

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜK PATLAMA BÜYÜK ÇÖKÜŞ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI
TABANLI BULANIK MODELLEME YÖNTEMİ VE YAZILIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aydoğın ERSÖZ

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliğı

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliğı Programı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜK PATLAMA BÜYÜK ÇÖKÜŞ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI
TABANLI BULANIK MODELLEME YÖNTEMİ VE YAZILIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aydoğan ERSÖZ

504081105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İbrahim EKSİN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Osman Kaan EROL (İTÜ)

HAZİRAN 2011

Aileme ve Dostlarıma,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam kapsamında uzun bir maraton boyunca her zaman manevi desteğini yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşım Kontrol Mühendisi Elif KÖKSAL'a, müthiş bilgi birikimlerini içtenlikle ve samimiyetle bana aktararak çalışmalarımı yönlendiren değerli hocalarım Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA, Prof. Dr. İbrahim EKSİN, Yrd. Doç. Dr. Engin YEŞİL ve Araş. Gör. Tufan KUMBASAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca iş yerinde bana aşılamış olduğu güven ve sorumluluk duygusu için patronum M. Suha GÜLERMAN'a ayrıca teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Haziran 2011

Aydoğan Ersöz
Kontrol Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. BULANIK MANTIK	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Bulanık Mantık Uygulamaları.....	4
2.3 Bulanık Kümeler	5
2.3.1 Tanım	5
2.3.2 Bulanık kümelerde temel kavramlar	6
2.3.3 Bulanık kümelerin sınıflandırılması.....	7
2.3.4 Üyelik fonksiyonları	8
2.3.5 Bulanık kümelerde işlemler	9
2.3.5.1 Tümlleme işlemi	9
2.3.5.2 Kesişim işlemi	9
2.3.5.3 Birleşim işlemi	10
2.3.5.4 t-normları ve s-normları	10
3. BULANIK SİSTEMLER.....	13
3.1 Giriş.....	13
3.2 Dilsel Değişkenler	13
3.3 Dilsel Niteleyiciler	15
3.4 Bulanıklaştırma	16
3.5 Kural Tabanı.....	16
3.6 Çıkarım Mekanizması	16
3.6.1 Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizması.....	16
3.6.2 Takagi - Sugeno tipi yapı için çıkarım mekanizması.....	17
3.6.3 Tekli (Singleton) tip yapı için çıkarım mekanizması.....	18
3.6.4 Mamdani ve Takagi – Sugeno yöntemlerinin üstünlükleri.....	19
Mamdani Yöntemi	19
Takagi – Sugeno Yöntemi	19
3.7 Durulaştırma.....	19
3.7.1 Ağırlık merkezi yöntemi	19
3.7.2 Ağırlık ortalaması yöntemi	20
3.7.3 Maksimum yöntemi	21
4. BULANIK MODELLEME	23
4.1 Giriş.....	23

4.1.1 Beyaz-kutu, siyah-kutu ve gri-kutu modelleme	23
4.1.2 Bulanık modelleme veya bulanık tanıma kavramı	25
4.2 Bulanık Modelleme Yöntemleri	25
4.2.1 Mozaik şema yöntemi	27
4.2.2 Gradyan yöntemi	27
4.2.3 Kümeleme yöntemi	28
4.2.4 Optimizasyon tabanlı yöntemler	29
4.3 Bulanık Modelleme Yazılımları ve Yazılımların Karşılaştırılması.....	30
4.3.1 Yazılım 1: ANFIS	30
4.3.2 Yazılım 2: FMIT	32
4.3.3 Yazılım 3: SFMIT	33
4.3.4 Yazılım 4: TNIDA	35
4.3.5 Yazılım 5: DENFIS.....	36
4.3.6 Bulanık modelleme yazılımlarının karşılaştırılması	37
5. BÜYÜK PATLAMA BÜYÜK ÇÖKÜŞ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI	
TABANLI BULANIK MODELLEME YÖNTEMİ VE YAZILIMI.....	39
5.1 Giriş	39
5.2 Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması	41
5.3 Bulanık Modelleme Yazılımı	45
5.3.1 Kurulum	45
5.3.2 Genel tanıtım ve arayüzün kullanılması.....	45
5.3.3 Veri dosyaları	51
5.3.4 Bulanık modelleme	51
5.3.5 Uyarı, bilgilendirme ve hata mesajları	64
5.3.6 Döküm ve model dosyaları	67
6. BENZETİM ÇALIŞMALARI	69
6.1 Statik Fonksiyon Modelleme.....	70
6.1.1 Sistem bilgisi	70
6.1.2 Bulanık modelleme parametreleri	70
6.1.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model.....	71
6.1.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model	73
6.2 Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem modelleme.....	75
6.2.1 Sistem bilgisi	75
6.2.2 Bulanık modelleme parametreleri	75
6.2.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model.....	76
6.2.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model	79
6.3 Doğrusal olmayan küresel tank sisteminin modellenmesi	83
6.3.1 Sistem bilgisi	83
6.3.2 Bulanık modelleme parametreleri	85
6.3.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model.....	85
6.3.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model	88
6.4 MATLAB PT326 sisteminin modellenmesi.....	91
6.4.1 Sistem bilgisi	91
6.4.2 Bulanık modelleme parametreleri	92
6.4.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model.....	93
6.4.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model	94

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	97
KAYNAKLAR	99
EKLER.....	101

KISALTMALAR

ANFIS	: Adaptive Neuro-fuzzy Inference System
BM	: Bulanık Modelleme
BPBÇ	: Büyük Patlama Büyük Çöküş
ÇGÇÇ	: Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO)
ÇGTÇ	: Çok Girişli Tek Çıkışlı (MISO)
DENFIS	: Dynamic Evolving Neural-Fuzzy Inference System
EKK	: En Küçük Kareler
FIS	: Fuzzy Inference System
FMIT	: Fuzzy Modeling and Identification Toolbox
GK	: Gustafson – Kessel
GY	: Geriye Yayılım (Backpropagation)
KT	: Karelerin Toplamı (Sum of Squares)
RMS	: Root – Mean - Square
SFMIT	: Sparse Fuzzy Model Identification Toolbox
TNIDA	: Toolbox for Neuro-fuzzy Identification and Data Analysis
TS	: Takagi – Sugeno
ÜF	: Üyelik Fonksiyonu
YEKK	: Yinelemeli En Küçük Kareler (Recursive Least Squares)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : t-normları ve s-normları	11
Çizelge 4.1 : Farklı modelleme yöntemlerine göre sabit ve serbest parametreler	26
Çizelge 4.2 : Bulanık modelleme yazılımlarının karşılaştırılması	38
Çizelge 5.1 : BPBÇ algoritmasındaki adımların açıklamaları	42
Çizelge 5.2 : Kullanıcının girdiği verilerin kontrol edildiği fonksiyon	53
Çizelge 5.3 : Kural tabanının oluşturulduğu fonksiyon	53
Çizelge 5.4 : İlk popülasyonun oluşturulduğu fonksiyon	54
Çizelge 5.5 : Çıkış ÜF parametrelerini hesaplayan üst fonksiyon bloğu	57
Çizelge 5.6 : Giriş ÜF'lerin ateşleme açılarının hesaplandığı fonksiyon	57
Çizelge 5.7 : Kuralların ateşleme açılarının hesaplandığı fonksiyon	57
Çizelge 5.8 : A matrisinin hesaplandığı fonksiyon	58
Çizelge 5.9 : YEKK yöntemi değişkenlerinin ayarlandığı fonksiyon	58
Çizelge 5.10 : Çıkış ÜF parametrelerinin hesaplandığı temel fonksiyon	58
Çizelge 5.11 : Giriş ÜF parametrelerinin optimize edildiği üst fonksiyon bloğu	61
Çizelge 5.12 : Bulanık çıkarım mekanizması fonksiyonu	62
Çizelge 5.13 : BPBÇ algoritması fonksiyonu	62
Çizelge 5.14 : Model dosyasının üretilmesi için çağrılan fonksiyon	64
Çizelge 6.1 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri	72
Çizelge 6.2 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri	72
Çizelge 6.3 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı	73
Çizelge 6.4 : Statik fonksiyon için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri	74
Çizelge 6.5 : Statik fonksiyon için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri	74
Çizelge 6.6 : Statik fonksiyon için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı	75
Çizelge 6.7 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri	77
Çizelge 6.8 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri	78
Çizelge 6.9 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı	79
Çizelge 6.10 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri	81

Çizelge 6.11 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri.....	82
Çizelge 6.12 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı.....	83
Çizelge 6.13 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri	86
Çizelge 6.14 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri	87
Çizelge 6.15 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı.....	88
Çizelge 6.16 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri	89
Çizelge 6.17 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri.....	90
Çizelge 6.18 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı.....	91
Çizelge 6.19 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri.....	94
Çizelge 6.20 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri	94
Çizelge 6.21 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı.....	94
Çizelge 6.22 : PT326 sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri.....	96
Çizelge 6.23 : PT326 sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri.....	96
Çizelge 6.24 : PT326 sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 3'e yakın sayılar bulanık kümesinin üyelik fonksiyonları	5
Şekil 2.2 : Bulanık kümelerde temel kavramlar	6
Şekil 2.3 : Olağan ve olağanaltı bulanık küme	7
Şekil 2.4 : Konveks ve konveks olmayan bulanık küme	7
Şekil 2.5 : Üçgen tipi üyelik fonksiyonu	8
Şekil 2.6 : Trapezoid tipi üyelik fonksiyonu	8
Şekil 2.7 : Gauss tipi üyelik fonksiyonu	9
Şekil 2.8 : Gauss bell tipi üyelik fonksiyonu	9
Şekil 2.9 : Bulanık A ve tümleyen A kümeleri	9
Şekil 2.10 : Bulanık A ve B kümelerinin kesişim işlemi	10
Şekil 2.11 : Bulanık A ve B kümelerinin birleşim işlemi	10
Şekil 3.1 : Bulanık sistemin iç yapısı	13
Şekil 3.2 : “Yaş” dilsel değişkeninin terimleri	14
Şekil 3.3 : “İyi” dilsel değişkeninin niteleyicileri	15
Şekil 3.4 : İki giriş iki kural Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizması	17
Şekil 3.5 : İki giriş iki kural Takagi - Sugeno tipi yapı için çıkarım mekanizması ...	18
Şekil 3.6 : İki giriş iki kural tekli tip yapı için çıkarım mekanizması	18
Şekil 3.7 : Alanın ağırlık merkezi	20
Şekil 3.8 : Alanın ağırlık ortalaması	20
Şekil 3.9 : Alanın maksimumları	21
Şekil 4.1 : ANFIS kullanıcı arayüzü	30
Şekil 4.2 : ANFIS adaptif sinir ağı yapısı	31
Şekil 4.3 : FMIT demo ekranı	32
Şekil 4.4 : FMIT örnek model çıktısı	33
Şekil 4.5 : SFMIT kullanıcı arayüzü	34
Şekil 4.6 : TNIDA kullanıcı arayüzü	35
Şekil 4.7 : DENFIS kullanıcı arayüzü	36
Şekil 5.1 : Bulanık model oluşturma işlemi akış diyagramı	40
Şekil 5.2 : BPBÇ algoritması akış diyagramı	42
Şekil 5.3 : 4. iterasyondan sonra arama uzayında bireylerin yerleşimi	44
Şekil 5.4 : 500. iterasyondan sonra arama uzayında bireylerin yerleşimi	44
Şekil 5.5 : BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı arayüz ekran görüntüsü	46
Şekil 5.6 : FIS oluşturma ekranı görüntüsü	49
Şekil 5.7 : BPBÇ parametreleri ekran görüntüsü	50
Şekil 5.8 : Bulanık modelleme yazılımı veri formatı	51
Şekil 5.9 : Bulanık modelleme işlemi akış diyagramı	52
Şekil 5.10 : Üçgen ve gauss tipli giriş ÜF'leri için ilk değerler	54
Şekil 5.11 : Çıkış ÜF parametrelerini hesaplama algoritması	56
Şekil 5.12 : Giriş ÜF parametreleri optimizasyon algoritması	59

Şekil 5.13 : Giriş ÜF sayısı üç olduğunda optimize edilecek olan parametre (üçgen tipi ÜF).....	60
Şekil 5.14 : Giriş ÜF sayısı beş olduğunda optimize edilecek olan parametreler (üçgen tipi ÜF).....	60
Şekil 5.15 : Giriş ÜF sayısı dört olduğunda optimize edilecek olan parametreler (gauss tipi ÜF).....	61
Şekil 5.16 : Döküm dosyası içeriğinin formatı	67
Şekil 6.1 : Statik fonksiyon çıkış verisi	70
Şekil 6.2 : Statik fonksiyon için bulanık model yapısı	71
Şekil 6.3 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği.....	71
Şekil 6.4 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği.....	72
Şekil 6.5 : Statik fonksiyon için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği.....	73
Şekil 6.6 : Statik fonksiyon için ANFIS'te öğrenme grafiği	74
Şekil 6.7 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistemin çıkış verisi.....	75
Şekil 6.8 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için bulanık model yapısı.....	76
Şekil 6.9 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği.....	76
Şekil 6.10 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği	77
Şekil 6.11 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği.....	80
Şekil 6.12 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te öğrenme grafiği	80
Şekil 6.13 : Doğrusal olmayan küresel tank sisteminin şeması	84
Şekil 6.14 : Doğrusal olmayan küresel tank sisteminin çıkış verisi	84
Şekil 6.15 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için bulanık model yapısı	85
Şekil 6.16 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği	86
Şekil 6.17 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği	86
Şekil 6.18 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği.....	89
Şekil 6.19 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te öğrenme grafiği	89
Şekil 6.20 : PT326 sisteminin çıkış verisi.....	92
Şekil 6.21 : PT326 sistemi için bulanık model yapısı.....	92
Şekil 6.22 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği	93
Şekil 6.23 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği.....	93
Şekil 6.24 : PT326 sistemi için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği	95
Şekil 6.25 : PT326 sistemi için ANFIS'te öğrenme grafiği.....	95

BÜYÜK PATLAMA BÜYÜK ÇÖKÜŞ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI BULANIK MODELLEME YÖNTEMİ VE YAZILIMI

ÖZET

Genel anlamda modelleme, sistemlerin davranışını anlayıp bu davranışı matematiksel olarak ifade etmek anlamına gelmektedir. Modeller, sistem davranışlarının analizinde, benzetiminde ve kontrolünde kullanılabilmektedirler. Gerçek hayatta kullanılan çoğu sistemin doğrusal olmayışı ve bu sistemlerin içyapılarının karmaşık oluşu, sistemlerin matematiksel modellerinin çıkarılmasını zorlaştırmakta ve hatta çoğu zaman imkânsız hale getirmektedir. Matematiksel modellemedeki zorluklar bulanık modelleme kavramının doğmasına sebep olmuştur. Bulanık modelleme, gerçek sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini kullanarak sistemin bulanık modelinin oluşturulması işlemi olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmanın amacı, herhangi bir sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini kullanarak sistemin bulanık model parametrelerini belirleyip bu parametreleri iyileştiren, grafiksel arayüzü olan ve MATLAB üzerinde çalışan bir yazılımın tasarlanmasıdır. Tasarlanan yazılım vasıtası ile en iyi (optimum) bulanık modelin oluşturulmasında, bulanık modelin giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin Büyük Patlama Büyük Çöküş optimizasyon algoritması ile iyileştirilmesi, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin ise yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile hesaplanması hedef alınmıştır.

Yazılımın tasarımı için ön çalışma olarak akademik dünyada kullanılan bulanık modelleme yazılımları incelenmiş ve tasarlanacak olan yazılım konusunda konunun uzmanı kişilerden fikirler alınmıştır. Bu bilgiler ışığında yazılım, MATLAB ortamında tasarlanmış ve birçok kez test edilmiştir. Yazılımın güvenilirliğinden emin olunduktan sonra biri statik olmak üzere dört farklı sistemden toplanan giriş – çıkış verileri ile sistemlerin bulanık modelleri tasarlanan yazılım kullanılarak oluşturulmuş ve ardından en popüler bulanık modelleme yazılımı olan ANFIS ile başarımları karşılaştırılmıştır.

BIG BANG BIG CRUNCH OPTIMIZATION ALGORITHM BASED FUZZY MODELING METHOD AND SOFTWARE

SUMMARY

In general, modeling means to understand the behaviours of systems and then develop mathematical expressions of these behaviours. Models can be used to analyze, simulate and control systems. Most of the systems that are used in real life are not linear and internal structures of these systems are very complex so it is hard or sometimes impossible to design mathematical models of these systems. Difficulties in mathematical modeling have given rise to fuzzy modeling. Fuzzy modeling is to develop a fuzzy model by using input – output data that are collected from real system.

The purpose of this study is to design a software that determines and optimizes fuzzy model parameters of a system with the input – output data that are collected from the system. Software has to run on MATLAB and have a graphical user interface. In addition, while generating the optimum fuzzy model of the system, the input membership function parameters are intended to be optimized by Big Bang Big Crunch optimization method and the output membership function parameters are intended to be calculated by recursive least squares method.

For preliminary study, fuzzy modeling softwares are analyzed and ideas (about the software that has to be designed) are collected from the experts of fuzzy modeling. Software is designed on MATLAB environment and tested many times. After the tests, fuzzy models of the systems are developed from the input – output data of four different systems (one is a static system) and then the performance of the software is compared with ANFIS, the most popular fuzzy modeling tool.

1. GİRİŞ

Akademik dünyada bulanık modelleme konusunda, bulanık model yapısının oluşturulması, bulanık model parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametrelerin iyileştirilmesi önemli bir problemdir. Biraz daha derine inildiğinde, sistemlerden veri toplamak amacıyla sistem girişine uygulanacak olan işaretin frekansı, genliği, süresi ve sistemden veri toplanırken kullanılacak olan örnekleme periyodunun değerinin belirlenmesi için bile tam olarak tanımlanmış bir yöntem yoktur. Dahası, sistemden giriş – çıkış verisinin bir şekilde toplandığı varsayılırsa, sistemin bulanık modelinin oluşturulması amacıyla bulanık modelleme algoritmasına girecek olan giriş verisinin (giriş vektörlerinin) tam olarak ne olması gerektiği de muallâktır. Açıklamak gerekirse, sistem çoğu zaman sadece giriş ve çıkış verilerini kullanarak modellenemeyebilir. Bulanık modelleme algoritmasının girişine, giriş ve çıkışların verilerinin geçmiş zamanlardaki değerlerinin de girilmesi gerekebilir. Bütün bunlar bir kenara bırakıldığında yani kısaca değinilen bu problemler tez çalışmasında kapsam dışı tutulduğunda, gerçek sistemden toplanan giriş – çıkış verileri ve sistemin bulanık yapısı elde iken bulanık model parametrelerini belirleyip, iyileştiren, grafiksel bir arayüze sahip olan ve MATLAB ortamında çalışabilen bir yazılımın tasarımı muhakkak ki faydalı olacaktır çünkü bu işlemlere sahip olan yazılımlar şu an itibari ile bir elin parmaklarından fazla değildir.

Tez kapsamında tasarlanan bulanık modelleme yazılımının başlangıç aşamasında, yazılımın kullanımının hem akademik dünyada var olan yazılımlara benzemesi hem de bazı performans artırıcı yöntemler ile onlardan bir adım öne geçmesi hedeflenmiştir. Bu sebeple bulanık modelin giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin iyileştirilmesi işinde Büyük Patlama Büyük Çöküş optimizasyon yöntemi gibi kullanımı kolay, hızlı çalışan ve global ekstremuma yakınsaması garanti edilen bir optimizasyon yönteminin kullanılması planlanmıştır. Bu sayede, tasarlanan bu yazılımın akademik dünyada kullanılabilmesi için bir sebep yaratılmıştır. Bu bilgiler ışığında, MATLAB üzerinde çalışan, kullanıcı grafik arayüzüne sahip, gerçek sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini kullanarak sistemin bulanık model

parametrelerini belirleyen, giriş üyelik fonksiyonu parametrelerini Büyük Patlama Büyük Çöküş optimizasyon algoritması ile iyileştiren, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerini ise yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile hesaplayan bir yazılım tasarlanmıştır; tasarlanan yazılım ANFIS yazılımı ile karşılaştırılıp başarımları analiz edilmiştir.

Tezde, giriş bölümünde genel tez kapsamında yapılan işin gerekliliği ve akademik dünyada kullanılabilirliği tartışılmıştır. İkinci bölümde bulanık mantık konusundan bahsedilmiş ve konu hakkında temel bilgiler verilmiştir. Bir sonraki bölümde bulanık sistem kavramı tanıtılmış ve bulanık sistemler hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde tez çalışmasının başlangıç noktasını oluşturan bulanık modelleme konusuna değinilmiş, bulanık modelleme türleri verilmiş ve beşinci bölümde tasarımı ve işlevleri anlatılan yazılıma örnek teşkil etmesi açısından akademik dünyada kullanılan bulanık modelleme yazılımları tanıtılmıştır. Beşinci bölümde, önceden belirlenen hedef doğrultusunda tasarlanan yazılım tanıtılmış, tüm işlevleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Altıncı bölümde, beşinci bölümde tasarlanan yazılım ile MATLAB üzerinde çalışan ve akademik dünyada çok popüler olan ANFIS yazılımının dört farklı sistemden toplanan giriş – çıkış verileri kullanılarak bulanık model oluşturma performansları karşılaştırılmıştır. Yedinci yani son bölümde ise beşinci ve altıncı bölümde yapılan işlerin değerlendirilmesi yapılmış, ileriki çalışmalar için hedefler belirtilmiştir.

2. BULANIK MANTIK

2.1 Giriş

Literatürde, bulanık mantık kuramı üzerine farklı yaklaşımlar ile karşılaşılmaktadır. İnsanın sahip olduğu bilgi -ki bu bilgiyi, yaşadığı dünyayı tecrübe ederek ve bir yığın halinde bulunan verilerden düzen yaratıp nedensellik oluşturarak edinir (insan bilgisini sistematik bir şekilde formüle etmek)- artan bir şekilde önem kazanmaktadır. İnsanın yetenekleri dünyayı algılamakta ve derin muhakeme etmekte sınırlı kaldığından, kendisini eksik bilgiden kaynaklanan –genellikle de ölçmedeki belirsizlikler nedeniyle- bir *belirsizlik* ile karşı karşıya bulur. Diğer bir kısıtlayıcı faktör de bilgiyi, iletişimi... vb tanımlama ve paylaşmada kullanılan doğal dildir. İnsan, dünyanın temel anlamını kavrayabilir ve kabul edilebilir bir doğruluk payı ile iletişim kurabilir; fakat genelde tam olarak tek bir kelime ya da genel anlam üzerinde anlaşılamaz. Kısacası, doğal diller muğlâktır [1].

İnsanın gerçek dünyayı algısında *çok, uzun, daha büyük, genç*, vs. gibi sınırları keskin tanımlı olmayan belirteçler kullanılmaktadır. Bu belirteçler belli bir oranda doğru ve belli bir oranda yanlıştır. Bu yaklaşım bulanık mantık olarak adlandırılmaktadır.

Bulanık mantık kavramı ilk defa 1965 yılında matematikçi, elektrik mühendisi ve bilgisayar bilimcisi olan Prof. Lotfi A. Zadeh'in konu hakkındaki makalelerini yayınlaması ile duyuldu. Zadeh, Aristo mantığına alternatif olarak önerdiği bu yeni yaklaşımda bulanık kümeleri temel aldı. Klasik kümelerde bir varlık ilgili kümenin ya elemanıdır ya da değildir yani varlık matematiksel olarak üyelik ilişkisi bakımından ya o kümeye aittir (1) ya da o kümeye ait değildir (0). Zadeh'in ortaya attığı bulanık kümelerde ise bir varlık kümeye matematiksel olarak üyelik ilişkisi bakımından $[0,1]$ aralığındaki bir değer kadar aittir.

Bulanık mantıkta, bilgisayar mantığında kullanılan ve sınırları keskin bir çizgi ile ayrılmış var - yok, siyah - beyaz, 1 - 0, doğru - yanlış, sıcak - soğuk kavramları yerine insan düşünce sisteminde kullanılan ve sınırları yumuşak geçişlerle

tanımlanmış “ılık”, “nemli”, “orta”, “biraz” gibi kesin olmayan ve bir miktar belirsizlik ifade eden kavramlar kullanılır. Örnek olarak bir otoyolda araçlar için tehlikeli olarak tanımlanan hız sınırı 120 km/s olsun. Klasik mantık kullanılarak verilecek olan bir kararda bu yolda 119,5 km/s hızla giden araç tehlikesiz olarak tanımlanmaktadır. Bulanık mantık kullanılarak bir karar verilecek olsa bu aracın tehlikeli hızda giden bir araç olduğu ortaya çıkacak idi. Bulanık mantık, yukarıdaki örnekte olduğu gibi, karar mekanizmasına esneklik getirir. Böylelikle, makine ve bilgisayarlara insaninkine yakın bir karar verme mekanizması kazandırır. Bu mekanizma tamamen matematiksel temellere dayanır ve çok değerli mantığın, olasılık teorisinin, yapay zekânın ve sinir ağlarının birleşimi ile oluşur.

2.2 Bulanık Mantık Uygulamaları

1970’li yılların başında Avrupa’da ilk endüstriyel bulanık mantık uygulamaları görülmeye başlandı. Londra’da Queen Mary College’da profesör olan Ebrahim Mamdani geleneksel teknikler ile kontrol edemediği buhar jeneratörünü bulanık mantık kullanarak kontrol etti. Almanya Aachen’daki RWTH Üniversitesi’den Hans Zimmermann yine bulanık mantık kullanarak tasarladığı karar destek sistemlerini sanayi dünyasına tanıttı. Danimarka Kopenhag’da F. L. Smith tarafından uygulanan çimento fabrikası değirmen sıcaklık ve oksijen kontrolü de ilk bulanık mantık uygulamalarından biri olarak sayılır [2].

Japonya’nın Sendai şehrindeki Nanboku Hattı’nda Hitachi firması tarafından 1987 yılında uygulanan bulanık mantık tabanlı sistemde trenin kalkışında ve durmasında oluşan sarsıntı yüksek bir oranda azaltılarak harcanan enerji insan kontrollü sisteme göre %10 oranında düşürülmüştür [3]. Yine Japonya’da Yamaichi Securities şirketi bulanık mantık kullanarak ürettiği uzman karar verme sistemi ile yıllık yaklaşık 350 milyon \$’lık bir pazarı yönetebilmektedir [4].

Bulanık mantık sadece endüstride değil aynı zamanda akademik dünyada da sıklıkla kullanılmaktadır. Kontrol, sistem tanıma, sistem modelleme, sınıflama, kümeleme, uzman sistemler, yapay zekâ, makine öğrenimi ve sinyal işleme akademik dünyada bulanık mantığın kullanıldığı çalışma alanlarından sadece birkaçıdır.

2.3 Bulanık Kümeler

2.3.1 Tanım

Klasik kümelerde bir x elemanının A kümesine aitliği veya üyeliği (X_A) kesinlik taşır. İfade (2.1)'den de anlaşılacağı gibi eleman ya kümeye aittir (üyelik fonksiyonu değeri 1'dir), ya da ait değildir (üyelik fonksiyonu değeri 0'dır).

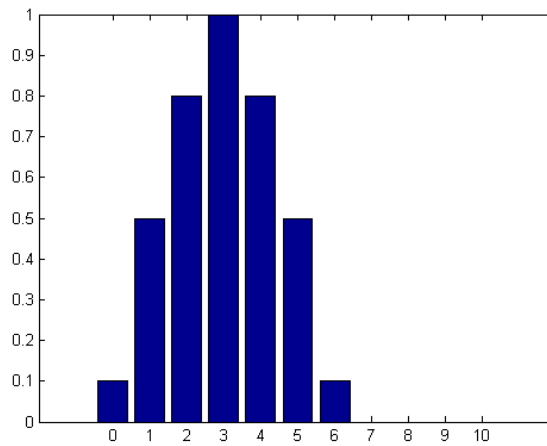
$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x \in A \\ 0, & \text{eğer } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

U evrensel kümesi altında A bulanık kümesi ifade (2.2)'deki gibi tanımlanır.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in A, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (2.2)$$

Burada $\mu_A(x)$ ifadesine üyelik fonksiyonu adı verilir. $\mu_A(x)$, A bulanık kümesindeki keskin (crisp) değerli her x elemanına karşılık düşen üyelik derecesini ifade eder. Üyelik fonksiyonu her zaman $[0,1]$ aralığında tanımlanır. $\mu_A(x)$ değeri 1'e ne kadar yakın olursa x elemanı A bulanık kümesine o kadar aittir.

Örnek olarak, 3 sayısına yakın olan sayıların *yazara göre* oluşturduğu bulanık A kümesi ele alınırsa 0'dan 8'e kadar olan x değerlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2.1'deki gibi gözükmemektedir [5].



Şekil 2.1 : 3'e yakın sayılar bulanık kümesinin üyelik fonksiyonları

İfade (2.2)'deki bulanık küme tanımından yola çıkılarak yukarıdaki örnekteki A bulanık kümesi, ifade (2.3)'deki gibi tanımlanabilir.

$$A = \{(0, 0.1), (1, 0.5), (2, 0.8), (3, 1), (4, 0.8), (5, 0.5), (6, 0.1), (7, 0)\} \quad (2.3)$$

2.3.2 Bulanık kümelerde temel kavramlar

Bulanık kümelerin tanımlanabilmeleri için aşağıdaki kavramlara ihtiyaç vardır.

- Göbek (Core): İfade (2.4)'ten de anlaşılacağı gibi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu değeri 1 olan bütün x elemanlarının oluşturduğu kümedir.

$$core(A) = \{x | \mu_A(x) = 1\} \quad (2.4)$$

- Sınır (Boundary): Bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu değeri $0 < \mu_A(x) < 1$ olan bütün x elemanlarının oluşturduğu kümedir.
- Dayanak (Support): İfade (2.5)'ten de anlaşılacağı gibi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu değeri $\mu_A(x) > 0$ olan bütün x elemanlarının oluşturduğu kümedir.

