T.C.

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

138923

SERAMİK ÜRETİMİNDE HAMUR KALİTESİNİN BULANIK SİSTEM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Tezi Hazırlayan

Feyza GÜRBÜZ

Tezi Yöneten

Yrd. Doç. Dr. Adem GÖLEÇ

Makine Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2003

KAYSERİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

138923

Bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

10 / 7 / 2003

JÜRİ:

Üye: Doç. Dr. Derviş Karaboğa

Üye: Yrd. Doç. Dr. Şahin Yıldırım

Üye: Yrd. Doç. Dr. Adem Göleç

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ...17-07-2003..... tarih ve ...3.... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

15 EKİM 2003

T.C.
Prof. Dr. İlhan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü
Mühür ve İmza

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, değerli görüş ve katkılarıyla her konuda bana yardımcı olan, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Adem GÖLEÇ'E, yine benden yardımlarını esirgemeyen Hocam Yrd. Doç. Dr. Fazıl CANBULUT'a ve arkadaşlarım sevgili Sevil ve Kürşat Özkaya'ya yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu aşamaya ulaşmamda maddi ve manevi bütün desteklerini esirgemeyen aileme, sabrından dolayı eşime ve beni gülücükleriyle neşelendiren biricik kızıma ayrıca teşekkür ederim.

SERAMİK ÜRETİMİNDE HAMUR KALİTESİNİN BULANIK SİSTEM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüzde verimliliği artırma çabası içinde olan işletmeler, karar verme sürecini kısaltmak ve daha etkili kararlar verebilmek için sürekli arayış içindedirler. Bu amaç için, kullanılacak tekniklerden birisi de Bulanık Gruplama Algoritması'dır. Bu çalışmada, birden fazla çıktısı olan sistemlerde karar verme sürecini kısaltmak ve daha etkili kararlar verebilmek için Bulanık Gruplama Algoritması kullanılarak sistemin karar verme mekanizması modellenmiştir.

Bunun için, bir işletmeden ürünün kabul veya reddine karar vermemize etkili olan veriler alınarak, bu veriler bulanık gruplama tekniklerine göre gruplandırılmış ve ürünün kabulü için en uygun grup verilerinin yapısı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Gruplama Algoritması, Karar Verme, Bulanık Kümeler

DETERMINATION OF THE SLURRY QUALITY USING FUZZY SYSTEM IN SERAMICS PRODUCTION

ABSTRACT

Nowadays, the enterprises which has tried to increase the productivity are continuously searching to shorten the period for decision making process and to make more effective decision. One of the techniques that can be used in order to achieve this aim is Fuzzy Cluster Algoritm Analysis.

In this study, decision making system was modelled by using Fuzzy C-Means algorith to shorten the period of decision making process and to make more effective decision for the system having more than one output. For this purpose, the data that affect decision whether a product is accepted or rejected were gathered, then these data were grouped according to the grouping techniques and the most appropriate structures of data group for the acceptance of product were identified.

Key Words: Fuzzy Cluster, Decision Making, Fuzzy Sets

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

TEŞEKKÜR ii
ÖZET.....iii
ABSTRACT.....iv
İÇİNDEKİLER v
KISALTMALAR VE SİMGELER viii
TABLOLAR LİSTESİ ix
ŞEKİLLER LİSTESİ x

BÖLÜM-I
GİRİŞ

1.1 Giriş 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Literatür Taraması.....3

BÖLÜM-II
BULANIK MANTIK VE KÜMELER

2.1 Bulanık Mantık.....6
2.2 Bulanık Kümeler.....8
2.2.1 Tanımı..... 8
2.2.2 Bulanık Kümelerin Özellikleri.....14
2.2.3 Bulanık Kümeler Üzerinde İşlemler.....15
2.2.4 Üyelik Fonksiyonları..... 17
2.2.5 Temel Dilsel Terimler..... 18

BÖLÜM-III
BULANIK ÇIKARIM MEKANİZMASI

3.1 Yaklaşık Çıkarsama..... 20
3.2 Bulanık Çıkarım Mekanizması 21
3.3 Mamdani Çıkarım Mekanizması..... 25
3.3.1 Bulanıklaştırma..... 25

3.3.2 Kural Oluşturma, Değerlendirme.....26
3.3.3 Kural Çıktılarının Bütünleştirilmesi.....29
3.3.4 Bulanıklığı Giderme.....29

BÖLÜM-IV
BULANIK GRUPLAMA ANALİZİ

4.1 Giriş.....33
4.2 Bulanık Yapısal Tanımlama.....34
4.2.1 Kural Üretme; Bulanık Gruplama.....34
4.2.1.1 Grup Geçerliliği; Grup Sayılarını Belirleme.....36
4.2.1.2 Üstel Ağırlığın Belirlenmesi.....37
4.2.1.3 Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması;
Sınıflandırma Problemi.....38

BÖLÜM-V
SERAMİK ÜRETİMİNDE HAMUR KALİTESİNİN BULANIK SİSTEM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

5.1Giriş 40
5.2 Problemin Tanımı.....40
5.3 Bulanık Sistemin Kurulması 41
5.3.1 Bulanık C-Ortalamaları (FCM) Algoritması.....41
5.3.2 Kural Oluşturma, Bulanık Gruplama.....41
5.3.2.1.Grup Sayılarını Belirleme.....42
5.3.2.2.Grupların Bulanıklık Derecesinin Belirlenmesi;
Üstel Ağırlığın Seçimi.....43
5.3.2.3. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması;
Sınıflandırma Problemi.....44
5.3.3. Seramik Üretiminde Hamur Kalitesinin Bulanık Sistem
Yöntemiyle Belirlenmesi.....47
5.3.3.1 Tasarım ve Gerçekleştirme..... 47
5.3.3.2 Test Etme.....49
5.3.3.3 Sistemi Değerlendirme ve Düzeltme.....50
5.3.3.4 Sonuçlar 50

BÖLÜM-VI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 53

KAYNAKLAR..... 55
EKLER..... 59
ÖZGEÇMİŞ..... 74

KISALTMALAR VE SİMGELER

FCM	: Fuzzy C-Means (Bulanık C-Ortalamaları)
Σ	: Toplam
$\neg$, $\bar{A}$, A^c	: Tümleyen
μ (.)	: Üyelik değeri
$\exists$	: Bazı
$\forall$	: Her
$\Re$	: Gerçek Sayılar
$\wedge$	: Minimum
$\vee$	: Maksimum
$\cap$	: Kesişim (Minimum)
$\cup$	: Birleşim (Maksimum)
$\in$	: Aittir
$\subset$	: Kapsar
U, V, X	: Tanım Uzayları
A, B	: Bulanık Kümeler
R	: Bulanık İlişki Fonksiyonu
c	: Grup sayısı
m	: Üstel Ağırlık
a,b	: Üyelik değerleri
h	: Nitelik sayısı
S_W	: Grup içi bulanık dağınık matris
S_B	: Gruplar arası bulanık dağınık matris
S_{CS}	: Grup geçerlilik indeksi
S_T	: Toplam dağınıklık matrisi
S	: Sıcaklık
V_1	: Birinci viskozite değeri
V_2	: İkinci viskozite değeri
T	: Tiksotropi
k	: Kalınlık

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5.1 Sisteme ait veriler.....42
Tablo 5.2 Sisteme uygun grup sayısı ve üstel ağırlık (m) değeri.....44
Tablo 5.3 Girdi vektörlerinin gruplara ait üyelik değerleri matrisi (U).....46
Tablo 5.4 Bazı üyelik fonksiyonlarının şekilleri.....47
Tablo 5.5 Modelde kullanılan metotlar.....49
Tablo 5.6 Modele ait çıktı değerleri.....49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. A, B, C, D, E Boy Uzunluklarının Dağılımı..... 9

Şekil 2.2. A, B, C, D, E Boy Uzunluklarının Grafiği..... 10

Şekil 2.3. Atışların dağılımı.....10

Şekil 2.4. İyi Atışların Bulanık Kümesi.....11

Şekil 2.5. "3 e yakın reel sayılar kümesi" kavramının değişik üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi.....13

Şekil 2.6. Isı değişkeninin [0 100] aralığında aldığı alt durumların bulanık ve klasik değişkenler yardımıyla gösterilmesi..... 14

Şekil 2.7. Çeşitli üyelik fonksiyonlarının şekilleri..... 19

Şekil 3.1. Bulanık çıkarım mekanizması..... 21

Şekil 3.2. İleri zincirleme metodu..... 22

Şekil 3.3. Geri zincirleme metodu..... 23

Şekil 3.4. Bulanıklaştırma süreci..... 26

Şekil 3.5. Mamdani tipi kural oluşturma..... 27

Şekil 3.6. Bulanıklaştırma ve kural oluşturma sürecine örnek gösterim..... 28

Şekil 3.7. İfade etme yönteminin sonucu..... 29

Şekil 3.8. Kural çıktılarının bütünleştirilmesi..... 31

Şekil 3.9. Ağırlık Merkezi Metodu..... 31

Şekil 3.10. Yükseklik Metodu..... 31

Şekil 3.11. Bulanıklığı giderme süreci..... 32

Şekil 4.1. Bulanık sistem modelleme akış diyagramı..... 33

Şekil 4.2. Bulanık sistem modelleme algoritması..... 39

Şekil 5.1. Grup geçerlilik indeksi S_{CS} ve grup sayısı c'nin değişimi.....44

Şekil 5.2. Bulanık toplam dağınıklık matris S_T 'nin izi ve üstel ağırlık m'in değişimi..... 45

Şekil 5.3. Üyelik fonksiyonları..... 45

Şekil 5.4. Bulanık sistem..... 47

Şekil 5.5. Oluşturulan kurallar..... 48

Şekil 5.6. Oluşturulan bulanık sistem modeli..... 51

Şekil 5.7. Sistemi temsil eden modele ait test sonuçları..... 52

BÖLÜM I
GİRİŞ

1.1.Giriş

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. O tarihten sonra, önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizlikleri ifade eden, belirsizliklerle çalışılabilen ve insan muhakeme sistemine dayanan bir yöntemdir. Bilindiği gibi, istatistik ve olasılık kuramı, kesinliklerle çalışmasına rağmen, insanın yaşadığı ortam tamamen belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak daha doğru olacaktır. L. Asker Zadeh ilk kez "bulanık küme" kavramından 1962'de yayınlandığı "Devre teorisinden sistem teorisine" adlı çalışmasında bahsetmiştir [1]. Belirsizliğin matematiği olarak isimlendirilebilecek bu düşünceler ikinci çalışmada olgunlaşmıştır [2]. Takip eden yıllarda yayınlar artık üstel bir hızla artmıştır. Bulanık küme teorisi ile ilgilenenler, bu konuda çalışanlar, küçük uzman gruplardan uluslararası topluluklara dönüşmüştür. Uygulama alanı öyle çoğalmıştır ki, çeşitli disiplinlerdeki bu yayınları izlemek artık mümkün değildir.

Bulanık küme teorisi ve matematiğine bu aşırı ilgi neden? Çünkü teorik ve uygulamacı bilim adamlarının hatırı sayılır bir çoğunluğunun problem çözme anlayışı değişime uğramıştır. İnsan yapılı sistemlerin geliştirilmesinde geçerliliği ve güçlülüğü ispatlanan katı (hard) sistem yaklaşımı, doğal sistem, ya da yarı doğal yarı insan yapılı sistem için model geliştirmede o kadar etkili görülmemektedir.

"esnek" (soft) sistem yaklaşımı bilim ve teknolojisinin, ekolojik, sosyal ve ekonomik süreçlere genişletmesi zorunlu hale gelmiştir. Esnek sistem yaklaşımının temelinde ise, bulanık küme teorisi ve onun uzman sistemlere uygulamaları yatmaktadır [3].

Zadeh'in, Kaufman'ın kitabı için yazdığı sunuş yazısında çok iddialı olarak bulanık küme teorisinin psikoloji, sosyoloji, sosyal bilimler, felsefe, ekonomi, dil bilimi, yöneylem araştırması, yönetim bilimi ve diğer alanlarda yapay zeka sistemlerinin dizaynında temel olacağını iddia etmiştir [4]. Gerçekten de bugüne kadar yapılan çalışmalar, Zadeh'in öngörülerini doğrulamış ve bulanık küme teorisi aşağıdaki bilim dalları ve alanlara uygulanmıştır:

- Uzman sistemler
- Kontrol teorisi
- Kalite kontrol
- Çok amaçlı karar verme
- Ürün planlaması ve seçimi
- Optimizasyon
- Taşıma, ulaşım
- Oyun kuramı
- Çevre yönetimi
- Bankacılık finansı
- Ziraat
- Modelleme.

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, birden fazla çıktısı olan sistemlerde karar verme sürecini kısaltmak ve daha etkili kararlar verebilmek için bulanık gruplama algoritması kullanılarak sistemin karar verme mekanizmasını inşa etmektir.

Bu tezde yapılan bir uygulama ile bulanık gruplama ve karar verme yöntemlerinin sanayide kullanılabileceği ve bu yöntemlerin sanayicinin işlerini kolaylaştırabilecek bir yöntem olduğunun ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Konu ile ilgili daha önce yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan literatür taraması bölümünde bahsedilecektir.

1.3. Literatür Taraması

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler her ne kadar bilimsel araştırmalar üzerinde olumlu etkiler bırakmış olsalar da, bazı bilim dallarında mevcut olan problemlerin çözümünde halen birtakım güçlükler varlığını sürdürmektedir.

Bulanık mantık da günümüzün popüler konularından birisidir.Klasik mantığın birçok alanda yetersiz olması ve muhakeme sistemini yansıtmaması, bilim adamlarının bulanık mantığın üzerine eğilmesine neden olmuştur.

Geliştirilen son teoremler bulanık mantığın ilke olarak, ister mühendislik, ister fizik, ister biyoloji ya da ekonomi olsun, her türlü konuda sürekli sistemleri modellemek için kullanılabileceğini göstermektedir. Çoğu alanda, bulanık mantıklı modellerin standart matematik modellerinden daha yararlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Geçmişten günümüze kadar, birçok araştırmacı bulanık mantık konusunda çok farklı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar, yüksek lisans tezi, doktora tezi ve makale incelemelerinde ele alınmıştır.
Burada bulanık gruplama ile ilgili yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir.

Burhan Türksen ve diğerleri, bulanık gruplama algoritmasını, sistem tanımlama için kullanmıştır [5]. Bu çalışmada Fuzzy C-Means (FCM) sınıflandırma algoritması araştırılmıştır. Kural sayısı atama ve bulanıklık seviyeleri ile ilgili iki index= sunulmuştur. Ayrıca grup merkezlerinin başlangıç konumlarının bulunması için de etkili bir yöntem önerilmiştir.

Zadeh 1996 yılında "Bulanık mantık=Kelimelerle hesaplama" adlı bir makale yayınlamıştır. İsminden de anlaşılabileceği gibi, hesaplama ve sebep göstermede sayıların yerine kelimelerin kullanıldığı bir metodoloji geliştirmiştir [6].

Mohammed R. Emami ve İ. Burhan Türksen; Bulanık Mantıkla Modellemenin Sistematik Düzeninin Geliştirilmesi, adlı makalelerinde kompleks sistemlerin bulanık gruplama analizi kullanarak modellemesini yapmışlardır. Bahsedilen sistematik düzen üç farklı özellikten bahsetmektedir. Bunlar: (1) Formülasyon değerlerinin birleştirilmiş parametreleri, (2) Geliştirilmiş bir bulanık gruplamam analizi, (3) Uygun sistem girdilerini ve girdilerin üyelik fonksiyonlarını seçen verimli bir strateji'dir[7].

Marco Russo, 1998 yılında yaptığı çalışmasında danışmanlı öğrenme yaklaşımını kullanarak çok girdi ve çok çıktılı sistemleri fuzzy ve yapay sinir ağları tekniklerini yardımıyla modellemiştir [8].

Runkler ve Bezdek, 1999 yılında yaptıkları çalışmada kümeleme ve fonksiyon tahminine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Çalışmalarında ACE (Alternating Cluster Estimation) küme tahmin değerleme adı verilen genelleştirilmiş modelden yana amaç fonksiyonu modelini terk etmişlerdir. Optimizasyon değerleme modeli olmayan, iki örnek sunmuşlardır. Bunlardan ilki prototip fonksiyonu, dinamik olarak değiştiren bir algoritma ve ikincisi ise hiperkonik üyelik fonksiyonu ile hesapsal olarak etkin olan bir algoritmadır. Optimizasyon değerleme modeli olmayan bu örnekleri üç problem üzerinde göstermişlerdir [9].

2000 yılında Chung ve Duan çok aşamalı bulanık yapay ağ modellemesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında karmaşık gerçek problemler üzerine "artan tip-incremental" ve "bütünleşik-aggregated tip" olmak üzere iki hiyerarşik ağ modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca bu iki çok aşamalı ağ modeli için girdi seçim problemi üzerinde durmuş ve iki etkin yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin etkinliği, büyük boyutlu problemler üzerinde çeşitli numerik/sayısal simülasyon yaparak göstermişlerdir [10].

Karine Josien ve arkadaşları, 2000 yılında yayınladıkları makalede, makine hücreleri oluşturmak ve grup teknolojisi parça ailesi konusunda yeni bir yaklaşım sunmuşlardır [11]. Çalışmaları iki bulanık kümeleme algoritmasının bütünleşik kullanımını kapsamaktadır. Bunlar fuzzy c-means ve fuzzy k-nearest algoritmalarıdır. Ayrıca çalışmalarında sadece fuzzy c-means algoritmasını kullanmanın yerine kendi

yaklaşımlarını kullanmanın, genellikle kullanılan gruplama, etkinlik gibi bazı karşılaştırma ölçeklerinde daha iyi sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır.

Magne Setnes, 2000 yılında yapmış olduğu çalışmasında, verilerden danışmanlı öğrenme ile bulanık kurallar çıkarmak için bulanık gruplama tekniğini kullanmıştır. Gruplamayı elde ettiği sınıfları önem sırasına göre yer değiştirmek ve sıralamak amacıyla kullanmıştır [12].

Adem Göleç, 2001 yılında yaptığı doktora çalışmasında, silindirik bir imalat parçası olan motor gömleklerinin özellik-tabanlı modelleme sisteminden alınan özellikleri ve onların nitelik verilerini kullanarak, uzman bilgilerinden ve bulanık gruplama algoritmalarını kullanarak zeki bir süreç planlama yöntemi geliştirmiştir[13].

BÖLÜM II
BULANIK MANTIK VE KÜMELER

2.1.Bulanık Mantık

Bulanık mantık, temel olarak evet-hayır, doğru-yanlış, siyah-beyaz vb. gibi geleneksel değerlendirmelerin dışında, doğruluğu derecelendiren, ara değerlere izin veren çok-değerli mantığın bir genişlemesidir [14]. Diğer bir ifadeyle, doğruluk uzayı [0 1] reel aralığı üzerindeki bulanık sayıların kümesi olan çok-değerli bir mantıktır [15].

Bulanık mantık, başlangıçta sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmış olmasına rağmen, izleyen yıllarda pek çok farklı alanlarda uygulama imkanı bulmuştur. Bulanık mantığın temel amacı, insanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar mekanizmalarının modellenmesidir [16].

Zadeh bulanık mantığı doğal dilin belirsizliğini modellemek için kullanmıştır. Bulanık teorinin yalnız bir teori olarak görülmesinden ziyade, herhangi bir teorinin belirgin formdan bulanık (fuzzy) forma genelleştirmek için bulanıklaştırma işlemlerinin metodolojisi olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir. Günümüzde Amerika, Japonya, Çin ve Batı Avrupa ülkeleri başta olmak üzere 30'dan fazla ülkede bulanık mantık konusunda araştırmalar yapılmaktadır.

Geleneksel mantığın temelinde aslında olabilirlik hesapları yatmaktadır. Bir olayın olabilirliğini, bu mantıkla çözmeye çalışılır. Sonuç ise sadece evet veya hayır ile sınırlıdır. Ancak bulanık mantık bundan tamamen farklıdır ve olabilirliği değil, ne kadar olduğunu verir.

Olasılık ve bulanık mantık disiplinlerinin her ikisi de olaylara ve elemanlara [0 1] reel aralığında değer verdiği için bunlar birbiri ile karıştırılmaktadır. Olasılık rassal olayların ölçülmesini temel alırken, bulanık mantık elemanının kümeye üyelik derecesini göstermektedir. Bulanık mantık, bulanık ortamda düşünmeyle ilgili değil, belirsiz şeylerle ilgili belirli düşünme şeklidir [17].

