

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI VERİ MADENCİLİĞİ
YÖNTEMİ İLE ZAMAN SERİSİ TAHMİNİ**

Bihter DAŞ

Tez Yöneticisi
Prof.Dr. Z.Hakan AKPOLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ – 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE
ZAMAN SERİSİ TAHMİNİ**

Bihter DAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 20/09/2007 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Prof.Dr. Z.Hakan AKPOLAT
Üye : Yrd. Doç.Dr. İbrahim TÜRKOĞLU
Üye : Yrd. Doç.Dr. Selçuk YILDIRIM

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren, akademik yaşamıyla çalışmalarını örnek aldığım danışman hocam Prof. Dr. Z. Hakan AKPOLAT'a, yaşamımda ve akademik çalışmalarımda beni hep destekleyen eşim Resul DAŞ'a ve ablam Müzeyyen Bulut ÖZEK'e teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
KISALTMALAR LİSTESİ	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı	2
1.2. Tez Çalışmasının Bölümleri	2
2. VERİ MADENCİLİĞİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. Veri Madenciliği Modelleri	3
2.2.1. Sınıflama ve Regresyon Modelleri	4
2.2.2. Kümeleme	6
2.2.3. BirlikteKil Kuralları ve Ardışık Zamanlı Örüntüler	7
2.2.4. Benzerlik Arama	9
2.3. Veri Tabanında Bilgi Keşfi Süresi.....	9
2.3.1. Problemin Tanımlanması	10
2.3.2. Verilerin Hazırlanması.....	10
2.3.3. Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi	11
2.3.4. Modelin Kullanılması	11
2.3.5. Modelin İzlenmesi	12
2.4. Veri Madenciliğinde Karşılaşılan Problemler	12
2.4.1. Veritabanının Boyutu.....	12
2.4.2. Dinamik Veri Yapısı	13
2.4.3. Eksik ya da Kesin Olmayan Veri.....	13
2.4.5. Gereğinden Fazla Anlamsız ve Tutarsız Veriler.....	13
3. TİP-2 BULANIK MANTIK	14
3.1. Giriş	14
3.1.1. Tip-2 Üyelik Fonksiyonları.....	14
3.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler	21
4. GELİŞTİRİLEN YAZILIM: TİP-2 BULANIK MANTIK İLE VERİ MADENCİLİĞİ.....	38
4.1. Giriş	38
4.2. Geliştirilen MATLAB Program Dosyaları	38
4.2.1. Anfis2.m Dosyası.....	38
4.2.2. Genfis2.m Dosyası.....	39
4.2.3. Ruleview2guisiz.m Dosyası.....	40
4.3. Değıştirilen Tip-2 Bulanık Mantık Yardımcı Program Dosyaları	40
4.4. MG Zaman Serisi.....	40

4.5.	Tip-1 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yazılımı	41
4.6.	Tip-2 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yazılımı.....	44
4.7.	Meteorolojik Veriler İle Hava Tahmini Uygulaması.....	45
4.8.	Meteorolojik Veriler İçin Tip-1 ve Tip-2 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yöntemleri İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	46
5.	SONUÇ	49
	KAYNAKLAR	50
	EK: GELİŞTİRİLEN YAZILIMA AİT PROGRAM KODLARI	53
	ÖZGEÇMİŞ	67

KISALTMALAR LİSTESİ

- MG : Mackey Glass
GA : Genetik Algoritma
FOU : Footprint Of Uncertainty
ANFIS : Adaptive Network Fuzzy Inference System
BM : Bulanık Mantık

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 K-Means Yöntemiyle Kümeleme Örneği.....	7
Şekil 2.2 Veri Tabanında Bilgi Keşfi Süresi.....	10
Şekil 3.1 Tip-1 Üyelik Fonksiyonları.....	15
Şekil 3.2 (a) Tip-1 üyelik fonksiyonu (b) Bulanıklaştırılmış tip-1 üyelik fonksiyonu (c) FOU (Belirsizliğin Ayak İzi) [9]	16
Şekil 3.3 Örnek Bir Ayrık Tip-2 Üyelik Fonksiyonu [10]	17
Şekil 3.4 Aralıklı tip-2 kümenin ağırlık merkezi hesabı.....	20
Şekil 3.5 (a) Tip-1 üyelik fonksiyonu (b) Tip-2 bölümlerinin FOU'sı (c) Tip-2 üyelik fonksiyonunun ağırlık merkez [9].....	21
Şekil 3.6 Tip-2 Bulanık Mantık Sistem Yapısı[10]	22
Şekil 3.7 Aralıklı Singleton Tip-2 Bulanık Mantık Sistem İçin Giriş-Varsayım İşlemi	25
Şekil 3.8 Aralıklı singleton tip-2 bulanık mantık sistem için çıkış-sonuç işlemi	25
Şekil 3.9 Şekil 3.3'deki Çıkış Kümelerinin Birleştirilmiş Gösterimi	26
Şekil 3.10 Aralıklı Tip-1 Singleton Olmayan Tip-2 Bulanık Mantık Sistem İçin Çıkış-Sonuç İşlemi	28
Şekil 3.11 Giriş Tip-1 Gaussian Üyelik Fonksiyonunun Farklı Konumlarının Varsayım fou ile ilişkisi	30
Şekil 3.12 Aralıklı tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler için giriş-varsayım işlemi	34
Şekil 3.13 Çarpım t-norm ile giriş-varsayım işlemleri	35
Şekil 3.14 Giriş Fou'nun Farklı Konumlarının Varsayım Fou İle İlişkisi (Renkli Olan Fou Varsayımına	36
Şekil 4.1 Mackey Glass Düzensiz Zaman Serisi	41
Şekil 4.2 Girişlerin Başlangıç Üyelik Fonksiyonları	42
Şekil 4.3 MG Zaman Serisi ve Tip-1 için ANFIS Tahmini.....	43
Şekil 4.4 Tahmin Hataları	43

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Şekil 3.6 için $\bar{x}_{k,\max}^l$ değerleri.....	29
Tablo 3.2 Şekil 3.6 için Çarpım T-Norm'a Bağlı Olarak $\underline{x}_{k,\max}^l$ Değerleri	29
Tablo 3.3 Şekil 3.6 İçin Minimum T-Norm'a Bağlı Olarak Değerleri.....	30
Tablo 3.4 Şekil 3.14 İçin $\bar{x}_{k,\max}^l$ Değerleri.....	36
Tablo 3.5 Şekil 3.9 İçin Çarpım T-Norm'a Bağlı Olarak $\underline{x}_{k,\max}^l$ Değerleri	37
Tablo 3.6 Şekil 3.9 İçin Minimum T-Norm'a Bağlı Olarak $\underline{x}_{k,\max}^l$ Değerleri	37

SİMGELER LİSTESİ

μ	:	Üyelik fonksiyonu
$\overline{\mu}$	:	Üst üyelik fonksiyonu
$\underline{\mu}$	:	Alt üyelik fonksiyonu
$\star$	:	t-norm işlemi
$\neg$	:	Olumsuzluk (negation) işlemi
$\sqcap$	:	Buluşma (meet) işlemi
$\sqcup$	:	Katılma (join) işlemi
$\tilde{A}$	:	$\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesi
$\tilde{B}$	:	$\tilde{B}$ tip-2 bulanık kümesi
f^{cg}	:	İkinci derece üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezi
c_A	:	A tip-1 bulanık kümesinin ağırlık merkezi
$C_{\tilde{A}}$	:	$\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesinin ağırlık merkezi
$Y_{TSK_2}(x)$	:	Sugeno sistemlerin çıkışı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE ZAMAN SERİSİ TAHMİNİ

Bihter DAŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 67

Bu tez çalışmasında, tip-2 bulanık mantık tabanlı bir veri madenciliği yöntemi geliştirilmiştir. Mackey Glass zaman serisi ve meteorolojik veriler önce tip-1 bulanık mantık tabanlı sonra da tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yöntemlerinden geçirilerek gelecek değerlerin tahmininin yapılması sağlanmıştır. Sonuçlara bakılarak geliştirilen yazılımların performansları kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tip-2 Bulanık Mantık, Veri madenciliği, ANFIS, Zaman Serisi, Meteorolojik Veriler.

ABSTRACT

Master Thesis

PREDICTION EARTHQUAKE OF TIME SERIES USING TYPE-2 FUZZY LOGIC BASED DATA MINING

Bihter DAŞ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics and Computer Education

2007, Page: 67

In this thesis, a type -2 fuzzy logic based data mining method is developed. Both type-1 fuzzy logic and type-2 fuzzy logic based data mining methods are used for the prediction of future values of meteorologic data and Mackey Glass time series. Performances of the type -1 and type-2 fuzzy logic based data mining softwares are compared.

Keywords: Tip-2 Fuzzy Logic, Data Mining, ANFIS, Time Series, Meteorologic Data.

1. GİRİŞ

Bulanık Mantık, 1961 yılında Lütü Askerzade'nin yayınladığı bir makalenin sonucu oluşmuş bir mantık yapısıdır. Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve alt kümelerle dayanır. Klasik yaklaşımda bir varlık ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde varlık küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda (1) kümenin elemanı olmadığı zaman (0) değerini alır. Bulanık varlık kümesinde varlıkların üyelik derecesi, $[0,1]$ aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $M(x)$ ile gösterilir. Benzer şekilde koşullar çok bulanıksa yani üyelik derecesini $[0, 1]$ arasında belirlemede problem yaşıyorsa, tip-2 bulanık kümeler kullanılır [1].

Veri madenciliği, 1990'lerde ortaya çıkmış ve dünyada hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Son yıllardaki gelişmeler ile yöneticilerin hızlı ve doğru bir şekilde karar alabilmeleri için pek çok alanda yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde veri miktarının artması, bilgisayar teknolojilerinin daha yaygın olarak kullanılmasını ve beraberinde veri madenciliğini gündeme getirmiştir [2,8,9,29].

Veri madenciliği, geleneksel istatistiksel yöntemlere göre önemli farklılıklar göstermektedir. Özellikle zaman içinde verinin çokluğunun bir sorun olması, bilgisayarların veri saklama ve işleme hızlarındaki hızlı artışların sonucunda konunun önemi her geçen gün artmaya devam etmektedir [33].

Veri madenciliğinde amaç, çok büyük miktardaki ham verilerden yararlı bilginin çıkarılmasıdır. Geçerli ve uygulanabilir bilginin veri yığınlarından elde edilmesi dinamik bir süreçtir. Bu süreçte kümeleme, sınıflandırma ve regresyon, tip-2 bulanık mantık tabanlı birliktelik kuralları gibi farklı birçok teknik kullanılmaktadır. Tip-2 bulanık mantık yaklaşımının kullanılma nedeni, {var, yok} şeklinde ikili değerler dışında kategorik ve nicel değerler içeren veri tabanlarından ilgili kuralların keşfedilmesidir [2].

Bulanık mantık uygulamalarında yaygın olarak kullanılan MATLAB paket programı, bulanık sistemleri grafiksel bir ara yüz ile oluşturup düzenleyebilme imkânı sunar ve işlemleri büyük oranda kolaylaştırır.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Verilerin dijital ortamda saklanmaya başlanması ile birlikte, bilgi miktarı veri tabanlarıyla paralel olarak artmaktadır. Bilgi sistemlerinin güçleri her geçen gün artarken, maliyetleri de düşmektedir. Yüksek kapasiteli işlem yapabilme gücünün ucuzlaması ile veri saklama hem daha kolay olmuş, hem de verinin kendisi ucuzlamıştır. Bilgi artışıyla beraber veritabanları ve veri ambarları kavramları günümüzde önem kazanmaya başlamıştır. Bu bağlamda geniş bilgi verilerinden anlamlı ve yararlı bilgi ortaya çıkarma işlemine şiddetle ihtiyaç duyulmuş ve büyük önem kazanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, MG zaman serisi ve meteorolik veriler içinden gelecekle ilgili zaman tahmini yapmamızı sağlayacak değerli bilgilerin, tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yöntemi ile çıkarılmasını sağlamaktır.

1.2. Tez Çalışmasının Bölümleri

Bu çalışmanın 2.bölümünde veri madenciliği konusu genel olarak ele alınmış ve veri madenciliği modelleri detaylı olarak incelenmiştir. Bölüm 3’de tip-2 bulanık mantık konusu irdelenmiş, bölüm 4’de ise veri madenciliği için geliştirilen tip-2 bulanık mantık tabanlı yöntemin uygulamaları, MATLAB program modülleri ve dosyaları detaylı olarak anlatılmıştır. 5. Bölümünde ise tez çalışmasındaki uygulamalarda elde edilen genel sonuçlar ve başarımlar verilmiştir.

2. VERİ MADENCİLİĞİ

2.1. Giriş

Veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasından istenilen bilgiye ulaşma işlemidir. Diğer bir tanım ile, büyük veri yığınları içerisindeki bilgileri kullanarak o konu ile ilgili tahminlerde bulunabilmemizi sağlayabilecek bağıntılar ile istatistik, modelleme teknikleri, veri tabanı teknolojisi, yapay zeka ve örüntü tanıma yöntemlerini kullanarak anlamlı veri ilişkilerinin süzülerek çıkartılması işlemidir. Veri madenciliği kendi başına bir çözüm değil, çözüme ulaşmak için verilecek karar sürecini destekleyen, problemi çözmek için gerekli bilgileri sağlamaya yarayan bir araçtır.[30]

Veri madenciliği deyimi yanlış kullanılan bir deyim olabileceğinden buna eş değer başka kullanımlar da literatüre geçmiştir. Veri Tabanlarında Bilgi Madenciliği, Bilgi Çıkarımı, Veri ve Örüntü analizi, Veri Arkeolojisi gibi temel anahtar kelimeler kullanılmaktadır.

2.2. Veri Madenciliği Modelleri

Veri madenciliği modelleri tahmin edici (Predictive) ve tanımlayıcı (Descriptive) olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Tahmin edici modellerde, sonuçları bilinen verilerden hareket edilerek bir model geliştirilmesi ve kurulan bu modelden yararlanılarak sonuçları bilinmeyen veri kümeleri için sonuç değerlerin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır [2]. Örneğin bir süpermarket her mal için veri analizi yaparak bir sonraki ayın satış tahminlerini çıkarabilir. Tanımlayıcı modellerde ise karar verme aşamasında kullanılabilecek mevcut verilerdeki örüntülerin tanımlanması amaçlanmaktadır [2]. Belirli kriterlere sahip olan ailelerin satın alma örüntülerinin birbirlerine benzerlik gösterdiğinin belirlenmesi tanımlayıcı modellere bir örnektir.

Tanımlayıcı ve tahmin edici modellerde yoğun olarak kullanılan belli başlı istatistiği yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında incelemek mümkündür.

- Sınıflama ve Regresyon
- Kümeleme
- Birliktelik Kuralları ve Ardışık Zamanlı Örüntüler
- Benzerlik Tarama

Sınıflama ve regresyon modelleri tahmin edici, kümeleme, birliktelik kuralları ve ardışık zamanlı örüntü modelleri tanımlayıcı modellerdir.

2.2.1. Sınıflama ve Regresyon Modelleri

Sınıflama ve Regresyon, yeni bir nesnenin çeşitli özelliklerini göz önüne alarak, belirli sınıflar içinde hangi sınıfa ait olup olmadığını belirleyen iki veri analiz yöntemidir. Sınıflama kategorik değerlerin tahmininde, regresyon ise süreklilik gösteren değerlerin tahmininde kullanılır. Örneğin, sınıflama modeli için bir kural yazılacak olursa;

“Genç kadınlar küçük araba satın alır, yaşlı, zengin erkekler büyük, lüks araba satın alır.”

Burada amaç bir malın özellikleri ile müşteri özelliklerini eşlemdir. Böylece bir müşteri için ideal ürün veya bir ürün için ideal müşteri profili çıkarılabilir. Örneğin, bir otomobil satıcı şirketi önceki müşteri hareketlerinin analizi ile yukarıdaki gibi bir kural bulursa genç kadınların okuduğu bir dergiye reklam verirken küçük araba modelinin reklamını verir. [2]

Regresyon modelinde ise aşağıdaki örnek bir durum için kullanılabilir;

“Ev sahibi olan, evli, aynı iş yerinde beş yıldan fazladır çalışan, geçmiş kredilerinde geç ödemesi bir ayı geçmemiş bir erkeğin kredi skoru 825’dir.”

Başvuru skortama hesaplanmasında, bir finans kurumuna kredi için başvuran kişi ile ilgili finansal güvenilirliğini notlayan örneğin 0 ile 1000 arasında bir skor hesaplanır. Bu skor kişinin özellikleri ve geçmiş kredi hareketlerine dayanılarak hesaplanır.

Sınıflama ve regresyon modellerinde kullanılan başlıca teknikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Genetik Algoritmalar
- K-En Yakın Komşu
- Lojistik Regresyon
- Bellek Tabanlı Yöntemler
- Karar Ağaçları
- Yapay Sinir Ağları
- Bulanık Sınıflandırma

Genetik Algoritmalar (GA); en iyinin korunumu ve doğal seçim ilkesinin benzetim yoluyla bilgisayarlara uygulanması ile elde edilen bir arama yöntemidir. GA bilgisayar üzerinde oluşan bir evrim şeklidir. Genetik Algoritmanın amacı, hem problemleri çözmek hem de evrimsel sistemleri modellemektir. Değişik planlama teknikleri, bir fonksiyonun optimizasyonu veya ardışık değerlerin tespitini içine alan bir çok problem tipleri için çözüm geliştirmektedir. Standart bir GA’da, aday sonuçlar eşit boyutlu vektörler olarak ifade edilir. Başlangıçta bu vektörlerden bir grup, rastlantısal olarak seçilip belirli büyüklükte bir popülasyon (toplum) oluşturulur. Kromozom adı verilen bu vektörler, yeni nesiller (jenerasyon) oluşturularak değişikliğe uğrar. Bir kromozomun üzerindeki genler, n boyutlu vektörlerin bir boyutuna

karşılık gelmektedir. Her yeni nesilde kromozomların iyilik derecesi ölçülür, yani her vektör (kromozom), amaç fonksiyonuna yerleştirilerek vermiş olduğu sonuç hesaplanır. Bir sonraki nesil oluşturulurken, bazı kromozomlar yeniden üretilir, çaprazlama ve mutasyona uğratılır. Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar çıkartılarak sabit büyüklükte bir toplum sağlanır. Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır ve yeni toplumun başarısı elde edilir.

En yakın komşu yöntemi; nesne tanımanın en klasik metotlarından birisi olup, tanımlanması istenen nesnenin vektörünü, veritabanındaki en yakın komşusunun sınıfına dâhil ederek tanımlar. Yöntem, örnek vektörün istatistiksel dağılımından bağımsız olup, yalnızca en yakın komşunun sınıfına göre bir sınıflandırma yaparak tanıma işlemini gerçekleştirir.

Lojistik Regresyon Analizi; en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde sonuç değişkeni (bağımlı yada cevap değişkeni) ile bağımsız değişkenler kümesi (açıklayıcı değişkenler) arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen bir model kurmaktır.

Bellek tabanlı Yöntemler; 1950'li yıllarda istatistikte önerilmiş olmasına rağmen o yıllarda gerektirdiği hesaplama ve bellek yüzünden kullanılamamıştır. Ancak günümüzde bilgisayarların ucuzlamış olması, kapasitelerinin artması, özellikle de çok işlemcili sistemlerin yaygınlaşmasıyla kullanılabilir hale gelmiştir. Bu yöntem en iyi örnek, en yakın k komşu algoritması verilebilir.

Karar ağaçları; kuruluşlarının ucuz olması, yorumlanmalarının kolay olması, veri tabanı sistemleri ile kolayca entegre edilebilmeleri ve güvenilirliklerinin iyi olması nedenleri ile sınıflama modelleri içerisinde en yaygın kullanıma sahip tekniktir. Karar ağacı, adından da anlaşılacağı gibi bir ağaç görünümünde, tahmin edici bir tekniktir [3]. Karar düğümleri, dallar ve yapraklardan oluşur [4]. Karar ağaçlarında kök ve her düğüm bir soruyla etiketlenir. Düğümlerden ayrılan dallar ise ilgili sorunun olası yanıtlarını belirtir. Her dal düğümü de söz konusu sorunun çözümüne yönelik bir tahmini temsil eder. Ağacın her bir dalı sınıflama işlemini tamamlamaya adaydır. Eğer bir dalın ucunda sınıflama işlemi gerçekleşmiyorsa, o dalın sonucunda bir karar düğümü oluşur. Ancak dalın sonunda belirli bir sınıf oluşuyorsa, o dalın sonunda yaprak vardır. Bu yaprak, veri üzerinde belirlenmek istenen sınıflardan biridir. Karar ağacı işlemi kök düğümünden başlar ve yukarıdan aşağıya doğru yaprağa ulaşana dek ardışık düğümleri takip ederek gerçekleşir.

Yapay Sinir Ağları; insan beyninin yapısından esinlenilmiş bir bilgi işleme sistemidir. Nöronlara benzetilmiş işlem öğeleri arasındaki ilişkilerle yapılandırılmıştır. İnsan beyni gibi yapay sinir ağı da birbirine bağlı birçok işlem biriminden oluşmuştur. Bu işlem birimleri birbirlerinden bağımsız işlev görürler ve yalnızca yerel veriyi (düğüme gelen girdi ve düğümden

çıkan çıktıyı) kullanırlar. Bu özellik, sinir ağlarının dağınık ya da paralel ortamlarda kullanımını kolaylaştırır. Tanınması istenen nesnenin öznitelik vektörünü giriş olarak alır ve çıkış ünitelerinin birinde bu nesnenin sınıfını belirler ve bir cevap üretir. Yapay sinir ağlarında her çıkış ünitesi gözlenen olayın farklı bir sınıfını belirler.