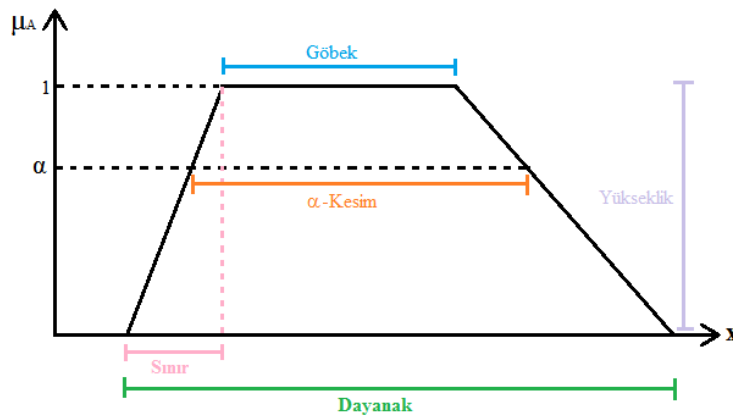
$$supp(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\} \quad (2.5)$$

- Yükseklik (Height): İfade (2.6)'dan da anlaşılacağı gibi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun en yüksek değeri o bulanık kümenin yüksekliğidir.

$$hgt(A) = \sup_{x \in A} \mu_A(x) \quad (2.6)$$

- α -kesimi (α -cut): Bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun α 'ya eşit veya büyük olan bütün x elemanlarının oluşturduğu kümedir.

Şekil 2.2'de trapezoidal bir üyelik fonksiyonu için bulanık kümelerdeki temel kavramlar gösterilmiştir.

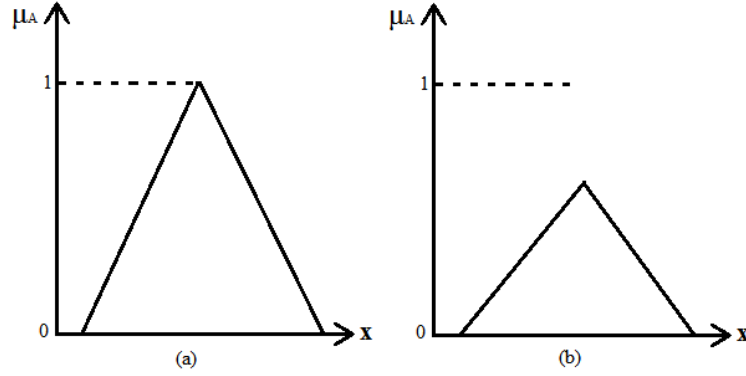


Şekil 2.2 : Bulanık kümelerde temel kavramlar

2.3.3 Bulanık kümelerin sınıflandırılması

Bulanık kümeler üyelik fonksiyonlarına göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırma tanımları aşağıdakiler gibidir.

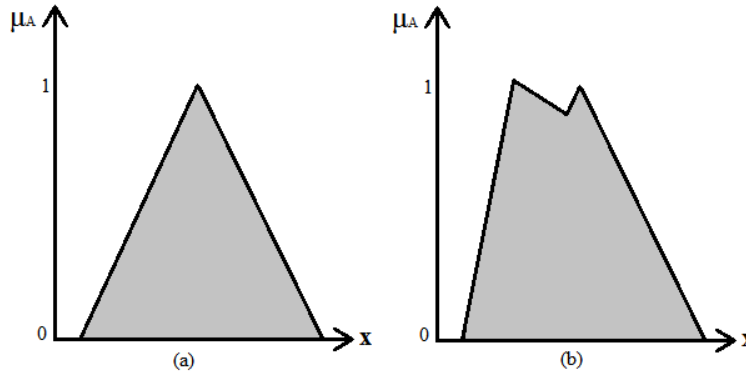
- Normal (Olağan) Bulanık Küme: En az bir elemanın üyelik fonksiyonu değeri 1 olan bulanık kümedir. Şekil 2.3 (a)'da gösterilen bulanık küme normal bulanık kümedir.
- Olağanaltı Bulanık Küme: Yüksekliği 1'den küçük olan bulanık kümedir. Şekil 2.3 (b)'de gösterilen bulanık küme olağanaltı bulanık kümedir.



Şekil 2.3 : Olağan ve olağanaltı bulanık küme

- Konveks ve Konveks Olmayan Bulanık Küme: Eğer $[0,1]$ aralığında herhangi bir λ sayısı için ifade (2.7) doğru ise, A bulanık kümesi konvektir, değilse konveks değildir. Şekil 2.4'te konveks ve konveks olmayan bulanık kümeler (a) ve (b) durumlarında sırayla gösterilmektedir.

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min[\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)] \quad (2.7)$$



Şekil 2.4 : Konveks ve konveks olmayan bulanık küme

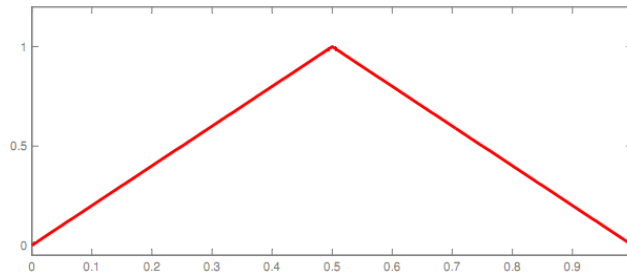
2.3.4 Üyelik fonksiyonları

Önceki bölümlerde de üzerinde durulduğu gibi bulanık kümelerde esas olan kesinlik içermeyen bir yapıya sahip olmalarıdır. Bir elemanın bulanık bir kümeye üyeliği belirsizlikler içerebilir ve bu da o elemanın kümeye olan bağlılık derecesi ile ilgilidir. Örneğin, bir kişinin “uzun insanlar” bulanık kümesine olan üyeliği, o insanın bulanık küme tarafından tanımlanan uzun olmanın koşullarını ne kadar taşıdığına bağlıdır [5].

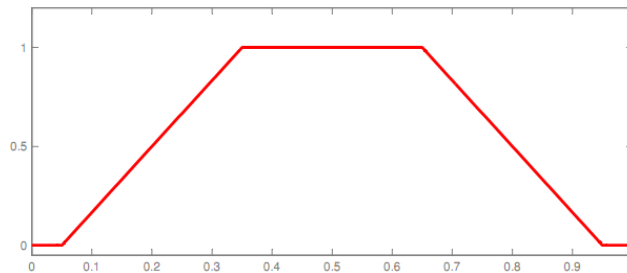
Her bulanık küme özel bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Bu kümeleri tanımlayan üyelik fonksiyonu tipinin belirlenmesi konusu bulanık küme teorisinde çok önemli bir yer teşkil etmektedir.

Üyelik fonksiyonu tipinin belirlenmesinde iki önemli yaklaşım vardır. Birinci yaklaşım insan tecrübesinin formüle edilmesidir. Bu yaklaşımla üyelik fonksiyonu için genel bir formül çıkarılabilmekte ancak sonraki aşamada bu fonksiyonun bir şekilde iyileştirilmesi gerekmektedir. İkinci yaklaşım da sistemden algılayıcılarla bilgiler toplanıp üyelik fonksiyonunun oluşturulmasıdır. Bu yaklaşımda da öncelikle üyelik fonksiyonu tipi belirlenir ve sonrasında da toplanan bilgiler kullanılarak seçilen üyelik fonksiyonu iyileştirilir.

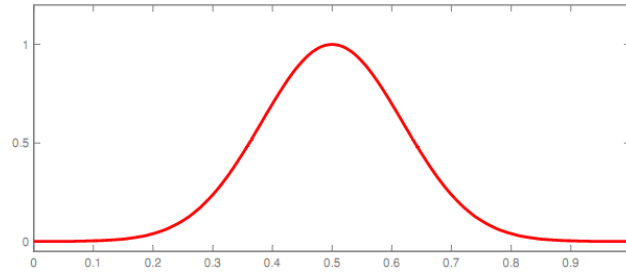
Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de en sık kullanılan üyelik fonksiyonu tipleri gösterilmektedir.



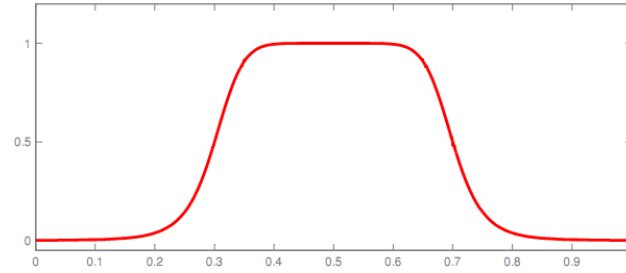
Şekil 2.5 : Üçgen tipi üyelik fonksiyonu



Şekil 2.6 : Trapezoid tipi üyelik fonksiyonu



Şekil 2.7 : Gauss tipi üyelik fonksiyonu



Şekil 2.8 : Gauss bell tipi üyelik fonksiyonu

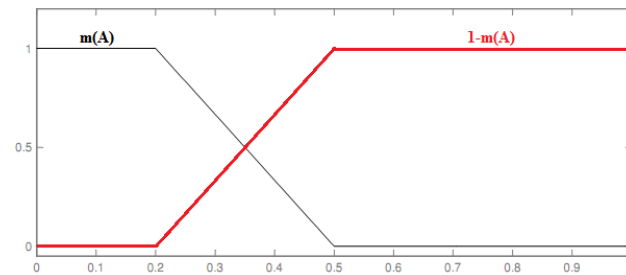
2.3.5 Bulanık kümelerde işlemler

U evrensel kümesi altındaki bulanık A kümesi için tümleme, kesişim ve birleşim işlemleri aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanmıştır.

2.3.5.1 Tümleme işlemi

Tümleyen A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu olan $\mu_{\bar{A}}(x)$ ifade (2.8)'teki gibi tanımlanır.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U \quad (2.8)$$

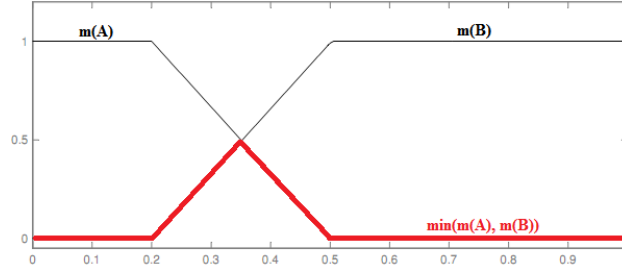


Şekil 2.9 : Bulanık A ve tümleyen A kümeleri

2.3.5.2 Kesişim işlemi

Bulanık A ve B kümelerinin kesişim üyelik fonksiyonu olan $\mu_{A \cap B}(x)$ ifade (2.9)'teki gibi tanımlanır.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.9)$$

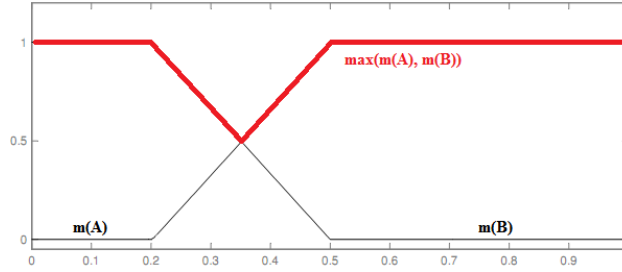


Şekil 2.10 : Bulanık A ve B kümelerinin kesişim işlemi

2.3.5.3 Birleşim işlemi

Bulanık A ve B kümelerinin birleşim üyelik fonksiyonu olan $\mu_{A \cup B}(x)$ ifade (2.10)'teki gibi tanımlanır.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.10)$$



Şekil 2.11 : Bulanık A ve B kümelerinin birleşim işlemi

2.3.5.4 t-normları ve s-normları

Bulanık kümelerde birleşim ve kesişim işlemlerini modelleyen $\min$ ve $\max$ operatörlerinin yanında bu işlemlerin yerine geçen birçok operatör vardır. Bulanık mantık teorisinde kesişim operatörleri t-normları, birleşim operatörleri de s-normları diye adlandırılır. Çizelge 2.1'de en sık kullanılan t-normları ve s-normları gösterilmektedir [6].

Çizelge 2.1 : t-normları ve s-normları

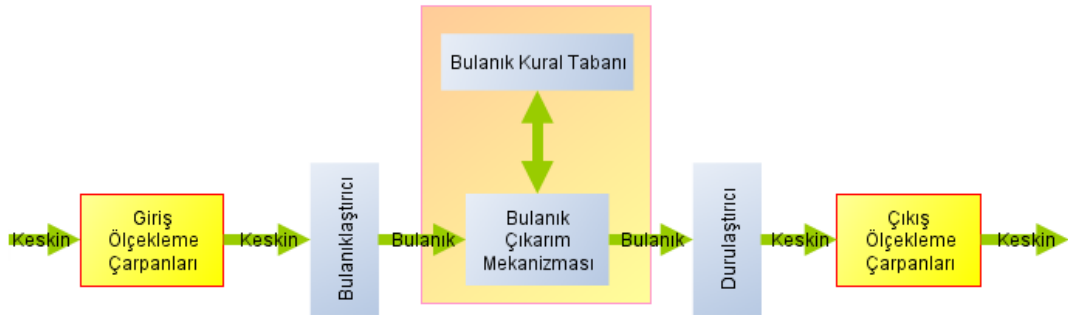
‘VE’ t-normu	‘VEYA’ s-normu
Minimum $\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	Maksimum $\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$
Cebirsel çarpım $\mu_A(x)\mu_B(x)$	Cebirsel toplam $\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
Drastik çarpım Eğer $\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = 1$ ise $\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$, değilse 0	Drastik toplam Eğer $\min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = 0$ ise $\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$, değilse 1
Lukasiewicz ‘VE’ (Sınırlı fark) $\max(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$	Lukasiewicz ‘VEYA’ (Sınırlı toplam) $\max(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$
Einstein çarpımı $\mu_A(x)\mu_B(x)/(2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)))$	Einstein toplamı $(\mu_A(x) + \mu_B(x))/(1 + \mu_A(x) + \mu_B(x))$
Hamacher çarpımı $\mu_A(x)\mu_B(x)/(\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x))$	Hamacher toplamı $(\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x)\mu_B(x))/(1 - \mu_A(x)\mu_B(x))$
Yager operatörü $1 - \min\left(1, \left((1 - \mu_A(x))^b + (1 - \mu_B(x))^b\right)^{1/b}\right)$	Yager operatörü $\min(1, (\mu_A(x)^b + \mu_B(x)^b)^{1/b})$

3. BULANIK SİSTEMLER

3.1 Giriş

Bulanık sistemlerin büyük bir kısmı *eğer – o halde* kuralları aracılığı ile tanımlanır. Bu tür sistemler *kural tabanlı bulanık sistemler* olarak adlandırılır.

En genel anlamıyla bulanık sistemin ana ögeleri bulandırıcı, bulanık kural tabanı, çıkarım mekanizması ve durulayıcıdır. Bu öğelere giriş ve çıkışta ölçekleme çarpanları da eklenerek bulanık sistem tamamlanmış olur. Sistemin girişine uygulanan işaret veya bulanık kümeye girecek olan eleman öncelikle giriş ölçekleme çarpanı adı verilen bir katsayı ile çarpılarak bulanık sistem için anlamlı bir hale getirilir. Bulandırıcı birim sisteme giren keskin işareti üyelik fonksiyonlarını kullanarak bulanık değerlere çevirir. Sonrasında kural tabanında belirtilen kurallar ve çıkarım mekanizmasında tanımlanan operatörler kullanılarak bulanık sistem için çıkış değeri hazırlanır. Çıkış değeri bulanık bir değer olduğundan burada durulayıcı ögesi devreye girer ve bulanık değeri keskin değere çevirir. Son olarak sistemin çıkışında oluşan değer çıkış ölçekleme çarpanı ile çarpılarak dış dünya için veya çıkışta bulunan birim için uygun hale getirilir. Şekil 3.1’de bulanık bir sistemin iç yapısı gösterilmiştir.

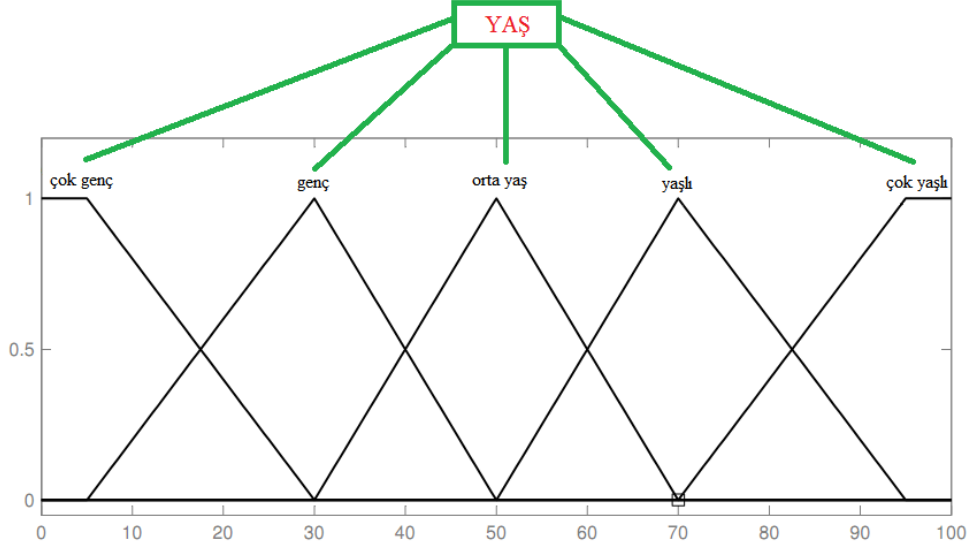


Şekil 3.1 : Bulanık sistemin iç yapısı

3.2 Dilsel Değişkenler

Doğal ve yapay dillerde değerleri kelimeler ve cümleler olan değişkenlere dilsel değişkenler denir. Dilsel değişken kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için “yaş”

değişkeni ele alınsın. “Yaş” kavramı, bireylerin muazzam sayıdaki deneyimlerinin bir çıkarımıdır ve hiçbir zaman tam olarak tanımlanamamıştır fakat bulanık kümeler kullanılarak “yaş” kavramı yaklaşık olarak tanımlanabilir. “Yaş”, değerleri “çok genç”, “genç”, “orta yaş”, “yaşlı” ve “çok yaşlı” olan dilsel bir değişkendir. Bu değerler “yaş” dilsel değişkeninin terimleridir, yıllar ile ifade edilen çalışma uzayında tanımlanıp bulanık kümelerle ifade edilir. Şekil 3.2’de görüleceği gibi, her bir terim kendisine uygun yaklaşık bir üyelik fonksiyonuyla ifade edilmektedir.



Şekil 3.2 : “Yaş” dilsel değişkeninin terimleri

İfade (3.1), ifade (3.2), ifade (3.3), ifade (3.4) ve ifade (3.5)’te yukarıdaki terimlerin üyelik fonksiyonları görülmektedir.

$$\mu_{\text{çokgenç}} = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 5 \\ \frac{30-x}{25}, & 5 \leq x < 30 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu_{\text{genç}} = \begin{cases} \frac{x-5}{25}, & 5 \leq x < 30 \\ \frac{50-x}{20}, & 30 \leq x < 50 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\mu_{\text{ortayaş}} = \begin{cases} \frac{x-30}{20}, & 30 \leq x < 50 \\ \frac{70-x}{20}, & 50 \leq x < 70 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\mu_{yaşlı} = \begin{cases} \frac{x-50}{20}, & 50 \leq x < 70 \\ \frac{95-x}{25}, & 70 \leq x < 95 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\mu_{çokyaşlı} = \begin{cases} \frac{x-70}{25}, & 70 \leq x < 95 \\ 1, & 95 \leq x < 100 \end{cases} \quad (3.5)$$

3.3 Dilsel Niteleyiciler

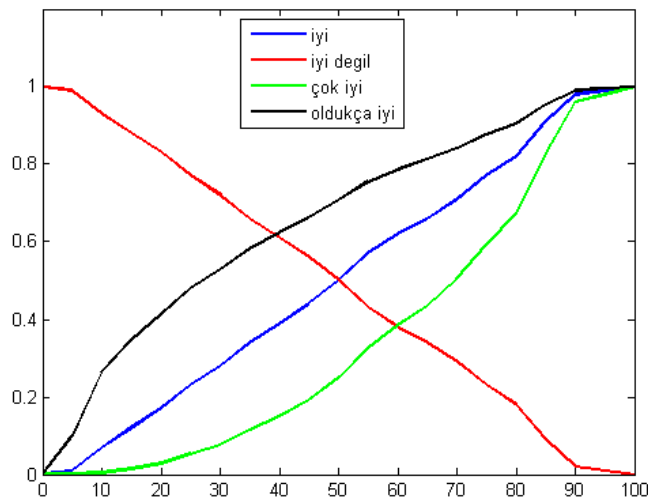
U evrensel kümesi altındaki bulanık A kümesi için üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ve dilsel niteleyici m olsun. Bu durumda mA ifadesi nitelenmiş bir bulanık kümeyi, $\mu_{mA}(x)$ ifadesi de nitelenmiş bulanık kümenin üyelik fonksiyonunu gösterir. İfade (3.6), ifade (3.7) ve ifade (3.8)'de sıklıkla kullanılan niteleyiciler gösterilmektedir.

$$değil: \mu_{değilA}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.6)$$

$$çok: \mu_{çokA}(x) = [\mu_A(x)]^2 \quad (3.7)$$

$$oldukça: \mu_{oldukçaA}(x) = [\mu_A(x)]^{1/2} \quad (3.8)$$

Şekil 3.3'te bazı dilsel niteleyicilerin “iyi” dilsel değişkeninin üyelik fonksiyonları üzerindeki etkileri gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : “İyi” dilsel değişkeninin niteleyicileri

3.4 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, keskin değerleri, değişik şekillerdeki (üçgen, trapezoid, gauss bell, ... vs) giriş üyelik fonksiyonları kullanarak bulanık değerlere çevirme işlemidir ve bulanıklaştırma işlemi bulanıklaştırıcı tarafından yapılır. Bulanık kümeler, bulanık sistemin kural tabanı için giriş bilgisi oluşturduğundan ve çıkarım mekanizmasının da bulanık kümeler üzerinde işlem yapmasından ötürü bulanık sisteme gelen keskin bilginin bulanıklaştırıcı tarafından bulanıklaştırılması gerekmektedir.

3.5 Kural Tabanı

Kural tabanı bulanık sistemlerdeki *eğer – o halde* kuralları tarafından oluşur. Kural tabanında bulunan kurallar da sistemin giriş ve çıkışı arasındaki ilişkiyi sağlarlar. x_1 ve x_2 girişli y çıkışlı bir bulanık sistem için ifade (3.9)'da örnek bir kural gösterilmektedir.

$$\text{Eğer } x_1 = A_1 \text{ ve } x_2 = A_2 \text{ ise o halde } y = B \quad (3.9)$$

İfade (3.9)'da x_1 ve x_2 terimleri skaler girişleri A_1 ve A_2 terimleri bulanık kümeler ile ifade edilen giriş dilsel değişkenlerini, B 'de yine bulanık kümeler ile ifade edilen çıkış dilsel değişkenini ifade etmektedir.

3.6 Çıkarım Mekanizması

Çıkarım mekanizması bulanık sistemin en önemli ögesidir ve iki önemli görevi vardır. Çıkarım mekanizması ilk olarak girişlere bakarak kural tablosundaki her bir kuralın ne kadar ateşlendiğini bulur ve sonrasında da girişleri, ateşleme açılarını ve kural tabanını kullanarak çıkışları hesaplar.

Çıkarım mekanizması çeşitleri kural tabanında bulunan kurallardaki çıkış yapısına bağlı olarak en genel haliyle Mamdani [7], Singleton ve Takagi – Sugeno [8] olarak ayrılırlar.

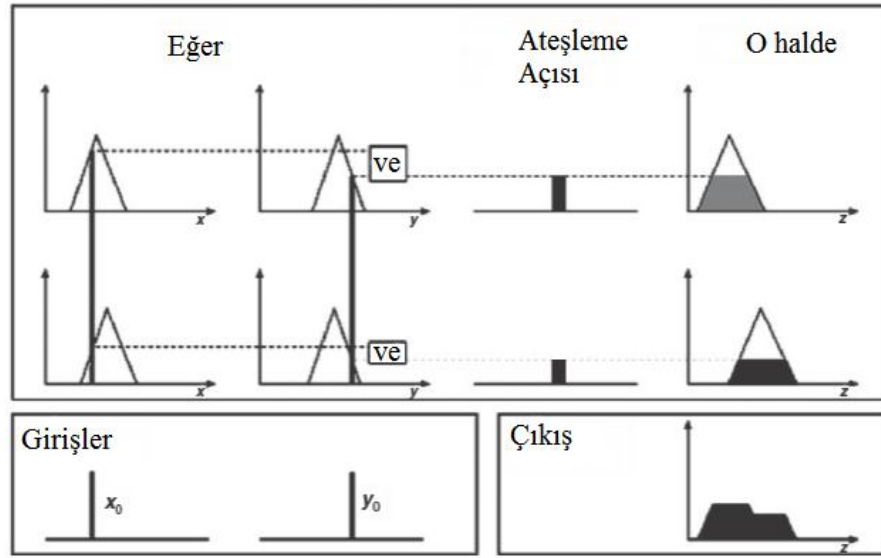
3.6.1 Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizması

Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından bulunmuştur [9]. Bu çıkarım mekanizmasında, kural tabanında bulunan kurallardaki giriş ve çıkışlar dilsel değişkenler ile ifade (3.10)'daki gibi tanımlanır.

$$K_i: \text{Eğer } x = A_i \text{ ise o halde } y = B_i \quad (3.10)$$

İfade (3.10)'da, x skaler girişi, A_i 'ler giriş B_i 'ler de çıkış dilsel değişkenlerini ifade etmektedir.

Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizmasında, çıkış üyelik fonksiyonları bulanık kümelerden oluşmaktadır. Çıkarım mekanizmasında ve operasyonu çalıştıktan sonra her bir kural için durulaştırma gerektiren bulanık kümeler oluşur. Şekil 3.4'teki sistemde iki girişli ve iki kurallı Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizması gösterilmektedir.



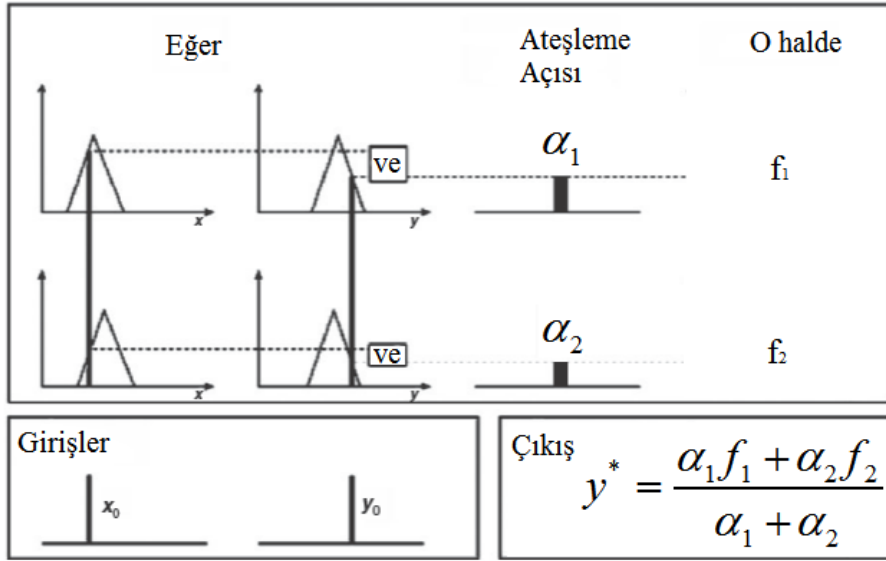
Şekil 3.4 : İki girişli iki kurallı Mamdani tipi yapı için çıkarım mekanizması

3.6.2 Takagi - Sugeno tipi yapı için çıkarım mekanizması

Takagi - Sugeno tipi yapı için çıkarım mekanizması 1985 yılında Takagi ve Sugeno tarafından bulunmuştur. Takagi ve Sugeno, kural tabanında bulunan kurallardaki girişleri dilsel değişkenler, çıkışları ise keskin fonksiyonlar ile ifade (3.11)'deki gibi tanımlamıştır.

$$K_i: \text{Eğer } x = A_i \text{ ise o halde } y = f_i(x) \quad (3.11)$$

Şekil 3.5'teki sistemde iki girişli ve iki kurallı Takagi - Sugeno tipi yapı için çıkarım mekanizması gösterilmektedir.