James Bezdek olasılık ve bulanık mantık arasındaki farkı şöyle bir örnekle açıklamaktadır: çölde kaybolduğunuzu ve elinizde iki şişe su bulunduğunu düşünün. Bu şişelerden birinin üzerinde "%91 olasılıkla içilebilir su" ve diğerinde de "içilebilir su sınıfına %91olasılıkla aittir" (bulanık mantıksal ölçüm) yazsın. Hangisini içersiniz. Birincisinde 0.91 olasılıkla su olması demek;%9 olasılıkla da renksiz bir sıvı içilebilir demektir. Bu renksiz sıvı, örneğin HCI asit olabilir. "İçilebilir su" sınıfına belirli bir üyelikte ait olması demek bu su yağmur suyu olabilir. Yani 0.91 kalitede iyi bir su olduğu anlamındadır. Sonuç olarak bu iki ifade de belirsizliği tanımlamasına rağmen birbirinden farklıdır.

Diğer bir örnek; gerçek yaşamda uzunluk nispi bir kavramdır ve bölgeden bölgeye, topluma ve cinsiyete göre değişiklik arz eder. Bir insanın boyunu değerlendirirken üyelik derecesi, üyesi olduğu kümenin tanımına göre farklı değerler alır. 1.75 - 1.85 m. boy uzunluğunu orta boy sınıfı olarak ele alırsak 1.70 m boyundaki bir kişi klasik küme teorisine göre kısa boylu insanlar sınıfına dahil edilirken 1.88 m.'de uzun boylu insanlar sınıfına dahil olur. 1.70 m boy da pek de kısa sayılmaz. Bazı durumlarda bu boy uzunluğu orta boy ve hatta uzun boy sınıfına da girebilir. Örneğin Japon insanları ele aldığımızda 1.70 m boy uzun sınıfı olarak tanımlanır. Dolayısıyla bu tür nispi tanımlar çalışma alanına göre farklılık arz etmektedir. Günlük yaşantımızda bu tür bulanık ifadelerle sık sık karşılaşmaktayız. Bu tür kümelerin sınırlarını kesin olarak belirlemek mümkün değildir. Bulanık mantık matematiksel olarak ifadesi güç olan bu tür verileri kullanarak sonuca varabilmektedir.

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir

tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38.5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek bir çok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacaktır.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise "insana özgü tecrübe ile öğrenme" olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanımasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur.

2.2.Bulanık Kümeler

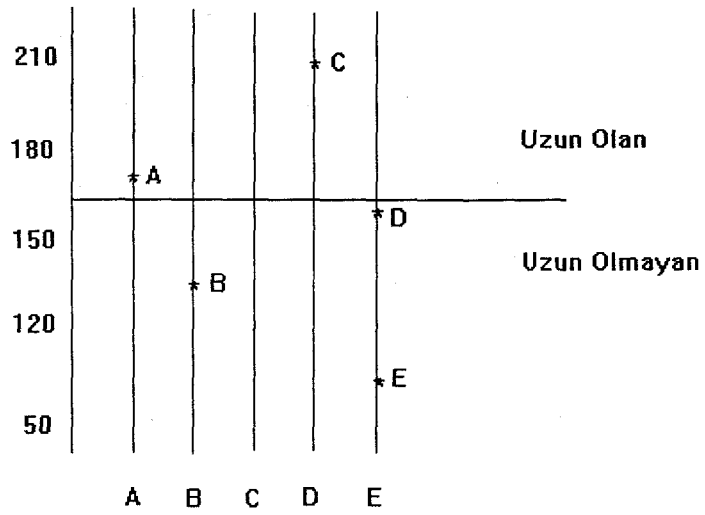
2.2.1. Tanımı

Matematikte çeşitli gruplama ve kavramlar kümelerle ifade edilir. Kümeler sonlu ya da sonsuz sayıda elemandan oluşur. Klasik küme teorisinde tanımlanan bir küme evrensel kümenin herhangi bir elemanını kapsar ya da kapsamaz. Yapılan ayırımla kümeye üye olan ve olmayanlar arasında kesin bir hat ve sınır konur. Örneğin, zar atma deneyinde elde edilecek sonuç kümesi $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ tamsayılarından oluşur. Birden küçük ve altıdan büyük tamsayılar bu kümenin elemanı değildir. Aynı şekilde 1 ile 6 arasında ondalıklı 3.4, 5.1 gibi değerler de bu kümeye ait değildir. Yine bir para atma deneyinin sonucu yazı veya turadır. Bir denek bay ya da bayandır. Böyle bir çok olay için olasılık teorisinin $P(A \cup \overline{A}=1)$ ve tersi, $P(A \cap \overline{A}=1)$ kuralı geçerlidir. Oysa günlük hayatta konuşmalarımızda ve bir çok olayda ayırım ve gruplamalarımız o kadar kesin ve net değildir. Örneğin pahalı giyecekler, tehlikeli hastalıklar, güzel müzik, soğuk gün gibi kategori ve gruplamalar net sınır ve ayırımlara sahip değildir. Bir insan zayıf, şişman veya biraz şişman olabilir. Bir elma kırmızı, açık (biraz) kırmızı ya da koyu (fazla) kırmızı olabilir. Şişman veya zayıflık için mutlak bir ayırım noktası yoktur. Gerçekten de bu tür ayırımlar için sınır değerler bulunulan çevreye, insanlara göre değişmektedir. Bu tür kümelerde elemandan eleman olmayana geçiş kesin değil derecelere göredir. Açıktır ki bu tip belirsizlik ve dereceleme olasılık teorisi ile modellenemez. Kısmi ve dereceli üyelik tanımlaması ve buna bağlı problemlerin çözümü için bulanık küme teorisi geliştirilmiştir.

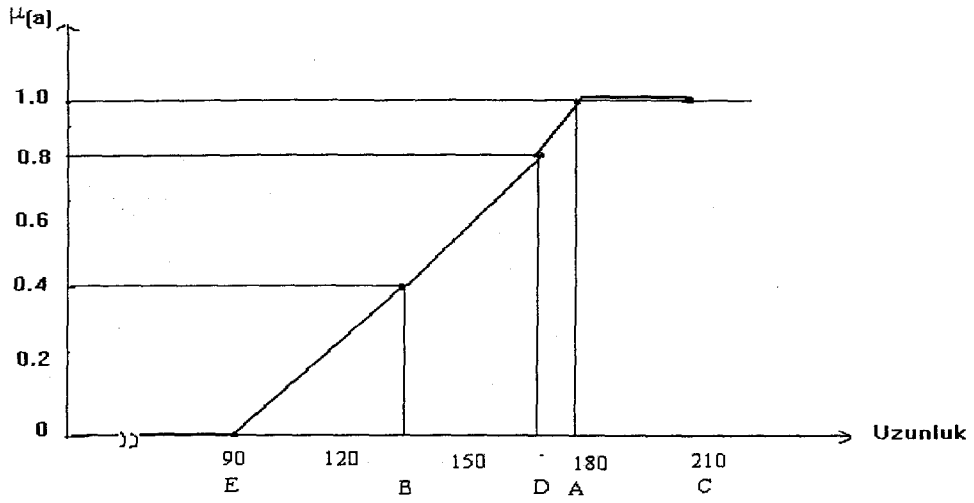
Bulanık kümeyi klasik kümeden ayıran farkı daha iyi anlamak için aşağıdaki örneklere bakalım.

Örnek 2.1. Adları *A, B, C, D, E* ile kısaltılan yetişkin 5 kişiye ait boy uzunluklarını, Şekil 2.1.' deki gibi dağılımda yatay çizgi uzun olanlarda uzun olmayanları ayırsın. *A* uzunluk sınırının üzerinde olduğu için uzun boylu sayılacaktır. Daha üstte yer alan *C* de uzun boyludur. Uzunluk sınırının altında kalan *B*, çizginin hemen altında yer alan *D* ve çizginin çok altında kalan *E* uzun boylu değildir.

Uzunluk için çekilen çizginin yeri neresi olmalıdır tartışması bir yana *A* ve *C* boy uzunlukları bir grupta *B, D, E* boy uzunlukları ise diğer grupta yer almıştır. *D* ayırım çizgisinin çok yakınında olmasına rağmen ikinci grupta sayılmaktadır. *A* ve *C* boyları mutlak olarak uzundur. *E* ise mutlak olarak kısadır. *B, D* boy uzunlukları için mutlak uzun ya da mutlak kısa denemez. *B, D, E* boy uzunlukları arasında bir miktar fark vardır. Ölçümlerin uzunluk çizgisi ile aralarındaki mesafeye göre orantılı, örneğin $\mu(B) = 0.4$, $\mu(D) = 0.8$ değerleri verilebilir. Verilen değerler göreceli puanlar da olabilir. Uygun bir dönüştürme ile bu puanlar her zaman [0 1] aralığına taşınabilir. Sayısal değerler dikkate alınarak uzun boyluluk değerlendirilmesi Şekil 2.2.'deki gibi grafikleştirilebilir.

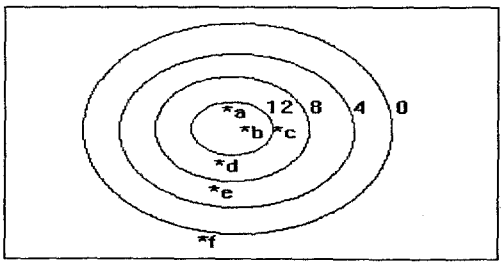


Şekil 2.1. A, B, C, D, E Boy Uzunluklarının Dağılımı

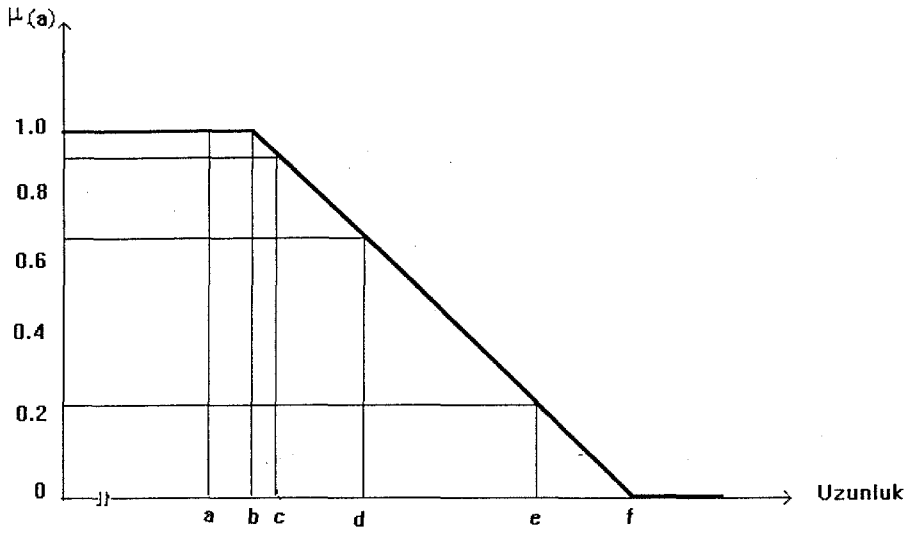


Şekil 2.2. A, B, C, D, E Boy Uzunluklarının Grafiği

Örnek 2.2. Bir atış poligonunda yapılan 6 atış Şekil 2.3.' de verilen biçimde yapılmış olsun. İyi atışlar 12 numaralı daireye isabet eden atışlardır. *A* ve *B* atışları 12 numaralı dairenin içine düştüğünden mutlak iyi atışlardır. En dıştaki 0 numaralı dairenin dışına düşen *F* atışı mutlak olarak kötü atıştır.İyi atışlar kümesine üyelikleri için bir derecelendirme yapılırsa $\mu(a) = 1$, $\mu(b) = 1$ ve $\mu(f) = 0$ verilir. 12 numaralı dairenin üzerine düşen *C* ve daha dıştaki *D* ve *E* atışları göreceli olarak daha az iyi atışlardır. Şekil 2.4.'de iyi atışların bulanık kümesi gösterilmiştir. Yani tamamen kötü atış değildirler. Hedefe (12) uzaklıklarına göre dereceleme yapılırsa bu, kümeye, üyelikleri yakın olana büyük göreceli, uzak olan küçük olmak üzere $\mu(c) = 0.9$, $\mu(d) = 0.7$ ve $\mu(e) = 0.3$ değerleri ile verilebilirler. μ üyelik fonksiyonuna bu açıdan bakıldığında tercih fonksiyonu da denebilir.



Şekil 2.3. Atışların dağılımı



Şekil 2.4. İyi Atışların Bulanık Kümesi

Bulanık küme teorisi, gözlem ve faaliyetleri kesin olmayan problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. Amacı belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik kazandırmaktır [18]. Bulanık terimi, faaliyetlerin veya gözlemlerin küme sınırlarının iyi tanımlanmadığı durumları ifade etmektedir. Bulanık kümelerin keskin sınırları yoktur. Bulanık kümenin elemanı olmak demek, kümenin içinde veya dışında olmak demek değildir. Bir eleman, yüksek veya düşük derece ile kümenin içinde olabilir.

Tarifi güç olan bu durumla ilgilenen Zadeh 1965 yılında bulanık küme teorisini ortaya atmıştır. Bulanık küme teorisi, nesnelerin belirli üyelik dereceleri ile kümeye dahil olmasını sağlamaktadır.

Klasik kümeler üye olma ve üye olmama ilişkisi çerçevesinde geliştirilmiştir. Bu tür kümeleri ifade etmek için özel bir fonksiyon tanımlanabilir ve bu fonksiyona karakteristik fonksiyon denilir. Karakteristik fonksiyon her bir elemana 1 ve 0 değerlerinden birini üyelik durumuna göre atayarak evrensel küme üzerinde tanımlanan ve bizim ilgilendiğimiz özelliğe sahip olan elemanların oluşturduğu kümeyi belirler.

Örneğin; X evrensel kümesi üzerinde belirli bir özelliği taşıyan elemanları ayırarak oluşturduğumuz A kümesini karakteristik fonksiyon yardımıyla;

$$\forall x \in X, \qquad X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \in A \end{cases} \tag{2.1}$$

verilir. Fonksiyon A kümesine ait elemanlara 1 değerini, ait olmayan elemanlara ise 0 değerini atamaktadır. Bu fonksiyon evrensel kümenin elemanlarına belirli bir aralıkta olmak üzere ve gözlem altındaki kümenin elemanlarının üyelik derecelerini ifade edecek biçimde genelleştirilebilir. Daha yüksek değerler üyelik derecesinin yüksekliğini gösterir. Bu fonksiyona üyelik fonksiyonu ve bu fonksiyonun oluşturduğu kümeye bulanık küme denir.

Üyelik fonksiyonunun değer aralığı için yaygın olarak [0 1] aralığı kullanılır. Bu durumda, her üyelik fonksiyonu bir klasik evrensel kümenin elemanlarını bu aralıktaki bir sayıya karşılık getiren bir fonksiyondur. Bulanık küme kavramının temsili için genel olarak;

$A: X \rightarrow [0,1]$

$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$

gösterimlerinden biri kullanılır. Her bir bulanık küme tamamıyla ve tek olarak özel bir üyelik fonksiyonu tarafından belirlenir.

Bulanık kümeler daha önce de ifade edildiği üzere doğal dildeki belirsiz ve bulanık kavramları temsil etmemizi ve onları matematiksel olarak ifade etmemizi mümkün kılarlar. Bu temsil işlemi sadece kavramın kendisine değil kavramın kullanıldığı alana da bağlıdır. Örneğin; "yüksek ısı" kavramı hava olayları için kullanıldığında oluşturulabilecek bulanık kümeyle, bir nükleer reaktör içindeki ısıyı ifade etmede kullanıldığında oluşturulabilecek bulanık küme birbirinden tamamıyla farklı olması gerektiği açıktır.

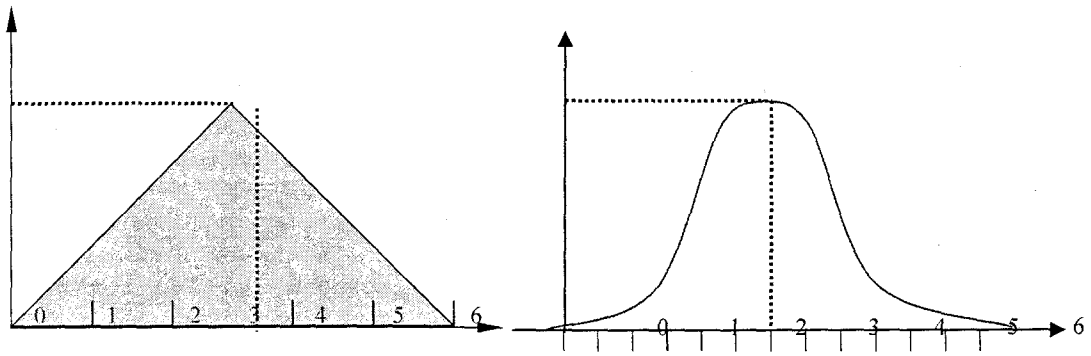
Üyelik fonksiyonları bir çok farklı şekillerde olabilir. Özel bir şeklin uygun olup olmayacağını tespit etmek çalışılan uygulama alanı tarafından elde edilen verilerle belirlenir. Fakat, birçok uygulama bu tür şekil değişikliklerine karşı çok fazla duyarlılık

göstermezler. Hesaplama açısından getirdiği kolaylıklar göz önüne alınarak istenilen şekilde üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliğini yansıtmasında öne çıkan bir durumdur. Çoğu durumda, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları işimizi görecek niteliklere sahiptir.

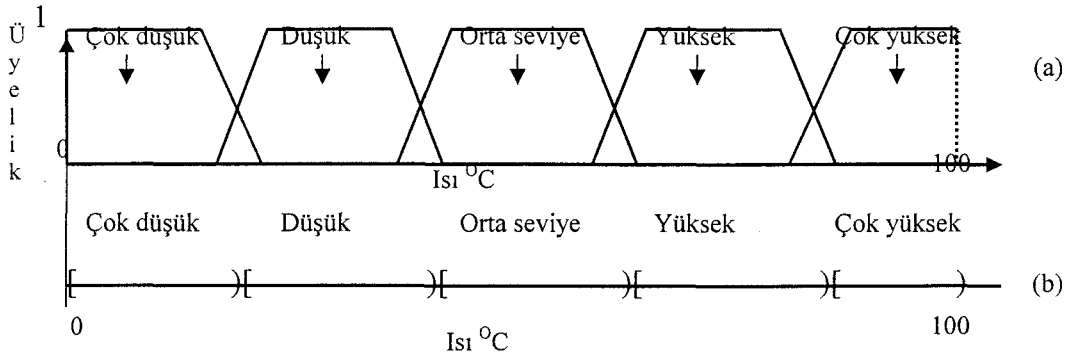
Şekil 2.5.'de "3 e yakın reel sayılar kümesi" kavramını temsil eden üyelik fonksiyonuna ait iki örnek vardır. Açıkça görülmektedir ki bulanık kümelerin kullanışlılığı büyük oranda bizim, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerimize dayanmaktadır.

Şekil 2.5.'den de görüleceği üzere fonksiyonlar 3 de en yüksek üyelik derecesini almakta ve 3 ün her iki tarafında simetrik bir vaziyettedir. Bu kavramı ifade eden diğer fonksiyonlarında bu özellikleri taşıması gerektiği açıktır.

Günlük kullanım diline ait olan düşük, orta seviye, yüksek ve bunun gibi kavramları temsil eden çeşitli bulanık kümeler bir değişkenin durumlarını tanımlamak amacıyla kullanılırlar. Bu değişkenlere bulanık değişkenler ve onun alt durumlarına da bulanık terimler denilir. Örneğin "ısı" kavramı Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi, kendi içinde çok düşük, düşük, orta seviye, yüksek ve çok yüksek gibi durumlarla nitelenebilen bulanık bir değişken olarak alınabilir. Bu durumda, [0 100] aralığında ki ısı değerlerine karşılık gelecek uygun bulanık kümeler aşağıdaki şekildeki gibi seçilebilirler [19].