2.2.2. Kümeleme

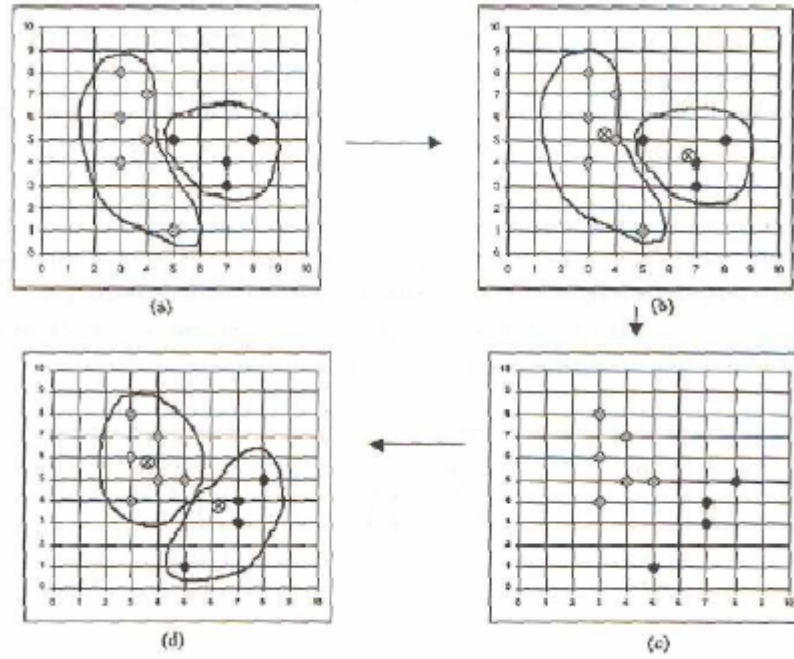
Kümeleme, veriyi sınıflara veya kümelere ayırma işlemidir [5]. Aynı kümedeki elemanlar birbirleriyle benzerlik gösterirlerken, başka kümelerin elemanlarından farklıdırlar. Kümeleme modelinde, sınıflama modelinde olan veri sınıfları yoktur [6]. Verilerin herhangi bir sınıfı bulunmamaktadır. Sınıflama modelinde, verilerin sınıfları bilinmekte ve yeni bir veri geldiğinde bu verinin hangi sınıftan olabileceği tahmin edilmektedir. Oysa kümeleme modelinde, sınıfları bulunmayan veriler gruplar halinde kümelere ayrılırlar. Bazı uygulamalarda kümeleme modeli, sınıflama modelinin bir önışlemi gibi görev alabilmektedir [6].

Baslıca kümeleme yöntemleri 5 alt kısımda sınıflandırılabilir [4]:

- 1 - Bölme Yöntemleri
- 2 - Hiyerarşik Yöntemler
- 3 - Yoğunluk Tabanlı Yöntemler
- 4 - Izgara Tabanlı Yöntemler
- 5 - Model Tabanlı Yöntemler

Bölme yöntemlerinde, n veri tabanındaki nesne sayısı ve k oluşturulacak küme sayısı olarak kabul edilir. Bölme algoritması n adet nesneyi, k adet kümeye böler ($k \leq n$). Kümeler tarafsız bölme kriteri olarak nitelendirilen bir kritere uygun oluşturulduğu için aynı kümedeki nesneler birbirlerine benzerken, farklı kümedeki nesnelerden farklıdırlar [4].

En iyi bilinen ve en çok kullanılan bölme yöntemleri k-means yöntemidir. K-means yöntemi, ilk önce n adet nesneden rastgele k adet nesne seçer ve bu nesnelerin her biri, bir kümenin merkezini veya orta noktasını temsil eder. Geriye kalan nesnelerden her biri kendisine en yakın olan küme merkezine göre kümelere dağılırlar. Yani, bir nesne hangi kümenin merkezine daha yakın ise o kümeye yerleşir. Ardından her küme için ortalama hesaplanır ve hesaplanan bu değer o kümenin yeni merkezi olur. Bu işlem tüm nesneler kümelere yerleşinceye kadar devam eder [4].



Şekil 2.1 K-Means Yöntemiyle Kümeleme Örneği

2.2.3. Birliktelik Kuralları ve Ardışık Zamanlı Örüntüler

Toplanan ve depolanan verinin her geçen gün gittikçe büyümesi sebebiyle, şirketler veritabanlarındaki birliktelik kurallarını ortaya çıkarmak istemektedirler. Birliktelik kuralları veritabanından, geçmiş tarihli hareketleri analiz etmek için karar verme aşamasında örüntüleri ve ilişkileri bulmada, verilen kararların kalitesini arttırmada izlenen bir yaklaşımdır. Bir alışveriş sırasında veya birbirini izleyen alışverişlerde müşterinin hangi mal veya hizmetleri satın almaya eğilimli olduğunun belirlenmesi, müşteriye daha fazla ürünün satılmasını sağlama yollarından biridir. Satın alma eğilimlerinin tanımlanmasını sağlayan birliktelik kuralları ve ardışık zamanlı örüntüler, pazarlama amaçlı olarak Pazar Sepeti Analizi (Market Basket Analysis) adı altında veri madenciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu teknikler, tıp, finans ve farklı olayların birbirleri ile ilişkili olduğunun belirlenmesi sonucunda değerli bilgi kazanımının söz konusu olduğu ortamlarda da önem taşımaktadır.

Birliktelik kuralları eş zamanlı olarak gerçekleşen ilişkilerin tanımlanmasında kullanılır. Keşfedilen örüntüler örnekleme sıklıkla birlikte geçen nitelik değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Şampuan ve saç kremi satın alan müşterilerin %20 ihtimalle saç jölesi de almaları, bira satın alan müşterilerin, %75 ihtimalle patates cipsi de almaları yada düşük yağlı peynir ve yağsız yoğurt satın alan müşterilerin, %85 ihtimalle diet süt de almaları birliktelik kurallarına

örnek olarak verilebilir. Bu tür birliktelik örüntüleri ancak, örüntüde yer alan öğelerin birden fazla harekette tekrarlandığında potansiyel olarak mevcut olabilirler.

Ardışık zamanlı örüntüler ise birbiri ile ilişkisi olan ancak birbirini izleyen dönemlerde gerçekleşen ilişkilerin tanımlanmasında kullanılır. X ameliyatı yapıldığında, 15 gün içinde % 45 ihtimalle Y enfeksiyonunun oluşması, İMKB endeksi düşerken A hisse senedinin değeri % 15'den daha fazla artacak olursa, üç iş günü içerisinde B hisse senedinin değerinin % 60 ihtimalle artacak olması, çekiç satın alan bir müşterinin, ilk üç ay içerisinde % 15, bu dönemi izleyen diğer üç ay içerisinde de % 10 ihtimalle çivi satın alacak olması ardışık zamanlı örüntülere örnek verilebilir. Birliktelik kurallarının kullanıldığı en tipik örnek market sepeti uygulamasıdır. Bu işlem, müşterilerin yaptıkları alışverişlerdeki ürünler arasındaki birliktelikleri bularak müşterilerin satın alma alışkanlıklarını analiz eder. Bu tip birlikteliklerin keşfedilmesi, müşterilerin hangi ürünleri bir arada aldıkları bilgisini ortaya çıkarır ve market yöneticileri de bu bilgi ışığında daha etkili satış stratejileri geliştirebilirler. Örneğin bir marketin müşterilerinin süt ile birlikte ekmek satın alan oranı yüksekse, market yöneticileri süt ile ekmek raflarını yan yana koyarak ekmek satışlarını arttırabilirler. Sepet analizinde mallar arasındaki bağıntı, destek ve güven değerleri aracılığıyla hesaplanır. Destek veride bu bağıntının ne kadar sık olduğunu, güven de X ürününü almış bir kişinin hangi olasılıkla Y ürününü alacağını ifade eder. Bağıntının önemli olabilmesi için her iki değer de olabildiğince büyük olması gerekir.

X ve Y farklı ürünler olmak üzere, X ürünü için destek tüm alışverişler içinde X ürünün oranıdır.

$|X|$, X ürünü içeren alışverişlerin sayısını, $|D|$ yapılan tüm alışverişlerin sayısını göstermek üzere;

$$\text{Destek (X)} = \frac{|X|}{|D|} \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.1)$$

X ve Y ürünleri için destek, $|X.Y|$ X ve Y ürünlerini birlikte içeren alışveriş sayısı olmak üzere;

$$\text{Destek (X} \Rightarrow \text{Y)} = \frac{|X.Y|}{|D|} \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.2)$$

X ve Y ürünleri için güven ise;

$$\text{Güven } (X \Rightarrow Y) = \frac{\text{destek}(X.Y)}{\text{destek}(X)} \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.3)$$

Örneğin, bir X ürününü satın alan müşteriler aynı zamanda B ürününü de satın alıyorsa, bu durumun birliktelik kuralı ile gösterimi;

$$X \Rightarrow Y [\text{destek} = \%2, \text{güven} = \%60] \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir. Buradaki destek ve güven ifadeleri, kuralın ilginçlik ölçüleridir. Sırasıyla, keşfedilen kuralın kullanışlılığını ve doğruluğunu gösterirler. Yukarıdaki bağıntı için %2 oranındaki bir destek değeri, analiz edilen tüm alışverişlerden %2'sinde X ile Y ürünlerinin birlikte satıldığını belirtir. %60 oranındaki güven değeri ise X ürününü satın alan müşterilerinin %60'ının aynı alışverişte Y ürününü de satın aldığını ortaya koyar [7]. Kullanıcı tarafından minimum destek eşik değeri ve minimum güven eşik değeri belirlenir ve bu değerleri aşan birliktelik kuralları dikkate alınır.

Büyük veri tabanlarında birliktelik kuralları bulunurken, su iki işlem basamağı takip edilir [7]:

- 1- Sık tekrarlanan öğeler bulunur. Bu öğelerin her biri en az, önceden belirlenen minimum destek sayısı kadar sık tekrarlanırlar.
- 2- Sık tekrarlanan öğelerden güçlü birliktelik kuralları oluşturulur. Bu kurallar minimum destek ve minimum güven değerlerini karşılamalıdır.

2.2.4. Benzerlik Arama

Benzerlik arama, bütün çiftleri bulmak için veya kuyruğa konulan nesnelerden kullanıcı tarafından tanımlanan aralık içerisinde nesnelerin bulunması için, nesne veritabanı üzerinde gerçekleştirilir [8]. Örnek uygulamalar benzer fiyat hareketlerinden stokların keşfedilmesini, benzer satış örgüleri ile şirketlerin tanımlanmasını içerir.

2.3. Veri Tabanında Bilgi Keşfi Süresi

Veri madenciliği projelerinin başarılı olabilmesi için, işin ve verinin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Başarılı bir veri madenciliği projelerinde izlenmesi gereken yol aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Problemin Tanımlanması
- Verilerin Hazırlanması
- Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi

-
- ```
graph TD; A[Bilgi İhtiyacı AMAÇ] <--> B[Veri Kaynakları Veri İnceleme]; B --> C[Veri Hazırlama]; C <--> D[Modelleme]; D --> E[Değerlendirme]; E --> F[Kullanma]; F --> A; VERİ[(VERİ)]
```

### 2.3.1. Problemin Tanımlanması

### 2.3.2. Verilerin Hazırlanması

10

Verilerin hazırlanması aşaması kendi içerisinde toplama, birleştirme ve temizleme, dönüştürme adımlarından meydana gelmektedir.

*Toplama:* Tanımlanan problem için ilgili veri kaynaklarından gerekli verilerin toplanması, veri hazırlamanın ilk adımıdır. Verilerin toplanmasında kuruluşun kendi veri kaynaklarının dışında, nüfus sayımı, hava durumu gibi veri tabanlarından faydalanılabilir.

*Birleştirme ve Temizleme:* Bu adımda toplanan verilerde bulunan farklılıklar giderilmeye çalışılır. Hatalı veya analizin yanlış yönlendirilmesine sebep olabilecek verilerin temizlenmesine çalışılır. Genellikle yanlış veri girişinden veya bir kereye özgü bir olayın gerçekleşmesinden kaynaklanan verilerin, önemli bir uyarıcı enformasyon içerip içermediği kontrol edildikten sonra veri kümesinden atılması tercih edilir.

*Dönüştürme:* Kullanılacak model ve algoritma çerçevesinde verilerin tanımlama veya gösterim şeklinde değiştirilmesi gerekebilir. Örneğin kredi riski uygulamasında iş tiplerinin, gelir seviyesi ve yaş gibi değişkenlerin kodlanarak gruplanması faydalı olabilir.

### **2.3.3. Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi**

Tanımlanan problem için en uygun modelin bulunabilmesi, çok sayıda modelin kurularak denenmesi ve en iyi olduğu düşünülen modele varıncaya kadar bu işlemin yinelenmesi sürecidir. Bir modelin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan en basit yöntem Basit Geçerlilik testidir. Bu yöntemde tipik olarak verilerin % 5 ile % 33 arasındaki bir kısmı test verileri olarak ayrılır ve kalan kısım üzerinde modelin öğrenimi gerçekleştirildikten sonra, bu veriler üzerinde test işlemi yapılır. Bir sınıflama modelinde yanlış olarak sınıflanan olay sayısının, tüm olay sayısına bölünmesi ile hata oranı, doğru olarak sınıflanan olay sayısının tüm olay sayısına bölünmesi ile doğruluk oranı hesaplanır (Doğruluk Oranı = 1 - Hata Oranı).

Diğer bir değerlendirme kriteri modelin anlaşılabilirliğidir. Bazı uygulamalarda doğruluk oranlarındaki küçük artışlar çok önemli olsa da, birçok işletme uygulamasında ilgili kararın niçin verildiğinin yorumlanabilmesi çok daha büyük önem taşıyabilir. Yorumlanamayacak kadar karmaşık modellerde, genel olarak karar ağacı ve kural temelli sistemler model tahmininin altında yatan nedenleri çok iyi ortaya koyabilmektedir.

### **2.3.4. Modelin Kullanılması**

Kurulan ve geçerliliği kabul edilen model doğrudan bir uygulamanın yada başka bir uygulamanın alt parçasıdır. Kurulan modeller risk analizi, kredi değerlendirme, dolandırıcılık tespiti gibi işletme uygulamalarında doğrudan kullanılabileceği gibi, promosyon planlaması

simülasyonuna entegre edilebilir veya tahmin edilen envanter düzeyleri yeniden sipariş noktasının altına düştüğünde, otomatik olarak sipariş verilmesini sağlayacak bir uygulamanın içine gömülebilir [9].

### **2.3.5. Modelin İzlenmesi**

Üretilen verilerde ortaya çıkan değişiklikler kurulan modelin sürekli izlenmesini ve gerekiyorsa yeniden düzeltilmesini gerektirir. Model sonuçlarının izlenmesinde tahmin edilen ve gözlenen değişkenler arasındaki farklılığı gösteren grafikler kullanılır.

## **2.4. Veri Madenciliğinde Karşılaşılan Problemler**

Veri madenciliği sistemleri, işlenmemiş veriyi tutmak için veri tabanlarını kullanmaktadır. Veri Madenciliği problemleri veri tabanında saklanan bilginin yeterli ve konuyla ilgili olup olmaması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Küçük veritabanlarında hızlı ve doğru bir biçimde çalışan bir sistem, çok büyük veritabanlarına uygulandığında tamamen farklı davranabilir. Veriye gürültü eklendiğinde sistem kötüleşebilir.

Veri madenciliği uygulamalarında aşağıdaki problemlere sıkça karşılaşılmaktadır.

- Veritabanının boyutu
- Dinamik veri yapısı
- Eksik yada kesin olmayan veri
- Gürültü
- Gerekenden fazla, anlamsız yada tutarsız veri

### **2.4.1. Veritabanının Boyutu**

Veritabanları büyük ve dinamik olma eğilimindedir, içerikleri her zaman ekleme, düzeltme ve silme işlemleri ile değişim halindedir. Veritabanlarının boyutu yüzünden, veri madenciliği yöntemlerinden herhangi birinin ham veriyle başarılı olma olasılığı yoktur. Veri madenciliği yöntemleri, bu şekilde elde edilen sonuçların tüm veritabanını temsil edebileceğini umarak, veritabanından bir örneğin çıkarılmasını gerektirebilir. Bir veritabanının boyutlarının küçültülmesi iki yolla olabilir.

*1. Veri alanında örnekleme;* genellikle rastgele bazı kayıtlar seçilir ve veri madenciliğinin sonraki aşamalarında kullanılır.

*2. Özellik alanında örnekleme;* her veri kaydının bazı özellikleri seçilir. Yine, birçok özellik varsa, seçim rastgele yapılır.

#### **2.4.2. Dinamik Veri Yapısı**

Veritabanları, belirli aralıklarla güncellenir yada veritabanlarına yeni kayıtlar eklenir. Örneğin, tıp alanında yeni bir SPECT görüntüsü (aynı hastaya ait yeni bir görüntü yada yeni bir hastaya ait görüntü) eklenebilir yada var olanlar yenileriyle değiştirilebilir (Örneğin, bir görüntünün teknik nedenlerle değiştirilmesi gibi). Bu durum, bilgi keşfi metotları için önemli sakıncalar doğurmaktadır. Sadece okuma yapan ve uzun süre çalışan bilgi keşfi metodu bir veritabanı uygulaması olarak mevcut veri tabanı ile birlikte çalıştırıldığında mevcut uygulamanın da performansını ciddi ölçüde düşürecektir.

#### **2.4.3. Eksik ya da Kesin Olmayan Veri**

Veritabanında bir değer bilinmiyor ya da yanlışlıkla girilmemiş olabilir. Veri madenciliğindeki birçok yöntem, her veri nesnesi için sabit bir boyut (özellik sayısı) gerektirdiğinden, eksik değerler sorun yaratır. Eksik değerler sorununu çözmek için;

- a) Eksik değerlerin yerine en olası değerleri koyulabilir.
- b) Bilinmeyen değerlerin yerine o öznitelik için olası tüm değerleri koyulabilir.

#### **2.4.4. Gürültü**

Nitelik değerlerindeki veya sınıf bilgilerindeki hatalar gürültü olarak adlandırılır. Veritabanları genellikle gürültülerle, hatalarla kirlenmektedir. Böylece, onların tam olarak doğru veri içermediği varsayılır. Öznel veya ölçüye dayalı nitelikler bazen hatalı sonuçlar verebilirler. Sonuçta, üretilmiş kuralların toplam doğruluğu için sınıflanmış bilgiden gürültünün elenmesi istenir.

#### **2.4.5. Gereğinden Fazla Anlamsız ve Tutarsız Veriler**

Veri grubunda gerekenden fazla, anlamsız ya da tutarsız veri nesneleri ve/veya öznitelikleri olabilir. Aynı veri ögesi, birden çok kategoriye aitse, tutarsız veri söz konusudur. Veri madenciliği işlemlerine veya uygulamalarına başlamadan önce, veri tabanlarındaki anlamsız ve tutarsız bilgilerin temizlenmesi gerekmektedir.

### 3. TİP-2 BULANIK MANTIK

#### 3.1. Giriş

İstatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu nedenle insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir.

Bulanık mantık sistemlerde, kelimelerin farklı insanlar için farklı anlamlarının olması, bilginin aynı görüşte olmayan uzman grubundan alınması, bulanık mantık sistemleri harekete geçiren ölçümlerin gürültülü olması gibi nedenlerden dolayı belirsizlikler vardır [10].

Bulanık mantığın yeni bir açılımı olan bir tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonunun bulanık olmasından ve üçüncü boyutundan dolayı belirsizlikleri modelleyip etkisini azaltabilir. Belirsizlikler kaybolduğunda da tip-2 bulanık mantık tip-1 bulanık mantığa indirgenebilir. Ancak üçüncü boyuttan dolayı çizimin zorlaşması, hesaplamaların daha karmaşık olması gibi nedenlerden tip-2 bulanık kümeleri anlamak tip-1 bulanık kümeleri anlamaktan daha zordur [10].

Bu bölümde, literatürde kullanılan temel kavram ve tanımlar verilerek çeşitli örneklerle tip-2 bulanık mantık ve özellikleri anlatılmaya çalışılmıştır.

##### 3.1.1. Tip-2 Üyelik Fonksiyonları

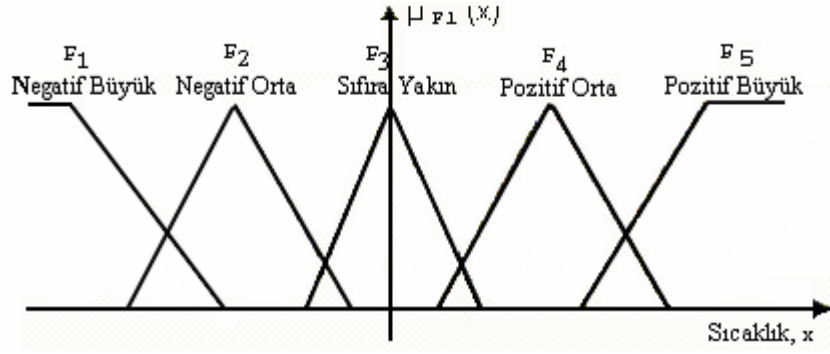
Bulanık mantık sistemlerde üyelik fonksiyonları, giriş ve çıkışlarla ilişkili olarak kuralların varsayım (antecedent) ve sonuç (consequent) kısımlarında yer alır. Bulanık kümeleri tanımlayan üyelik fonksiyonları tip-1 ve tip-2 olmak üzere ikiye ayrılabilir. Belirsizliği daha iyi ifade edebilme gücü olan tip-2 bulanık mantık için tanımlanan üyelik fonksiyonları, klasik bulanık mantık olarak bilinen tip-1 üyelik fonksiyonlarından yola çıkılarak incelenecektir.

Tek değişkenli A tip-1 bulanık kümesi

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid \forall x \in X\} \quad (3.1)$$

olarak gösterilir. Tüm  $x \in X$  'ler için tip-1 üyelik fonksiyonu  $\mu_A(x)$ , 0 ile 1 arasında olmalıdır. Tip-1 üyelik fonksiyonu iki boyutludur.

Üyelik fonksiyonundaki dilsel etiketlerin seçimi serbesttir. Örneğin Şekil 2.1'de sıcaklık için beş tane dilsel etiket tanımlanmıştır (Negatif Büyük, Negatif Orta, Sıfıra Yakın, Pozitif Orta, Pozitif Büyük). Ayrıca üçgen şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarını çizerken üçgenlerin merkezlerinin nerede olacağı, taban genişliklerinin ne kadar olacağı, ne kadar üst üste binecekleri gibi kararlar önemlidir. Tip-2 bulanık küme ve üyelik fonksiyonlarının belirsizliği modelleme özelliğinden dolayı bu kararların çoğuna ihtiyaç duyulmamaktadır.

