89,25	%23,09	%79,47	%40,16	%83,73	%67,39
CONECTO	%37,09	%17,64	%60,19	%50,00	%30,33	%35,45	%43,51	%53,29	%50,00	%78,59	%13,68	%67,34	%39,50	%69,76	%57,42

Bu oranlardan yola çıkarak hangi arızanın diğerine göre daha önemli olduğunun karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. İlgili anketin doldurulmasında ikili karşılaştırma puanlarına karar verirken Saaty'nin ölçeği [406] kullanılmıştır.

Çizelge 9. 35 Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçeği

Önem	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemli	İki öğe amaca eşit olarak katkıda bulunur
3	Kısmen	Tecrübe ve yargı, bir öğeyi diğerine göre nispeten tercih
5	Önemli	Tecrübe ve yargı, bir unsuru diğerine göre güçlü bir şekilde
7	Daha	Bir öğe diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilir
9	Çok Daha	Bir unsuru diğerine göre destekleyen kanıt, mümkün olan

Dört araç tipi için de gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalar ile, arızaların araçlara göre göreceli önem değerleri bulunmuştur. Hesaplanan önem dereceleri Çizelge 9.36'teki gibidir:

Çizelge 9. 36 Arızalar için araçlar bazında önem dereceleri

Arıza/Araç	Phileas	Karsan	Capacity	Citaro	Conecto
<b>BHH</b>	0.017	0.052	0.050	0.096	0.030
<b>BYH</b>	0,013	0,026	0,029	0,037	0,011
<b>DŞ</b>	0,173	0,015	0,144	0,179	0,094
<b>DR</b>	0,020	0,069	0,113	0,102	0,064
<b>EA</b>	0,047	0,029	0,027	0,027	0,032
<b>FR</b>	0,140	0,152	0,118	0,079	0,034
<b>KP</b>	0,045	0,012	0,045	0,018	0,050
<b>KAR</b>	0,056	0,025	0,064	0,047	0,084
<b>KYŞ</b>	0,009	0,014	0,007	0,097	0,064
<b>KL</b>	0,151	0,101	0,104	0,109	0,172
<b>LS</b>	0,010	0,086	0,015	0,010	0,013
<b>MT</b>	0,084	0,064	0,087	0,057	0,103
<b>SOĞ</b>	0,032	0,013	0,029	0,014	0,036
<b>SÜS</b>	0,111	0,123	0,110	0,094	0,117
<b>YKT</b>	0,091	0,218	0,058	0,034	0,099

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde, Phileas aracı için en önemli arızanın diferansiyel şanzıman şaft arızası olduğu, Karsan marka araç için en önemli arızanın yakıt enjeksiyon arızaları olduğu, Capacity ve Citaro markalı araçlar için en önemli arızanın diferansiyel şanzıman şaft arızası olduğu ve Conecto markalı araç için en önemli arızanın ise klima sistemi arızaları olduğu gözlemlenebilir. Arızalar için önem derecelerinin belirlendikten sonra, bu değerlerin her bir araç bazında minimum, maksimum, medyan ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin hepsinin bir üyelik fonksiyonuna karşılık gelen tepe noktası değeri olduğu düşünülmüştür. Bu değer, ilgili indeksin belirlenmesinde kullanılmıştır.

### 9.2.2.2 Arıza Sıklığına Göre Belirlenen Katsayılar

Bu faktörün katsayıları belirlenirken, her marka araçta her bir araç için meydana gelen arıza sayıları göz önünde bulundurulmuştur. Yine bu sayıların minimum, maksimum, medyan ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin hepsinin bir üyelik fonksiyonuna karşılık gelen tepe noktası değeri olduğu düşünülmüştür. Bu değer, ilgili indeksin belirlenmesinde kullanılmıştır. Çizelge 9.37, hesaplanan değerleri göstermektedir.

Çizelge 9. 37 Araçların arıza sayılarına ait istatistikler

	Arıza Sayıları			
	<i>Maks</i>	<i>Ort</i>	<i>Med</i>	<i>Min</i>
Phileas	136	88,19	88	19
Karsan	74	34,15	34	15
Capacity	157	94,24	94	40
Citaro	184	122,5	123,6	77
Conecto	58	23,11	20,5	10

### 9.2.2.3 Hat Başına Arıza Faktörüne Göre Belirlenen Katsayılar

Bu faktörün katsayılarının hesaplanmasında ise araçların kullanıldığı hatlardaki ortalama arıza sayıları hesaplanmış ve yine önceki iki faktörde olduğu gibi sayıların minimum, maksimum, medyan ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin hepsinin bir üyelik fonksiyonuna karşılık gelen tepe noktası değeri olduğu düşünülmüştür. Bu değerler, ilgili indeksin belirlenmesinde kullanılmıştır. Çizelge 9.38, bu amaçla hesaplanan değerleri araç bazında göstermektedir.

Çizelge 9. 38 Hat başına arıza faktörüne ait istatistikler

	<i>Min</i>	<i>Med</i>	<i>Ort</i>	<i>Max</i>
Phileas	23	1225	1463,67	3143
Karsan	641	1111	1258,25	2170
Capacity	24	1042,5	2355,60	14805
Citaro	404	1134,5	1548,3	3891
Conecto	62	172	420,13	2127

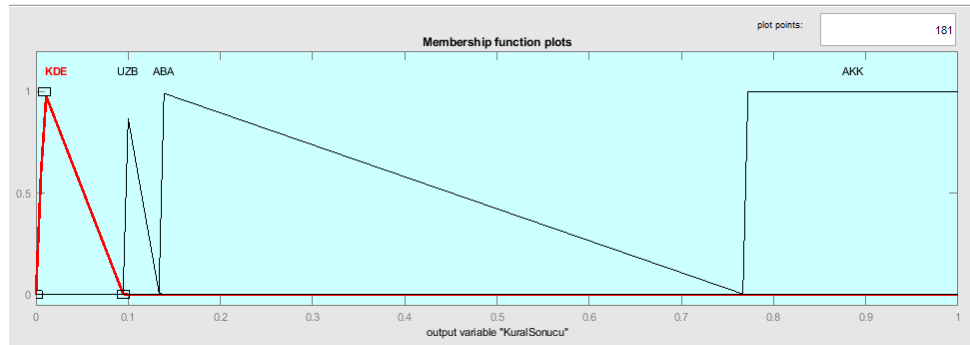
### 9.2.3 Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Faktörlere ait katsayılar belirlendikten sonra, bu değerler birbiri ile çarpılarak bulanık kural tabanlı sistemin ardılının tepe noktalarına ait üyelik dereceleri oluşturulmuştur. İlgili katsayılar daha sonra normalize edilmiştir. Örneğin Çizelge 9.39, Phileas aracı için hesaplanan üyelik fonksiyonu tepe noktası değerlerini göstermektedir.

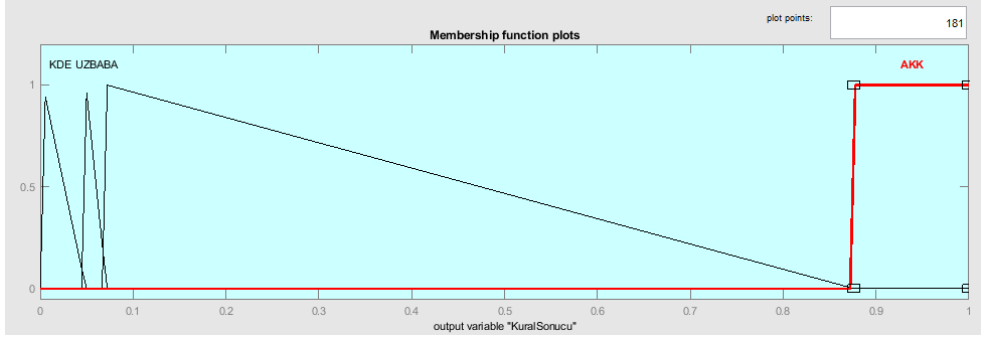
Çizelge 9. 39 Bulanık kural tabanlı sistemin ardılı için hesaplanan tepe noktaları

Göz önüne alınan faktörler	Salt Değerler			
	max	Ort	Med	min
Arızalar için önem dereceleri	0,1729	0,0667	0,0474	0,0089
Arıza sıklığı	136,00	88,19	88,00	19,00
Hat başına arıza	3143	2184,00	2184	1125
Sonuç	73905,7592	12846,88	9109,901	190,238
Normalizasyon	<b>0,76943</b>	<b>0,13375</b>	<b>0,09484</b>	<b>0,00198</b>

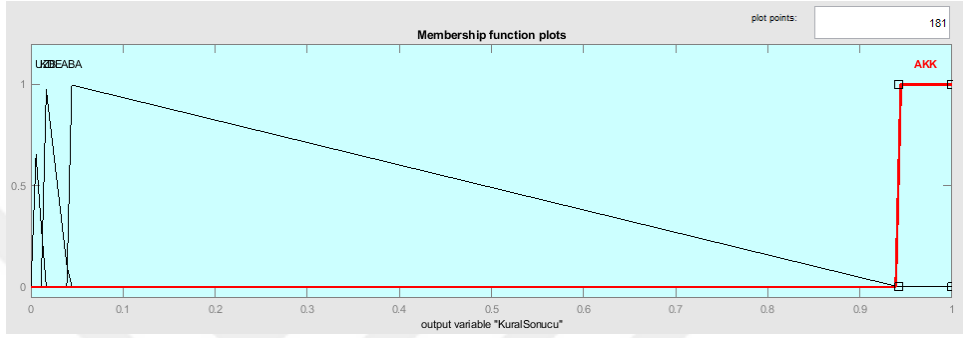
Bu değerler, her bir üyelik fonksiyonu için birer tepe noktasını göstermektedir. Bu değerlerden hareketle Phileas aracının ardılı için kullanılacak olan üyelik fonksiyonları aşağıda Şekil 9.65'deki gibi belirlenmiştir.



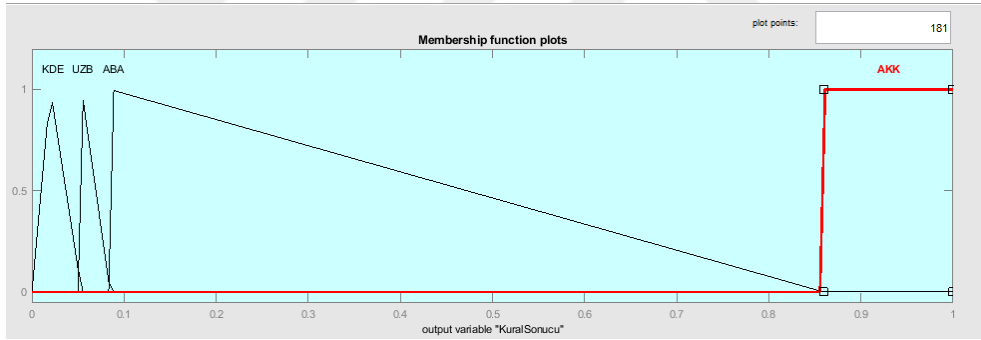
Şekil 9. 65 Phileas markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu  
Diğer marka metrobüs araçları için aynı yolla hesaplanarak oluşturulan üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 9.66, Şekil 9.67, Şekil 9.68 ve Şekil 9.69'daki gibidir.



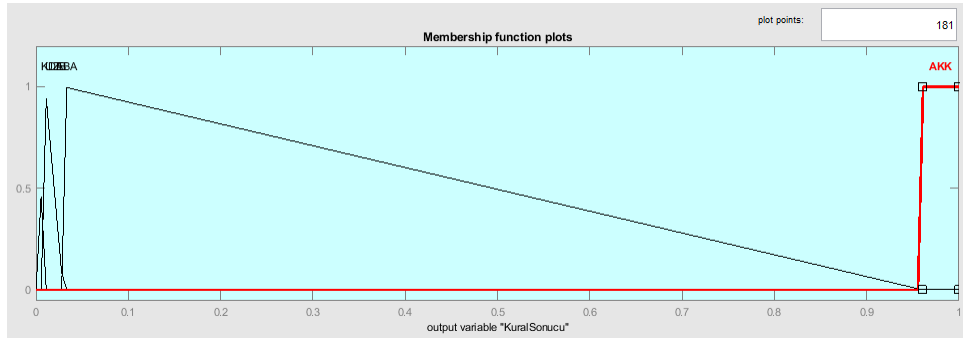
Şekil 9. 66 Karsan markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu



Şekil 9. 67 Capacity markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu



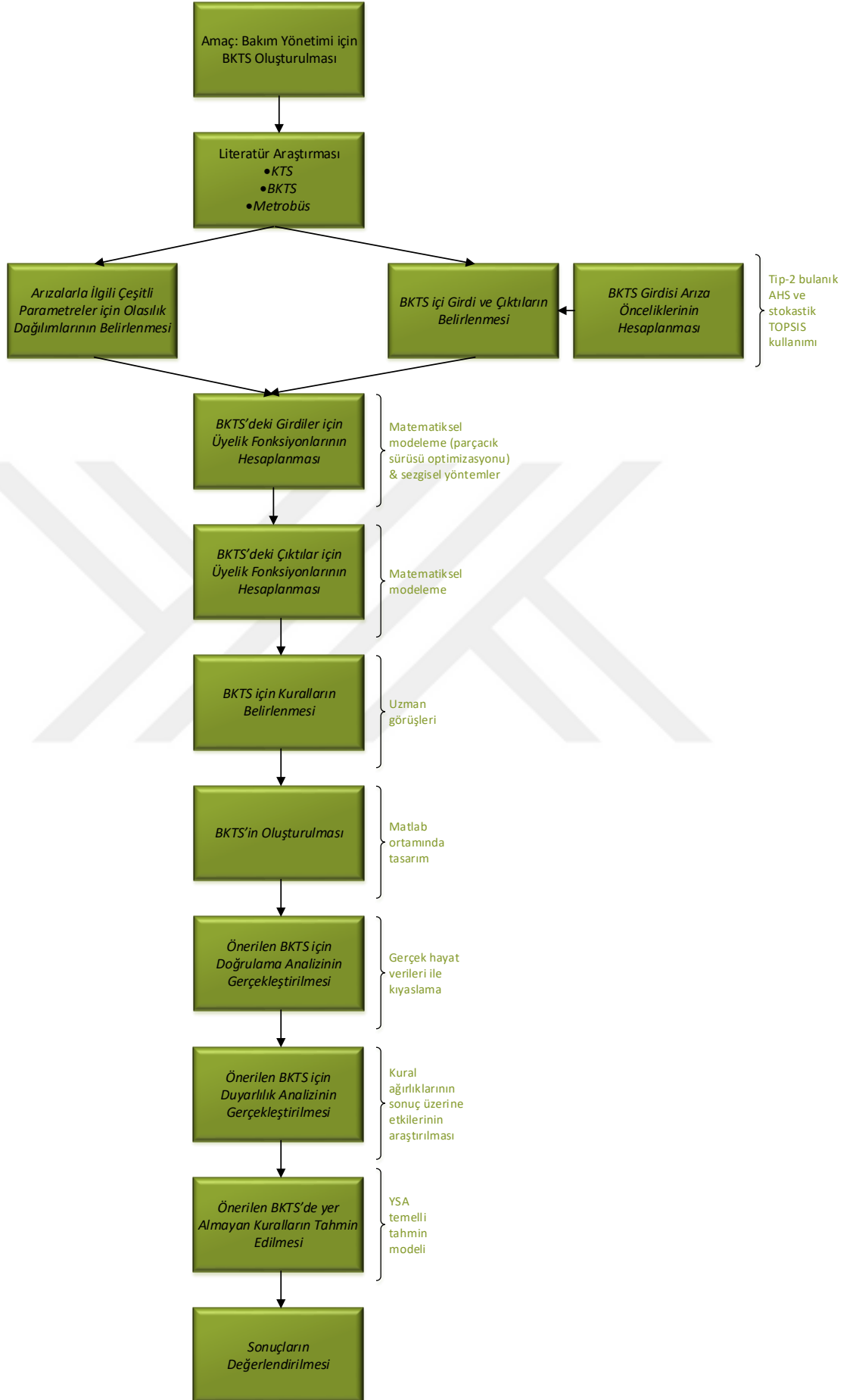
Şekil 9. 68 Citaro markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu



Şekil 9. 69 Conecto markalı aracın ardılı için oluşturulan üyelik fonksiyonu

### ÖNERİLEN BULANIK KURAL TABANLI SİSTEM İÇİN KURALLARIN BELİRLENMESİ VE SİSTEMİN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde kural tabanlı sistemde kullanılacak kurallar belirlenmiş ve Matlab ortamında ilgili sistem oluşturulmuştur. İlk olarak, aşağıdaki Şekil 'da, tezin tamamı için çizilen akış şeması, Şekil 10.70'de gösterilmektedir.



## Şekil 10. 70 Bakım Yönetimi için Önerilen Bulanık Kural Tabanlı Sisteme Ait Akış Şeması

### 10.1 Kuralların Belirlenmesi

Daha önceki bölümlerde metrobüs araçları için bakım kararının verilmesinde bulanık kural tabanlı sistemde kullanılacak girdiler belirlenmiştir. Bu girdiler için sistemde kullanılan kısaltmalar Çizelge 10.40'daki gibidir.

Çizelge 10. 40 Girdiler için Kullanılan Kısaltmalar

<i>Kısaltma</i>	<i>Anlam</i>
<b>AYS</b>	Arıza Yapma Sıklığı
<b>AKD</b>	Aracın Kullanımda Olduğu Dönem
<b>AY</b>	Araç Yaşı
<b>ADR</b>	Arızanın Önem Derecesi
<b>AML</b>	Arıza Maliyeti
<b>GÜV</b>	Aracın Güvenilirliği
<b>BUGS</b>	Bir Önceki Bakımın Üzerinden Geçen Süre
<b>SY</b>	Şoför Yeteneği

Bu girdilerin üyelik fonksiyonlarına ait seviyeler ise Çizelge 10.41'deki gibidir.

Çizelge 10. 41 Girdilerin üyelik fonksiyonu seviyeleri

<b>AYS</b>	<b>AKD</b>	<b>AY</b>	<b>ADR</b>	<b>AML</b>	<b>GÜV</b>	<b>BUGS</b>	<b>SY</b>	<b>SONUC</b>
Düşük	Yaz	Genç	Önemsiz	Düşük	Düşük	Kısa	Düşük	KDE
Orta	Kış	Orta	Orta Önemli	Orta	Orta	Orta	İyi	UZB
Yüksek		Yaşlı	Çok Önemli	Yüksek	Yüksek	Uzun	Orta	ABA
Daha Yüksek					Daha Yüksek		Tecrübeli	AKK
En Yüksek					En Yüksek		Profesyonel	

İlgili girdiler için gerek sezgisel yolla gerekse matematiksel programlama yoluyla üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Ardından kural tabanlı sistem çıktısı için üyelik fonksiyonları hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra, kuralların belirlenmesi gerekmektedir. Kuralların belirlenmesi aşamasında Metrobüs Bakım Onarım İşleri biriminde çalışan mühendislerden görüş alınmıştır. Alınan görüşlerle 75 adet kural oluşturulmuştur. Çizelge 10.42'de bu kuralların listesini görmektedir.