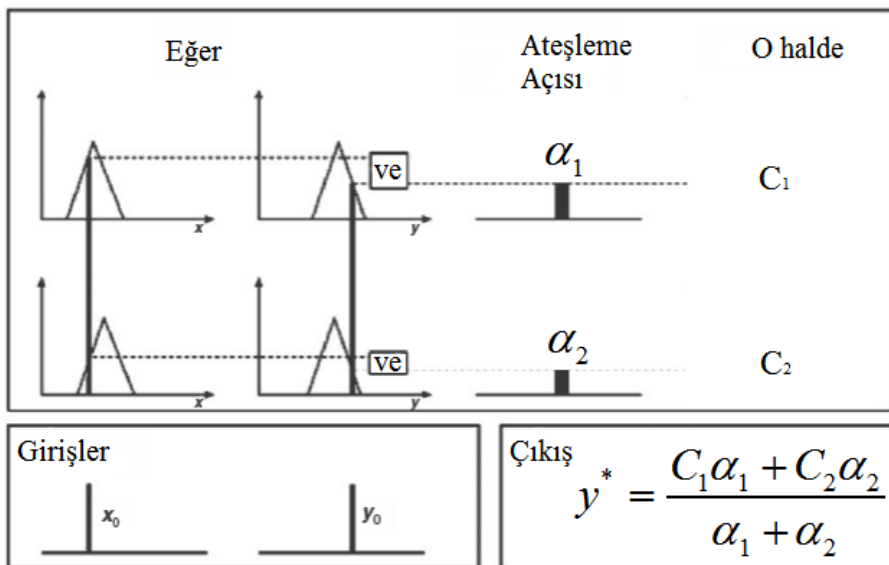
Şekil 3.5 : İki giriş iki kural Takagi - Sugeno tipi yapı için çıkarım mekanizması

3.6.3 Tekli (Singleton) tip yapı için çıkarım mekanizması

Tekli tip yapı için çıkarım mekanizması Mamdani ve Takagi – Sugeno tip yapılar için çıkarım mekanizmalarının özel bir halidir. Bu çıkarım mekanizmasında, kural tabanında bulunan kurallardaki girişler dilsel değişkenler, çıkışlar ise sabit keskin değerler ile ifade (3.12)’deki gibi tanımlanır.

$$K_i: \text{Eğer } x = A_i \text{ ise o halde } y = b_i \quad (3.12)$$

Şekil 3.6’daki sistemde iki girişli ve iki kurallı tekli tip yapı için çıkarım mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : İki giriş iki kural tekli tip yapı için çıkarım mekanizması

3.6.4 Mamdani ve Takagi – Sugeno yöntemlerinin üstünlükleri

Aşağıdaki iki listede Mamdani ve Takagi – Sugeno yöntemlerinin avantajları gösterilmektedir [1].

Mamdani Yöntemi

- Sezgiseldir.
- Çok yaygındır.
- İnsan düşüncesine uygundur.

Takagi – Sugeno Yöntemi

- İşlemsel olarak verimlidir (İşlem zamanı düşüktür).
- Doğrusal teknikler ile iyi çalışır.
- Optimizasyon ve adaptif teknikler ile iyi çalışır.
- Çıkış yüzeyinin sürekliliğini garanti eder.
- Matematiksel analize uygundur.

3.7 Durulaştırma

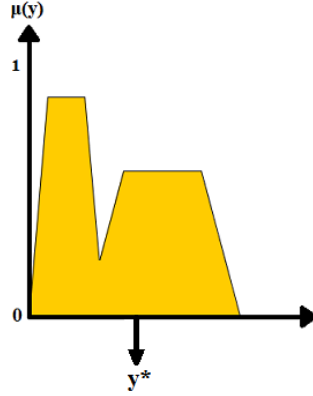
Bulanık çıkarım mekanizmasının çalışması sonucunda oluşan ve sisteme verilecek olan bilginin keskin bir değere döndürülmesi işlemine durulaştırma denir. Durulaştırma işlemi literatürde birçok şekilde yapılmaktadır. En çok kullanılan durulaştırma yöntemleri ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık ortalaması yöntemi ve maksimum yöntemidir. Durulaştırma işlemi için seçilen yöntemin sisteme olan etkileri ihmal edilebilir düzeydedir.

3.7.1 Ağırlık merkezi yöntemi

Ağırlık merkezi yöntemi en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde çıkarım mekanizması sonucunda oluşan alanların ağırlık merkezi bulunur ve durulaştırma ile keskin bir değer olarak hesaplanır. İfade (3.13)'te ağırlık merkezi yönteminin formülasyonu gösterilmektedir.

$$y^* = \frac{\int_U y \mu_u(y) dy}{\int_U \mu_u(y) dy} \quad (3.13)$$

Şekil 3.7’de farklı ateşleme açıları ile tetiklenen iki çıkış üyelik fonksiyonunun birleşmesi (union) ile oluşan alanın ağırlık merkezi grafiksel olarak gösterilmektedir.



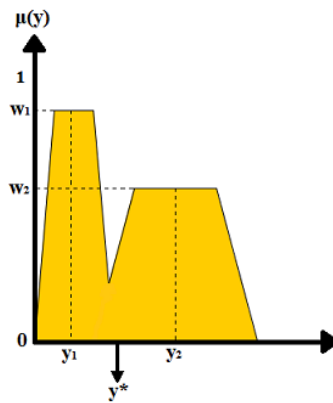
Şekil 3.7 : Alanın ağırlık merkezi

3.7.2 Ağırlık ortalaması yöntemi

Ağırlık ortalaması yöntemi genelde simetrik çıkış üyelik fonksiyonları oluştuğunda kullanılır. Her bir üyelik fonksiyonu maksimum değeri ile ağırlıklandırılarak çıkış değeri hesaplanır. İfade (3.14)’te ağırlık ortalaması yönteminin formülasyonu gösterilmektedir.

$$y^* = \frac{\sum \mu_u(y)y}{\sum \mu_u(y)} \quad (3.14)$$

Şekil 3.8’de ve ifade (3.15)’te ağırlık ortalaması yöntemi ile durulaştırma örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : Alanın ağırlık ortalaması

$$y^* = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2}{w_1 + w_2} \quad (3.15)$$

3.7.3 Maksimum yöntemi

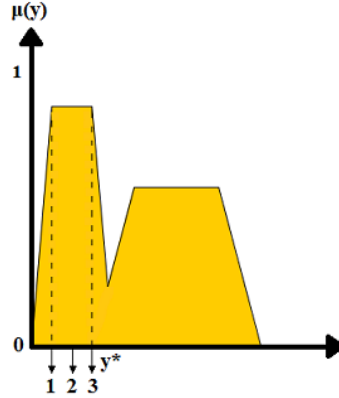
Maksimum yönteminde öncelikle yüksekliği en büyük olan alan bulunur ve ardından üç farklı tekniğe göre durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. İlk teknikte en yüksek alanın başlangıç değeri, ikinci teknikte en yüksek alanın orta değeri ve üçüncü teknikte de en yüksek alanın bitiş değeri durulaştırılmış keskin değer olarak belirlenir. Bu üç tekniğin formülasyonları ifade (3.16)'da, (3.17)'de ve (3.18)'de verilmektedir.

$$y_1^* = \inf\{y \in Y \mid \mu_Y(y) = hgt(Y)\} \quad (3.16)$$

$$y_3^* = \sup\{y \in Y \mid \mu_Y(y) = hgt(Y)\} \quad (3.17)$$

$$y_2^* = \frac{y_1^* + y_3^*}{2} \quad (3.18)$$

Şekil 3.9'dan, formülasyonları verilen üç yöntemin de grafiksel açıklaması kolaylıkla görülebilir.



Şekil 3.9 : Alanın maksimumları

4. BULANIK MODELLEME

4.1 Giriş

Bu bölümde karmaşık, doğrusal olmayan veya kısmi belirsiz sistemlerin bulanık küme teorisine ve bulanık mantığa dayalı teknikler ile modellenmesi üzerinde durulacaktır. Bölüm boyunca öncelikle bulanık modelleme kavramı, ardından bulanık modelleme yöntemleri ve son olarak da bir sonraki bölüme giriş ve referans oluşturması açısından literatürde kullanılan bulanık modelleme yazılımları tanıtılacaktır.

Bilim ve mühendislikteki çoğu disiplinde gerçek sistemlerin matematiksel modellerinin oluşturulması önemli bir konu teşkil etmektedir. Sistemlerin benzetiminde, analizinde ve kontrolünde sistemlerin matematiksel modelleri kullanıldığından; modelinin sistemin gerçekleri ile örtüşmesi elzemdir. Eğer model yeteri ve gerektiği kadar doğru olmazsa analiz, kestirim ve kontrol işlemlerinin başarılı olması imkânsızdır. Sistemin karmaşıklığı ile modelinin doğruluğu arasında ters orantı vardır; dolayısıyla bir sistem karmaşıktıkça, modelinin doğruluğu azalır. Oluşturulan modeller sistemin gereksiz ayrıntılarından arındırılmış olmalı ve sistemi mümkün olduğunca ifade edebilmelidir. Eğer sistem modeli çok basitse sistem tam olarak ifade edilemez ve model amacını yerine getiremez. Öte yandan model çok karmaşıksa kullanılabilirliğini yitirir.

Gelişen üretim teknikleri ile süreçlerin modellenmesi önem kazanmıştır. Endüstride çoğu sistem, çok iyi analiz edilememelerinden ötürü geleneksel teknikler ile iyi modellenememektedirler. Bunun nedeni gerçek sistemlerin lineer olmayan özelliklerinin ve zamana bağlılıklarının fazla oluşunun yanı sıra çokça bilinmezlik içermeleridir.

4.1.1 Beyaz-kutu, siyah-kutu ve gri-kutu modelleme

Geleneksel olarak, modelleme, sistemin doğasını ve davranışını anlamak ve bunu matematiksel olarak ifade etmek olarak görülür. İşte bu yaklaşım *beyaz-kutu* (fiziksel, mekanik) modelleme olarak adlandırılır. Oysaki karmaşık, anlaşılması zor

ve içyapısı bilinmeyen belirsiz parametrelili bir sistem için böyle bir model oluşturmak pratikte güçtür. Diğer yandan böyle bir model elde edilse bile bu modelin anlaşılması çok daha güç olabilir. Buna ek olarak ele alınan sistemin içyapısını anlamak pratikte zaman kaybına yol açabilir ya da çok pahalıya mal olabilir. Hatta bazen sisteme ait böyle bir modelin elde edilmesi imkânsız bile olabilir.

Bazı sistemler için sistemin yapısı belirlense bile parametrelerinin tam olarak belirlenmesi bir başka problemidir. Bu noktada, sistemden elde edilen veriler aracılığıyla sistem parametrelerinin kestirimi olarak kabaca tanımlanabilecek olan *sistem tanıma*ya ihtiyaç duyulur. Sistem tanıma yöntemlerinin büyük bir çoğunluğu da doğrusal sistemler için geliştirilmiştir. Oysaki gerçek fiziksel sistemlerin neredeyse tamamı doğrusal olmayan yapıdadır ve ancak yerel olarak yaklaşık modelleri elde edilebilir.

Modelleme için bir başka yaklaşım ise çalışılan sisteme ait genel fonksiyon yaklaşımıcı olarak kullanılabilecek bir *kara-kutu* yapısı oluşturmaktır. Böylece modelleme problemi, sistemin doğrusal olmayan dinamiğini ifade edecek bir yaklaşımıcı yapısını oluşturma problemine dönüşür. Bu modelleme yönteminde modelin yapısı gerçek sistemin yapısıyla çok ilişkili değildir. Sistem tanıma problemi de yalnızca modele ait parametrelerin kestirimiyle ilgilidir. Sistem verileri elde edildiği takdirde kara-kutu model sisteme ait belirgin bir bilgi gerektirmeden rahatlıkla elde edilebilir.

Bu yöntemin en önemli dezavantajı, elde edilen modelin yapısının ve parametrelerinin fiziksel bir anlamının olmamasıdır. Kara-kutu modeller yalnızca sayısal benzetim için kullanılır. Sistem davranışını anlamak, daha büyük ya da küçük ölçekteki sistemlerdeki sistemleri modellemek için kullanılamaz. Dolayısıyla endüstriyel uygulamalar için pek kullanışlı değildir.

Beyaz-kutu ve kara-kutu modelleme yöntemlerinin avantajlarını bir araya getirmek amacıyla birçok modelleme yöntemi geliştirilmiştir. *Gri-kutu* (yarı fiziksel) olarak adlandırılan bu yöntemler, sisteme ait bilinen kısımlarının beyaz kutu yöntemiyle modellenmesi, bilinmeyen veya daha az kesin olan kısımların ise kara-kutu yaklaşımı ile modellenmesi ve bu iki modelin birleştirilmesi fikrine dayanır.

Geliştirilen modelleme yöntemlerinin çoğunun dezavantajı mühendislerin veya sistem operatörlerinin kesin olmayan ve nitel yapıya sahip olan bilgilerinin

modelleme esnasında etkin kullanamamasıdır. İnsanın, daha önceden belirlenen belirsizlikler altında karmaşık işlerle başa çıkabilme yeteneği araştırmacıları yeni modelleme ve kontrol yöntemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Akıllı modelleme ve kontrol olarak adlandırılan yöntemler, biyolojik sistemlerden veya insan zekâsından esinlenerek dinamik sistemlerin modellenmesi veya kontrolüne yönelik geliştirilen yeni fikirlerin ürünüdür [10].

4.1.2 Bulanık modelleme veya bulanık tanıma kavramı

Sistemler cebirsel veya diferansiyel eşitlikler, sonlu durum makineleri vs. gibi farklı matematiksel modeller ile ifade edilebilirler. Bundan sonra tez içerisinde geçecek olan *modelleme* kavramı değişkenler arasındaki ilişkiyi *eğer - o halde* kuralları ile ifade etmek anlamında kullanılacaktır.

Eğer ısıtma gücü çok yüksek ise *o halde* sıcaklık çabuk artacaktır. (4.1)

Sistem değişkenleri (giriş ve çıkış) arasında mantıksal ilişkiler kurmak için ifade (4.1)'deki gibi dilsel terimler ve dilsel niteleyiciler içeren kurallar kullanılmaktadır. Sayısal giriş – çıkış verileri arasında ilişki oluşturan dilsel terimler ve dilsel niteleyiciler, uygun olarak seçilen bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları ile ifade edilebilir. Buna bağlı olarak bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları kullanılarak sistemin girişi ve çıkışı arasında sadece dilsel ifadelerin yer aldığı bir bulanık model oluşturulabilir. Böylelikle sistem değişkenlerinin dilsel ifadeler ile ifade edilmesi nümerik değerler ile ifade edilmesinden daha doğru (gerçekçi) olabilir.

Kısacası, sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini kullanarak sistem için bulanık model oluşturma yöntemlerine ve algoritmalarına *bulanık modelleme* veya *bulanık tanıma* adı verilmektedir.

4.2 Bulanık Modelleme Yöntemleri

Bu bölümde sistemlere ait giriş – çıkış verilerine göre bulanık modellerini oluşturma yöntemleri anlatılacaktır.

Bulanık modelin oluşturulması, üyelik fonksiyonlarının konum, şekil ve dağılımlarının ayarlanması, kural tabanının oluşturulması, mantıksal operatörlerin seçimi, çıkış parametrelerinin hesaplanması gibi birçok parametrenin seçimini kapsamaktadır. Bu kadar parametrenin aynı anda belirlenecek olması tek bir

yöntemin uygulanabilirliğini imkânsız hale getirmektedir. Bulanık modelleme işlemi için tipik yaklaşımda, öncelikle belli bir kıstasa göre mantıksal operatörler ve üyelik fonksiyonlarının tipleri belirlenir ve ardından da geriye kalan parametreler farklı yöntemler ile giriş – çıkış verileri kullanılarak kestirilir. Bu kestirim işleminin mantığı genelde bütün yöntemlerde aynıdır ve modelin gerçek sisteme yakınsama hatasının minimize edilmesine dayanmaktadır.

Literatürde bulanık modelleme için en sık kullanılan yöntemler şöyledir:

- Mozaik şema yöntemi
- Gradyan yöntemi
- Kümeleme yöntemi
- Optimizasyon tabanlı yöntemler

Mozaik şema yönteminde giriş üyelik fonksiyonlarının tipi, sayısı ve konumu sabit tutulur; sadece kuralların çıkış parametreleri hesaplanır.

Gradyan yönteminde giriş üyelik fonksiyonlarının tipi ve sayısı sabit tutulur, giriş üyelik fonksiyonlarının konumu ve kuralların çıkış parametreleri hesaplanır.

Kümeleme yönteminde sadece giriş üyelik fonksiyonlarının tipi sabit tutulur, kümeleme yöntemi ile giriş üyelik fonksiyonlarının sayısı ve ilk konumları belirlenir. Ardından gradyan yöntemi kullanılarak çıkış parametreleri ve giriş üyelik fonksiyonlarının konumları hesaplanır.

Optimizasyon tabanlı yöntemlerde ise bulanık model oluşturmada gereken bütün parametreler hesaplanabilir.

Çizelge 4.1’de, bahsedilen farklı modelleme yöntemlerine göre modelleme parametrelerinin ayarlanabilme özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Farklı modelleme yöntemlerine göre sabit ve serbest parametreler

Yöntem	ÜF Tipi	ÜF Sayısı	ÜF Konumu	Çıkışlar
Mozaik Şema	Sabit	Sabit	Sabit	Serbest
Gradyan	Sabit	Sabit	Serbest	Serbest
Kümeleme	Sabit	Serbest	Serbest	Serbest
Optimizasyon tabanlı	Serbest	Serbest	Serbest	Serbest

Sözü geçen tüm yöntemlerdeki ortak mantık sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın minimize edilmesine dayanmaktadır.

4.2.1 Mozaik şema yöntemi

Mozaik şema yöntemi, Wang tarafından öne sürülen bir yöntemdir [11]. Daha önce de bahsedildiği gibi giriş üyelik fonksiyonları için tip, konum ve sayı parametreleri kullanıcıya bırakılmıştır, yöntemde sadece çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri hesaplanmaktadır.

Elde bir sistemden toplanan giriş – çıkış veri kümesi olduğu düşünölsün. Mozaik şema yöntemi ile bulanık modelin inşa edilmesi için aşağıdaki prosedür izlenmelidir.

- Tüm giriş tanım uzayı kullanıcının belirlediği giriş üyelik fonksiyonu sayısı kadar üyelik fonksiyonu ile kaplanır. Üyelik fonksiyonlarının tipi ve konumu kullanıcı tarafından belirlenir. En az iki üyelik fonksiyonu tanımlanmalıdır.
- Tüm olası kombinasyonlar kullanılarak kural tabanı yaratılır ve mantıksal ve operatörü seçilir.
- Her bir kural için çıkarım mekanizması işletilir.
- En küçük kareler yöntemi ile çıkış parametreleri hesaplanır.

Mozaik şema yöntemi en basit bulanık modelleme yöntemidir. Kullanıcıdan giriş üyelik fonksiyonlarının tipini, sayısını ve konumunu alarak sadece çıkış parametrelerini hesaplar.

4.2.2 Gradyan yöntemi

Gradyan yönteminde giriş üyelik fonksiyonlarının sayısı ve tipi kullanıcı tarafından belirlenmelidir. Normal olarak mantıksal ve operatörü olarak *çarpım* operatörü seçilmelidir çünkü penaltı fonksiyonunun gradyanı için analitik bir ifade gereklidir. Yöntem çalıştırılmaya başlamadan önce giriş üyelik fonksiyonları ilk konumlarına çekilmelidir.

Elde bir sistemden toplanan giriş – çıkış veri kümesi olduğu düşünölsün. Gradyan yöntemi ile bulanık modelin inşa edilmesi için aşağıdaki prosedür izlenmelidir.

- Tüm giriş tanım uzayı kullanıcının belirlediği giriş üyelik fonksiyonu sayısı kadar üyelik fonksiyonu ile kaplanır. Üyelik fonksiyonlarının tipi ve konumu kullanıcı tarafından belirlenir. En az iki üyelik fonksiyonu tanımlanmalıdır.
- Tüm olası kombinasyonlar kullanılarak kural tabanı yaratılır ve mantıksal ve operatörü *çarpım* olarak seçilir.

- En küçük kareler veya yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile çıkış üyelik fonksiyonlarının parametreleri hesaplanır.
- Giriş, çıkışı ve modeldeki serbest parametreleri içeren bir penaltı fonksiyonu oluşturulur ve bu fonksiyon gradyan yöntemi ile minimize edilerek modelde serbest yapıda bulunan giriş üyelik fonksiyonlarının yerleri yeniden belirlenir. Yöntemin isminden de anlaşılacağı üzere penaltı fonksiyonu gradyan yöntemi ile minimize edilmektedir ancak bu bir gereklilik veya bir zorunluluk teşkil etmemektedir. Farklı optimizasyon yöntemleri de serbest parametreleri hesaplamak için kullanılabilir.

Gradyan yönteminde çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri en küçük kareler ile hesaplandığında bu yöntem ANFIS şeması olarak adlandırılır ve bu yöntemin Takagi – Sugeno modelleri üzerinde yakınsama hızı yüksektir.

4.2.3 Kümeleme yöntemi

Şu ana kadar bahsedilen iki yöntemde de giriş üyelik fonksiyonlarının sayısı ve ilk konumları kullanıcıya bırakılmıştı. Kümeleme tabanlı yöntemlerde ise amaç modellemenin başında giriş üyelik fonksiyonu sayısı ve konumunu kestirebilmektir.

Kümeleme tabanlı yöntemlerdeki ana fikir sistemden toplanan giriş – çıkış verilerinin uzaydaki dağılımına bakarak birbirinden izole kümeler oluşturmaktır. Bu kümeleri oluştururken kural tabanındaki kuralların kümeleri tanımlayabilmesine dikkat edilmelidir. Küme prototipleri Mamdani modelleri için nokta, Takagi – Sugeno modelleri için de üst (hiper) düzlem olabilir.

Kümeleme yöntemlerinin avantajı kullanıcıdan modelleme için bir bilgi girişine ihtiyaç duymamasıdır.

Elde bir sistemden toplanan giriş – çıkış veri kümesi olduğu düşünölsün. Kümeleme yöntemi ile bulanık modelin inşa edilmesi için aşağıdaki prosedür izlenmelidir.

- Gustafson – Kessel algoritması ile kümeler bulunur.
- Kümeler arasındaki benzerlikler kontrol edilir. Benzer üst düzlemler belirten iki küme olup olmadığına bakılır.
- Giriş uzayı üzerinde bölüm matrisi kullanılarak üyelik fonksiyonlarının izdüşümü alınır.

- Konveks üyelik fonksiyonları (üçgen, gauss, vs.) kullanılarak izdüşürülen üyelik fonksiyonları yakınsatılır.
- İzdüşürülen üyelik fonksiyonları ile kural tabanı oluşturulur.
- Her kümenin kovaryans matrisi kullanılarak çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri hesaplanır.
- Kümeleme yöntemi ile kapsanamayan çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır.
- Bir optimizasyon yöntemi kullanılarak (gradyan yöntemi olabilir) giriş üyelik fonksiyonu parametreleri güncellenir.

4.2.4 Optimizasyon tabanlı yöntemler

Tez çalışmasının ana fikrini oluşturan optimizasyon tabanlı bir bulanık modelleme yöntemi bir sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacak olsa da optimizasyon tabanlı yöntemlerden kısaca bahsetmek gerekir.

Optimizasyon tabanlı bulanık modelleme yöntemlerinde de diğer yöntemlerde olduğu gibi esas amaç sistem modelinin gerçek sisteme yakınsama hatasının minimize edilmesidir. Literatürde en sık kullanılan optimizasyon yöntemi genetik algoritmalarıdır. Bu yöntemde, modelleme işindeki serbest parametreler kodlanarak gen yapısına çevrilir. Yöntemin çalışması ile ilgili genel mantık aşağıdaki gibidir.

- Serbest parametreler için başlangıç popülasyonu oluşturulur ve her bir birey için uygunluk değeri hesaplanır.
- Uygunluk değerleri göz önünde bulundurularak iyi gen yapısında olan bireylerden yeni bir popülasyon türetilir.
- Yeni türetilen popülasyonda rastgele çaprazlama işlemleri yapılır. Bu sayede iyi genlerden daha iyi genlerin oluşma ihtimali artırılır.
- Aynı şekilde yeni türetilen popülasyonda daha iyi genler oluşturmak adına belli bir oranda bazı bireylerde mutasyon işlemi yapılır.
- İterasyon sayısı kadar yeni popülasyon üretilip uygunluk değerlerine bakma işlemi devam ettirilir. Bu işlem sırasında modelin gerçek sisteme yakınsama hatası için istenilen minimum değere ulaşırsa iterasyon sonlandırılır.

Optimizasyon tabanlı yöntemler bulanık modellemede kullanılan uygunluk değerinin minimize edilmesi işleminde global çözüme ulaşmak için çok güçlü yöntemlerdir.

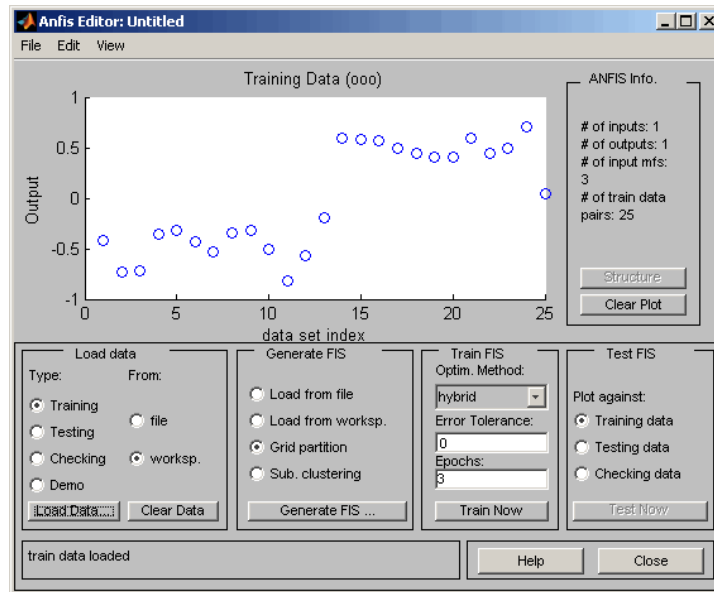
Optimizasyon tabanlı bulanık modelleme yönteminde genelde giriş üyelik fonksiyonlarının sayısı ve konumu serbest parametreler olarak seçilerek bunlar üzerinde optimizasyon yöntemleri uygulanarak modelleme hatası minimize edilmeye çalışılmaktadır.

4.3 Bulanık Modelleme Yazılımları ve Yazılımların Karşılaştırılması

Bu bölümde, kullanılmakta olan kimi bulanık modelleme yazılımları tanıtılacaktır.

4.3.1 Yazılım 1: ANFIS

MATLAB programının bulanık modelleme üzerine bir yazılımı olan ANFIS, 1993 yılında Jang tarafından duyurulmuştur [12]. ANFIS, bulanık modellemede çok önemli bir konuma sahiptir ve bunun getirdiği saygınlık ile en çok yatırım yapılan ve kullanılan araçtır. Şekil 4.1’de ANFIS’in kullanıcı arayüzü gösterilmektedir.

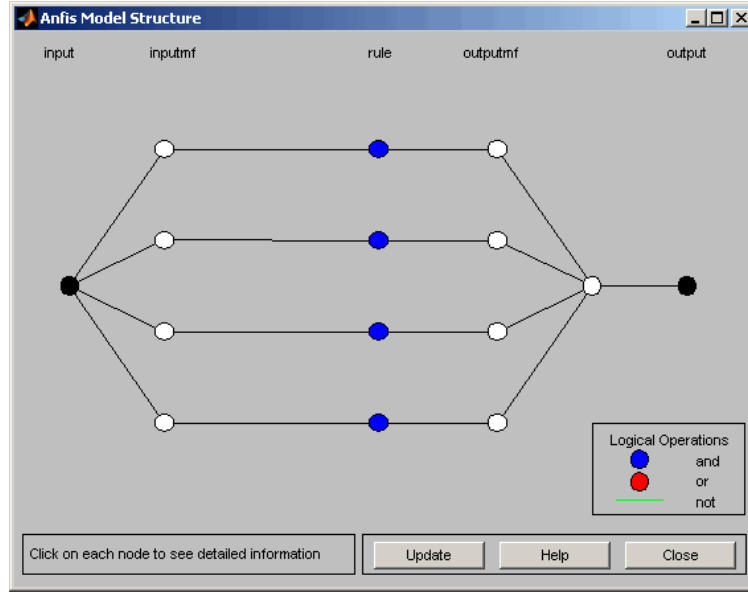


Şekil 4.1 : ANFIS kullanıcı arayüzü

ANFIS, önceki bölümlerde bahsedilen Takagi – Sugeno yapısında bir bulanık model oluşturur. Yani, kısaca hatırlatmak gerekirse, sisteme ait Mamdani (üçgen, trapezoid, gauss, vs.) yapısındaki girişlerden ve fonksiyon yapısındaki çıkışlardan bulanık model elde edilir.

ANFIS, çok girişli tek çıkışlı (ÇGTÇ) sistemler için bulanık model oluşturabilir. ANFIS’te giriş ve çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri adaptif sinir ağları yapısı ile

tanınır veya kestirilir. Şekil 4.2’de bir sistemden toplanan giriş – çıkış verileri ile oluşturulması beklenen bulanık model için ANFIS’in oluşturduğu adaptif sinir ağı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : ANFIS adaptif sinir ağı yapısı

ANFIS’te, bulanık model oluşturma işlemi için için beş katmanlı bir adaptif sinir ağı yapısı yaratılmıştır. Bu katmanlardan kısaca bahsetmek gerekirse:

- Birinci katmanda giriş verileri bulanıklaştırılır.
- İkinci katmanda kurallar kullanılarak girişler için t-normu işlemleri yapılır.
- Üçüncü katmanda kurallardaki ateşleme açıları normalize edilir.
- Dördüncü katmanda her bir lineer fonksiyon için ağırlıklandırılmış çıkışlar hesaplanır.
- Beşinci katmanda kestirilmiş çıkış değeri hesaplanır.

ANFIS, Şekil 4.2’de gösterilen yapıyı kullanarak geriye yayılım veya hem geriye yayılım hem de en küçük kareler yöntemlerini beraber kullanarak bulanık model oluşturma özelliğine sahiptir.