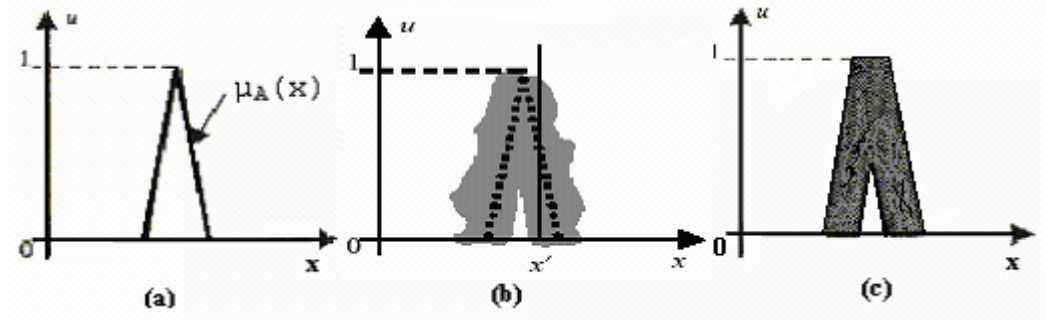


Şekil 3.1 Tip-1 Üyelik Fonksiyonları

Elemanların üyeliği 0 veya 1 olarak belirlenemediğinde tip-1 bulanık kümeler kullanılır. Benzer şekilde koşullar çok bulanıksa yani üyelik derecesini  $[0, 1]$  arasında belirlemede problem yaşıyorsa, tip-2 bulanık kümeler kullanılır. (Bu fikir ilk kez 1975 yılında Zadeh tarafından ileri sürülmüştür) [1]. Ancak bu görüş tip-2 kümeleri kullanmak için olağanüstü bulanık koşullara sahip olunması gerektiği anlamında değildir. Eğer belirsizliğin tam değeri belirlenemiyorsa (üyelik derecesi net olarak belirlenemiyorsa), tip-1 yerine tip-2 bulanık kümeleri kullanmak daha doğru olacaktır. Bu şekilde düşünüldüğünde, belirsizliği sonlu tipte bir bulanık kümenin temsil edemeyeceği söylenebilir. Bu durumda, belirsizliği tamamen göstermek için tip- $\infty$  bulanık kümesini kullanma ihtiyacı duyulur. Ancak pratikte bu mümkün değildir. Bu yüzden bazı sonlu tip bulanık kümeler kullanılır.

Şekil 3.2 (a)'daki tip-1 üyelik fonksiyonu üçgenin solundan ve sağından çeşitli miktarlarda noktaları kaydırılarak bulanıklaştırılmış olsun. Şekil 2.2 (b)'ye bakılırsa  $x$ 'de dikey çizginin bulanık kısımla kesiştiği noktalarda üyelik fonksiyonu birden fazla değer almıştır. Bu değerler aynı ağırlığa sahip olmak zorunda değildir ve bu noktalara bir genlik dağılımı uygulanabilir. Bu bütün  $x \in X$  için yapılırsa tip-2 bulanık kümeleri tanımlayan üç boyutlu üyelik fonksiyonu yani tip-2 üyelik fonksiyonu elde edilir.

-



**Şekil 3.2** (a) Tip-1 üyelik fonksiyonu (b) Bulanıklaştırılmış tip-1 üyelik fonksiyonu (c) FOU (Belirsizliğin Ayak İzi) [9]

Bir tip-2 bulanık kümesi  $\tilde{A}$  ile gösterilir ve  $x \in X$ ,  $u \in J_x \subseteq [0,1]$  olmak üzere tip-2 üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}(x,u)$  şeklinde tanımlanır, yani

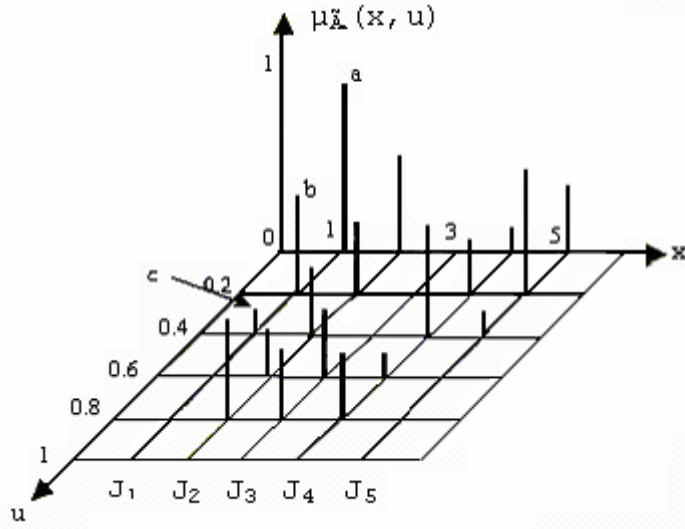
$$\tilde{A} = \{((x,u), \mu_{\tilde{A}}(x,u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x,u) \leq 1 \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir.  $\tilde{A}$  ayrıca

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x,u) / (x,u) \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (3.3)$$

şeklinde de gösterilebilir. Denklem (3.3)'teki  $\int \int$   $x$  ve  $u$ 'nun birleşimini gösterir.

**Örnek-1:** Şekil 3.3 ayrık  $x$  ve  $u$  için  $\mu_{\tilde{A}}(x,u)$ 'i gösterir. Burada  $X=\{1,2,3,4,5\}$   $U=\{0,0.2,0.4,0.6,0.8,1\}$   $J_1=\{0,0.2,0.4\}$   $J_2=\{0,0.2,0.4,0.6,0.8\}$   $J_3=\{0.6,0.8\}$   $J_4=J_2$   $J_5=J_1$  dir. Bu değerler  $\mu_{\tilde{A}}(x,u) \neq 0$  olduğu durumlar için verilmiştir. Her dikey çizgi  $(x,u)$  çiftine karşılık gelen  $\mu_{\tilde{A}}(x,u)$  değerini temsil eder.



Şekil 3.3 Örnek Bir Ayrık Tip-2 Üyelik Fonksiyonu [10]

Denklem (2.2)'deki  $\forall u \in J_x \subseteq [0,1]$  sınırlaması tip-1 üyelik fonksiyonundaki  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$  ile aynıdır. Yani bulanıklaştırma olmazsa,  $u = \mu_A(x)$  ve  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$  şartıyla tip-2 üyelik fonksiyonu tip-1 üyelik fonksiyonuna indirgenebilir.

### 3.1.2. Tip-2 Bulanık Kümeler Üzerinde İşlemler

Üyelik fonksiyonları  $\mu_{F_1}(y)$  ve  $\mu_{F_2}(y)$  ile tanımlı  $F_1$  ve  $F_2$  tip-1 bulanık kümeleri ile maksimum t-norm ve minimum t-norm kullanarak yapılan birleşim, kesişim ve tümleyen işlemleri,

$$F_1 = \int_{y \in Y} \mu_{F_1}(y) / y \quad (3.4)$$

$$F_2 = \int_{y \in Y} \mu_{F_2}(y) / y \quad (3.5)$$

$$\mu_{F_1 \cup F_2}(y) = \max[\mu_{F_1}(y), \mu_{F_2}(y)] \quad \forall y \in Y \quad (3.6)$$

$$\mu_{F_1 \cap F_2}(y) = \min[\mu_{F_1}(y), \mu_{F_2}(y)] \quad \forall y \in Y \quad (3.7)$$

$$\mu_{\bar{F}_1}(y) = 1 - \mu_{F_1}(y) \quad \forall y \in Y \quad (3.8)$$

$$\mu_{\bar{F}_2}(y) = 1 - \mu_{F_2}(y) \quad \forall y \in Y \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilir [12]. Cebirsel çarpma da, diğer bir t-norm işlemidir. Genellikle bulanık kümelerin mühendislik uygulamalarında ve lojikte kullanılır.

$$\mu_{F_1 \cap F_2}(y) = \mu_{F_1}(y) \times \mu_{F_2}(y) \quad \forall y \in Y \quad (3.10)$$

**Genişleme İlkesi:** Zadeh'in Genişleme İlkesi tip-2 bulanık kümelerin birleşim, kesişim ve tümleyen hesabında kullanılan bir araçtır [12].

$A_1, A_2, \dots, A_r$  sırasıyla  $X_1, X_2, \dots, X_r$ 'de tip-1 bulanık kümeler ve  $B = f(A_1, A_2, \dots, A_r)$  olsun. Zadeh'in Genişleme İlkesine göre:

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \sup_{(x_1, \dots, x_r) \in f^{-1}(y)} \min\{\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)\} \\ 0 \quad \text{if } f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases} \quad \text{'dir.} \quad (3.11)$$

$y = f(x_1, K, x_r)$  olduğundan,  $f^{-1}(y)$   $x_1 \in X_1, K, x_r \in X_r$  noktalarının kümesini gösterir. Denklem (3-11)'i elde etmek için önce  $y = f(x_1, K, x_r)$  için  $(x_1, K, x_r)$  değerleri sonra da  $\mu_{A_1}(x_1), K, \mu_{A_r}(x_r)$  ve  $\min\{\mu_{A_1}(x_1), K, \mu_{A_r}(x_r)\}$  değerleri bulunmalıdır. Eğer  $(x_1, K, x_r)$ 'den oluşan birden fazla küme  $y = f(x_1, K, x_r)$ 'yi sağlarsa, bu prosedür diğerleri için de tekrarlanır ve  $\mu_B(y)$  için minimal'ların en büyüğü seçilir.

Zadeh'in Genişleme İlkeleri minimum t-norm ve maksimum t-conorm'u kullanarak tanımlanmıştır.  $f(A_1, K, A_r)$ 'yi bulmak için çarpma, toplama işlemleri kullanılmamaktadır. Bunun yerine doğrudan denklem (2-37)'den çıkarılan, birleşim için maksimum işlemi ve minimum için de genel t-norm (\*) kullanılır.

$$f(A_1, K, A_r) = \int_{x_1 \in X_1} K \int_{x_2 \in X_2} \mu_{A_1}(x_1) * \dots * \mu_{A_r}(x_r) / f(x_1, K, x_r) \quad (3-12)$$

### 3.1.3. Tip-2 Bulanık İlişkiler ve Birleşimler

$R(A_1, K, A_n)$ , n tane bulanık olmayan küme  $(A_1, K, A_n)$  arasındaki ilişkiyi gösterir.  $R(A_1, K, A_n)$ ,  $A_1 \times K \times A_n$  kartezyen çarpımının alt kümesidir  $(R(A_1, K, A_n) \subset A_1 \times K \times A_n)$ . Bulanık olmayan ilişki,

$$\mu_R(a_1, K, a_n) = \begin{cases} 1, & (a_1, K, a_n) \in R(A_1, K, A_n) \quad \text{ise} \\ 0, & (a_1, K, a_n) \notin R(A_1, K, A_n) \quad \text{ise} \end{cases} \quad (3.13)$$

şeklinde gösterilebilir.

$F(A_1, K, A_n)$  tip-1 bulanık ilişkisi,  $A_1, K, A_n$  kümelerinin kartezyen çarpım alanında tanımlı tip-1 bulanık kümedir.

$$F(A_1, K, A_n) = \int_{A_1 \times A_2 \times K \times A_n} \mu_F(a_1, a_2, K, a_n) / (a_1, a_2, K, a_n) \quad a_i \in A_i \quad (3.14)$$

$\tilde{F}(A_1, K, A_n)$  tip-2 bulanık ilişkisi,  $A_1, K, A_n$  kümelerinin kartezyen çarpım alanında tanımlı tip-2 bulanık kümedir.

$$\tilde{F}(A_1, K, A_n) = \int_{A_1 \times A_2 \times K \times A_n} \mu_{\tilde{F}}(a_1, a_2, K, a_n) / (a_1, a_2, K, a_n) \quad a_i \in A_i \quad (3.15)$$

#### 3.1.4. Tip-2 Bulanık Kümelerin Ağırlık Merkezi: Tip İndirgeme

Tip-2 bulanık mantık sistemin işlevini tam olarak yerine getirmesi için tip-2 bulanık kümenin ağırlık merkezini hesaplayacak tip indirgeyiciye ihtiyaç duyulur [15]. Tip indirgeyici, tip-2 bulanık kümeleri tip-1 bulanık kümelere dönüştürür.

$x \in X$  için alanı N noktaya ayrılmış A tip-1 bulanık kümesinin ağırlık merkezi,

$$c_A = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_A(x_i)} \quad (3.16)$$

denklemleri ile bulunur. Benzer şekilde, x-alanı N noktaya ayrılmış  $(x_1, x_2, K, x_N)$

$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$  tip-2 bulanık kümesinin ağırlık merkezi ise,

$$C_{\tilde{A}} = \int_{\theta_1 \in J_{X_1}} \Lambda \int_{\theta_N \in J_{X_N}} [f_{x_1}(\theta_1) *_{\mathbf{K}} f_{x_N}(\theta_N)] \frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \quad (3.17)$$

denklemlerden hesaplanabilir. Denklem (3.17)'de  $C_{\tilde{A}}$  tip-1 bulanık kümedir.

$$a(\theta) \equiv \frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \quad (3.18)$$

ve

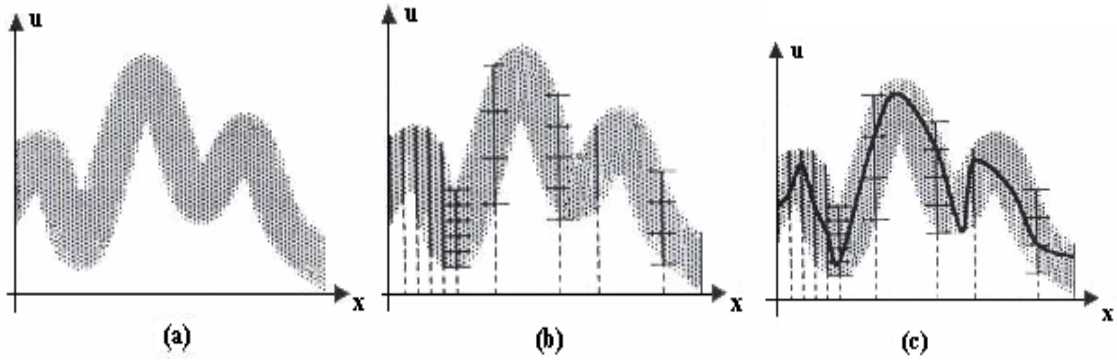
$$b(\theta) \equiv f_{x_1}(\theta_1) *_{\mathbf{K}} f_{x_N}(\theta_N) \quad (3.19)$$

olarak tanımlanırsa:

$$C_{\tilde{A}} = \int_{\theta_1 \in J_{X_1}} \Lambda \int_{\theta_N \in J_{X_N}} b(\theta) / a(\theta) \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilebilir.  $C_{\tilde{A}}$  'yı hesaplamanın pratik sırası,

- 1)  $x$ -alanı  $N$  noktaya ayrılır ( $x_1, x_2, \dots, x_N$ ).
- 2)  $x_j$  'nin birincil üyeliği  $J_{x_j}$  uygun sayıda noktaya ayrılır ( $M_j$  gibi  $j=1, \dots, N$ ).
- 3) Tüm iç içe girmiş tip-1 kümeler birer birer sayılır. (Sonuç  $\prod_{j=1}^N M_j$  olacaktır.)
- 4) Denklem (3.20) kullanılarak ağırlık merkezi, denklem (3.18) ve (3.19) kullanılarak  $\alpha$  defa ( $a_k, b_k$ ) hesaplanır ( $k = 1, 2, \dots, K, \prod_{j=1}^N M_j$ ) olarak belirlenmiştir [15]. Anlatılanlar Şekil 3.4'de aralıklı tip-1 kümeler için gösterilmiştir.



**Şekil 3.4** Aralıklı tip-2 kümenin ağırlık merkezi hesabı

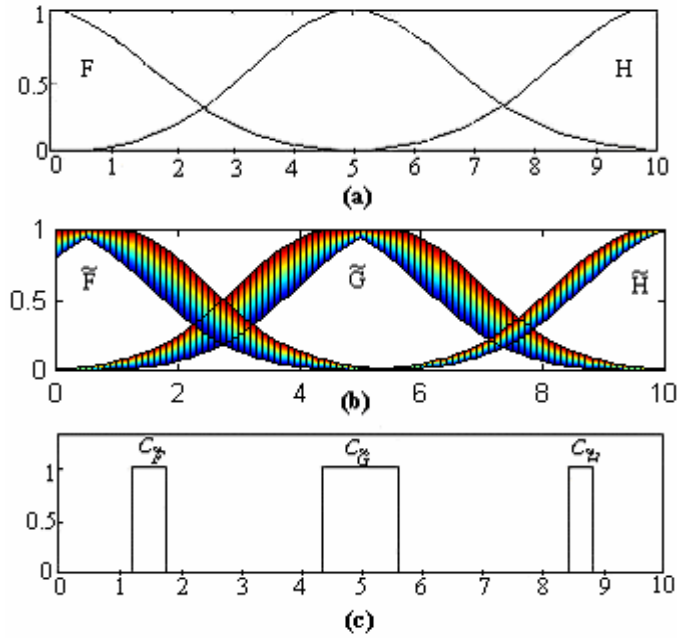
- (a) Aralıklı tip-2 küme için FOU (b) Örnek bağımsız değişken ve ayrıklaştırılmış birincil üyelik (c) İç içe girmiş tip-1küme örneği

Şekil 3.4'deki koyu renkli eğri, FOU'nun alt ve üst fonksiyonları da iç içe girmiş kümelerdendir ve iç içe girmiş tip-1 kümelerin sayısı  $\prod_{j=1}^N M_j$  kadardır [9]. Ancak denklem (3.19)'da t-norm'un hesaplanmasında, teknik problemler (tip-2 bulanık kümenin  $x$ -alanı sürekli ve ikincil üyelik fonksiyonu aralıklı küme ise) ortaya çıkabilir. Böyle bir durumdan sakınmak için t-norm işlemi olarak çarpım seçilmelidir. Aralıklı tip-2 bulanık kümeler için denklem (2.17),

$$C_{\tilde{A}} = \int_{\theta_1 \in J_{x_1}} \Lambda \int_{\theta_N \in J_{x_N}} 1 / \frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} = [c_l, c_r] \quad (3.21)$$

olarak ifade edilir.

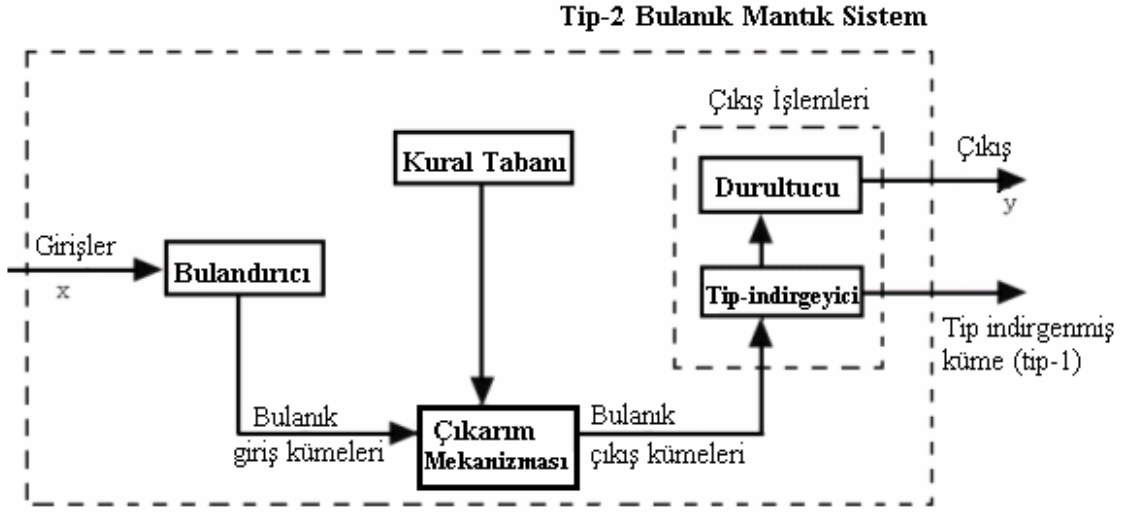
**Örnek –2:** Şekil 3.5 (a)’da tip-1 üyelik fonksiyonları gösterilen  $[0,10]$  aralığındaki üç ifadeyi birleştirelim. F, G ve H tip-1 üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezleri sırasıyla  $c_F=1.3213$ ,  $c_G=5$  ve  $c_H=8.6787$ ’dir. Gaussian üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezindeki bu belirsizlikten dolayı Şekil 3.5 (b)’de gösterilen FOU bulunur. Tip-2 bulanık kümelerin ağırlık merkezlerinin aralıkları Şekil 3.5 (c)’de gösterilmiştir. Her ağırlık merkezi üç bulanık küme için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Örneğin  $C_{\tilde{F}}$ ’nin aralık kümesi  $C_{\tilde{F}}=[1.2058,1.7617]$ ’dir. Bu ağırlık merkezinin orta noktası  $c_F$ ’den farklı olarak 1.4838’dir. Bu belirsizliklere önem verilmediği zaman sonuçlar farklı bulunabilir. Bu gözlem, tip-2 bulanık kümelerin durultulmasında önem taşımaktadır.



**Şekil 3.5** (a) Tip-1 üyelik fonksiyonu (b) Tip-2 bölümlerinin FOU’sı (c) Tip-2 üyelik fonksiyonunun ağırlık merkez [9]

### 3.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi tip-2 bulanık mantık sistem, tip-1 bulanık mantık sisteme çok benzemektedir. Tip-2 bulanık mantık sistemin yapısal farklılığı çıkış bloğundadır. Tip-1 bulanık mantık sistemin çıkış bloğunda sadece durultucu bulunurken, tip-2 bulanık mantık sistemin çıkış bloğunda tip-indirgeyici ve durultucu birlikte yer almaktadır.