Çizelge 10. 42 Bulanık kural tabanlı çıkarım mekanizmasında kullanılacak kurallar listesi

<i>Kural/ Sonuç</i>	<i>AYS</i>	<i>AKD</i>	<i>AY</i>	<i>ADR</i>	<i>AML</i>	<i>GÜV</i>	<i>BUGS</i>	<i>SY</i>	<i>SONUÇ</i>
<i>Kural 1</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Genç</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	KDE
<i>Kural 2</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Genç</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	ABA
<i>Kural 3</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Genç</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<i>Kural 4</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Tecrübeli</i>	KDE
<i>Kural 5</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Orta</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<i>Kural 6</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB
<i>Kural 7</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Uzun</i>	<i>Düşük</i>	AKK
<i>Kural 8</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	<i>Uzun</i>	<i>Düşük</i>	AKK
<i>Kural 9</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>İyi</i>	ABA
<i>Kural 10</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	ABA
<i>Kural 11</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<i>Kural 12</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB
<i>Kural 13</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	KDE
<i>Kural 14</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	KDE
<i>Kural 15</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>İyi</i>	KDE
<i>Kural 16</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	KDE
<i>Kural 17</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Genç</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<i>Kural 18</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Uzun</i>	<i>Orta</i>	ABA
<i>Kural 19</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB
<i>Kural 20</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Genç</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB
<i>Kural 21</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Genç</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Uzun</i>	<i>Düşük</i>	ABA
<i>Kural 22</i>	<i>Orta</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB
<i>Kural 23</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Uzun</i>	<i>Orta</i>	UZB
<i>Kural 24</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	KDE
<i>Kural 25</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	<i>Uzun</i>	<i>Orta</i>	ABA
<i>Kural 26</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Uzun</i>	<i>Düşük</i>	UZB
<i>Kural 27</i>	<i>Orta</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<i>Kural 28</i>	<i>Orta</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	KDE
<i>Kural 29</i>	<i>Orta</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Orta</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	KDE
<i>Kural 30</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Yaz</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Düşük</i>	<i>Düşük</i>	<i>Kısa</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB

Çizelge 10.42 Bulanık kural tabanlı çıkarım mekanizmasında kullanılacak kurallar listesi

(Devamı)

Kural/ Sonuç	AYS	AKD	AY	ADR	AML	GÜV	BUGS	SY	SONUÇ
Kural 31	Yüksek	Yaz	Yaşlı	Önemsiz	Düşük	Daha Yüksek	Kısa	Profesyonel	KDE
Kural 32	En Yüksek	Yaz	Yaşlı	Önemsiz	Orta	Orta	Orta	Orta	UZB
Kural 33	Düşük	Yaz	Orta	Orta Önemli	Düşük	En Yüksek	Kısa	Profesyonel	KDE
Kural 34	Düşük	Yaz	Genç	Önemsiz	Orta	En Yüksek	Orta	Tecrübeli	KDE
Kural 35	Düşük	Yaz	Genç	Çok Önemli	Orta	Yüksek	Kısa	Orta	KDE
Kural 36	Orta	Yaz	Genç	Orta Önemli	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	UZB
Kural 37	Düşük	Yaz	Yaşlı	Orta Önemli	Düşük	En Yüksek	Orta	İyi	KDE
Kural 38	Yüksek	Kış	Orta	Orta Önemli	Düşük	Yüksek	Kısa	İyi	KDE
Kural 39	Yüksek	Kış	Orta	Önemsiz	Düşük	Düşük	Uzun	İyi	UZB
Kural 40	Orta	Kış	Orta	Önemsiz	Orta	Daha Yüksek	Kısa	Profesyonel	KDE
Kural 41	Düşük	Kış	Yaşlı	Önemsiz	Orta	Orta	Uzun	Düşük	UZB
Kural 42	Orta	Kış	Yaşlı	Çok Önemli	Orta	Düşük	Uzun	Düşük	UZB
Kural 43	Daha Yüksek	Kış	Orta	Çok Önemli	Yüksek	Orta	Orta	Tecrübeli	ABA
Kural 44	Daha Yüksek	Kış	Genç	Orta Önemli	Düşük	Daha Yüksek	Kısa	Profesyonel	UZB
Kural 45	Düşük	Kış	Yaşlı	Önemsiz	Düşük	Orta	Kısa	Profesyonel	KDE
Kural 46	Yüksek	Kış	Orta	Çok Önemli	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük	ABA
Kural 47	Yüksek	Kış	Orta	Önemsiz	Orta	Yüksek	Orta	Tecrübeli	UZB
Kural 48	En Yüksek	Kış	Yaşlı	Çok Önemli	Yüksek	Düşük	Uzun	Düşük	AKK
Kural 49	En Yüksek	Kış	Orta	Çok Önemli	Orta	Orta	Orta	Profesyonel	ABA
Kural 50	Yüksek	Kış	Genç	Orta Önemli	Orta	Düşük	Orta	İyi	UZB
Kural 51	Yüksek	Kış	Genç	Orta Önemli	Düşük	Düşük	Uzun	Düşük	UZB
Kural 52	Orta	Kış	Yaşlı	Orta Önemli	Düşük	Yüksek	Kısa	Tecrübeli	KDE
Kural 53	Orta	Kış	Genç	Önemsiz	Orta	Daha Yüksek	Kısa	Tecrübeli	KDE
Kural 54	Orta	Kış	Orta	Önemsiz	Yüksek	Orta	Orta	İyi	UZB
Kural 55	Orta	Kış	Orta	Çok Önemli	Orta	Yüksek	Uzun	Tecrübeli	UZB
Kural 56	Daha Yüksek	Kış	Orta	Önemsiz	Orta	Daha Yüksek	Kısa	Profesyonel	UZB
Kural 57	Daha Yüksek	Kış	Genç	Orta Önemli	Orta	Orta	Uzun	Düşük	ABA
Kural 58	En Yüksek	Kış	Genç	Önemsiz	Orta	Daha Yüksek	Orta	Tecrübeli	ABA
Kural 59	Yüksek	Kış	Genç	Çok Önemli	Yüksek	Orta	Uzun	Düşük	ABA
Kural 60	En Yüksek	Kış	Yaşlı	Önemsiz	Düşük	En Yüksek	Kısa	Tecrübeli	ABA
Kural 61	Düşük	Kış	Genç	Orta Önemli	Orta	Daha Yüksek	Kısa	Tecrübeli	KDE
Kural 62	Daha Yüksek	Kış	Genç	Önemsiz	Düşük	En Yüksek	Kısa	Profesyonel	UZB

Çizelge 10.42 Bulanık kural tabanlı çıkarım mekanizmasında kullanılacak kurallar listesi

(Devamı)

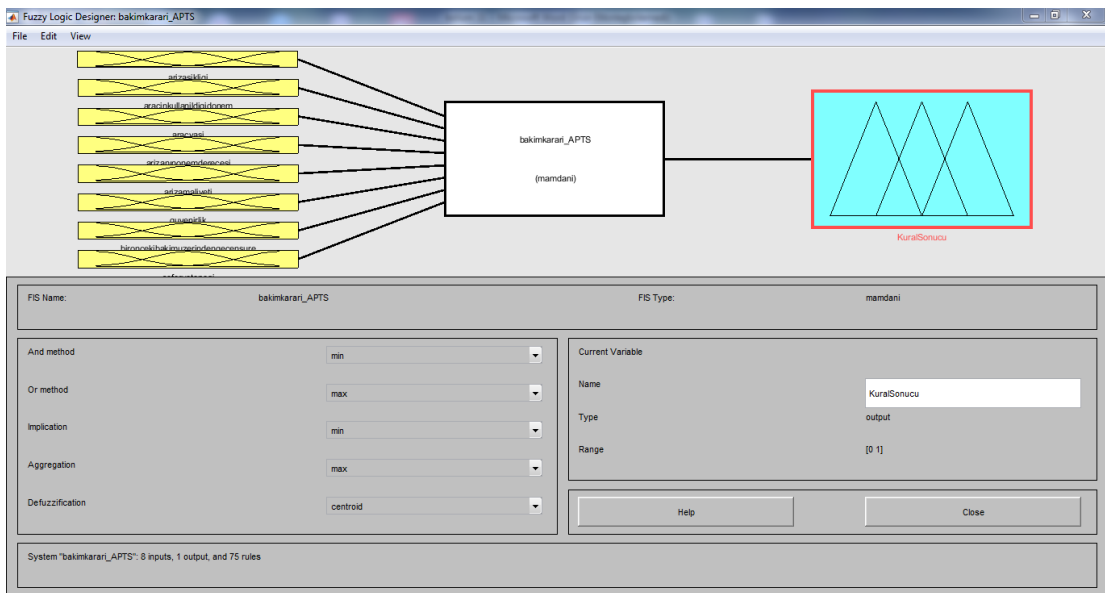
<i>Kural/ Sonuç</i>	<b>AYS</b>	<b>AKD</b>	<b>AY</b>	<b>ADR</b>	<b>AML</b>	<b>GÜV</b>	<b>BUGS</b>	<b>SY</b>	<b><u>SONUÇ</u></b>
<b>Kural 63</b>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	ABA
<b>Kural 64</b>	<i>Orta</i>	<i>Kış</i>	<i>Genç</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	UZB
<b>Kural 65</b>	<i>Orta</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Orta</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	UZB
<b>Kural 66</b>	<i>Orta</i>	<i>Kış</i>	<i>Orta</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Tecrübeli</i>	KDE
<b>Kural 67</b>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Orta</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Düşük</i>	AKK
<b>Kural 68</b>	<i>Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Önemsiz</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<b>Kural 69</b>	<i>Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Tecrübeli</i>	UZB
<b>Kural 70</b>	<i>Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Profesyonel</i>	UZB
<b>Kural 71</b>	<i>Orta</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Profesyonel</i>	KDE
<b>Kural 72</b>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Çok Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Daha Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Tecrübeli</i>	ABA
<b>Kural 73</b>	<i>Düşük</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Profesyonel</i>	KDE
<b>Kural 74</b>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Yaşlı</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	<i>Uzun</i>	<i>İyi</i>	AKK
<b>Kural 75</b>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kış</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta Önemli</i>	<i>Orta</i>	<i>En Yüksek</i>	<i>Kısa</i>	<i>Tecrübeli</i>	ABA

## 10.2 Matlab Ortamında Önerilen Bulanık Kural Tabanlı Sistemin Oluşturulması

Girdi-çıktılar belirlendikten, bunlar için üyelik fonksiyonları oluşturduktan ve kurallar belirledikten sonra çıkarım sistemi MATLAB ortamında kodlanmıştır. MATLAB, bir bulanık çıkarım sistemini Fuzzy Logic Designer araç kutusu ile bir arayüz yardımı ile otomatik olarak oluşturmaktadır. İlgili girdiler, bu girdilerin üyelik dereceleri, çıktılar, çıktılara ait üyelik fonksiyonları ve kurallar ilgili arayüze girilerek çıktı üyelik fonksiyonları farklı olan her bir araç modeli için bir sistem oluşturulmuştur. Aşağıdaki alt bölümlerde, araç modeli bazında oluşturulan kural tabanlı sistemlere ayrı ayrı yer verilmiştir.

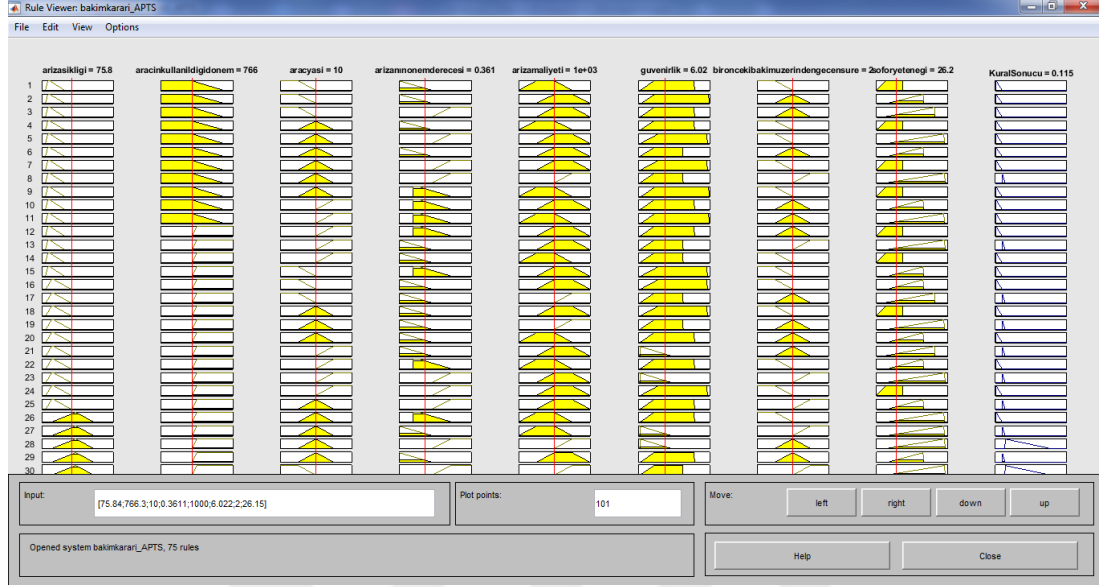
### 10.2.1 Phileas markalı araç için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem

Sekiz adet girdi, bir adet çıktı ve 75 adet kuralın Matlab Fuzzy Logic Designer araç kutusunun arayüzüne girildikten sonra, program bize girdileri, girdi isimlerini, kuralların hangi yaklaşımla hesaplanacağını (Mamdani) ve çıktı ile tüm bu sayısal değerlerin en alt limitlerini gösteren bir görüntü sunmaktadır. Örneğin çıktı değerlerimizin [0 1] aralığında değiştiği aşağıdaki ekran çıktısında görülmektedir. Her bir girdi seçildiğinde, bu girdiye ait aralık ve isim bilgisi bu ekrandan görülebilmektedir. Şekil 10.71, Phileas marka araç için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem için program arayüzünü göstermektedir.



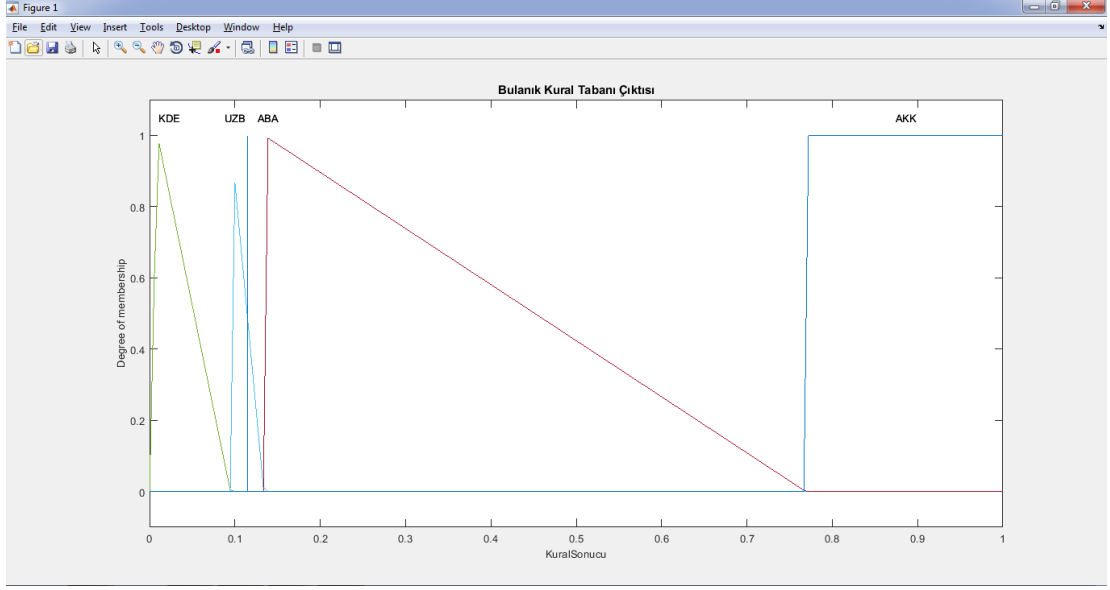
Şekil 10. 71 Phileas aracına ait oluşturulan kural tabanlı sistem giriş arayüzü

Bu aşamadan sonra sistemi kurallarla bir bütün olarak görebileceğimiz ve girdilere değer atayabileceğimiz kural düzenleme ekranı görüntülenir. Bu ekran, belirlenen girdiler sonucunda sonuçları alabildiğimiz ekrandır. Şekil 10.72, Phileas aracı için bulanık kural tabanlı sistem girdi ekranını göstermektedir.



Şekil 10. 72 Phileas aracı için Bulanık Kural Tabanlı sistem girdi ekranı

Bu ekran vasıtasıyla, sol alt köşede girdi değerlerimizi elle girerek ya da her bir fonksiyon üzerindeki kırmızı çizgiyi hareket ettirerek, çıktının ne olduğunu son sütunda yer alan “KurallarSonucu” kısmından görebilmekteyiz. Örneğin sırasıyla arıza sıklığı, aracın kullanıldığı dönem, araç yaşı, arızanın önem derecesi, arıza maliyeti, güvenilirlik, bir önceki bakım üzerinden geçen süre ve şoför yeteneği girdilerimiz için belirlediğimiz [75,84 766,3 10 0,3611 1000 6,022 2 26,15] değerlerine karşılık, bulanık kural tabanlı sistem bize 0,115 çıktısını vermektedir. Son olarak, netleştirilmiş çıktı değerinin yine Matlab ortamında yazılan bir fonksiyonla hangi karara karşılık geldiği aşağıdaki gibi bulunmuştur.

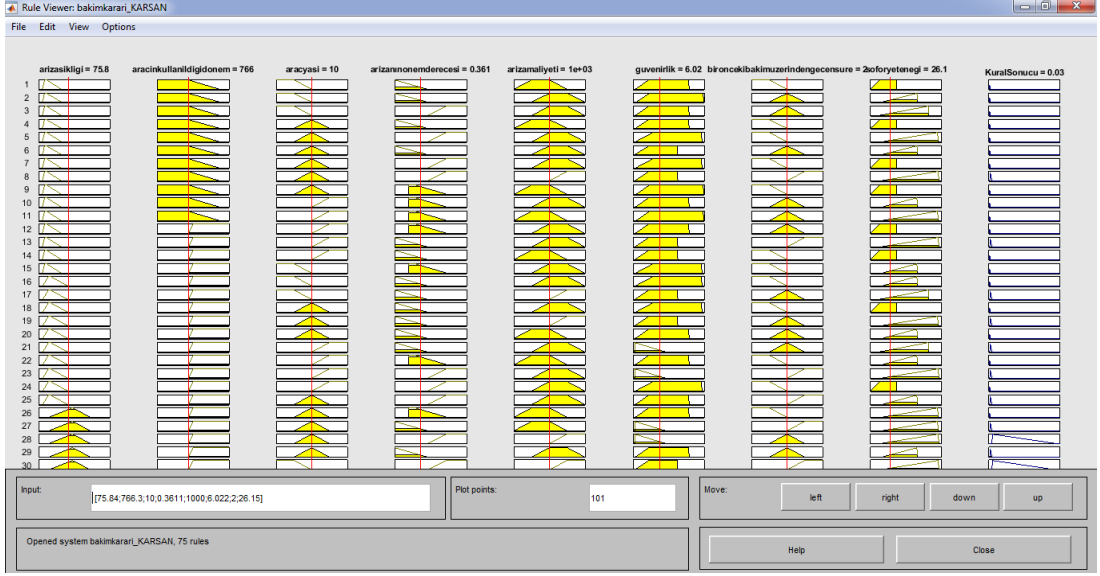


Şekil 10. 73 Phileas marka araç için bulanık kural tabanlı sistem kararı

Şekil 10.73’de çizgi ile gösterilen “karar” çıktımız, “UZB” yani uygun zamanda bakıma karşılık gelen bakım kararına karşılık gelmektedir. Yani sekiz girdiye atanan yukarıdaki değerlere göre, sistem aracın uygun bir zamanda bakıma alınması gerektiği kararına varmıştır. Bu şekilde girdi değerleri değiştirilerek, hangi sonuca karar verildiği rahatça görülebilir.

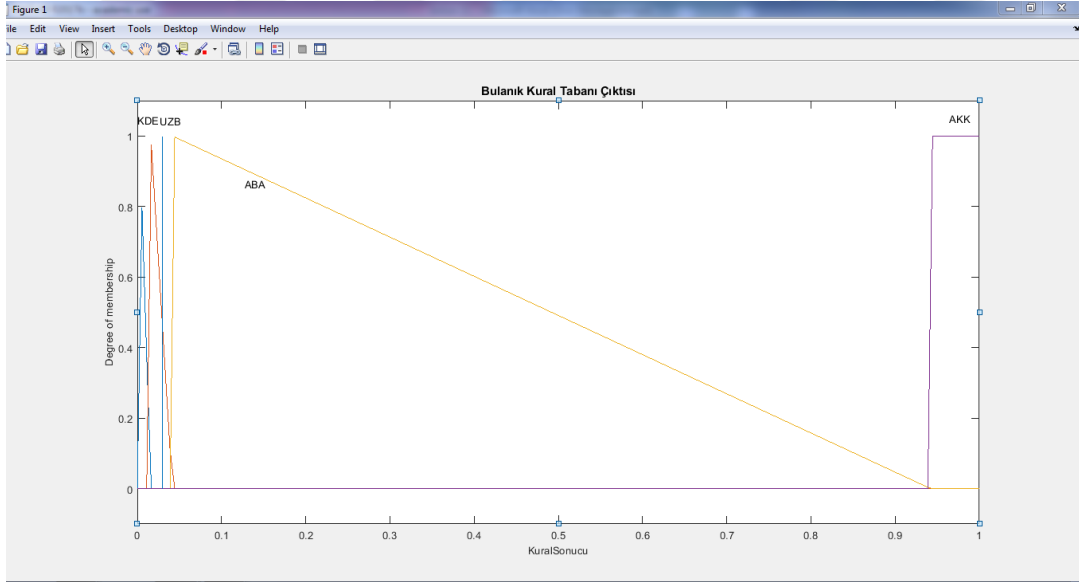
### 10.2.1 Karsan markalı araca ait oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem

Bir önceki bölümde girdiler ve kurallara ilişkin yapılan düzenlemeler, Karsan marka araç için de tekrarlanmıştır. Buradaki farklılık, çıktı üyelik fonksiyonundaki referans değerlerdir. Daha önceki bölümlerde bahsedilen çıktı üyelik derecesi ayarlama yaklaşımı sonucu, her araç farklı değerler kullanılarak oluşturulduğundan, farklı seviye değerlerine sahiptir. Temelde yine dört farklı karar vardır, ancak bu kararlara karşılık gelen üyelik fonksiyonlarının referans noktaları farklıdır. Aşağıdaki Şekil 10.74’de, Karsan markalı araç için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem görülmektedir.



Şekil 10. 74 Karsan aracı için Bulanık Kural Tabanlı sistem girdi ekran

Phileas aracı için girilen değerler, burada da kararın belirlenmesinde kullanılmıştır. Burada kural sonucu netleştirilmiş değer; 0,03 olarak hesaplanmıştır. Bu değer bakım kararı olarak karşılık geldiği sonuç, aşağıdaki Şekil 10.75'teki gibidir:



Şekil 10. 75 KARSAN markalı araç için kural tabanlı sistem kararı

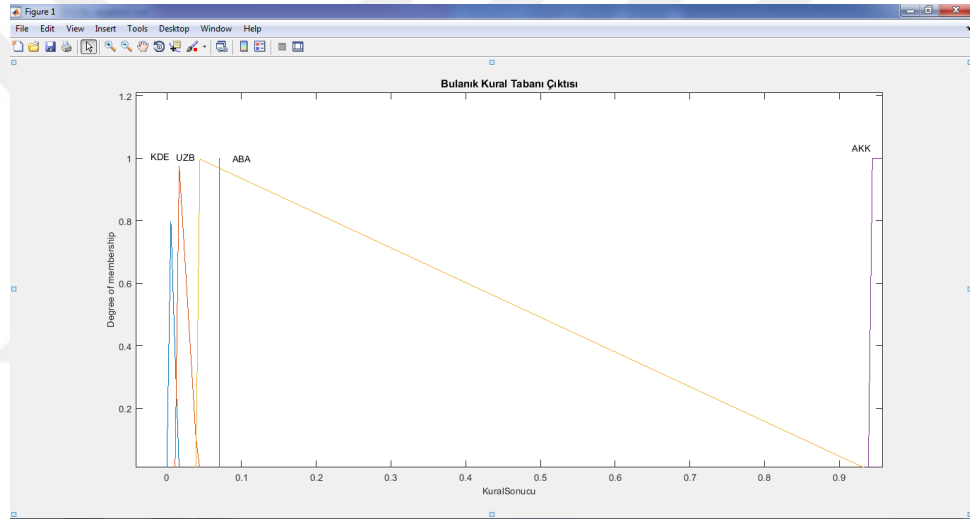
Karsan markalı araç için kural tabanlı sistemin verdiği sonuç, belirtilen girdilerin gerçekleşmesi durumunda sistemin uygun zamanda bakıma alınması gerektirir.