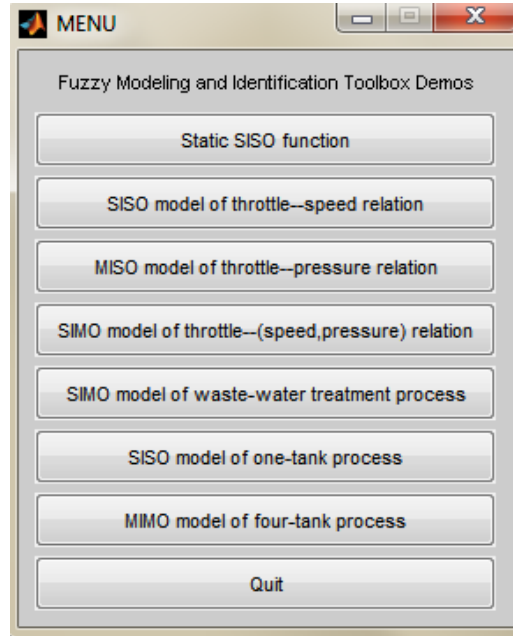
Bulanık model oluşturma işleminde adaptif sinir ağı yapısı kullanıldığından giriş ve çıkış parametreleri için bir *eğitimden* bahsedilebilir. Eğitim işleminde bir optimizasyon yöntemi olan ve bir önceki bölümde de bahsedilen gradyan vektörü kullanılır. Gradyan vektörü, bulanık modelin gerçek sisteme ne kadar benzediğini ölçer. Gradyan vektörü oluşturulduktan sonra, ANFIS, güncel ve beklenen çıkış

arasında RMS kriteri üzerinden kestirim hatasının minimizasyonu veya giriş – çıkış parametrelerinin eğitimi için geriye yayılım yöntemini kullanarak belli bir iterasyon sayısı sonrasında veri toplanan sistem için bulanık model oluşturur.

4.3.2 Yazılım 2: FMIT

FMIT, 1997 yılında Prof. Dr. Robert Babuska tarafından oluşturulmuş, MATLAB üzerinde çalışan bir bulanık modelleme yazılımıdır [13].

FMIT, bir önceki bölümde ekran çıktıları (Şekil 4.1, Şekil 4.2) verilen ANFIS gibi bir kullanıcı grafik arayüzüne sahip değildir; sadece kullanıcının bazı demoları çok kolay çalıştırabilmesi için çok basit bir grafik arayüzü tasarlanmıştır. Şekil 4.3'te bu arayüz için ekran çıktısı gösterilmektedir.



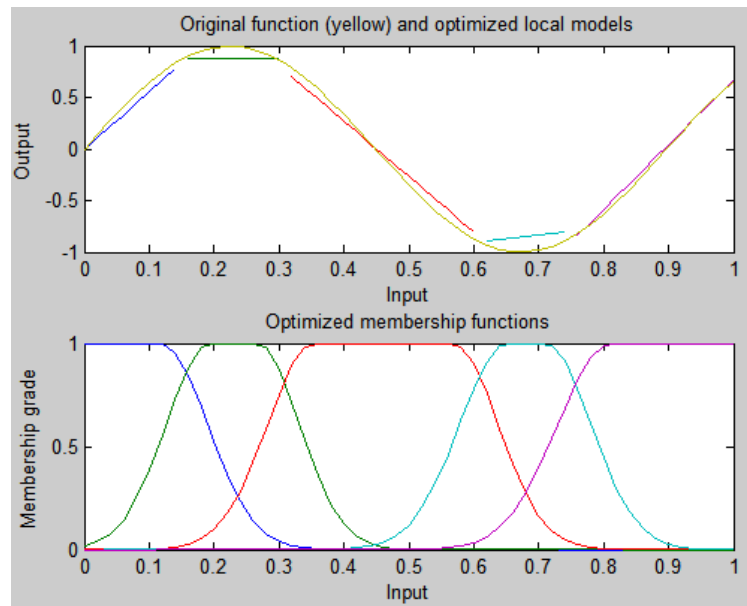
Şekil 4.3 : FMIT demo ekranı

FMIT, çok girişli çok çıkışlı (ÇGÇÇ) sistemleri Mamdani veya Takagi – Sugeno tipinde modelleyebilmektedir ve bu özelliği ile de ANFIS'ten bir adım öne çıkmaktadır. FMIT, kümeleme tabanlı bir modelleme aracıdır ve giriş üyelik fonksiyonu parametrelerini *bulanık c-ortalamları (fuzzy c-means)*, *olasılıksal c-ortalamları (possibilistic c-means)* veya *Gustafson – Kessel* algoritmaları ile optimize ederken, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerini de en küçük kareler yöntemi ile modelleme hatasının RMS minimize ederek hesaplamaktadır.

FMIT, paket olarak bünyesinde beş ayrı özellik barındırmaktadır. Bunlar:

- Model oluşturma: Sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile bulanık model oluşturulur.
- Benzetim: Oluşturulan bulanık model giriş – çıkış verisi ile simüle edilir ve elde edilen cevap ile gerçek sistem cevabı üst üste çizdirilir.
- Dokümantasyon: Oluşturulan bulanık modelin, sisteme ait giriş – çıkış verisi ile benzetimi yapılarak elde edilen cevap ile gerçek sistem cevabı üst üste çizdirilir.
- Demo: Statik ve dinamik sistemler için birçok örnek yazılım içerir.
- Güncelleme: Faydalı birçok fonksiyonu sayesinde kullanıcıya rahatlık sağlar. (Örnek: Eski versiyonlarda oluşturulan bir bulanık model dosyası yeni versiyon için uyumlu hale getirilebilir.)

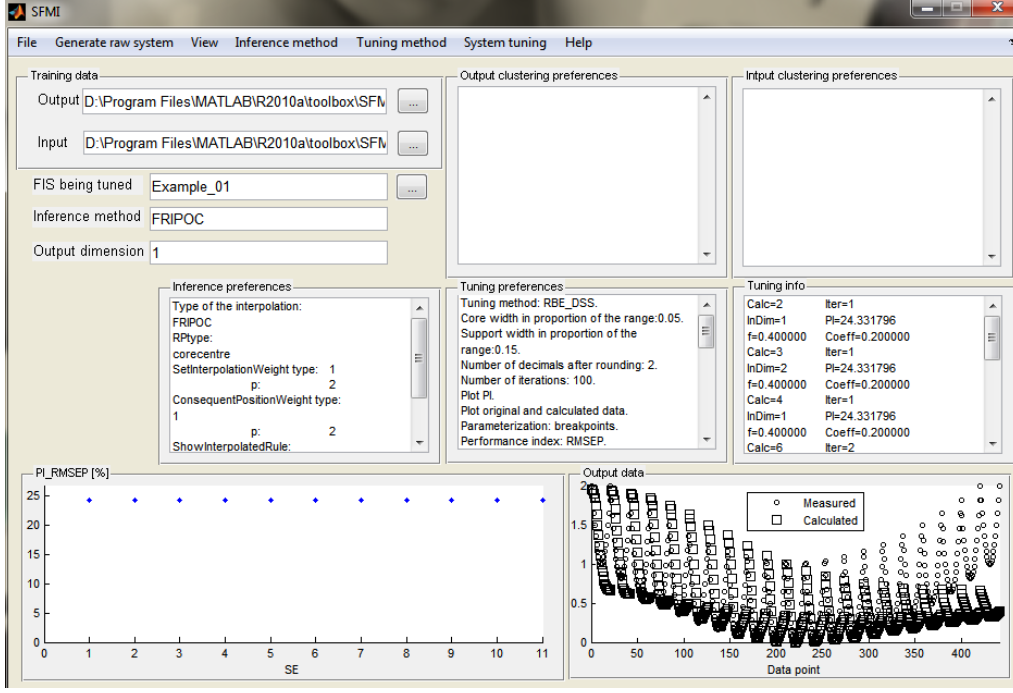
şekil 4.4'te FMIT'de örnek olarak modellenmiş bir sistem için ekran çıktısı gösterilmektedir.



şekil 4.4 : FMIT örnek model ıktısı

4.3.3 Yazılım 3: SFMIT

SFMIT, 2008 yılında, Macar öğretim üyesi Z. C. Johanyak tarafından *IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics* organizasyonu için yazdığı makalesi ile duyurulmuştur [14]. şekil 4.5'te SFMIT kullanıcı arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : SFMIT kullanıcı arayüzü

MATLAB ortamında çalışan bulanık modelleme yazılımının diğer yazılımlardan bir farkı bulunmaktadır. Johanyak'ın yazılımı aralıklı veya bölgesel veri toplanan sistemler için bulanık model oluşturma amacı gütmektedir.

Gerçek bir sistem üzerinde tüm giriş uzayı için veri toplamak mümkün değilse sisteme uygulanacak belli girişler için giriş – çıkış verileri toplanır. Böylelikle sistem hakkında bütün bilgi değil de belli girişler için bilgi sahibi olunabilir. Bu tip sistemler için geliştirilen bulanık modele de aralıklı bulanık model denmektedir.

SFMIT, tüm giriş uzayını kapsayacak şekilde değil de sadece veri toplanan bölgeleri kullanarak bir bulanık model oluşturur. Böylelikle bulanık model, tüm giriş uzayını kapsayacak şekilde oluşturulması gereken ve sistemin karmaşıklığını arttıran bir sürü kuraldan arındırılmış olur.

SFMIT'de RMS'de dahil olmak üzere toplam yedi farklı performans kriteri vardır ve bulanık modelleme algoritması diğer araçlarda da olduğu gibi model çıkışının gerçek sistem çıkışına yakınsama hatasının seçilen bir performans kriterine göre minimizasyonu ilkesine dayanmaktadır.

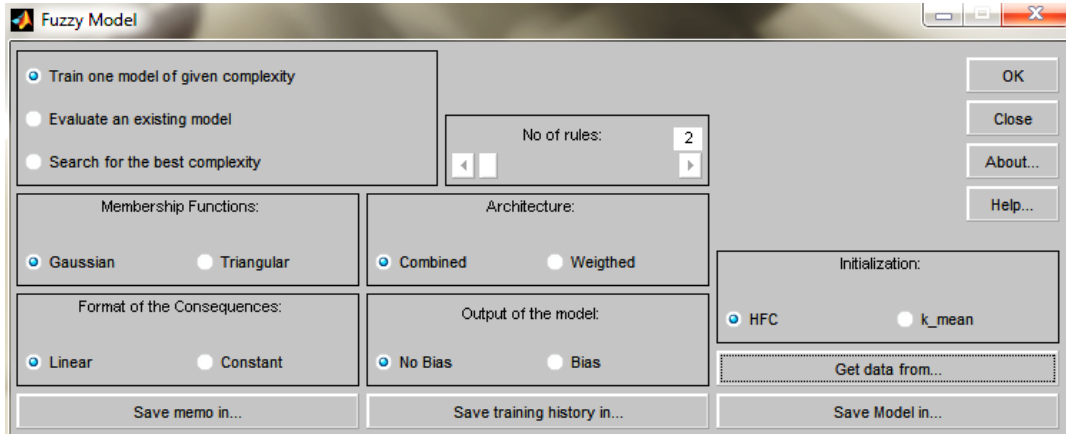
SFMIT, çok girişli çok çıkışlı (ÇGÇÇ) sistemleri Mamdani tipinde modelleyebilmektedir. Yazılım, giriş üyelik fonksiyonu parametrelerini *bulanık c-*

ortalamaları yöntemi ile optimize ederken, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerini çeşitli interpolasyon yöntemleri (en küçük kareler vs.) ile hesaplayabilmektedir.

Kullanıcı, modelleme işlemi sonucunu *.fis uzantılı bir dosya olarak almaktadır ancak bu dosya tipi MATLAB'ın standart *.fis uzantısı ile uyumlu değildir. Dosyanın açılıp bir miktar değiştirilerek MATLAB ile uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir.

4.3.4 Yazılım 4: TNIDA

TNIDA, 1999 yılında Gianluca Bontempi ve Mauro Birattari tarafından yayınlanmıştır [15]. Yazılım MATLAB üzerinde çalışmaktadır ve basit bir kullanıcı arayüzüne sahiptir. Şekil 4.6'da yazılımın kullanıcı arayüzünün ekran çıktısı görülmektedir.



Şekil 4.6 : TNIDA kullanıcı arayüzü

TNIDA, çok girişli tek çıkışlı (ÇGTÇ) sistemler için Takagi – Sugeno tipinde bulanık model oluşturma özelliğiyle ANFIS'e benzemektedir. Yazılım, modelleme işlemci sonucunu kullanıcıya *.mat uzantılı standart olmayan bir dosya yapısında vermektedir.

Yazılımda giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin optimizasyonu için iki farklı yöntem seçilebilmektedir. Bunlar *k-ortalamaları* (*k-means*) ve *üst düzlem bulanık kümeleme* (*hyperplane fuzzy clustering*) yöntemleridir. Çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin hesaplanması ise çoğu modelleme yazılımında olduğu gibi en küçük kareler yöntemiyle yapılmaktadır.

TNIDA'nın bulanık model oluşturma algoritmasının genel mantığı model çıkışının gerçek sistem çıkışına yakınsama hatasının karelerinin toplamının minimize edilmesidir.

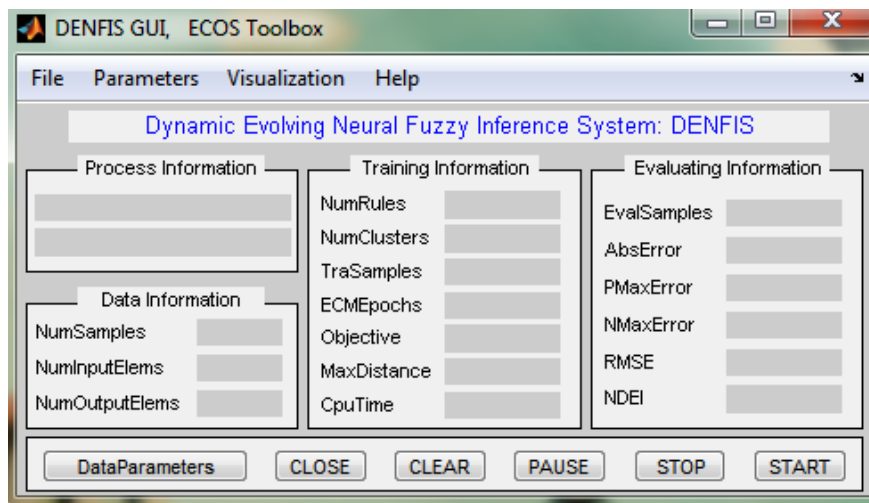
Yazılımın diğer bulanık modelleme araçlarından farklı bir özelliği bulunur. TNIDA, bulanık model oluşturma işini iki aşamada tamamlar. İlk aşamada modellenecek olan sistemin yapısı oluşturulur, yani sistemin karmaşıklığını veren kriter olan kural sayısı belirlenir. Sonraki aşamada ise modelleme parametrelerinin optimizasyonu yapılır. Bu aşamalar *yapısal ayarlama* ve *parametre ayarlama* olarak adlandırılırlar.

TNIDA'nın üç farklı çalışma modu bulunmaktadır. Bunlar:

- Sabit karmaşıklıkta model eğitimi: Bu çalışma modunda kullanıcı kural sayısını, oluşturulacak olan mimariyi, başlangıç yöntemini ve sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini yazılıma girer. Modelleme işi sonucunda kullanıcıya bir bulanık model oluşturulur.
- Model seçimi: Bu çalışma modunda kullanıcı oluşturulacak olan mimariyi ve başlangıç yöntemini seçer ancak kural sayısı için bir aralık belirtir. Yazılım kural sayısı için girilen aralıkta kural sayısını minimize edecek şekilde çalışır ve kullanıcıya bir bulanık model dosyası oluşturur.
- Tahmin (kestirim): Yazılım daha önce oluşturulmuş veya optimize edilmiş bir bulanık model dosyası ile sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini kullanarak tahminler oluşturur.

4.3.5 Yazılım 5: DENFIS

DENFIS, MATLAB ortamında çalışan ve 2002 yılında Bulgar Nicola Kasabov ve Çinli Qun Song tarafından yayınlanan bulanık modelleme yazılımıdır [16]. Kullanıcı için sunulan basit arayüz Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : DENFIS kullanıcı arayüzü

DENFIS, çevrimiçi ve çevrimdışı olmak üzere iki farklı modelleme yöntemi içermektedir. Giriş üyelik fonksiyonu şekli her zaman üçgen tipinde olmak zorundadır. Bu kullanıcıya modelleme işinde bir kısıtlama getirmektedir.

DENFIS, sistemden toplanan giriş – çıkış verilerini kullanarak çok girişli tek çıkışlı (ÇGTÇ) sistemler için Takagi – Sugeno tipinde bulanık model oluşturabilmektedir. Giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin optimizasyonu için *giderek oluşan kümeleme (evolving clustering)* yöntemini, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin hesaplanması için de yinelemeli en küçük kareler yöntemini kullanmaktadır.

Yazılım, bulanık modelleme işinde hata kriteri olarak RMS kullanmaktadır ve bulanık modelleme işlemi sonucunu kullanıcıya *.mat dosyası halinde standart olmayan yapıda sunmaktadır. Bu da kullanılabilirliği düşürmektedir.

4.3.6 Bulanık modelleme yazılımlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.2’de şimdiye kadar incelenen bulanık modelleme yazılımlarının çeşitli kıstaslar için karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Bulanık modelleme yazılımlarının karşılaştırılması

	ANFIS	FMIT	SFMIT	TNIDA	DENFIS
Çalıştığı Ortam	MATLAB	MATLAB	MATLAB	MATLAB	MATLAB
GUI	Var	Yok	Var	Var	Var
Sistem Tipi	ÇGTÇ	ÇGÇÇ	ÇGÇÇ	ÇGTÇ	ÇGTÇ
Bulanık Model Yapısı	TS	TS ve Mamdani	Mamdani	TS	TS
Giriş Optimizasyon Yöntemi	Geriye yayılım	Bulanık c-ortalamları, olasılıksal c-ortalamları, GK	Bulanık c-ortalamları	K-ortalamları ve üst düzlem bulanık kümeleme	Giderek oluşan kümeleme
Çıkış Optimizasyon Yöntemi	EKK	EKK	EKK	EKK	YEKK
Hata Kriteri	RMS	RMS	RMS	KT	RMS
Çıktı Tipi	*.fis dosyası	LaTEX dosyası	*.fis dosyası	*.mat dosyası	*.mat dosyası

5. BÜYÜK PATLAMA BÜYÜK ÇÖKÜŞ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI BULANIK MODELLEME YÖNTEMİ VE YAZILIMI

5.1 Giriş

Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı, bu tez kapsamında tasarlanan ve MATLAB üzerinde çalışan bir bulanık modelleme yazılımıdır. Yazılımın kullanıcı dostu olması için itina ile tasarlanmış ve konunun profesyonellerinden birçok geribesleme alınarak son haline getirilmiş fonksiyonel grafik kullanıcı arayüzü vardır ve bu arayüz *ANFIS*'e benzemektedir. Yazılım, çok girişli tek çıkışlı (ÇGTÇ) sistemler için Takagi – Sugeno tipinde bulanık model oluşturabilmektedir.

Yazılımda giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin optimizasyonu için BPBÇ algoritması kullanılırken, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin hesaplanması için yinelemeli en küçük kareler, en küçük kareler veya QR ayrışımı eğri uydurma yöntemlerinden biri kullanılabilmektedir. BPBÇ optimizasyon algoritması ile ilgili ayrıntılı bilgi 5.2 bölümünde verilecektir.

Yazılım, model çıkışının gerçek sistem çıkışına yakınsama hatasının RMS değerini minimize ederek üyelik fonksiyonu parametrelerini belirlemektedir. N 'in sistemden toplanan veri sayısını, y_m 'in i . veri için model çıkışını ve y 'nin de i . veri için gerçek sistem çıkışını ifade ettiği var sayılırsa ifade (5.1), model çıkışının ile gerçek sistem çıkışına yakınsama hatasının RMS değerini göstermektedir.

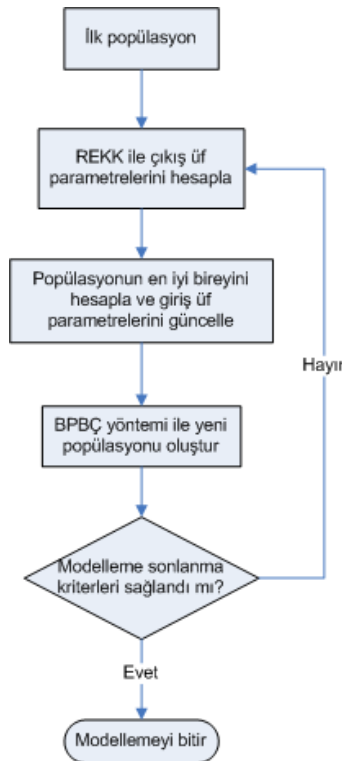
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_m(i) - y(i))^2} \quad (5.1)$$

BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı, bulanık modelleme işlemini bitirdikten sonra model dosyasını *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox*'ın standart formatı olan *.fis formatında oluşturmaktadır. Model dosyasının bu formatta oluşturulması kullanıcıya büyük bir rahatlık sağlamaktadır çünkü kullanıcı, tasarlanan bulanık modelleme yazılımı ile oluşturduğu bulanık model

dosyasına hiçbir müdahale yapmadan *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox* ile açıp bulanık modelde değişiklik yapabilmektedir.

Yazılımın çalışma mantığından kısaca bahsedilecek olursa, öncelikle giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinden oluşan bir popülasyon oluşturulur. Ardından, ilk popülasyon ve sistemden toplanan veriler kullanılarak yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile bulanık modelin çıkış parametreleri hesaplanır. Bundan sonra, popülasyondaki tüm bireyler için model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değerleri hesaplanır ve değeri en küçük olan birey BPBÇ algoritması için ağırlık merkezi olarak kaydedilir. Hemen ardından, giriş üyelik fonksiyonu parametreleri, hata RMS değeri en küçük bireyin parametreleri ile güncellenir. Bir sonraki adımda, en iyi birey etrafında BPBÇ algoritması ile bir sonraki iterasyon için yeni bir popülasyon oluşturulur ve son olarak güncel iterasyon için modelleme işleminin sonlanma kriterinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Eğer sonlanma kriteri sağlandı ise modelleme sona erdirilir, sağlanmadı ise yeni iterasyona geçilir.

Şekil 5.1’de, bulanık modelleme işlemini kabaca anlatan bir akış şeması verilmektedir.



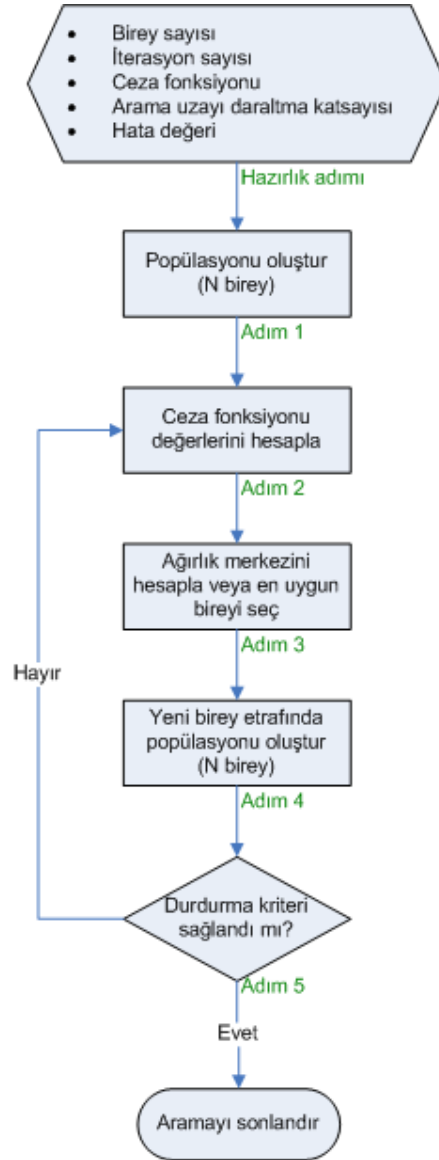
Şekil 5.1 : Bulanık model oluşturma işlemi akış diyagramı

5.2 Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması

2006 yılında *Büyük Patlama Büyük Çöküş* ismi verilen yeni bir evrimsel hesaplama yöntemi duyuruldu [17]. BPBÇ optimizasyon algoritmasının en önemli özelliği yüksek yakınsama hızının yanında düşük hesaplama zamanıdır. Bu evrimsel yöntemin çalışma mantığı, yakınsayan çözümün, yeni çözüm kümesinden oluşan kaotik bir duruma dönüştürülmesi olarak belirtilmiştir [17]. BPBÇ optimizasyon algoritması ilk olarak bulanık model çıkış parametrelerinin çevrimiçi uyarlanması kullanılmıştır [18].

BPBÇ algoritması genel olarak iki ana fazdan oluşmaktadır. İlk faz *büyük patlama* olarak adlandırılmaktadır. Bu fazda bireyler (aday çözümler) diğer evrimsel yöntemlerde de rastlandığı gibi arama uzayında normal dağılım ile oluşturulur. *Büyük çöküş* olarak adlandırılan ikinci fazda popülasyonun ağırlık merkezi veya en uygun bireyi hesaplanır. Tüm büyük patlamalar büyük çöküş fazında bulunan nokta etrafında olmaktadır.

Şekil 5.2’de BPBÇ algoritmasının akış diyagramı gösterilmektedir. Aynı zamanda Şekil 5.2’deki adımlar Çizelge 5.1’de ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.



Şekil 5.2 : BPBÇ algoritması akış diyagramı

Çizelge 5.1 : BPBÇ algoritmasındaki adımların açıklamaları

Adım Numarası	Açıklama
Hazırlık Adımı	Yöntemin çalışabilmesi için popülasyondaki birey sayısı, iterasyon sayısı, ceza fonksiyonu, arama uzayı daraltma katsayısı ve hata değeri girilir.
Adım 1	Arama uzayında normal dağılım ile N bireyden meydana gelen bir popülasyon oluşturulur.
Adım 2	Tüm aday çözümlerin (bireylerin) ceza fonksiyonu değerleri hesaplanır.
Adım 3	Ağırlık merkezi veya en uygun birey, büyük patlama noktası olarak belirlenir.
Adım 4	En uygun birey veya ağırlık merkezi etrafında yeni bir popülasyon oluşturulur.
Adım 5	Durdurma kriterinin (iterasyon sayısı veya hata değeri) aşıp aşılmadığı kontrol edilir.

Büyük patlamadan sonraki büyük çöküş fazında ağırlık merkezi olan X_C , X_i i . bireyin konumu, f_i i . bireyin ceza fonksiyonu değeri ve X_i popülasyondaki birey sayısı olmak üzere ifade (5.2)'deki formül kullanılarak hesaplanır ya da ceza fonksiyonu en küçük olan birey, en iyi birey olarak belirlenir ve büyük patlama noktasına karar verilir.

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} X_i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i}} \quad (5.2)$$

Büyük patlama fazında yeni bireyler (aday çözümler) olan X_i^{yeni} , X_C ağırlık merkezi veya en iyi birey, σ standart normal dağılımın standart sapması olmak üzere ifade (5.3) kullanılarak oluşturulur.

$$X_i^{yeni} = X_C + \sigma \quad (5.3)$$

r normal dağılım ile belirlenen rastgele sayı, k iterasyon sayısı, X_{maks} arama uzayı üst sınırı, X_{min} arama uzayı alt sınırı ve s arama uzayı daraltma katsayısı olmak üzere, standart sapma değeri olan σ iterasyon sayısı arttıkça ifade (5.4)'teki formüle göre azalmaktadır.

$$\sigma = \frac{0,5 \cdot r \cdot (X_{maks} - X_{min})}{\left(1 + \frac{k}{s}\right)} \quad (5.4)$$

İfade (5.3), ifade (5.4) kullanılarak tekrardan yazılacak olursa yeni bireylerin oluşturulması için gerekli formülün açık hali ifade (4.5)'deki gibi elde edilir.

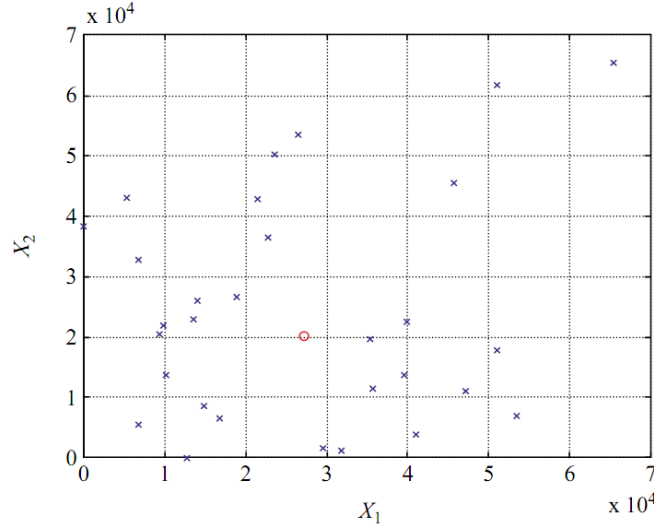
$$X_i^{yeni} = X_C + \frac{0,5 \cdot r \cdot (X_{maks} - X_{min})}{\left(1 + \frac{k}{s}\right)} \quad (5.5)$$

Normal dağılımdaki sayılar ± 1 aralığında olsalar bile popülasyonun belirtilen sınırlar içinde tutulması gerekmektedir.