Şekil 3.6 Tip-2 Bulanık Mantık Sistem Yapısı[11]

### 3.2.1. Singleton Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Bu alt bölümde kuralların varsayım ve sonuç kısımlarındaki belirsizliği açıklayan singleton tip-2 bulanık mantık sistemlerin yapısı anlatılacaktır. Singleton tip-2 bulanık mantık sistem ismini bulandırıcısının singleton olmasından almıştır. Bilindiği gibi bulandırıcı, giriş değişkenlerinin değerlerini çıkarım mekanizmasında kolayca kullanılabilir bilgilere dönüştüren giriş birimidir ve giriş değişkenlerinin aldığı her değere, ilgili giriş değişkeni için tanımlanan tüm bulanık kümeler için bir üyelik derecesi hesaplar. Singleton bulandırıcı,  $x = (x_1, \dots, x_p)^T \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_p \equiv X$  ve  $\tilde{A}_x$  X’de bir tip-2 bulanık küme olmak üzere  $x = x'$  için  $\mu_{\tilde{A}_x}(x) = 1/1$  ve  $x \neq x'$  için  $\mu_{\tilde{A}_x}(x) = 1/0$  ise  $\tilde{A}_x$  tip-2 bulanık singleton ifadesi ile tanımlanır. Bulandırıcının singleton olmasından dolayı bu sistemlerde, bulanık çıkarım mekanizmasında kullanılan denklem (3-21)

$$\begin{aligned}
 \mu_{\tilde{B}^l}(y) &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \bigcap_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{X}_1}(x_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right\} \cap \\
 &\quad \dots \cap \left\{ \bigcap_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{X}_p}(x_p) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right\} \\
 &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \mu_{\tilde{X}_1}(x'_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \right\} \cap \dots \cap \left\{ \mu_{\tilde{X}_p}(x'_p) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \right\} \quad (3.22) \\
 &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ (1/1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \right\} \cap \dots \cap \left\{ (1/1) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \right\} \\
 &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left[ \cap \mu_{\tilde{F}_i^l}(x'_i) \right], \quad y \in Y
 \end{aligned}$$

denklemleri ile daha basite indirgenir. Ancak bu denklemleri hesaplamak yeterince kolay değildir. Denklem (3.22)'den görüldüğü gibi genel tip-2 bulanık mantık sistemlerde buluşma, tip indirgeme gibi işlemler oldukça karmaşıktır. Bölüm 2'de anlatılan aralıklı tip-2 kümelerle işlem yapmak ise daha kolay olduğundan bu kümeleri seçmemek için mantıklı bir neden yoktur [10]. Üst ve alt üyelik fonksiyonları, aralıklı kümeler için işlemleri basite indirgemede kilit görevi görmektedir. Bu bölümde kullanılacak bazı kavramlar:

1. *Üyelik Fonksiyonu*  $\mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k)$ :  $\mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k)$  ikinci üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) = \int_{w^l \in [\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)]} 1/w^l \quad (3.23)$$

şeklinde gösterilebilir.  $\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)$  ve  $\bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)$  alt ve üst üyelik fonksiyonlarını,  $l = 1, K, M$  kural sayısını,  $k = 1, K, p$  varsayım sayısını göstermektedir.

2. *Merkezi Belirsiz Gaussian Birincil Üyelik Fonksiyonu*: Çok kullanılan bir üyelik fonksiyonudur.

$$\mu_k^l(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - m_k^l}{\sigma_k^l}\right)^2\right] \quad m_k^l \in [m_{k1}^l, m_{k2}^l] \quad (3.24)$$

$l = 1, K, M$  kural sayısını,  $k = 1, K, p$  varsayım sayısını göstermektedir. Üst üyelik fonksiyonu  $\bar{\mu}_k^l(x_k)$ ,

$$\bar{\mu}_k^l(x_k) = \begin{cases} N(m_{k1}^l, \sigma_k^l; x_k) & x_k < m_{k1}^l \\ 1 & m_{k1}^l \leq x_k \leq m_{k2}^l \\ N(m_{k2}^l, \sigma_k^l; x_k) & x_k > m_{k2}^l \end{cases} \quad (3.25)$$

ve alt üyelik fonksiyonu  $\underline{\mu}_k^l(x_k)$ ,

$$\underline{\mu}_k^l(x_k) = \begin{cases} N(m_{k2}^l, \sigma_k^l; x_k) & x_k \leq \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} \\ N(m_{k1}^l, \sigma_k^l; x_k) & x_k > \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} \end{cases} \quad (3.26)$$

3. *Standart Sapması Belirsiz Gaussian Birincil Üyelik Fonksiyonu*: Çok kullanılan bir diğer üyelik fonksiyonudur.

$$\mu_k^l(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - m_k^l}{\sigma_k^l}\right)^2\right] \quad \sigma_k^l \in [\sigma_{k1}^l, \sigma_{k2}^l] \quad (3.27)$$

$l = 1, K, M$  kural sayısını,  $k = 1, K, p$  varsayım sayısını göstermektedir. Üst üyelik fonksiyonu  $\overline{\mu}_k^l(x_k)$ ,

$$\overline{\mu}_k^l(x_k) = N(m_k^l, \sigma_{k2}^l; x_k) \quad (3.28)$$

ve alt üyelik fonksiyonu  $\underline{\mu}_k^l(x_k)$ ,

$$\underline{\mu}_k^l(x_k) = N(m_k^l, \sigma_{k1}^l; x_k) \quad (3.29)$$

olarak tanımlanmıştır. Aralıklı singleton tip-2 bulanık mantık sistemin bulanık çıkarım mekanizması için temel sonuçlar:

a) Giriş-varsayım işlemi sonucu (kuralın kesinlik derecesi/AND işlemi sonucu):

$$F^l(x') = [ \underline{f}^l(x'), \overline{f}^l(x') ] \equiv [ \underline{f}^l, \overline{f}^l ] \quad (3.30)$$

$$\underline{f}^l(x') = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \star \dots \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \quad (3.31)$$

ve

$$\overline{f}^l(x') = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \star \dots \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \quad (3.32)$$

b) İma işlemi sonucu:

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \int_{b^l \in [ \underline{f}^l \star \underline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y), \overline{f}^l \star \overline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y) ]} 1/b^l, \quad y \in Y \quad (3.33)$$

$\overline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y)$  ve  $\underline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y)$ ,  $\mu_{\tilde{G}^l}(y)$ 'nin üst ve alt üyelik dereceleridir.

c) İma işlemi sonucu birleştirilmiş çıkış-sonuç kümeleri: (M kuraldan N tanesi kullanılmıştır.)

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \int_{b \in [ \underline{f}^1 \star \underline{\mu}_{\tilde{G}^1}(y) ] \vee \dots \vee [ \underline{f}^N \star \underline{\mu}_{\tilde{G}^N}(y) ], [ \overline{f}^1 \star \overline{\mu}_{\tilde{G}^1}(y) ] \vee \dots \vee [ \overline{f}^N \star \overline{\mu}_{\tilde{G}^N}(y) ]} 1/b, \quad y \in Y \quad (3.34)$$

**Örnek -3:** Şekil 3-7'de giriş-varsayım işlemi iki varsayım, tek sonuç kümesi, minumum ve çarpım t-norm için gösterilmiştir.

$$\underline{f}^l = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) \quad \text{ve} \quad \overline{f}^l = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) \quad (3.35)$$

minumum t-norm için,

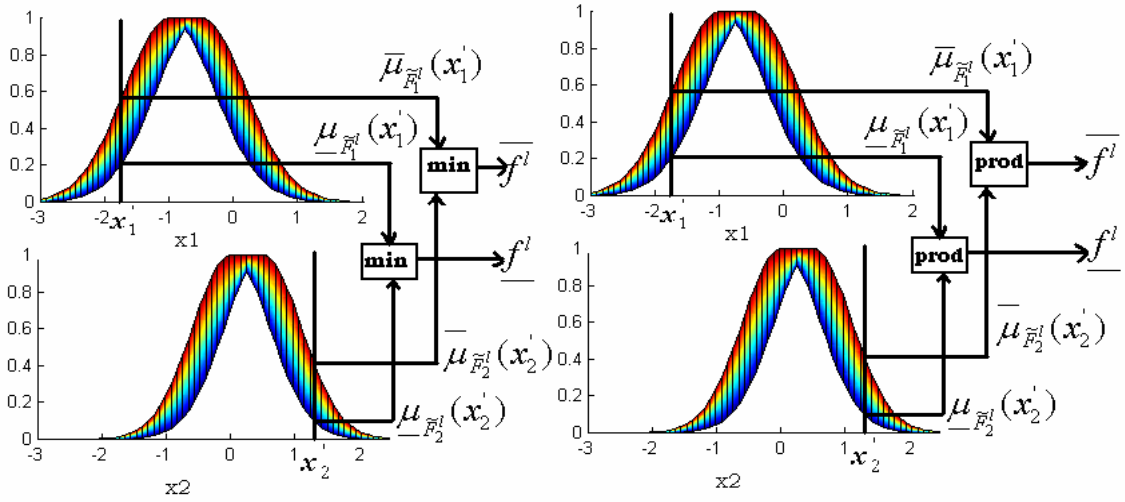
$$\underline{f}^l = \min[ \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1), \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) ] \quad (3.36)$$

$$\overline{f}^l = \min[ \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1), \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) ] \quad (3.37)$$

çarpım t-norm için,

$$\underline{f}^l = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \times \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) \quad (3.38)$$

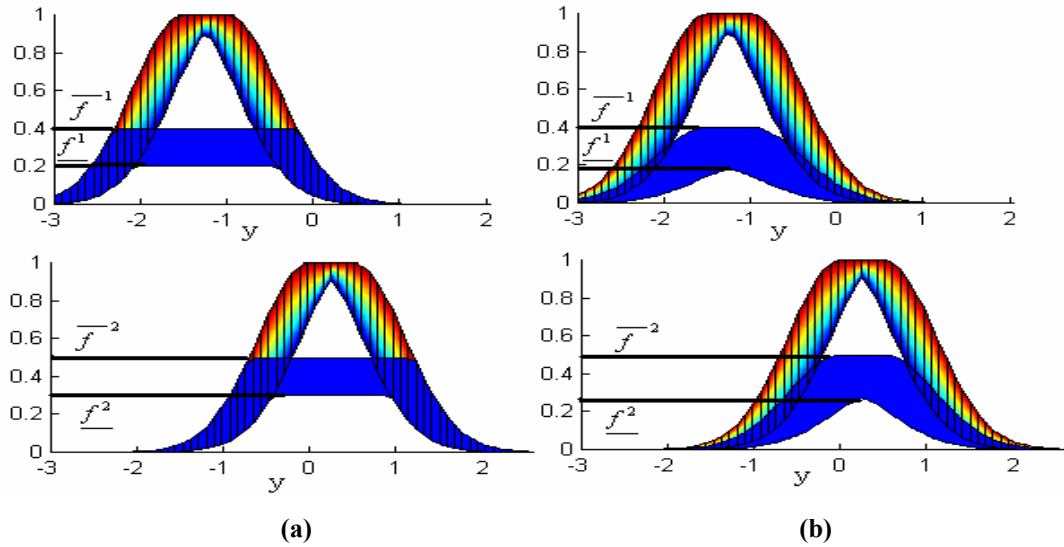
$$\overline{f}^l = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \times \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^l}(x'_2) \quad (3.39)$$



**Şekil 3.7** Aralıklı Singleton Tip-2 Bulanık Mantık Sistem İçin Giriş-Varsayım İşlemi

(a) minimum t-norm ile (b) çarpım t-norm ile [10]

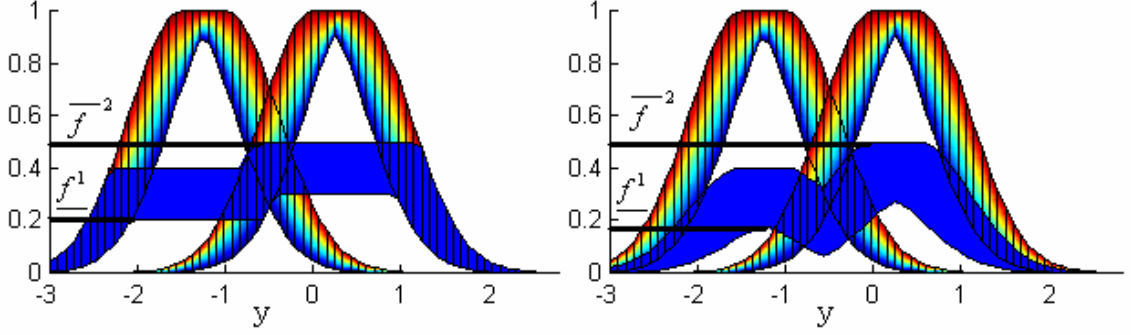
Şekil 3.8’de çıkış-sonuç (ima) işlemi (minimum ve çarpım t-norm için) gösterilmiştir.



**Şekil 3.8** Aralıklı singleton tip-2 bulanık mantık sistem için çıkış-sonuç işlemi  
(a) minimum t-norm ile (b) çarpım t-norm ile [10]

Şekil 3.7’den görüldüğü gibi bulandırıcıyı, çıkarım mekanizması, tip-indirgeme ve durultma izler. Giriş-varsayım işleminin sonucu aralıklı tip-1 kümedir. Şekil 3.8’den görüldüğü gibi  $\underline{f}^l$  ve  $\overline{f}^l$  sol en yüksek ve sağ en yüksek noktalarını göstermektedir.

$$y(x) = f_{s2}(x) = \frac{y_l + y_r}{2} \quad (3.40)$$



Şekil 3.9 Şekil 3.3’deki Çıkış Kümelerinin Birleştirilmiş Gösterimi

### 3.2.2. Tip-1 Non-Singleton Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Tip-1 Non-Singleton Tip-2 Bulanık Mantık Sistemlerde çıkarım mekanizması, durultucu, tip-indirgeyici ve kural yapısı singleton tip-2 bulanık mantık sistemlerde olduğu gibidir. Ancak girişlerinin tip-1 bulanık kümeler olması, bu sistemleri singleton tip-2 bulanık mantık sistemlerden ayırır.

Bu sistemlerde kullanılan bulandırıcılar singleton olmayan bulandırıcılardır. Bu tip bulandırıcı,

$$x = x'_i \text{ için } \mu_{X_i}(x'_i) = 1 \text{ ve } x_i, x'_i \text{ 'den uzaklaştıkça } \mu_{X_i}(x_i) < 1, \quad (i = 1, K, p)$$

şeklinde tanımlanır. Bulandırıcıda kullanılabilecek üyelik fonksiyonlarına,

$$1. \text{ Gaussian: } \mu_{X_i}(x_i) = \exp\left[ -(x_i - x'_i)^2 / 2\sigma^2 \right]$$

$$2. \text{ Üçgen: } \mu_{X_i}(x_i) = \max(0, 1 - |(x_i - x'_i) / c|)$$

$$3. \text{ İsimli: } \mu_{X_i}(x_i) = 1 / (1 + |(x_i - x'_i) / c|^n)$$

örnek gösterilebilir.  $x'_i$  bulanık kümenin merkez değeri ve  $\sigma(c)$  bu kümenin yayılımını (sigmasını) göstermektedir.

Bu sistemlerin bulanık çıkarım mekanizması için denklem (3-41)’den yola çıkılabilir. Denklem (3-41), denklem (3-41)’in son iki satırından ibarettir.

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}^i}(y) = \mu_{\tilde{G}^i}(y) \cap \left\{ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{X}_1}(x_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^i}(x_1) \right\} \cap \\ \dots \cap \left\{ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{X}_p}(x_p) \cap \mu_{\tilde{F}_p^i}(x_p) \right\}, y \in Y \end{aligned} \quad (3.41)$$

Tip-1 singleton olmayan bulandırıcı için denklem (3-41), tip-2 giriş kümeleri yerine tip-1 kümeler yazılarak,

$$\mu_{\tilde{B}^i}(y) = \mu_{\tilde{G}^i}(y) \cap \left\{ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{X_1}(x_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^i}(x_1) \right\} \cap$$

$$\dots \sqcap \left[ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{X_p}(x_p) \sqcap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right], y \in Y \quad (3.42)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir.

$$\mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \equiv \mu_{X_k}(x_k) \sqcap \mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \quad (3.43)$$

olarak tanımlanırsa,

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}^l}(y) &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \sqcap \left\{ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{Q}_1^l}(x_1) \right] \sqcap \dots \sqcap \left[ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{Q}_p^l}(x_p) \right] \} \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \sqcap \left\{ \sqcup_{x \in X} \left[ \sqcap_{k=1}^p \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \right] \right\}, y \in Y \end{aligned} \quad (3.44)$$

olur.

$$\mu_{\tilde{Q}^l}(x) \equiv \sqcap_{k=1}^p \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \quad (3.45)$$

olarak tanımlanırsa,

$$F^l(x') \equiv \sqcup_{x \in X} \left[ \sqcap_{k=1}^p \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \right] = \sqcup_{x \in X} \mu_{\tilde{Q}^l}(x) \quad (3.46)$$

ve

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \mu_{\tilde{G}^l}(y) \sqcap F^l(x'), y \in Y \quad (3.47)$$

elde edilir. Bu denklem tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler için temel denklemdir [18].

Aralıklı tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistem için temel sonuçlar:

a) Giriş-varsayım işlemi sonucu (kuralın kesinlik derecesi/AND işlemi sonucu):

$$F^l(x') = \left[ \underline{f}^l(x'), \overline{f}^l(x') \right] \equiv \left[ \underline{f}^l, \overline{f}^l \right] \quad (3.48)$$

$$\begin{aligned} \underline{f}^l(x') &= \sup_x \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} \left[ \mu_{X_1}(x_1) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ &\quad \dots \star \left[ \mu_{X_p}(x_p) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] \Big/ x \end{aligned} \quad (3.49)$$

ve

$$\begin{aligned} \overline{f}^l(x') &= \sup_x \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} \left[ \mu_{X_1}(x_1) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ &\quad \dots \star \left[ \mu_{X_p}(x_p) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] \Big/ x \end{aligned} \quad (3.50)$$

b) İma işlemi sonucu:

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \int_{b^l \in [\underline{f}^l \star \underline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y), \overline{f}^l \star \overline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y)]} 1/b^l, y \in Y \quad (3.51)$$

$\overline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y)$  ve  $\underline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y)$ ,  $\mu_{\tilde{G}^l}(y)$  'nin üst ve alt üyelik dereceleridir.

c) İma işlemi sonucu birleştirilmiş çıkış sonuç kümeleri: (M kuraldan N tanesi kullanılmıştır.)

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \int_{b \in [\underline{f}^l * \underline{\mu}_{\tilde{G}^1}(y)] \vee \dots \vee [\underline{f}^N * \underline{\mu}_{\tilde{G}^N}(y)] [\bar{f}^1 * \bar{\mu}_{\tilde{G}^1}(y) \vee \dots \vee [\bar{f}^N * \bar{\mu}_{\tilde{G}^N}(y)]]^{1/b}, \quad y \in Y \quad (3.52)$$

Aralıklı tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler için,

$$\mu_{X_k}(x_k) = [\underline{\mu}_{X_k}(x_k), \bar{\mu}_{X_k}(x_k)] \Big|_{\underline{\mu}_{X_k}(x_k) = \bar{\mu}_{X_k}(x_k)} \quad (3.53)$$

ve

$$\mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) = \int_{w^l \in [\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)]}^{1/w^l}, \quad y \in Y \quad (3.54)$$

Denklemlerinden

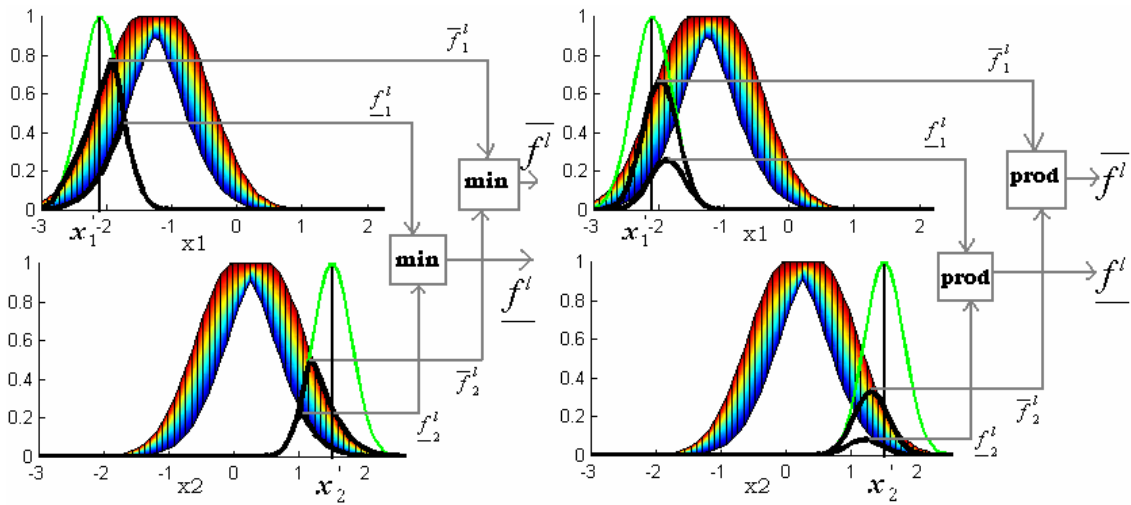
$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) &= \mu_{X_k}(x_k) \Pi \mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \\ &= \int_{q^l \in [\mu_{X_k}(x_k) * \underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \mu_{X_k}(x_k) * \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)]}^{1/q^l} \\ &= [\mu_{X_k}(x_k) * \underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \mu_{X_k}(x_k) * \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)] \quad \forall x_k \in X_k \end{aligned} \quad (3.55)$$

elde edilir. Tip-1 giriş kümesi ve tip-2 varsayım kümesi arasında t-norm (çarpım veya minumum) işareti kullanılmıştır.

**Örnek 3-2:** Şekil 3.10’de giriş-varsayım işlemleri, iki varsayım bir sonuca sahip kural ve minumum, çarpım t-norm için gösterilmiştir. İşlem sonucu aralıklı kümedir ( $[\underline{f}^l, \bar{f}^l]$ ).

$$\underline{f}^l = \underline{f}_1^l * \underline{f}_2^l \quad \text{ve} \quad \bar{f}^l = \bar{f}_1^l * \bar{f}_2^l \quad (3.56)$$

$\mu_{X_k}(x_k)$ ’nin merkezi  $x_k = x'_k$ ’dir.



**Şekil 3.10** Aralıklı Tip-1 Singleton Olmayan Tip-2 Bulanık Mantık Sistem İçin Çıkış-Sonuç İşlemi  
(a) minumum t-norm ile (b) çarpım t-norm ile [10]

**Örnek -4:** Şekil 3.11'deki  $\mu_k^l(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - m_k^l}{\sigma_k^l}\right)^2\right]$   $m_k^l \in [m_{k1}^l, m_{k2}^l]$  denklemine

sahip varsayım (merkezi belirsiz Gaussian birincil üyelik fonksiyonu) ile

$\mu_{x_k}(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - x_k'}{\sigma_{x_k}}\right)^2\right]$  denklemine sahip merkezleri farklı giriş (Gaussian tip-1

üyelik fonksiyonu) üyelik fonksiyonları görülmektedir. Giriş üyelik fonksiyonunun merkezinin farklı yerlerde bulunmasına bağlı olarak yapılan  $\bar{x}_{k,\max}^{-l}$  ve  $\underline{x}_{k,\max}^l$  hesaplamaları Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3'den takip edilebilir.