### 10.2.2 Capacity markalı araca ait oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem

Aynı işlemler tekrarından sonra, sisteme girilen çıktı üyelik fonksiyonları sonucunda Capacity markalı araç için de bulanık kural tabanlı sistem oluşturulmuştur. Aynı girdiler ile alınan sonuç, yine aracın uygun zamanda bakıma alınması gerekliliğidir.

### 10.2.3 CITARO markalı araca ait oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem

Sisteme girilen yeni üyelik fonksiyonları ile beraber referans aldığımız girdi değerleri için bulanık kural tabanlı sistemin net çıktısı, 0,07 değeri olmuştur. Bu değere karşılık gelen karar ise aracın acil bakıma alınması yönündedir. Şekil 10.76, Citaro marka araç için bulanık kural tabanlı sistem kararını göstermektedir.



Şekil 10. 76 Citaro marka araç için bulanık kural tabanlı sistem kararı

### 10.2.4 CONECTO markalı araca ait oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem

Son olarak Conecto markalı araç için aynı verilerle bulunan sonuç, 0,02 net değer ile aracın yine uygun olan zamanda bakıma alınması gerektiğidir.

## 10.3 Kural Tabanlı Sistemin Doğrulanması

Eldeki verilerinden ve uzman görüşlerinden yola çıkarak hazırlanan kural tabanlı sistemimiz, beş farklı araç modeli için de çalışıp, çıktılar vermektedir. Ancak verilen çıktıların gerçek dünyada uygulanabilir olup olmadığı araştırılmalıdır. Modelin doğru yanıtlar verip vermediğini öğrenmenin bir yolu, gerçek çıktılarla karşılaştırılmasıdır. Tez kapsamında İETT çalışanları tarafından sağlanan arıza kayıtlarında hangi kimlik



numaralı aracın hangi arızayı geçirdiği, bu arızayı ne zaman geçirdiği, onarım süresinin ne kadar olduğu ve ilgili aracı hangi kimlik numarasına sahip şoförün kullandığı bilgileri yer almaktadır. Bu verilerden, aracın hangi dönemde kullanıldığı ve güvenilirlik değeri girdi olarak direk kural tabanlı sisteme eklenebilir. Aracın arıza yapma sıklığını ve şoförün arıza adetini hesaplayanaak yine bulanık kural tabanlı sistemimize ait iki girdinin daha değerleri hesaplanmıştır. Ardından, tip-2 interval bulanık AHS ve stokastik TOPSIS yöntemi ile araçlar bazında hesapladığımız arıza öncelikleri de arızanın önem derecesi girdisi için kullanıldı. Arıza kayıtlarında aracın yaşı, arızanın maliyeti ve bir önceki bakım üzerinden geçen süre bilgileri yer almamaktadır. Bu bilgiler, kurum tarafından da paylaşılmamıştır. Bu üç girdi için de her araç bazında ortalama değerler kullanılmıştır. Bu değerler, araç yaşı için 5, arıza maliyeti için 500 TL ve bir önceki bakım üzerinden geçen zaman girdisi için 1 yıldır. Beş farklı araç modelinin her biri için rassal olarak seçilen 15 adet arıza kaydı üzerinden doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çıktı olarak arıza kayıtlarında araçlara yapılan işlemler; “Yer Ustası – Servis”, “Yol Ustası – Servis”, “Yer Ustası – Garaj” ,“Yol Ustası – Garaj”, “Çekilerek Garaj” , “Kayıtcı Garaj” ya da “Telefon ile Servis” gibi isimlerle kaydedilmiştir. Burda, arıza durumunda işi yapan ve işin nerde yapıldığı konusunda detay verilmektedir. Bu kapsamda aracın uygun zamanda bakıma alınması gerektiği (UZB) ya da acil bakıma alınması gerektiği (ABA) kararları için gerçek hayatta karşılaşılan bu çıktıların bir kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Bu iki çıktımız gerçek hayat kararlarına bulanık kural tabanlı sistem çıktılarını aldıktan sonra eşleştirilmiştir. Örneğin, “çekilerek garaj” gerçek hayat kaydı, aracın acil bakıma alınması gerektiği ile eşleşmiştir. Çünkü gerçek hayatta bu kararın verildiği araçlar, sistemimizden hep acil bakıma alınması gereken araçlar olarak tespit edilmiştir. Yine “Yol Ustası – Garaj” ve “Yol Ustası – Servis” gibi gerçek hayat aksiyonları, uygun zamanlı bakım bulanık kural tabanlı çıktımız ile eşleşmiştir. Aşağıda her alt bölümdeki çizelgelerde, her bir araca ait 15 farklı arıza kaydına karşılık gelen kural tabanlı sistem çıktısı ve bu çıktılarının başarı oranlarını gösterilmiştir.

### **10.3.1 Phileas aracı için bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik tespiti**

İlk olarak, Phileas aracı için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem için geçerlilik araştırması yapılmıştır. 15 farklı arıza kaydının sonuçları kural tabanlı sisteme

dökülmüş, ve kaçının gerçek hayat çıktısı ile örtüştüğü araştırılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 10.43'de, analizi gerçekleştirmede kullanılan arıza kayıtları gösterilmektedir. Araç kimlik numarası ve şoför kimlik bilgisi, verinin gizliliği açısından tüm değerleri ile gösterilmemiştir.

Çizelge 10. 43 KARSAN marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları

Sıra	Araç Kapı No	Şoför Sicil	Arıza	Tamir Zamanı	Tamir Süresi (saat)	Gerçekte Uygulanan Karar	Gerçekte Alınan Karara Karşılık Gelen Çıktı	MATLAB Çıktısı
1	2...08	34..5	ELEKTRİK SİSTEMİ ARIZALARI	20.01.2014	0,017	YER USTASI - SERVİS	ABA	ABA
2	2...11	35..5	FREN ŞİKAYETLERİ	07.06.2011	7,417	YOL USTASI - GARAJ	UZB	UZB
3	2...02	4..5	ELEKTRİK SİSTEMİ ARIZALARI	11.07.2011	5,833	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
4	2...11	10..6	BASINÇLI YAĞ HATTI ARIZASI	03.10.2014	0,500	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
5	2...01	28..8	KLİMA SİSTEMİ ARIZALARI	12.07.2011	12,833	YOL USTASI - GARAJ	UZB	UZB
6	2...04	34..4	YAKIT-ENJEKSİYON ARIZALARI	15.05.2013	3,733	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
7	2...07	29..5	KAPI ARIZALARI	21.05.2011	2,750	YOL USTASI - SERVİS	UZB	UZB
8	2...07	10..8	BASINÇLI HAVA HATTI ARIZASI	24.04.2014	3,233	YOL USTASI - SERVİS	UZB	ABA
9	2...27	34..9	DİFERANSİYEL ŞANZİMAN ŞAFT ARIZALARI	12.04.2012	5,167	YOL USTASI - GARAJ	UZB	UZB
10	2...14	4..1	KAYIŞ KASNAK ARIZALARI	27.06.2011	2,000	YOL USTASI - SERVİS	UZB	UZB
11	2...32	34..0	SÜSPANSİYON SİSTEMİ ARIZALARI	23.04.2012	2,000	YOL USTASI - SERVİS	UZB	UZB
12	2...23	5..3	MOTOR ARIZALARI	08.12.2010	1,833	YOL USTASI - GARAJ	UZB	UZB
13	2...02	34..4	FREN ŞİKAYETLERİ	11.05.2012	1,833	YOL USTASI - GARAJ	UZB	ABA
14	2...05	34..4	DİFERANSİYEL ŞANZİMAN ŞAFT ARIZALARI	13.05.2014	1,367	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
15	2...33	34..7	LASTİK ARIZALARI	03.08.2012	1,167	YOL USTASI - SERVİS	UZB	ABA

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde, 15 arıza kaydından 12 tanesi için sistemin gerçek hayatla aynı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yalnızca üç durumda önerilen bulanık kural tabanlı sistem, gerçek hayatta alınan karara karşılık gelen “uygun zamanlı bakım” çıktısına karşılık “acilen bakıma alma” sonucunu önermiştir. Bunun dışındaki tüm sonuçlar, gerçek hayatta alınan aksiyonlar ile örtüşmektedir. Bu nedenle, önerilen sistemimizin %80 doğruluk oranı ile sonuç verdiği görülebilir.

Bazı girdilerin ortalama değerler olarak alınması, listedeki üç arıza kaydı için sistemin farklı çıktıyı önermesine sebep olduğu yorumu yapılabilir.

### **10.3.2 KARSAN aracı için bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik tespiti**

Aynı yaklaşımla Karsan markalı araçlar için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik araştırması yapılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 10.44’de, Karsan marka araca ait yukarıdaki çizelgeye nazaran özet bilgilerin bulunduğu çizelge yer almaktadır.

Çizelge 10. 44 KARSAN marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları

Sıra	Gerçekte Alınan Karar	Gerçekte Alınan Karara Karşılık Gelen Çıktı	MATLAB SONUÇ
1	YOL USTASI – SERVİS	UZB	ABA
2	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
3	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
4	YOL USTASI – SERVİS	UZB	ABA
5	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
6	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
7	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
8	KAYITÇI GARAJ	ABA	ABA
9	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
10	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
11	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
12	YOL USTASI – SERVİS	UZB	ABA
13	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	KDE
14	YOL USTASI – GARAJ	UZB	KDE
15	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA

İlgili araç modeline ait yapılan geçerlilik analizi sonucunda, 15 arıza kaydından 10'u için bulanık kural tabanlı sistemin doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Burada da %66,7'lik bir başarıdan söz edilebilir. 5 arıza kaydı için gerçek hayatta alınan karar ile kural tabanlı sistemin önerdiği çıktı, birbiri ile örtüşmemiştir.

Phileas marka araçta olduğu gibi, bazı girdilerin ortalama değerler olarak alınmasıyla, listedeki üç arıza kaydı için sistemin farklı çıktıyı önermesine sebep olduğu yorumu yapılabilir.

### 10.3.3 CAPACITY aracı için bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik tespiti

Bu altbölümde de, Capacity markalı araçlar için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik araştırması sunulmuştur. Aşağıdaki Çizelge 10.45'de, ilgili markadaki araca ait özet bilgilerin bulunduğu geçerlilik analizi çizelgesi yer almaktadır.

Çizelge 10. 45 CAPACITY marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları

Sıra	Gerçekte Alınan Karar	Gerçekte Alınan Kararı Karşılık Gelen Çıktı	MATLAB SONUÇ
1	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
2	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
3	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
4	KAYITÇI GARAJ	ABA	ABA
5	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
6	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
7	ÇEKİLEREK GARAJ	UZB	ABA
8	YOL USTASI – SERVİS	ABA	UZB
9	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZB
10	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
11	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZB
12	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
13	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
14	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
15	TELEFON İLE GARAJ	ABA	ABA

Capacity markalı araçların arıza kayıtları ile gerçekleştirilen geçerlilik analizinde ise, 15 kayıttan 11'si için bulanık kural tabanlı sistemin gerçek hayat sonuçları ile örtüştüğü görülmektedir, bu da %73'lük bir başarı oranına karşılık gelir.

#### 10.3.4 CITARO aracı için bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik tespiti

Mercedes ana modeli, Citaro alt modelindeki araçlar için oluşturulan geçerlilik analizi sonuçları çizelgesi, Çizelge 10.46'da gösterilmiştir.

Çizelge 10. 46 Citaro marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları

Sıra	Gerçekte Alınan Karar	Gerçekte Alınan Kararı Karşılık Gelen Çıktı	MATLAB SONUÇ
1	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
2	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
3	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
4	YER USTASI – SERVİS	UZB	ABA
5	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
6	YER USTASI – SERVİS	UZB	ABA
7	ÇEKİLEREK GARAJ	UZB	ABA
8	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
9	YOL USTASI – SERVİS	ABA	UZB
10	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
11	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
12	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
13	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB
14	YOL USTASI – GARAJ	UZB	UZB
15	YOL USTASI – SERVİS	UZB	UZB

Bu araç için gerçekleştirilen analiz sonucunda da, rassal seçilen 15 arıza kaydından 13 tanesi için bulanık kural tabanlı sistemin gerçek hayatta alınan karar ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Yaklaşık %86'lık başarı gözlemlenen bu araç modeli, diğer modellere nazaran bulanık kural tabanlı çıktı başarısı en yüksek olan araç modelidir.

#### 10.3.4 CONECTO aracı için bulanık kural tabanlı sistemin geçerlilik tespiti

Son olarak, yine Mercedes'in alt modeli olan Conecto markalı araçlar için oluşturulan bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları aşağıdaki Çizelge 10. 47'de yer almaktadır.

Çizelge 10. 47 Conecto marka araca ait bulanık kural tabanlı sistem geçerlilik analizi sonuçları

Sıra	Gerçekte Alınan Karar	Gerçekte Alınan Kararı Karşılık Gelen Çıktı	MATLAB SONUÇ
1	YOL USTASI – SERVİS	ABA	UZZ
2	YOL USTASI – SERVİS	ABA	UZZ
3	YOL USTASI – SERVİS	ABA	UZZ
4	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZZ
5	TELEFON İLE GARAJ	ABA	ABA
6	TELEFON İLE GARAJ	ABA	ABA
7	YOL USTASI – SERVİS	UZZ	UZZ
8	TELEFON İLE SERVİS	ABA	ABA
9	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
10	ÇEKİLEREK GARAJ	ABA	ABA
11	YER USTASI – SERVİS	ABA	ABA
12	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZZ
13	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZZ
14	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZZ
15	YOL USTASI – GARAJ	ABA	UZZ

Bu araç için yapılan analiz sonucunda, 15 adet arıza kaydından 7 tanesi için bulanık kural tabanlı sistem, gerçek hayat çıktısını verebilmiştir. Bu da yaklaşık %46'lık bir başarı anlamına gelmektedir. Bu oran, diğerlerine göre en az olan değerde tespit edilen orandır. İlgili araç için kayıt sayısının az olması, bu araç için daha doğru sonuçlar üretilebilmesini engellemektedir. Daha fazla arıza kaydına ulaşmak ve bu sayede çıktı üyelik fonksiyonlarının daha sağlıklı oluşturulması ile başarı oranı yükseltilebilir.

#### 10.4 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, girdi değerlerindeki değişimin bir modelin çıktısı üzerine yansımalarını analiz etme sürecidir. Bu analiz, model çıktısı üzerinde en fazla etkiye sahip olan girdi faktörlerini tanımlamaya, model çıktısı üzerinde en büyük etkiye sahip olan süreçleri tanımlamaya ve girdi faktörlerinin değerlerinde belirsizlik ve değişkenlikten kaynaklanan çıktı değişikliğini nicelleştirmeye yardımcı olabilir [433]. Bu tez çalışmasında kural tabanında tanımlanan kuralların ağırlıklarını değiştirerek belirlenen kurallar bütünüün çıktı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, örnek olarak CITARO markalı araç için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. 15 adet kuralı bir grup olarak düşünerek, her bir senaryo için farklı 15 kuralın ağırlığını değiştirerek duyarlılık analiz edilmiştir. Kural grubu ağırlıklarını 0,1 ve 0,5 değerleri ile değiştirerek iki farklı ağırlık için değeri toplamda 10 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoların test edilmesinde girdi değerleri olarak sırasıyla şu değerler alınmıştır: arıza sıklığı için 125, aracın kullanımda olduğu dönem için 750, araç yaşı için 5, arızanın önem derecesi için 0,1, arıza maliyeti için 350, güvenilirlik değeri için 2, bir önceki bakım üzerinden geçen süre için 1 ve şoför yeteneği için 25. Aşağıdaki Çizelge 10.48’de, Citaro aracı için gerçekleştirilen analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 10. 48 CITARO markalı araç için gerçekleştirilen duyarlılık analizi

Araç Türü	Senaryo	Açıklama	Sonuç	Karar
<b>CITARO</b>	Mevcut Durum	Tüm Kural Ağırlıkları Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 1	Kural 1 - Kural 15 Ağırlık Değeri 0,1'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 2	Kural 16 - Kural 30 Ağırlık Değeri 0,1'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 3	Kural 31 - Kural 45 Ağırlık Değeri 0,1'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 4	Kural 46 - Kural 60 Ağırlık Değeri 0,1'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 5	Kural 61 - Kural 75 Ağırlık Değeri 0,1'e Eşit	0,0674	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 6	Kural 1 - Kural 15 Ağırlık Değeri 0,5'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 7	Kural 16 - Kural 30 Ağırlık Değeri 0,5'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 8	Kural 31 - Kural 45 Ağırlık Değeri 0,5'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 9	Kural 46 - Kural 60 Ağırlık Değeri 0,5'e Eşit	0,0673	UZB
<b>CITARO</b>	Senaryo 10	Kural 61 - Kural 75 Ağırlık Değeri 0,5'e Eşit	0,0674	UZB

Çizelge 10.48 incelendiğinde kural grubu ağırlıkları değiştirildiğinde, araç bakım kararı için elde edilen sonuçlarda bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Değişen kural



ağırlıklarına rağmen bulanık kural tabanlı sistem her defasında yine aracın uygun zamanda bakım alınması gerektiği sonucunu çıkarmıştır. Bu, yöntemimizin kararlarının sağlam ve sonuçların hassas olduğunu göstermektedir.

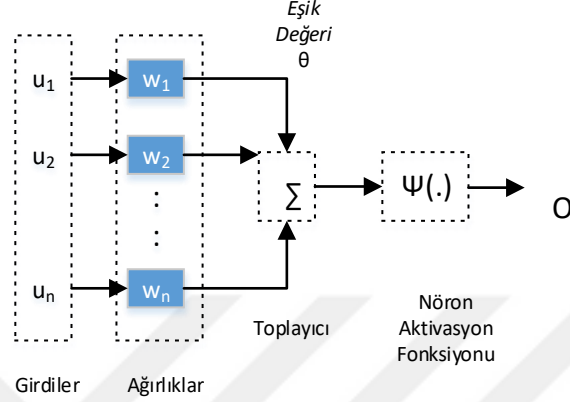
### **10.5 Kural tabanlı sistemde yer almayan kuralların tahmini**

Bulanık kural tabanlı uzman sistemi kullanan kişiler, zaman içinde kuralları güncellemek ya da farklı kurallarla sistemi çalıştırıp test etmek isteyebilir. Mevcut kuralların yanında, yeni kuralları tahmin etmek bu aşamada başvurulabilecek bir yöntemdir. Temel alınan kural tabanında 75 adet kural vardır. Ancak sekiz adet girdinin farklı seviyeleri göz önüne alındığında toplamda 20250 durum meydana gelebilir. Bu farklı durumların kural tabanında yer almayan sonuçları tahmin edilip, eklenebilir. Biz de böyle bir tahmin ihtiyacının gerçekleşebileceğini öngörerek, yapay sinir ağı yöntemi kullanımı ile kural tabanında yer almayan durumların tahminini gerçekleştirdik. İlgili yöntem, WEKA isimli veri madenciliği programında uygulanarak tahminleme gerçekleştirilmiştir.

#### **10.5.1 Yapay Sinir Ağları**

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir ağının yapısından ve işlevinden ilham alan ve örneklerden öğrenen bir bilgi işleme sistemidir [434]. Yapay Sinir Ağları (YSA), “öğrenme ve uyarılma, veriyi organize etme veya genelleştirme” gibi belirli özelliklere sahip “evrensel yakınlıştırıcılar” ve “hesaplamalı modeller” olarak bilinir [435]. Sinir ağını daha esnek ve güçlü kılan özellik, örnek olarak öğrenme yeteneğidir[434]. Bu sistemlerin problem çözme kısımları, nöronlar adı verilen işlem öğeleridir. Bu öğelerle bağlantılı bir yapay sinir ağı tasarlanır ve ağı eğitmek için bir öğrenme algoritması uygulanır. YSA genellikle “n” katmanla gösterilen, biyolojik nöronlar gibi çalışan farklı sayıda hesaplama elemanları içeren ve katmanlar arasındaki bu hesaplama elemanlarının yoğun bağlantılar oluşturduğu bir model olarak karşımıza çıkar [436]. Çok Katmanlı Perceptron (MLP), lineer olmayan aktivasyon fonksiyonlarıyla işlenerek takip eden ardışık lineer dönüşümlerden oluşan en yaygın nöral ağ modelidir. Ağ, giriş katmanını oluşturan bir dizi duyuşal birimden (kaynak düğümleri), hesaplama düğümlerinin bir veya daha fazla gizli katmanından ve bir çıkış katmanından oluşur. Her katman, katmanın girişlerinin ağırlıklı bir toplamının aktivasyon işlevini hesaplar [437].

1980'lerde çok katmanlı bir sinir ağının eğitiminin keşfi ve yaygın olarak kullanılmasıyla, birçok farklı problemi çözmek için bir araç olarak sinir ağlarına başvurulmasını sağlanmıştır. YSA'nın çeşitli başarılı uygulamaları, matematik, mühendislik, tıp, ekonomi, felsefe, ekonomi, finans, meetroloji, psikoloji ve nörolojinin çeşitli alanlarında karşımıza çıkmaktadır [438]. Şekil 10.77, örnek bir nöron modeli göstermektedir.