Şekil 2.5. "3 e yakın reel sayılar kümesi" kavramının değişik üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi



Şekil 2.6. Isı değişkeninin [0,100] aralığında aldığı alt durumların bulanık ve klasik değişkenler yardımıyla gösterilmesi

Isı değişkenini klasik kümeler yardımıyla tanımlamaya çalışsaydık bir tarafı açık aralıklar üzerinde tanımlı fonksiyonlar elde edecektik. Şekil 2.6. bu durumu göstermektedir.

Bulanık değişkenlerin önemi, kavrama ait bu durumlar arasındaki geçişi yansıtabilmesindeki kolaylıkta yatar. Bu durumda da belirsizlik altında yapılan yöntem ve ölçümlerle ilgilenme ve onları ifade etme de diğer yöntemlerden daha başarılı sonuçlar verir. Geleneksel klasik değişkenler ise bu kapasiteden yoksundurlar. Bir durumun klasik değişkenler yardımıyla tanımlanması matematiksel olarak doğru olduğu halde, kaçınılmaz ölçüm hataları karşısında gerçeğe uygunluk göstermezler.

Bulanık kümeler üzerine kurulan matematiksel yapı, klasik matematikten daha fazla açıklayıcı bir güce sahip olmasına rağmen kullanılabilirliği uygulama alanlarında karşımıza çıkan kavramlar için uygun üyelik fonksiyonlarının inşa edilmesine bağlıdır. Fakat, bu işlemin tatmin edici düzeyde gerçekleşmesi bir çok ek araştırma gerektirir.

2.2.2. Bulanık Kümelerin Özellikleri

Bu bölümde bulanık kümeleri ilgilendiren bazı basit kavramlar üzerinde durulacaktır. A bulanık kümesinin dayanağı (destek), X evrensel kümesinin A bulanık kümesi içerisinde üyelik derecesi 0 dan büyük bütün elemanlarının oluşturduğu kümedir.

A bulanık kümesinin öz kümesi, üyelik dereceleri 1'e eşit olan elemanların oluşturduğu kümedir. A'nın 0 ile 1 arasında kalan üyelik derecelerini alan elemanların oluşturduğu

kümeye de A'nın sınırı denir. En yüksek üyelik derecesine A'nın yüksekliği denir. Eğer A'nın en büyük üyelik derecesi 1, ise A'ya normal bulanık küme, aksi takdirde normal olmayan bulanık küme denir [20].

2.2.3. Bulanık Kümeler Üzerinde İşlemler

Klasik kümeler üzerinde tanımlanan üç temel işlem olan tümleyen alma, birleşim ve kesişim işlemlerinin bulanık kümeler üzerine genişletilmesi işlemini birden fazla yolla yapmak mümkündür. Uygulama alanının getirdiği özelliklere göre yeni işlemler tanımlanabilir. Bulanık kümelerin bu yönü, klasik kümelerden ayrıldığı önemli noktalardan biridir. Fakat, genelde standart bulanık küme işlemleri olarak adlandırılan özel bir genişletme işlemi bulanık küme teorisinde daha ayrıcalıklı bir yer tutar. Aşağıda, bulanık kümeler üzerindeki işlemler gösterilmiştir.

2.2.3.1. Birleşim

A ve B, X evrensel kümesinin iki bulanık alt kümesi olsun. A birleşim B, (AUB) A ve B kümelerinin her ikisinin kapsandığı bulanık kümelerin en küçüğüdür.
Birleşim "veya" (or) birleştiricisine karşılık gelir. $A \cup B$ üyelik fonksiyonu

$$\mu_{AUB}(x) = max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad x \in X \qquad = \mu_A \vee \mu_B \qquad (2.2)$$

biçiminde tanımlanır.

2.2.3.2. Kesişim

A ve B bulanık kümesinin kesişimi $(A \cap B)$ (X üzerinde), A ve B bulanık kümesinin kapsandığı en büyük bulanık alt kümedir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \; x \in X$$
$$= \mu_A \wedge \mu_B \qquad (2.3)$$

biçiminde tanımlanır. Kesişim "ve" birleştiricisine karşılık gelir.

2.2.3.3. Tümleyen

X evrensel kümesine göre A bulanık kümesinin tümleyeni A^c, $\overline{A}$,

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad x \in X \tag{2.4}$$

biçiminde tanımlanır. Tümleyen "değil" bağlacına karşılık gelir.

2.2.3.4. Cebirsel toplam

A ve B bulanık kümesini cebirsel toplamı, ($A \oplus B$) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\ \mu_B(x) \qquad x \in X \tag{2.5}$$

2.2.3.5. Cebirsel kuvvet

A herhangi bir bulanık küme, α pozitif bir sayı olmak üzere $\mathbf{A}^{\alpha}$,

$$\mu_A{}^{\alpha}(x) = [\mu_A(x)]^{\alpha} \tag{2.6}$$

biçiminde tanımlanır. Herhangi bir bulanık kümenin α katı,

$$\mu_{\alpha A}(x) = \alpha\, \mu_A(x) \qquad x \in X \tag{2.7}$$

şeklinde tanımlanır.

2.2.3.6. Cebirsel Fark

A ve B bulanık kümelerinin farkı $(A\text{-}B)$,

$$\mu_{A \square B^c}(x) = min\ \{ \mu_A(x),\ \mu_{B^c}(x)\} \qquad x \in X \tag{2.8}$$

biçiminde tanımlanır.

2.2.3.7. Cebirsel Çarpım

A ve B bulanık kümelerinin cebirsel çarpımı (AB),

$$\mu_{AB}(x) = \mu_A(x).\ \mu_B(x) \qquad x \in X \tag{2.9}$$

biçiminde tanımlanır.

2.2.3.8.Eşitlik

A ve B bulanık kümeleri için eğer,

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \quad x \in X \tag{2.10}$$

ifadesi sağlanırsa A ve B birbirlerine eşittir denir.

2.2.3.9.Kapsama

X kümesinin A ve B bulanık alt kümeleri olsun. Eğer,

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad x \in X \tag{2.11}$$

sağlanırsa B, A kümesini kapsar denir. $(A \subset B)$,

şeklinde gösterilir.

2.2.3.10. Boş küme

A, X evrensel kümesinin bulanık bir alt kümesi olsun. Eğer A kümesinin üyelik fonksiyonu her yerde sıfıra eşitse A kümesi boştur.

$$A = \varnothing \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in X \tag{2.12}$$

Birleşim kesişim ve diğer işlemcilerin kombinasyonlarıyla klasik küme teorisinde kolayca doğruluğu gösterilebilen birçok cebirsel özellikler bulanık kümeler içinde geçerlidir.

A, B ve C, X evrensel kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler olmak üzere;

1. Yer değiştirme özelliği $A \cup B = B \cup A$, $A \cap B = B \cap A$,
2. Birleşme özelliği $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$, $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$,
3. Denk Güçlülük $A \cap A = A$, $A \cup A = A$,
4. Çift tümleme $\neg\neg A = A$,
   $\neg(\neg A) = A$,
5. Dağılma özelliği $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$,
   $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$,
6. De'Morgan Kuralları $\neg (A \cap B) = \neg A \cup \neg B$
   $\neg (A \cup B) = \neg A \cap \neg B$

2.2.4. Üyelik Fonksiyonları

Bir fiziksel değişkenin üyelik derecesini tanımlamak için kullanılan üyelik fonksiyonları, dilsel ifadelerden oluşan bir anlam grubudur. Bulanık küme teorisinin temelini oluşturan üyelik fonksiyonları 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesine sahiptir. Üyelik derecesi, elemanın bulanık kümeyle temsil edilen kavrama ne derece uygun

olduğu veya bulanık kümenin temsil ettiği özellikleri ne dereceye kadar taşıdığını gösterir. Üyelik fonksiyonu, biçimsel olarak denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekillerde olabilir. Genellikle aşağıda şekil 2.7.'de görülen, üçgen (triangular), yamuk (trapezoidal), gauss veya çan eğrisi (bell-shaped) biçimlerinde olmaktadır.

Her bulanık küme, A, ilgili olay uzayı X'de karakteristik fonksiyona benzeyen bir fonksiyon ile tanımlanır. Bu kümeye üyelik fonksiyonu denir ve A 'da x'in üyelik derecesini veren [0 1] kapalı aralığında bütün x elemanlarına X'de bir sayı atar [21].

Bulanık kümede üyelik fonksiyonları sadece 0 ve 1 değerlerini almaz, [0 1] aralığındaki pek çok değeri alabilir.

Bulanık küme üyelik fonksiyonunun 1 ağırlığına sahip bölgedeki elemanları kapsayan bölge göbek olarak ifade edilir. 0 ve 1 aralığındaki üyelik değerlerine karşılık gelen değerler kümesi sınır ve üyelik değerlerinin sıfırdan büyük olduğu bütün bölgeler de destek bölgesidir.

Bulanık kümenin en az bir elemanı için 1 üyelik ağırlığı mevcut ise bu küme normal (olağan) bulanık küme olarak tanımlanır. Bunun dışındaki bulanık kümeler normalaltı bulanık kümelerdir.

2.2.5. Temel Dilsel Terimler

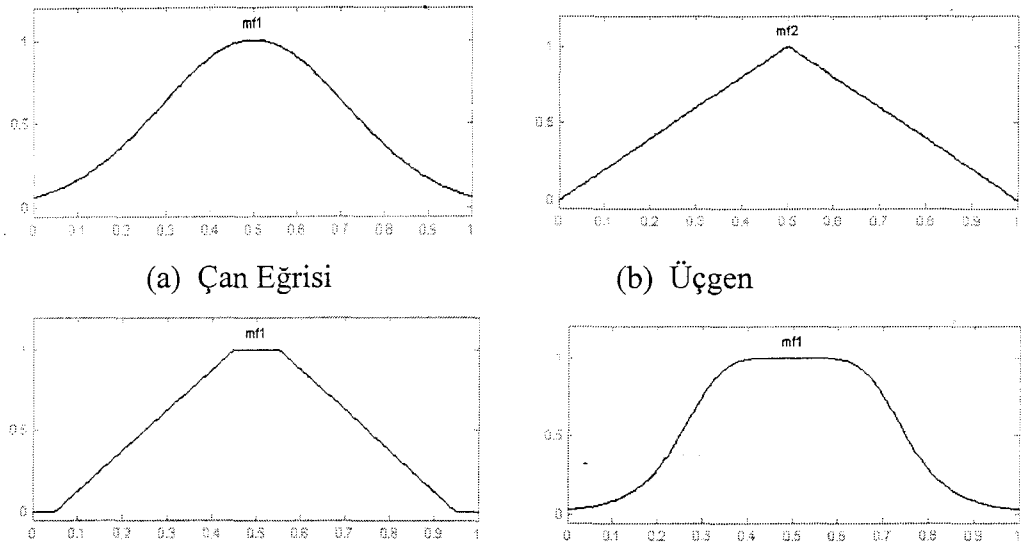
Genelde, bir dilsel değişkenin değeri birbirine bağlı anatomik terimlerden oluşan birleşik bir terimdir. Bu terimler dört gruba ayrılabilir:

i) Birincil Terimler: Bu terimler tanım uzayının bulanık alt kümelerini tanımlayan etiketlerdir. Yani "sıcak", "soğuk", "zor", "düşük" v.b.,

ii) Olumsuz DEĞİL (NOT) ve bağlaçlar VE (AND) ve VEYA (OR),

iii) Pekiştirmeler, yani, "çok", "daha", "önemsiz", hemen hemen" v.b.,

iv) İşaretler, yani parantezlerdir.



(a) Çan Eğrisi (b) Üçgen

(c) Yamuk (d) Gauss

Şekil 2.7. Çeşitli üyelik fonksiyonlarının şekilleri

Birleşik terimler gibi birincil terimler de olasılık etiketli "muhtemel", "çok muhtemel", "muhtemel olmayan" gibi dilsel terimler olabilir. Ek olarak, birincil ve birleşik terimler "doğru", "oldukça doğru", "çok doğru", "yanlış", "oldukça yanlış" ve "çok yanlış" gibi doğru nicelikli yapılarla anlamlı olarak da düzeltilebilir. Olasılıklı etiketler olasılığa dayanırlar. Kurallar gibi birincil terimler de kesinlik etiketli "tanımsız", "bilinmeyen" ve "tanımlı" gibi dilsel değişkenlerle sınırlanabilir. Şart kuralları birleşik veya basit şekilde olabilir. Birleşik şart kuralları EĞER-O HALDE (IF-THEN) kurallar takımı formunda veya "değilse" veya "-medikçe" gibi dilsel terimli kurallar olabilir [22].

BÖLÜM III
BULANIK ÇIKARIM MEKANİZMASI

3.1. Yaklaşık Çıkarsama

Bulanık mantığın nihai hedefi belirsiz önermeler hakkında sonuç çıkarmak için teorik temelli formlar oluşturmaktır. Böyle çıkarsamalara yaklaşık çıkarsama denir. Yaklaşık çıkarsama, kesin önermelerle sonuç çıkaran klasik mantığa benzerdir ve kısmi doğrularla ilgilenen klasik önermelerin genişlemesi şeklindedir.

Bulanık bilgilerle temsil edilen kural-tabanlı bir formata sahip olduğumuzu düşünelim. Bu kurallar sebep-sonuç ilişkisi içinde ifade edilsin. Yani,

Kural-1 : Eğer z A ise, o halde y B dir. Burada A ve B bulanık kümeleri temsil eder.

Şimdi A' diye bir sebebi ortaya koyalım ve aşağıdaki kuralı ele alalım,

Kural-2 : Eğer z A' ise, o halde y B'dür.

Kural-1'den elde edilen bilgiden kural-2'deki B' sonucunu elde etmek mümkündür. B' sonucu bileşke işlemiyle bulunabilir. Yani,

$$B' = A' \circ R$$

olarak yazılır.

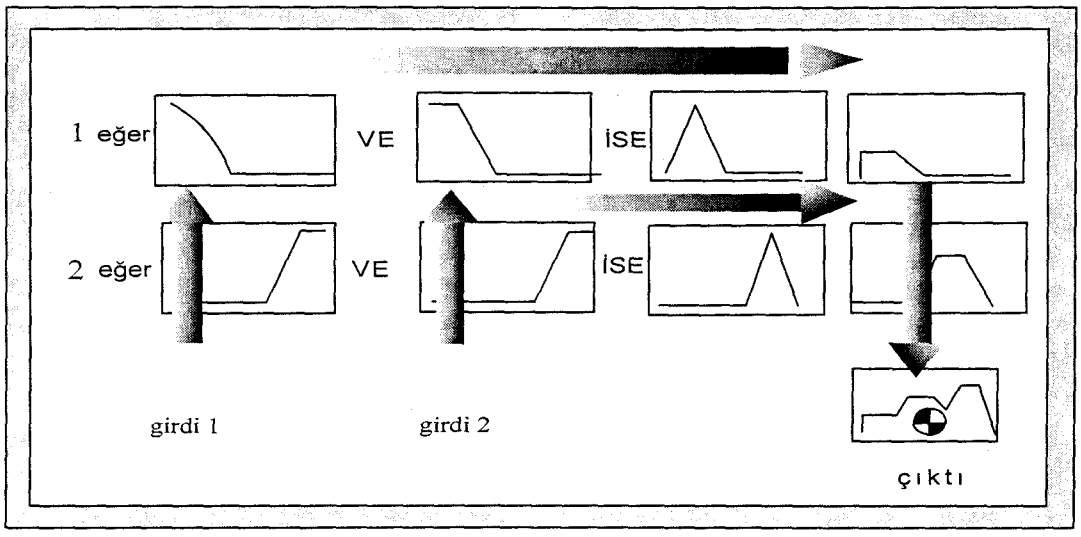
Yaklaşık çıkarsama durumunda, bulanık çıkarım kesin değil, fakat yaklaşıktır. Bununla birlikte, çıkarım Z ve Y gibi iki tanım uzayı arasındaki ilişkinin yaklaşık bir dilsel karakteristiğini temsil etmez [22].

3.2. Bulanık Çıkarım Mekanizması

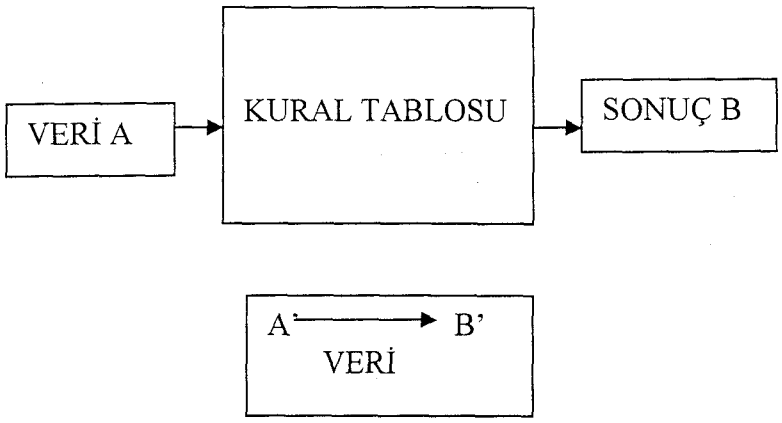
Çıkarım mekanizması, bilgi tabanı ve çalışma alanında bulunan bilgiler üzerine düşünmek için bir metodoloji sunan ve sonuçları biçimlendiren bir bilgisayar programıdır. Bir başka deyişle problemlere çözümler üreten bir mekanizmadır. Burada sistem bilgisinin nasıl kullanılacağı hakkında karar alınır. Çıkarım mekanizması Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilmiştir.

Çıkarım ünitesi, gerekli bilgiyi toplayarak programlanmış stratejiye uygun bir şekilde araştırma işlemini gerçekleştirir. Çıkarım ünitesi, çıkarım işlemi boyunca "ileri zincirleme" veya "geri zincirleme" yöntemlerini kullanır [23-24].

İleri zincirleme metodunda verilerden sonuca doğrudur. Bu yaklaşımda sistemden toplanan mevcut veriler değerlendirilerek, sistemi istenen sonuçlara ulaştıracak kurallar araştırılır. Böylece eldeki veriler yorumlanarak, amaca ulaştıran gerçekler bulunur. Şekil 3.2.'de ileri zincirleme metodu görülmektedir.



Şekil 3.1. Bulanık çıkarım mekanizması



Şekil 3.2. İleri zincirleme metodu

Aşağıda ileri zincirleme metoduna bir örnek gösterilmiştir.

Şart 1 : Eğer z A ise y B dir

Şart 2 : z, A' dır

Sonuç : y B' dir.

Burada z, y sırasıyla sistem giriş ve çıkış değişkenlerini, A ve B ise bu değişkenlere ait bulanık kümeleri temsil etmektedir.

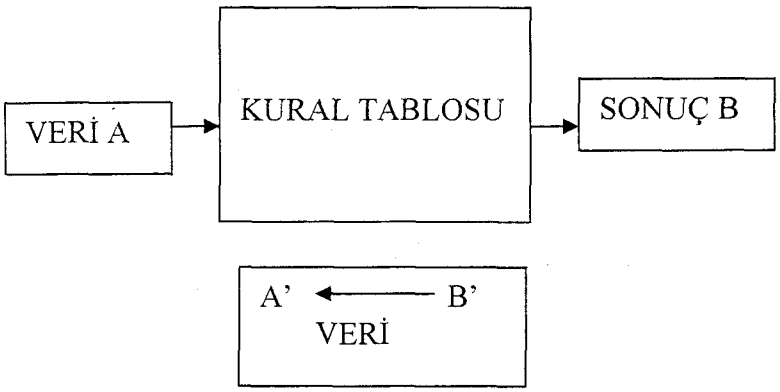
Geri zincirleme metodunda ise, bütün olası sonuçlar değerlendirilerek, sistemden alınan verilere ulaşılır. Her bir adımda çıkarım ünitesi, bir sonucun doğru olduğunu kabul eder, ve bu sonuçtan yola çıkarak bir dizi yan sonucun doğruluğunu ispatlamaya çalışır. Şekil 3.3.'de geri zincirleme metodu şematik olarak gösterilmiştir.

Aşağıda ileri zincirleme metoduna bir örnek gösterilmiştir.

Şart 1 : Eğer z A ise y B dir

Şart 2 : y B' dir

Sonuç : z A' dir.