**Tablo 3.1** Şekil 3.6 için  $\bar{x}_{k,\max}^{-l}$  değerleri

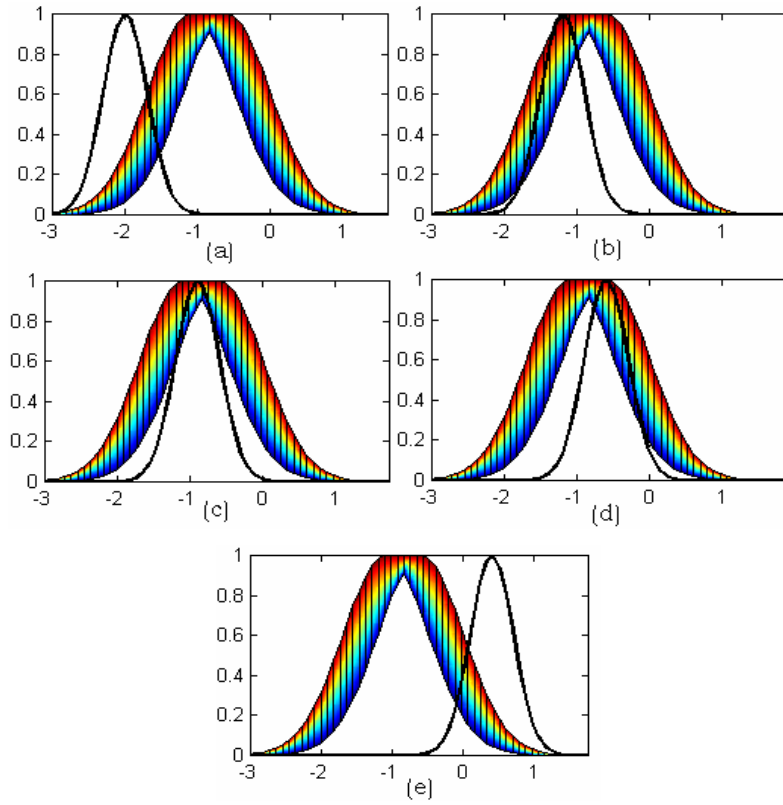
| Durumlar          | $x_k'$ 'nin yeri                | Çarpım t-norm                                                                                                   | Minumum t-norm                                                                                      |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.6 (a)     | $x_k' \leq m_{k1}^l$            | $\bar{x}_{k,\max}^{-l} = \frac{\sigma_{x_k}^2 m_{k1}^l + \sigma_k^{l^2} x_k'}{\sigma_{x_k}^2 + \sigma_k^{l^2}}$ | $\bar{x}_{k,\max}^{-l} = \frac{\sigma_{x_k} m_{k1}^l + \sigma_k^l x_k'}{\sigma_{x_k} + \sigma_k^l}$ |
| Şekil 3.6 (b)-(d) | $x_k' \in [m_{k1}^l, m_{k2}^l]$ | $\bar{x}_{k,\max}^{-l} = x_k'$                                                                                  | $\bar{x}_{k,\max}^{-l} = x_k'$                                                                      |
| Şekil 3.6 (e)     | $x_k' \geq m_{k2}^l$            | $\bar{x}_{k,\max}^{-l} = \frac{\sigma_{x_k}^2 m_{k2}^l + \sigma_k^{l^2} x_k'}{\sigma_{x_k}^2 + \sigma_k^{l^2}}$ | $\bar{x}_{k,\max}^{-l} = \frac{\sigma_{x_k} m_{k2}^l + \sigma_k^l x_k'}{\sigma_{x_k} + \sigma_k^l}$ |

**Tablo 3.2** Şekil 3.6 için Çarpım T-Norm'a Bağlı Olarak  $\underline{x}_{k,\max}^l$  Değerleri

| Durumlar             | $x_k'$ 'nin yeri                                                                                                                                                                                                     | Çarpım t-norm                                                                                                      |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.6 (a) ve (b) | $x_k' < \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{x_k}^2 (m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}}$                                                                                                                | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{x_k}^2 m_{k2}^l + \sigma_k^{l^2} x_k'}{\sigma_{x_k}^2 + \sigma_k^{l^2}}$ |
| Şekil 3.6 (c)        | $x_k' \in \left[ \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{x_k}^2 (m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}}, \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{x_k}^2 (m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}} \right]$ | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2}$                                                         |
| Şekil 3.6 (d) ve (e) | $x_k' > \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{x_k}^2 (m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}}$                                                                                                                | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{x_k}^2 m_{k1}^l + \sigma_k^{l^2} x_k'}{\sigma_{x_k}^2 + \sigma_k^{l^2}}$ |

**Tablo 3.3** Şekil 3.6 İçin Minumum T-Norm'a Bağlı Olarak Değerleri

| Durumlar             | $x'_k$ 'nin yeri                                                                                                                                                                                       | Çarpım t-norm                                                                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.6 (a) ve (b) | $x'_k < \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{X_k}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l}$                                                                                                         | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{X_k} m_{k2}^l + \sigma_k^l x'_k}{\sigma_{X_k} + \sigma_k^l}$ |
| Şekil 3.6 (c)        | $x'_k \in \left[ \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{X_k}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l}, \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{X_k}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l} \right]$ | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2}$                                             |
| Şekil 3.6 (d) ve (e) | $x'_k > \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{X_k}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l}$                                                                                                         | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{X_k} m_{k1}^l + \sigma_k^l x'_k}{\sigma_{X_k} + \sigma_k^l}$ |



**Şekil 3.11** Giriş Tip-1 Gaussian Üyelik Fonksiyonunun Farklı Konumlarının Varsayım fou ile ilişkisi (giriş üyelik fonksiyonunun merkezi  $x'_k$  gibi bir noktadır.) [10]

### 3.2.3. Tip-2 Non-Singleton Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Bu alt bölümde, girişleri tip-2 bulanık kümelerle modellenen tip-2 bulanık mantık sistemler anlatılacaktır. Bu sistemler, zaman serisi tahmininde kullanılabilir. Tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler, tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler

ile aynı diagramla tanımlanabilir. Bu sistemlerin tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemlerden tek farklı özelliği, bulandırıcıda kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır. Sistemde bulunan singleton olmayan bulandırıcıların üyelik fonksiyonları tip-2'dir.

Bu sistemlerin bulanık çıkarım mekanizması için tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemlere ait denklemlerin incelenmesinde yarar vardır. Tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemlere ait denklem (3-57), (3-58), (3-59) kullanılarak, tip-2 giriş kümelerine geçiş yapıldığı görülür.

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}^l}(y) &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \Pi \left\{ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{X}_1}(x_1) \Pi \mu_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right\} \Pi \\ &\dots \Pi \left[ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{X}_p}(x_p) \Pi \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right], y \in Y \end{aligned} \quad (3.57)$$

$$\mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \equiv \mu_{\tilde{X}_k}(x_k) \Pi \mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \quad (3.58)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}^l}(y) &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \Pi \left\{ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{Q}_1^l}(x_1) \right\} \Pi \dots \Pi \left[ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{Q}_p^l}(x_p) \right] \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \Pi \left\{ \sqcup_{x \in X} \left[ \Pi_{k=1}^p \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \right] \right\}, y \in Y \end{aligned} \quad (3.59)$$

Tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemlerde olduğu gibi,

$$\mu_{\tilde{Q}^l}(x) \equiv \Pi_{k=1}^p \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \quad (3.60)$$

olarak tanımlanırsa

$$F^l(x') \equiv \sqcup_{x \in X} \left[ \Pi_{k=1}^p \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \right] = \sqcup_{x \in X} \mu_{\tilde{Q}^l}(x) \quad (3.61)$$

denklem (3-57)

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \mu_{\tilde{G}^l}(y) \Pi F^l(x'), y \in Y \quad (3.62)$$

şeklinde yeniden tanımlanabilir. Bu denklem tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler için temel denklemdir [18]. İşlem yükünün az olması için yine aralıklı tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler üzerinde durulacaktır.

Aralıklı tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistem için temel sonuçlar:

a) Giriş-varsayım işlemi sonucu (kuralın kesinlik derecesi/AND işlemi sonucu):

$$F^l(x') = \left[ \underline{f}^l(x'), \overline{f}^l(x') \right] \equiv \left[ \underline{f}^l, \overline{f}^l \right] \quad (3.63)$$

$$\begin{aligned} \underline{f}^l(x') &= \sup_x \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_1}(x_1) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ &\dots \star \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_p}(x_p) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] \Big/ x \end{aligned} \quad (3.64)$$

ve

$$\begin{aligned} \bar{f}^l(x') = \sup_x \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} & \left[ \bar{\mu}_{\tilde{X}_1}(x_1) \star \bar{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ & \dots \star \left[ \bar{\mu}_{\tilde{X}_p}(x_p) \star \bar{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] / x \end{aligned} \quad (3.65)$$

b) İma işlemi sonucu:

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \int_{b^l \in [\underline{f}^l * \underline{\mu}_{\tilde{G}^l}(y), \bar{f}^l * \bar{\mu}_{\tilde{G}^l}(y)]} 1/b^l, \quad y \in Y \quad (3.66)$$

c) İma işlemi sonucu birleştirilmiş çıkış-sonuç kümeleri: (M kuraldan N tanesi kullanılmıştır.)

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \int_{b \in [\underline{f}^1 * \underline{\mu}_{\tilde{G}^1}(y) ] \vee \dots \vee [ \underline{f}^N * \underline{\mu}_{\tilde{G}^N}(y) ] } [\bar{f}^1 * \bar{\mu}_{\tilde{G}^1}(y) ] \vee \dots \vee [ \bar{f}^N * \bar{\mu}_{\tilde{G}^N}(y) ] ] 1/b, \quad y \in Y \quad (3.67)$$

Denklem (3-59) kullanılarak  $F^l(x')$ 'i hesaplamak için, önce denklem (3-56)'den  $\mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k)$  sonra denklem (3-58)'dan  $\mu_{\tilde{Q}^l}(x)$  bulunur. Aralıklı tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler için,

$$\mu_{\tilde{X}_k}(x_k) = \int_{v \in [\underline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k), \bar{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k)]} 1/v, \quad y \in Y \quad (3.68)$$

ve

$$\mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) = \int_{w^l \in [\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)]} 1/w^l, \quad y \in Y \quad (3.69)$$

denklemlerinden

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) &= \mu_{\tilde{X}_k}(x_k) \sqcap \mu_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \\ &= \int_{q^l \in [\underline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) * \underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) * \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)]} 1/q^l \\ &= \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) \star \bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \right] \quad \forall x_k \in X_k \end{aligned} \quad (3.70)$$

elde edilir. Tip-2 giriş kümesi ve tip-2 varsayım kümesi arasında t-norm (çarpım veya minimum) işareti kullanılmıştır. Denklem (3.70)'dan  $\mu_{\tilde{Q}_k^l}(x_k)$ 'nin alt  $\underline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(x_k)$  ve üst  $\bar{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(x_k)$  fonksiyonlarının

$$\underline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) = \int_{x_k \in X_k} \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \right] / x_k \quad (3.71)$$

$$\overline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) = \int_{x_k \in X_k} \left[ \overline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \right] / x_k \quad (3.72)$$

olduğu görülmektedir. Denklem (3-60)'a göre alt ve üst üyelik fonksiyonları,

$$\begin{aligned} \overline{\mu}_{\tilde{Q}^l}(x) = & \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} \left[ \overline{\mu}_{\tilde{X}_1}(x_1) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ & \dots \star \left[ \overline{\mu}_{\tilde{X}_p}(x_p) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] / x \end{aligned} \quad (3.73)$$

$$\begin{aligned} \underline{\mu}_{\tilde{Q}^l}(x) = & \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_1}(x_1) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ & \dots \star \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_p}(x_p) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] / x \end{aligned} \quad (3.74)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Denklem (3.73)'den

$$\begin{aligned} \overline{f}^l(x') = \sup_x \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} & \left[ \overline{\mu}_{\tilde{X}_1}(x_1) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ & \dots \star \left[ \overline{\mu}_{\tilde{X}_p}(x_p) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] / x \end{aligned} \quad (3.75)$$

bulunur.  $\overline{f}^l(x')$ 'nin sağ en büyük noktası  $\overline{f}^l(x')$ ,  $\overline{\mu}_{\tilde{Q}^l}(x)$ 'nin maksimum değerini (supremum) göstermektedir. Denklem (3.73)'den

$$\begin{aligned} \underline{f}^l(x') = \sup_x \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_p \in X_p} & \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_1}(x_1) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \star \\ & \dots \star \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_p}(x_p) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] / x \end{aligned} \quad (3.76)$$

bulunur.  $\underline{f}^l(x')$ 'nin sol en büyük noktası  $\underline{f}^l(x')$ ,  $\underline{\mu}_{\tilde{Q}^l}(x)$ 'nin maksimum değerini (supremum) göstermektedir.

$$\underline{f}_k^l(x_k') \equiv \sup_{x_k} \int_{x_k \in X_k} \left[ \underline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \right] / x_k = \sup_{x_k} \underline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \quad (3.77)$$

$$\overline{f}_k^l(x_k') \equiv \sup_{x_k} \int_{x_k \in X_k} \left[ \overline{\mu}_{\tilde{X}_k}(x_k) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k) \right] / x_k = \sup_{x_k} \overline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(x_k) \quad (3.78)$$

$k = 1, K, p$  için denklem (3-64) ile (3-77) ve denklem (3-65) ile (3-78) birbirine denktir.

Supremum için  $\underline{x}_{k, \max}^l$  ve  $\overline{x}_{k, \max}^{-l}$  değişkenleri atanırsa,

$$\underline{f}_k^l(x_k') = \underline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(\underline{x}_{k, \max}^l) \quad (3.79)$$

ve

$$\bar{f}_k^l(x_k') = \bar{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(\bar{x}_{k,\max}^l) \quad (3.80)$$

olur. (3.64) ve (3.65) denklemlerinin son hali

$$\underline{f}^l(x') = T_{k=1}^p \underline{f}_k^l(x_k') = T_{k=1}^p \underline{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(\underline{x}_{k,\max}^l) \quad (3.81)$$

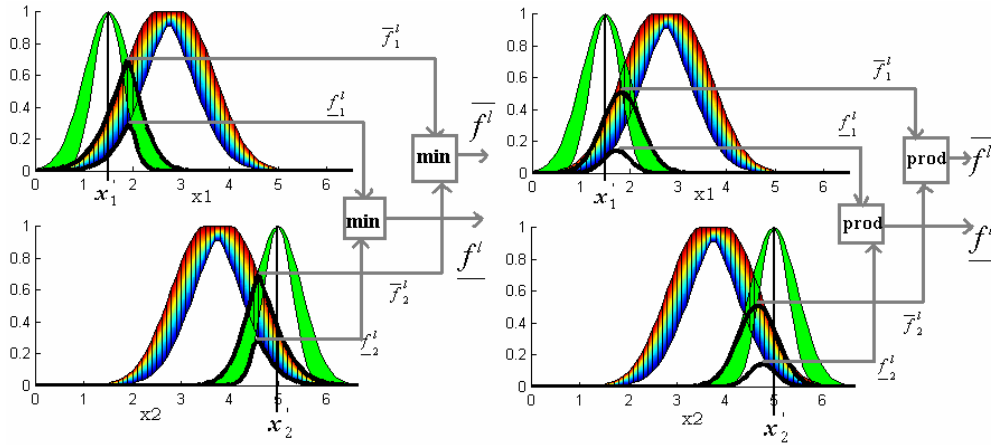
$$\bar{f}^l(x') = T_{k=1}^p \bar{f}_k^l(x_k') = T_{k=1}^p \bar{\mu}_{\tilde{Q}_k^l}(\bar{x}_{k,\max}^l) \quad (3.82)$$

şeklindedir.

**Örnek -5:** Şekil 3.12'de giriş-varsayım işlemleri ((3.77) , (3.82) denklemleri), iki varsayım bir sonuca sahip kural ve minimum, çarpım t-norm için gösterilmiştir. İşlem sonucu aralıklı kümedir ( $[\underline{f}^l, \bar{f}^l]$ ).

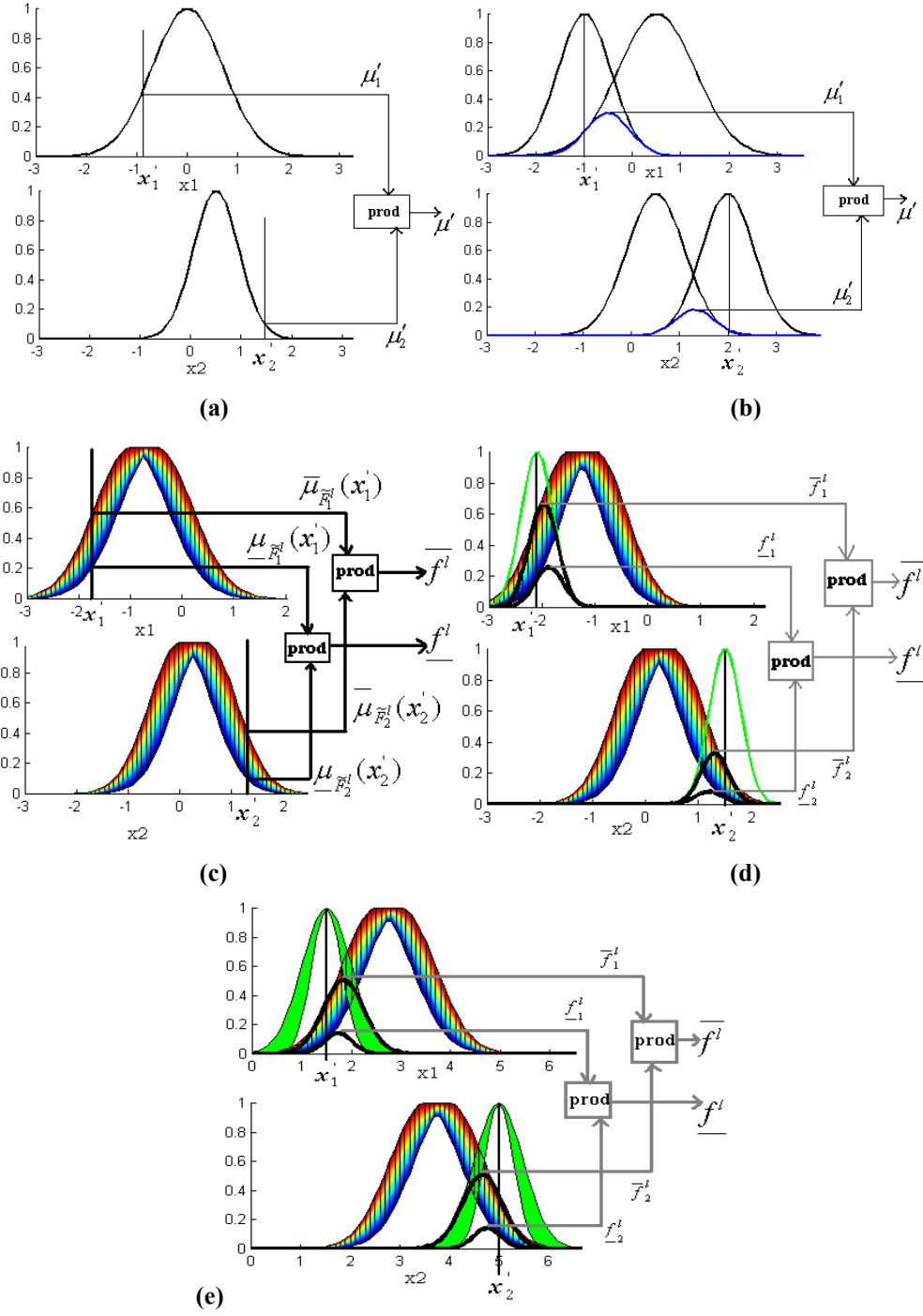
$$\underline{f}^l = \underline{f}_1^l \star \underline{f}_2^l \quad \text{ve} \quad \bar{f}^l = \bar{f}_1^l \star \bar{f}_2^l \quad (3.83)$$

$\mu_{\tilde{X}_k}(x_k)$ 'nin merkezi  $x_k = x_k'$ 'dir. Denklem (3.77)'ya göre  $\underline{f}_k^l$ ,  $\mu_{\tilde{X}_k}(x_k)$  ile  $\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)$  arasındaki t-norm işleminin ve denklem (3-78)'ye göre  $\bar{f}_k^l$ ,  $\mu_{\tilde{X}_k}(x_k)$  ile  $\bar{\mu}_{\tilde{F}_k^l}(x_k)$  arasındaki t-norm işleminin maximum değeridir ( $k = 1, 2$ ).



**Şekil 3.12** Aralıklı tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistemler için giriş-varsayım işlemi

(a) minumum t-norm ile (b) çarpım t-norm ile [10]



**Şekil 3.13** Çarpım t-norm ile giriş-varsayım işlemleri

(a) singleton tip-1 bulanık mantık sistem için (b) singleton olmayan tip-1 bulanık mantık sistem için (c) aralıklı singleton tip-2 için (d) aralıklı tip-1 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistem için (e) aralıklı tip-2 singleton olmayan tip-2 bulanık mantık sistem için [9]

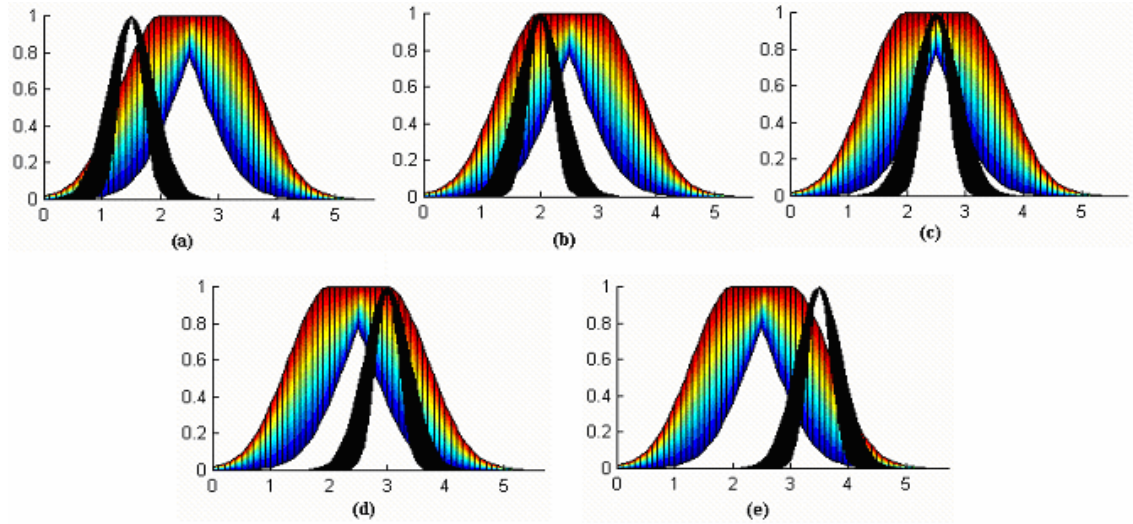
**Örnek -6:** Şekil 3.14’de

$$\mu_k^l(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - m_k^l}{\sigma_k^l}\right)^2\right] \quad m_k^l \in [m_{k1}^l, m_{k2}^l]$$

denklemine sahip varsayım (merkezi belirsiz Gaussian birincil üyelik fonksiyonu) ile

$$\mu_k^l(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - m_k^l}{\sigma_k^l}\right)^2\right] \quad \sigma_k^l \in [\sigma_{k1}^l, \sigma_{k2}^l]$$

denklemine sahip merkezleri farklı giriş (standart sapması belirsiz Gaussian birincil üyelik fonksiyonu) üyelik fonksiyonları görülmektedir. Giriş üyelik fonksiyonunun merkezinin farklı yerlerde bulunmasına bağlı olarak yapılan  $\bar{x}_{k,\max}^l$  ve  $\underline{x}_{k,\max}^l$  hesaplamaları Tablo 1, 2, 3 ‘den takip edilebilir.