Şekil 10. 77 Örnek bir nöron yapısı

$$S = w_1u_1 + w_2u_2 + \dots + w_nu_n - \theta = \sum_{i=1}^n w_iu_i - \theta$$

$$o = \psi(S)$$

### 10.5.2 Ulaşım ve Bakım Alanlarında Yapay Sinir Ağları Çalışmaları

Yapay sinir ağları, birçok farklı alanda uygulama bulabilen bir yaklaşımdır. Genel olarak ulaşım alanında ve bakım çalışmalarında da başvurulan bir yöntemdir. Ancak toplu taşıma araçlarının bakımı konusunda, yapay sinir ağları ile ortaya konulmuş bir çalışma henüz yoktur. Toplu taşıma alanında ulaşım modu seçimi [439], gerçek zamanlı dinamik transit sinyali öncelikli optimizasyonu [440], otobüs durak ve yolcu etkinliği sürelerinin tespiti [441], dinamik toplu taşıma yolcu akışı tahmini [442] gibi problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Bakım alanında ise, teknik bir parçanın bakım sisteminde yenilenme sürecinin değerlendirilmesi [443], koşul tabanlı tahmini bakım [444], basınçlı hava üretimi sistemlerinde koşul bazlı bakım için enerji tüketiminde anormallik tespiti [445], teknik bir parçanın bakım sisteminde yenilenmesinden sonra güvenilirliğinin incelenmesi [443], traktör tamir ve bakım masraflarının tahmini [446] gibi birçok farklı çalışmada kullanılmıştır. Bu tezde ise, oluşturulan kural tabanlı sistemde, daha önce

karşılaşılmamış durumların gerçekleşmesinde sistemin hangi davranışı benimseyeceği, yapay sinir ağları ile tahminleme yoluyla benimsenmiştir. Bu çalışma ile, yapay sinir ağları, toplu taşıma araçlarının bakım alanında ilk kez kullanılmıştır.

### **10.5.3 Tez Kapsamında başvuru yapılan yapay sinir ağları yöntemi**

Tez kapsamında oluşturulan kural tabanlı sistem, yalnızca 75 adet kural içermektedir. Ancak bu belirlenen durumlar dışında farklı kombinasyonlar ile gerçekleşen durumlar sisteme eklenmek istenebilir. Bu noktada, yapay sinir ağlarına başvurulup tahmin gerçekleştirilebilir. Bu tezde de kurallarda yer almayan durumlar için yapılan tahminleme, YSA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki alt bölümler, yapılan uygulamayı ve uygulamayı gerçekleştirmede kullanılan programı tanıtmaktadır.

#### **11.5.3.1 WEKA**

WEKA veri madenciliğinde kullanılmak üzere Yeni Zelanda 'da bulunan Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilen, java programıyla yazılmış bir programdır. Bu programda temel olarak sınıflandırma, kümeleme, birliktelik analizi gibi veri madenciliği işlemleri gerçekleştirilebilir, bunlarla birlikte verinin ön işleme yapılabilir [447]. Weka programı, son teknoloji ürünü makine öğrenimi algoritmaları ve veri ön işleme araçları koleksiyonudur. Yeni veri kümeleri üzerinde mevcut yöntemleri hızlı bir şekilde hızlı bir şekilde deneyebilmeniz için tasarlanmış olan bu program, girdi verilerini hazırlamak, öğrenme şemalarını istatistiksel olarak değerlendirmek ve girdi verilerini ve öğrenmenin sonucunu görselleştirmek gibi tüm deneysel veri madenciliği süreci için kapsamlı destek sağlar. Çok çeşitli öğrenme algoritmalarının yanı sıra çok çeşitli ön işleme araçları içerir. Bu farklı ve kapsamlı araç setine, kullanıcıların farklı yöntemleri karşılaştırabilmeleri ve eldeki problem için en uygun olanları tanımlayabilmeleri için ortak bir arayüz üzerinden erişilebilir [448]. İlgili programın görüntüsü, aşağıdaki Şekil 10.78'deki gibidir.



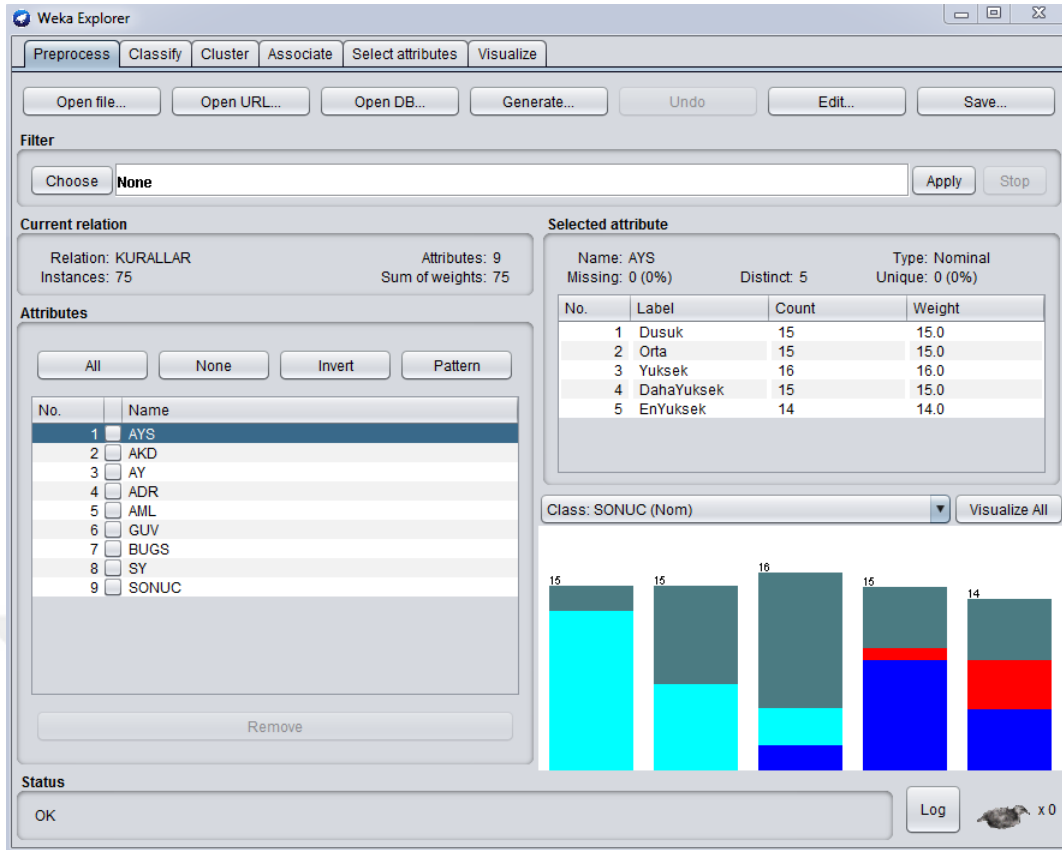
Şekil 10. 78 WEKA programı ekran görüntüsü

Keşfedici (explorer) sekmesinden yukarıda bahsedilen tüm işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Araştırmacı (Experimenter), üzerinde değişiklikler yapılan verilerden elde edilen sonuçların tutulduğu sekmedir [447]. Keşfediciden farklı olarak Bilgi Akışı (KnowledgeFlow) sekmesi, veri kümesi üzerinde zincirleme işlemler ve modüler tasarım yapılabilen bölümdür [447]. Komut Satırı Arayüzü (Command Line Interface) sekmesi ile ise komut satırları kullanılarak WEKA programının temel fonksiyonları çalıştırılabilir [447].

#### 11.5.3.2 Sistemde yer almayan kuralların tahmini

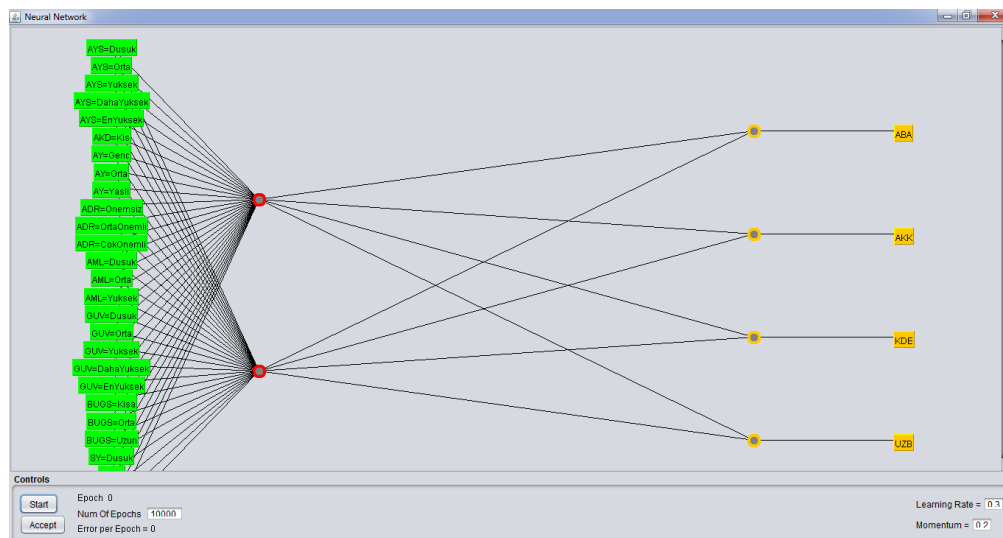
Araçların bakım süreciyle ilgili karar vermede oluşturulan bulanık kural tabanlı sistemde, 75 adet farklı duruma bağlı olarak 75 kural ortaya konmuştur. Bu durumlar, metrobüsün daha önce tecrübe etmiş olduğu durumlardır. Ancak bu durumların dışında daha önce tecrübe edilmemiş kombinasyonlar da meydana gelebilir. Bu kombinasyonlar da kural tabanlı sisteme eklenmek istenebilir. Bu tezde, bu amaçla YSA kullanılarak kuralların dışında oluşabilecek durumlar için tahminleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla WEKA programından yararlanılmıştır.

İlk olarak sekiz adet girdimizin ve bir adet çıktımızın aldığı nominal değerler, programa aktarılmıştır. Aşağıdaki Şekil 10.79'daki ekran alıntısında, verilerin programa aktarılmasının ardından alınan ekran görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 10. 79 WEKA programına metrobüs ile ilgili kuralların aktarılması

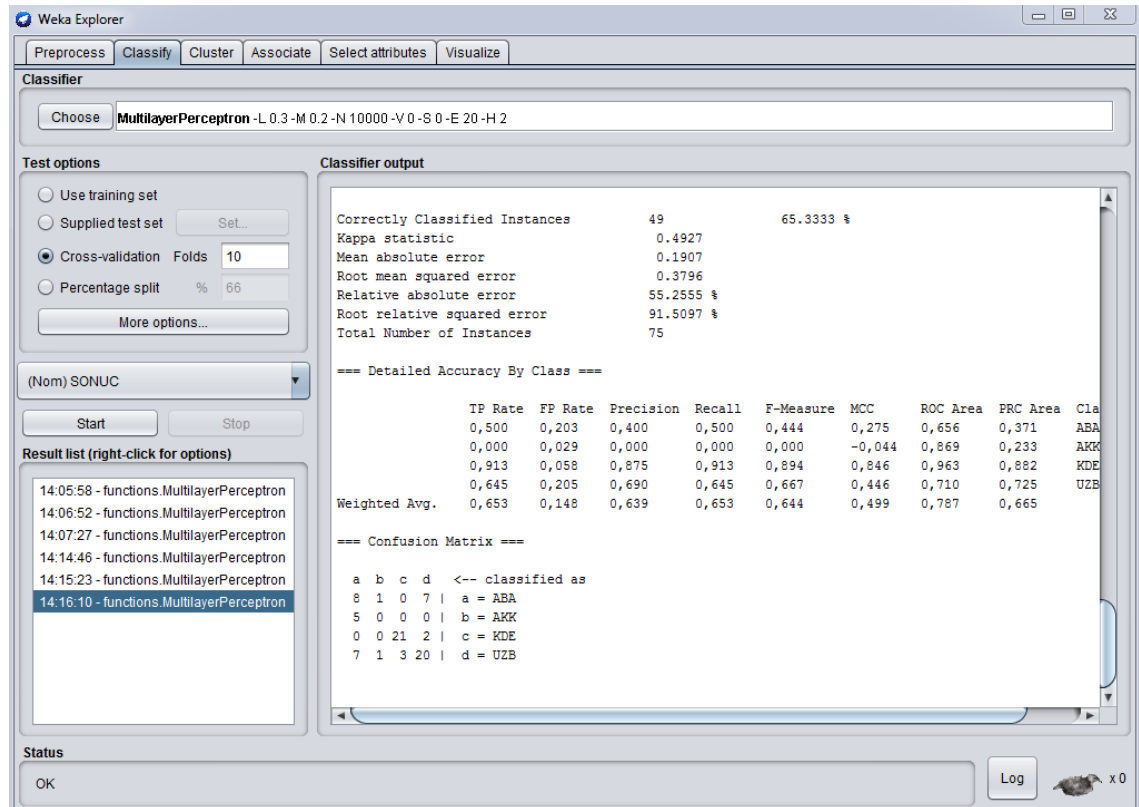
Kuralların aktarılmasının ardından, sınıflandırma sekmesinden MultiLayerPerceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı) fonksiyonunu seçerek, programa aktardığımız verilere YSA yaklaşımı uygulanır. WEKA, bu uygulama sonrasında ağ yapısını otomatik olarak oluşturmaktadır. Şekil 10.80, programın görselleştirdiği ağ yapısını içerir.



Şekil 10. 80 WEKA programı ile oluşturulan YSA tasarımı

YSA modelini çözdürmek için kullanılan parametreler, öğrenme katsayısı için 0,3, momentum katsayısı 0,2, tekrar (epoch) sayısı 10000 ve gizli katman sayısı 2'dir. Bu parametreleri optimize etmek için grid search tekniği kullanılmıştır. İlgili parametreler 0,1 değerinden arttırılıp-azaltılarak, doğruluk oranının en yüksek olduğu noktadaki parametre değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Program çıktıları sonucu aşağıdaki Şekil 10.81'deki gibidir.

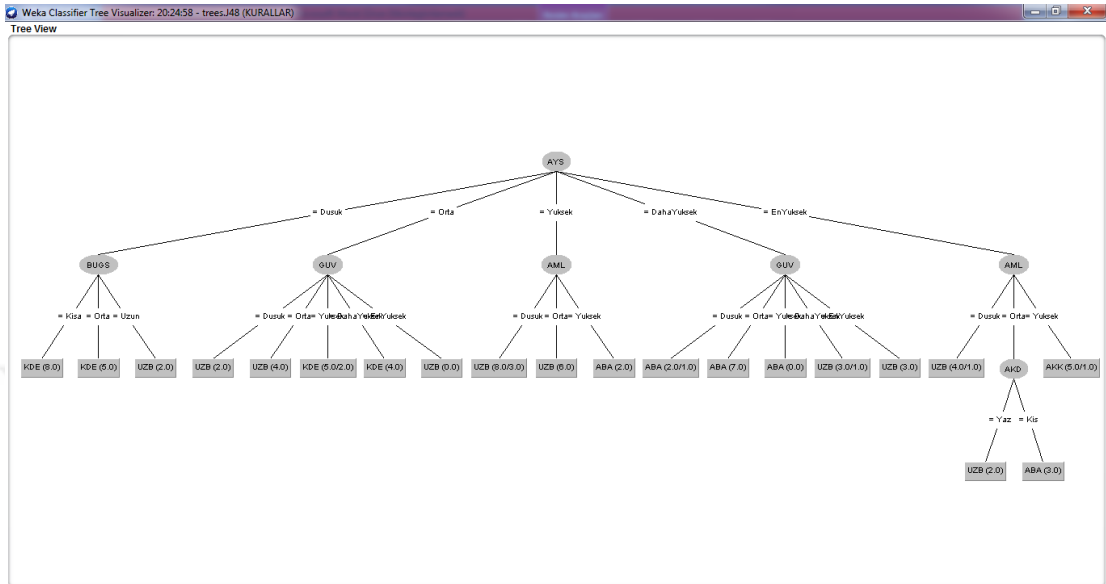


Şekil 10. 81 YSA Sonuç Ekranı

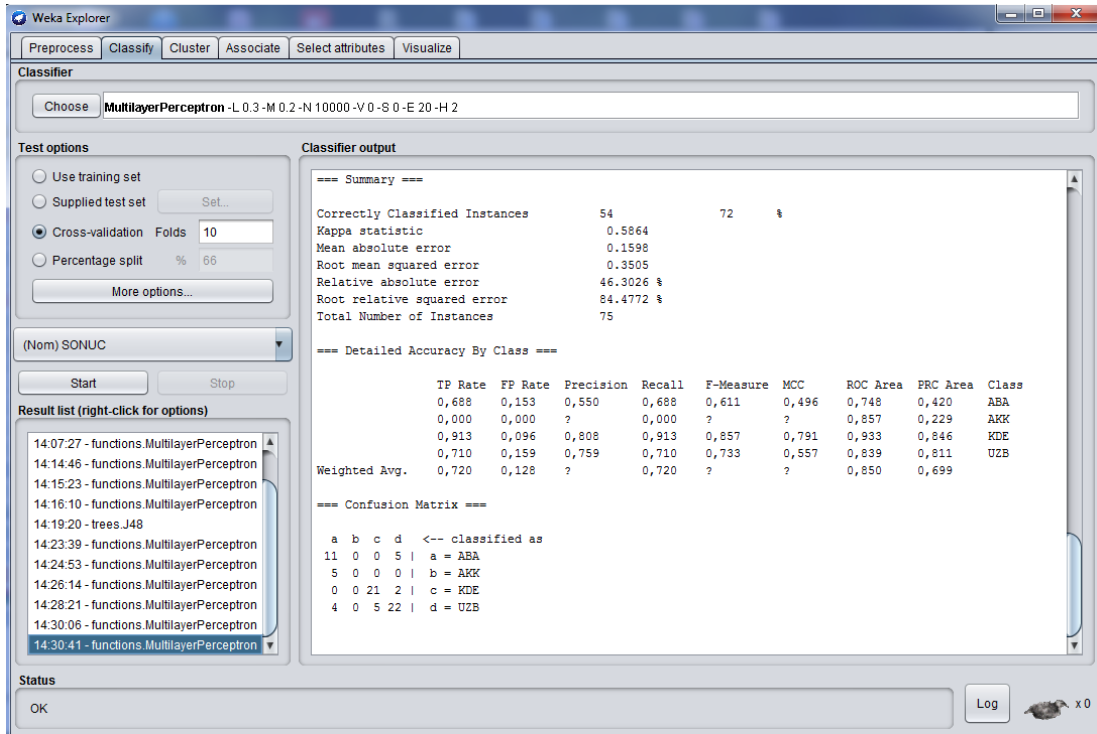
Kurulan model, verilerimizi %65,3'lük bir başarı oranı ile temsil etmiştir. 75 adet veriden 49 tanesi, doğru adet sınıflandırılmıştır. Model, tüm sınıflara ait örnekleri tespit edebilmiştir. En fazla "KDE" çıktısı için doğru sınıflandırma yapılmıştır. Doğru sınıflandırma oranı en az olan çıktı ise "AKK" yani aracın kullanımdan kaldırılması kararı çıktısıdır.

Literatürde başarı oranı olan doğruluk derecesinin arttırılması için, nitelikler arasından seçim yapılmaktadır. Bazı niteliklerin sınıflandırma üzerinde etkisi bulunmamaktadır. Bu nitelikler, sınıflandırma yapılmadan önce, veriler arasından çıkarılabilir. Böylesi bir niteliğin veriler arasında bulunup bulunmadığını ölçmenin bir yolu, karar ağacı

oluşturarak sınıflandırmaya etkisi olup olmadığını gözlemlemektir. Bu amaçla, yine aynı program vasıtasıyla karar ağacı oluşturulmuştur. Karar ağacı oluşturulurken, literatürde sıkça başvurulan J48 algoritması kullanılmıştır. Şekil 10.82, program tarafından çizilen karar ağacını göstermektedir.



Şekil 10. 82 YSA’da kullanılacak girdilerin belirlenmesi için çizdirilen karar ağacı Program vasıtasıyla elde edilen karar ağacı ile tüm niteliklerin sınıflandırmada etkili olmadığı görülmüştür. Araç yaşı, arızanın önem derecesi ve sürücü yeteneği, karar ağacında sınıflandırma yapılırken yer verilmeyen girdilerdir. Bu girdiler çıkarılarak, yeniden sınıflandırma yapılmış ve aşağıdaki Şekil 10.83’deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 10. 83 Revize edilen YSA sonuçları

Yapılan sınıflandırma neticesinde, %72'lik başarı elde edilmiştir. Yeni kural tahminlemede revize edilmiş bu veri setinin kullanılması, daha doğru sonuçlar doğuracaktır.

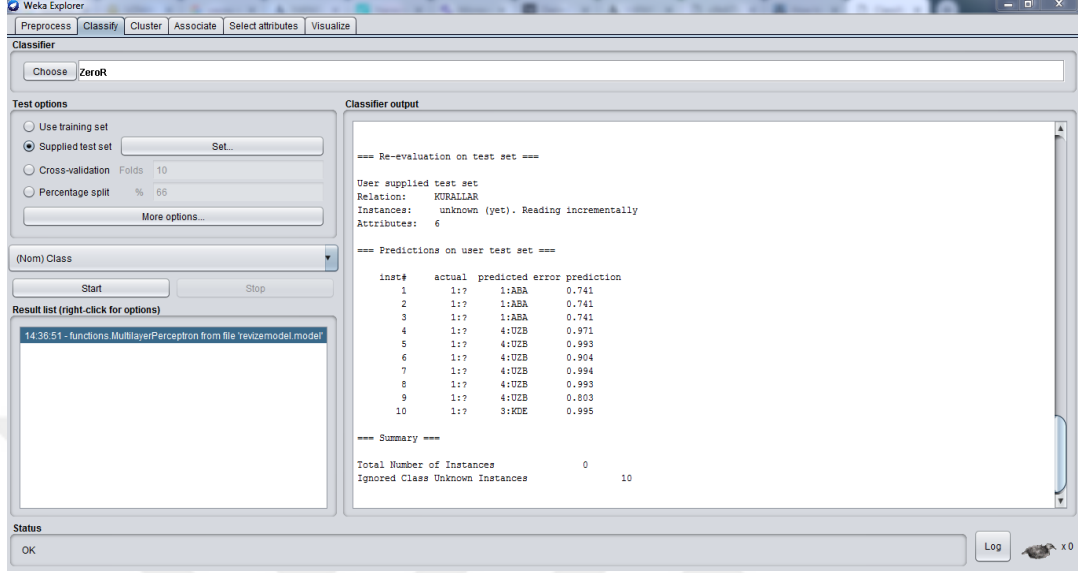
Bu aşamadan sonra, kurallar arasında bulunmayan durumların tahminlemesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kurallarda yer almayan 10 yeni durum rassal olarak tanımlanmıştır. Bunlar aşağıdaki Çizelge 10.49' daki gibidir:

Çizelge 10. 49 Yeni Kurallar Tablosu

<i>Kural/ Sonuç</i>	<i>AYS</i>	<i>AKD</i>	<i>AML</i>	<i>GÜV</i>	<i>BUGS</i>	<i>SONUÇ</i>
1	En Yüksek	Kış	Düşük	Düşük	Uzun	?
2	En Yüksek	Yaz	Yüksek	Düşük	Kısa	?
3	Daha Yüksek	Kış	Yüksek	En Yüksek	Uzun	?
4	Daha Yüksek	Yaz	Düşük	Daha Yüksek	Kısa	?
5	Yüksek	Kış	Yüksek	Daha Yüksek	Kısa	?
6	Yüksek	Yaz	Yüksek	Düşük	Uzun	?
7	Orta	Kış	Orta	Orta	Orta	?
8	Orta	Yaz	Düşük	Düşük	Uzun	?
9	Düşük	Kış	Yüksek	Düşük	Uzun	?
10	Düşük	Yaz	Yüksek	Yüksek	Kısa	?