Şekil 3.3. Geri zincirleme metodu

Bulanık kurallar, gözlem - davranış veya sebep - sonuç arasındaki ilişki ile tanımlanır. "Eğer fiyat yüksek ise kar çoktur" şeklindeki bir kuralın yorumlanabilmesi için "yüksek" ve "çok" bulanık ifadeleri arasında R bulanık bağıntısının elde edilmesi gerekir. "yüksek" ve "çok" bulanık ifadeler, u ve v düzlemlerinde, sırasıyla A ve B gibi bulanık kümeler ile tanımlandığında, A ve B arasındaki bağıntıyı temsil eden, $R_{A\to B}$ bulanık ilişkisi, bir matris şeklinde elde edilir. Eğer birçok kural varsa, çok boyutlu matrisi oluşturmak, depolamak ve üzerinde işlem yapmak oldukça zordur. Bu nedenle, $R_{A\to B}$ bulanık ilişkisini bulmak için bir çok "bulanık ilişki yöntemleri" geliştirilmiştir.

A' bulanık gözlemi ile temsil edilen fiyatın "çok yüksek" olması şartı; "Eğer A ise B" formunda ifade edilmiş, "fiyat çok yüksek ise kar çoktur" şeklinde bir kurala uygulandığında, sonuçtaki B' bulanık çıktı, A' ile R'nin kompozisyonu alınarak bulunur [25].

$$B' = A' \circ R$$

Yukardaki işlemi açıklamak için bulanık yorumlama kurallarından faydalanılabilir. Bu yöntemlere, 3.2.2. Kural oluşturma bölümünde bahsedilen, ifade etme teknikleri denmektedir. Bu teknikler aşağıdaki gibidir.

$$\mu_R(x,y) = \max\left\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)], 1-\mu_A(x)\right\} \quad (3.1)$$

$$\mu_R(x,y) = \max\left\{\mu_B(y), 1-\mu_A(x)\right\} \quad (3.2)$$

$$\mu_R(x,y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\} \quad (3.3)$$

$$\mu_R(x,y) = \min\{1, [1-\mu_A(x)+\mu_B(y)]\} \quad (3.4)$$

$$\mu_R(x,y) = \min\{1, [\mu_A(x)+\mu_B(y)]\} \quad (3.5)$$

$$\mu_R(x,y) = \min\left\{1, [\frac{\mu_B(y)}{\mu_A(x)}]\right\} \quad \mu_A(x) > 0 \quad (3.6)$$

$$\mu_R(x,y) = \max\{\mu_A(x).\mu_B(y), [1-\mu_A(x)]\} \quad (3.7)$$

$$\mu_R(x,y) = \mu_A(x).\mu_B(y) \quad (3.8)$$

$$\mu_R(x,y) = \begin{cases} 1, \mu_A(x) \le \mu_B(y) \\ \mu_B(y), \text{aksihalde} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\mu_R(x,y) = \begin{cases} 1, \mu_A(x) \le \mu_B(y) \\ 0, \text{aksihalde} \end{cases} \quad (3.10)$$

(3.1)'de ifade edilen eşitlik klasik ifade etme metodu olarak Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. (3.2) eşitliği (3.1) eşitliğinin $\{\mu_B(y) \le \mu_A(x)\}$ olduğu durumlar için yazılmıştır. (3.3) eşitliği Mamdani'nin ifade tekniğidir. (3.4) eşitliği Lukasiewicz'in ifade tekniğidir. (3.5) eşitliği sınırlı toplam ifade tekniğidir. (3.6) eşitliği Gougen'e bağlı bir ifadedir. (3.7) ve (3.8) eşitlikleri corelasyon-product ifade tekniğidir. (3.9) eşitliği Brouwerian eşitliği olarak anılır. (3.10) eşitliği ise R-SEQ (standard sequence logic/standart sıralı mantık) ifade tekniği olarak literatürde geçmektedir.

Bunların dışında en çok kullanılan bazı bulanık ilişkileri ifade etme teknikleri de mevcuttur. Max-min ve max-product bunlardan en çok kullanılan metotlardır.

$B = A^{\circ} R$ işleminde A, girdi veya ön-bileşen (X uzayında); B ise çıktı veya ard-bileşen (Y uzayında); R ise x girdisi ve y çıktısı arasındaki bulanık ilişkiyi karakterize eden ifade olarak tanımlansın.

Aşağıda bunlara bağlı diğer ifade tekniklerinin tanımları verilmiştir.

Max-min $\quad \mu_B(y) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_R(x,y)]\} \quad x \in X \quad (3.11)$

Max-product $\quad \mu_B(y) = \max[\mu_A(x).\mu_R(x,y)] \quad x \in X \quad (3.12)$

Min-max $\quad \mu_B(y) = \min\{\max[\mu_A(x), \mu_R(x,y)]\} \quad x \in X \quad (3.13)$

Min-min $\mu_B(y) = \min \{\min[\mu_A(x), \mu_R(x,y)]\}$ $x \in X$ (3.14)

Max-average $\mu_B(y) = \frac{1}{2} \max [\mu_A(x) + \mu_R(x,y)]$ $x \in X$ (3.15)

Sum-product $\mu_B(y) = f\{[\sum \mu_A(x).\mu_R(x,y)]\}$ $x \in X$ (3.16)

İki çeşit bulanık çıkarım tekniği vardır. Bunlar, Sugeno ve Mamdani tipi bulanık çıkarımlardır. Bu çalışmanın uygulama kısmında bulanık çıkarım tekniği olarak Mamdani tipi kullanılmıştır.

3.3. Mamdani Çıkarım Mekanizması

En çok kullanılan bulanık çıkarım mekanizması tekniği Mamdani metodudur. 1975 yılında London Üniversitesinde Prof. Dr. Ebrahim Mamdani ilk bulanık sistemini bir buhar makinesı ve kaynatıcı kombinasyonunu kontrol etmek için inşa etmiştir. Bunun için tecrübeli operatörlerin sağladığı bir grup bulanık kural uygulamıştır [26].

Mamdani, çıkış üyelik fonksiyonlarının bulanık küme olmasını bekler. Bütünleştirme işleminden sonra, bulanıklığı gidermeye ihtiyaç duyan her çıkış değişkeni için bir bulanık küme vardır [27].

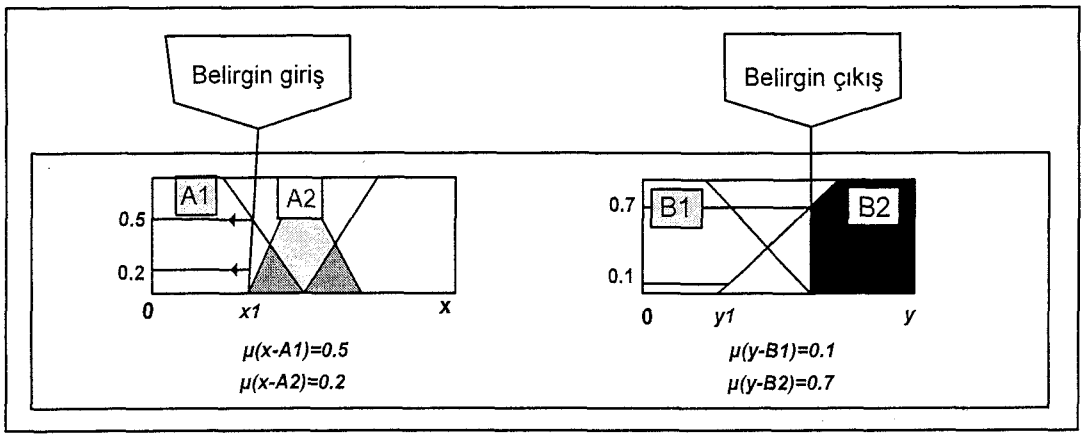
Mamdani çıkarım mekanizmasında 4 adım gerçekleştirilir. Bunlar:

- Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması,
- Kural oluşturma, değerlendirme,
- Kural çıktılarının bütünleştirilmesi,
- Bulanıklığı giderme,

şeklindedir.

3.3.1. Bulanıklaştırma

İlk adım olan bulanıklaştırmada, Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi, belirgin girdiler (*x1* ve *y1*) alınır ve her bir girdinin hangi bulanık kümeye ne derecede ait olduğuna karar verilir. Bulanıklaştırma sürecinin girdisi mutlaka bir belirgin sayı değeri olmalıdır. Çıktısı ise üyelik derecesini belirten bulanık bir ifade şeklindedir [27].



Şekil 3.4. Bulanıklaştırma süreci

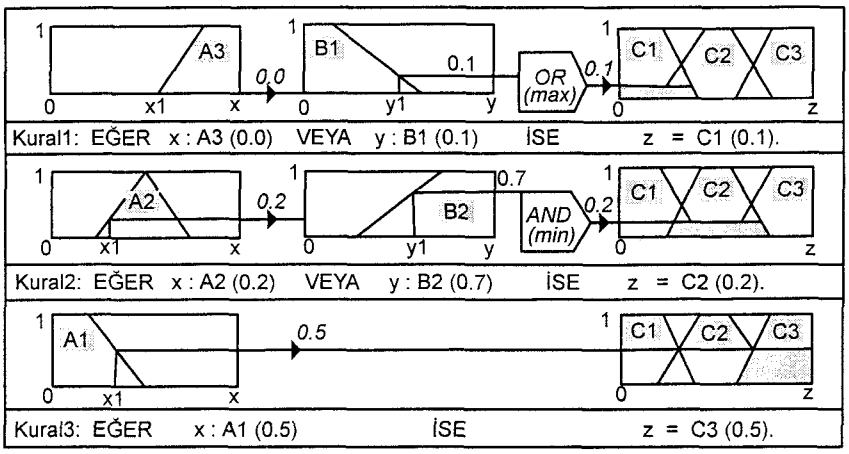
3.3.2. Kural Oluşturma, Değerlendirme

Bir önceki adımda girdilerin bulanıklaştırılmasıyla, artık her bir ön bileşenin, her bir kural tarafından ne derece kabul edildiğin öğrenmiş oluyoruz. İkinci adım olan kural oluşturmada, bulanıklaştırılmış girdiler ($\mu_{(X=A_1)}= 0.5$ $\mu_{(X=A_2)}=0.2$ $\mu_{(Y=B_1)}=0.1$ $\mu_{(Y=B_1)}=0.7$) bulanık ön-bileşenlere uygulanır. Verilmiş bir bulanık kural birden fazla ön-bileşene sahip ise bulanık operatörler (VE/VEYA) ön-bileşenleri değerlendirerek tek bir sayı elde edilir. Ön-bileşenlerin değerlendirilmesinin sonucu ard-bileşen olarak üyelik fonksiyonuna uygulanır.

Mamdani tipi kural oluşturma Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.

Kural oluşturma adımında iki süreç bulunmaktadır.

- Bulanık operatörlerin kullanılması,
- İfade etme metotlarının kullanılması.



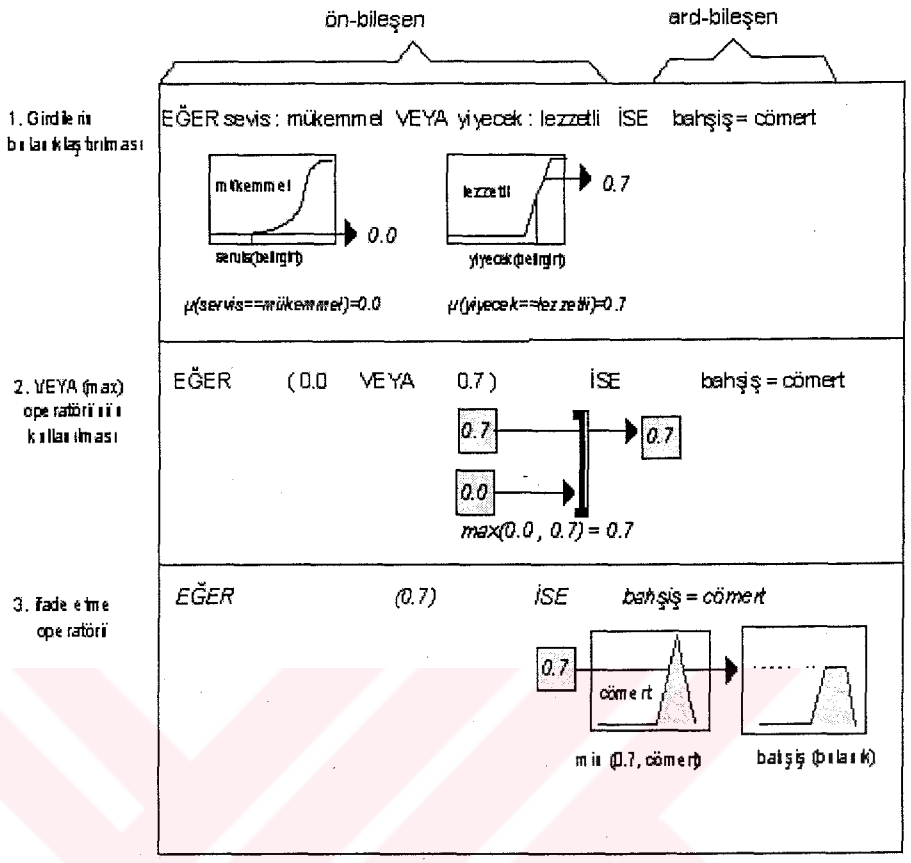
Şekil 3.5. Mamdani tipi kural oluşturma

Bulanık Operatörlerin Kullanılması, eğer verilen kurallar için ön-bileşenlerin, birden fazla parçası varsa o kuralı temsil eden ön-bileşenlerin sonucunu tek bir rakamla ifade etmek için bulanık operatörler kullanılır. Bu sayı daha sonra çıktı fonksiyonu olarak kullanılacaktır. Bulanık operatörlerin girdisi iki veya daha çok bulanıklaştırılmış girdi değişkenlerinin üyelik değerleridir. Çıktısı ise, tek bir doğru değeridir.

İfade Etme Metotlarının Kullanılması, Bu metotları kullanmadan önce, kuralların ağırlıklarına dikkat etmemiz gerekir. Her bir kural [0 1] aralığında ön-bileşenler tarafından verilen numaralar için kullanılan bir ağırlığa sahiptir. Bu ağırlık genellikle 1 olur ve böylece ifade etme sürecine bir etkisi olmaz. Zaman zaman kuralların, diğerleriyle ilişkili olarak ağırlık değerlerini 1'den farklı olarak değiştirmek isteyebiliriz.

Doğru ağırlıklandırma bir kez her bir kurala atandıktan sonra ifade etme süreci tamamlanmış olur.

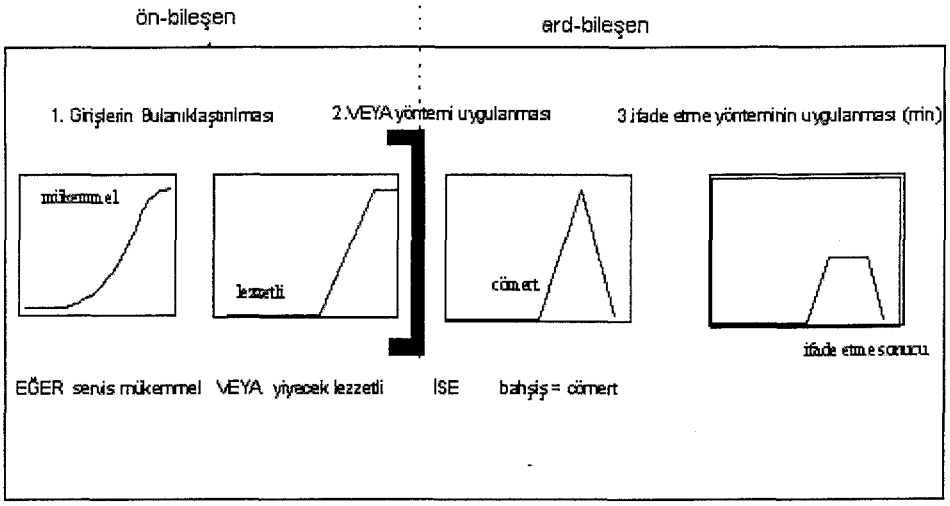
Bulanıklaştırma ve kural oluşturma sürecine örnek bir gösterim Şekil 3.6.'da gösterilmiştir [28].



Şekil 3.6. Bulanıklaştırma ve kural oluşturma sürecine örnek gösterim

Bir ard-bileşen, üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilen, kendisi tarafından dilsel karakterleri ağırlıklandırmak üzere tahsis edilen bir bulanık kümedir. Ard-bileşen, ön-bileşenle (tek bir rakam) ortak olarak kullanılan fonksiyonla yeniden şekillenir. İfade etme sürecinin girdisi, ön-bileşen tarafından verilen tek bir rakam; çıktısı ise bir bulanık kümedir. İfade etme süreci Şekil 3.7.'da gösterilmiştir

İfade etme her bir kurala uygulanır ve süreç tamamlanır.



Şekil 3.7. İfade etme yönteminin sonucu

3.3.3. Kural Çıktılarının Bütünleştirilmesi

Üçüncü adım, bütün kuralların çıktılarının birleştirilmesi adımıdır. Bir önceki adımda oluşturulan kuralların bir karara varabilmesi için belli bir düzende birleştirilmesi gerekmektedir. Bu adımda, bütün kurallara ait ard-bileşenlerin üyelik fonksiyonları alınır ve tek bir bulanık sınıf şeklinde birleştirilir. Bütünleştirme işlemi Şekil 3.8.'de gösterilmiştir. Bütünleştirme sürecinin girdisi, ard-bileşenlere ait üyelik fonksiyonlarının listesi; çıktısı ise her bir çıktı değişkeni için bir bulanık sınıftır.

Bütünleştirme sürecinde matlab programında çoğunlukla kullanılan üç metot bulunmaktadır [27]. Bunlar: (1) max (maksimum), (2) probor (probabilistic/ihtimal), (3) sum (her bir kuralın çıktı kümesinin toplamı) şeklindedir.

3.3.4. Bulanıklığı Giderme

Bulanık çıkarım sürecinde son aşama bulanıklığı giderme sürecidir. Bulanıklık bize kuralları değerlendirmede yardımcı olur. Ancak bir bulanık sistemin son çıktısı bir belirgin sayı olmalıdır. bulanıklığı giderme süreci için girdi toplam çıktı bulanık kümesidir. Çıktı ise tek bir sayıdır.

Bulanıklığı giderme süreci üyelik fonksiyonu ile temsil edilen bulanık bir niceliğin kesin veya tam bir niceliğe dönüşmesi olarak tanımlanır [22]. Bu süreç Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.

Çok sayıda bulanıklığı giderme metodu vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan metod ağırlık merkezi (centroid) metodudur. Diğer metotlar; iki bölge yöntemi (bisector of area) , maksimumların ortalaması (middle of maximum (mom)), maksimumların en büyüğü (largest of maximum (lom)), maksimumların en küçüğü (smallest of maximum (som)), ve yükseklik metodlarıdır [27]. Aşağıda bu metodların bazılarından bahsedilecektir.

1- *Ağırlık Merkezi Metodu*: Bulanıklığı gidermenin bu metodunda, üyelik fonksiyonunun ağırlıklı ortalaması veya üyelik fonksiyonu ile sınırlandırılmış alanın ağırlık merkezi, bulanık niceliğin en belirgin kesin (crisp) değeri olarak alınır [22]. Bu metot Şekil 3.9.'da gösterilmiştir

$$x^* = \int \mu_X(x^*).\, x\, dx \,/ \int \mu_X(x).\, dx \qquad (3.17)$$

2- *Yükseklik Metodu*: Bu tekniğin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$\mu_X(x^*) \geq \mu_X(x) \qquad x \in X \qquad (3.18)$$

Şekil 3.10.'da şematik olarak gösterilmiştir.