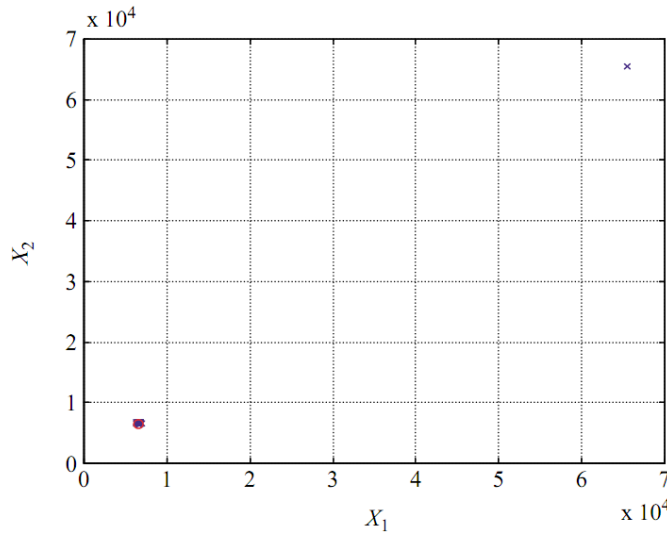
Bir optimizasyon yöntemi optimum bir noktaya yakınsamalıdır fakat yöntemin aynı zamanda global yöntem olarak sınıflandırılabilmesi için arama uzayında azalan olasılıkla farklı noktalar içermesi gereklidir. Yani biraz daha açıklamak gerekirse yeni oluşturulan bireylerin çoğu, optimum nokta etrafında olmalıdır ancak az bir

kısmı da uzayın geri kalan bölgesine yayılmalıdır. İterasyon sayısı arttıkça optimum noktanın uzağında oluşturulan bireylerin sayısı azalmalıdır.

Şekil 5.3'te ve Şekil 5.4'te BPBÇ algoritması kullanılarak Rosenbrock fonksiyonu üzerinde bireyler 'X' ve ağırlık merkezi de 'O' olmak üzere 4. ve 500. iterasyondan sonra arama uzayında bireylerin ve ağırlık merkezinin yerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.3 : 4. iterasyondan sonra arama uzayında bireylerin yerleşimi



Şekil 5.4 : 500. iterasyondan sonra arama uzayında bireylerin yerleşimi

Şekil 5.3'ten ve Şekil 5.4'ten de anlaşılacağı üzere BPBÇ algoritmasında her zaman ağırlık merkezinden uzakta yeni bir bireyin oluşma ihtimali vardır ve bu ihtimal iterasyon sayısı arttıkça azalmaktadır.

5.3 Bulanık Modelleme Yazılımı

5.3.1 Kurulum

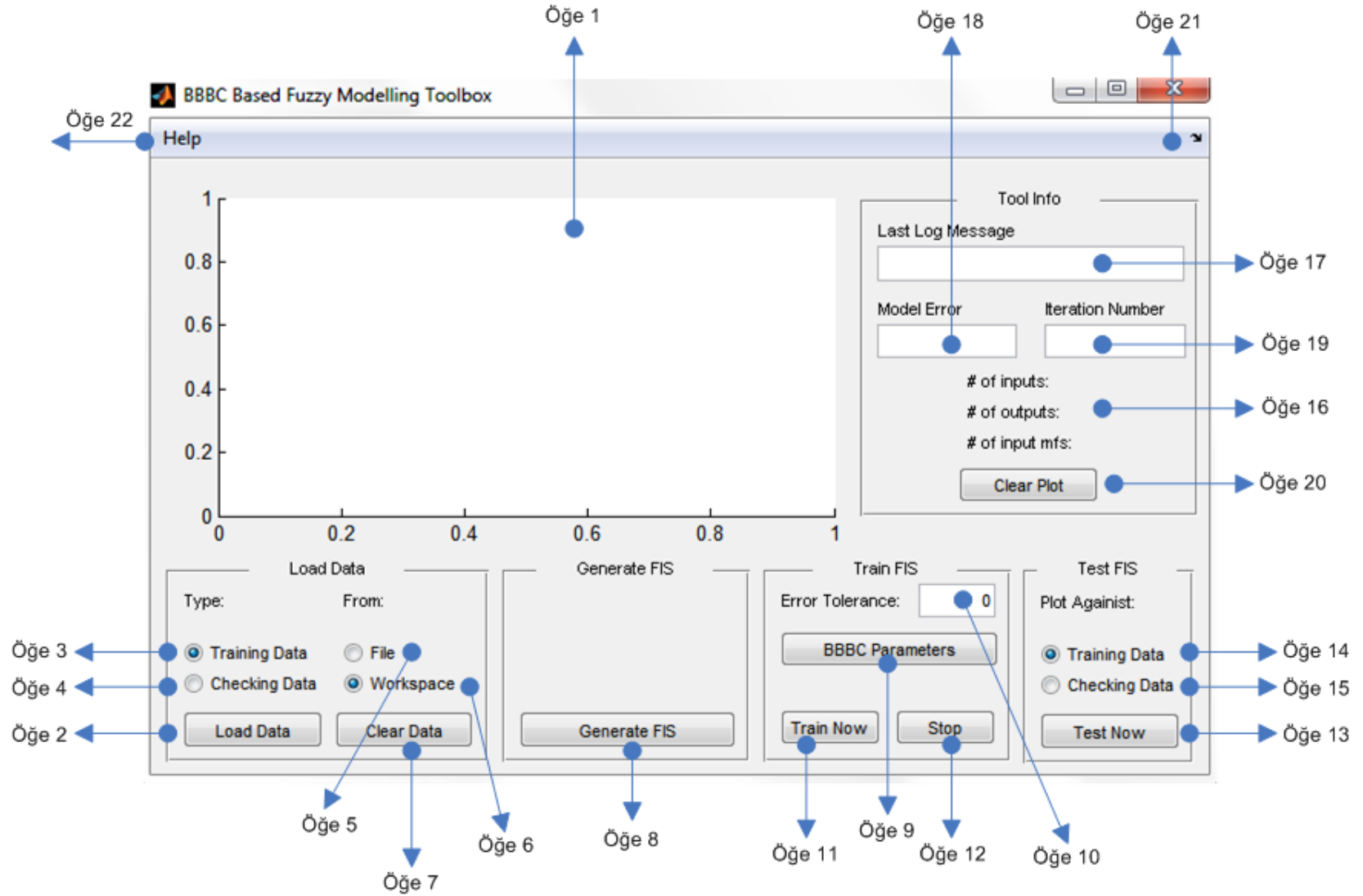
Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı MATLAB programının R2010a sürümünde geliştirilmiştir. R2010a ve sonraki MATLAB sürümlerinde çalışması garanti edilmektedir. Kurulumu basittir ve sistem ayarlarının değiştirilmesine gerek duymaz. Kurulum için aşağıdaki adımların sıra ile uygulanması gerekmektedir.

- “...\MATLAB\toolbox” dizinin altına “fmt” adında yeni bir klasör oluşturulur.
- CD’de bulunan tüm dosyalar yeni oluşturulan “fmt” isimli klasöre kopyalanır.
- MATLAB programı çalıştırılır ve “File → Set Path” bölümüne girilir, “Add with Subfolders...” düğmesine tıklanır ve ilk adımda oluşturulan ana klasör seçilerek onaylanır.
- Komut satırına “fmt” komutu yazılarak BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı çalıştırılır.

5.3.2 Genel tanıtım ve arayüzün kullanılması

Bu bölümde, tasarlanan bulanık modelleme yazılımının ekran görüntüleri verilerek aracın arayüz ekranlarının ve fonksiyonlarının nasıl kullanılacağı anlatılacaktır.

Şekil 5.5’te yazılım arayüzünün ekran görüntüsü verilmiştir ve arayüzün işlevsel öğeleri numaralarla belirtilmiştir. İşlevsel öğelerin açıklamaları Şekil 5.5’ten sonra ayrıntılı biçimde verilmektedir.



Şekil 5.5 : BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı arayüz ekran görüntüsü

Şekil 5.5'te belirtilen ekran öğelerinin ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki madde işaretlerinde yapılmaktadır.

- 1. Öğе (Grafik Ekranı): Grafik ekranında üç farklı gösterme işlemi yapılır. Bunlar:

Modelleme işlemine hazırlık aşamasında kullanıcı, yazılıma, çalışma alanından (workspace) veya bir *.dat dosyasından sisteme ait giriş – çıkış verilerini yüklemek zorundadır. Yazılıma veriler yüklendikten sonra grafik ekranın *X* ekseninde sistemden toplanan verinin numarası, *Y* ekseninde de o veri numarasına ait sistem çıkışının değeri gösterilir.

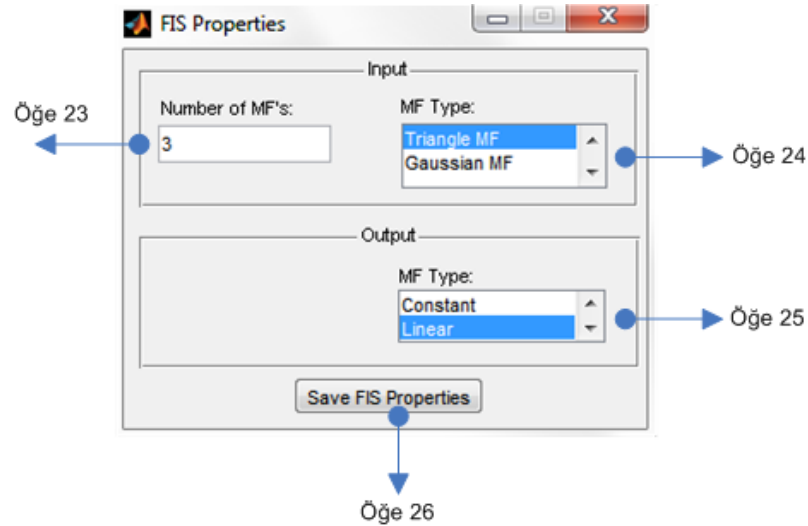
Modelleme aşamasında, grafik ekranın *X* ekseninde iterasyon sayısı, *Y* ekseninde de model çıkışının gerçek sistem çıkışına yakınsama hatasının RMS değeri gösterilir.

Modelleme bittikten sonra, eğer istenirse üretilen bulanık model eğitim veya doğrulama verileri ile test edilebilir. Test aşamasında sistem çıkışı ile model çıkışı üst üste gösterilir. Grafik ekranın *X* ekseninde sistemden toplanan verinin numarası, *Y* ekseninde de o veri numarasına ait sistem çıkışının (mavi renk baklava şekiller) ve model çıkışının (kırmızı renk baklava şekiller) değerleri gösterilir.

- 2. Öğе (Veri Yükleme Düğmesi): Bu düğme, yazılıma veri yüklenmesini sağlar. Yüklenecek olan verilerin formatı 5.3.3 bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.
- 3. Öğе (Eğitim Verisi): Yazılıma eğitim verisi yüklenecek ise bu seçim düğmesi işaretlenmelidir.
- 4. Öğе (Doğrulama Verisi): Yazılıma doğrulama verisi yüklenecek ise bu seçim düğmesi işaretlenmelidir.
- 5. Öğе (Dosyadan Veri): Yazılıma dosyadan veri yüklenecek ise bu seçim düğmesi işaretlenmelidir.
- 6. Öğе (Çalışma Alanından Veri): Yazılıma çalışma alanından veri yüklenecek ise bu seçim düğmesi işaretlenmelidir.
- 7. Öğе (Veri Temizleme Düğmesi): Yazılıma yüklenmiş olan eğitim ve doğrulama verilerinin silinmesini sağlar.

- 8. Öge (FIS Oluşturma Düğmesi): Bu düğme, bulanık modelin FIS parametrelerinin değiştirilebilmesi için yeni bir ekran açılmasını sağlar. Bu ekran Şekil 5.6'da gösterilmekte ve ekran öğelerinin ayrıntılı açıklaması Şekil 5.6'dan sonra verilmektedir.
- 9. Öge (BPBÇ Parametreleri Giriş Düğmesi): Bu düğme optimizasyon yöntemi parametrelerinin değiştirilebilmesi için yeni bir ekran açılmasını sağlar. Bu ekran Şekil 5.7'de gösterilmekte ve ekran öğelerinin ayrıntılı açıklaması Şekil 5.7'den sonra verilmektedir.
- 10. Öge (Hata Toleransı): Bulanık model işlemini sonlandıran parametrelerden biri olan hata toleransının girildiği yerdir. Modelleme işlemi devam ederken girilen hata değerine ulaşıldığında işlem otomatik olarak sonlandırılır. Eğer hata toleransı 0 olarak girilirse modelleme işlemi girilen iterasyon sayısı kadar çalışır ve sonrasında modelleme işlemi sonlandırılır.
- 11. Öge (Modellemeyi Başlatma Düğmesi): Bulanık model oluşturma işlemini başlatır.
- 12. Öge (Modellemeyi Durdurma Düğmesi): Bulanık model oluşturma işlemini sonlandırır. Sonlandırma işlemi sonrasında da bulanık model dosyası oluşturulur.
- 13. Öge (Test Düğmesi): Seçilen test tipine göre, oluşturulan bulanık modelin test işlemini başlatır.
- 14. Öge (Eğitim Verileri ile Test): Testin eğitim verileri ile yapılacağını belirtmek için kullanılır.
- 15. Öge (Doğrulama Verileri ile Test): Testin doğrulama verileri ile yapılacağını belirtmek için kullanılır.
- 16. Öge (FIS Yapısı): Bu bölümde bulanık modelin FIS yapısı gösterilir. İlk satır bulanık modelin giriş sayısını, ikinci satır çıkış sayısını ve üçüncü satır da giriş üyelik fonksiyonu sayısını belirtir.
- 17. Öge (Son Döküm Mesajı): Bu yazı kutusunda sistemde oluşan dökümler veya hatalar mesaj olarak kullanıcıya bildirilir. Bu bölümde gösterilecek olan mesajların ayrıntılı açıklamaları 5.3.5 bölümünde verilmiştir.

- 18. Öge (Model Hatası): Modelleme işlemi devam ederken bu yazı kutusunda güncel iterasyona ait bulanık model çıkışının gerçek sistem çıkışına yakınsama hatasının RMS değeri gösterilir.
- 19. Öge (İterasyon Numarası): Modelleme işlemi devam ederken bu yazı kutusunda güncel iterasyon numarası gösterilir.
- 20. Öge (Grafik Temizleme Düğmesi): Bu düğme grafik ekranında gösterilen grafiğin silinmesini sağlar.
- 21. Öge (MATLAB Arayüzüne Kilitlenme): Bu düğmeye basıldığında bulanık modelleme yazılımının kullanıcı grafik arayüzü MATLAB'ın arayüzüne kilitlenir ve bütün öğeler yeniden boyutlandırılır.
- 22. Öge (Yardım): MATLAB yardım dosyasının açılmasını sağlar.



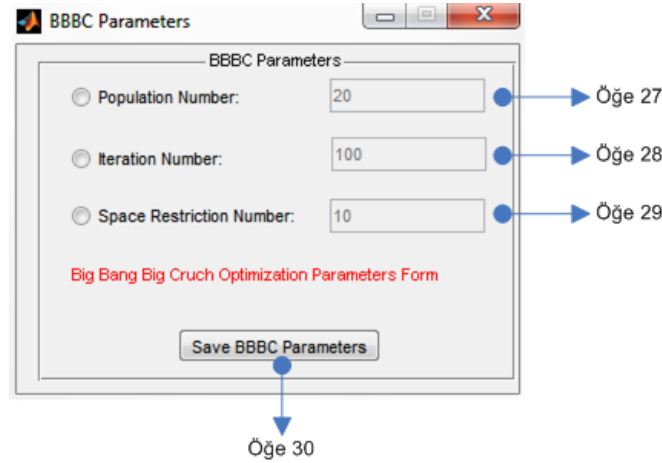
Şekil 5.6 : FIS oluşturma ekranı görüntüsü

Şekil 5.6'da belirtilen ekran öğelerinin ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki madde işaretlerinde yapılmaktadır.

- 23. Öge (Giriş Üyelik Fonksiyonu Sayısı): Giriş üyelik fonksiyonu sayısının girilmesini sağlar. ÇGTÇ sistemlerde her bir giriş için ayrı giriş üyelik fonksiyonu sayısı tanımlanamamaktadır. Bu sebeple her bir giriş için giriş üyelik fonksiyonu sayısı aynı (yazı kutusuna girilen değer) olmalıdır. Ayrıca, giriş üyelik fonksiyonu sayısı ikiden büyük olmalıdır.
- 24. Öge (Giriş Üyelik Fonksiyonu Tipi): Giriş üyelik fonksiyonu tipinin seçilmesini sağlar. ÇGTÇ sistemlerde her bir giriş için ayrı giriş üyelik

fonksiyonu tipi tanımlanamamaktadır. Bu sebeple her bir giriş için giriş üyelik fonksiyonu tipi aynı (seçim kutusunda seçilen tip) olmalıdır. Bulanık modelleme aracının bu versiyonunda üçgen ve gauss tipi giriş üyelik fonksiyonları olmak üzere iki farklı giriş üyelik fonksiyonu tipi seçilebilmektedir.

- 25. Öğe (Çıkış Üyelik Fonksiyonu Tipi): Çıkış üyelik fonksiyonu tipinin seçilmesini sağlar. Sabit ve doğrusal olmak üzere iki farklı çıkış üyelik fonksiyonu tipi seçilebilmektedir.
- 26. Öğe (FIS Parametrelerini Kaydetme Düğmesi): Bu düğme, ekranda girilen değerlerin kaydedilip ana ekrana dönülmesini sağlar.



Şekil 5.7 : BPBÇ parametreleri ekran görüntüsü

Şekil 5.7’de belirtilen ekran öğelerinin ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki madde işaretlerinde yapılmaktadır.

- 27. Öğe (Popülasyon Sayısı): BPBÇ algoritması için popülasyon sayısının girilmesini sağlar. Yazı kutusuna değer girmek için seçim düğmesinin aktif edilmesi gerekmektedir.
- 28. Öğe (İterasyon Sayısı): BPBÇ algoritması için iterasyon sayısının girilmesini sağlar. Yazı kutusuna değer girmek için seçim düğmesinin aktif edilmesi gerekmektedir.
- 29. Öğe (Arama Uzayı Daraltma Katsayısı): BPBÇ algoritması için arama uzayı daraltma katsayısının girilmesini sağlar. Yazı kutusuna değer girmek için seçim düğmesinin aktif edilmesi gerekmektedir.

- 30. Öge (BPBÇ Parametrelerini Kaydetme Düğmesi): Bu düğme, ekranda girilen değerlerin kaydedilip ana ekrana dönülmesini sağlar.

5.3.3 Veri dosyaları

Sistemden toplanan veri dosyalarının formatı yazılım için önemlidir çünkü yazılım belli bir formattaki verileri işleyebilmektedir. Kullanıcı, belli bir örnekleme periyodu ile bir sistemden n adet veri toplamış olsun. $(k - 1)$ girişli 1 çıkışlı bu sistemin bulanık modelleme yazılımında işlem görebilmesi için $(n \times k)$ boyutlu bir matris olan veri Şekil 5.8'deki yapıda olmalıdır. Koyu çerçeveye alınmayan bölgeler veri yapısına açıklama amaçlı eklenmiştir.

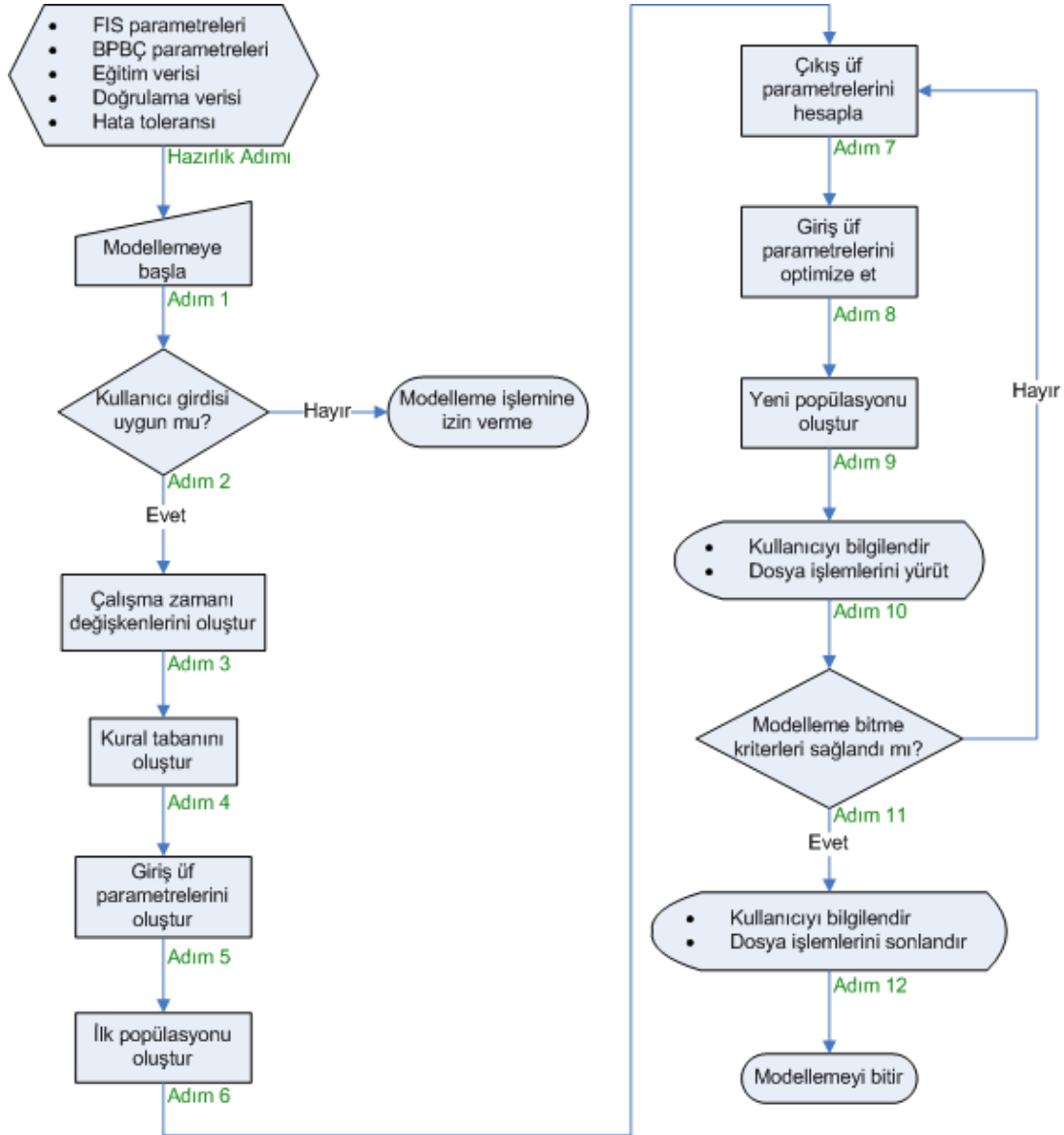
		Girişler				Çıkış
		Sütun 1 Giriş 1	Sütun 2 Giriş 2	...	...	Sütun 'k' Çıkış
Giriş - Çıkış Veri Sayısı	Satır 1					
	Satır 2					
	Satır 3					
	Satır 4					
	...					
	...					
	...					
	...					
	Satır 'n'					

Şekil 5.8 : Bulanık modelleme yazılımı veri formatı

Kullanıcı, Şekil 5.8'de verilen veri tipini kullanarak ister dosyadan (*.dat formatında) isterse de çalışma alanından yazılıma sistemden topladığı giriş – çıkış verisini yükleyebilir.

5.3.4 Bulanık modelleme

Tasarlanan yazılım ile bir sistemin bulanık modeli Şekil 5.9'daki algoritma kullanılarak üretilmektedir. Şekil 5.9'dan sonra akış diyagramında gösterilen adımların önce açıklamaları, sonra da varsa akış diyagramları ve içerdiği fonksiyonların tablo halindeki tanımları ayrıntılı biçimde verilmiştir. Ayrıca bu bölümde isimleri geçecek olan ve yazılım tasarımı kapsamında oluşturulan fonksiyonların kaynak kodları EK A'da bulunmaktadır.



Şekil 5.9 : Bulanık modelleme işlemi akış diyagramı

Şekil 5.9’da belirtilen algoritma adımlarının ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki madde işaretlerinde yapılmaktadır.

- **Hazırlık Adımı:** Modelleme işlemine hazırlık aşamasıdır. Modelleme işleminin sorunsuz çalışabilmesi için FIS parametrelerinin, BPBÇ parametrelerinin, eğitim verisinin ve hata toleransının doğru bir biçimde girilmesi gerekmektedir. Yapılan işlemlerin doğrulukları her zaman kontrol edilmekte ve sonuçları kullanıcıya arayüzdeki mesaj kutusu ile bildirilmektedir.

Modelleme işleminden sonra doğrulama verisi kullanılarak üretilen bulanık model test edilecekse, herhangi bir adımda doğrulama verisi bulanık modelleme yazılımına yüklenmelidir.

- 1. Adım (Modellemeye Başlama): Kullanıcının modellemeye başlama düğmesine basma adımıdır. Kullanıcı modellemeyi başlatırsa algoritma bir sonraki adıma geçer.
- 2. Adım (Kullanıcı Verilerinin Kontrolü): Bu adımda bulanık modelleme işleminin başlayabilmesi için gereken verilerin girilip girilmediği kontrol edilir. Eğer modelleme işlemi için gerekip de kullanıcı tarafından girilmemiş bir veri varsa kullanıcı hata mesajı ile bilgilendirilir. Çizelge 5.2’de modelleme işleminin başlayabilmesi için kontrolün yapıldığı fonksiyonun bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 5.2 : Kullanıcının girdiği verilerin kontrol edildiği fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>control_user_data_entry</i>
Parametre 1:	Çalışma zamanı verileri
Dönüş Değeri:	Kontrol sonucu
Açıklama:	Kullanıcının FIS parametrelerini, BPBÇ parametrelerini, hata toleransını ve eğitim verisini doğru girip girmediği kontrol edilir. Kontrol sonucunda kullanıcının eksik veri girmediği görülürse fonksiyon sonucu “1”, aksi takdirde “0” döndürülür.

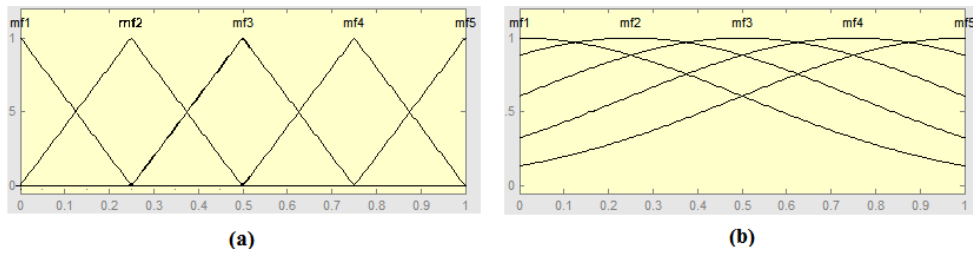
- 3. Adım (Kullanıcı Verilerinin Anlamlandırılması): Bu adımda kullanıcının arayüzden girdiği veriler bulanık modelleme yazılımı için anlamlı hale getirilir.
- 4. Adım (Kural Tabanının Oluşturulması): Bu adımda giriş üyelik fonksiyonu sayısı ve veri toplanan sistemin giriş sayısı kullanılarak permütasyon fonksiyonu ile kural tabanı oluşturulur. Kural tabanı oluşturma fonksiyonunun bilgileri Çizelge 5.3’te yer almaktadır.

Çizelge 5.3 : Kural tabanının oluşturulduğu fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>npermutek</i>
Parametre 1:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 2:	Sistemin giriş sayısı
Dönüş Değeri:	Kural tabanı
Açıklama:	Fonksiyona giren iki parametre kullanılarak mümkün olabilen tüm kural kombinasyonları üretilir.

- 5. Adım (Giriş Üyelik Fonksiyonu Parametrelerine İlk Değerlerinin Verilmesi): Bu adımda giriş üyelik fonksiyonu parametrelerine ilk değerler verilir. Giriş üyelik fonksiyonu parametreleri için minimum ve maksimum

değerler sistemden toplanan giriş verilerinin minimum ve maksimum değerleridir. İlk değeri verilecek olan giriş üyelik fonksiyonu üçgen tipinde ise giriş uzayı eşit parçalara bölünür ve her üçgen üyelik fonksiyonun tepe noktası uzayın eşit uzaklıktaki kısımlarında yer alır. Aynı durum gauss tipi üyelik fonksiyonları için de geçerlidir, tek fark ek olarak gauss tipi üyelik fonksiyonlarının standart sapma değerleri ilk değerler olarak 0,5 atanmasıdır. Şekil 5.10'da giriş üyelik fonksiyonu sayısı 5 olan bir sistem için hem üçgen tipinde hem de gauss tipindeki giriş üyelik fonksiyonlarına ilk değerlerin verilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.10 : Üçgen ve gauss tipli giriş ÜF'leri için ilk değerler

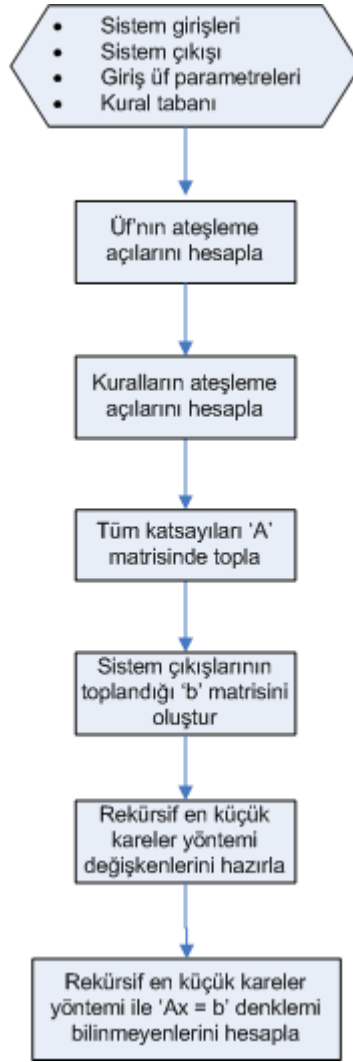
- 6. Adım (İlk Popülasyonun Oluşturulması): İlk popülasyonun oluşturulduğu adımdır. Popülasyonun sınır değerleri sistemden toplanan giriş verilerinin minimum ve maksimum değerleridir. İlk popülasyon, sınır değerler arasında arayüzden girilen popülasyondaki birey sayısı kadar rastgele bireylerin oluşturulması ile hazırlanır. Çizelge 5.4'te ilk popülasyonun oluşturulduğu fonksiyonun bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 5.4 : İlk popülasyonun oluşturulduğu fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>init_population</i>
Parametre 1:	Popülasyonun sınır değerleri
Parametre 2:	Optimize edilecek parametre sayısı
Parametre 3:	Popülasyondaki birey sayısı
Parametre 4:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 5:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Parametre 6:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 7:	Sistem girişleri
Parametre 8:	Sistem çıkışı
Dönüş Değeri:	İlk popülasyon
Açıklama:	Fonksiyona giren sekiz parametre kullanılarak ilk popülasyon için rastgele bireyler üretilir.