**Şekil 3.14** Giriş Fou’nun Farklı Konumlarının Varsayım Fou İle İlişkisi (Renkli Olan Fou Varsayıma ait iken siyah renkli FOU girişe aittir. Girişe ait FOU’nun merkezi  $x_k'$  gibi bir noktadır.) [9]

**Tablo 3.4** Şekil 3.14 İçin  $\bar{x}_{k,\max}^l$  Değerleri

| Durumlar             | $x_k'$ 'nin yeri                | Çarpım t-norm                                                                                      | Minumum t-norm                                                                                 |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.9<br>(a)     | $x_k' \leq m_{k1}^l$            | $\bar{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k2}^2 m_{k1}^l + \sigma_k^2 x_k'}{\sigma_{k2}^2 + \sigma_k^2}$ | $\bar{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k2} m_{k1}^l + \sigma_k^l x_k'}{\sigma_{k2} + \sigma_k^l}$ |
| Şekil 3.9<br>(b)-(d) | $x_k' \in [m_{k1}^l, m_{k2}^l]$ | $\bar{x}_{k,\max}^l = x_k'$                                                                        | $\bar{x}_{k,\max}^l = x_k'$                                                                    |
| Şekil 3.9<br>(e)     | $x_k' \geq m_{k2}^l$            | $\bar{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k2}^2 m_{k2}^l + \sigma_k^2 x_k'}{\sigma_{k2}^2 + \sigma_k^2}$ | $\bar{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k2} m_{k2}^l + \sigma_k^l x_k'}{\sigma_{k2} + \sigma_k^l}$ |

**Tablo 3.5** Şekil 3.9 İçin Çarpım T-Norm'a Bağlı Olarak  $\underline{x}_{k,\max}^l$  Değerleri

| Durumlar                | $x'_k$ 'nin yeri                                                                                                                                                                                                 | Çarpım t-norm                                                                                                    |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.9 (a)<br>ve (b) | $x'_k < \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{k1}^2(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}}$                                                                                                              | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k1}^2 m_{k2}^l + \sigma_k^{l^2} x'_k}{\sigma_{k1}^2 + \sigma_k^{l^2}}$ |
| Şekil 3.9 (c)           | $x'_k \in \left[ \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{k1}^2(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}}, \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{k1}^2(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}} \right]$ | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2}$                                                       |
| Şekil 3.9 (d)<br>ve (e) | $x'_k > \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{k1}^2(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^{l^2}}$                                                                                                              | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k1}^2 m_{k1}^l + \sigma_k^{l^2} x'_k}{\sigma_{k1}^2 + \sigma_k^{l^2}}$ |

**Tablo 3.6** Şekil 3.9 İçin Minimum T-Norm'a Bağlı Olarak  $\underline{x}_{k,\max}^l$  Değerleri

| Durumlar                | $x'_k$ 'nin yeri                                                                                                                                                                                     | Çarpım t-norm                                                                                        |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.9 (a)<br>ve (b) | $x'_k < \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{k1}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l}$                                                                                                        | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k1} m_{k2}^l + \sigma_k^l x'_k}{\sigma_{k1} + \sigma_k^l}$ |
| Şekil 3.9 (c)           | $x'_k \in \left[ \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} - \frac{\sigma_{k1}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l}, \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{k1}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l} \right]$ | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2}$                                           |
| Şekil 3.9 (d)<br>ve (e) | $x'_k > \frac{m_{k1}^l + m_{k2}^l}{2} + \frac{\sigma_{k1}(m_{k2}^l - m_{k1}^l)}{2\sigma_k^l}$                                                                                                        | $\underline{x}_{k,\max}^l = \frac{\sigma_{k1} m_{k1}^l + \sigma_k^l x'_k}{\sigma_{k1} + \sigma_k^l}$ |

### 3.2.4. Tip-2 TSK (Takagi Sugeno Kang) Bulanık Mantık Sistemler

Günümüzde en çok kullanılan iki bulanık sistem Mamdani ve Sugeno tipi bulanık mantık sistemleridir. Bu iki bulanık sistem, IF-THEN kuralları ile karakterize edilir ve aynı varsayım yapısına sahiptir. Sugeno sistemleri Mamdani sistemlerden ayıran en büyük fark kuralların sonuç kısımlarının bulanık kümelerle değil de giriş değişkenlerinin fonksiyonları türünden ifade edilmesidir.

## 4. GELİŞTİRİLEN YAZILIM: TİP-2 BULANIK MANTIK İLE VERİ MADENCİLİĞİ

### 4.1. Giriş

Manyetik ortamdaki veri miktarlarının her geçen gün artması, anlamlı ve yararlı bilgilerinde sağlıklı bir şekilde ortaya çıkarılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, geniş bilgi verilerinden anlamlı ve yararlı bilgi ortaya çıkarma işlemine şiddetle ihtiyaç duyulmuş ve büyük önem kazanmıştır. Ortaya çıkarılan anlamlı ve yararlı bilgilerden faydalananak ileriye dönük tahminlerde bulunmak, bir çok alanda uygulamak üzere çalışmalar yapılmaktadır [2].

Bu tez çalışmasında geliştirilen veri madenciliği yazılımı ile hem MG zaman serisi tahmini hem de ileriye dönük hava tahmini yapılmıştır. Uygulama yazılımı, tip-1 ve tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Daha sonra alınan sonuçlar itibariyle tip-1 ve tip-2 bulanık mantık tabanlı yöntemler kıyaslanarak sonuçlar analiz edilmiştir.

### 4.2. Geliştirilen MATLAB Program Dosyaları

Tip2 Bulanık Mantık temelli geliştirilen program, zaman serisi üzerinde önceki verilerden yola çıkarak, bir sonraki zamana bağlı olarak ileriye dönük veri tahmini yapmayı amaçlamaktadır. Yazılan ana program için 3 temel Matlab dosyası (M-file) Tip-2 bulanık Mantık Sistemi için geliştirilmiştir. Geliştirilen bu dosyalar *Anfis2.m*, *Genfis2.m*, *Ruleview2guisiz.m* olarak adlandırılmıştır. *Anfis2.m*, zaman serisi verileri üzerinde eğitimi gerçekleştirme, *Genfis2.m*, *ANFIS* eğitimi için Sugeno tip-2 Bulanık Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System-FIS) oluşturma, *Ruleview2guisiz.m*, oluşturulan Bulanık Çıkarım Sisteminin diyagramını çizme amacıyla geliştirilmiştir. Bu program dosyaları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

#### 4.2.1. Anfis2.m Dosyası

Anfis2 komutu, Sugeno tip-2 için eğitimi gerçekleştirir. Ekte verilen Anfis2, Sugeno tip-2 FIS'in parametrelerini belirlemek için hibrit öğrenme algoritmasını kullanır. FIS üyelik fonksiyonları parametrelerini eğitmek için en küçük kareler yöntemi ve geriye yayılım yönteminin birleşimini uygular.

*Komut Satırı:* [fismat1, fismat2] = anfis2(trnData, fismat, chkData)

\*trnData: Eğitim veri kümesini ifade eden matristir. 4 giriş, 1 çıkış içeren bu matris 5 sütunludur.

\*fismat: Fuzzy Inference System' in adıdır. Eğitim için başlangıç üyelik fonksiyonları ile ANFIS oluşturmak için kullanılır. Anfis2 varsayılan FIS'i geliştirmek için Genfis2 komutunu kullanır.

\*chkData: Test veri kümesini ifade eden matristir. Bu veri kümesi trnData ile aynı boyuttur.

\*fismat1: Bir FIS yapısıdır. FIS yapısının parametreleri minimum eğitim hata kriterlerine göre ayarlanmaktadır.

\*fismat2: Bir FIS yapısıdır. FIS yapısının parametreleri minimum test hata kriterlerine göre ayarlanmaktadır.

#### 4.2.2. Genfis2.m Dosyası

Genfis2 komutu, ızgara bölümlleme yöntemini kullanarak ANFIS eğitimi için bir başlangıç Sugeno tip-2 FIS oluşturur.

*Komut Satırı:* fismat = genfis2(trnData)

Eğitim verisi üzerinde tek çıkışlı bir Sugeno tip-2 FIS oluşturur. FIS, ANFIS eğitimi için başlangıç durumlarını sağlamak amacıyla kullanılır. TrnData 5 sütunlu bir matristir. İlk 4 sütunu FIS'in girişini, son sütun ise FIS'in çıkışını oluşturur. Varsayılan değer olarak Genfis2, her bir giriş için 'mgausstype2' üyelik fonksiyonunu, çıkış üyelik fonksiyonu olarak ta 'linear' tipi kullanır.

fismat = genfis2(data,numMFs,inmftype, outmftype)

\*numMFs: Her bir giriş için üyelik fonksiyonlarının sayısını belirler.

```
default_mf_n = 2;
if nargin <= 1,
 numMFs = default_mf_n;
end
```

\* inmftype: Her bir giriş için üyelik fonksiyonlarının tipini belirler.

```
default_mf_type = 'mgausstype2';
if nargin <= 2,
 inmftype = default_mf_type;
end
```

\*outmftype: Çıkış üyelik fonksiyonunun tipini 'linear' yada 'constant' olarak belirler

```
default_output_type = 'linear';
if nargin <= 3,
 outmftype = default_output_type;
```

end

#### 4.2.3. Ruleview2guisiz.m Dosyası

Ruleview2guisiz komutu, bulanık çıkarım diyagramını çizer.

*Komut Satırı:* ad=Data(:,1:4);

anfis\_output = ruleview2guisiz(ad, fismat2) Girişe göre elde edilen çıkışın çizimidir.

Ruleview2guisiz komutu, girişlerden çıkışa kadar bulanık çıkarım sistemin tüm parçalarını tek bir ekran üzerinde gösterir. Çizimlerin her bir satırı bir kurala karşılık gelir. Çizimlerin her bir sütunu bir girişe yada bir çıkışa karşılık gelir.

#### 4.3. Değiştirilen Tip-2 Bulanık Mantık Yardımcı Program Dosyaları

Tez çalışmasında, MATLAB programında kullanılan Gausstype2.m, Genparam2.m, Leftpoint.m, Rightpoint.m, Train\_sfls\_type2.m Tip-1 Bulanık Mantık dosyaları, Tip-2 Bulanık Mantık biçimine göre değiştirilmiştir. Anfis2.m dosyası içerisinde train\_sfls\_type2.m dosyası, train\_sfls\_type2.m dosyası içerisinde gausstype2.m, rightpoint.m, leftpoint.m dosyaları, genfis2.m dosyasında ise genparam2.m dosyası çağırılmıştır.

#### 4.4. MG Zaman Serisi

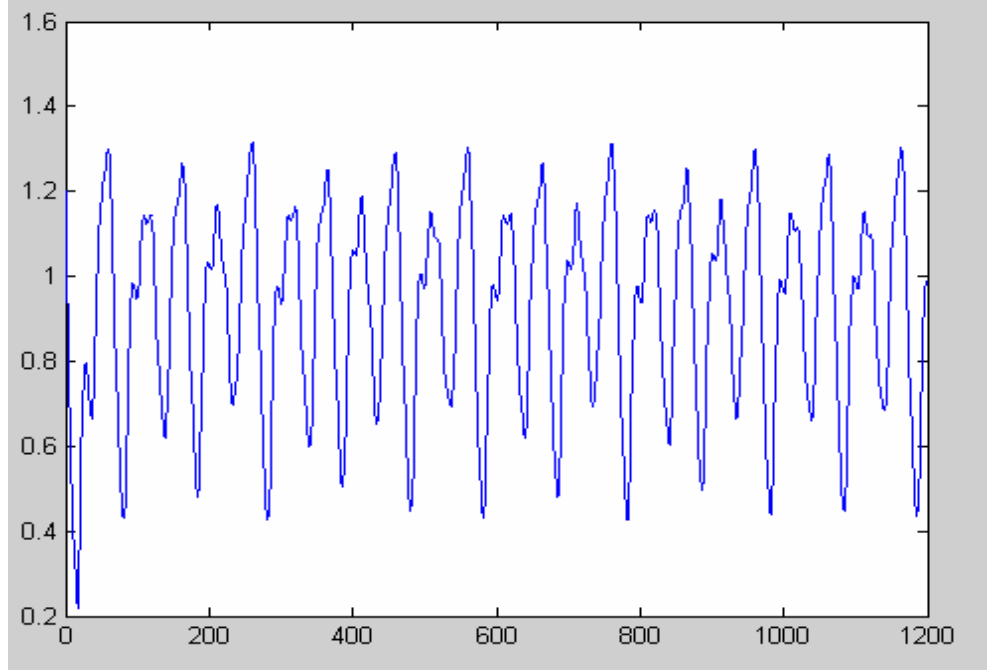
Tip-1 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yazılımında Mackey-Glass Zaman Gecikmeli diferansiyel denklemi kullanılarak zaman serisi tahmini üretilmiştir.

$$x(t) = \frac{0.2x(t-\tau)}{1 + x^{10}(t-\tau)} - 0.1x(t)$$

Bu denklemin kullanıldığı zaman serisi düzensizdir ve bu nedenle periyotlar net değildir. Sayısal noktalarda zaman serisi değerini elde etmek için MG denklemi üzerine 4. Runge Kutta metodu kullanılmıştır. Sonuçlar mgdata.dat dosyasında saklanmıştır. Bu yazılım için mgdata.dat dosyası kullanılmıştır. Kullanılan zaman serisini çizmek için;

load mgdata.dat

t = mgdata(:, 1); x = mgdata(:, 2); plot(t,x)



**Şekil 4.1** Mackey Glass Düzensiz Zaman Serisi

#### 4.5. Tip-1 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yazılımı

MG zaman serisi tahmininde, zaman serisi üzerindeki bilinen değerler kullanılmaktadır. Tip-1 yazılımı için geliştirilen programda *Anfis* eğitiminde kullandığımız veri 4 boyutlu bir matristir.

```
Data(t-117, :)= [x(t-18) x(t-12) x(t-6) x(t) x(t+6)];
```

Burada t-18, t-12, t-6 ve t geçmiş değerlerini kullanarak, gelecekteki t+6 değerini tahmin etmektedir.

```
for t=118:1117
```

```
Data(t-117,:)= [x(t-18) x(t-12) x(t-6) x(t) x(t+6)];
```

```
end
```

```
trnData=Data(1:500, :);
```

```
chkData=Data(501:end, :);
```

İlk 500 veri değeri *anfis* eğitim verisi, ikinci 500 veri değeri de kontrol verisi olmak üzere toplam 1000 veri kullanılmıştır.

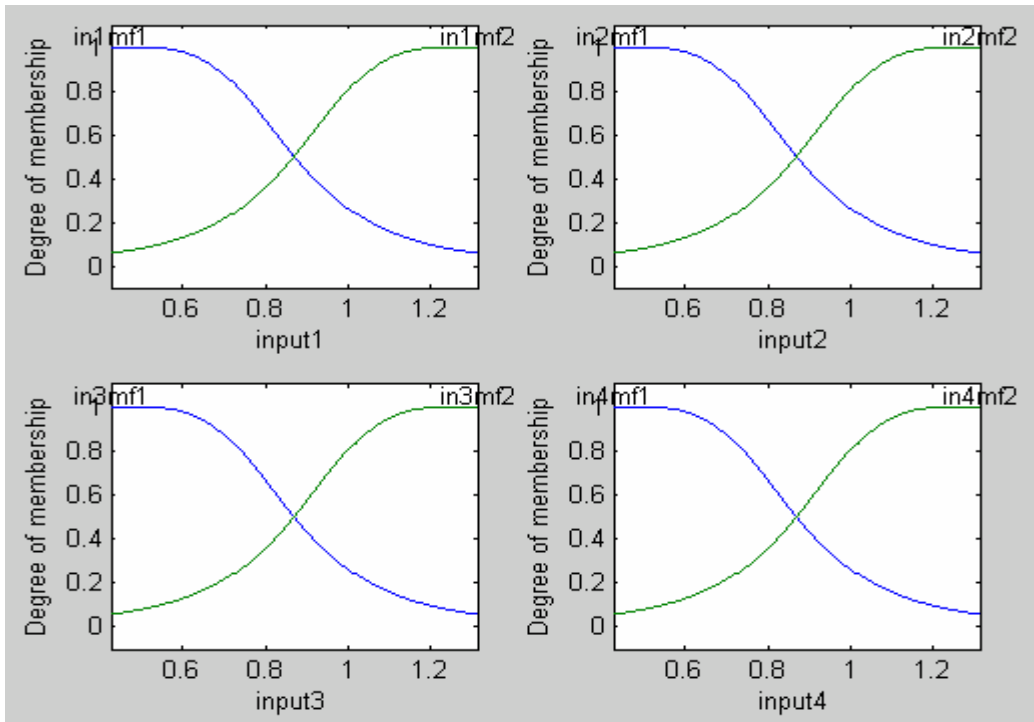
ANFIS eğitiminde başlangıç Sugeno tip-1 FIS oluşturmak için;

```
fismat = genfis1(trnData) komut satırı kullanılır.
```

Oluşturulan FIS yapısı 4 giriş için 16 bulanık kural üretir. Genfis1 komutu ile oluşturulan giriş üyelik fonksiyonlarını çizmek için,

```
subplot(2,2,1)
plotmf(fismat, 'input', 1)
subplot(2,2,2)
plotmf(fismat, 'input', 2)
subplot(2,2,3)
plotmf(fismat, 'input', 3)
subplot(2,2,4)
plotmf(fismat, 'input', 4)
```

komut satırları kullanılır.



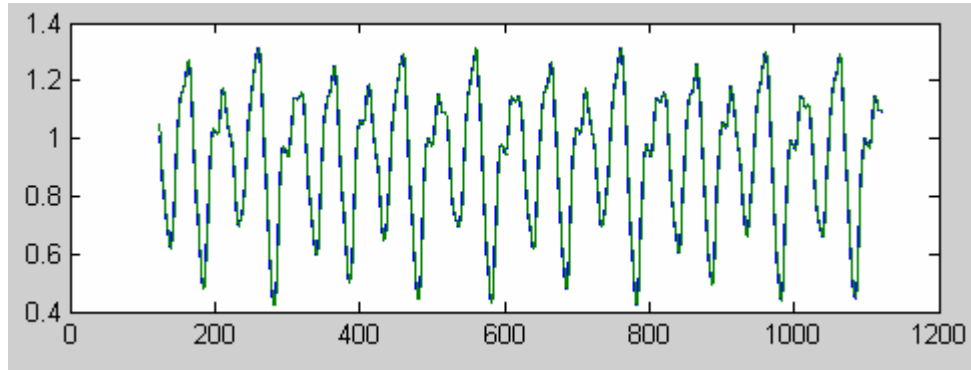
**Şekil 4.2** Girişlerin Başlangıç Üyelik Fonksiyonları

Anfis eğitimini başlatmak için;

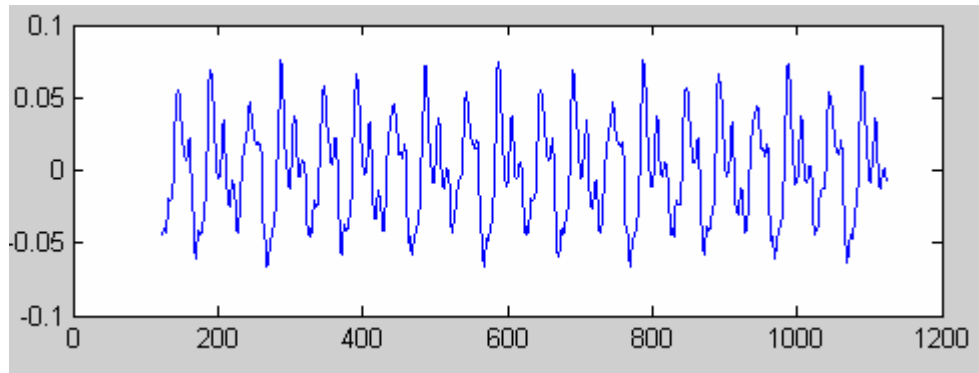
[fismat1,fismat2] = anfis(trnData,fismat,[],[],chkData); komut satırı kullanılır. Oluşturulan yazılımda anfis eğitimi 10 adımda gerçekleştirilmiştir. İstenirse bu adım sayısı artırılabilir.

Eğitim ve kontrol verisine karşı FIS çıkışı ve hata sinyalini çizmek için;

```
ad=Data(:,1:4);
anfis_output = evalfis(ad, fismat1);
in = mgdata(125:1124,1);
inx=mgdata(125:1124,2);
subplot(211), plot(in, [inx anfis_output]);
subplot(212), plot(in, inx - anfis_output); komut satırları kullanılır.
```



**Şekil 4.3** MG Zaman Serisi ve Tip-1 için ANFIS Tahmini



**Şekil 4.4** Tahmin Hataları

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi orijinal MG zaman serisi ve uygulanan ANFIS eğitim tahmin değerleri arasındaki farklılık çok küçüktür. İki serinin neredeyse bir eğri şeklinde görülebilir. Şekil 4.4’de ise ANFIS eğitim sonucunda oluşan tahmin hataları görülmektedir. Yazılımda eğitim 10

adımında gerçekleştirilmiştir. Daha iyi bir performans elde etmek için daha kapsamlı bir eğitim uygulanabilir.