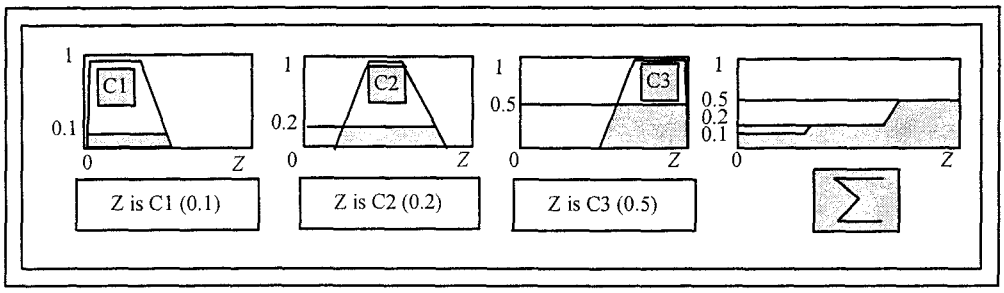
3- *Maksimumun Ortalaması Metodu*: Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [29].

$$x^* = (a+b)/2 \qquad (3.19)$$

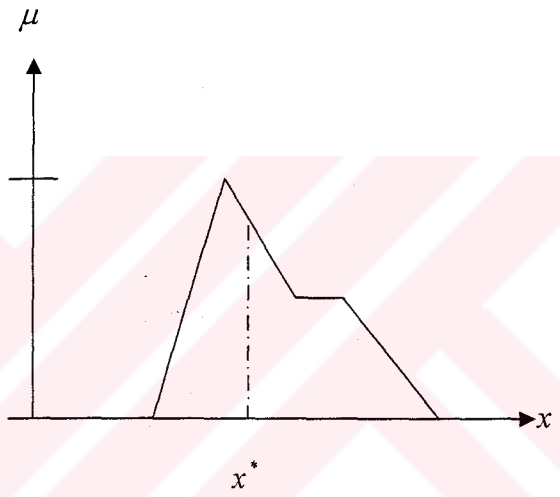
4- *Maksimumların En Büyüğü*:

$$x^* = Maks\, \mu_X(x^*) \qquad (3.20)$$

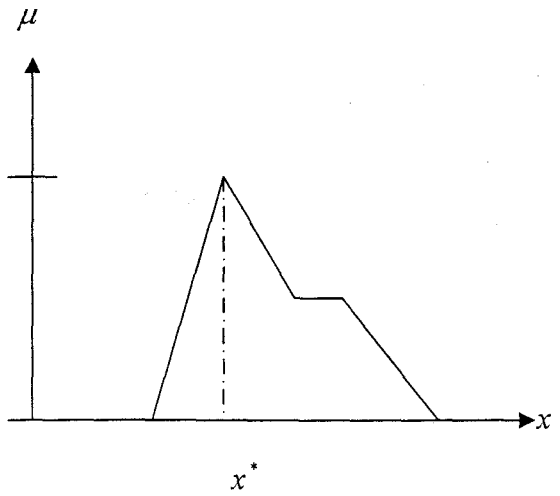
5- *İki Bölge Yöntemi* (*Bisector of area)* [30]: Sözlük anlamı açıortay olarak geçmektedir [31].



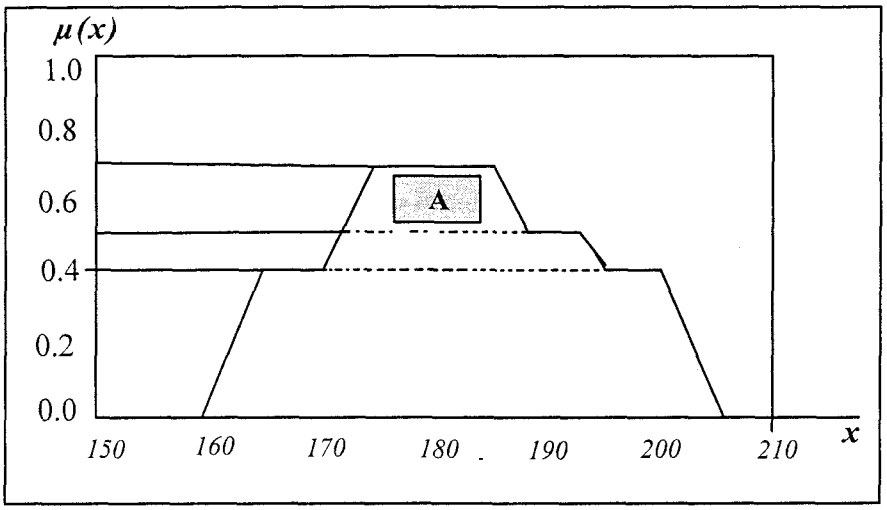
Şekil 3.8. Kural çıktılarının bütünleştirilmesi



Şekil 3.9. Ağırlık Merkezi Metodu



Şekil 3.10. Yükseklik Metodu

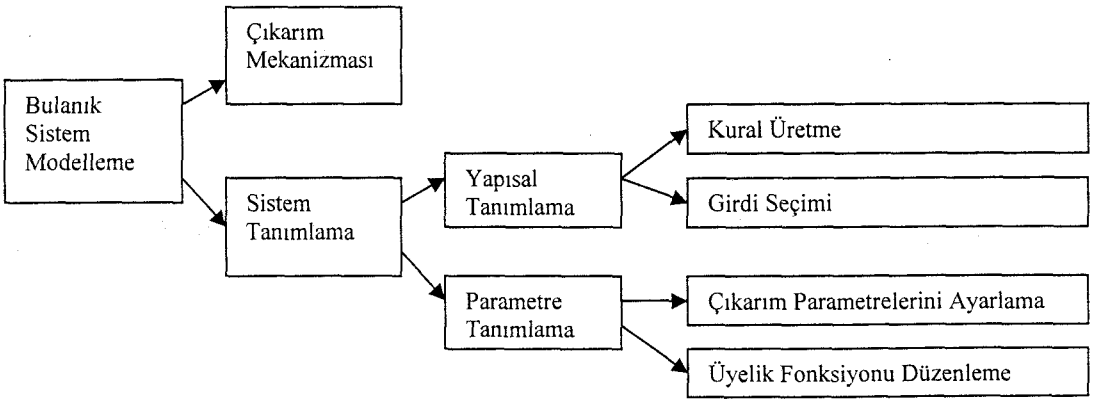


Şekil 3.11. Bulanıklığı giderme süreci (ağırlık merkezi metoduna göre)

BÖLÜM IV
BULANIK GRUPLAMA ANALİZİ

4.1. Giriş

Bulanık modelleme kullanılarak sistem tanımlama, yapısal ve parametre tanımlama olarak ikiye ayrılır [32]. Yapısal tanımlama, (i) girdi değişkenlerini mümkün girdi adayları arasından belirleme ve (ii) girdi-çıktı ilişkilerini (EĞER-İSE kuralları) tanımlama olmak üzere iki adımda gerçekleştirilir. Bulanık gruplama, bulanık modelleme de amaç kurallarını üretmek için sezgisel bir yaklaşım olarak ele alınır. Bu doğrultuda, Bölüm 4.2.1.'de Bulanık C-Ortalamaları (Fuzzy C-Means FCM) gruplama algoritması anlatılacaktır. Bulanık sistem tanımlamanın ikinci tipi olan parametre tanımlama, optimum çıkarım parametrelerini türetmek, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarını ayarlamaktan oluşur. Bulanık sistem modelleme akış diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Bulanık sistem modelleme akış diyagramı

4.2. Bulanık Yapısal Tanımlama

Bulanık sistemlerde yapısal tanımlama, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarını kullanarak kurallar oluşturmakla mümkündür. Bu süreçte gerçekleştirilen adımlar sırasıyla aşağıda anlatılmıştır.

4.2.1. Kural Üretme; Bulanık Gruplama

Objektif kural üretmek için sezgisel bir yaklaşım, girdi-çıktı verilerinin gruplandırılmasına dayanır. Özellikle, büyük sayıda girdi değişkenine sahip sistemler için basit ve uygulanabilir bir yöntem, Sugeno ve Yasukawa [33] tarafından önerildi. [34]'de ifade edildiği gibi sadece çıktı uzayını grupladığımız bu yaklaşım, bulanık modellerde daima tek boyutlu bir uzay olarak düşünülebilir. Girdi uzayının bulanık bölümleri, her bir girdi değişkeni üzerinde gruplandırılmış çıktı uzayının iz düşümü ayrı ayrı üretilerek bir sonraki adımda belirlenecektir.

Bulanık gruplama fikri, çıktı verisini birbirleriyle çakışan bulanık bölümlere (partitions) bölmektir. Bu nedenle, her bir veri her bir gruba [0, 1] aralığında bir üyelik derecesiyle tanımlanır. Formal kelimelerle, N veri vektörlerinin sayısını ve h her bir vektörün boyutu gösterecek olursa; $X = \{x_1, x_2, ..., x_N\} \subset \Re^h$ etiketlenmemiş verileri gruplama, X'deki vektörlere bölüm etiketleri c sayısını atamakla mümkün olacaktır. X'in c bölümleri, (cxN) boyutlu $U = [u_{ik}]$ matrisi olarak sıralanabilen ($c.N$) üyelik değerleri $\{u_{ik}\}$'nın kümeleridirler. Bulanık gruplama problemi optimum üyelik matrisi U'yu bulmaktır. X'de bulanık gruplama için en yaygın olarak kullanılan amaç fonksiyonu, aşağıdaki kısıtlı optimizasyon problemini tanımlamak için kullanılan ve hataların karelerinin toplamının gruplar içindeki ağırlığını minimize eden j_m amaç fonksiyonudur [35]:

$$\min_{(U,V)}\left\{J_m(U,V;X)=\sum_{k=1}^{N}\sum_{i=1}^{c}(u_{ik})^m\left\|x_k-v_i\right\|_D^2\right\}$$

Burada, (4.1)

$$U\in M_{fcn}=\left\{U\in\Re^{cN}\left|\begin{array}{l}0\le u_{ik}\le 1\ \ \forall i,k\ \&\ \forall k,\ u_{ik}>0\ \ \exists i\\ 0<\sum_{k=1}^{N}u_{ik}<n\ \ \forall i\ \&\ \sum_{i=1}^{c}u_{ik}=1\ \ \forall k\end{array}\right.\right\}$$

$V=\{v_1,v_2,...,v_c\}$ grup merkezlerinin (bilinmeyen) vektörleridir ve $\|x\|_D=\sqrt{x^TDx}$ her hangi bir iç çarpım normudur. D grupların şeklini belirleyen pozitif tanımlı ve hxh boyutunda bir matristir. D matrisi için yaygın seçim, Oklidyen farkı tanımlayan ve sonuç olarak grupları küreselleştiren özdeş bir matristir.

Bulanık bölümler, aşağıdaki adımlara [36] göre ardışık adımlı bir optimizasyon olan Bulanık C-Ortalamaları (Fuzz C-Means FCM) algoritmasıyla elde edilirler:

ADIM 1: SEÇ

Grupların sayısı (c), üstel ağırlık (m), adım sayısı (*iter*), durdurma kriteri ($\varepsilon > 0$), $J_m\left(\|x_k-v_i\|_D\right)$ için norm, hata $=\|V_t-V_{t-1}\|$ için norm.

ADIM 2: TAHMİN ET

grup merkezlerinin başlangıç konumu : $V_0=\{v_{1,0},v_{2,0},...,v_{c,0}\}\subset\Re^{ch}$.

ADIM 3: ÖTELE

t = 1'den *iter*'e;

HESAPLA $u_{ik,t}=\left[\sum_{j=1}^{c}\left(\frac{\|x_k-v_{i,t-1}\|_D}{\|x_k-v_{j,t-1}\|_D}\right)^{\frac{2}{m-1}}\right]^{-1}$ (4.2)

HESAPLA $v_{i,t}=\frac{\sum_{k=1}^{N}(u_{ik,t})^m x_k}{\sum_{k=1}^{N}(u_{ik,t})^m}$ (4.3)

EĞER hata $=\|V_t-V_{t-1}\|<\varepsilon$, İSE dur ve eşitle $(U_f,V_f)=(U_t,V_t)$

DEĞİLSE

SONRAKİ t

FCM (Fuzzy C-Means) gruplama algoritması, belirli bir problemi sezgisel olarak ele alması nedeniyle iki ana problemle karşı karşıya kalır [37]:

1) Grup sayılarını (c) önceden belirleyerek atama.
2) Şu ana kadar üstel ağırlık (m)'in optimal seçimi için her hangi bir teorik temelin ortaya atılmaması.

4.2.1.1. Grup Geçerliliği; Grup Sayılarını Belirleme

Teorik olarak grup sayılarını belirlemek ve genel bir kriter elde etmek için bulanık olmayan grupların yakınlığını ve uzaklığını ifade eden dağınıklık (scattering) kriterinin genel bir yapısı kullanılır ve aşağıda genelleştirilen bulanık dağınık matrisler oluşturulur [37]:

Grup içi bulanık dağınık matris:

$$S_W = \sum_{i=1}^{c} \sum_{k=1}^{N} (u_{ik})^m (x_k - v_i)(x_k - v_i)^T \tag{4.4}$$

Gruplar arası bulanık dağınık matris:

$$S_B = \sum_{i=1}^{c} \left(\sum_{k=1}^{N} (u_{ik})^m \right) (v_i - \bar{v})(v_i - \bar{v})^T \tag{4.5}$$

Burada, bulanık toplam ortalama vektor $\bar{v}$:

$$\bar{v} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{c} \sum_{k=1}^{N} (u_{ik})^m} \sum_{i=1}^{c} \sum_{k=1}^{N} (u_{ik})^m x_k \tag{4.6}$$

olarak formüle edilen ve bulanık bölümlerdeki grupların her birine üyeliklerini ifade eden verilerin ağırlıklı bir ortalamasıdır ve v_i bulanık grup merkezleridir:

$$v_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^{N}(u_{ik})^m} \sum_{k=1}^{N}(u_{ik})^m x_k \tag{4.7}$$

S_B bulanık gruplar arası uzaklığı ve S_W'de bulanık grup içi yakınlığını ifade eden bir indekstir. Böylece, en iyi grupları elde etmek için, grup içi yakınlığını arttırmak için iz(S_W) minimize ve gruplar arası uzaklığı arttırmak için iz(S_B) maksimize edilir veya başka bir ifadeyle,

$$\begin{aligned} S_{cs} &= (U,V;X) = \mathrm{iz}(S_W) - \mathrm{iz}(S_B) = \mathrm{iz}(S_W - S_B) \\ &= \sum_{k=1}^{N}\sum_{i=1}^{c}(u_{ik})^m \left(\|x_k - v_i\|^2 - \|v_i - \bar{v}\|^2 \right) \end{aligned} \tag{4.8}$$

minimize edilir.

4.2.1.2. Üstel Ağırlığın Belirlenmesi

Bulanık gruplamada, değerine karar verilecek başka bir parametrede (4.2) ve (4.3) denklemlerinde kullanılan üstel ağırlık (m)'dir. Üstel ağırlık, verilerin bulanık gruplar arası üyelik paylaşımının boyutunu kontrol eder. Bu nedenle, (1, ∞) aralığında, m'nin büyük değerler alması bulanıklığın daha yüksek olması demektir. Şu ana kadar m'in optimal seçimi için teorik bir temel oluşturacak bir fikir ortaya atılmamıştır. Fakat, m'in değeri arttırılırken, S_{cs} grup geçerlilik kriterinin davranışının incelenmesi sonucunda m'in değerinin belirlenmesi için bir yöntemden söz edilecektir.

TEOREM 1 [36-37]: S_{cs} için grup geçerliliğinin "güvenli" performansını elde etmek için, üstel ağırlık m, bir ve sonsuz sınırlarından yeterince uzak olmalıdır.

Yukarıdaki şartı yerine getirmek için m'in uç noktaları açıkça tanımlanmalıdır. 1 sınırı kesinlikle açıktır. Fakat, m'in sonsuz değeri ne olmalıdır?. Bu ekseriyetle eldeki veriye bağlıdır. m'in nereye kadar artabileceğini gösteren bir indeks ve bulanık toplam dağınık matris olarak bilinen yeni bir dağınık matris S_T tanımlanmıştır:

$$S_T = S_w + S_B = \sum_{k=1}^{N}\left(\sum_{i=1}^{c}(u_{ik})^m\right)(x_k - \bar{v})(x_k - \bar{v})^T \tag{4.9}$$

TEOREM 2 [37]: m bir'den sonsuz'a doğru değişirken, S_T'nin izi monoton olarak sabit bir K değerinden sıfır'a doğru azalır. K sadece veri setine bağlıdır:

$$K = \text{iz}\left(\sum_{k=1}^{N}\left[\left(x_k - \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}x_k\right)\left(x_k - \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}x_k\right)^T\right]\right). \tag{4.10}$$

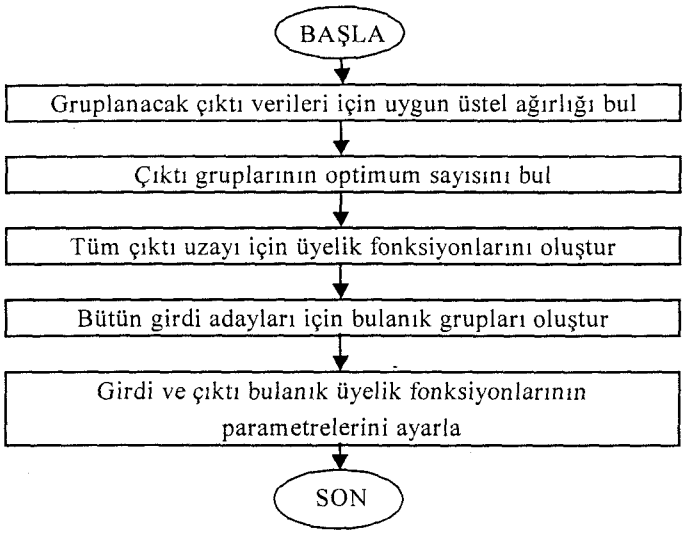
Bu nedenle, gruplanacak olan veri seti için m'in uygun değeri, S_T'nin $K/2$ değerine karşılık gelen değerdir.

4.2.1.3. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması; Sınıflandırma Problemi

Bulanık modelleme algoritmasında, çıktı örnek verileri çeşitli bulanık gruplara ayrılır. Atanan bulanık grupları tüm çıktı uzayına genişletmek için sınıflandırma problemi olarak bilinen bir adıma daha ihtiyaç vardır. Gruplama prosesinde, $X \subset \Re^h$ veri seti için uygun bir bölünme yaparız. Halbuki, sınıflandırma prosedüründe, $\Re^h$ uzayındaki her veri noktası etiketlendirilir. Bu nedenle, tüm çıktı uzayı için üyelik fonksiyonunun şekli bir sınıflandırma problemidir. Sınıflayıcı tasarım, genellikle etiketlenmiş veriyi kullanarak oluşturulurken, çıktı örnek verisini gruplamak tüm çıktı uzayı için uygun sınıflayıcılar tasarlayan için iyi bir araçtır.

Tüm uzaydaki verileri bulanık bölümlere atadıktan sonra, basit üyelik fonksiyonları elde etmek için sınıflandırılmış veriyi üçgensel veya eş kenarlı yamuk fonksiyonlara benzetebiliriz. Her bulanık grup için konveks noktalar düzeltilir ve onlara bir üçgen veya yamuk uydurulur [33].

Buraya kadar anlatılan bulanık modelleme algoritması Şekil 4.2'de özetlenmiştir.



Şekil 4.2 Bulanık sistem modelleme algoritması

BÖLÜM V
SERAMİK ÜRETİMİNDE HAMUR KALİTESİNİN BULANIK SİSTEM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

5.1.Giriş

Bu bölümde, bulanık gruplama ve bulanık karar verme ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Kayseri Organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir işletmeden ürünün kabul veya reddine karar vermemize etkili olan veriler alınmış, bu veriler bulanık gruplama tekniklerine göre gruplandırılmış ve ürünün kabulü için en uygun grup verilerinin yapısı belirlenmiştir.

5.2.Problemin Tanımı

Seramik üretimi yapılan firmada, seramiklerin kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini optimize edecek süreç şartlarının bulunması amaçlanmaktadır.

Firmada, konu ile ilgili uzman kişilerle görüşüp üzerinde ilk çalışmayı yapabileceğimiz sürecin çamur kalınlığını etkileyen bölüm olacağına karar verilmiştir.

Burada çamur kalınlığına etki eden faktörler aşağıdaki gibidir.

1- Sıcaklık (s)
2- İlk viskozite değeri (V_1)
3- İkinci viskozite değeri (V_2)
4- Tiksotropi değeri (t)

Bu değerleri sırasıyla açıklayalım.

- Çamur Sıcaklığı (s) : Gerekli ölçümler yapıldığı andaki çamura ait sıcaklık değeri, (°C).
- Viskozite 1 (V_1) : Ölçümlerin yapılması için hazırlanan standart saksıdan çamurun akma hızı (kaç saniyede boşaldığı), (saniye).
- Viskozite 2 (V_2) : V_1 değeri ölçüldükten 30 dakika sonra yapılan ikinci viskozite değeri, (saniye).
- Tiksotropi (t): $(V_2 - V_1)/V_2$ değeri.
- Kalınlık (k): Standart ölçü kabı olan saksıdan alınan kalınlık değeri, (mm).