- 7. Adım (Çıkış Üyelik Fonksiyonu Parametrelerinin Hesaplanması): Çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin hesaplandığı adımdır. Öncelikle, sistemin

girişleri ve bulanık modelin giriş üyelik fonksiyonu parametreleri kullanılarak her bir giriş için o giriş ile ilgili bütün giriş üyelik fonksiyonlarının ateşleme açıları hesaplanır. Ardından, bu ateşleme açıları kullanılarak ve metodu ile kural tabanında tanımlı her kuralın ne kadar ateşlendiği hesaplanır. Kural tabanında bulunan her kuralın da o an ki giriş değerleri için ateşleme açıları bilindiğinden, bilinmeyen çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri bir x matrisi, kuralların ateşleme açılarının bulunduğu katsayılar bir A matrisi ve son olarak da sistemden toplanan çıkış verileri de bir b matrisi biçiminde ifade edilir. $Ax = b$ şeklindeki denklem takımının çözümü, çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin değeri olacaktır. Tez kapsamında bu denklem takımının çözüm yöntemi yinelemeli en küçük kareler yöntemi olarak belirlenmiş ve çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri bu yöntem ile hesaplanmıştır. Anlatılanların daha rahat anlaşılması açısından çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan algoritmanın akış şeması Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



Şekil 5.11 : Çıkış ÜF parametrelerini hesaplama algoritması

Bulanık modelin çıkış üyelik fonksiyonlarının hesaplanmasında altı ayrı fonksiyon bulunmaktadır. Bu fonksiyonların bilgileri Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Çizelge 5.8, Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da ayrıntılı biçimde verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Çıkış ÜF parametrelerini hesaplayan üst fonksiyon bloğu

Fonksiyon adı:	<i>output_mf_fitting</i>
Parametre 1:	Giriş üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 2:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 3:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 4:	Sistem girişleri
Parametre 5:	Sistem çıkışı
Parametre 6:	Sistemden toplanan veri sayısı
Parametre 7:	Kural sayısı
Parametre 8:	Çıkış üyelik fonksiyonu tipi (sabit veya doğrusal)
Parametre 9:	Denklemler çözüm yöntemi
Parametre 10:	Kural tabanı
Parametre 11:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Dönüş Değeri:	Çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri
Açıklama:	Fonksiyona giren parametreler kullanılarak çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri hesaplanır. Bu fonksiyonun içerisinde <i>calculate_firing_angles</i> , <i>calculate_firing_strengths</i> , <i>calculate_coef_matrix</i> , <i>init_rls</i> ve <i>rls</i> fonksiyonları da çağırılmaktadır.

Çizelge 5.6 : Giriş ÜF'lerin ateşleme açılarının hesaplandığı fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>calculate_firing_angles</i>
Parametre 1:	Giriş üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 2:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 3:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 4:	Sistem girişleri
Parametre 5:	Sistemden toplanan veri sayısı
Parametre 6:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Dönüş Değeri:	Üyelik fonksiyonu ateşleme açıları
Açıklama:	Fonksiyona giren altı parametre kullanılarak her bir giriş için tüm ilgili giriş üyelik fonksiyonlarının ateşleme açıları hesaplanır.

Çizelge 5.7 : Kuralların ateşleme açılarının hesaplandığı fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>calculate_firing_strengths</i>
Parametre 1:	Üyelik fonksiyonu ateşleme açıları
Parametre 2:	Kural tabanı
Parametre 3:	Sistemden toplanan veri sayısı
Parametre 4:	Kural sayısı
Parametre 5:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 6:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Dönüş Değeri:	Kuralların ateşleme açıları
Açıklama:	Fonksiyona giren altı parametre kullanılarak kural tabanında tanımlı her kuralın ateşleme açıları hesaplanır.

Çizelge 5.8 : A matrisinin hesaplandığı fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>calculate_coef_matrix</i>
Parametre 1:	Kuralların ateşleme açıları
Parametre 2:	Sistemden toplanan veri sayısı
Parametre 3:	Sistem girişleri
Parametre 4:	Toplam hesaplanacak çıkış üyelik fonksiyonu parametre sayısı
Parametre 5:	Kural sayısı
Parametre 6:	Bir kuraldaki hesaplanacak çıkış üyelik fonksiyonu parametre sayısı
Dönüş Değeri:	A matrisi
Açıklama:	Fonksiyona giren altı parametre kullanılarak A matrisi hesaplanır.

Çizelge 5.9 : YEKK yöntemi değişkenlerinin ayarlandığı fonksiyon

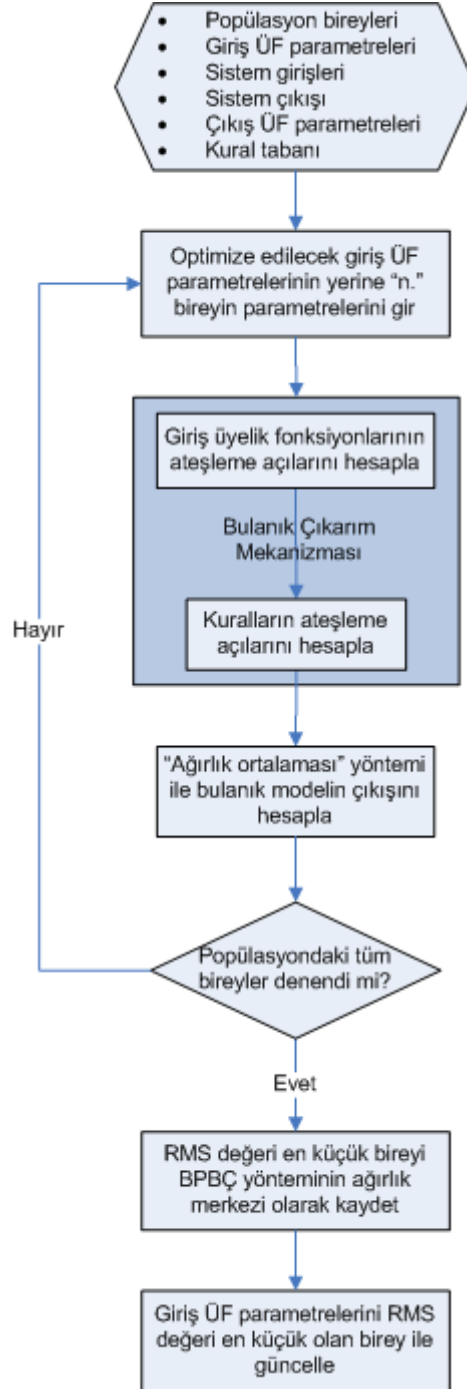
Fonksiyon adı:	<i>init_rls</i>
Parametre 1:	Toplam hesaplanacak çıkış üyelik fonksiyonu parametre sayısı
Parametre 2:	Sigma değeri
Dönüş Değeri:	-
Açıklama:	Yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile denklem takımının çözümünde kullanılacak olan ara değişkenler ayarlanır.

Çizelge 5.10 : Çıkış ÜF parametrelerinin hesaplandığı temel fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>rls</i>
Parametre 1:	A ve b matrisi
Parametre 2:	Sigma değeri
Dönüş Değeri:	Çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri
Açıklama:	Bu fonksiyonun dönüş değeri ufak bir düzenleme ile <i>output_mf_fitting</i> fonksiyonunun geri dönüş değerine atanır ve <i>rls</i> fonksiyonunun çalışıp bitmesi ile <i>output_mf_fitting</i> üst fonksiyon bloğunun da işi bitmiş olur.

- 8. Adım (Giriş Üyelik Fonksiyonu Parametrelerinin Optimizasyonu): Bu adımda, önceki adımlarda oluşturulmuş olan popülasyon bireyleri sıra ile optimize edilecek giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin yerlerine koyulur ve tüm sistem girişleri için bulanık model çıkışları hesaplanır. Sistemden toplanan çıkış verileri ile her bir bireyin sıra ile oluşturduğu model çıkışları arasındaki farkın RMS değerleri hesaplanır. Bu işlemlerden sonra RMS değeri en küçük olan birey, popülasyonun en iyi bireyi ve BPBÇ algoritmasının ağırlık merkezi olarak belirlenir. Son olarak giriş üyelik

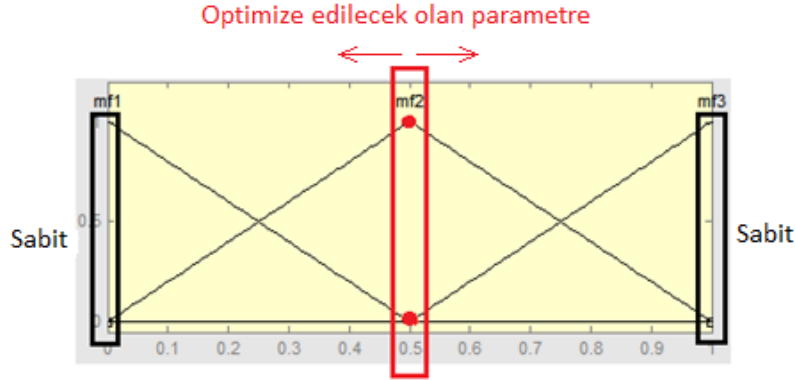
fonksiyonu parametreleri en iyi bireyin verileri kullanılarak güncellenir. Bu adımın akış şeması Şekil 5.12’de gösterilmektedir.



Şekil 5.12 : Giriş ÜF parametreleri optimizasyon algoritması

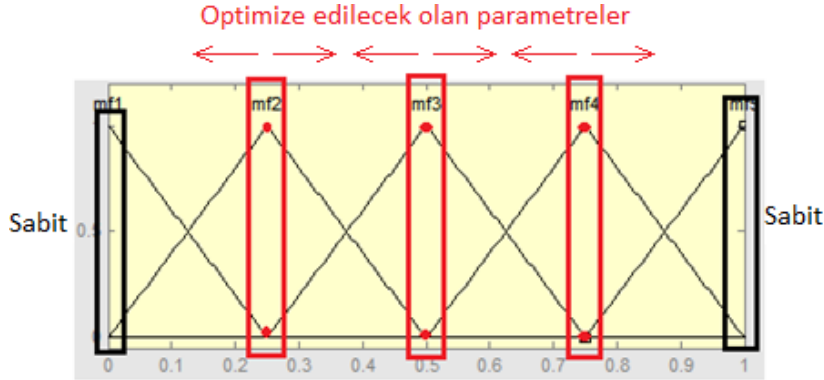
Giriş üyelik fonksiyonu tipi üçgen olduğu durumlarda optimize edilecek parametrenin oluşabilmesi için minimum giriş üyelik fonksiyonu sayısı 3 olmalıdır çünkü ardışık üçgenlerin iki parametresi ortak olduğundan (%50 overlapped) 2 üyelik fonksiyonu ile optimize edilebilecek parametre oluşamamaktadır. Üyelik fonksiyonu sayısı 3 olduğunda sadece ortada

bulunan üçgen üyelik fonksiyonunun tepe noktası (ilk üçgen üyelik fonksiyonunun sağ bacağı veya son üçgen üyelik fonksiyonunun sol bacağı) optimize edilmektedir. Bu durum Şekil 5.13'ten bakılarak daha rahat anlaşılabilir.



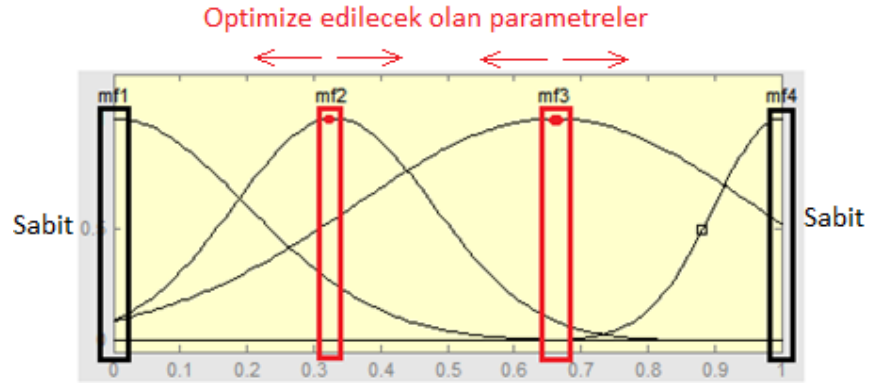
Şekil 5.13 : Giriş ÜF sayısı üç olduğunda optimize edilecek olan parametre (üçgen tipi ÜF)

Giriş üyelik fonksiyonu sayısı 5 olduğunda optimize edilecek olan parametreler Şekil 5.14'ten görülebilir.



Şekil 5.14 : Giriş ÜF sayısı beş olduğunda optimize edilecek olan parametreler (üçgen tipi ÜF)

Bütün durumlar giriş üyelik fonksiyonu tipi gauss olan üyelik fonksiyonları için de geçerlidir. Yani gauss tipi üyelik fonksiyonlarının orta noktaları aynı üçgen tipi üyelik fonksiyonlarında olduğu gibi ayarlanır ancak ek olarak gauss tipi üyelik fonksiyonlarının standart sapma değerleri ters gauss operasyonu ile hesaplanır. Giriş üyelik fonksiyonu sayısı 4 ve giriş üyelik fonksiyonu tipi gauss olan durum için optimize edilmesi gereken parametreler Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : Giriş ÜF sayısı dört olduğunda optimize edilecek olan parametreler (gauss tipi ÜF)

Bulanık modelin giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin optimize edilmesinde iki ana fonksiyon çalışmaktadır. Bu fonksiyonların bilgileri Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Giriş ÜF parametrelerinin optimize edildiği üst fonksiyon bloğu

Fonksiyon adı:	<i>input_mf_optimization</i>
Parametre 1:	Popülasyon
Parametre 2:	Optimize edilecek parametre sayısı
Parametre 3:	Giriş üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 4:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 5:	Sistemden toplanan veri sayısı
Parametre 6:	Sistem çıkışı
Parametre 7:	Sistem girişleri
Parametre 8:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 9:	Popülasyondaki birey sayısı
Parametre 10:	Kural sayısı
Parametre 11:	Kural tabanı
Parametre 12:	Çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 13:	Çıkış üyelik fonksiyonu tipi (sabit veya doğrusal)
Parametre 14:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Dönüş Değeri:	Tüm bireyler için hatanın RMS değeri, en iyi bireyin popülasyondaki sırası, en iyi bireyin hatasının RMS değeri ve giriş üyelik fonksiyonu parametreleri
Açıklama:	Fonksiyona giren parametreler kullanılarak giriş üyelik fonksiyonu parametreleri optimize edilir. Bu fonksiyonun içerisinde <i>fie</i> fonksiyonu çağırılmaktadır.

Çizelge 5.12 : Bulanık çıkarım mekanizması fonksiyonu

Fonksiyon adı:	<i>fie</i>
Parametre 1:	Sistem girişleri
Parametre 2:	Popülasyon
Parametre 3:	Sistemden toplanan veri sayısı
Parametre 4:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 5:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 6:	Kural sayısı
Parametre 7:	Kural tabanı
Parametre 8:	Çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 9:	Çıkış üyelik fonksiyonu tipi (sabit veya doğrusal)
Parametre 10:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Dönüş Değeri:	Model çıkışı
Açıklama:	Fonksiyona giren parametreler kullanılarak bulanık modelin çıkışı hesaplanır.

- 9. Adım (Yeni Bireylerin Oluşturulması): Bu adım yönteme ismini veren *Büyük Patlama Büyük Çöküş* algoritmasının işletildiği adımdır. Bu adımda, önceki adımda bulunan en iyi birey etrafında 5.2 bölümünde anlatılan algoritmaya bağlı olarak yeni bireyler oluşturulur. Popülasyonun belli bir sınır aralığında oluşturulması gerektiğinden sınırların dışında oluşan bireyler popülasyonun dışına itilir ve yerlerine yeni sağlıklı bireyler oluşturulur. Bu adımın işletilmesi için modifiye edilen BPBÇ algoritması fonksiyonunun bilgileri Çizelge 5.13'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.13 : BPBÇ algoritması fonksiyonu

Fonksiyon adı:	<i>bbbcf</i>
Parametre 1:	Bir önceki popülasyon
Parametre 2:	Tüm bireyler için hatanın RMS değeri
Parametre 3:	Popülasyon sınırları
Parametre 4:	Optimize edilecek olan parametre sayısı
Parametre 5:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 6:	Popülasyondaki birey sayısı
Parametre 7:	O an ki iterasyon sayısı
Parametre 8:	Arama uzayı daraltma katsayısı
Parametre 9:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Parametre 10:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 11:	Sistem girişleri
Parametre 12:	Sistem çıkışı
Dönüş Değeri:	Yeni popülasyon
Açıklama:	Fonksiyona giren parametreler kullanılarak en iyi birey etrafında yeni popülasyon üretilir.

- 10. Adım (Arayüz Güncellemeleri ve Dosya İşlemleri): Bu adımda arayüz güncellemeleri ve dosya işlemleri yapılır. Arayüzün grafik ekranında modelleme işlemi sırasında gösterilen iterasyon sayısı – modelleme hatası grafiği, hata değeri ve iterasyon sayısı yazı kutusundaki değerler o an ki çalışma verilerine göre güncellenir.

Ayrıca modelleme işlemi sonucunda oluşturulan döküm dosyasının ilgili iterasyondaki içeriği de yine bu adımda doldurulur.

- 11. Adım (Modelleme Durdurma Kriterlerinin Kontrolü): Bu adımda modelleme işleminin sonlandırılması gerekip gerekmediği kontrol edilir. Modelleme işleminin sonlanabilmesi için üç olaydan birinin oluşması gerekmektedir. Bunlar, güncel modelleme hatasının girilen değerin altına düşmesi, güncel iterasyon sayısının girilen iterasyon sayısına ulaşılması veya kullanıcının modelleme işlemini sonlandırma tuşuna basması olaylarıdır. Modelleme işleminin sonlanması gerekiyorsa bir sonraki adıma geçilir, devam etmesi gerekiyorsa da çıkış üyelik fonksiyonu parametrelerinin hesaplanma adımına geri dönülerek yeni bir iterasyon başlatılır.
- 12. Adım (Modellemenin Sonlanması): Bu adımda modellemenin bittiği veya durdurulduğu kullanıcıya mesaj ekranından bildirilir ve ardından döküm ve model dosyaları üretilir.

Döküm dosyasının içeriği zaten iterasyonlar boyunca doldurulmuştu. Bu adımda sadece dosyanın kapatılması için gereken MATLAB fonksiyonu çağrılır ve dosyanın düzgün olarak kaydedilebilmesi sağlanır.

Model dosyası ise tam olarak bu adımda üretilir çünkü tüm iterasyonlar boyunca *.fis dosyasının üretilmesi için gereken değerler değişmektedir. Model dosyasının üretilmesi için çağrılan fonksiyonun bilgileri Çizelge 5.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.14 : Model dosyasının üretilmesi için çağrılan fonksiyon

Fonksiyon adı:	<i>generate_fis_file</i>
Parametre 1:	Popülasyon sınır değerleri
Parametre 2:	Sistemin giriş sayısı
Parametre 3:	Kural sayısı
Parametre 4:	Giriş üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 5:	Çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri
Parametre 6:	Giriş üyelik fonksiyonu sayısı
Parametre 7:	Çıkış üyelik fonksiyonu tipi (sabit veya doğrusal)
Parametre 8:	Kural tabanı
Parametre 9:	Sistem çıkışı
Parametre 10:	Giriş üyelik fonksiyonu tipi
Dönüş Değeri:	-
Açıklama:	Fonksiyona giren parametreler kullanılarak bulanık model dosyası üretilir.

5.3.5 Uyarı, bilgilendirme ve hata mesajları

Kullanıcının bulanık modelleme yazılımını kullanırken yaptığı hatalar, yazılımın bilgilendirme ve uyarı mesajları kullanıcıya 5.3.2 bölümünde tanıtılan on yedinci öğe vasıtası ile bildirilir. Aşağıda, bahsi geçen mesajlar ve mesajların açıklamaları ayrıntılı biçimde verilmektedir.

- “*BBBC properties saved.*” (*BPBÇ parametreleri kaydedildi.*): BPBÇ parametrelerinin başarılı bir şekilde kayıt edildiği durumda bu bilgilendirme mesajı verilir.
- “*BBBC properties not saved.*” (*BPBÇ parametreleri kaydedilemedi.*): Kullanıcının BPBÇ parametrelerini girmeden modellemeye başlamak istemesi durumunda bu hata mesajı verilir. Hatanın düzeltilmesi için BPBÇ parametrelerinin girilmesi gerekmektedir.
- “*Edit fields can’t be null, string or char. It must be integer type.*” (*Yazı kutuları boş bırakılamaz, yazı kutularına karakter veya cümle yazılamaz. Yazı kutularına rakam girilmelidir.*): Yazı kutusu alanlarına cümle veya harf yazılamaz, boş bırakılamaz. Eğer yazı kutusu alanlarına rakamlar dışında bir şey yazılırsa bu hata mesajı verilir.
- “*Training data not saved.*” (*Eğitim verileri kaydedilmedi.*): Kullanıcının eğitim verilerini girmeden modellemeye başlamak istemesi durumunda verilir. Hatanın giderilmesi için eğitim verilerinin girilmesi gerekmektedir.

- “No FIS data saved or loaded.” (FIS parametreleri kaydedilmedi.): Kullanıcının FIS parametrelerini girmeden modellemeye başlamak istemesi durumunda verilir. Hatanın düzeltilmesi için FIS parametrelerinin girilmesi gerekmektedir.
- “Error tolerance edit text is empty.” (Hata toleransı yazı kutusu boş bırakıldı.): Hata toleransı yazı kutusunun boş bırakıldığı durumlarda bu hata mesajı verilir. Hatanın düzeltilmesi için yazı kutusuna hata toleransı değeri ondalıklı bir şekilde girilmelidir.
- “Error tolerance is not a number.” (Hata toleransı yazı kutusuna rakam girilmedi.): Hata toleransı yazı kutusuna harf veya cümle girildiği durumlarda verilir. Hatanın düzeltilmesi için yazı kutusuna hata toleransı değeri ondalıklı bir şekilde girilmelidir.
- “FIS properties saved.” (FIS parametreleri kaydedildi.): FIS parametrelerinin başarılı bir şekilde kayıt edildiği durumda bu bilgilendirme mesajı verilir.
- “Number of MS’s must be integer type.” (Giriş üyelik fonksiyonu sayısı yazı kutusuna rakam girilmelidir.): Giriş üyelik fonksiyonu sayısının girildiği yazı kutusuna harf veya cümle girildiğinde veya boş bırakıldığında bu hata mesajı verilir. Hatanın düzeltilmesi için yazı kutusuna ikiden büyük bir sayı, rakamlar kullanılarak girilmelidir.
- “Null training data in edit field.” (Yazı kutusu alanı eğitim verisi için boş bırakıldı.): Eğitim verisi girme ekranında yazı kutusunun boş bırakılıp veri girmenin onaylandığı durumlarda bu hata mesajı verilir. Hatanın giderilmesi için yazı kutusuna 5.3.3 bölümünde verilen formatta bir veri kümesini içeren bir değişken ismi girilmelidir.
- “Unknown training data in edit field.” (Yazı kutusunda bilinmeyen eğitim verisi.): Eğitim verisi girme ekranında yazı kutusuna format dışı bir değer içeren değişken ismi girildiğinde bu hata mesajı verilir. Hatanın giderilmesi için yazı kutusuna 5.3.3 bölümünde verilen formatta bir veri kümesini içeren bir değişken ismi girilmelidir.
- “Training data saved.” (Eğitim verisi kaydedildi.): Eğitim verisinin başarılı bir şekilde kayıt edildiği durumda bu bilgilendirme mesajı verilir.

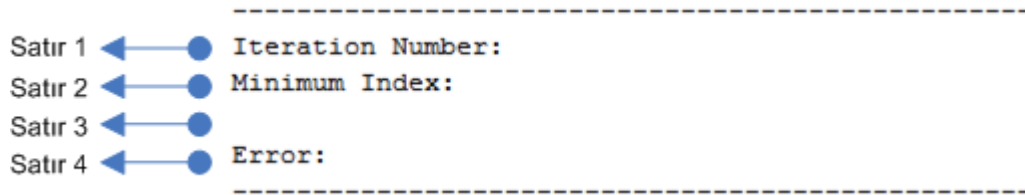
- “Null checking data in edit field.” (Yazı kutusu alanı doğrulama verisi için boş bırakıldı.): Doğrulama verisi girme ekranında yazı kutusunun boş bırakılıp veri girmenin onaylandığı durumlarda bu hata mesajı verilir. Hatanın giderilmesi için yazı kutusuna 5.3.3 bölümünde verilen formatta bir veri kümesini içeren bir değişken ismi girilmelidir.
- “Unknown checking data in edit field.” (Yazı kutusunda bilinmeyen doğrulama verisi.): Doğrulama verisi girme ekranında yazı kutusuna format dışı bir değer içeren değişken ismi girildiğinde bu hata mesajı verilir. Hatanın giderilmesi için yazı kutusuna 5.3.3 bölümünde verilen formatta bir veri kümesini içeren bir değişken ismi girilmelidir.
- “Checking data saved.” (Doğrulama verisi kaydedildi.): Doğrulama verisinin başarılı bir şekilde kayıt edildiği durumda bu bilgilendirme mesajı verilir.
- “Modelling stopped.” (Modelleme durduruldu.): Modellemenin kullanıcı tarafından durdurulduğu durumda bu bilgilendirme mesajı verilir.
- “Modelling finished.” (Modelleme bitti.): Modellemenin otomatik olarak bittiği durumda bu bilgilendirme mesajı verilir.
- “Training and checking data cleared.” (Eğitim ve doğrulama verisi silindi.): Bulanık modelleme yazılımına kaydedilmiş olan eğitim ve doğrulama mesajları silindiğinde bu bilgilendirme mesajı verilir.
- “Training data error is %f.” (Eğitim verisi ile yapılan test hatası: %f): Eğitim verisi kullanılarak yapılan testten elde edilen gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın değeri bu bilgilendirme mesajı ile verilir.
- “No training data or could not read “model.fis” file.” (Eğitim verisi yok veya “model.fis” dosyası okunamadı.): Üretilen modeli eğitim verisi ile test etmek için gereken bulanık model dosyasının veya eğitim verisinin bulunamadığı durumlarda bu hata mesajı verilir. Hatanın giderilmesi için eğitim verisinin tekrardan yüklenip modelleme işleminin yeniden yapılması gerekmektedir.
- “Checking data error is %f.” (Doğrulama verisi ile yapılan test hatası: %f): Doğrulama verisi kullanılarak yapılan testten elde edilen gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın değeri bu bilgilendirme mesajı ile verilir.

- “No checking data or could not read “model.fis” file.” (Doğrulama verisi yok veya “model.fis” dosyası okunamadı.): Üretilen modeli doğrulama verisi ile test etmek için gereken bulanık model dosyasının veya doğrulama verisinin bulunamadığı durumlarda bu hata mesajı verilir. Hatanın giderilmesi için doğrulama verisinin tekrardan yüklenip modelleme işleminin yeniden yapılması gerekmektedir.

5.3.6 Döküm ve model dosyaları

Modelleme işlemi bittikten sonra bulanık modelleme yazılımı kullanıcıya *log.txt* ve *model.fis* isimlerinde olmak üzere iki dosya oluşturur.

Döküm dosyası olan *log.txt* dosyasında tüm iterasyonlar boyunca kaydedilen hatanın RMS değeri, popülasyondaki en iyi birey ve en iyi bireyin sırası yer alır. Böylelikle kullanıcı hangi iterasyonda iyileştirme olduğunu veya iterasyonlardaki en iyi bireylerin nasıl değiştiğini ayrıntılı bir şekilde görebilir. Üretilen döküm dosyasının uzantısı **.txt*’dir ve içeriğinin formatı Şekil 5.16’daki gibidir.



Şekil 5.16 : Döküm dosyası içeriğinin formatı

Şekil 5.16’da gösterilen formatın açıklamaları aşağıdaki madde işaretlerinde yapılmaktadır.

- 1. Satır: İterasyon numarasını belirtir.
- 2. Satır: En iyi bireyin popülasyon içerisindeki sırasını belirtir.
- 3. Satır: En iyi bireyin içeriğini belirtir.
- 4. Satır: Model hatasının RMS değerini belirtir.

Model dosyası ise *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox*’ın standart dosya formatı olan **.fis* yapısındadır ve bu araç ile çalışabilmektedir. Kullanıcı, modelleme işlemi sonrasında üretilen *model.fis* dosyasına hiçbir değişiklik yapmadan *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox* üzerinden erişebilir, müdahale edip dosyayı tekrardan kaydedebilir.

6. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı ve ANFIS programları kullanılarak belli sistemlerden toplanan giriş – çıkış verileri vasıtası ile Takagi – Sugeno tipinde bulanık modeller oluşturulacaktır.

Bulanık model oluşturma işleminde bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri kıstas alınacaktır. Bu bölümdeki amaç tez kapsamında tasarlanan bulanık modelleme yazılımının ve ANFIS'in bulanık model oluşturma işlevlerinin karşılaştırılmasıdır.