#### 4.6. Tip-2 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yazılımı

Tip-1 bulanık mantık ile oluşturulan yazılım tip-2 için geliştirilerek MG zaman serisi için tahmin yapılması sağlanmıştır. Tip-1 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yazılımında kullanılan *Genfis1.m*, *Anfis.m* ve *Evalfis.m* dosyaları tip-2 için yeniden yazılmış, *Gausstype2.m*, *Genparam2.m*, *Leftpoint.m*, *Rightpoint.m*, *Train\_sfls\_type2.m* Tip-1 Bulanık Mantık dosyaları, Tip-2 Bulanık Mantık biçimine göre değiştirilmiştir.

*Tip-2 ile geliştirilen yazılımın ana programının komut satırları;*

```
load mgdata.dat
t = mgdata(:, 1); x = mgdata(:, 2);
for t=118:1117
Data(t-117,:)= [x(t-18) x(t-12) x(t-6) x(t) x(t+6)];
end
trnData=Data(1:500, :);
chkData=Data(501:end, :);
fismat = genfis2(trnData);
fismat3=fismat;
[fismat1,fismat2] = anfis2(trnData,fismat,chkData)
ad=Data(:,1:4);
anfis_output = ruleview2guisiz(ad, fismat2)
in = mgdata(125:1124,1);
inx=mgdata(125:1124,2);
subplot(211), plot(in, [inx anfis_output]);
subplot(212), plot(in, inx - anfis_output); şeklindedir.
```

Tip-2 için geliştirilen programın Tip-1 için geliştirilen programdan farkı programda çağırılan m dosyalarıdır. Tip-1 için geliştirilen programda sadece *genfis1.m*, *anfis.m* ve *evalfis.m* dosyaları kullanılırken, tip-2 için geliştirilen programda *genfis1.m* yerine *genfis2.m*, *anfis.m* yerine *anfis2.m*, *evalfis.m* yerine ise *ruleview2guisiz.m* dosyaları kullanılmıştır. *Genfis2.m*, *anfis2.m* ve *ruleview2guisiz.m* dosyaları Matlab tip-1 toolbox'da var olmayıp tip-2 toolbox için ilk kez oluşturulmuştur. *Anfis2.m* dosyası içerisinde *train\_sfls\_type2.m* dosyası, *train\_sfls\_type2.m* dosyası içerisinde *gausstype2.m*, *rightpoint.m*, *leftpoint.m* dosyaları,

*genfis2.m* dosyasında ise *genparam2.m* dosyası çağırılmıştır. *Gausstype2.m*, *Genparam2.m*, *Leftpoint.m*, *Rightpoint.m*, *Train\_sfls\_type2.m* dosyalarının tip-1 halleri bulunmakta olup, bu dosyalar tip-2 bulanık mantığa göre değiştirilerek, tip-2 bulanık mantık kurallarına göre yeniden biçimlendirilmiştir

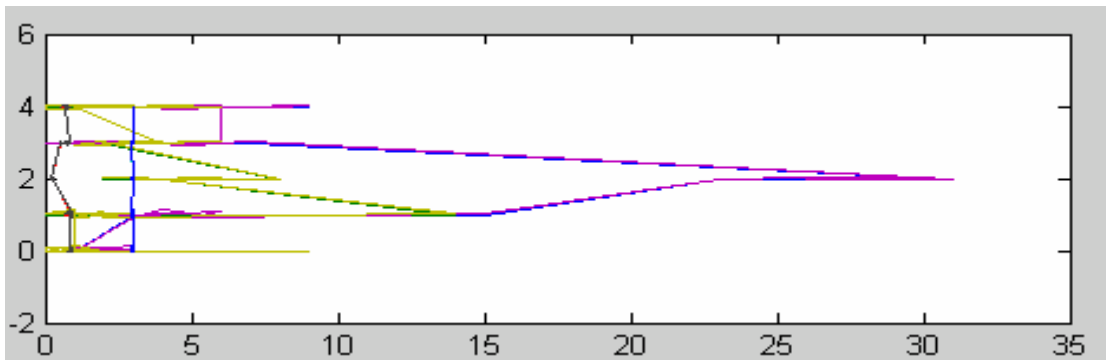
Programın çalıştırılması için, *anaprogram.m*, *anfis2.m*, *genfis2.m*, *ruleview2guisiz.m*, *genparam2.m*, *gausstype2.m*, *train\_sfls\_type2.m*, *leftpoint.m*, *rightpoint.m*, *adapt.m*, *defuzz2.m*, *disfis2.m*, *evalmf2.m*, *getfis2.m*, *setfis2.m*, *trimvec.m*, *sigmagausstype2.m* dosyalarının MATLAB programının work klasörüne kopyalanması gerekmektedir. Anaprogram.m dosyasının çalıştırılması yeterli olacaktır.

#### 4.7. Meteorolojik Veriler İle Hava Tahmini Uygulaması

Geliştirilen tip-1 ve tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yazılımları için Elazığ iline ait meteorolojik veriler kullanılarak ileriye dönük hava tahmini yapılmıştır. Bu uygulama tip-1 ve tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yöntemleri için ayrı ayrı yapılmıştır.

Elazığ iline ait hava tahmini gerçekleştirilirken sıcaklık, çığ noktası, nem oranı, basınç verileri özellikleri çıkartılmış bir şekilde [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com) adresinden alınmıştır. Bu veriler giriş olarak geliştirilen programa uygulanarak, değerlendirilip bir hava tahmininin yapılması gerçekleştirilmiştir. Giriş verileri alınırken bilgisayarın hızlı derleyebilmesi için nem oranı 100'e basınç verileri ise 10'a bölünerek normalizasyona uğratılmaktadır [37].

Sıcaklık, çığ noktası, nem oranı ve basınç değerleri geliştirilen yazılımlara uygulandıktan sonra bilgisayarda değerlendirilen çıkış verileri 5 karar sınıfı olarak ifade edilmektedir. Bu kara sınıflarından 0 durumu havanın karlı olacağını, 1 durumu havanın yağmurlu olacağını, 2 durumu havanın açık olacağını, 3 durumu havanın kapalı olacağını ve 4 durumu ise havanın bulutlu olacağını ifade eder [37]. Şekil 4.5'de gerçek verilere ait grafik gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Meteorolojik Verilere Ait Grafik

#### 4.8. Meteorolojik Veriler İçin Tip-1 ve Tip-2 Bulanık Mantık Tabanlı Veri Madenciliği Yöntemleri İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Alınan meteorolojik veriler kullanılarak, tip-1 ve tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yöntemleri ile ileri döneme ait hava tahmini yapılmıştır. Geliştirilen programlara ait MATLAB program kodları aşağıda verilmiştir. Alınan sonuçlar neticesinde ortaya çıkan grafikler ise Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

*Tip-1 için geliştirilen programın ana kodları;*

```
Data=[1 0 0.93 2.980 0;3 1 0.87 2.977 0;1 2 0.93 2.953 0;1 0 0.93 2.947 0;3 0 0.81 3.012 0;1 0
0.93 2.971 0;6 9 0.80 3.004 0;1 1 0.87 3.004 0;3 1 0.87 3.004 1;4 1 0.81 3.006 1 5 0 0.70 2.995
1;4 3 0.93 2.998 1;2 1 0.93 2.992 1;6 2 0.76 2.974 1;5 2 0.81 2.959 1 15 14 0.94 2.977 1;23 4
0.29 3.004 2;26 5 0.26 2.998 2;28 6 0.25 2.995 2;26 4 0.24 2.992 2 30 2 0.17 2.974 2;26 5 0.26
2.992 2;28 4 0.21 2.983 2;31 8 0.24 2.998 2;7 2 0.53 2.983 3 5 1 0.76 2.956 3;2 6 0.74 3.015 3;0
3 0.80 3.018 3;3 2 0.70 3.039 3;2 3 0.70 3.012 3 1 4 0.70 2.998 3;6 4 0.87 3.018 3;6 1 0.70
2.995 4;6 3 0.81 3.006 4;8 2 0.66 3.027 4 9 5 0.76 3.018 4;4 0 0.75 3.021 4;6 0 0.66 3.006 4;4 6
0.49 3.001 4;3 4 0.60 3.015 4];
```

```
giris=[1 0 0.93 2.980;3 1 0.87 2.977;1 2 0.93 2.953;1 0 0.93 2.947;3 0 0.81 3.012;
```

```
1 0 0.93 2.971;6 9 0.80 3.004;1 1 0.87 3.004;3 1 0.87 3.004;4 1 0.81 3.006 5 0 0.70 2.995;4 3
0.93 2.998;2 1 0.93 2.992;6 2 0.76 2.974;5 2 0.81 2.959 15 14 0.94 2.977;23 4 0.29 3.004;26 5
0.26 2.998;28 6 0.25 2.995;26 4 0.24 2.992 30 2 0.17 2.974;26 5 0.26 2.992;28 4 0.21 2.983;31
8 0.24 2.998;7 2 0.53 2.983 5 1 0.76 2.956;2 6 0.74 3.015;0 3 0.80 3.018;3 2 0.70 3.039;2 3 0.70
3.012 1 4 0.70 2.998;6 4 0.87 3.018;6 1 0.70 2.995;6 3 0.81 3.006;8 2 0.66 3.027 9 5 0.76
3.018;4 0 0.75 3.021;6 0 0.66 3.006;4 6 0.49 3.001;3 4 0.60 3.015];
```

```
cikis=[0;0;0;0;0;0;0;1;1;1;1;1;1;1;2;2;2;2;2;2;2;3;3;3;3;3;3;3;3;3;4;4;4;4;4;4;4];
```

```
trnData=Data(1:20,:);
```

```
chkData=Data(21:end,:);
```

```
numMFs = 2;
```

```
mfType = 'gaussmf';
```

```
fismat = genfis1(trnData,numMFs,mfType);
```

```
fismat3=fismat;
```

```
epoch_n = 10;
```

```
[fismat1,fismat2] = anfis(trnData,fismat,10,[],chkData);
```

```
ad=Data(:,1:4);
```

```
anfis_output = evalfis(ad, fismat1);
```

```
in=[1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30
;31;32;33;34;35;36;37;38;39;40];
```

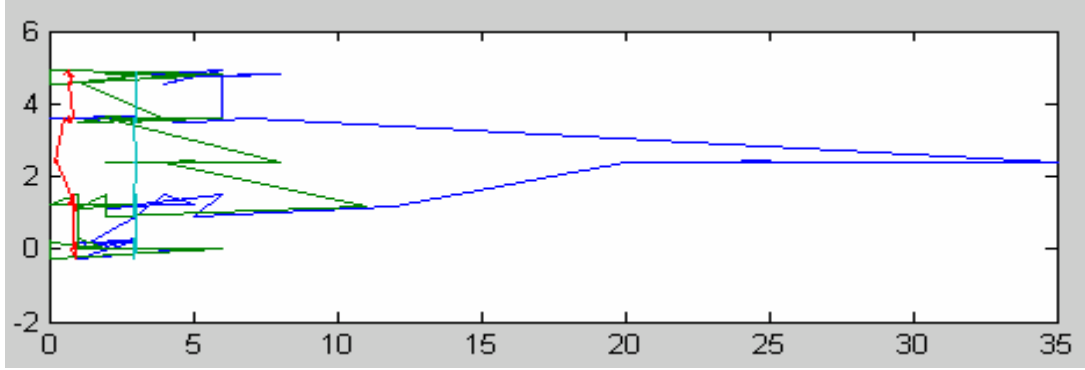
```
inx=giris;
```

```
size(in)
```

```
size(inx)
```

```
size(anfis_output)
```

```
subplot(212), plot(giris, cikis, giris, anfis_output');
```



**Şekil 4.6** Tip-1 BM Tabanlı Yöntem ile Hava Tahmin Grafiği

*Tip-2 için geliştirilen programın ana kodları;*

```
Data=[1 0 0.93 2.980 0;3 1 0.87 2.977 0;1 2 0.93 2.953 0;1 0 0.93 2.947 0;3 0 0.81 3.012 0;1 0
0.93 2.971 0;6 9 0.80 3.004 0;1 1 0.87 3.004 0;3 1 0.87 3.004 1;4 1 0.81 3.006 1 5 0 0.70 2.995
1;4 3 0.93 2.998 1;2 1 0.93 2.992 1;6 2 0.76 2.974 1;5 2 0.81 2.959 1 15 14 0.94 2.977 1;23 4
0.29 3.004 2;26 5 0.26 2.998 2;28 6 0.25 2.995 2;26 4 0.24 2.992 2 30 2 0.17 2.974 2;26 5 0.26
2.992 2;28 4 0.21 2.983 2;31 8 0.24 2.998 2;7 2 0.53 2.983 3 5 1 0.76 2.956 3;2 6 0.74 3.015 3;0
3 0.80 3.018 3;3 2 0.70 3.039 3;2 3 0.70 3.012 3 1 4 0.70 2.998 3;6 4 0.87 3.018 3;6 1 0.70
2.995 4;6 3 0.81 3.006 4;8 2 0.66 3.027 4 9 5 0.76 3.018 4;4 0 0.75 3.021 4;6 0 0.66 3.006 4;4 6
0.49 3.001 4;3 4 0.60 3.015 4];
```

```
giris=[1 0 0.93 2.980;3 1 0.87 2.977;1 2 0.93 2.953;1 0 0.93 2.947;3 0 0.81 3.012;
```

```
1 0 0.93 2.971;6 9 0.80 3.004;1 1 0.87 3.004;3 1 0.87 3.004;4 1 0.81 3.006 5 0 0.70 2.995;4 3
0.93 2.998;2 1 0.93 2.992;6 2 0.76 2.974;5 2 0.81 2.959 15 14 0.94 2.977;23 4 0.29 3.004;26 5
0.26 2.998;28 6 0.25 2.995;26 4 0.24 2.992 30 2 0.17 2.974;26 5 0.26 2.992;28 4 0.21 2.983;31
8 0.24 2.998;7 2 0.53 2.983 5 1 0.76 2.956;2 6 0.74 3.015;0 3 0.80 3.018;3 2 0.70 3.039;2 3 0.70
3.012 1 4 0.70 2.998;6 4 0.87 3.018;6 1 0.70 2.995;6 3 0.81 3.006;8 2 0.66 3.027 9 5 0.76
3.018;4 0 0.75 3.021;6 0 0.66 3.006;4 6 0.49 3.001;3 4 0.60 3.015];
```

```
cikis=[0;0;0;0;0;0;0;0;1;1;1;1;1;1;1;2;2;2;2;2;2;2;3;3;3;3;3;3;3;4;4;4;4;4;4;4];
```

```
trnData=Data(1:20, :);
```

```
chkData=Data(21:end, :);
```

```
fismat = genfis2(trnData)
```

```
fismat3=fismat;
```

```
[fismat1,fismat2] = anfishava(trnData,fismat,chkData);
```

```
for deg=1:40
```

```
ad=Data(deg,1:4)
```

```
%ad=[1 2 3 4];
```

```
anfis_output(deg) = ruleview2guisiz(ad, fismat2);
```

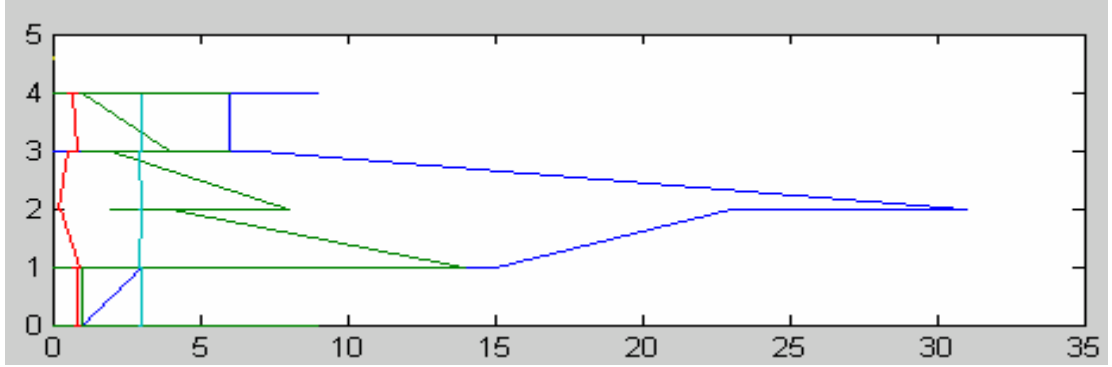
```
end
```

```
in=[1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30
;31;32;33;34;35;36;37;38;39;40];
```

```

inx=giris;
size(in)
size(inx)
size(anfis_output)
subplot(212), plot(giris,cikis,giris,anfis_output');

```



**Şekil 4.7** Tip-2 BM Tabanlı Yöntem ile Hava Tahmin Grafiği

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki grafiklere bakıldığında, Şekil 4.7'deki Tip-2 BM tabanlı yöntem ile hava tahmini grafiğinin, Şekil 4.5'deki meteorolojik verilere ait grafiklerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Çıkış verileri 0 ile 4 aralığında olacağı için tip-1 ile geliştirilen yazılımda çıkışın bu veri aralığı dışına çıktığı görülmektedir. Tip-2 ile geliştirilen yazılımda ise çıkış verileri 0 ile 4 veri aralığında değer almaktadır.

## 5. SONUÇ

Veri madenciliği ve bilgi keşfi, bilimden mühendisliğe, tıp alanlarından eğitime birçok alanda yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Veri madenciliği için ilk etapta çok miktarda kaliteli ve güvenilir veri gerekmektedir. Çünkü çıkarılacak kuralların kalitesi verinin kalitesi ile doğru orantılıdır. Bu aşamada uzman kişilerin yardımı ve desteği olmaksızın başarı elde edilmesi mümkün değildir [2,8].

Geçerli ve uygulanabilir bilginin veri yığınlarından elde edilmesi dinamik bir süreçtir. Bu süreçte kümeleme, sınıflandırma ve regresyon, tip-2 bulanık mantık tabanlı birliktelik kuralları gibi farklı birçok teknik kullanılmaktadır. Tip-2 bulanık mantık yaklaşımının kullanılma nedeni, {var, yok} şeklinde ikili değerler dışında kategorik ve nicel değerler içeren veri tabanlarından ilgili kuralların keşfedilmesidir [1,4].

Bu tez çalışmasında, tip-2 bulanık mantık tabanlı bir veri madenciliği yöntemi geliştirilmiş ve geliştirilen bu yöntemin hangi veriler üzerinde performans gösterebileceği anlatılmaya çalışılmıştır. İlk olarak tip-1 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yöntemi ile MATLAB programı hazırlanmıştır. Tip-1 bulanık mantık ile oluşturulan yazılım, daha sonra tip-2 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği için geliştirilerek Mackey Glass zaman serisi ve meteorolojik veriler için ileriye dönük tahmin yapılması sağlanmıştır. Tip-1 bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yazılımında kullanılan MATLAB dosyaları tip-2 bulanık mantık için yeniden geliştirilmiştir.

Geliştirilen tip-1 ve tip-2 BM tabanlı veri madenciliği yazılımlarının zaman serisi ve meteorolojik veriler üzerindeki performanslarına bakacak olursak tip-1 BM tabanlı veri madenciliği yönteminin zaman serisi verileri üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Tip-2 BM tabanlı veri madenciliği yönteminin ise 4 ve üzeri karar sınıflı verilerin sınıflandırmasında ve girişlerin fazla olduğu tahminlerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Tip-2 BM için geliştirilen yazılımda, girişlere ait üyelik fonksiyonlarının merkez noktasındaki değerler ve FIS yapısında var olan metotlar değiştirildikçe buna paralel olarak çıkış performans değerleri de değişmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Zadeh, L. A., 1999, "From Computing With Numbers to Computing With Words-From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions," IEEE Trans. on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol.4, pp. 105-119.
- [2] Zhong, N., Zhou, L., 1999, Methodologies for Knowledge Discovery and Data Mining : Third Pacific-Asia Conference, Pakdd-99.
- [3] Berry, M.J.A., Linoff, G.S., 1999, *John Wiley & Sons* Mastering Data Mining: The Art and Science of Customer Relationship Management.
- [4] Han, J., Kamber, M., 2000, Data Mining Concepts and Techniques, *Morgan Kaufmann Publishers*.
- [5] Karypis, G., Han, E., 1999, Chameleon: Hierarchical Clustering Using Dynamic Modeling, Kumar V, *IEEE Computer*, 68-75.
- [6] Ramkumar, G.D., Swami, A., 1998, Clustering Data Without Distance Functions, *IEEE Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering*, Vol.21, No.1, 9-14.
- [7] Zaki, M. J., 1999, Parallel and Distributed Association Mining: A Survey, *IEEE Concurrency, special issue on Parallel Mechanisms for Data Mining*, Vol. 7, No. 5, 14-25.
- [8] İnternet: Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, [http://mf.kou.edu.tr/bilgisayar/nduru/Ch2\\_5.doc](http://mf.kou.edu.tr/bilgisayar/nduru/Ch2_5.doc), (1 Mayıs 2006).
- [9] Karabatak, M. (2004). Veri Madenciliği ve Apriori Algoritması ile Öğrenci Başarısı Analizi. Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 40s.
- [10] Bulut, M. (2004). Tip-2 Bulanık Mantık Sistemlerin Benzetimi İçin Yazılım Geliştirme. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [11] Mendel, J. M., 2001, Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. Prentice-Hall, NJ, USA.
- [12] Dubois, D. and Prade, H., 1980, Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, NY.
- [13] Mizumoto, M. and Tanaka, K., 1976, "Some Properties of Fuzzy Sets of Type-2," Information and Control, vol. 31, pp. 312-340.
- [14] Yager, R. R., 1986, "A Characterization of the Fuzzy Extension Principle," J. Fuzzy Sets and Systems, vol. 18, pp. 205-217.
- [15] Karnik, N. N. and Mendel, J. M., 1998, Type-2 Fuzzy Logic Systems: Type-Reduction, in Proc. IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 2046-2051.
- [16] Karnik, N. N. and Mendel, J. M., 2000, "Centroid of a Type-2 Fuzzy Set," submitted for publication.
- [17] Liang, Q. and Mendel, J. M., 1999, "An Introduction to Type-2 TSK Fuzzy Logic Systems," in Proc. FUZZ-IEEE'99, Seoul, Korea.
- [18] Mouzoris, G. C. and Mendel, J. M., Feb. 1997, "Nonsingleton Fuzzy Logic Systems: Theory and Application" IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 5, no. 1.