5.3.Bulanık Sistemin Kurulması

5.3.1. Bulanık C-Ortalamaları (FCM) Algoritması

Bölüm 4.2.1'de anlatıldığı gibi, bulanık bölümler, bir optimizasyon olan Bulanık C-Ortalamaları (FCM) algoritmasıyla elde edilirler:

FCM algoritmasında belirli bir problem ele alındığında iki temel problemle karşılaşılır. Bu problemler;

1- Grup sayısı (c) yani kural sayısı;

2- Niteliklerin bulanıklık derecesini gösteren üstel ağırlık (m);

belirlenmesidir. Sırasıyla bu problemlerin çözümlerini ele alalım.

5.3.2. Kural Oluşturma, Bulanık Gruplama

Sezgisel bir yaklaşım olan kural oluşturma, sisteme ait verilerin gruplandırılmasıdır. Kuralların oluşturulması için çeşitli kalınlık değerlerini veren veriler firmanın üretimine ait verilerden elde edilmiştir.

Bu çalışmada, firmaya ait iki aylık üretim verilerine göre 168 adet kalınlık değerine ilişkin homojen veriler alınmıştır. Bu verilerden bir kısmı Tablo 5.1 de görülmektedir. Verilerin tamamı Ek-1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Sisteme ait veriler

Sıcaklık (°C)	Viskozite$_1$ (sn)	Viskozite (sn)	Tiksotropi	Kalınlık değeri (mm)
26	29	55	47	7
26	28	53	47	6.8
26	30	55	45	7
27	28	55	49	6.8
27	29	57	49	7.2
28	28	60	53	7.2
28	29	61	52	7.2
34	36	72	50	8.3
34	35	74	53	8.4
34	36	75	52	8.4
34	35	72	51	8.2
35	35	74	53	8.3
35	36	76	83	8.6
36	35	74	53	8.6
36	34	75	55	8.5
28	30	63	52	7
29	30	64	53	7.1
29	33	66	50	7.4
30	31	66	53	8
30	31	68	54	8
31	32	68	53	8.3
30	32	68	53	8
32	31	70	56	8.4
32	28	63	56	8.1
33	30	68	56	8
23	30	47	36	6.7
24	28	47	40	6.5
24	30	49	39	6.7
25	29	49	41	6.6

5.3.2.1.Grup Sayılarını Belirleme

Grup sayısını belirlemek için, üstel ağırlık (m) bulunduktan sonra, farklı sayıda gruplar verilerek grup içi dağınık matris S_W (4.4) ve gruplar arası bulanık dağınık matris S_B (4.5) hesaplanır. Böylece, en iyi grup sayısını elde etmek için, grup içi yakınlık ve

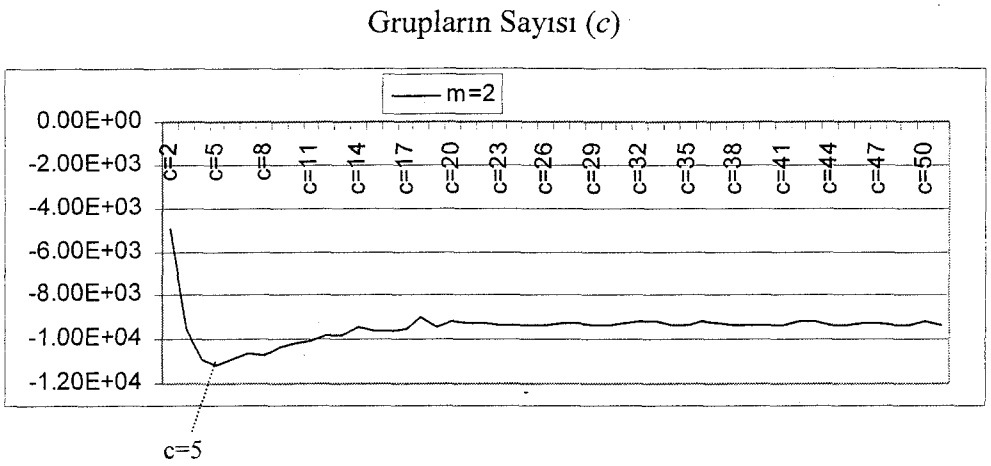
gruplar arası uzaklık artırılır. Yani iz (S_W) minimize ve iz (S_B) maksimize edilir. Başka bir ifadeyle, (4.8)'de gösterilen grup geçerlilik indeksi S_{CS} minimize edilir. Minimum S_{CS} değerini veren nokta grup sayısını belirleyen nokta olarak alınır. Bu hesaplamalar sonucunda, elde edilen grafik Şekil 5.1.'de görülmektedir.

Grafiği incelediğimizde, grup sayıları 2'den 50'ye kadar arttırıldığında grup geçerlilik indeksindeki değişimler görülmektedir. Minimum değer, grup sayısının beş olduğu noktada elde edilmiştir. Böylece grup sayısı (kural sayısı) bu özellik için beş olarak belirlenmiştir. Belli bir grup sayısından sonra S_{CS} değerinde bir sabitleşme görülmektedir. Bunun nedeni, iz (S_W) minimize ve iz (S_B) maksimize edilmesiyle iki değer arasındaki farkın sabit bir değer etrafında hareket etmesinden kaynaklanmaktadır.

5.3.2.2.Grupların Bulanıklık Derecesinin Belirlenmesi; Üstel Ağırlığın Seçimi

Verilerin bulanık gruplar arası üyelik paylaşımının derecesini kontrol eden üstel ağırlık (m)'in belirlenmesinde bulanık toplam dağınıklık matrisi S_T'nin (5.9) izi hesaplanarak sezgisel olarak karar verilmiştir [13]. Bu hesaplama sonucunda elde edilen grafik Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Grafiği incelediğimizde, grup sayısı 2'den 21'e, m değeri 1.1'den 7'ye 0.01 adımla artırılarak her bir grup sayısı ve m değeri için S_T'nin izi hesaplanmıştır. m'in uygun değeri; S_T'nin değerinin denklem (5.10)'la hesaplanan K değerinin yarısına eşit olduğu değere karşılık gelen değerdir. Sistemimize uygun sınıf sayısı ve m değeri Tablo 5.2 de görülmektedir.

FCM algoritmasında karşılaşılan bu iki problemin ortadan kaldırılmasından sonra, elde edilen grup sayısı ve üstel ağırlık kullanılarak FCM algoritması çalıştırıldığında her bir girdi vektörünün her bir gruba olan üyelik derecesini temsil eden optimum bulanık üyelik matrisi U elde edilmiştir. Tablo 5.3 de bazı girdi vektörlerinin gruplara olan üyelik dereceleri verilmiştir.



Şekil 5.1. Grup geçerlilik indeksi S_{CS} ve grup sayısı c'nin değişimi

5.3.2.3. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması; Sınıflandırma Problemi

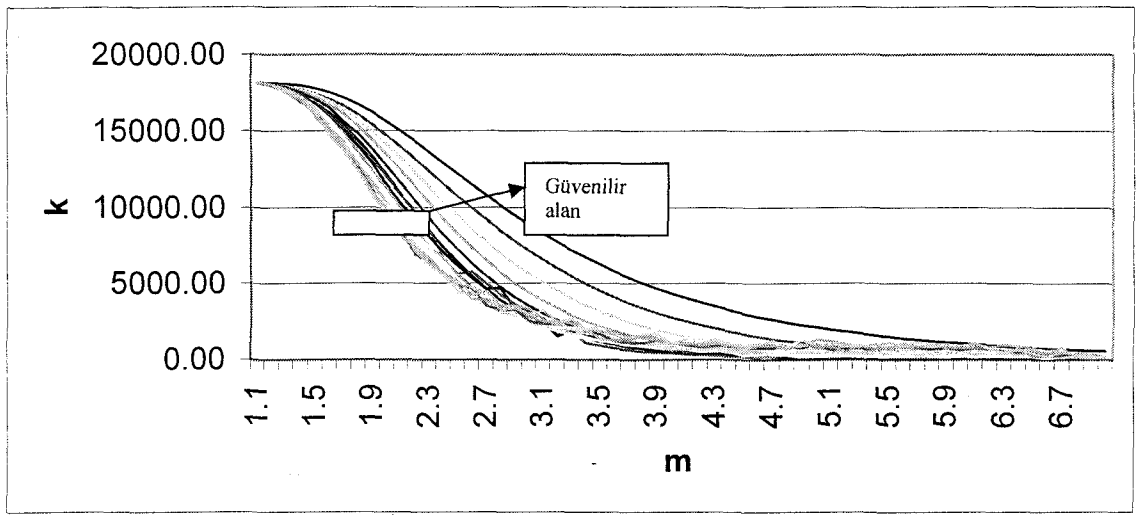
Bulanık modelleme algoritmasında; mevcut veriler çeşitli bulanık gruplara ayrılır. Belirlemiş olduğumuz bulanık gruplara genel bir anlam kazandırabilmek için sınıflandırma prosesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle de, üyelik fonksiyonlarının şeklini belirlemek bir sınıflandırma problemidir.

Gruplama yapılıp, 5 grup da karar verildikten sonra; gruplara ait verilerin ayrı ayrı davranışlarının tespiti için grafikleri çizilmiştir.

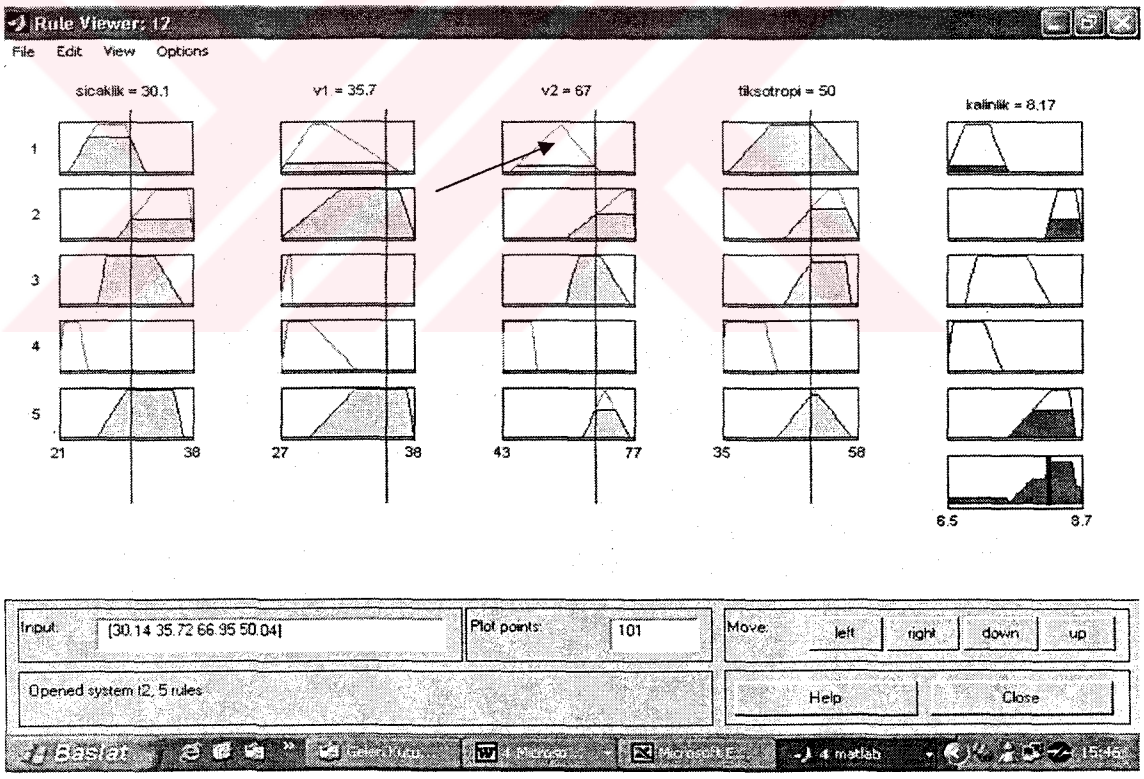
Bütün verilerin bulanık gruplara ataması yapıldıktan sonra, bu grafikler sezgisel olarak değerlendirilmiş ve basit üyelik fonksiyonları elde etmek için sınıflandırılan veriler üçgen veya yamuk fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Tablo 5.4 de bazı üyelik fonksiyonlarının şekli listelenmiştir. Üyelik fonksiyonları Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Sisteme uygun grup sayısı ve üstel ağırlık (m) değeri

Grup Sayısı (c)	Üstel Ağırlık (m)
5	2



Şekil 5.2. Bulanık toplam dağınıklık matris S_T'nin izi ve üstel ağırlık m'in değişimi



Şekil 5.3. Üyelik fonksiyonları

Tablo 5.3 Girdi vektörlerinin gruplara ait üyelik değerleri matrisi (U)

Girdi Vektörleri (değişkenler)					Üyelik Değerleri				
s (°C)	V_1 (sn)	V_2 (sn)	T	K (mm)	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
26	28	53	47	6.7	0.60	0.03	0.08	0.24	0.05
26	30	55	45	7	0.64	0.03	0.07	0.21	0.05
27	28	55	49	6.8	0.82	0.02	0.06	0.07	0.03
27	29	57	49	7.2	0.97	0.00	0.01	0.01	0.01
29	34	63	46	7.2	0.36	0.09	0.24	0.07	0.24
30	29	57	49	7.7	0.83	0.02	0.07	0.04	0.04
33	36	74	51	8.3	0.02	0.68	0.05	0.01	0.24
37	37	76	51	8.6	0.02	0.78	0.05	0.01	0.14
28	31	63	51	7.4	0.27	0.05	0.52	0.03	0.14
28	29	64	55	7	0.09	0.04	0.77	0.02	0.09
29	30	64	53	7.1	0.06	0.02	0.85	0.01	0.06
30	31	68	54	8.3	0.03	0.06	0.65	0.01	0.25
31	30	66	55	8.1	0.02	0.02	0.88	0.00	0.07
32	28	63	56	8.1	0.12	0.07	0.64	0.02	0.14
33	30	68	56	8	0.06	0.13	0.51	0.01	0.29
23	30	47	36	6.7	0.06	0.01	0.02	0.88	0.02
24	28	47	40	6.5	0.02	0.00	0.01	0.97	0.00
24	30	49	39	6.7	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00
25	29	49	41	6.6	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00
26	28	51	45	6.6	0.31	0.03	0.07	0.55	0.04
29	35	68	49	7.6	0.08	0.12	0.22	0.02	0.56
30	32	70	54	8.4	0.04	0.13	0.30	0.01	0.53
31	33	68	51	8.2	0.02	0.04	0.13	0.01	0.80
32	32	68	53	8.3	0.03	0.07	0.28	0.01	0.61
33	35	72	51	8.3	0.02	0.36	0.07	0.01	0.55
34	32	68	53	8.1	0.04	0.12	0.24	0.01	0.60
35	32	70	54	8.1	0.04	0.28	0.18	0.01	0.49

Tablo 5.4 Bazı üyelik fonksiyonlarının şekilleri

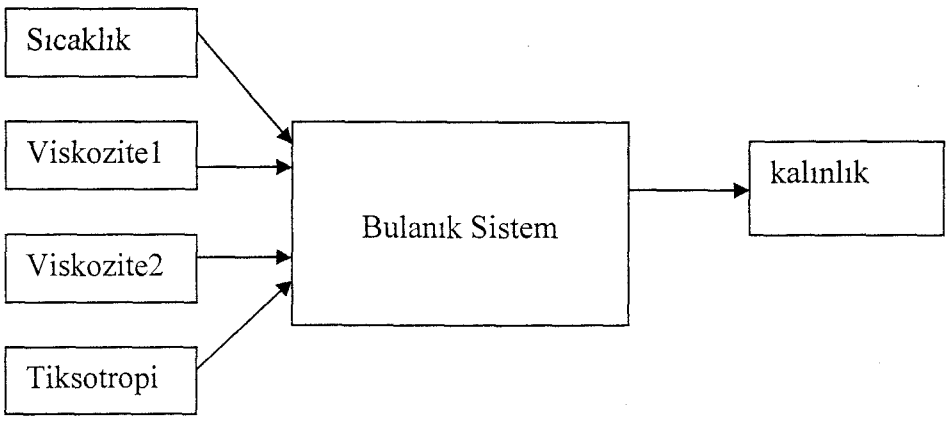
Sınıf ve değişken adı	Üyelik fonksiyonunun şekli
1. sınıfa ait x1 değişkeni	Yamuk
2. sınıfa ait x3 değişkeni	Üçgen
5. sınıfa ait x5 değişkeni	Yamuk
4. sınıfa ait x2 değişkeni	Yamuk
3. sınıfa ait x2 değişkeni	Üçgen

5.3.3. Seramik Üretiminde Hamur Kalitesinin Bulanık Sistem Yöntemiyle Belirlenmesi

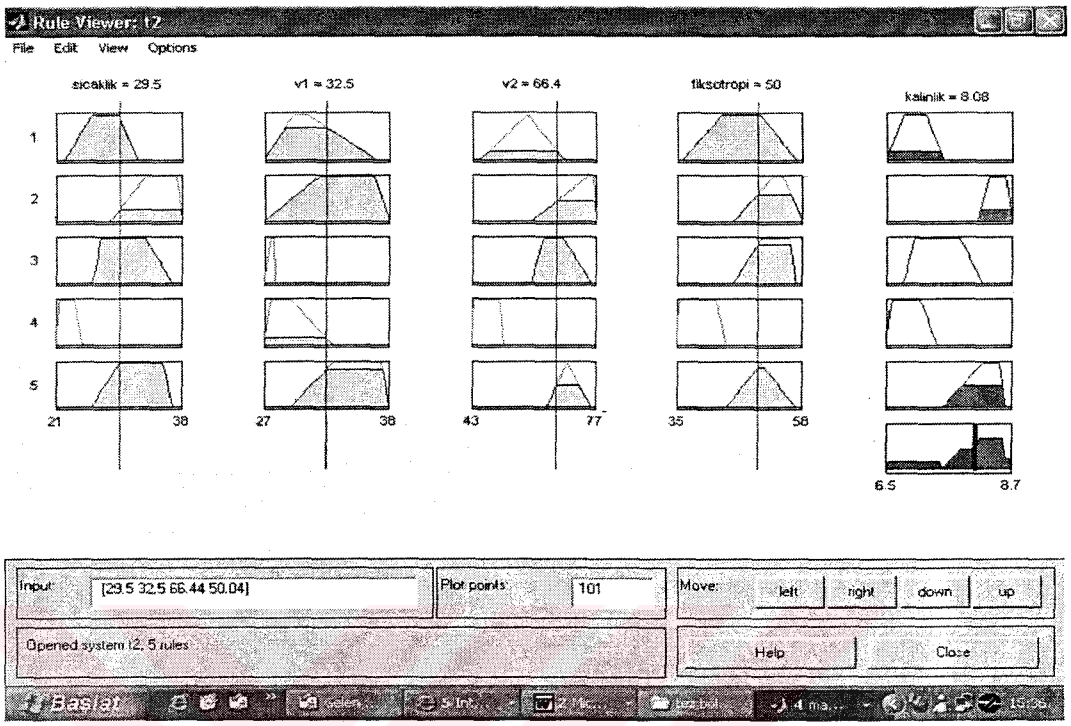
Yukarıda anlatılan bütün aşamalardan sonra Çok Çıktılı Sistemimiz matlab programının fuzzy toolbox bölümünde modellenmiştir. Modelleme işleminin adımları aşağıdaki gibidir:

5.3.3.1.Tasarım ve Gerçekleştirme

Adım 1: Öncelikle Şekil 5.4.'da gösterilen sistemin girdi ve çıktısına ait beş grup (kural) için üyelik fonksiyonları ve özellikleri ile ilgili bilgiler kaydedilir. Ek-2'de her bir girdi ve çıktıya ait üyelik fonksiyonlarının özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Bulanık sistem



Şekil 5.5. Oluşturulan kurallar

Adım 2: Her bir girdi ve çıktının üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonra tespit ettiğimiz 5 grup için 5 adet kural oluşturulur. Bu kurallar, Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.

Adım 3: Kurallar da oluşturulduktan sonra Bölüm 3.3'de bahsedilen Mamdani çıkarım mekanizmasında kullanılan metotların seçilmesi gerekmektedir. Tablo 5.5 de gösterilen metotların seçilmesine karar vermeden önce diğer metotlar da denenmiştir. Son olarak gerçek sistem verilerine en yakın çıktı değerini veren metotlar kullanılarak Şekil 5.6.'da gösterildiği gibi sistem modellenmiştir. Bu metotlardan bizim kullandıklarımız Tablo 5.5 de gösterilmiştir.