Benzetim çalışması öncelikle sistemin seçilip veri sayısı – çıkış değeri grafiğinin verilmesi ile başlar. Ardından bulanık modelleme işlemi için sonlanma kriterinin değeri belirlenir ve seçilen sistemin bulanık model yapısı blok şema halinde verilir. Bundan sonra belirlenen kriterler altında iki araç da kullanılarak verilen giriş – çıkış verisi ile bulanık modeller oluşturulur. Modelleme bittikten sonra her bir aracın bulanık modelleme işlemini bitirme zamanı ve ulaşabildiği hatanın RMS değeri kaydedilir. Ardından hatanın RMS değeri grafiği (sistemin öğrenme grafiği) sunulur ve son olarak da oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri, çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri ve kural tabanı verilir. Giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametrelerinde ilk parametre üçgenin sol bacağına x eksenini kestiği noktayı, ortadaki parametre üçgenin orta noktasını ve son parametre de üçgenin sağ bacağına x eksenini kestiği noktayı belirtmektedir. Çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri için ise sabit tipte sadece bias verilirken, doğrusal tipte son terim bias iken diğer terimler girişlerin katsayıları şeklinde verilmektedir.

İlk benzetim çalışmasında statik bir fonksiyonun, ikinci benzetim çalışmasında birinci mertebeden ölü zamanlı bir sistemin, üçüncü benzetim çalışmasında doğrusal olmayan küresel tank sisteminin ve son benzetim çalışmasında da MATLAB PT326 sisteminin bulanık modellemesi yapılmaktadır.

Benzetimlerin yapıldığı bilgisayarın ve MATLAB programının teknik özellikleri şöyledir:

- İşlemci: Intel® Core™2 Duo CPU T9300 @ 2.50 GHz
- RAM: 3,00 GB
- Sistem türü: 32 bit işletim sistemi
- İşletim sistemi: Windows 7 Professional
- MATLAB sürümü: MATLAB 7.10.0 (R2010a)

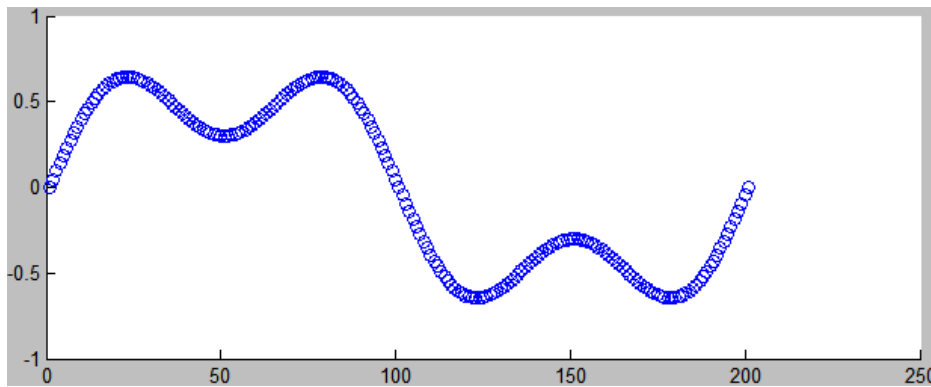
6.1 Statik Fonksiyon Modelleme

6.1.1 Sistem bilgisi

Bulanık modeli çıkarılacak olan statik fonksiyon ifade (6.1)'de verilmektedir.

$$y(t) = 0,3 \sin(3\pi t) + 0,6\sin(\pi t) \quad (6.1)$$

Yukarıdaki fonksiyon kullanılarak MATLAB Simulink ortamından 20 saniye boyunca 0,1 saniye örnekleme zamanı ile giriş – çıkış verisi toplanmıştır. Toplanan veri kümesi kullanılarak sistemin veri sayısı – çıkış değeri grafiği çizilecek olursa Şekil 6.1'deki grafik ortaya çıkar.

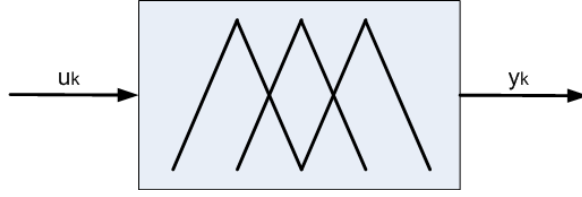


Şekil 6.1 : Statik fonksiyon çıkış verisi

6.1.2 Bulanık modelleme parametreleri

Bulanık modelleme işleminin sonlanma kriteri olan gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri 0,04 olarak belirlenmiştir. Oluşturulacak olan bulanık modelin yapısı Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu şekilde bulanık model girişi u_k , çıkışı da y_k ile sembolize edilmiştir.

Bulanık model için giriş üyelik fonksiyonu sayısı 6 ve tipi üçgen seçilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonu tipi ise doğrusal yapıdadır.



Şekil 6.2 : Statik fonksiyon için bulanık model yapısı

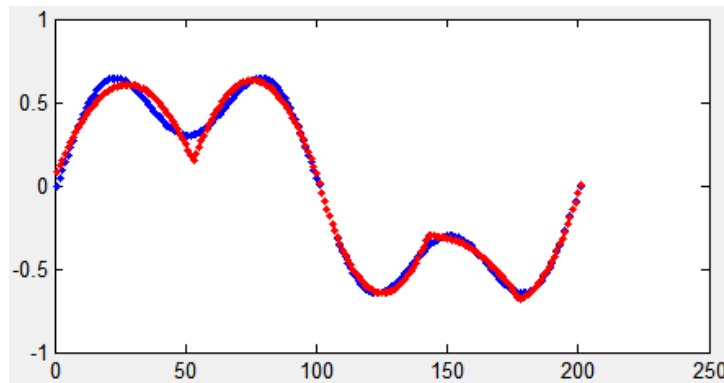
BPBÇ algoritması için popülasyon sayısı parametresi 20, iterasyon sayısı parametresi 100 ve arama uzayı daraltma katsayısı parametresi 10 olarak seçilmiştir.

ANFIS'te geriye yayılım algoritması için devir (epoch) parametresi 100 olarak seçilmiştir.

6.1.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model

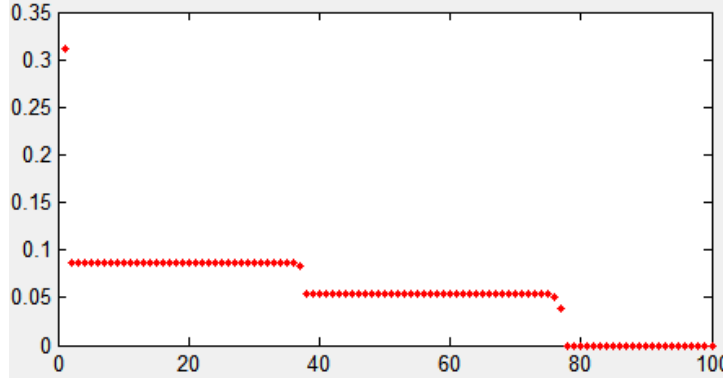
BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı ile oluşturulan bulanık model 4,587212 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,038788 olarak ölçülmüştür ve modelleme işlemi 77. iterasyonda sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.3'teki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemenin çok başarılı olmadığı göze çarpmaktadır.



Şekil 6.3 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – iterasyon sayısı grafiği Şekil 6.4'te gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi 77. iterasyonda belirlenen hata kriteri sağlanmış ve modelleme işlemi sonlanmıştır.



Şekil 6.4 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.1'de verilmektedir.

Çizelge 6.1 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	-0,4	-5,551e-017	0,5193
g1uf2	-5,551e-017	0,5193	0,9879
g1uf3	0,5193	0,9879	1,417
g1uf4	0,9879	1,417	1,767
g1uf5	1,417	1,767	2
g1uf6	1,767	2	2,4

Oluşturulan bulanık modelin doğrusal çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.2'de verilmektedir.

Çizelge 6.2 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	1. girişin katsayısı	Bias terimi
c1uf1	3,697	0,08123
c1uf2	-0,1002	0,1971
c1uf3	-4,51	4,537
c1uf4	0,2892	-0,7137
c1uf5	-0,9039	0,9105
c1uf6	1,343	-2,684

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.3'te verilmektedir.

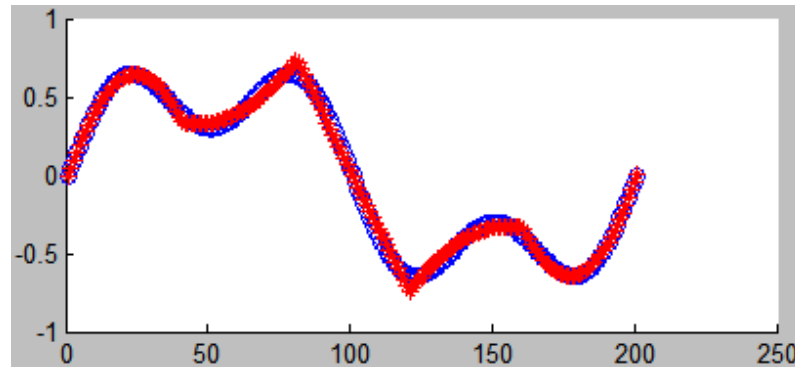
Çizelge 6.3 : Statik fonksiyon için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 g1uf1 ise ç1 c1uf1'dir.
K2	Eğer g1 g1uf2 ise ç1 c1uf2'dir.
K3	Eğer g1 g1uf3 ise ç1 c1uf3'tür.
K4	Eğer g1 g1uf4 ise ç1 c1uf4'tür.
K5	Eğer g1 g1uf5 ise ç1 c1uf5'tir.
K6	Eğer g1 g1uf6 ise ç1 c1uf6'dır.

6.1.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model

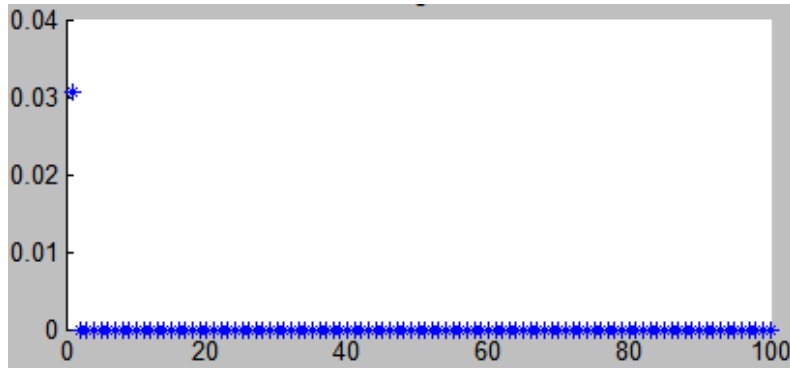
ANFIS ile oluşturulan bulanık model 0,349418 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,030593 olarak ölçülmüştür ve modelleme işlemi 1. devirde sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.5'teki grafik elde edilir. Bu grafikte de modellemenin çok başarılı olmadığı göze çarpmaktadır.



Şekil 6.5 : Statik fonksiyon için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – devir sayısı grafiği Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi 1. devirde belirlenen hata kriteri sağlanmış ve modelleme işlemi sonlanmıştır.



Şekil 6.6 : Statik fonksiyon için ANFIS'te öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.4'te verilmektedir.

Çizelge 6.4 : Statik fonksiyon için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	-0,4	-0,0007538	0,4025
g1uf2	-0,0007538	0,3984	0,8087
g1uf3	0,4005	0,7991	1,201
g1uf4	0,7989	1,201	1,6
g1uf5	1,2	1,602	1,999
g1uf6	1,597	2,001	2,4

Oluşturulan bulanık modelin doğrusal çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.5'te verilmektedir.

Çizelge 6.5 : Statik fonksiyon için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	1. girişin katsayısı	Bias terimi
c1uf1	1,974	-0,004343
c1uf2	-2,644	1,393
c1uf3	-1,201	1,724
c1uf4	-1,07	0,5413
c1uf5	-2,491	3,649
c1uf6	2,116	-4,228

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.6'da verilmektedir.

Çizelge 6.6 : Statik fonksiyon için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 g1uf1 ise ç1 c1uf1'dir.
K2	Eğer g1 g1uf2 ise ç1 c1uf2'dir.
K3	Eğer g1 g1uf3 ise ç1 c1uf3'tür.
K4	Eğer g1 g1uf4 ise ç1 c1uf4'tür.
K5	Eğer g1 g1uf5 ise ç1 c1uf5'tir.
K6	Eğer g1 g1uf6 ise ç1 c1uf6'dır.

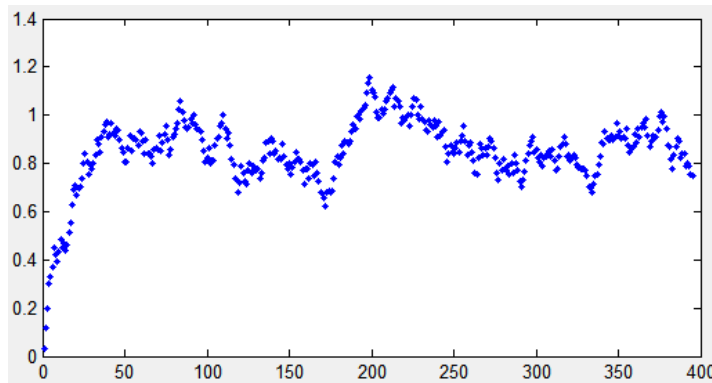
6.2 Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem modelleme

6.2.1 Sistem bilgisi

Bulanık modeli çıkarılacak olan birinci mertebeden ölü zamanlı sistemin transfer fonksiyonu ifade (6.2)'de verilmektedir.

$$G(s) = \frac{2,4}{1,8s + 1,4} e^{-0,4s} \quad (6.2)$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonu kullanılarak MATLAB Simulink ortamında sistemin girişine rastgele girişler uygulanmıştır ve 40 saniye boyunca 0,1 saniye örnekleme zamanı ile giriş – çıkış verisi toplanmıştır. Toplanan veri kümesi kullanılarak sistemin veri sayısı – çıkış değeri grafiği çizilecek olursa Şekil 6.7'deki grafik ortaya çıkar.



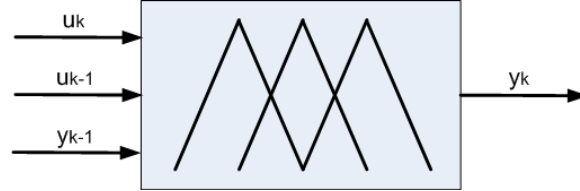
Şekil 6.7 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistemin çıkış verisi

6.2.2 Bulanık modelleme parametreleri

Bulanık modelleme işleminin sonlanma kriteri olan gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri 0,0351 olarak belirlenmiştir. Oluşturulacak

olan bulanık modelin yapısı Şekil 6.8’de verilmiştir. Bu şekilde bulanık model girişi u_k , girişin bir önceki değeri u_{k-1} , çıkışı y_k ve çıkışın bir önceki değeri de y_{k-1} ile sembolize edilmiştir.

Bulanık model için giriş üyelik fonksiyonu sayısı 3 ve tipi üçgen seçilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonu tipi ise sabit yapıdadır.



Şekil 6.8 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için bulanık model yapısı

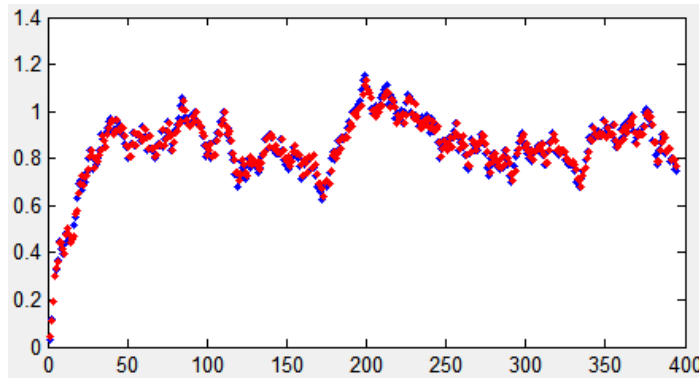
BPBÇ algoritması için popülasyon sayısı parametresi 20, iterasyon sayısı parametresi 100 ve arama uzayı daraltma katsayısı parametresi 8 olarak seçilmiştir.

ANFIS’te geriye yayılım algoritması için devir (epoch) parametresi 100 olarak seçilmiştir.

6.2.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model

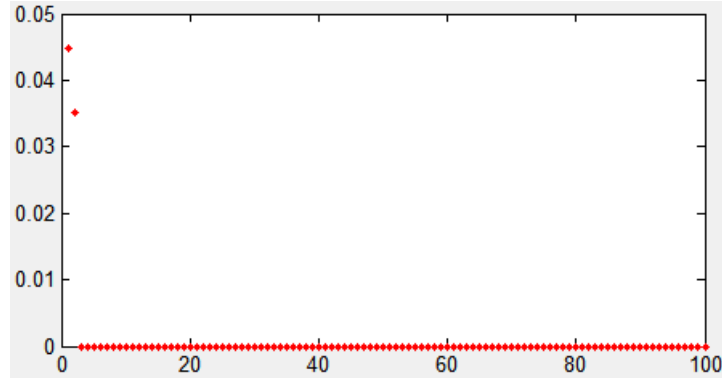
BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan bulanık model 0,837112 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,035098 olarak ölçülmüştür ve modelleme işlemi 2. iterasyonda sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.9’daki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemenin gayet başarılı olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 6.9 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – iterasyon sayısı grafiği Şekil 6.10'da gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 2. iterasyonda belirlenen hata kriteri sağlanmış ve modelleme işlemi sonlanmıştır.



Şekil 6.10 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.7'de verilmektedir.

Çizelge 6.7 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	-0,4988	0,000595	0,07422
g1uf2	0,000595	0,07422	0,9995
g1uf3	0,07422	0,9995	1,499
g2uf1	-0,4988	0,000595	0,7553
g2uf2	0,000595	0,7553	0,9995
g2uf3	0,7553	0,9995	1,499
g3uf1	-0,5361	0,02809	0,5455
g3uf2	0,02809	0,5455	1,157
g3uf3	0,5455	1,157	1,721

Oluşturulan bulanık modelin sabit çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.8'de verilmektedir.

Çizelge 6.8 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	Bias terimi
c1uf1	1,562
c1uf2	0,8113
c1uf3	1,027
c1uf4	0,6273
c1uf5	0,2432
c1uf6	1,257
c1uf7	-1,192
c1uf8	0,2386
c1uf9	1,433
c1uf10	-0,4126
c1uf11	0,543
c1uf12	1,166
c1uf13	0,09062
c1uf14	0,5909
c1uf15	1,115
c1uf16	0,645
c1uf17	0,5252
c1uf18	1,176
c1uf19	0,5644
c1uf20	0,6213
c1uf21	1,091
c1uf22	-0,04362
c1uf23	0,5453
c1uf24	1,152
c1uf25	-0,6968
c1uf26	0,6126
c1uf27	1,117

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.9'da verilmektedir.

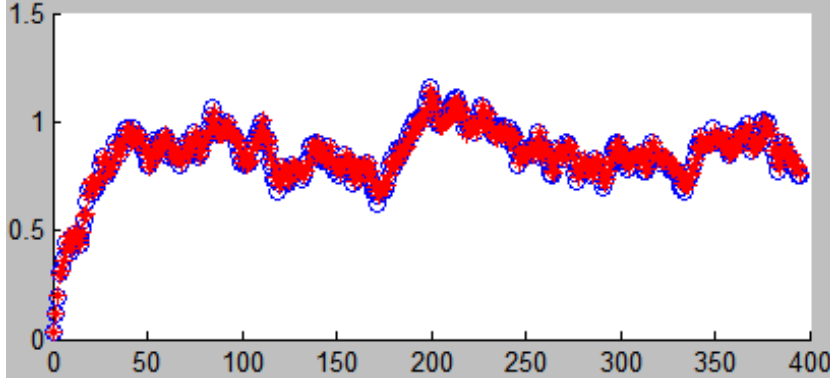
Çizelge 6.9 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf1'dir.
K2	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf2'dir.
K3	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf3'tür.
K4	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf4'tür.
K5	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf5'tir.
K6	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf6'dır.
K7	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf7'dir.
K8	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf8'dir.
K9	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf9'dur.
K10	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf10'dur.
K11	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf11'dir.
K12	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf12'dir.
K13	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf13'tür.
K14	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf14'tür.
K15	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf15'tir.
K16	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf16'dır.
K17	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf17'dir.
K18	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf18'dir.
K19	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf19'dur.
K20	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf20'dir.
K21	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf21'dir.
K22	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf22'dir.
K23	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf23'tür.
K24	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf24'tür.
K25	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 c1uf25'tir.
K26	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 c1uf26'dır.
K27	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 c1uf27'dir.

6.2.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model

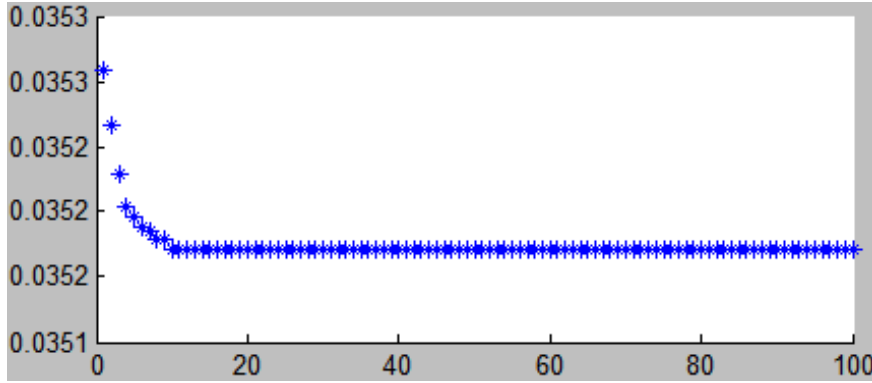
ANFIS ile oluşturulan bulanık model 4,855421 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,035171 olarak ölçülmüştür ve modelleme işleminde 100. devire gelinmesine rağmen istenen kriter sağlanamadığından işlem devir sayısı kriterine takılarak sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.11'deki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemedeki başarı göze çarpmaktadır.



Şekil 6.11 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – devir sayısı grafiği Şekil 6.12'de gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi 100. devirde belirlenen hata kriteri sağlanamamış ve modelleme işlemi devir sayısı kriterine takılarak sonlanmıştır. Yine aynı grafikten sistemin bulanık modelleme parametrelerini iyileştiremeyip bu parametreleri ezberlediği gözükmemektedir.



Şekil 6.12 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.10'da verilmektedir.

Çizelge 6.10 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	-0,4988	0,006875	0,5223
g1uf2	-0,005923	0,4998	1,006
g1uf3	0,5111	0,9926	1,499
g2uf1	-0,4988	-0,002306	0,5006
g2uf2	0,0009472	0,4892	1,007
g2uf3	0,4781	0,9916	1,499
g3uf1	-0,5361	0,02715	0,5845
g3uf2	0,02663	0,6026	1,133
g3uf3	0,5755	1,168	1,721

Oluşturulan bulanık modelin sabit çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.11’de verilmektedir.

Çizelge 6.11 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	Bias terimi
c1uf1	0,2012
c1uf2	0,5746
c1uf3	1,165
c1uf4	0,04249
c1uf5	0,6181
c1uf6	1,103
c1uf7	0,1732
c1uf8	0,6424
c1uf9	1,116
c1uf10	0,01145
c1uf11	0,6157
c1uf12	1,138
c1uf13	0,03488
c1uf14	0,6185
c1uf15	1,124
c1uf16	0,1028
c1uf17	0,5729
c1uf18	1,144
c1uf19	0,495
c1uf20	0,663
c1uf21	1,06
c1uf22	0,2052
c1uf23	0,6016
c1uf24	1,119
c1uf25	-0,4956
c1uf26	0,6474
c1uf27	1,122

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.12’de verilmektedir.

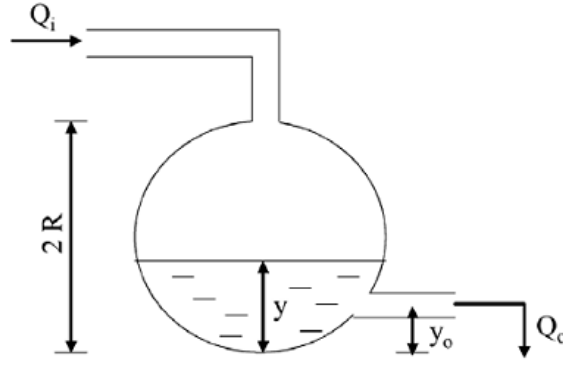
Çizelge 6.12 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf1’dir.
K2	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf2’dir.
K3	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf3’tür.
K4	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf4’tür.
K5	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf5’tir.
K6	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf6’dır.
K7	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf7’dir.
K8	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf8’dir.
K9	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf9’dur.
K10	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf10’dur.
K11	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf11’dir.
K12	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf12’dir.
K13	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf13’tür.
K14	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf14’tür.
K15	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf15’tir.
K16	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf16’dır.
K17	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf17’dir.
K18	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf18’dir.
K19	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf19’dur.
K20	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf20’dir.
K21	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf21’dir.
K22	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf22’dir.
K23	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf23’tür.
K24	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf24’tür.
K25	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf25’tir.
K26	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf26’dır.
K27	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf27’dir.

6.3 Doğrusal olmayan küresel tank sisteminin modellenmesi

6.3.1 Sistem bilgisi

Bulanık modeli çıkarılacak olan doğrusal olmayan küresel tank sisteminin şeması Şekil 6.13’te gösterilmektedir.



Şekil 6.13 : Doğrusal olmayan küresel tank sisteminin şeması

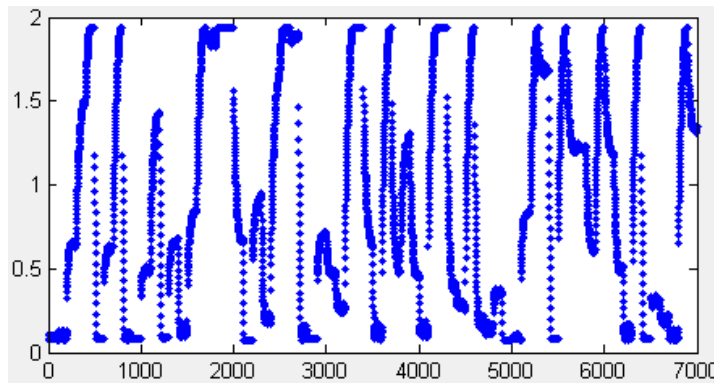
R küresel tankın yarıçapı, Q_i tanka giren sıvının debisi, Q_o tanktan boşalan sıvının debisi, y tankın içindeki sıvı seviyesi ve y_o da tanktan sıvıyı boşaltan musluğun ofset yüksekliği olmak üzere küresel tankın içerisindeki sıvı seviyesinin dinamiği ifade (6.3)'teki diferansiyel eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$Q(t - d) - Q_o = \pi R^2 \left[1 - \frac{(R - y)^2}{R^2} \right] \frac{dy}{dt} \quad (6.3)$$

Çıkış debisi Q_o , tank içerisindeki sıvı seviyesi olan y 'ye ifade (6.4)'te gösterilen Bernoulli eşitliği ile bağlıdır.

$$Q_o = \sqrt{2g(y - y_o)} \quad (6.3)$$

İfade (6.3) ve ifade (6.4)'teki denklemler kullanılarak doğrusal olmayan küresel tankın modeli MATLAB Simulink ortamında kurulup sistemin girişine rastgele girişler uygulanmıştır ve 70 saniye boyunca 0,01 saniye örnekleme zamanı ile giriş – çıkış verisi toplanmıştır. Toplanan veri kümesi kullanılarak sistemin veri sayısı – çıkış değeri grafiği çizilecek olursa Şekil 6.14'teki grafik ortaya çıkar.

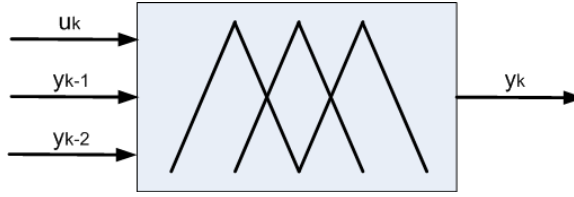


Şekil 6.14 : Doğrusal olmayan küresel tank sisteminin çıkış verisi

6.3.2 Bulanık modelleme parametreleri

Bulanık modelleme işleminin sonlanma kriteri olan gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri 0,021680 olarak belirlenmiştir. Oluşturulacak olan bulanık modelin yapısı Şekil 6.15'te verilmiştir. Bu şekilde bulanık model girişi u_k , çıkışı y_k , çıkışın bir önceki değeri y_{k-1} , çıkışın iki önceki değeri de y_{k-2} ile sembolize edilmiştir.

Bulanık model için giriş üyelik fonksiyonu sayısı 3 ve tipi üçgen seçilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonu tipi ise doğrusal yapıdadır.



Şekil 6.15 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için bulanık model yapısı

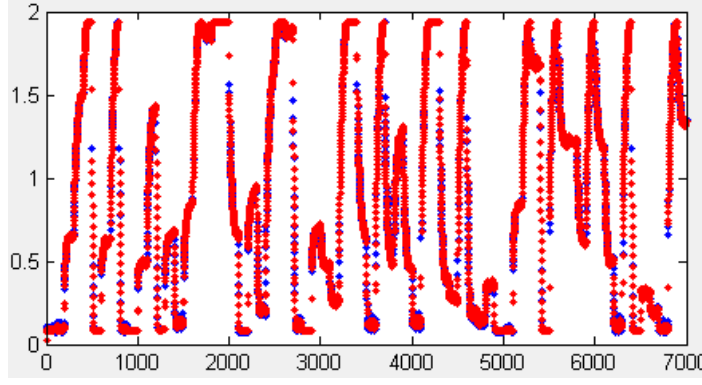
BPBÇ algoritması için popülasyon sayısı parametresi 2, iterasyon sayısı parametresi 100 ve arama uzayı daraltma katsayısı parametresi 10 olarak seçilmiştir.

ANFIS'te geriye yayılım algoritması için devir (epoch) parametresi 40 olarak seçilmiştir.