- [19] Akpınar, H., 2000, Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi Ve Veri Madenciliği, İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, 29, 1.
- [20] Alataş, B., Arslan, A., 2005, Birliktelik Kurallarının Madenciliği İçin Genetik Algoritma Ve Bulanık Küme Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım, F.Ü. Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 42-51 .
- [21] Alpaydın, E., 2004, Zeki Veri Madenciliği: Ham Veriden Altın Bilgiye Ulaşma Yöntemleri, Bilişim 2000 Veri Madenciliği Eğitim Semineri.
- [22] Nabiye, V. V., 2005, Yapay Zeka, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 764s.
- [23] Saitta, S., Raphael, B., Smith, I.F.C., 2005, Data mining techniques for improving the reliability of system identification, Advanced Engineering Informatics (19), 289–298.
- [24] Seidman, C., Data Mining with Microsoft SQL Server 2000 Technical Refence. IT Professional and Developer
- [25] Hu, Y., Tzeng, G., 2003, Elicitation of classification rules by fuzzy data mining, Engineering Application of Artificial Intelligence, 16, 709-716.
- [26] Agrawal, A. and Srikant, A., 1994, Fast algorithms for mining association rules, Proc. VLDB'94, 487-499.
- [27] Fayyad U., 1998, Mining Databases: Towards Algorithms for Knowledge Discovery, *IEEE Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering*, Vol.21, No.1, 41-48.
- [28] Cluster Analysis, Han, J., Oualia, A., Cherif, A. R., Krebs, M., 2005, Data mining based Bayesian networks for best classification, Computational Statistics & Data Analysis
- [29] İnternet: Bilgi Yönetimi Veri Ambarlarının Yapısı, <http://www.bilgiyönetimi.org/>, (27 Mart 2006).
- [30] İnternet: Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, [http://mf.kou.edu.tr/bilgisayar/nduru/Ch9\\_5.doc](http://mf.kou.edu.tr/bilgisayar/nduru/Ch9_5.doc), (1 Mayıs 2006).
- [31] Gündüz, Ş., Adalı, E., 2004, Web Kullanıcılarının Davranışları İçin Örüntü Bulma ve Modelleme, İTÜ dergisi, 3, 15-24.
- [32] İnternet: WALA:Web Erişim Kütük Araştırmacısı, <http://inet-tr.org.tr/inetconf9/bildiri/60.doc>, (20 Mayıs 2006)
- [33] Özekes, S., Veri Madenciliği Modelleri Ve Uygulama Alanları, İstanbul Ticaret Üniversitesi Dergisi.
- [34] İnternet: Tıp Bilişimi Derneği,
- [35] İnternet: Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, <http://mf.kou.edu.tr/bilgisayar/nduru/Ch1.doc>, (1 Mayıs 2006).
- [36] Sever, H., Oğuz, B., Veri Tabanlarında Bilgi Keşfine Formel Bir Yaklaşım, 00005910, 173-204.
- [37] Dursun, O. (2005). Meteorolojik Verilerin Veri Madenciliği İle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



## EK: GELİŞTİRİLEN YAZILIMA AİT PROGRAM KODLARI

### Anfis2.m Dosyası

```
function [fismat1,fismat2]=anfis2(trnData,fismat,chkData);
alpha=0.2;
fismat1=fismat;
for k=1:4
 for m=1:4
 X(k,m)=trnData(k,m);
 end
end
n=k+1;
for as=n:500
 for m=1:4
 X(as,m)=trnData(as,m);
 end
end
X;
for k=1:4
 for m=1:4
 D(k,m)=chkData(k,m);
 end
end
n=k+1;
for at=n:500
 for m=1:4
 D(at,m)=chkData(at,m);
 end
end
D;
for i=1:4
 Mf1=fismat1.input(1).mf(1).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(1).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
end
for i=5:8
 Mf1=fismat1.input(1).mf(1).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(2).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
```

```

 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=9:12
 Mf1=fismat1.input(1).mf(2).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(1).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=13:16
 Mf1=fismat1.input(1).mf(2).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(2).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=1:4
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=5:8
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=9:12
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);

```

```

 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=13:16
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf2(1);
 M2(i,3)=Mf2(2);
 sigma(i,3)=Mf2(3);
 end
 for i=1:4
 Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
 M1(i,4)=Mf1(1);
 M2(i,4)=Mf1(2);
 sigma(i,4)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
 M1(i,4)=Mf2(1);
 M2(i,4)=Mf2(2);
 sigma(i,4)=Mf2(3);
 end
 for i=5:8
 Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
 M1(i,4)=Mf1(1);
 M2(i,4)=Mf1(2);
 sigma(i,4)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
 M1(i,4)=Mf2(1);
 M2(i,4)=Mf2(2);
 sigma(i,4)=Mf2(3);
 end
 for i=9:12
 Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
 M1(i,4)=Mf1(1);
 M2(i,4)=Mf1(2);
 sigma(i,4)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
 M1(i,4)=Mf2(1);
 M2(i,4)=Mf2(2);
 sigma(i,4)=Mf2(3);
 end
 for i=13:16
 Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
 M1(i,4)=Mf1(1);
 M2(i,4)=Mf1(2);
 sigma(i,4)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
 M1(i,4)=Mf2(1);

```

```

 M2(i,4)=Mf2(2);
 sigma(i,4)=Mf2(3);
 end
 for i=1:4
 Mf1=fismat1.input(1).mf(1).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(1).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=5:8
 Mf1=fismat1.input(1).mf(1).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(2).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=9:12
 Mf1=fismat1.input(1).mf(2).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(1).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=13:16
 Mf1=fismat1.input(1).mf(2).params;
 M1(i,1)=Mf1(1);
 M2(i,1)=Mf1(2);
 sigma(i,1)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(2).mf(2).params;
 M1(i,2)=Mf2(1);
 M2(i,2)=Mf2(2);
 sigma(i,2)=Mf2(3);
 end
 for i=1:4
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;

```

```

 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=5:8
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=9:12
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=13:16
 Mf1=fismat1.input(3).mf(1).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(3).mf(2).params;
 M1(i,3)=Mf1(1);
 M2(i,3)=Mf1(2);
 sigma(i,3)=Mf1(3);
 end
 for i=1:4
 Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
 M1(i,4)=Mf1(1);
 M2(i,4)=Mf1(2);
 sigma(i,4)=Mf1(3);
 Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
 M1(i,4)=Mf2(1);
 M2(i,4)=Mf2(2);
 sigma(i,4)=Mf2(3);
 end
 for i=5:8
 Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
 M1(i,4)=Mf1(1);
 M2(i,4)=Mf1(2);
 sigma(i,4)=Mf1(3);
 end

```

```

Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
M1(i,4)=Mf2(1);
M2(i,4)=Mf2(2);
sigma(i,4)=Mf2(3);
end
for i=9:12
Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
M1(i,4)=Mf1(1);
M2(i,4)=Mf1(2);
sigma(i,4)=Mf1(3);
Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
M1(i,4)=Mf2(1);
M2(i,4)=Mf2(2);
sigma(i,4)=Mf2(3);
end
for i=13:16
Mf1=fismat1.input(4).mf(1).params;
M1(i,4)=Mf1(1);
M2(i,4)=Mf1(2);
sigma(i,4)=Mf1(3);
Mf2=fismat1.input(4).mf(2).params;
M1(i,4)=Mf2(1);
M2(i,4)=Mf2(2);
sigma(i,4)=Mf2(3);
end
c1=[0.5200;1.2600;1.8900;0.1800;0.5200;1.2600;0.4900;0.1800;0.5200;1.2600;1.8900;0.1800;
0.5200;1.2600;0.4900;0.1800];
c2=[0.5200;0.5200;0.5200;1.2600;0.2600;1.8900;0.4900;1.8900;0.4900;0.4900;0.1860;0.1800;
1.2600;1.2600;0.4900;0.1800];
[M1,M2,c1,c2,sigma]=train_sfls_type2(X,D,M1,M2,sigma,c1,c2,alpha);
for i=1:4
fismat1.input(1).mf(1).params=[M1(i,1) M2(i,1) sigma(i,1)];
fismat1.input(2).mf(1).params=[M1(i,2) M2(1,2) sigma(i,2)];
end
for i=5:8
fismat1.input(1).mf(1).params=[M1(i,1) M2(i,1) sigma(i,1)];
fismat1.input(2).mf(2).params=[M1(i,2) M2(1,2) sigma(i,2)];
end
for i=9:12
fismat1.input(1).mf(2).params=[M1(i,1) M2(i,1) sigma(i,1)];
fismat1.input(2).mf(1).params=[M1(i,2) M2(1,2) sigma(i,2)];
end
for i=13:16
fismat1.input(1).mf(2).params=[M1(i,1) M2(i,1) sigma(i,1)];
fismat1.input(2).mf(2).params=[M1(i,2) M2(1,2) sigma(i,2)];
end
for i=1:4
fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];

```

```

 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 end
 for i=5:8
 fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 end
 for i=9:12
 fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 end
 for i=13:16
 fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(1).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 fismat1.input(3).mf(2).params=[M1(i,3) M2(i,3) sigma(i,3)];
 end
 for i=1:4
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 end
 for i=5:8
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 end
 for i=9:12
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 end
 for i=13:16
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(1).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 fismat1.input(4).mf(2).params=[M1(i,4) M2(i,4) sigma(i,4)];
 end
 for i=1:16
 fismat1.output.range(1)=[c1(i,1)];
 fismat1.output.range(1)=[c2(i,1)] ;
 end
end

```

```

 fismat2=fismat1;
end

```

## Genfis2.m Dosyası

```

function fis = genfis2(data, numMFs, inmftype, outmftype)
default_mf_n = 2;
default_mf_type = 'mgausstype2';
default_output_type = 'linear';

if nargin <= 3,
 outmftype = default_output_type;
end
if nargin <= 2,
 inmftype = default_mf_type;
end
if nargin <= 1,
 numMFs = default_mf_n;
end

% get dimension info
data_n = size(data, 1);
in_n = size(data, 2)-1 ;

% error checking
if length(numMFs)==1,
 numMFs=numMFs*ones(1, in_n);
end

% Check arguments defining system inputs
if length(numMFs) ~= in_n | (size(inmftype, 1) ~=1 & size(inmftype, 1) ~= in_n),
 error('Wrong size(s) of argument(s) defining system input(s)!');
end
% Check argument defining system output
if size(outmftype,1) ~= 1
 error('Argument data entered may only have one output!');
end
if (strcmp(outmftype,'linear') | strcmp(outmftype,'constant')) ~= 1
 error('Output membership function type must be either linear or constant!');
end

if size(inmftype, 1) ==1 & in_n>1
 for i=2:in_n
 inmftype(i,:)=inmftype(1,:);
 end
end

rule_n = prod(numMFs);

```

```

fis.name = 'anfis';
fis.type = 'sugeno';
fis.andMethod = 'prod';
fis.orMethod = 'max';
fis.defuzzMethod = 'wtsum';
fis.reducMethod = 'height';
fis.impMethod = 'prod';
fis.aggMethod = 'max';

range = [min(data)' max(data)'];
in_mf_param = genparam2(data, numMFs, inmfstype);
k=1;
for i = 1:in_n,
 fis.input(i).name = ['input' num2str(i)];
 fis.input(i).range=range(i,:);
 for j=1:numMFs(i)
 MFType = deblank(inmfstype(i, :));
 fis.input(i).mf(j).name = ['in' num2str(i) 'mf' num2str(j)];
 fis.input(i).mf(j).type = MFType;
 if strcmp(MFType, 'mgaustype2')
 fis.input(i).mf(j).params= in_mf_param(k,1:3);
 end
 k=k+1;
 end
end
fis.output(1).name='output';
fis.output(1).range=range(end,:);
for i = 1:rule_n,
 fis.output(1).mf(i).name=['out1mf', num2str(i)];
 fis.output(1).mf(i).type=outmfstype;
 if strcmp(outmfstype, 'linear')
 fis.output(1).mf(i).params=zeros(1, in_n+1);
 else
 fis.output(1).mf(i).params=[0];
 end
end
rule_list = zeros(rule_n, length(numMFs));
for i = 0:rule_n-1,
 tmp = i;
 for j = length(numMFs):-1:1,
 rule_list(i+1, j) = rem(tmp, numMFs(j))+1;
 tmp = fix(tmp/numMFs(j));
 end
end
rule_list = [rule_list (1:rule_n)' ones(rule_n, 1) ones(rule_n, 1)];
fis.rule=[];
fis=setfis2f(fis, 'rulelist', rule_list);

```

## Ruleview2guisiz.m Dosyası

```
function cikis=ruleview2guisiz(input,fisismi);
fis=fisismi;
fisName=fis.name;
numRules=length(fis.rule);
if isfield(fis, 'input')
 numInputs=length(fis.input);
else
 numInputs=0;
end
if isfield(fis, 'output')
 numOutputs=length(fis.output);
else
 numOutputs=0;
end
if (numInputs<1) | (numOutputs<1),
 statmsg2(figNumber,'Need at least one input and one output to view rules');
 return
end
numRules=length(fis.rule);
if numRules<1,
 statmsg2(figNumber,'Need at least one rule to view rules');
 return
end
% Now build all the appropriate axes
% For each rule, there will be as many axes as (numInputs+numOutputs)
ruleList=getfis2(fis, 'ruleList');
numRules=size(ruleList,1);
if isfield(fis, 'input')
 numInputs=length(fis.input);
else
 numInputs=0;
end
if isfield(fis, 'output')
 numOutputs=length(fis.output);
else
 numOutputs=0;
end
for i=1:numInputs
 numInputMFs(i)=length(fis.input(i).mf);
end
for i=1:numOutputs
 numOutputMFs(i)=length(fis.output(i).mf);
end
for i=1:numInputs
 inRange(i, 1:2)=fis.input(i).range;
end
```

```

for i=1:numOutputs
 outRange(i,1:2)=fis.output(i).range;
end
totalVars=numInputs+numOutputs;
fisType=fis.type;
numPts=101;
[xIn,yIn,xOut,yOut,R]=discfis2(fis,numPts);
%xIn
%size(xIn)
%size(yIn)
%size(xOut)
%size(yOut)
%yazi12=num2str(input,2);
%input=str2num(yazi12);
inputVector=input;
giris_vek=inputVector;
[v,irr,orr,arr]=evalfis2(inputVector,fis, numPts);
 if strcmp(fisType,'sugeno'),
 sugenoOutputRange=sugmax(fis);
 end
 irru=zeros(numRules,numInputs);
 irrl=zeros(numRules,numInputs);
for cikisdeg=1:numOutputs
 for topdeg=1:numPts
 topu_max(cikisdeg,topdeg)=0;
 topl_max(cikisdeg,topdeg)=0;
 topu_sum(cikisdeg,topdeg)=0;
 topl_sum(cikisdeg,topdeg)=0;
 end
end
andutop=0; andltop=0;
for ruleIndex=1:(numRules+1),
 for varIndex=1:totalVars,

 if (ruleIndex<=numRules) & (varIndex<=numInputs),
 mfColIndex=abs(R(ruleIndex,varIndex));
 if mfColIndex,
 % Don't plot it if the index is zero
 x=xIn(:,mfColIndex);
 y=yIn(:,mfColIndex);
 fark=abs(xIn(1,mfColIndex)-xIn(2,mfColIndex));

if strcmp(fisType,'mamdani') | strcmp(fisType,'sugeno'),
mfTypeList=getfis2(fis,'inmfTypes');
mfParamsList=getfis2(fis,'inmfParams');
for mfIndex=1:numInputMFs(varIndex),
 mfIndex2=sum(numInputMFs(1:(varIndex-1)))+mfIndex;
 mfType=deblank(mfTypeList(mfIndex2,:));
 mfParams=mfParamsList(mfIndex2,:);

```

```

 YIden(:,mfIndex2)=evalmf2(inputVector(varIndex),mfParams,mfType);
 irru(ruleIndex,varIndex)=YIden(1,mfColIndex);
 irrl(ruleIndex,varIndex)=YIden(2,mfColIndex);
 end

end

 if R(ruleIndex,varIndex)<0,
 % Invert the MF if a NOT has been applied
 y=1-y;
 end
uppery=y(1:numPts,:); lowery=y(numPts+1:2*numPts,:); principal=1*uppery;
end
and_or_isl=2+numInputs+numOutputs; %2=weight+and_or 'den dolayı
if R(ruleIndex,and_or_isl)==2,
 %or islemi
 or_method=fis.orMethod;
 if strcmp(or_method,'max'),
 %andu ve andl değişkenleri ima işleminde kullanılacağından oru ve orl diye
 tanımlamadım.
 andu(ruleIndex,1)=irru(ruleIndex,1);
 andl(ruleIndex,1)=irrl(ruleIndex,1);

 if (andu(ruleIndex,1))<=(irru(ruleIndex,varIndex)),
 andu(ruleIndex,1)=irru(ruleIndex,varIndex);
 end
 if (andl(ruleIndex,1))<=(irrl(ruleIndex,varIndex)),
 andl(ruleIndex,1)=irrl(ruleIndex,varIndex);
 end
 end
end
%or bitim
elseif R(ruleIndex,and_or_isl)==1,
 %and islemi
 and_method=fis.andMethod;
 if strcmp(and_method,'min'),
 andu(ruleIndex,1)=irru(ruleIndex,1);
 andl(ruleIndex,1)=irrl(ruleIndex,1);
 if (andu(ruleIndex,1))>=(irru(ruleIndex,varIndex)),
 andu(ruleIndex,1)=irru(ruleIndex,varIndex);
 end
 if (andl(ruleIndex,1))>=(irrl(ruleIndex,varIndex)),
 andl(ruleIndex,1)=irrl(ruleIndex,varIndex);
 end
 elseif strcmp(and_method,'prod') & (varIndex==numInputs),
 andu(ruleIndex,1)=1;
 for carpIndex=1:numInputs
 andu(ruleIndex,1)=andu(ruleIndex,1)*irru(ruleIndex,numInputs);
 end
 andl(ruleIndex,1)=1;
 for carpIndex=1:numInputs

```

```

 andl(ruleIndex,1)=andl(ruleIndex,1)*irrl(ruleIndex,numInputs);
 end
end
%and bitim
end

 end
 if (ruleIndex<=numRules) & (varIndex>numInputs),
outputVarIndex=varIndex-numInputs;
 if ruleIndex==1,
 varName=fis.output(varIndex-numInputs).name;
end

mfIndex=abs(ruleList(ruleIndex,varIndex));
if mfIndex,
mfColIndex=sum(numOutputMFs(1:(outputVarIndex-1)))+mfIndex;
 if strcmp(fisType,'sugeno'),
 % SUGENO system
 range=fis.output(varIndex-numInputs).range;
 outRange=sugenoOutputRange(varIndex-numInputs,:);
 outRange=outRange+0.1*(outRange(2)-outRange(1))*[-1 1];
 outRange=eval(mat2str(outRange,4));
 if outRange(1)==outRange(2)
 outRange=outRange+[0 .1];
 end
mfParamsList=getfis2(fis,'outmfparams');
 c(ruleIndex,varIndex-numInputs)=mfParamsList(mfIndex,1);
 c_merkez(ruleIndex,varIndex-numInputs)=mfParamsList(mfIndex,1);
 s=range(2)/25; s_sigma=range(2)/25;
 xData2=[c_merkez(ruleIndex,varIndex-numInputs)-s_sigma
c_merkez(ruleIndex,varIndex-numInputs)-s_sigma c_merkez(ruleIndex,varIndex-
numInputs)+s_sigma c_merkez(ruleIndex,varIndex-numInputs)+s_sigma];
 yData2=[0 1 1 0];
 xData1=xData2;
 yData1u=[0 andu(ruleIndex,1) andu(ruleIndex,1) 0];
 yData1l=[0 andl(ruleIndex,1) andl(ruleIndex,1) 0];

 end
 end
end

 if (ruleIndex>numRules) & (varIndex<=numInputs),
 colIndex=sum(numInputMFs(1:(varIndex-1)))+1;
 xMin=inRange(varIndex,1);
 xMax=inRange(varIndex,2);
 inputVal=inputVector(varIndex);
 if ruleIndex==numRules+1,
 % Plot the variable name at the top of each column
 varName=fis.input(varIndex).name;
 end
end

```

```

end

if (ruleIndex>numRules) & (varIndex>numInputs)
 varName=fis.output(varIndex-numInputs).name;
 mfColIndex=sum(numOutputMFs(1:(varIndex-numInputs-1)))+1;
 if mfColIndex<=size(xOut,2),
 x=xOut(:,mfColIndex);
 else
 x=zeros(size(arr,1),1);
 end
 if strcmp(fisType,'sugeno'),
 % SUGENO system
 for i=1:numRules
 w(i,1)=(andu(i,1)+andl(i,1))/2;
 delta(i,1)=(andu(i,1)-andl(i,1))/2;
 andutop=andutop+andu(i,1);
 andltop=andltop+andl(i,1);
 end
 s_sigma_all=s_sigma*ones(1,numRules);
 defuzz_method=fis.defuzzMethod;
 if strcmp(defuzz_method,'wtaver'),
 [l_out,r_out]=interval_wtdavg(c_merkez(:,varIndex-numInputs),s_sigma_all,w',delta');
 elseif strcmp(defuzz_method,'wtsum'),
 [l_out1,r_out1]=interval_wtdavg(c_merkez(:,varIndex-
numInputs),s_sigma_all,w',delta');
 l_out=l_out1*andutop;
 r_out=r_out1*andltop;
 end
end

 xx(varIndex-numInputs)=(l_out+r_out)/2;
 cikis=xx;
 end
end
end
end
end

```

## ÖZGEÇMİŞ

### **Bihter DAŞ**

Fırat Üniversitesi  
Teknik Eğitim Fakültesi  
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, 23119 / Elazığ

*E.posta :* [bihterdas@firat.edu.tr](mailto:bihterdas@firat.edu.tr)

- 1982** Elazığ'da doğdu.
- 1996 – 2000** Mehmet Akif Ersoy Süper Lisesi'nde eğitimini tamamladı.
- 2000 – 2004** Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Öğretmenliği Bölümünden bölüm ve fakülte birincisi olarak mezun oldu.
- 2004 – 2005** Bursa Ovaakça Endüstri Meslek Lisesi ve Teknik Lisesi'nde bilgisayar öğretmeni olarak çalıştı.
- 2005– .....** Elazığ 24 Kasım İlköğretim okulunda Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.
- 2006 – .....** Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Kontrol Eğitimi Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.