Sistemin tasarımından sonra, modelimizin çalışıp çalışmadığını kontrol etmemiz gerekmektedir. Bunu için; Ek-3 de verilen matlab tabanlı program yardımıyla, gerçek sisteme ait girdi değerleri modelimiz tarafından yorumlanmakta ve çıktı değerleri elde edilmektedir. Modelimizden elde ettiğimiz verilerden bir kısmı Tablo 5.6 da gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Modelde kullanılan metodlar

İfade etme metodu	**Bütünleştirme Metodu**	**Bulanıklığı giderme metodu**
minimum	Sum	bisector

Tablo 5.6 Modele ait çıktı değerleri

s (°C)	V_1 (sn)	V_2 (sn)	t	K (mm)	k model
26	28	53	47	6.7	7.006
26	30	55	45	7	7.006
27	28	55	49	6.8	7.006
27	29	57	49	7.2	7.006
29	34	63	46	7.2	7.028
30	29	57	49	7.7	7.006
33	36	74	51	8.3	8.326
37	37	76	51	8.6	8.414
28	31	63	51	7.4	7.006
28	29	64	55	7	7.006
29	30	64	53	7.1	7.138
30	31	68	54	8.3	8.238

5.3.3.2.Test Etme

Bu süreçte, gerçek sistemden aldığımız çıktı değerleriyle, modelimizden elde ettiğimiz çıktı değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları sezgisel olarak değerlendirilmiş ve en optimum olarak düşünülen grafiğe ait veriler, modelimizin çıktısı olarak alınmıştır. Bu verilere ait grafik Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Optimum grafiği elde etmek için, modele ait çıktı değerleri ile sisteme ait çıktı değerlerinin ortalaması karşılaştırılmış ve sistem çıktılarının ortalamasına en yakın ortalamayı veren veriler model çıktısı olarak kabul edilmiştir.

5.3.3.3.Sistemi Değerlendirme ve Düzeltme

Test etme sürecinden sonra model sonuçları kabul edilebilir düzeyde çıkmamışsa, modelde kullanılan üyelik fonksiyonları üzerinde değişiklikler yapılarak ve kullanılan metotlar değiştirilerek düzeltmeler yapılmıştır.

Gerçek sistemi temsil edecek modelimize ait test sonuçları Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.

5.3.3.4.Sonuçlar

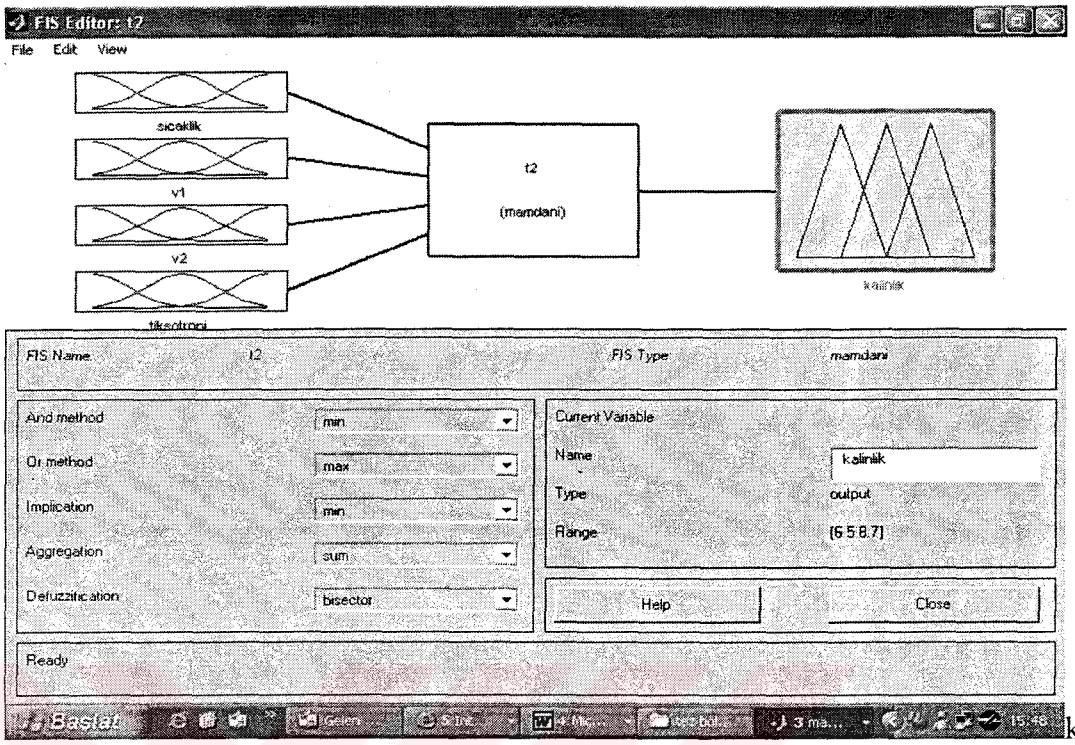
Bu çalışmada, birden fazla çıktısı olan sistemlerde, girdilerin bulanıklaştırılmasıyla bulanık kurallar oluşturulmuş ve bir karar verme mekanizması inşa edilmiştir. Sistemimiz sezgisel yöntemler kullanılarak modellenmiştir. Gerçek sistemi temsil edecek modelimiz Şekil 5.6.'de gösterilmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar da Ek-4'de verilmiştir.

Sistem kuralları oluşturulurken firmaya ait geçmiş veriler ve uzmanların tecrübeleri kullanılmıştır.

Sistemden, girdilerin aldığı değerlere göre bir çıktı değeri belirlenmekte ve kalınlık değerinin aldığı değere göre ürünün kabul veya reddine karar verilebilmektedir.

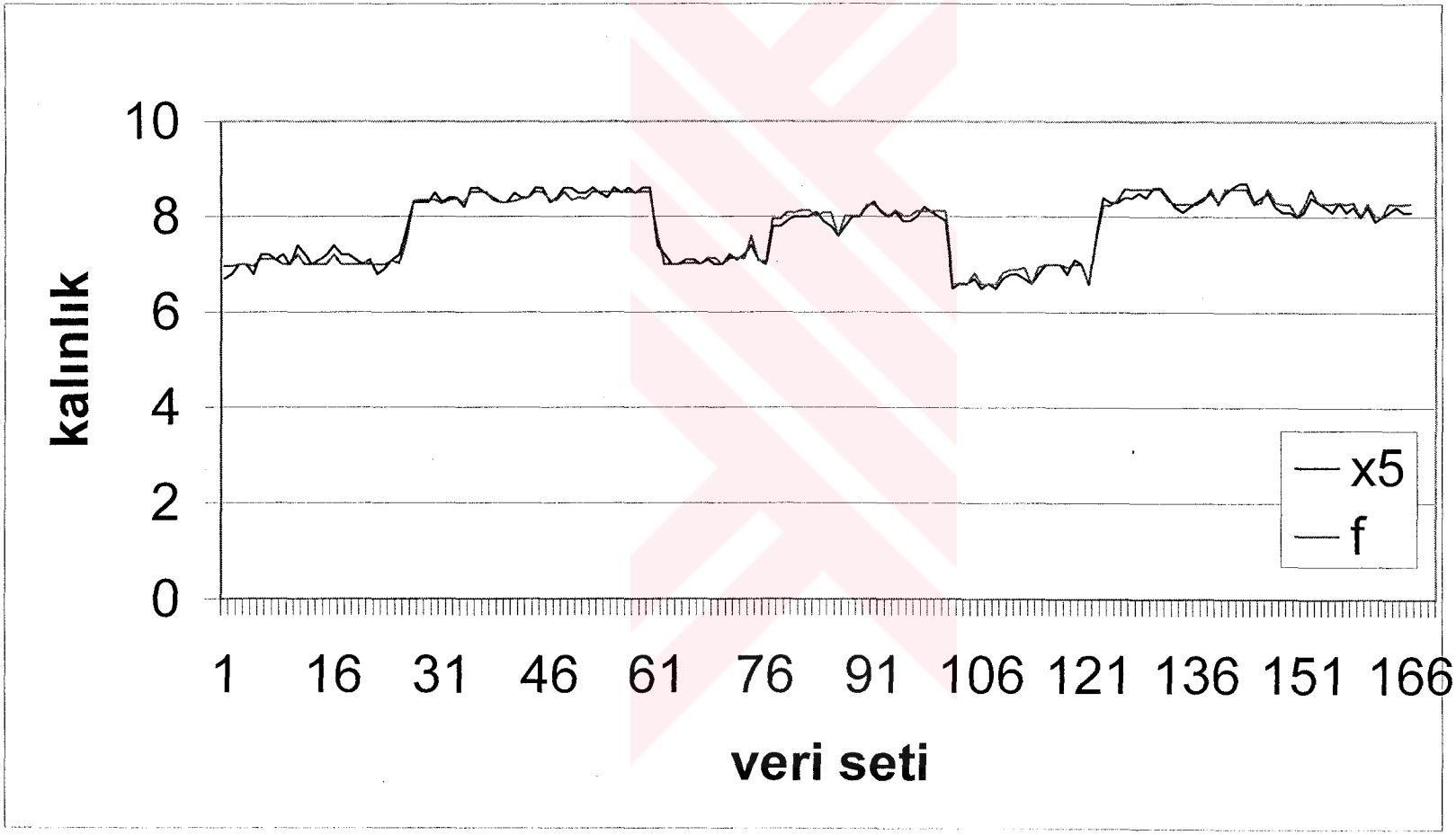
Bulanık modelleme sistemi kurulurken, sisteme etkisi olmayan girdi değişkenleri tespit edilmiş ve sistemden çıkarılmıştır. En etkili olan girdi değişkenleri kullanılmıştır. Bu da kural sayısının azalmasında etkili olmuştur. Ayrıca FCM algoritmasıyla elde edilen bulanık üyelik matrisi U kullanılarak veriler sınıflandırılmış ve elde edilen bulanık kurallar tüm girdi uzayı için genelleştirilmiştir.

Bu çalışmaya konu olan sistemin, imalat konusunda karar verme sürecinde yer alan tasarımcıya yardımcı olacağı düşünülmektedir.



kil

5.6. Oluşturulan bulanık sistem modeli



Şekil 5.7. Sistemi temsil eden modele ait test sonuçları

BÖLÜM VI
SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada yaşanan hızlı değişim ve küreselleşme süreci, iş dünyasında acımasız bir rekabet ortamının doğmasına neden olmuştur. Bu yeni iş dünyası da işletmelerin rekabetçi olabilmesi; diğer işletmelerden farklı olmalarına, müşterileri için değer yaratabilmelerine ve bunu sürekli kılabilmelerine bağlıdır. İşletmeler artık bugün için rekabet etmek yerine gelecek için rekabet etmeye çalışmaktadırlar. Bir başka ifadeyle; kalite, hız ve maliyet avantajı sağlayarak, uzun dönemli bir rekabet avantajı sağlamak artık çok zor hale gelmiştir.

Küreselleşme ve özellikle enformasyon ve bilgi teknolojilerinde yaşanan büyük gelişmelerle, hızlı ve zorunlu bir değişim süreci yaşanmaktadır. İmalat şirketleri müşterilerinin beklentilerine daha iyi cevap verebilmek için, hızlı ve doğru kararlar verebilmelidirler.

Bu çalışmada, seramik üretiminde hamur kalitesinin bulanık sistem yöntemiyle belirlemek, karar verme sürecini kısaltmak ve daha etkili kararlar verebilmek amacıyla Bulanık Gruplama Algoritması (FCM) kullanılarak sistem karar verme mekanizması modellenmiştir. Yapılan uygulama ile, bulanık gruplama ve karar verme yöntemlerinin sanayide kullanılabileceği ve bu yöntemlerin sanayicinin işlerini kolaylaştırabilecek bir yöntem olabileceği ortaya konulmuştur.

Sistemin kurulması için öncelikle gerekli bilgi ve veriler bir firmadan elde edilmiştir. Veriler uzman kişilerle birlikte değerlendirilip, en uygun girdi ve çıktı değişkenleri tespit edilmiştir. Bu girdi değişkenleri FCM algoritması kullanılarak gruplandırılmış ve sınıflandırma yapılmıştır. Bu aşamadan sonra , MATLAB Fuzzy Toolbox programları kullanılarak sistem modellenmiştir.

Bu model sayesinde, programı kullanan kişi verdiği girdi değişkenlerinin değerine göre bir çıktı değeri elde edecek ve çıktının değeri, optimum değerler sayılan [7.8 8.2] (mm) arasında bir değer olursa, çıktıyı kabul edecek; aksi takdirde red edecektir.

Bu çalışmayı örnek alacak benzer çalışmalar için öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Öncelikle çalışmaya başlamadan önce sistem üzerinde etkili olan değişkenler çok iyi tespit edilmelidir.
- Daha sonra tespit edilen değişkenlere göre sistemin girdi ve çıktılarına karar verilmelidir.
- Tespit edilen değişkelere ait yeterli sayıda geçmiş veriler çıkarılmalıdır.
- Geçmiş veriler mevcut değilse, deneysel olarak veriler elde edilebilir.

Yukarıda belirtilen süreçler tamamlandıktan sonra çalışmada bahsedilen sistem modellemesi yapılabilmektedir.

Sonuç olarak, bu sistem, ilerde işletmelerde geliştirilecek olan çalışmalara örnek olmaktadır. Değerlendirme sırasında, sisteme girilen değerlere göre, elde edilen sonuçların doğru ve kararlı olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Zadeh L.A., From Circuit Theory to System Theory Proceedings of Institute of Radio Engineering 50, pp.856-865, 1962.

2. Zadeh L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, Vol. 8, 1965.

3. Gaines, R.B., New Paradigms in System Engineering : From 'Hard' to 'Soft' Approachesn Kacpryzk J., and S.A Orlovski, Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1987.

4. Kaufmann, An Introduction to the Theory of Fuzzy Sub-Sets, Academic Press, Newyork, 1975.

5. Aydın, M., Turkşen, B., Goldenberg, A., An Improved Fuzzy Modeling Algorithm, Parth II: System Identification, Appeared in Proceedings of NAFIPS'96, June 20-21, PA6, U. C. Berkeley, USA, 1996.

6. Zadeh, L., Fuzzy Logic=Computing with Words, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 4, No. 2, May, 1996.

7. Emami, M., R., Türksen, B., A., A., Goldenberg, Development of A Systematic Methodology of Fuzzy Logic Modeling, Senior Member, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6, No. 3, August, 1998.

8. Russo, M., FuGeNeSys-A fuzzy Genetic Neural System for Fuzzy Modeling, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6, No. 3, August, 1998.

9. Runkler, T., Bezdek, J., Alternating Cluster Estimation: A New Tool for Clustering and Function Approximation, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 7, No. 4, August, 1999.

10. Chung, F., Duan, J., On Multistage Fuzzy Neural Network Modeling, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 8, No. 2, April, 2000.

11. Josien, K., Liao, T., W., Integrated use of Fuzzy C-Means and Fuzzy KNN for GT Part Family and Machine Cell Formation, Int., J. Prod. Res., vol. 38, no. 15, 3513-3536, 2000.

12. Setnes, M., Supervised Fuzzy Clustering for Rule Extraction, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 8, No. 4, August, 2000.

13. Göleç, A., Özellik-Tabanlı Bilgisayar Destekli Süreç Planlamada Bulanık Modelleme Yaklaşımı, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2001.

14. Gaines, R.B., New Paradigms in System Engineering : From 'Hard' to 'Soft' Approaches in Kacpryzk J., and S.A Orlovski, Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1987.

15. Kaufmann, An Introduction to the Theory of Fuzzy Sub-Sets, Academic Press, Newyork, 1975.

16. Ottwald, S., Fuzzy proposition allogics, Fuzzy Sets and Systems, 1980.

17. Armağan, O., Süreç Denetiminde Yeni Bir Yaklaşım Bulanık Mantık, Otomasyon, Temmuz-Ağustos, 1992.

18. Kaufmann, An Introduction to the Theory of Fuzzy Sub-Sets, Academic Press, Newyork, 1985.

19. Htttp://www.yapayzeka.org, Bilim Teknik, Aralık 2001.

20. Klir, G., J., Yuan, B., O., Fuzzy Sets and Applications, Prentice Hall, New Jersey, 1997.

21. Klir ,O.J., Clair St. C., Yuan B, Fuzzy Set Theory, Prentice Hall, New Jersey, 1997.

22. Göleç, A., İmalat Sanayinin Performansını Değerlendirmede Bulanık Küme ve Yaklaşık Çıkarsama Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.

23. Mamdani, E.H., Development in Fuzzy Logic Control 23rd IEEE Conference on Decision and Control, December, 1994.

24. Huang, L.I., Tomizuka, M., A self Paced Fuzzy Tracking Controller for Two-Dimentional Motion Control, IEEE Transaction on Systems, Vol.20, No.5, September/October, 1990.

25. Sugeno, M., Fuzzy System Theory and its Applications, USA, 1993.

26. Fuzzy Expert Systems, Lappeenranta University of Technology Department of Information Technology, Finland, http://www.it.lut.fi/kurssit/02-03/010595002/block_a24/block_a24_9.pdf,

27. Fuzzy Logic Toolbox for Use with Mathlab User's Guide, Version 2, January, the Mathworks Inc. Ss 2-36, 1999.

28. http://ilab.usc.edu/classes/2002cs561/notes/session20-21.pdf, 2003, 1998.

29. Ross, Timothy, J., Fuzzy Logic With Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc, 1995.

30. Enerji, Elektrik, Elektro mekanik-3e, Sayı 64, Sayfalar: 76-81, Bileşim Yayıncılık A. Ş., İstanbul, Eylül 1999.

31. http://web.bilkent.edu.tr/turkce/css/www.linux.org.tr/gnutr/dizin.txt, 2003.

32. Emami, M.R., Turksen, I.B. and Goldenberg, A.A., An Improved Fuzzy Modeling Algorithm, Part I: Inference Mechanism, Proceedings of NAFIPS, June 20-21, Berkley, USD, 1996.

33. Sugeno, M. and Yasukawa, T., A Fuzzy-Logic-Based Approach to Qualitative Modeling, IEEE Tarns. Fuzzy Systems, Vol.1, No.1, pp.7-31, 1993.

34. Torvinen, S.J., Salminen, K. and Vasek, L., Integration of a CIM Tool Management System to an Intelligent Feature-Based Process Planning System, First Workshop of the Intelligent Manufacturing Systems Seminars on Learning in IMS'91 Learning in IMS, Computer in Industry, Vol.7, No.2-3, pp.207-216, 1991.

35. Bezdek, J.C., Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, Newyork, 1981.

36. Pal, N.R. and Bezdek J.C., On Cluster Validity for the Fuzzy C-Means Model, submitted to IEEE Trans. Fuzzy Systems, 1995.

37. Emami, M.R., Turksen, I.B. and Goldenberg, A.A., Fuzzy Clustering in Fuzzy Modeling, IEEE Trans. Fuzzy Systems, 1996.