6.3.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model

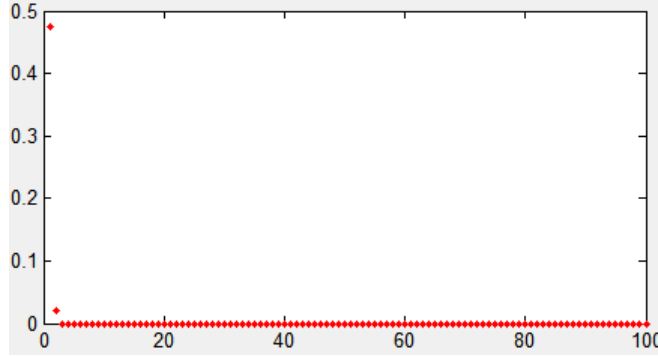
BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Aracı ile oluşturulan bulanık model 5,647731 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,021331 olarak ölçülmüştür ve modelleme işlemi 2. iterasyonda sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.16'daki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemenin gayet başarılı olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 6.16 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – iterasyon sayısı grafiği Şekil 6.17’de gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 2. iterasyonda belirlenen hata kriteri sağlanmış ve modelleme işlemi sonlanmıştır.



Şekil 6.17 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.13’te verilmektedir.

Çizelge 6.13 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	-0,9674	0	1,526
g1uf2	0	1,526	1,935
g1uf3	1,526	1,935	2,902
g2uf1	-0,9674	0	0,386
g2uf2	0	0,386	1,935
g2uf3	0,386	1,935	2,902
g3uf1	-3	0	3,723
g3uf2	0	3,723	6
g3uf3	3,723	6	9

Oluşturulan bulanık modelin doğrusal çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.14'te verilmektedir.

Çizelge 6.14 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	1. girişin katsayısı	2. girişin katsayısı	3. girişin katsayısı	Bias terimi
c1uf1	-1,858	0,8598	-0,1535	0,07142
c1uf2	-1,52	-0,9534	-0,0948	0,8238
c1uf3	-3,056	3,53	0,1204	-0,5325
c1uf4	1,272	-0,7723	0,1613	-0,003437
c1uf5	-0,1503	-0,07465	0,09026	-0,2913
c1uf6	0,991	-3,254	0,0734	0,2349
c1uf7	-0,3015	0,292	0,6349	0,1968
c1uf8	1,779	-1,087	0,2754	-1,035
c1uf9	-3,355	1,534	0,566	0,8883
c1uf10	4,32	-1,267	0,5027	1,613
c1uf11	1,307	2,84	0,4194	-0,1397
c1uf12	3,472	-5,374	0,1919	0,2724
c1uf13	1,471	-0,07021	0,1013	0,3222
c1uf14	0,5873	-0,2731	0,3058	0,444
c1uf15	0,896	1,159	0,2181	-0,1713
c1uf16	0,2906	0,7001	-0,4316	-0,3937
c1uf17	0,6994	0,3775	-0,4742	1,433
c1uf18	0,8834	1,99	-0,4532	-1,116
c1uf19	0	0	0	0
c1uf20	0	0	0	0
c1uf21	0	0	0	0
c1uf22	0,7573	0,4471	10,51	1,555
c1uf23	1,34	0,9419	-0,4319	0,5681
c1uf24	0,4624	-0,184	0,1361	1,349
c1uf25	-0,04743	0,6958	0,2666	0,2805
c1uf26	0,4158	-0,01587	0,1512	0,3653
c1uf27	0,4824	0,4192	0,05632	-0,1477

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.15'te verilmektedir.

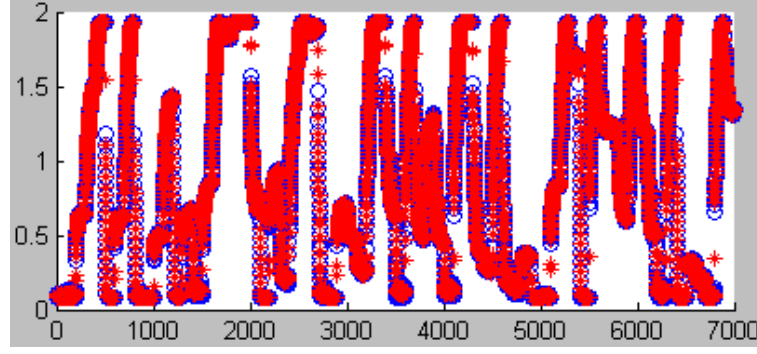
Çizelge 6.15 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf1'dir.
K2	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf2'dir.
K3	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf3'tür.
K4	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf4'tür.
K5	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf5'tir.
K6	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf6'dır.
K7	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf7'dir.
K8	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf8'dir.
K9	Eğer g1 gluf1 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf9'dur.
K10	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf10'dur.
K11	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf11'dir.
K12	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf12'dir.
K13	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf13'tür.
K14	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf14'tür.
K15	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf15'tir.
K16	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf16'dır.
K17	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf17'dir.
K18	Eğer g1 gluf2 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf18'dir.
K19	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf19'dur.
K20	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf20'dir.
K21	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf1 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf21'dir.
K22	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf22'dir.
K23	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf23'tür.
K24	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf2 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf24'tür.
K25	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf1 ise ç1 cluf25'tir.
K26	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf2 ise ç1 cluf26'dır.
K27	Eğer g1 gluf3 ve g2 g2uf3 ve g3 g3uf3 ise ç1 cluf27'dir.

6.3.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model

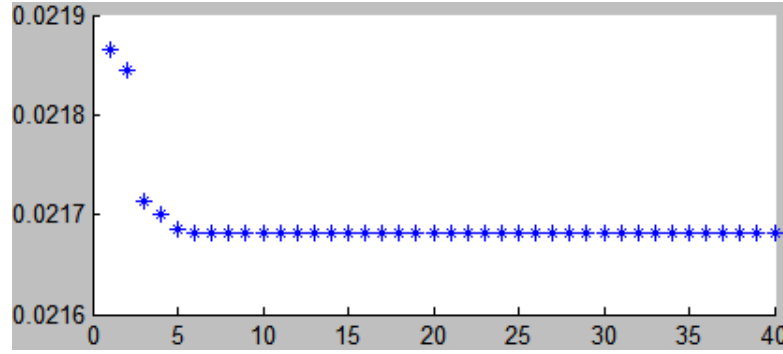
ANFIS ile oluşturulan bulanık model 121,948116 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,021682 olarak ölçülmüştür ve modelleme işleminde 40. devire gelinmesine rağmen istenen kriter sağlanamadığından işlem devir sayısı kriterine takılarak sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.18'deki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemedeki başarı göze çarpmaktadır.



Şekil 6.18 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – devir sayısı grafiği Şekil 6.19'da gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi 40. devirde belirlenen hata kriteri sağlanamamış ve modelleme işlemi devir sayısı kriterine takılarak sonlanmıştır. Yine aynı grafikten sistemin bulanık modelleme parametrelerini iyileştiremeyip bu parametreleri ezberlediği gözükmemektedir.



Şekil 6.19 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.16'da verilmektedir.

Çizelge 6.16 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS'te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	-0,9674	-0,002166	0,9771
g1uf2	0,005474	0,9656	1,917
g1uf3	0,9614	1,935	2,902
g2uf1	-0,9674	-0,001456	0,9655
g2uf2	0,01062	0,9662	1,926
g2uf3	0,9693	1,935	2,902
g3uf1	-3	-0,0001144	2,999
g3uf2	0,01672	3	6
g3uf3	3	6	9

Oluşturulan bulanık modelin doğrusal çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.17’de verilmektedir.

Çizelge 6.17 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	1. girişin katsayısı	2. girişin katsayısı	3. girişin katsayısı	Bias terimi
c1uf1	-4,34	-7,394	0,7852	0,1026
c1uf2	2,756	0,04903	0,7976	-2,272
c1uf3	4,043	3,183	0,6664	-3,659
c1uf4	3,911	-12,45	0,09126	7,811
c1uf5	1,723	-0,5527	0,03531	0,09454
c1uf6	7,956	-4,22	-0,09917	-0,8661
c1uf7	2,754	2,803	2,111	2,963
c1uf8	-0,3491	-0,3353	-3,036	-0,3491
c1uf9	-0,01998	-0,02064	-0,05941	-0,02125
c1uf10	5,784	5,235	-3,077	-4,514
c1uf11	3,84	1,852	-3,033	6,809
c1uf12	7,366	-1,118	-2,869	11,9
c1uf13	-1,735	6,149	0,26	-3,425
c1uf14	1,9	1,715	0,2429	-3,273
c1uf15	1,695	0,298	0,2508	-2,44
c1uf16	-1,926	5,084	-1,769	-7,21
c1uf17	-10,62	3,099	-1,536	10,65
c1uf18	1,901	-0,2686	-1,732	9,223
c1uf19	0	0	0	0
c1uf20	-0,03445	-0,03579	-0,2394	-0,03597
c1uf21	0,9952	0,9517	6,304	1,029
c1uf22	2,847	0,35	0,1991	-0,6477
c1uf23	3,095	-9,117	-0,1245	6,828
c1uf24	2,557	-1,205	0,01232	-0,8648
c1uf25	-2,852	3,416	8,194	0,4501
c1uf26	-9,102	-7,951	8,212	10,13
c1uf27	1,133	-0,2531	8,253	-49,29

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.18’de verilmektedir.

Çizelge 6.18 : Doğrusal olmayan küresel tank sistemi için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

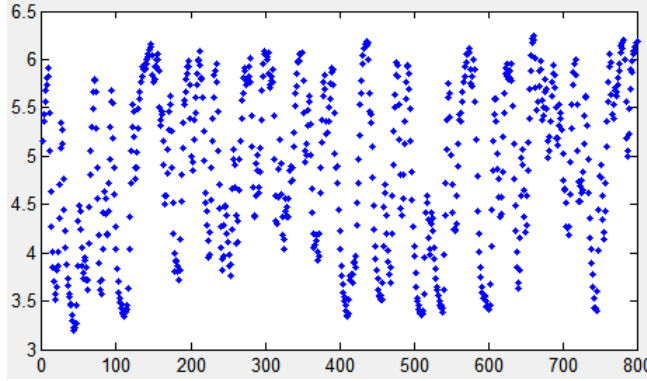
Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_1$ ’dir.
K2	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_2$ ’dir.
K3	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_3$ ’tür.
K4	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_4$ ’tür.
K5	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_5$ ’tir.
K6	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_6$ ’dir.
K7	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_7$ ’dir.
K8	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_8$ ’dir.
K9	Eğer g_1 $gluf_1$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_9$ ’dur.
K10	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{10}$ ’dur.
K11	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{11}$ ’dir.
K12	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{12}$ ’dir.
K13	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{13}$ ’tür.
K14	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{14}$ ’tür.
K15	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{15}$ ’tir.
K16	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{16}$ ’dir.
K17	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{17}$ ’dir.
K18	Eğer g_1 $gluf_2$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{18}$ ’dir.
K19	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{19}$ ’dur.
K20	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{20}$ ’dir.
K21	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_1$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{21}$ ’dir.
K22	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{22}$ ’dir.
K23	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{23}$ ’tür.
K24	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_2$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{24}$ ’tür.
K25	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_1$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{25}$ ’tir.
K26	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_2$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{26}$ ’dir.
K27	Eğer g_1 $gluf_3$ ve g_2 $g2uf_3$ ve g_3 $g3uf_3$ ise $\dot{c}_1$ $cluf_{27}$ ’dir.

6.4 MATLAB PT326 sisteminin modellenmesi

6.4.1 Sistem bilgisi

Bulanık modeli çıkarılacak olan PT326 sistemi için giriş – çıkış verileri MATLAB ile birlikte gelmektedir. Bu veriler MATLAB komut satırına “*load dryer2.mat*” komutunun yazılması ile çalışma alanına yüklenir. Çalışma alanına iki sütun vektörü veri yüklendiği görülür. Bunlardan u_k vektörü sisteme uygulanan giriş verilerini, y_k vektörü de sistemden alınan çıkış verilerini ifade etmektedir. Modellemenin daha başarılı olması açısından y_k vektörü kullanılarak y_{k-1} vektörü de oluşturulur.

PT326 sisteminden toplanan veriler ışığında sistemden toplanan veri sayısı – çıkış değeri grafiği Şekil 6.20’de verilmektedir.

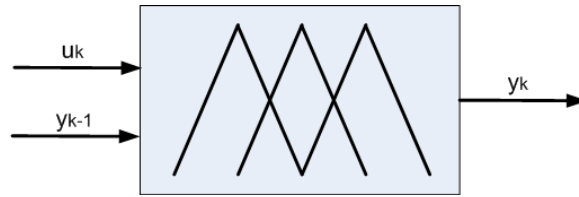


Şekil 6.20 : PT326 sisteminin çıkış verisi

6.4.2 Bulanık modelleme parametreleri

Bulanık modelleme işleminin sonlanma kriteri olan gerçek sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri 0,0978 olarak belirlenmiştir. Oluşturulacak olan bulanık modelin yapısı Şekil 6.21’de verilmiştir. Bu şekilde bulanık modelin girişleri sistemin girişi olan u_k ve sistem çıkışının bir önceki değeri olan y_{k-1} sembolleri ile ifade edilirken, bulanık modelin çıkışı da sistem çıkışının iki önceki değeri olan y_k sembolü ile ifade edilmiştir.

Bulanık model için giriş üyelik fonksiyonu sayısı 3 ve tipi üçgen seçilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonu tipi ise sabit yapıdadır.



Şekil 6.21 : PT326 sistemi için bulanık model yapısı

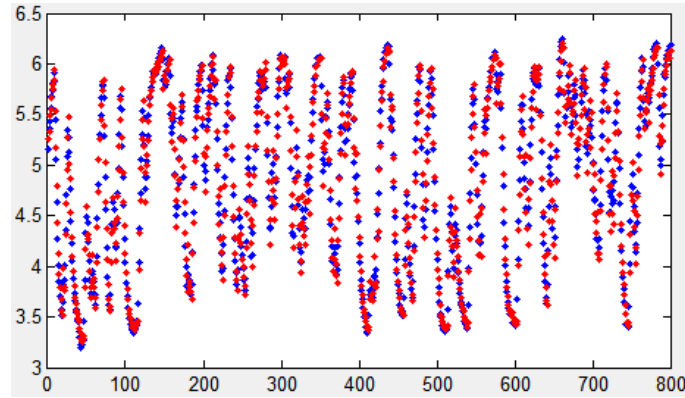
BPBÇ algoritması için popülasyon sayısı parametresi 300, iterasyon sayısı parametresi 250 ve arama uzayı daraltma katsayısı parametresi 4 olarak seçilmiştir.

ANFIS’te geriye yayılım algoritması için devir (epoch) parametresi 250 olarak seçilmiştir.

6.4.3 BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan model

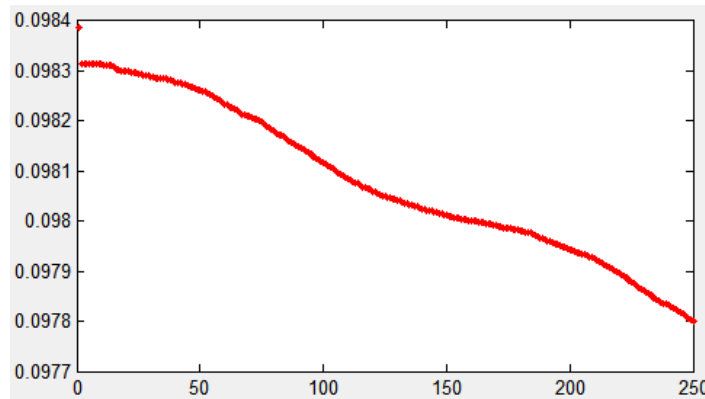
BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı ile oluşturulan bulanık model 329,660670 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,0978 olarak ölçülmüştür ve modelleme işlemi 250. iterasyonda sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.22'deki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemenin gayet başarılı olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 6.22 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – iterasyon sayısı grafiği Şekil 6.23'te gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi 250. iterasyonda belirlenen hata kriteri sağlanmış ve modelleme işlemi sonlanmıştır.



Şekil 6.23 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.19'da verilmektedir.

Çizelge 6.19 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	1,676	3,201	4,931
g1uf2	3,201	4,931	6,251
g1uf3	4,931	6,251	7,776
g2uf1	1,91	3,41	5,02
g2uf2	3,41	5,02	6,41
g2uf3	5,02	6,41	7,91

Oluşturulan bulanık modelin sabit çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.20'de verilmektedir.

Çizelge 6.20 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	Bias terimi
c1uf1	3,256
c1uf2	0
c1uf3	3,561
c1uf4	4,672
c1uf5	0
c1uf6	5,154
c1uf7	5,951
c1uf8	0
c1uf9	6,198

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.21'de verilmektedir.

Çizelge 6.21 : PT326 sistemi için BPBÇ Optimizasyon Algoritması Tabanlı BM Yazılımı'nda oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

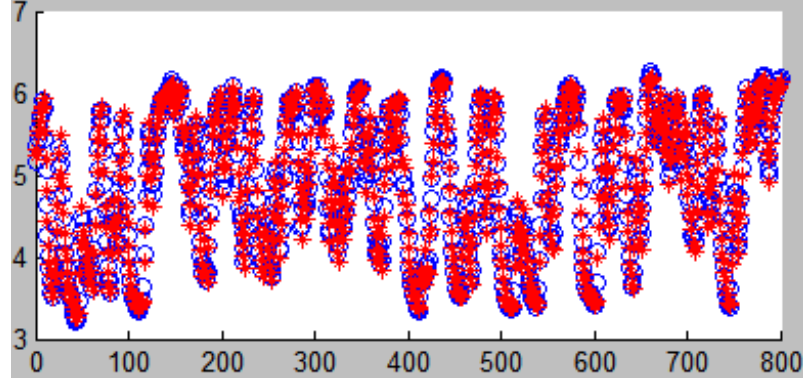
Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf1 ise ç1 c1uf1'dir.
K2	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf2 ise ç1 c1uf2'dir.
K3	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf3 ise ç1 c1uf3'tür.
K4	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf1 ise ç1 c1uf4'tür.
K5	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf2 ise ç1 c1uf5'tir.
K6	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf3 ise ç1 c1uf6'dır.
K7	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf1 ise ç1 c1uf7'dir.
K8	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf2 ise ç1 c1uf8'dir.
K9	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf3 ise ç1 c1uf9'dur.

6.4.4 ANFIS ile oluşturulan bulanık model

ANFIS ile oluşturulan bulanık model 9,485541 saniyede tamamlanmıştır. Benzetim bittiğinde hatanın RMS değeri 0,097943 olarak ölçülmüştür ve modelleme işleminde

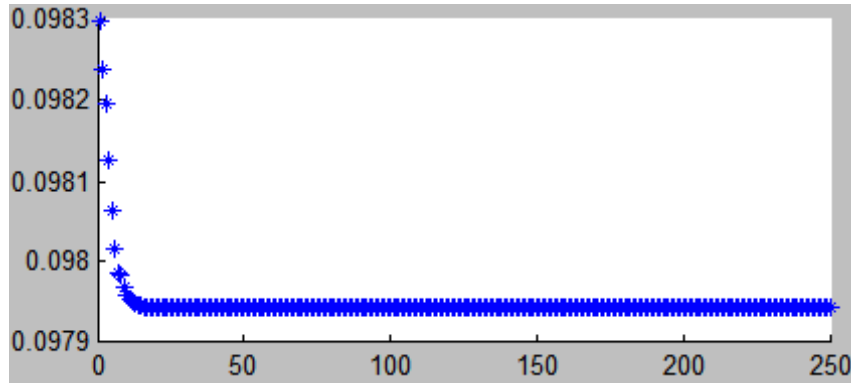
250. devire gelinmesine rağmen istenen kriter sağlanamadığından işlem devir sayısı kriterine takılarak sonlanmıştır.

Oluşturulan bulanık model eğitim verisi ile test edilip sistemden toplanan giriş – çıkış verisi ile üst üste çizdirilirse Şekil 6.24’teki grafik elde edilir. Bu grafikte modellemedeki başarı göze çarpmaktadır.



Şekil 6.24 : PT326 sistemi için ANFIS’te eğitim verisi ile test grafiği

Bulanık model çıkışı ile gerçek sistem çıkışı arasındaki hatanın RMS değeri – devir sayısı grafiği Şekil 6.25’te gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 250. devirde belirlenen hata kriteri sağlanamamış ve modelleme işlemi devir sayısı kriterine takılarak sonlanmıştır. Yine aynı grafikten sistemin bulanık modelleme parametrelerini iyileştiremeyip bu parametreleri ezberlediği gözükmemektedir.



Şekil 6.25 : PT326 sistemi için ANFIS’te öğrenme grafiği

Oluşturulan bulanık modelin giriş üçgen üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.22’de verilmektedir.

Çizelge 6.22 : PT326 sistemi için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin giriş ÜF parametreleri

Giriş üyelik fonksiyonu ismi	Üçgenin sol noktası	Üçgenin orta noktası	Üçgenin sağ noktası
g1uf1	1,676	3,213	4,747
g1uf2	3,186	4,717	6,273
g1uf3	4,795	6,227	7,776
g2uf1	1,91	3,41	4,91
g2uf2	3,41	4,91	6,41
g2uf3	4,91	6,41	7,91

Oluşturulan bulanık modelin sabit çıkış üyelik fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.23’te verilmektedir.

Çizelge 6.23 : PT326 sistemi için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin çıkış ÜF parametreleri

Çıkış üyelik fonksiyonu ismi	Bias terimi
c1uf1	3,239
c1uf2	0
c1uf3	3,519
c1uf4	4,53
c1uf5	0
c1uf6	5,011
c1uf7	5,934
c1uf8	0
c1uf9	6,207

Oluşturulan bulanık modelin kural tabanı Çizelge 6.24’te verilmektedir.

Çizelge 6.24 : PT326 sistemi için ANFIS’te oluşturulan bulanık modelin kural tabanı

Kural ismi	Kural içeriği
K1	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf1 ise ç1 c1uf1’dir.
K2	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf2 ise ç1 c1uf2’dir.
K3	Eğer g1 g1uf1 ve g2 g2uf3 ise ç1 c1uf3’tür.
K4	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf1 ise ç1 c1uf4’tür.
K5	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf2 ise ç1 c1uf5’tir.
K6	Eğer g1 g1uf2 ve g2 g2uf3 ise ç1 c1uf6’dır.
K7	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf1 ise ç1 c1uf7’dır.
K8	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf2 ise ç1 c1uf8’dır.
K9	Eğer g1 g1uf3 ve g2 g2uf3 ise ç1 c1uf9’dur.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında yaklaşık bir yıl süren çalışmanın neticesinde ortaya bir bulanık modelleme yazılımı konulmuştur. Bu yazılım, tez çalışmasının amacında da belirtildiği üzere, aynı amaçla yapılmış yazılımlara kullanım açısından benzemekte, fakat kullandığı iyileştirme algoritması açısından da farklılık göstermektedir. Yazılımda bulanık modelin giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin iyileştirilmesi işlemi Büyük Patlama Büyük Çöküş optimizasyon algoritması gibi kullanımı kolay, hızlı çalışan ve global ekstremuma yakınsaması garanti edilen bir optimizasyon yöntemi ile sağlanmıştır.

Tasarlanan yazılımın BPBÇ optimizasyon algoritmasını kullanmasının sağladığı iki önemli üstünlük vardır. Bunlardan ilki, iyileştirme sisteminin hiçbir zaman ezberlememesidir. Bu sayede giriş üyelik fonksiyonu parametrelerinin her zaman iyileştirilebilmesinin önü kapanmamış olmaktadır. ANFIS gibi sinir ağı mantığını kullanan bulanık modelleme yazılımları belli bir iterasyon sayısından sonra giriş üyelik fonksiyonu parametrelerini iyileştirememektedir çünkü sinir ağı ezberlemeye başlamaktadır. Fakat BPBÇ yöntemi, tüm iterasyonlar boyunca rastlantısallık ilkesini içerisinde barındırdığından sistemin parametreleri ezberlemesine imkân vermemektedir. Bu sonuç, bir önceki bölümde verilen benzetim çalışmalarından rahatlıkla çıkarılabilmektedir. ANFIS, belli bir iterasyon sayısından sonra giriş üyelik fonksiyonu parametrelerini iyileştiremez iken, tasarlanan yazılım her zaman daha iyi parametreleri bulabilmektedir. Yöntemin getirdiği diğer bir avantaj ise hızdır. BPBÇ algoritması basit bir mantık içerdiğinden çok hızlı çalışmakta, çalıştığı ortama fazladan bir hesaplama yükü bindirmemektedir. Bunu yine bir önceki bölümde yapılan benzetim çalışmalarından anlamak mümkündür.

Yazılımda uygulanan optimizasyon algoritması altyapısı basit ve genel bir yapıya sahip olduğundan bu yapı tip-2 bulanık mantığa da rahatlıkla uygulanabilir.

Bulanık modelleme yazılımının geliştirilmesi konusu çok derin bir havuz olduğundan bu konuda ileriki zamanlarda da çalışmaların yapılması çok önemlidir. İlerisi için planlanan çalışmalar aşağıda listelenmiştir.

- Giriş üyelik fonksiyonu tiplerinin artırılarak yazılıma zenginlik getirilmelidir.
- Tüm giriş üyelik fonksiyonu parametreleri birbirinden bağımsız olmalı ve her bir parametre bağımsız bir şekilde iyileştirilmelidir.
- Yeni bir bulanık modelleme tipi olan *Tip-2 Bulanık Mantığın* da yazılıma eklenerek tüm modelleme işlemi sürecinde oluşan belirsizliklerin de modellenebilmesi sağlanmalıdır.
- *Yazdırma, bulanık model parametrelerini görüntüleme, figür kopyalama* gibi bazı faydalı fonksiyonların arayüze eklenerek yazılımın daha zengin, kullanıcı dostu ve daha fonksiyonel olması sağlanmalıdır. Bu sayede kullanıcı sadece bu yazılımı kullanarak, oluşturduğu bulanık model üzerinde değişiklik ve analiz yapabilmelidir.
- Yazılımın en büyük eksiği olan optimum (minimum giriş sayısı kullanarak gerçek sistemi en iyi modelleyen) bulanık model yapısının belirlenmesi işinin mutlaka yapılması gerekmektedir. Bu sayede kullanıcı veri topladığı sistemin mertebesini önceden kestirmek zorunda kalmamalı, sadece gerçek sistemden topladığı giriş – çıkış verileri ile sistemin bulanık modelini oluşturabilmelidir.
- Yazılım, ÇGÇÇ sistemleri modelleyebilmelidir.
- Yazılım içerisinde kullanılan matris çarpımı işlemlerinin sisteme getirmiş olduğu işlem yükü, gerçek sistemden toplanılan veri sayısı ve bulanık modelin giriş sayısı parametreleri ile üstel olarak artmaktadır. Yapılan hız analizlerinin ardından çarpım işlemlerinin daha hızlı yapılması gerektiği ortaya çıkmış Bu sebeple matris çarpımı işlemlerinin daha hızlı yapılması konusu ile ilgili çalışma yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N., 2007. *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, Springer, Berlin, Almanya.
- [2] Bulut C., 2009. Melez Kontrolör Tasarım ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- [3] Url-1 <[http://en.wikipedia.org/wiki/Nanboku_Line_\(Sendai\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Nanboku_Line_(Sendai))>, 24.01.2011.
- [4] Self K., 1990. Designing with fuzzy logic, *IEEE Spectrum*, **11**, 42-44
- [5] Zhang H., Liu D., 2006. *Fuzzy Modelling and Fuzzy Control*, Birkhäuser, Boston, ABD.
- [6] Kecman V., 2001. *Learning and Soft Computing*, MIT Press, Massachusetts, ABD.
- [7] Mamdani E.H., 1974. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, *Proceedings of IEEE*, **121**, 12, 1585-1588.
- [8] Takagi T., Sugeno M., 1985. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **15**, s. 116-132.
- [9] Ross T.J., 1994. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley & Sons, Cornwall, Büyük Britanya.
- [10] Babuska R., 1998. *Fuzzy Modeling for Control*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, ABD.
- [11] Espinosa J., Vandewalle J., Wertz V., 2005. *Fuzzy Logic, Identification and Predictive Control*, Springer, ABD
- [12] Çelikyılmaz A., Türksen B. I., 2009. *Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic*, Springer, ABD
- [13] Babuska R., 1998. Fuzzy Modeling and Identification Toolbox Manual, 3-4
- [14] Johanyak Z.C., 2008. Sparse Fuzzy Model Identification Toolbox – RuleMaker Toolbox, *IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics*, Stara Lesna, Slovakya, November
- [15] Url-2 <<http://www.ulb.ac.be/di/map/gbonte/software/Local/FIS.html>>, 04.05.2011.

- [16] **Kasabov N., Song Q.**, 2002. DENFIS: Dynamic Evolving Neural-Fuzzy Inference System and Its Applications for Time-Series Prediction, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **10**, 2, 144-155
- [17] **Erol O.K., Eksin İ.**, 2006, A new optimization method: Big Bang – Big Crunch. *Advances in Engineering Software*, **37**, 106-111
- [18] **Kumbasar T., Yeşil E., Eksin İ., Güzelkaya M.**, 2008, Inverse Fuzzy Model Control with Online Adaptation via Big Bang – Big Crunch Optimization, *The 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*, Malta

EKLER

EK A: *BPBÇ Optimizasyon Yöntemi Tabanlı Bulanık Modelleme Yazılımı kodlarını içeren CD*

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Aydoğan Ersöz

Doğum Yeri ve Tarihi: Edirne, 30 Mart 1985

Adres: Alanaldı Cad. Doğanay Sok. Bayramoğlu Apt. No:12/3
İçerenköy / İstanbul

E-posta: aydoganersoz@gmail.com

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi
Kontrol Mühendisliği Bölümü