WEKA programında yapay sinir ağı yaklaşımı kullanılarak kural tabanında bulunmayan bu yeni 10 durum için tahminler, aşağıdaki Şekil 10.84'deki gibi yapılmıştır:



Şekil 10. 84 Kural tabanlı sistemde bulunmayan durumlar için yapılan tahminler

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere, program altı durum için uygun zamanlı bakım önerisinde bulunmuş, üç durum için acil bakıma alınmasını tahmin etmiş ve bir durumda da kullanım devam edilmesi gerektiği tahminini yapmıştır. Metrobüs arızalarından karşılaşılabilecek her türlü durumlar için oluşturulan kural tabanı üzerinden yapay sinir ağı yardımı ile tahminleme rahatça yapılabilir.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, metrobüs sisteminde yaşanan arızalar için bulanık kural tabanlı bir çıkarım sistemi oluşturulmuştur. Süreçteki belirsizliklerin analizi için bulanık mantıktan da yararlanılmıştır. Girdi değişkenleri olarak araç yaşı, arızaların etkisi, maliyeti, güvenilirlik, şoför yeteneği gibi farklı büyüklükler ile ifade edilen etkenler belirlenmiş, metrobüs araçlarına ait model bazında yenileme, bakım veya kullanıma devam edilmesi gibi aksiyonların alınmasıyla için örnek bir KDS oluşturulmuştur.

Tezin ilk bölümünde bulanık mantık, kural tabanlı sistemler ve bakım yönetimi konularında detaylı literatür araştırmaları yer almaktadır. Bu araştırmalar tablolar ve grafikler halinde sunulmuş, benimsenen yöntem ve uygulama alanı hakkında daha önce yapılan neredeyse tüm çalışmalar incelenmiştir. Sonuç olarak, yapılması planlanan çalışmanın ülkemizde ve yurtdışında bir benzeri olmadığı görülmüş, ilgili çalışmayla özgün bir tez hazırlanabileceği ve literatürdeki eksiği doldurabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca önerilen çalışmanın, gerçek hayat uygulaması olarak da yer bulabilmesi, yapılan çalışmanın önemini arttırmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde, bulanık mantık hakkında detaylı bilgiye yer verilmiş, bulanık kural tabanlı çıkarım sisteminde kullanılan üyelik fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları oluşturma yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde üyelik fonksiyonu oluşturmak kurulan matematiksel modellerde kullanılan entropi yaklaşımı ve bu yaklaşımı içine alan bilgi teorisi hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

Tezin dördüncü bölümünde tez kapsamında belirlenen temel yaklaşım olan bulanık kural tabanlı çıkarım sistemlerinden bahsedilmiş, avantaj ve dezavantajları araştırılarak bu tez çalışmasında kullanılan yöntem seçimi yorumlanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde, metrobüs araçları ile ilgili ayrıntılı bilgilere ve çıkarılan bazı genel istatistiklere yer verilmiştir. Hangi araç modellerin metrobüs sisteminde kullanıldığı, hangi güzergahların bulunduğu ya da hangi arızaların yaşandığı gibi tüm bilgiler, bu bölümde yer almaktadır.

Tezin altıncı bölümünde metrobüsün yaşadığı arızaların analizinde kullanılacak parametreler için olasılık dağılımlarının belirlenmiştir. Arızalar arası geçen süre ve onarım sürelerinin dağılımları EasyFit programı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca arızaların güzergâhında meydana geldiği hatlarla ya da araç modelleriyle ilişkisi olup olmadığı incelenmiştir. Bu bölümde son olarak elde edilen olasılık dağılımları hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Tezin yedinci bölümünde Delphi yöntemi, tip-2 bulanık AHS ve stokastik TOPSIS yöntemleri birarada kullanılarak her bir araç bazında arızaların önem sıralamaları belirlenmiştir. Benimsenen yaklaşımdaki tüm yöntemler açıklanmış ve beş farklı araç modeli için arıza öncelik değerleri hesaplanmıştır.

Tezin sekizinci bölümünde, Metrobüsün bakım kararında kullanılacak bulanık kural tabanlı sistemde yer alan girdiler eldeki veriler ve uzman görüşleri vasıtasıyla belirlenmiş ve önerilen bulanık kural tabanlı sistem için belirlenen girdilere üyelik fonksiyonları uydurulmuştur. Matematiksel modelleme yaklaşımının ve sezgisel yöntemlerin kullanıldığı bu bölümde, modelin çözümünde yararlanılan parçacık sürüsü optimizasyonuna yer verilmiştir. Tez kapsamında üyelik fonksiyonlarını matematiksel modelleme yoluyla elde edilebilmesi için önerilen yöntemin adımları ayrıntıları şekilde açıklanmıştır.

Tezin dokuzuncu bölümünde belirlenen girdilere karşılık çıktıların neler olacağı ve bu çıktılara ait üyelik fonksiyonlarının nasıl hesaplandığı yer almaktadır.

Tezin onuncu bölümünde kural tabanlı sistemde kullanılacak kurallar belirlenmiş ve Matlab ortamında ilgili sistem için bulanık mantık araç kutusu kullanılarak bulanık kural tabanlı sistem oluşturulmuştur. Çıkan sonuçlar gerçek hayat verileri ile kıyaslanarak,

doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kural ağırlıklıklarının sonuç üzerine etkisini araştıran duyarlılık analizine de başvurulmuştur. Son olarak, kural tabanında yer almayan kurallar için YSA temelli bir tahmin mekanizması da geliştirilmiştir.

Sonuç olarak bu tezde, bakım yönetimi için birçok farklı yöntemi kullanan bir bütünlük KDS sistemi geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının literatüre katkıları aşağıdaki şekilde belirtilebilir. Bu çalışmayla birlikte ilk kez metrobüs sisteminin arızaları analiz edilmiştir. Literatürde genellikle sosyal yönleri ile işlenen metrobüsün mühendis bakış açısıyla analiz edilmesi, bu alanda önemli bir yere sahip olmasını sağlamıştır. Yine ilk kez bir metrobüs sistemi için kural tabanlı sistem oluşturulmuştur. Metrobüsün bakım stratejisini konu alarak oluşturulan böyle başka bir çalışmanın örneğine rastlanmamıştır. Arızalar önceliklendirilirken kullanılan hibrid yaklaşımda geliştirilen stokastik TOPSIS yaklaşımı, bu çalışmayı stokastik karar verme tekniklerinin kullanımı literatüründe de benzersiz kılmaktadır. Matematiksel modelleme yolu ile üyelik fonksiyonları belirleme yöntemleri, yine literatürde sıkça ele alınan konulardan biri değildir. Bu alanda çalışma yapan araştırmacıların bilimsel yayınları baz alınarak, önerileri gerçekleştirilmiş; ilk kez bu alanda problemin çözülmesi için sezgisel yöntem kullanılmıştır.

Gelecek dönemde tez kapsamında;

- Arızaların alt detayları göz önüne alınarak aynı yaklaşım kullanılabilir. Ancak problemin boyutu çok büyüyeceğinden, araç modellerinden daha detaylı kırılımlara ihtiyaç duyulabilir.
- Farklı çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulabilir. Mevcutta kullanılan yöntem sonuçları ile kıyaslamalar yapılabilir.
- Tüm bu metrobüs sisteminin simülasyonu gerçekleştirilerek, mevcut sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Çırak, H. U., (2009). Filo araçları bakım çizelgeleme, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- [2] Attepe, S., (2009). Bütünleşik koruyucu ve tahmin edici bakım sistemleri için kullanılabilir modeller, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale.
- [3] G. Ünal, (2009). Güvenilirlik merkezli bakım ve bir endüstriyel uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009.
- [4] Bal, A. (2013). Üretim tesisleri için RFID destekli bakım yönetimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [5] West, K. A., (2002). "Fired Equipment Refractory Linings Maintenance Program," in AIChE Ethylene Producers Conference Proceedings, 2002.
- [6] Hao, Y.H., Trappey, A.J.C., Ku, C.C., Lin, G.Y.P., Ho, P.-S. ve Hung, B., (2005). "Develop an intelligent equipment maintenance system using cyber-enabled JESS technology," in IEEE International Conference on Mechatronics, ICM '05., 927–932.
- [7] Zhou, X., Xi, L. ve Lee, J. (2007). "Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation," Reliab. Eng. Syst. Saf., 92: 4, 530–534.
- [8] Borgia, M., De Carlo, O. ve Tucci, F. (2009). "From diagnosis to prognosis: A maintenance experience for an electric locomotive," in vSafety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications - Proceedings of the Joint ESREL and SRA-Europe Conference.
- [9] Zhou, Z.-J., Hu, C.-H., Wang, W.-B., Zhang, B.-C. Xu, D.-L. ve Zheng, J.-F. (2012) "Condition-based maintenance of dynamic systems using online failure prognosis and belief rule base," Expert Syst. Appl., 39: 6, 6140–6149, May 2012.
- [10] Hadjiski, K. ve Boshnakov, M., (2014). "Extended supervisory control of Peirce-Smith converter," Hadjiski, M., Boshnakov, K., 67: 5, 705–714.
- [11] Doğan, H. K. (2004). A rule-based reasoning decision support system for AS-532

- Cougar helicopters' maintenance personnel," İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [12] Seines , H.B., M., Babuska, R., Verbruggen, (1998). "Rule-based modeling: Precision and transparency," IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev., 28: 1, 165–169.
- [13] Yuniarto, A.W. ve Labib, M.N. (2006). "Fuzzy adaptive preventive maintenance in a manufacturing control system: A step towards self-maintenance," Int. J. Prod. Res., 44: 1, 159–180.
- [14] Azadeh, P. , Ebrahimipour, A. ve Bavar V., (2010), "A fuzzy inference system for pump failure diagnosis to improve maintenance process: The case of a petrochemical industry," Expert Syst. Appl., 37: 1, 627–639.
- [15] Lee, J., Cheon, S., Yang, S.-U., (2015). "Development of a Fuzzy Rule-based Decision-making System for Evaluating the Lifetime of a Rubber Fender," Qual. Reliab. Eng. Int., 31: 5, 811–828.
- [16] Hussain, S. (2015). "Fuzzy information system for condition based maintenance of gearbox," J. Intell. Fuzzy Syst., 28: 6, 2509–2518,.
- [17] Fidan, N. (1986). Bakım planlamasına olasılıklı yaklaşım -T.Ş.F.A.Ş Eskişehir Makina Fabrikasındaki torna tezgahlarına ilişkin uygulama," Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [18] Alpay, A.H. (1987). Computerized applications in the maintenance department of a textile plant, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] Giray, L., (1987). Çimento sanayi için bilgisayar destekli bir bakım planlama modeli, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- [20] Ünal, M.F. (1987). Fabrikalarda bakım-onarım maliyetlerinin minimizasyonu," Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] Yanıkoğlu, E., (1989). Durum geçiş matrisi yöntemi ile yüksek gerilim hava iletim hatlarının güvenilirlik değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Şahin, A., (1989), Mikroişlemci temelli sistemlerde arıza arama teknikleri ve uygulamaları, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1989.
- [23] Ercan, A., (1989). Orta ölçekli üretim işletmelerinde uygulanabilir planlı bakım sisteminin geliştirilmesi ve bir uygulama, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] Korkusuz, B., (1989). Esnek üretim sistemleri için bir etkin üretim denetleme modeli, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] Can, K., (1990). Güvenilirlik bakım ve yenileme kararları üzerine bir çalışma, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- [26] Göker, M.H., (1990). A Failure probability based troubleshooting expert system for complex mechanical systems, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] Uzun, B. K., (1990). Yol Üstü Yapısı Bakım Yönetim Sistemi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [28] Kan, V. (1990). Planlı bakım ve onarım, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [29] Katmer, M., (1991). Bilgisayar destekli güvenilirlik analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [30] Kartepe, M. O., (1991). Demir ve çelik tesislerinde bakım uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] Ulukaya, A. B., (1992). Designing maintenance planning system for a large industrial facility," : Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Mutlu, O., (2010). Metrobüs güzergahında kullanılan halatlı otokorkulukların incelenmesi ve alternatif sistemlerin güvenlik dayanımının belirlenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Demirel, H. L., (1993). Optimal replacement policies with minimal repair and random cost, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [34] Akmaz, Ç., (1993). Bakım kontrolleri ve Eskişehir Çimento Fabrikasında bilgisayar destekli bakım kontrollerinin uygulanması, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [35] Sarıkaya, E. (1993), Karayolu esnek yol üstyapısında yapılan bakım hizmetleri ve esnek yol üstyapısında oluşan bozulmalar ve onarımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [36] Karasu, A. H. (1993). Tekstil işletmelerinde durum izlemeye dayalı bilgisayar destekli kestirimci bakım sistemlerini kullanarak optimum bakımın yapılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] K. Ertuğrul, "Enflasyon ve vergi etkilerini içeren stokastik kapsamlı bakım-onarım ve yenileme modeli," İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
- [38] Bank, A. (1994). Design and development of a computerized maintenance management system for a large production facility, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Baz, F., (1996). Bakım planlaması problemlerinin çözümünde bir uzman sistem yaklaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Savaş, A., (1995). Ülkemiz otoyollarının bakım ve işletme sistemleri, uygulamada karşılaştırılan sorunlar ve çözüm önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Alkan, F., (1995). Toplam üretken bakım tekniklerinin demir ve çelik fabrikalarının sıcak haddehaneler ünitesine uygulanabilirliği konusunda araştırma, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [42] Sağiroğlu, S., (1996). Otomotiv bakım atölyelerinde uygulamalı etüdü ve islah imkanları üzerinde bir araştırma, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [43] Mekiç, F., (1996). Distribution system reliability assesment structural approach, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [44] Amiklioğlu, S., (1996). Remote operation, maintenance and diagnostic unit for rural exchanges, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [45] Karakul, M., (1996). Optimal overhauls and replacements of deteriorating and stochastically failing equipment, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [46] İlıcalı, B., (1996). TCDD' de yapılan yol bakım çalışmalarının ekonomik analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] Gücin, S., (1996). Güç iletim sistemlerinin bakım sistematiği, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [48] Şenol, A.(1997). Computerized aircraft maintenance management, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [49] Çelebi, H. T., (1997). Toplam kalite açısından 5S ve toplam verimli bakım, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [50] Hamdaou, C. (1997). Maintenance and marginal cost analysis of a two-unit cold standby system, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [51] Kaya, A., (1997). A Policy for the maintenance of a multistate multicomponent series systems, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [52] Ayrancı, M. M.,(1997). Bilgisayar destekli bakım yöntemleri ve gemilerde bakım yönetimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- [53] Tanboğa, K. (1997). İnşaat makine ve ekipmanlarının bilgisayarlı bakım yönetimi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [54] Ünlü, İ. A., (1997). Atıksu sistemlerinin işletme ve bakım esasları, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [55] Başdemir, H. (1997). Türkiye'deki toplu konut yerleşimlerinde yönetim, bakım-onarım modelleri ve sorunları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] Göktaş, C., (1997). Toplam verimli bakım ve Kordsa'daki toplam verimli bakım uygulamalarının değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] Kocabaş, A. Ö., (1998). Development and application of a simulation model to analyse the effectiveness of services in a computer repair and maintenance facility, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [58] Öztürk, Ü., (1998). Çimento fabrikalarında makina performansına dayalı bakım planlaması sistemi ve yönetimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [59] Güney, B., (1998). Sonlu ara stoklu seri üretim sistemlerinde bakım politikalarının mukayesesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] Saraç, S., (1999). Kestirimci bakım ve elektronik motorlarında titreşim analizi ile



erken arıza teşhisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,

- [61] Kocaalan, L. M. (1999). Toplam verimli bakım (tvb) anlayışı ile iyileştirme ve ekipman performansının artırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [62] Ay, G., (1999). Kent içi yollarda üstyapıda bakım yönetim sisteminin uygulanması ve mevcut kaynakların optimizasyonu (Elazığ örneği), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [63] Çınar, M.(1999). Uçaklarda bakım ve bakım esnasında karşılaşılan problemler ve çözümleri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [64] Özel, Y., (1999). Bakımda yeni teknolojiler, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [65] Kartopu, M., (2000). Organizational performance measurement in aircraft maintenance system for army aviation, Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [66] Tanrıöven, M. (2000). Nonlineer yükleri içeren elektrik enerji sistemlerinde güvenilirlik analizi için yeni bir yaklaşım, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [67] Tütüncüoğlu, R. A., (2000). Modelling and optimisation of Turkish army STH level renovation maintenance system via simulation, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [68] Alper, M., (2000). Uçak bakım planlamasında güvenilirlik analizi için bir yöntem geliştirilmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı.
- [69] Hasdemir, İ. T., (2001). (2001). Bir arıza izleme ve bildirim sistemi gerçekleştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [70] Doğan, H., (2001). Toplam verimli bakım ve bir işletmede uygulama çalışmaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [71] Açıkgöz, İ., (2001). Total productive maintenance:An application,” okuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [72] Gül, B. (2001). Kalite yönetiminde hata türü ve etkileri analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Ankara.
- [73] Türkoğlu, R., (2001). Bakım planlaması ve İETT Genel Müdürlüğündeki toplu ulaşım araçlarının periyodik bakımlarının yeniden yapılandırılması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [74] Arı, V. (2001). İşletmelerde toplam verimli bakım uygulamasında başarının kriterleri, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [75] Topuz, Ç., (2001). İmalat işletmelerinde toplam verimli bakımın önemi ve bir uygulama, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [76] Ayaz, E., (2002). Elektrik motorlarında dalgacık analizi yaklaşımı ile rulman arıza tanısı ve yapay zeka tabanlı bir durum izleme sistemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [77] Şimşir, F. , (2008). Kaynak kısıtlı bakım çizelgeleme problemine bir hibrid çözüm yaklaşımı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- [78] Arsoy, F. M., (2002). Bir endüstri kuruluşunda bakım kayıt sistemi iyileştirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [79] Özyürek, E., (2002). Ordu bakım kademelerinde arıza teşhis uzman sistemi uygulaması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [80] Gürel, S., (2002). Scheduling preventive maintenance on a single machine: A machining conditions based approach, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [81] . Yiğit, C, (2002). Makinelerde titreşim analizi yöntemiyle uyarıcı bakım, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [82] Şenocak, S., (2002). Bilgisayar destekli toplam verimli bakım (TPM) uygulaması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [83] Özbay, A. (2002). Predictive maintenance and its application in industry, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [84] Orhan, S.. (2002). “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı.
- [85] Uludağ, A., (2002). Uçak jet motoru bakımında yorulma hasarlarının incelenmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı.
- [86] Yıldırım, İ., (2003). A Study of the relative efficiency of maintenance and repair commands in general command of gendarmerie, using data envelopment analysis, Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [87] Şahin, B., (2003). Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemleri ve THY bakım yönetim sistemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [88] Çakmak, H. (2003). Temizlik kağıdı üretim hatları için önleyici bakım aralıklarının analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [89] Başaranoğlu, K., (2003). Approche d'aide multicritere a la decision a la gestion de la productivite dans l'industrie automobile : Application de analytic hierarchy process, Galatasaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [90] Karamanlı, A. F. (2003). Toplam verimli bakım sürekli iyileştirme faaliyetleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [91] Oğuz, E., (2003). Toplam verimli bakım yöntemi ile işgücü verimliliğinin artırılması ve Çelikord A.Ş. işletmesinde bir uygulama, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [92] Arı, Y., (2003). Güvenilirlik merkezli bakım (RCM) yöntemi ile asansör bakımı planlaması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [93] Arkan, Ş. Z. , (2003). Toplam verimli bakım (TPM) yaklaşımı ve gıda endüstrisinde uygulanabilirliği, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [94] Eşme, S., (2003). Toplam verimli yönetim anlayışı ekipman verimliliğinin artırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı.
- [95] Koyuncu, A. (2003). Endüstriyel sistemlerde kestirimci bakım açısından kademeli pompanın incelenmesi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [96] Kaya, K., (2003). Bakım yönetimi ve bir işletmede toplam üretken bakım modelinin oluşturulması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [97] Rumeli, M. V., (2004). Elektrik dağıtım şebekelerinde güvenilirlik analizi,” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [98] Kaçamak, H., (2004). Filo bakım malzemeleri ihtiyaç planlaması sistemi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [99] Karaman, A., (2004). Toplam verimli (TPM) ve uygulama olanakları, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [100] Malcı, S., (2004). Toplam verimli bakım ve uygulama planının hazırlanması ve bir sanayi kuruluşu uygulaması, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [101] Karaer, E., (2004). Yüksek hızlı motorla tahrik edilen gemilerde ana ve yardımcı makinelerin bakım-tutum yöntemlerinin incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [102] Er, E., (2004). Bakım yönetimi ve bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinin Türkiye’de uygulama düzeyi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [103] Yılmaz, Ş. Y., (2004). B-200 uçağı bakım, arızacılık, test prosedürleri ve interaktif motor arıza çözüm programı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalı.
- [104] Altınova, S., (2004). Toplam verimli bakım ve bir uygulama, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [105] Dal, H., (2004). Makinelerde yapay sinir ağı (YSA) tabanlı titreşim esaslı kestirimci bakım, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [106] Top, Y., (2004). Lif levha endüstrisinde bakım planlamanın kalite üzerine etkisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [107] Dalkıran, A., (2004). İnternet üzerinden bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi ve havacılık uygulaması, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı.
- [108] Gözütok, A., (2005). Güç trafolarına ait yağda erimiş gaz analizi sonuçlarının yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi ve arıza analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [109] Bayır, R., (2005). Yapay zeka teknikleri kullanılarak marş motorlarında hata teşhisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [110] Kılıçay, D., (2005). Bakım sistemlerinde envanter yönetimi, İstanbul Teknik

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [111] Pehlivan, L., (2005). Bakım planlamasında yavaş ve hızlı işleyen stok kalemlerinin envanter kontrolü Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [112] Aydın, S., (2005). Bir demiryolu bölgesinde katener bakım şefliklerinin yeniden düzenlenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [113] Karahan, M. M. F.,(2005). Titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisi Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [114] Cihan, N., (2005). Toplam kalite yönetimi, tam zamanında üretim ve toplam üretken bakım yönetim yaklaşımlarının entegrasyonunun Türk prefabrikasyon sektöründe uygulanabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı.
- [115] Dirgeme, E. N.,(2005). Otellerde tesis işletme ve bakım yöntemi modeli Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı.
- [116] Yağız, C. , (2005). Deniz yapılarında bakım ve onarım, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [117] Korkut, D. S.,(2005). Toplam bakım yönetimi ve orman ürünleri işletmesinde uygulanması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [118] Gövce, M. S., (2005). Uçak bakımında korozyon analizi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı.
- [119] Kaan, G., (2006). Periyodik bakım yapan bir tekstil işletmesinde bilgisayar destekli toplam verimli bakıma geçiş ve kaliteye etkisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [120] Şengül, M., (2006). Güç transformatörleri korumasında doğrusal olmayan çalışma durumlarının ve arızaların yapay sinir ağları ile belirlenmesi Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [121] Çöloğlu, M. İ., (2006). Bir makinanın güvenilirliğinin tehlike fonksiyonu ve markov zinciri modeliyle analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [122] Ateş, S., (2006). Kalite geliştirme sürecinde toplam verimli bakımın önemi, lastik sektörü uygulaması, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [123] Taşkın, M. F., (2006). Önleyici bakım politikası altında optimum stok miktarının bulanık mantık yöntemiyle belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [124] Batun, S., (2006). Machine scheduling with preventive maintenances, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- [125] Ilgın, M. A., (2006). Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using hybrid genetic algorithms, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [126] Karaca, E., (2006). Toplam verimli bakım ve orta ölçekli bir işletmede sistem analizi," Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [127] Akyürek, E., (2006). Toplam üretken bakım uygulamalarıyla maliyet düşürülmesinin ölçülmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [128] Ünlü, N., (2006). Factory level preventive maintenance in Turkish Air Force, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [129] Öztürk, E., (2006). TCDD lokomotif bakım ve yakıt takibi bilgi sisteminin modellenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı.
- [130] Demiral, F. G., (2006). An application of aircraft maintenance system development by lean thinking, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [131] Mete, M., (2007). Bakım yönetiminde bulanık çok amaçlı karar Verme modeli, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [132] Geniş, U. O., (2007). Bir üretim işletmesinde toplam verimli bakım uygulaması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [133] Kaplan, S., (2007). Hava savunma sektörü tezgah yatırım projelerinin bulanık AHP ile değerlendirilmesi.
- [134] Orhan, İ., (2007). Uçak bakım planlamasının en iyilenmesine yönelik bir karar destek tasarımı, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı.
- [135] Kendir, A. M., (2007). Toplam verimli bakım planlamasının hava araçlarına uygulanması: Cessna model R172H (T-41D) uçağı pervane çatlak çentik kontrolleri üzerinde uygulama, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalı.
- [136] Denli, H. B., (2007). "Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [137] Genç, A., (2007). Toplam verimli bakım ve uygulaması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [138] Demirdağ, M., (2007). Kent içi raylı sistemlerde hat bakımı ve maliyeti, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [139] Türkyılmaz, A., (2007). Esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [140] Cüneyt, A., (2007). Rulman arızalarının gerçek zamanda analizi ve arıza kaynaklarının tespit, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [141] Erdem, A., (2008). Bakım kisiti altında genetic Algoritmalarla üretim çizelgeleme, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü.

- [142] D Ünlüakın, . Ö., (2008). Maintenance of a multi-component dynamic system under partial observations, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- [143] Açikkollu, C., (2008). The application of lean manufacturing principles to an aircraft maintenance, repair and overhaul (MRO) company, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [144] Özgen, A., (2008). Müşteri odaklı bakım onarım faaliyetleri performansının dinamik tamirci rotalama problemi ile modellenmesi ve optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [145] Arslan, B., (2008). Overall equipment effectiveness (OEE) implementation: A case study, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [146] Açikel, S., (2008). Sürekli form baskı makinesinin titreşim sinyali yardımıyla kestirimci bakımının yapılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı.
- [147] Atamuradov, V., (2008). "Failure analysis and diagnostics of railway turnouts," Fatih Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [148] Akar, M., (2008). Sabit mıknatıslı senkron motorda yapay zeka yöntemleri ile mekanik hataların teşhisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [149] Kuldaşlı, E. D., (2009). Elektrik enerji sistemlerinde güvenilirlik temelli bakım, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [150] Berdinyazov, A., (2009). Economical Analysis of Condition Based Maintenance On Railway Systems, Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [151] Tekin, İ., (2009). Üretim kayıp maliyetlerinin belirlenmesi ve bir uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009.
- [152] Çekyay, B., (2009). Reliability and maintenance of semi-Markov missions, Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009.
- [153] Hancı, G., (2009). Lastik endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [154] Baykara, V. İ., (2009). Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü.
- [155] Tazegün, A., (2009). Toplam verimli bakım ve çimento sektöründe uygulamaları, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [156] Yücel, S., (2009). Otomotiv endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [157] Serin, S., (2009). Karınca kolonisi yaklaşımıyla karayolu üstyapı rutin bakım çalışmalarının planlanması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı.

- [158] Emel, K., (2010). Olasılık sinir ağı kullanarak alternatör arızalarının tespiti, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [159] Utku, A., (2010). Uçak arıza tespit amaçlı web tabanlı bulanık uzman sistem tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [160] Doğan, Ü. B., (2010). MEDEMAS-Medical device maintenance management system via remote access, Boğaziçi Üniversitesi Biyo-Medikal Mühendislik Enstitüsü.
- [161] Öncü, Z. İ., (2010). Betonarme İskelelerin Bakım, Onarım Ve Güçlendirilmesi," : Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [162] Üçkardeş, E., (2010). Nevşehir bölgesi elektrik dağıtım şebekesinin güvenilirlik analizi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [163] Cihangir, Ç., (2010). Medikal ekipman bakım ve onarım hizmetleri işgücü planlaması için hiyerarşik yapıda karar destek sistemi,.
- [164] Pehlevan, S., (2010). Bir işletmede makine etkinliğinin VZA (veri zarflama analizi) ile ölçümü ve toplam üretken bakım yönetiminde kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [165] Karademir, F., (2010). DSİ 17. Bölge Müdürlüğü'ne ait bazı iş makinelerinin çalışma ve bakım analizleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [166] Bozağaç, İ., (2010). World class manufacturing on automobile industry and applications of autonomous maintenance in press shop, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [167] Tatar, V., (2010). Su pompa istasyonunda kestirimci bakım ve yönetim organizasyonu, Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Tasarım ve İmalat Bilim Dalı.
- [168] Arslan, S., (2010). Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [169] Demiray, A., (2010). Toplam verimli bakım ve bir imalat işletmesinde uygulaması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [170] Yırcalı, S. E. B., (2011). An application of process management and process improvement, Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [171] Karadayı, H. M., (2011). Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım uygulamaları, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [172] Polat, M., (2011). Kent İçi Raylı Sistemlerde Balastlı ve Balastsız (Betona Tespitli) Üstyapılı Hatların Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması.
- [173] Ortaç, T. H., (2011). Kentiçi raylı sistem hatlarında üstyapı bakımı ve maliyetleri:

Aksaray- Havalimanı hattı örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [174] Doğdu, E., (2012). Bir tekstil fabrikasında bayes ağlarının bakım planı değerlendirmesi için uygulanması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [175] Başdere, M., (2012). Operational aircraft maintenance routing problem with remaining time consideration, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [176] Elvan, F., (2012). Türkiye’de başarılı toplam verimli bakım uygulaması yapan seçilmiş kuruluşların kıyaslanması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [177] Kurt, E., (2012). Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak egzoz fanında arıza teşhisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [178] Saeilailonahar, K., (2013). Dependent failures and failure propagation in electric power systems, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [179] Kabul, A., (2013). Asenkron Motorlarda Rotor Arızalarının Stator Akımı Verileri Yardımıyla Analizi ve Tespiti, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [180] Terzioğlu, N. G., (2013). Extending the lifespan of small kitchen appliances for sustainable design: A research on product maintenance and repair with technical services in Ankara, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [181] Taşkın, S., (2013). Toplu üretim planlaması ve bakım faaliyet kararlarının entegrasyonuna yönelik bir model tasarımı ve uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [182] Abushanap, M., (2013). Proactive maintenance of thermal power plants under limited observations, Bahçeşehir Üniversitesi
- [183] Şirvan, F., (2013). “Common due date early/tardy scheduling on a single machine with deteriorating jobs and deteriorating maintenance,” İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- [184] Bozkurt, O., (2013). Uçuş hattı seviyesi bakım işlemlerinde toplam verimli bakım sisteminin uygulanabilirliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [185] Varol, K., (2013). Engine maintenance time prediction with weibull distribution in commercial aviation, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [186] Türedi, A. T. , (2013). Innovative reliability analysis of a heavy duty hydraulic driven machinery, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü.
- [187] Kırbaş, U., (2013). Şehiriçi yollarda üst yapı bakım yönetim sistemi kurulması, Türkiye örneği, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği



Anabilim Dalı.

- [188] Özkan, G., (2014). Kritik bakım parçalarının yumuşak hesaplama algoritmalarıyla belirlenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [189] Tabak, A., (2014). Ekipmanlarda Kestirimci Bakım Teknolojilerinin Araştırılması Ve Seçilen Bir Yöntemin Uygulandığı Sanayi Tesisinde Elde Edilen Neticelerin İrdelenmesi, Enerji Sistemleri Anabilim Dalı.
- [190] Neşe, S. V., (2014). Rüzgâr santrallerindeki elektriksel ve mekanik arızaların temel bileşenler analizi ve destek vektör makinaları yöntemleriyle sınıflandırılması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [191] Eroğlu, Ö., (2014). Bakım/Onarım Alternatiflerinin Bulanık Dematel Ve Smaa-2 Yöntemleriyle Değerlendirilmesi, Kara Harp Okulu Komutanlığı Savunma Bilimleri Enstitüsü Malzeme Tedarik ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı.
- [192] Bülbül, P., (2014). An Integrated Model for Preventive Maintenance And Spare Part Inventory Planning, Orta DoğuTeknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [193] Keleş, B., (2014). Haber vermeyen arızalara sahip sistemler için bakım politikaları, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim / Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı.
- [194] İTari, ., (2014). Dünyada gemi bakım-onarım sektörü ve gemi bakım-onarımının ekonomik maliyetinin modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [195] Yıldırım Baş, E., (2014). Hızlı Otobüs Tasımacılığının Başarı Ölçütlerinin İncelenmesi Ve İstanbul Özelinde Degerlendirilmesi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [196] Acar, G., (2014). Otomotiv sektöründe kullanılan kestirimci bakım yöntemleri ve uygulamaları, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [197] Ünal, M., (2014). Sinyal işleme ve genetik-yapay sinir ağları ile rulman arızalarının teşhisi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı.
- [198] Tokgöz, A., (2015). Developing a model of airline flight and maintenance operations using systems dynamics approach: An application in THY technic, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı.
- [199] Direkli, M., (2015). "A Heuristic Approach on Flexible Job-Shop Scheduling Problem with Maintenance Activities by Considering Weight of the Jobs, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [200] Öge, F., (2015). Hafif raylı sistem araçlarında bakım iyileştirmesi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [201] Mengüşoğlu, E., (1999). Bir Türkçe sesli ifade tanıma sisteminin kural tabanlı tasarımı ve gerçekleştirimi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [202] Özkan, E., (2002). Rule-based control for an autonomous vacuum cleaner, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [203] Polat, G., (2006). A rule based expert system generation framework using an open source business rule engine, Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [204] Köprü, S., (2008). Coupling speech recognition and rule-based machine translation, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü .
- [205] Öztürk, Ö., (2009). Anlamsal web için kural tabanlı bir melez çıkarsama yöntemi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [206] Külahçioğlu, T. , (2011). Anlamsal web verisi üzerinde kural tabanlı dağıtık çıkarsama, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [207] Aslantaş, G., (2012). GA-NN approach for ECG feature selection in rule-based arrhythmia classification, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [208] Kurnaz, İ., (2012). Etkileşimli sürücü eğitimi için kural tabanlı bir platform geliştirilmesi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [209] Abidin, D., (2013). Curriculum plan optimization with rule based genetic algorithms, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [210] Yılmaz, Ö., (2013). Yarı denetimli ve genişletilebilir kural tabanlı bir sağlık bilgi sisteminin geliştirilmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [211] Işıklar, Y. E., (2014). A TV content augmentation system exploiting rule based named entity recognition method, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
- [212] Kaya, Ö., (2014). A rule-based domain specific language for fault management, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
- [213] Aktaş, Ö., (2010). Rule-based natural language processing methods for Turkish, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [214] Sert, M., (2008). A rule based missile evasion method for fighter aircrafts, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [215] Karalı, A. O., (2011). An algorithm for multiscale license plate detection and rule-based character segmentation, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- [216] Yurtay, N., (2004). Siparişe montaj ve stoğa üretim için internet destekli kural tabanlı bir kullanılabilirlik/yapılabilirlik sistemi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [217] Vezir, B. S., (2005)., Tezgah-işgücü kapasitelerinin planlamasına yönelik kural tabanlı bir uzman sistem, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [218] Bilgen, B., (2011). Kurumsallaşma üzerine bir karar destek sistemi oluşturulması ve Türk inşaat sektöründe örnek uygulama (Kural tabanlı KDS modeli), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı.
- [219] Göktaş, O., (2001). Mobilya endüstrisinde bütünleşik imalat yönetim sistemi ve bir kural tabanlı ana üretim çizelgeleme modeli, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı.
- [220] Jazaei, M., (2012). Stokastik talep durumunda çok ürünlü üretim sistemlerinde kural tabanlı çizelgeleme: Alüminyum sektöründe bir uygulama, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı.
- [221] Yıldız, Ö. H., (1993). A Rule-Based Approach to the selection of spindle bearing arrangement of machine tools, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [222] Sönmez, S., (1995). Kural tabanlı sistematik aparat tasarımı, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [223] Tunacı, S., (2012). Yol taşıtı boyuna dinamiği kural tabanlı kontrolcüler, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [224] İngin, Ç., (1997). Banyo tasarımı için kural tabanlı uzman sistem, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [225] Torus, B., (2008). Konut ön tasarım sürecinde kural tabanlı bir yazılım modeli: Mardin örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü.
- [226] Bilen, E., (1997). A Neurofuzzy network models for rule-based systems, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [227] Maapbreh, G., (1998). Direct decomposed rule base fuzzy logic systems, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [228] Teymur, C., (2008). Kural tabanlı karar verme sistemlerinde belirsizliğin modellenmesi, İstanbul Teknik / Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [229] Şanlı, Ö., (2011). Rule-based in-network processing for event-driven applications in wireless sensor networks, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
- [230] Kaya, E., (2014). Genetik algoritma ile bulanık kural kümesinin otomatik olarak oluşturulmasında yeni bir yaklaşım, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [231] Uyulan, Ç., (2010). Seri hibrit elektrikli aracın modellenmesi ve bulanık mantık kural tabanlı enerji yönetim stratejisinin uygulanması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [232] Orhan, U., (2007). Bulanık mantık ile zarsız tavlamanın bilgisayar simülasyonu, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı.
- [233] Topuz, E., (2009). Endüstriyel tehlikeli maddeler için çevresel risk değerlendirme yaklaşımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [234] Öztekin, A., (2010). LNG kara yolu taşımacılığında çevresel risk değerlendirmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [235] İkedo, K. S., (1989). Automatic control of an atmospheric fluidized bed combustor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [236] Kasapoğlu, M. E., (1997). Kural tabanlı ve bulanık denetim dizgeleri, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [237] Çolak, Ş., (1997). Kural tabanlı bulanık sistemlerde yeni çıkarım algoritmalarının incelenmesi ve simülasyonu, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [238] Güler, B., (2003). Kural tabanlı sistemlerin bulanık ve sinirsel bulanık gösterimi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [239] Vural, A. M. , (2012). Modeling of multi-converter facts (flexible alternating current transmission systems), Çukurova Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- [240] Taşdemir, Ş., (2010). "Dijital görüntü analiz yöntemi ile siyah alaca ineklerde vücut ölçülerinin belirlenmesi ve canlı ağırlığının tahmin edilmesi," Selçuk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010.
- [241] Turgay, S., (1997). Sürekli imalatta bulanık kural tabanlı uzman sistem tasarımı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [242] Yunusoğlu, M. G., (2012). A fuzzy rule based expert system for stock evaluation and portfolio construction: An application to Istanbul Stock Exchange, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [243] Gezer, M. Ö., (2015). Toplu konutlarda çalışan yüklenici ve müşavirlerin iş sağlığı ve güvenliği kapsamında bulanık mantıkla risk analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [244] Ayçın, E., (2011). Kural tabanlı bulanık modelleme ve fiyat tahminleme sürecinde bir uygulama, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.
- [245] Zanjibar, F. G., (2012). Fuzzy rule-based modeling in queuing systems, Çankaya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.
- [246] Karimov, A. , (2010). Office rent variation in Istanbul CDB: An application of mamdani and TSK-type fuzzy rule based system, Orta Doğu Teknik Üniversitesi /

Uygulamalı Matematik Enstitüsü Finansal Matematik Anabilim Dalı.

- [247] Akbay, S., (2004). Askeri birliklerde personel yeterliliği için bulanık uzman sistem tasarımı, Kara Harp Okulu Komutanlığı Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Anabilim Dalı.
- [248] Kompil, M., (2010). A genetic-fuzzy system modeling of trip distribution, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir Planlama Anabilim Dalı.
- [249] Gündoğdu, E., (2010). Multi-objective rapid transit network design, Galatasaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [250] Mangır, N., (2014). İstanbul'da 2010 yılına ait hava kirliliği envanterinin halk sağlığı açısından değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Halk Sağlığı Anabilim Dalı.
- [251] Şahin, O., (2015). Analysis of passengers' travel behaviors and attitudes towards the brt line in istanbul, Boğaziçi / Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [252] Güven, G., (2008). Metrobüs sistemlerinin planlama, tasarım ve işletim özellikleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [253] Göl, E., (2011). Hizmet kalitesi, algılanan değer ve müşteri tatmini arasındaki ilişkinin incelenmesi: Metrobüs üzerine bir araştırma, Yıldız Teknik Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı İşletme Yönetimi Bilim Dalı.
- [254] Sağlam, İ., (2013). İstanbul metrobüsü talep analizi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [255] Akı, M., (2012). Kentsel toplu taşıma kapsamında metrobüs sisteminin yaya erişilebilirliğinin değerlendirilmesi: İstanbul örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [256] Yüce, E. C., (2013). An assessment of the planning and operational performance of the bus rapid transit in Istanbul, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı.
- [257] Kılıoğlu, M. E., (2010). İstanbul metrobüs sisteminin kapasitesinin artırılması için alınması gereken önlemler, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [258] Akyazıcı, M., (2010). Hızlı otobüs taşımacılığı ve İstanbul örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Bilim Dalı.
- [259] Tanoğlu, S., (2014). Şehir içi karayolunun etkin ve verimli kullanılmasına yönelik bir araştırma, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [260] Maraz, E., (2009). Özürlülerin kent içinde erişilebilirliklerini etkileyen standartlar-Mecidiyeköy ve Yenibosna metrobüs duraklarının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Disiplinlerarası Anabilim Dalı.

- [261] Orhan, D., (2013). Avcılar - Söğütluçeşme koridorunda Metrobüs sisteminin işletim özelliklerinin simülasyon modeli ile incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı.
- [262] Bulut, O. B., (2010). Megakentlerde yüksek kapasiteli otobüs taşımacılığına bütünsel bir yaklaşım: İstanbul BRT hattı incelemesi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı.
- [263] Eriçok, S. D., (2012). İstanbul'un sürdürülebilir ulaşım hedefleri kapsamında özel otomobil ve metrobüs sistemi araçlarının seyir çevrimlerinin incelenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [264] Yılmaz, Ş., (2012). Metrobüs sisteminin incelenmesi ve sosyal, çevresel, ekonomik etkileri, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [265] Alkan, T., (2013). Bursa kenti için metrobüs koridoru araştırması," Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [266] Kantoğlu, T. S., (2013). Otobüs öncelikli yolların tasarımı ve İstanbul'daki pilot otobüs şeridi uygulamaları," İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Bilim Dalı.
- [267] Akın, O., (2014). İstanbul'da ulaşım sorunu ve metrobüs çözümü," İstanbul Aydın Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü / Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı / Mahalli İdareler ve Yerinden Yönetim Bilim Dalı.
- [268] Birol, B., (2014). Kentiçi raylı sistemler ve metrobüs işletme maliyeti değerlendirilmesi :İstanbul örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Bilim Dalı.
- [269] Erdem, B., (2014). İstanbul metrobüs hattındaki aktarma durakları senaryolarının incelenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [270] Yılmaz, N., (2015). Toplu taşıma hizmetlerinde sunulan kalite düzeyinin belirlenmesi: İETT örneği," Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı.
- [271] Kocabaş, N., (2007). Metrobüs sistemlerinin ülkemizde uygulanabilirliğinin araştırılması ve Antalya örneği," Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2007.
- [272] Işık, S., (2010). Metrobüs sisteminin Boğaziçi Köprüsü trafiğine etkilerinin simülasyon modeli ile incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı, 2010.
- [273] Yurdagül, E., (2012). İstanbul Avcılar-Söğütluçeşme metrobüs sisteminin bileşenlerinin değerlendirmesi ve dünyadaki metrobüs sistemleri ile karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [274] Çoban, V., (2011). Statistical analysis of bus transportation networks for four largest cities in Turkey, Işık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri

Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [275] Çolak, S., (2013). Diyarbakır kentiçi ana ulaşım planı ile entegre edilmiş Üniversite-Dağkapı-Karacadağ Caddesi-Urfa Yolu-Silvan Yolu üniversite metrobüs ring sistemi güzergahı önerisi,.
- [276] Grenney, H. N. ve Marshall, W.J., (1995). Prototype rule-based decision support system for winter highway maintenance,” *Artif. Intell. Civ. Eng.*, 71–75, 1995.
- [277] Kraft, R., Okagaki, T., Ishii, K., Surko, R., , Brandon, P., DeWeese, A., A., Peterson, A., ve Bjordal, S. , (1991). “Hybrid neural net and rule based system for boiler monitoring and diagnosis,” in *Proceedings of the American Power Conference*, 952–957.
- [278] Kaminaris, S. D., Machias, A. V. ve Papadias, B. C., (1991). “An intelligent tool for distribution substations troubleshooting and maintenance scheduling,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, 6: 3, 1038–1044.
- [279] Antinoja, A., Ronald, C., Vipin, C. ve Rush, K., (1991). “Expert systems. Opportunities for the gas processing industry,” in *Proceedings, Annual Convention - Gas Processors Association*, 89–95.
- [280] Eklund, B. R., Jari, , Imatran Voima, O. ve Upadhyaya, (1991). “Automated system for motor-operated valve diagnostics,” *Power Eng. (Barrington, Illinois)*, 95: 12.
- [281] Feldman, R. M. , Lively, W. M., Slade, T. , McKee, L. G. ve Talbert, A., (1992). “The development of an integrated mathematical and knowledge-based maintenance delivery system,” *Comput. Oper. Res.*, 19: 5, 425–434.
- [282] Himeno, Y., Nakamura, T., Terunuma, S. ve Furubayashi, T., (1992). “Improvement of man-machine interaction by artificial intelligence for advanced reactors,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 38: 1–2, 135–144.
- [283] Bingrong, L. ve Mingshu, H., (1993). “RTDAMS: A real-time diagnosis and maintenance system,” in *Proceedings of the 1993 IEEE Region 10 Conference on Computer, Communication, Control and Power Engineering*.
- [284] Li, B., Mingshu, H., (1993). “Rule-based real-time fault diagnosis and maintenance system for automatic GaAs production line on space station,” *Zidonghua Xuebao/Acta Autom. Sin.*, 19: 5, 615–620.
- [285] Liang, T. Y. ve Tseng, G.R., (1993). “Rule-based troubleshooter design for the maintenance of manufacturing devices,” in *International IEEE/IAS Conference on Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, 1995*, 293–300.
- [286] Graham, J. H. , Brockman, G. ve Shea, J., (1995). “Hybrid Expert Maintenance Advisory System for Naval Systems Applications,” *Nav. Eng. J.*, 107: 1, 23–32.
- [287] Siola, J., Michaels, R. J., Stranovsky, G., Zelingher, S., Walter, T., Tecza ve Hutchison, J. (1997). “Initial use of an on-line expert system for condition assessment of pumped storage hydromachines,” in *Proceedings of the International Conference on Hydropower - Waterpower, 1997*, 1154–1163.
- [288] Higa, H. G. ve Lee, K., (1998). “A graph-based approach for rule integrity and maintainability in expert system maintenance,” *Inf. Manag.*, 33: 6, 273–285.

- [289] McCormick, S. R., Hur, K., Santoso, S. A. Maitra, ve Sundaram, A., (2004). "Capacitor bank predictive maintenance and problem identification using conventional power quality monitoring systems," in IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2, 1846–1850.
- [290] Ruwanpura, J., Ariaratnam, S. T. ve El-assaly, A., (2004). "Prediction models for sewer infrastructure utilizing rule-based simulation," Civ. Eng. Environ. Syst., 21: 3, 169–185.
- [291] Dhote, M. R., Holey, N.K. ve Ramteke, D.M., (2004). "Development of an expert system for detecting incipient fault in transformer by dissolved gas analysis," in Proceedings of the Sixth International Conference on Enterprise Information Systems, 210–215.
- [292] Prentzas J. ve I Hatzilygeroudis, ., (2005). "Rule-based update methods for a hybrid rule base," Data Knowl. Eng., 55: 2, 103–128.
- [293] Cheng, Z. ve Jia, X., (2005). "An intelligent reliability centered maintenance analysis system based on case-based reasoning & rule-based reasoning," in Annual Reliability and Maintainability Symposium, 545–549.
- [294] Liu, J., Zuo, M., Geng, H. ve Cai, D., (2006). "Expert system of maintenance review board report based on CBR and RBR," J. Beijing Univ. Aeronaut. Astronaut., 32: 5.
- [295] Qian, Z.-Y., Tong, Y.-B. ve Zhang, J.-J., (2007). "Project for implementation of Maintenance Rule based on risk-informed safety classification," Nucl. Power Eng., 28: 5, 75–78.
- [296] Gao, F., Wang, S., , Luo, Q. , (2007). "Research on maintenance errors in civil aviation and early-warning expert system," J. Wuhan Univ. Technol. (Transportation Sci. Eng., 31: 1, 92–95,.
- [297] Basari, N. S., Desa, A.S.H., ve Herman, M.I., (2008). "Rule-Based delay time data collection method for palm oil mills maintenance problem," in Proceedings of the 4th IASTED International Conference on Advances in Computer Science and Technology.
- [298] Cao, P. ve Jiang, X., (2008). "Development of SOA based equipments maintenance decision su ort system," in Lecture Notes in Computer Science, 576–582.
- [299] Schreck, G., Lisounkin, A. ve Krüger, J., (2008). "Knowledge modelling for rule-based supervision and control of production facilities," Int. J. Prod. Res., 46: 9, 2531–2546.
- [300] De Carlo, F. , Borgia, O., Tucci, M. ve M. Rapaccini, , (2009). "A rule based expert system for maintenance as a competitive advantage," in 2009 Annual Reliability ve Maintainability Symposium, 2009, 448–453.
- [301] Welte, T. M., (2009). "A rule-based approach for establishing states in a Markov process applied to maintenance modelling," in Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk ve Reliability, 1–12.
- [302] Becker, M., Beverungen, J., Knackstedt, D., ve Matzner, R., (2009).



“Configurative service engineering - A rule-based configuration approach for versatile service processes in corrective maintenance,” in Proceedings of the 42nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences.

- [303] Serre, D., Peyras, L., P. Maurel, Tourment, R. ve Diab, Y. , (2009). “A Spatial Decision Support System Aiding Levee Managers in their Repair veMaintenance Planning,” *J. Decis. Syst.*, 18: 3, 347–373.
- [304] Quintana, M., Leung, R., Rene Villalobos, M.T. ve Graul, J., (2009). “Corrective maintenance through dynamic work allocation vepre-emption: Case study veapplication,” *Int. J. Prod. Res.*, 47: 13, 3539–3557.
- [305] Saleem, B. M., Muhammad, A., Martinez-Enriquez, A. M., ve Escalada-Imaz, G., (2010). “A Rule Based System for Reliability Centered Maintenance,” in 2010 Ninth Mexican International Conference on Artificial Intelligence, 57–62.
- [306] Okabe, M., Yoshioka, K. Kobayashi, ve Yamaguchi, T., (2010). “Organizational Knowledge Transfer Using Ontologies and a Rule-Based System,” *IEICE Trans. Inf. Syst.*, E93–D: 4, 763–773.
- [307] Miao, J., Yin, X. , Chen, G., Li, A. ve Yuan, Z., (2010). “Fact description based on rough sets for expert system,” in 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering, 2010, 293–297.
- [308] Cheng, X.-N., Zhang, Y.-A., Liu, L. ve Mo, Y.-B., (2010). “Solution of MRO support system for large complex equipment,” *Comput. Integr. Manuf. Syst.*, 16: 10, 2026–2037.
- [309] Hui, D., Pei-huang, L., Z. Yu-de, L. Pei-Huang, ve Z. Yu-De, (2011). “Case base Maintenance Method based on Clustring and Rule,” *Int. J. Digit. Content Technol. its Appl.*, 5: 8.
- [310] Akhlaghi F. ve Abdi, E., (2012). “Designing a rule based expert system for selecting pavement rehabilitation treatments using rough set theory,” *Smart Innov. Syst. Technol.*, 15, 471–480.
- [311] Kobbacy, K. A. H., (2012). “Application of Artificial Intelligence in Maintenance Modelling ve Management,” *IFAC Proc.*, 45: 31, 54–59.
- [312] Li, S. Lv, C. Z. Guo, ve Wang, M. , (2012). “Health condition-based maintenance decision intelligent reasoning method,” in 2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, ve Safety Engineering, 2012, 405–408.
- [313] Roosenboom, D., (2012). “Protection of track work and maintenance of way personnel on Canadian railways,” in *Rail Human Factors Around the World: Impacts on and of People for Successful Rail Operations*, 624–632.
- [314] Kuo T.-S. ve Huang, H.-Y. , (2012). “Expert System Application for Helicopter Fault Diagnosis”, *International Journal of Digital Content Technology and its Applications* 6(22):704-712.
- [315] Al-Tahat, H. ve Al-Shoubaki, M.D., (2012). “Knowledge management of maintenance activities for potable water distribution business,” *Int. J. Energy, Environ. Econ.*, 20: 2, 123–134.
- [316] Ahmad, S.ve Kamaruddin, R., (2013). “Maintenance decision-making process for

- a multi-component production unit using output-based maintenance technique: A case study for non-repairable two serial components' unit," 9: 3, 305–319.
- [317] Zhou Q. ve Zeng, H., (2013). "The Intelligent Integration System of Oil Equipment Information," 5th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics,.
- [318] Yu, Z.-Q. Wu, D.-J., W., Yin, Y.-Y., Yan ve Liu, D.-Q., (2014). "Verification of rule-based service routing via model checking," J. Univ. Electron. Sci. Technol. China, vol. 43: 1, 107–112.
- [319] Qu, X., Li, B., Yao, C. ve Pang, W., (2015). "Diagnosis Expert System Design of a Certain Ordnance Launch Circuit," Springer, Cham, 769–777.
- [320] Labib, R. O., Williams, A.W., ve Connor, G.B., (1998). "An intelligent maintenance model (system): An application of the analytic hierarchy process and a fuzzy logic rule-based controller," J. Oper. Res. Soc., 49, no. 7, 745–757.
- [321] Cordón, F. ve Herrera, O. , (1999). "A two-stage evolutionary process for designing TSK fuzzy rule-based systems," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern., 26: 9, 703–715.
- [322] Pan, C.-H. ve Yeh, H., (2004). "A rule-based approach for fuzzy overhaul scheduling," Lect. Notes Comput. Sci., 3214, 753–763.
- [323] Labib, M. N. ve Yuniarto, A.W., (2005). "Intelligent real time control of disturbances in manufacturing systems," J. Manuf. Technol. Manag., 16: 8, 864–889.
- [324] Syed, M., Ying, F.U., Kuang, H., Okubo, M., ve Smith, S., (2006). "Rule-based fuzzy gain-scheduling PI controller to improve engine speed and power behavior in a power-split hybrid electric vehicle," in Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, 284–289.
- [325] Gabbar, H. E., Damilola, H.A., ve Sayed, A., (2007). "Trend analysis using real time fault simulation for improved fault diagnosis," in IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007, 3829–3833.
- [326] Hennequin, N.S., Arango, N. ve Rezg, G., (2009). "Optimization of imperfect maintenance based on fuzzy logic for a single-stage single-product production system," J. Qual. Maint. Eng., 15: 4, 412–429.
- [327] Aiello, M., Certa, G., ve Enea, A., (2009). "A fuzzy inference expert system to support the decision of deploying a military naval unit to a mission," in Lecture Notes in Computer Science, 320–327.
- [328] Ghosh, J., Sarkar, S., Sanyal, B., ve Saha, S., (2012). "Health diagnosis of industrial equipments through used lubricant analysis process: A rule based inference approach," Adv. Intell. Soft Comput., 2, 177–188.
- [329] Gan, H.-Z., Li, L., Xiao, Y., Liu, N.-C., ve Huang, Y., (2012). "Apply degree of match & fuzzy rule based mode for FMECA in flight control system," in Proceedings of 2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering2, 176–179.
- [330] Smoczek, J. ve Szpytko, J., (2012). "Fuzzy rules-based approach to estimate the

- availability of transportation system,” *Int. J. Intell. Syst. Technol. Appl.*, 11: 1–2, 117–137.
- [331] Stephen Oonk, C.-F., Francisco J. ve Figueroa, F., (2012). “Predictive fault diagnosis system for intelligent and robust health monitoring,” *J. Aerosp. Comput. Information, Commun.*, 9: 4, 125–143.
- [332] Smoczek, J. ve Szpytko, J., (2014). “Evolutionary algorithm-based design of a fuzzy TBF predictive model and TSK fuzzy anti-sway crane control system,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 28, 190–200.
- [333] Mayadevi, S., Vinodchandra, N., ve Ushakumari, S.S., (2014). “A review on expert system applications in power plants,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, 4: 1, 116–126,.
- [334] Klir G. J. ve Yuan B., (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic : theory and applications*. Prentice Hall PTR.
- [335] Ross, T. J. , (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- [336] Hasuike T. ve Katagiri, H., (2016). “A Subjective and Objective Constructing Approach for Reasonable Membership Function Based on Mathematical Programming,” in *2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, 59–64.
- [337] Hong T. ve Chen, J., (1999). “Finding relevant attributes and membership functions,” *Fuzzy Sets Syst.*, 103: 3, 389–404.
- [338] Jing, L., Chen, B. , Zhang B., ve P. Li, (2013). “A Hybrid Stochastic-Interval Analytic Hierarchy Process Approach for Prioritizing the Strategies of Reusing Treated Wastewater,” *Math. Probl. Eng.*, 1–10.
- [339] “Chapter 3 Fuzzy Membership Function Formulation and Parameterization.”
- [340] Paksoy, T., Özceylan, E. ve Yapıcı Pehlivan, N., (2013). *Bulanık Küme Teorisi*. Nobel Yayın Dağıtım.
- [341] Mogharreban N. ve DiLalla, L. F., (2006) “Comparison of Defuzzification Techniques for Analysis of Non-interval Data,” in *NAFIPS 2006 - 2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, 2006, 257–260.
- [342] Hasuike, T., Katagiri, H., Tsubaki, H. ve Tsuda, H., (2012) “Constructing membership function based on fuzzy shannon entropy and human’s interval estimation,” in *2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1–6.
- [343] Medaglia, A. L. , Fang, S.-C. , Nuttle, H. L. W. ve Wilson, J. R., (2002) “An efficient and flexible mechanism for constructing membership functions,” *Eur. J. Oper. Res.*, 139: 1, 84–95.
- [344] Dou, W., Ren, Y. , Chen, Y. , Ruan, S. , D. Bloyet, ve Constans, J.-M., (2005) “Histogram-Based Generation Method of Membership Function for Extracting Features of Brain Tissues on MRI Images,” *Springer, Berlin, Heidelberg*, 189–194.

- [345] Cintra, M. E., De Arruda Camargo, H. ve Monard, M. C., (2008) "A study on techniques for the automatic generation of membership functions for pattern recognition." In Congresso da Academia Trinacional de Ciências (C3N) ( 1, 1-10).
- [346] Medasani, S., Kim, J. ve Krishnapuram, R., (1998) "An overview of membership function generation techniques for pattern recognition," *Int. J. Approx. Reason.*, 19: 3–4, 391–417.
- [347] Nieradka G. ve Butkiewicz, B., (2007) "A Method for Automatic Membership Function Estimation Based on Fuzzy Measures," in *Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 451–460.
- [348] Kaya M.ve RAlhaji, . , (2003) "A clustering algorithm with genetically optimized membership functions for fuzzy association rules mining," in *The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2003. FUZZ '03.*, 2, 881–886.
- [349] Manley-Cooke, P. ve. Razaz, M, (2007) "An efficient approach for reduction of membership functions and rules in fuzzy systems," in *2007 IEEE International Fuzzy Systems Conference*, 1–5.
- [350] Alcalá, R. , Alcalá-Fdez, J., Gacto, M. J. ve Herrera, F., (2007). "Genetic Learning of Membership Functions for Mining Fuzzy Association Rules." In *Fuzzy Systems Conference, FUZZ-IEEE 2007 IEEE International*, 1-6.
- [351] Keller, J. M., Gray, M. R. ve Givens, J. A., (1985). "A fuzzy K-nearest neighbor algorithm," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, SMC-15: 4, 580–585.
- [352] Krishnapuram, R., (1994). "Generation of membership functions via possibilistic clustering," in *Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference*, 902–908.
- [353] Cheng H. D. ve Chen, J.-R. , (1997). "Automatically determine the membership function based on the maximum entropy principle," *Inf. Sci. (Ny).*, 96: 3–4, 163–182.
- [354] W. Dou et al., (2007). "Fuzzy kappa for the agreement measure of fuzzy classifications," *Neurocomputing*, 70: 4–6, 726–734.
- [355] Dubois, D., (2006). "Possibility theory and statistical reasoning," *Comput. Stat. Data Anal.*, 51: 1, 47–69.
- [356] Hasuike, T., Katagiri, H. ve Tsubaki, H., (2014). "Constructive method for appropriate membership function integrating fuzzy entropy with smoothing function into interval estimation," in *2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, 1343–1348.
- [357] Hasuike, T., Katagiri, H. ve Tsubaki, H., (2015). "A Constructing Algorithm for Appropriate Piecewise Linear Membership Function based on Statistics and Information Theory," *Procedia Comput. Sci.*, 60, 994–1003.
- [358] Hasuike, T., Katagiri, H. ve Tsubaki, H., (2015). "An Interactive Algorithm to Construct an Appropriate Nonlinear Membership Function Using Information Theory and Statistical Method," *Procedia Comput. Sci.*, 61, 32–37.

- [359] Hasuike T. ve Katagiri, H., (2016). "Construction of an appropriate membership function based on size of fuzzy set and mathematical programming." Newswood Limited, 862–866.
- [360] Norwich A. ve Turksen, I., (1984). "A model for the measurement of membership and the consequences of its empirical implementation," *Fuzzy Sets Syst.*, 12: 1, 1–25.
- [361] Ishibuchi, H. , Nozaki, K. ve Tanaka, H., (1993). "Efficient fuzzy partition of pattern space for classification problems," *Fuzzy Sets Syst.*, 59: 3, 295–304.
- [362] Boston, J. R., (1995). "Effects of the shape of fuzzy membership functions on fuzzy inference," in *Proceedings of 3rd International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis and Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society*, 32–37.
- [363] Chen M.-S. ve Wang, S.-W., (1999). "Fuzzy clustering analysis for optimizing fuzzy membership functions," *Fuzzy Sets Syst.*, 103: 2, 239–254.
- [364] Al-sharhan, S., Karray, F. , Gueaieb, W. ve Basir, O., (2001). "Fuzzy entropy: a brief survey," in *10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems.*, 2, 1135–1139.
- [365] De Luca A. ve Termini, S., (1972). "A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory," *Inf. Control*, 20: 4, 301–312.
- [366] Xie, W. X. ve Bedrosian, S. D.,(1984). "An information measure for fuzzy sets," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, SMC-14: 1, 151–156.
- [367] Pal N. R. ve Pal, S. K. , (1992). "Higher order fuzzy entropy and hybrid entropy of a set," *Inf. Sci. (Ny).*, 61: 3, 211–231.
- [368] Kaufmann A. ve Gupta, M. M., (1985). *Introduction to fuzzy arithmetic : theory and applications*. Van Nostrand Reinhold Co.
- [369] Zimmermann, H.-J., (1991). *Fuzzy Set Theory - and Its Applications*. Springer Netherlands.
- [370] Mamdani E. H. ve Assilian S., " (1975).An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man. Mach. Stud.*, 7: 1, 1–13.
- [371] Gallimore, P, Fletcher, M. ve Carter, M., (1996). "Modelling the influence of location on value," *J. Prop. Valuat. Invest.*, 14: 1, 6–19.
- [372] Takagi T. ve Sugeno, M., (1985). "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, SMC-15: 1, 116–132.
- [373] Tsukamoto, Y., (1979). "An approach to fuzzy reasoning method," in *Advances in fuzzy set theory and applications*, Amsterdam, 137–149.
- [374] Birpınar, M. E. , Bilgili, M. S. ve Erdoğan, T., (2009). "Medical waste management in Turkey: A case study of Istanbul," *Waste Manag.*, 29: 1, 445–448.
- [375] Akça, H. (2018). İstanbul'daki Bazı Raylı Sistem Hatlarının Öngörülen İle Gerçekleşen Yolcu Sayıları, İnşaat ve İşletme Maliyetlerinin Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [376] "İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İUAP) Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü," 2011.
- [377] Aydın, G. T. (2017). Kent İçi Lojistik İstanbul için Bir Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [378] "Türkiye İstatistik Kurumu Web Sayfası." [Online]. Available: <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>. [Accessed: 14-Dec-2018].
- [379] "Metrobüs Hakkında." [Online]. Available: <https://www.iETT.istanbul/tr/main/pages/metrobus-hakkında/89>. [Accessed: 29-Nov-2018].
- [380] "Metrobüs Tarihçe." [Online]. Available: <https://metrobus.iETT.istanbul/tr/metrobus/pages/metrobus-tarihce/222>. [Accessed: 29-Nov-2018].
- [381] "Metrobüs." [Online]. Available: <https://ulasim.ibb.gov.tr/Metrobus20131.aspx>. [Accessed: 10-Jan-2018].
- [382] "Metrobüs Hat Sefer Bilgileri." [Online]. Available: <http://metrobus.iETT.gov.tr/tr/metrobus/pages/metrobus-hat-sefer-bilgileri/899>. [Accessed: 30-Mar-2016].
- [383] "APTS Phileas - Girokonto Und Tipps." [Online]. Available: <http://www.aptspheleas.com/>. [Accessed: 24-May-2016].
- [384] D. de Waard, K. Brookhuis, E. Fabrick, and P. C. Van Wolffelaar, (2004). "Driving the Phileas, a new automated public transport vehicle." 2004.
- [385] "Metrobüs Phileas'ların teknik özellikleri nedir?" [Online]. Available: [http://www.otohaber.com.tr/okurmektuplari/2009/07/28/metrobus\\_phileas\\_larin\\_teknik\\_ozellikleri\\_nedir](http://www.otohaber.com.tr/okurmektuplari/2009/07/28/metrobus_phileas_larin_teknik_ozellikleri_nedir). [Accessed: 24-May-2016].
- [386] "Modeller." [Online]. Available: <http://www.bredamenariniturkiye.com/>. [Accessed: 26-May-2016].
- [387] "Teknik özellikler." [Online]. Available: [http://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc\\_turkey\\_website/tr/home\\_mpc/bus/home/new\\_buses/models/regular\\_service\\_busses/capacity\\_2\\_0/facts/technical\\_data.html](http://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc_turkey_website/tr/home_mpc/bus/home/new_buses/models/regular_service_busses/capacity_2_0/facts/technical_data.html). [Accessed: 25-May-2016].
- [388] "Turkey - Showbus International Photo Gallery - IETT Metrobus." [Online]. Available: <http://www.showbus.com/gallery/foreign/turk/metrobus2.htm>. [Accessed: 12-Jun-2016].
- [389] "Conecto Solo, Teknik Özellikler ve Boyutlar." [Online]. Available: [http://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc\\_turkey\\_website/tr/home\\_mpc/bus/home/new\\_buses/models/regular\\_service\\_busses/conecto\\_solo/technical\\_data.html#\\_int\\_bus:home:model-navi:technical\\_data](http://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc_turkey_website/tr/home_mpc/bus/home/new_buses/models/regular_service_busses/conecto_solo/technical_data.html#_int_bus:home:model-navi:technical_data). [Accessed: 25-May-2016].
- [390] "Conecto Körüklü, Teknik Özellikler ve Boyutlar." [Online]. Available: [http://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc\\_turkey\\_website/tr/home\\_mpc/bus/home](http://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc_turkey_website/tr/home_mpc/bus/home)

e/new\_buses/models/regular\_service\_busses/conecto\_long/technical\_data.  
[Accessed: 25-May-2016].

- [391] "EasyFit - Introduction to EasyFit 5.5." [Online]. Available: <http://www.mathwave.com/help/easyfit/index.html>. [Accessed: 24-May-2016].
- [392] Kılıc, S. (2012). "Sample size, power concepts and sample size calculation," J. Mood Disord., 2: 3, p. 140.
- [393] Karatay, M., (2010). "Araştırmada Örnekleme," 2010. [Online]. Available: [80.251.40.59 /education.ankara.edu.tr/aksoy/eay/mkaratay.doc](http://80.251.40.59/education.ankara.edu.tr/aksoy/eay/mkaratay.doc). [Accessed: 30-May-2016].
- [394] Sopacı, E., (2013). "Jeodezik Amaçlı Uyum İyiliği Testleri Uygulanması: Vlbı/Gps Ortak Yerleşkeleri Sıcaklık Verileri Analizi Örneği," Karadeniz Teknik Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2013.
- [395] Köle, C., (2014). "Üstel Dağılım İçin Uyum İyiliği Testleri Ve Bir Karşılaştırma," Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [396] Yıldırım, N. (2013). "Normal Dağılım İçin Uyum İyiliği Testleri Ve Bir Simülasyon Çalışması," Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [397] Yılmaz, H. (2011). "Çarpık Dağılımlarda Parametre Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması," Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [398] Bircan, H., Karagöz, Y. Y. ve Kasapoğlu, Y. ,(2003). "Ki-Kare Ve Kolmogorov Smirnov Uygunluk Testlerinin Simulasyon İle Elde Edilen Veriler Üzerinde Karşılaştırılması," Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi,(4), 1, 69-80.
- [399] Büyükoztürk, S., (2004). Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı: istatistik, araştırma deseni SPSS uygulamaları ve yorum. Pegem A Yayıncılık.
- [400] Kalaycı, S. (2010). SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri. Asil Yayın Dağıtım.
- [401] Ersalıcı, H. (2012). Elektrik Dağıtım Sistemlerinin Güvenilirlik Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [402] "EasyFit - Continuous Distributions." [Online]. Available: [http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/\\_continuous.html](http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/_continuous.html). [Accessed: 29-Nov-2017].
- [403] Dalkey N. ve Helmer, O. (1963). "An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts," Manage. Sci., 9: 3, 458-467.
- [404] Gumus, A. T., (2009). "Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology," Expert Syst. Appl., 36: 2, 4067-4074.
- [405] Hsu, Y.-L., Lee, C.-H. ve Kreng, V. B., (2010). "The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection," Expert Syst. Appl., 37: 1, 419-425, Jan. 2010.
- [406] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill,.

- [407] Saaty T. L. ve Vargas, L. G. , (1998) "Diagnosis with Dependent Symptoms: Bayes Theorem and the Analytic Hierarchy Process," *Oper. Res.*, 46: 4, 491–502.
- [408] Erdogan M. ve Kaya, I., (2015). "An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology Based On Type-2 Fuzzy Sets For Selection Among Energy Alternatives In Turkey, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12, 1-25.
- [409] van Laarhoven P. J. M. ve Pedrycz, W. , (1983). "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," *Fuzzy Sets Syst.*, 11: 1–3, 229–241.
- [410] Buckley, J. J. , (1985). "Fuzzy hierarchical analysis," *Fuzzy Sets Syst.*, 17: 3, 233–247.
- [411] Erdogan M. ve Kaya, İ., (2019). "Prioritizing Failures by Using Hybrid Multi Criteria Decision Making Methodology with A Real Case Application," *Sustain. Cities Soc.*, 45, 117-130.
- [412] Erdoğan M. ve Kaya, İ. (2016). "A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclear power plant in Turkey," *Appl. Soft Comput.*, 39, 84–93.
- [413] Erdogan M. ve Kaya, I., (2016). "Evaluating Alternative-Fuel Buses for Public Transportation in Istanbul Using Interval Type-2 Fuzzy AHP and TOPSIS," *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 26(6).
- [414] Hwang C.-L. ve Yoon, K., (1981). "Methods for Multiple Attribute Decision Making," Springer, Berlin, Heidelberg, 58–191.
- [415] Kahraman, C., Engin, O., Kabak, Ö. ve Kaya, İ., (2009). "Information systems outsourcing decisions using a group decision-making approach," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 22: 6, 832–841.
- [416] Cobuloglu H. I. ve Büyükahtakin, İ. E., (2015). "A stochastic multi-criteria decision analysis for sustainable biomass crop selection," *Expert Syst. Appl.*, 42: 15–16, 6065–6074.
- [417] Tzeng G.-H. ve Huang, J.-J., (2011). *Multiple attribute decision making : methods and applications*. CRC Press.
- [418] Jalao, D., Wu, E. R., ve Shunk, T., (2014). "A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences," *Inf. Sci. (Ny).*, 270: 192–203, 2014.
- [419] Kerman, J., (2011). "A closed-form approximation for the median of the beta distribution," Nov. 2011.
- [420] Jensen, P. A., (2004). "Computation - Operations Research Models and Methods," 2004. [Online]. Available: [https://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/computation/unit/rvadd/continuous\\_dist/beta.html](https://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/computation/unit/rvadd/continuous_dist/beta.html). [Accessed: 15-Dec-2018].
- [421] Chameau J.-L. ve Santamarina, J. C., (1987). "Membership functions I: Comparing methods of measurement," *Int. J. Approx. Reason.*, 1: 3, 287–301.
- [422] Yoshikawa, , (2007). "Influence of procedure for interactive identification method on forms of identified membership functions," *Japan Soc. Fuzzy Theory Intell. Informatics*, 19: 1, 69–78, 2007.



- [423] Hasuike T. ve Katagiri, H., (2017). "An objective formulation of membership function based on fuzzy entropy and pairwise comparison," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 32: 6, 4443–4452.
- [424] Devi B. B. ve Sarma, V. V. S., (1985). "Estimation of fuzzy memberships from histograms," *Inf. Sci. (Ny).*, 35: 1, 43–59.
- [425] Civanlar M. R. ve Trussell, H. J., (1986). "Constructing membership functions using statistical data," *Fuzzy Sets Syst.*, 18: 1, 1–13.
- [426] Hasuike, T., Takashi, H. ve Katagiri, H., (2016). "An objective approach for constructing a membership function based on fuzzy harvda charvat entrophy and mathematical," *J. Adv. Comput. Intell. Intell. Inform.*, 20: 4, 535–542, 2016.
- [427] Yoshizumi, T. (2015). "A Mathematical Programming-Based Approach to Determining Objective Functions from Qualitative and Subjective Comparisons." In *AAAI* ( 3136-3142).
- [428] Kennedy, J. ve Eberhart, R. (1995). "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948.
- [429] Özsağlam, M. Y. ve Çunkaş, M., (2008). "Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması," *Politek. Derg. J. Polytech. Cilt*, 11: 4, 299–305.
- [430] Çetin, E. (2013). "Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı PID Kontrolör ile AA Servomotor Denetimi," *Hitit Üniversitesi*.
- [431] Kasap, M., (2015). "Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritmasının Başarım Analizi," *Hacettepe Üniversitesi*.
- [432] Dutta, A., Das, D. ve Baruah, H. K. , (2013). "Construction of the membership function of normal fuzzy numbers," *J. Process Manag. New Technol.* , 1: 2, 82–86.
- [433] Francisque, A., Rodriguez, M. J., Sadiq, R., Miranda, L. F. ve Proulx, F., (2009). "Prioritizing monitoring locations in a water distribution network: a fuzzy risk approach," *J. Water Supply Res. Technol.*, 58: 7, 488–509.
- [434] Kumar, P., Nigam, S. P. ve Kumar, N., (2014). "Vehicular traffic noise modeling using artificial neural network approach," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 40, 111–122.
- [435] Kiranyaz, S., Ince, T., Yildirim, A. ve Gabbouj, M., (2009). "Evolutionary artificial neural networks by multi-dimensional particle swarm optimization," *Neural Networks*, 22: 10, 1448–1462.
- [436] Guneri A. F. ve Gumus, A. T., (2008). "The Usage of Artificial Neural Networks For Finite Capacity Planning," *Int. J. Ind. Eng.*, 15: 1, 16–25.
- [437] Gumus, A. T ve Guneri, A. F., (2009). "A Neural Network Based Demand Forecasting System For Two-Echelon Supply Chains," in *13th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*.

- [438] Kialashaki, A. ve Reisel, J. R. , (2014). "Development and validation of artificial neural network models of the energy demand in the industrial sector of the United States," *Energy*, 76, 749–760.
- [439] Hussain et al., D., (2017). "Analysis Of Transportation Mode Choice Using A Comparison Of Artificial Neural Network And Multinomial Logit Models," *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12: 5.
- [440] Ghanim M. S. ve Abu-Lebdeh, G., (2015). "Real-Time Dynamic Transit Signal Priority Optimization for Coordinated Traffic Networks Using Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks," *J. Intell. Transp. Syst.*, 19: 4, 327–338.
- [441] Motamed, M., Machemehl, R. B., Babaei, S.ve A. A. Tavakoly, , (2012). "Comparison of regression and artificial neural network models of bus dwell and passenger activity times (Case study: Tehran)." 1681–1691, 01-Dec-2012.
- [442] Ma, Z., Xing, J., Gao, L., Sha, J., Wu, Y. ve Wu, Y. (2011). "Dynamic Public Transport Passenger Flow Forecast Based on IMM Method," Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, 675–683.
- [443] Duer, S., (2011). "Qualitative evaluation of the regeneration process of a technical object in a maintenance system with an artificial neural network," *Neural Comput. Appl.*, 20: 5, 741–752.
- [444] Krenek, J., Kuca, K., Blazek, P., Krejcar, O. ve Jun, D. , (2016). "Application of Artificial Neural Networks in Condition Based Predictive Maintenance," Springer, , 75–86.
- [445] Santolamazza, A., Cesarotti, V. ve Introna, V., (2018). "Anomaly detection in energy consumption for Condition-Based maintenance of Compressed Air Generation systems: an approach based on artificial neural networks," *IFAC-PapersOnLine*, 51: 11, 1131–1136.
- [446] Rohani, A., Abbaspour-Fard, M. H. ve Abdolahpour, S., (2011). "Prediction of tractor repair and maintenance costs using Artificial Neural Network," *Expert Syst. Appl.*, 38: 7, 8999–9007,.
- [447] Şeker, Ş. E., (2015). *Weka ile Veri Madenciliği*. İstanbul: Bilgisayar Kavramları Yayınları.
- [448] Witten, I. H., Frank, E. ve Mark M. A., (2011). *Data mining : practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Melike ERDOĞAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 04.06.1988, Kaynarca  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : [melikeerdogan@yahoo.com](mailto:melikeerdogan@yahoo.com)

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Endüstri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Anadolu Üniversitesi	2011

## **YAYINLARI**

- 1.Erdogan, M. ve Kaya, I., (2019). "Prioritizing failures by using hybrid multi criteria decision making methodology with a real case application", *Sustainable Cities and Society*, 45, 117-130.
- 2.Erdoğan, M. ve Kaya, İ., (2018). "Selection of the best outsourcing firm for WEEE under hesitant fuzzy environment", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 1-12.
- 3.Erdoğan M., Bilişik Ö.N. ve Kaya İ., (2018). "A New Fuzzy Decision-making Procedure to Prioritization of the Brand City Candidates for Turkey", *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 30, 1-28.
- 4.Karaşan A., Kaya İ. Ve Erdoğan M., (2018). "Location Selection of Electric Vehicles Charging Stations by Using a Fuzzy MCDM Method: A Case Study in Turkey", *Neural Computing & Applications*, 1-12.
- 5.Kaya İ., Erdoğan M. ve Yildiz C., (2017). (2017). "Analysis and control of variability by using fuzzy individual control charts", *Applied Soft Computing*, 51, 370-381.
- 6.Erdoğan M. ve Kaya İ., (2016). "Evaluating of Alternative-Fuel Busses for Public Transportation in Istanbul Using Interval Type-2 Fuzzy AHP and TOPSIS", *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 26, 625-642.
- 7.Erkan C., Taskin Gumus A. ve Erdoğan M., (2016). "A New Extension of the ELECTRE Method Based Upon Interval Type-2 Fuzzy Sets for Green Logistic Service Providers Evaluation", *Journal of Testing and Evaluation*, 44(5), 1813-1827.
- 8.Çelik E., Erdoğan M ve Taşkın Gümüş A., (2016). "An extended fuzzy TOPSIS–GRA method based on different separation measures for green logistics service provider selection", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 1377-1392.
- 9.Erdoğan M. ve Kaya İ., (2016). "A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclear power plant in Turkey", *Applied Soft Computing*, 39, 84-93, 2016
- 10.Erdoğan M. ve Kaya İ., (2015). "An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology Based On Type-2 Fuzzy Sets For Selection Among Energy Alternatives In Turkey", *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12, 1-25.
- 11.Bilişik Ö.N., Erdoğan M., Kaya İ. ve Baraçlı H., "A hybrid fuzzy methodology to evaluate customer satisfaction in a public transportation system for Istanbul", *Total Quality Management & Business Excellence*, 24, 1141-1159.
- 12.Çelik E., Bilişik Ö.N., Erdoğan M., Taşkın Gümüş A. ve Baraçlı H., (2013). "An integrated novel interval type-2 fuzzy MCDM method to improve customer satisfaction in public transportation for Istanbul", *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 58, 28-51.

## **Bildiri**

- 1.Erdoğan M., Yeşim K. ve İhsan K., (2014). "A hybrid fuzzy decision making procedure to select among outsourcing alternatives for waste of electrical and electronic equipment", *7th International Conference on Environmental and Computer Science*, Fransa.

- 2.**Çolak M., Kaya İ. ve Erdoğan M., (2018). "A Fuzzy Based Risk Evaluation Model for Industry 4.0 Transition Process", Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas, 21-22 Haziran 2018, İstanbul, Türkiye.
- 3.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2018). "A Brief Literature Analysis about Usage of the Fuzzy Sets and Markov Chain on Maintenance Processes", XIII Balkan Conference on Operational Research, 25-28 Mayıs 2018, Belgrad, Sırbistan.
- 4.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2018). "Failure Evaluation of Public Transport System in İstanbul by Using Markov Chain", 12th International NCM Conference: Challenges in Industrial Engineering & Operation Management, 11-12 Eylül 2018, Ankara, Türkiye.
- 5.**Erdoğan M., Karaşan A. ve Kaya İ., (2018). "Prioritization of Location Alternatives for Electric Vehicle Charging Stations in İstanbul", XIII Balkan Conference on Operational Research, 25-28 Mayıs 2018, Belgrad, Sırbistan.
- 6.**Bilişik Ö.N., Erdoğan M. ve Kaya İ., (2018). "A performance evaluation methodology for bank branch operations", 13th International Conference on Data Mining, Computers, Communication and Industrial Applications, 21-22 Mart 2018, İstanbul, Türkiye.
- 7.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2018). "Prioritization of Failures for Public Transport System with a Case Study in İstanbul", 12th International NCM Conference: Challenges in Industrial Engineering & Operation Management, 11-12 Eylül 2018, Ankara, Türkiye.
- 8.**Erdoğan M., Karaşan A. ve Kaya İ., (2018). "Granary Location Selection by Using an Interval-Valued Intuitionistic, Fuzzy AHP Method for Sustainable Agricultural Development", 12th International NCM Conference: Challenges in Industrial Engineering & Operation Management, 11-12 Eylül 2018, Ankara, Türkiye.
- 9.**Erdoğan M., Özkan B., Karaşan A. ve Kaya İ., "Selecting the Best Strategy for Industry 4.0 Application with a Case Study", GJCIE 2017, 20-21 Temmuz 2017, Viyana, Avusturya.
- 10.**Erdoğan M., Bilişik Ö.N. ve Kaya İ.,(2016). "Ranking of Brand City Alternatives: A Case Study For Turkey", International Conference On Advances In Science ICAS 2016, 154-160, 31 Ağustos - 2 Eylül 2016, İstanbul, Türkiye.
- 11.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2015). "A Strategic Decision Making Model based on Hesitant Fuzzy Environment", 23rd International Conference on Multiple Criteria Decision Making MCDM 2015 - Bridging Disciplines, Ağustos 2015, Almanya.
- 12.**Sürmeli G., Kaya İ. ve Erdoğan M., (2015). "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach for Choosing a Logistics Center Location in Turkey ", International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO), 27-29 Mayıs 2015, İstanbul, Türkiye.
- 13.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2014). "A Type-2 Fuzzy MCDM Method for Ranking Private Universities in İstanbul", World Congress on Engineering, Londra, İngiltere.
- 14.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2013). "A New Fuzzy Decision Making Approach for Selection Among Energy Alternatives in Turkey", EURO XXVI, Haziran 2013, İtalya.

- 15.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2013). "Enerji Alternatiflerinin Tip-2 Bulanık Kümeler ile Değerlendirilmesi", TMMOB Makina Mühendisleri Odası IX. Endüstri-İşletme Mühendisliği Kurultayı, Aralık 2013 Eskişehir, Türkiye.
- 16.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2013). "Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods in Energy Management: A Literature Review", 24th Subjective Probability, Utility, and Decision Making Conference (SPUDM 24), Ağustos 2013, Barselona, İspanya.
- 17.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2013). "A Fuzzy Decision Making Approach to Selection among Alternative Busses", The 4th International Conference on Risk Analysis and Crisis Response (RACR2013), Ağustos 2013, İstanbul, Türkiye.
- 18.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2013). "Türkiye’de Kurulacak Üçüncü Nükleer Santral için Tesis Yeri Seçimine Yönelik Bulanık Karar Verme Modeli", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 33. Ulusal Kongresi (YAEM 2013), Haziran 2013, Türkiye.
- 19.**Erdoğan M., Bilişik Ö.N., Kaya İ. ve Baraçlı H., (2013). "A customer satisfaction model based on fuzzy TOPSIS and SERVQUAL methods", 5th International Conference on Applied Operational Research, Temmuz 2013, Lizbon, Portekiz.
- 20.**Erdoğan M. ve Taşkin Gümüş A., (2012). "Environmental Consciousness of 3PL Firms: A Brief Literature Review", ITAM2012, Haziran 2012, İstanbul, Türkiye.
- 21.**Erdoğan M., Çelik E. ve Taşkin Gümüş A., (2012). "A Fuzzy AHP-Fuzzy PROMETHEE Hybrid Methodology for Green Logistics Service Provider Evaluation", 10th International Logistics and Supply Chain Congresses – 2012 (LM-SCM2012), Kasım 2012, Türkiye.
- 22.**Erdoğan M., Kaya İ. ve Yıldız, C., (2016). "Forecasting Stock Prices by using The Fuzzy Sets: A Real Case Application in Borsa İstanbul", International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS), Bosna Hersek.
- 23.**Erdoğan M. ve Kaya İ., (2018). "Evaluation of Maintenance Management for Transportation Systems in İstanbul: A Detailed Literature Analysis", 2. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi, ULUK 2018, 22-23 Kasım 2018, Türkiye.

## **Proje**

1. Bilimsel Araştırma Projesi Stokastik Parametrelerin Karar Süreci Üzerine Etkilerinin Analizi, Proje ID:1053, Proje Kodu:2016-06-03-DOP01.