EKLER

EK-1 Sisteme ait veriler ve gruplar

S	V_1	V_2	t	k	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	*grup*
26	28	53	47	6.7	0.60	0.03	0.08	0.24	0.05	1
26	28	53	47	6.8	0.60	0.03	0.08	0.24	0.05	1
26	29	55	47	7	0.78	0.02	0.06	0.10	0.04	1
26	30	55	45	7	0.64	0.03	0.07	0.21	0.05	1
27	28	55	49	6.8	0.82	0.02	0.06	0.07	0.03	1
27	29	57	49	7.2	0.97	0.00	0.01	0.01	0.01	1
27	30	57	47	7.2	0.93	0.01	0.03	0.03	0.02	1
27	29	57	49	7.1	0.97	0.00	0.01	0.01	0.01	1
27	30	59	49	7.2	0.95	0.00	0.02	0.01	0.01	1
27	28	59	53	7	0.59	0.04	0.24	0.05	0.08	1
27	31	59	47	7.4	0.87	0.01	0.05	0.03	0.03	1
27	29	59	51	7.2	0.81	0.02	0.10	0.03	0.04	1
27	29	57	49	7	0.97	0.00	0.01	0.01	0.01	1
27	30	57	47	7.1	0.93	0.01	0.03	0.03	0.02	1
27	30	60	50	7.2	0.81	0.02	0.11	0.02	0.04	1
27	31	60	48	7.4	0.83	0.02	0.08	0.03	0.04	1
28	28	60	53	7.2	0.49	0.04	0.33	0.04	0.09	1
28	29	61	52	7.2	0.47	0.04	0.36	0.03	0.10	1
28	30	61	51	7.1	0.56	0.03	0.29	0.03	0.09	1
28	29	60	52	7	0.59	0.03	0.26	0.03	0.08	1
28	31	60	48	7.1	0.81	0.02	0.09	0.03	0.05	1
29	29	57	49	6.8	0.92	0.01	0.04	0.02	0.02	1
29	32	57	44	6.9	0.61	0.04	0.11	0.15	0.08	1
29	33	63	48	7.1	0.35	0.07	0.30	0.05	0.23	1
29	34	63	46	7.2	0.36	0.09	0.24	0.07	0.24	1
30	29	57	49	7.7	0.83	0.02	0.07	0.04	0.04	1
33	36	74	51	8.3	0.02	0.68	0.05	0.01	0.24	1
34	34	74	54	8.3	0.01	0.86	0.03	0.00	0.09	2
33	35	74	53	8.3	0.01	0.81	0.03	0.00	0.14	2
34	35	74	53	8.5	0.00	0.94	0.01	0.00	0.05	2

34	36	72	50	8.3	0.03	0.45	0.08	0.01	0.44	2
34	35	74	53	8.4	0.00	0.94	0.01	0.00	0.05	2
34	36	75	52	8.4	0.01	0.90	0.02	0.00	0.07	2
34	35	72	51	8.2	0.02	0.47	0.06	0.01	0.44	2
34	36	76	53	8.6	0.01	0.90	0.02	0.00	0.06	2
35	36	76	53	8.6	0.01	0.93	0.02	0.00	0.04	2
35	36	75	52	8.5	0.01	0.94	0.01	0.00	0.04	2
35	33	74	55	8.4	0.02	0.77	0.06	0.01	0.15	2
35	34	72	53	8.3	0.02	0.64	0.06	0.01	0.28	2
35	33	72	54	8.3	0.02	0.57	0.09	0.01	0.31	2
35	36	74	51	8.5	0.01	0.82	0.03	0.00	0.13	2
35	34	75	55	8.4	0.01	0.87	0.03	0.00	0.08	2
35	35	75	53	8.4	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	2
35	35	76	54	8.6	0.01	0.93	0.02	0.00	0.04	2
35	36	76	53	8.6	0.01	0.93	0.02	0.00	0.04	2
35	35	74	53	8.3	0.00	0.98	0.00	0.00	0.01	2
35	35	74	53	8.4	0.00	0.99	0.00	0.00	0.01	2
35	36	76	53	8.6	0.01	0.93	0.02	0.00	0.04	2
36	35	74	53	8.6	0.00	0.96	0.01	0.00	0.03	2
36	35	75	53	8.5	0.00	0.97	0.01	0.00	0.02	2
36	34	75	55	8.5	0.01	0.86	0.04	0.00	0.09	2
36	34	76	55	8.6	0.01	0.85	0.04	0.01	0.09	2
36	34	76	55	8.5	0.01	0.85	0.04	0.01	0.09	2
36	32	74	57	8.4	0.04	0.60	0.13	0.01	0.22	2
36	36	76	53	8.6	0.01	0.92	0.02	0.00	0.05	2
36	34	76	55	8.5	0.01	0.85	0.04	0.01	0.09	2
37	36	75	52	8.6	0.01	0.87	0.03	0.00	0.08	2
37	35	75	53	8.5	0.01	0.91	0.02	0.00	0.06	2
37	36	75	52	8.6	0.01	0.87	0.03	0.00	0.08	2
37	37	76	51	8.6	0.02	0.78	0.05	0.01	0.14	2
28	31	63	51	7.4	0.27	0.05	0.52	0.03	0.14	3
28	28	63	56	7.2	0.15	0.05	0.65	0.03	0.12	3
28	29	63	54	7	0.15	0.04	0.70	0.02	0.10	3

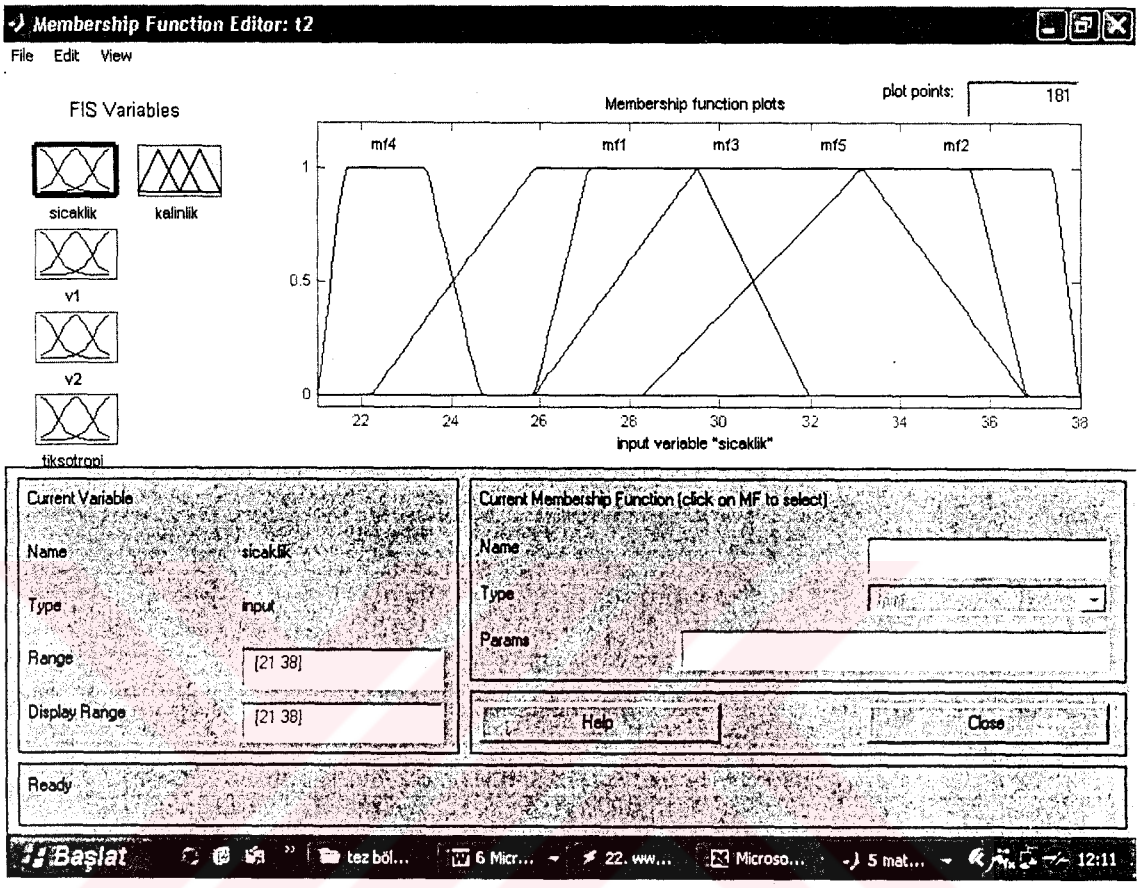
28	30	63	52	7	0.21	0.04	0.61	0.02	0.11	3
28	31	64	52	7.1	0.13	0.04	0.69	0.02	0.13	3
28	32	64	50	7.1	0.24	0.06	0.46	0.03	0.21	3
28	29	64	55	7	0.09	0.04	0.77	0.02	0.09	3
29	30	64	53	7.1	0.06	0.02	0.85	0.01	0.06	3
29	31	64	52	7	0.10	0.03	0.74	0.01	0.11	3
29	28	66	58	7	0.10	0.08	0.63	0.02	0.16	3
29	28	66	58	6.9	0.10	0.08	0.63	0.02	0.16	3
29	30	66	55	7.2	0.02	0.02	0.90	0.00	0.06	3
29	30	66	55	7.1	0.02	0.02	0.89	0.00	0.06	3
29	31	66	53	7.2	0.03	0.02	0.88	0.00	0.07	3
29	33	66	50	7.4	0.11	0.07	0.41	0.02	0.38	3
29	31	63	51	7.1	0.23	0.04	0.55	0.02	0.15	3
29	31	63	51	7	0.23	0.04	0.55	0.02	0.15	3
29	32	66	52	7.8	0.06	0.04	0.68	0.01	0.21	3
30	30	63	52	7.8	0.14	0.03	0.70	0.02	0.11	3
30	31	66	53	7.9	0.01	0.01	0.92	0.00	0.05	3
30	31	66	53	8	0.01	0.01	0.91	0.00	0.06	3
30	31	68	54	8	0.03	0.05	0.66	0.01	0.24	3
30	32	68	53	8	0.04	0.06	0.47	0.01	0.43	3
30	32	68	53	8.1	0.04	0.06	0.47	0.01	0.43	3
30	31	66	53	7.9	0.01	0.01	0.92	0.00	0.05	3
30	31	66	53	7.8	0.01	0.01	0.92	0.00	0.05	3
30	29	63	54	7.6	0.09	0.03	0.78	0.01	0.08	3
30	30	66	55	7.8	0.02	0.01	0.93	0.00	0.04	3
30	30	66	55	8	0.02	0.01	0.92	0.00	0.04	3
30	31	68	54	8	0.03	0.05	0.66	0.01	0.24	3
30	31	68	54	8.2	0.03	0.06	0.65	0.01	0.25	3
30	31	68	54	8.3	0.03	0.06	0.65	0.01	0.25	3
31	30	66	55	8.1	0.02	0.02	0.88	0.00	0.07	3
31	29	66	56	8	0.05	0.05	0.78	0.01	0.12	3
31	32	66	52	8.1	0.05	0.05	0.60	0.01	0.30	3
31	28	63	56	7.9	0.12	0.06	0.68	0.02	0.12	3

31	29	66	56	7.9	0.05	0.05	0.78	0.01	0.12	3
32	30	66	55	8	0.04	0.04	0.78	0.01	0.13	3
32	29	63	54	8.2	0.11	0.05	0.70	0.02	0.12	3
32	28	63	56	8.1	0.12	0.07	0.64	0.02	0.14	3
33	30	68	56	8	0.06	0.13	0.51	0.01	0.29	3
33	30	66	55	7.9	0.05	0.07	0.67	0.01	0.20	3
23	28	45	38	6.5	0.06	0.01	0.02	0.89	0.02	4
23	28	45	38	6.6	0.05	0.01	0.02	0.89	0.02	4
23	29	46	37	6.6	0.05	0.01	0.02	0.90	0.02	4
23	30	47	36	6.7	0.06	0.01	0.02	0.88	0.02	4
24	28	47	40	6.5	0.02	0.00	0.01	0.97	0.00	4
24	28	47	40	6.6	0.02	0.00	0.01	0.97	0.00	4
24	29	46	37	6.5	0.05	0.01	0.02	0.91	0.02	4
24	29	46	37	6.7	0.05	0.01	0.02	0.91	0.02	4
24	29	49	41	6.8	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00	4
24	30	49	39	6.8	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00	4
24	30	49	39	6.7	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00	4
25	29	49	41	6.6	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00	4
25	29	50	42	6.8	0.06	0.01	0.02	0.90	0.01	4
25	29	50	42	7	0.06	0.01	0.02	0.90	0.01	4
25	29	51	43	7	0.15	0.02	0.04	0.77	0.03	4
25	30	51	41	7	0.07	0.01	0.02	0.88	0.02	4
25	30	51	41	6.8	0.07	0.01	0.02	0.88	0.02	4
25	30	52	42	7.1	0.16	0.02	0.04	0.75	0.03	4
25	30	53	43	7	0.30	0.03	0.06	0.57	0.04	4
26	28	51	45	6.6	0.31	0.03	0.07	0.55	0.04	4
29	35	68	49	7.6	0.08	0.12	0.22	0.02	0.56	5
30	32	70	54	8.4	0.04	0.13	0.30	0.01	0.53	5
30	32	70	54	8.3	0.04	0.13	0.30	0.01	0.53	5
31	32	68	53	8.3	0.03	0.06	0.37	0.01	0.53	5
31	33	70	53	8.4	0.02	0.08	0.11	0.00	0.79	5
31	34	70	51	8.4	0.01	0.04	0.04	0.00	0.91	5
31	34	70	51	8.5	0.01	0.04	0.04	0.00	0.90	5

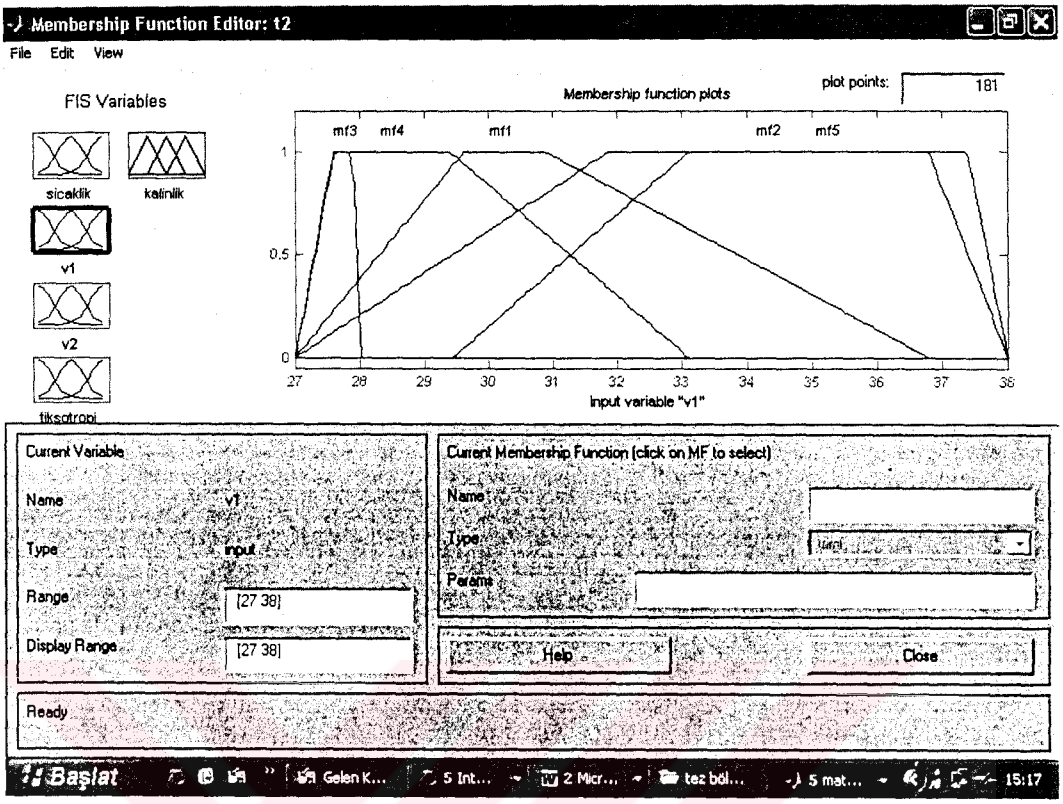
31	34	70	51	8.4	0.01	0.04	0.04	0.00	0.91	5
31	34	70	51	8.6	0.01	0.04	0.04	0.00	0.90	5
31	35	72	51	8.6	0.03	0.24	0.09	0.01	0.64	5
31	35	72	51	8.7	0.03	0.24	0.09	0.01	0.64	5
31	34	68	50	8.2	0.03	0.06	0.12	0.01	0.78	5
31	33	68	51	8.1	0.02	0.04	0.13	0.01	0.80	5
31	32	68	53	8	0.03	0.06	0.38	0.01	0.53	5
31	33	68	51	8.2	0.02	0.04	0.13	0.01	0.80	5
32	32	68	53	8.3	0.03	0.07	0.28	0.01	0.61	5
32	31	70	56	8.4	0.05	0.20	0.35	0.01	0.39	5
32	33	70	53	8.5	0.01	0.08	0.08	0.00	0.83	5
32	33	68	51	8.3	0.02	0.04	0.08	0.00	0.86	5
32	34	70	51	8.5	0.00	0.02	0.02	0.00	0.96	5
32	34	70	51	8.6	0.00	0.02	0.02	0.00	0.95	5
32	35	72	51	8.7	0.02	0.28	0.07	0.01	0.62	5
32	37	72	49	8.7	0.04	0.34	0.11	0.02	0.50	5
32	36	70	49	8.3	0.04	0.17	0.10	0.01	0.67	5
32	36	70	49	8.4	0.04	0.17	0.10	0.01	0.67	5
32	37	72	49	8.5	0.04	0.34	0.11	0.02	0.50	5
33	32	70	54	8.2	0.03	0.17	0.18	0.01	0.61	5
33	32	68	53	8.1	0.03	0.08	0.25	0.01	0.63	5
33	32	70	54	8.1	0.03	0.17	0.18	0.01	0.61	5
33	31	68	54	8	0.04	0.10	0.42	0.01	0.43	5
33	36	68	47	8.1	0.09	0.18	0.16	0.03	0.54	5
33	36	72	50	8.4	0.03	0.38	0.08	0.01	0.51	5
33	35	72	51	8.3	0.02	0.36	0.07	0.01	0.55	5
33	34	70	51	8.2	0.01	0.05	0.03	0.00	0.92	5
33	34	70	51	8.1	0.01	0.05	0.03	0.00	0.91	5
33	35	72	51	8.3	0.02	0.36	0.07	0.01	0.55	5
34	32	68	53	8.1	0.04	0.12	0.24	0.01	0.60	5
34	32	70	54	8.2	0.03	0.22	0.18	0.01	0.56	5
34	33	68	51	8	0.03	0.09	0.12	0.01	0.75	5
34	35	70	50	8.2	0.03	0.18	0.08	0.01	0.70	5

34	33	66	50	7.9	0.08	0.11	0.25	0.02	0.54	5
34	33	68	51	8	0.03	0.09	0.12	0.01	0.75	5
34	34	70	51	8.1	0.02	0.13	0.06	0.00	0.79	5
34	32	68	53	8.2	0.04	0.12	0.24	0.01	0.60	5
35	32	66	52	8.1	0.07	0.12	0.33	0.02	0.46	5
35	32	70	54	8.1	0.04	0.28	0.18	0.01	0.49	5

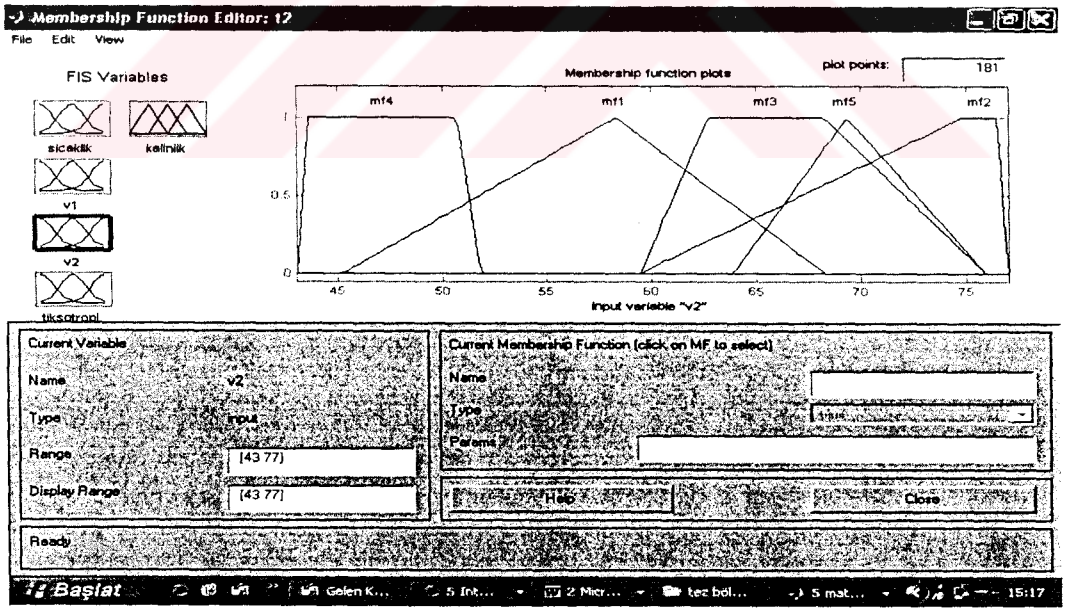
EK-2 Değişkenlere Ait Üyelik Fonksiyonları



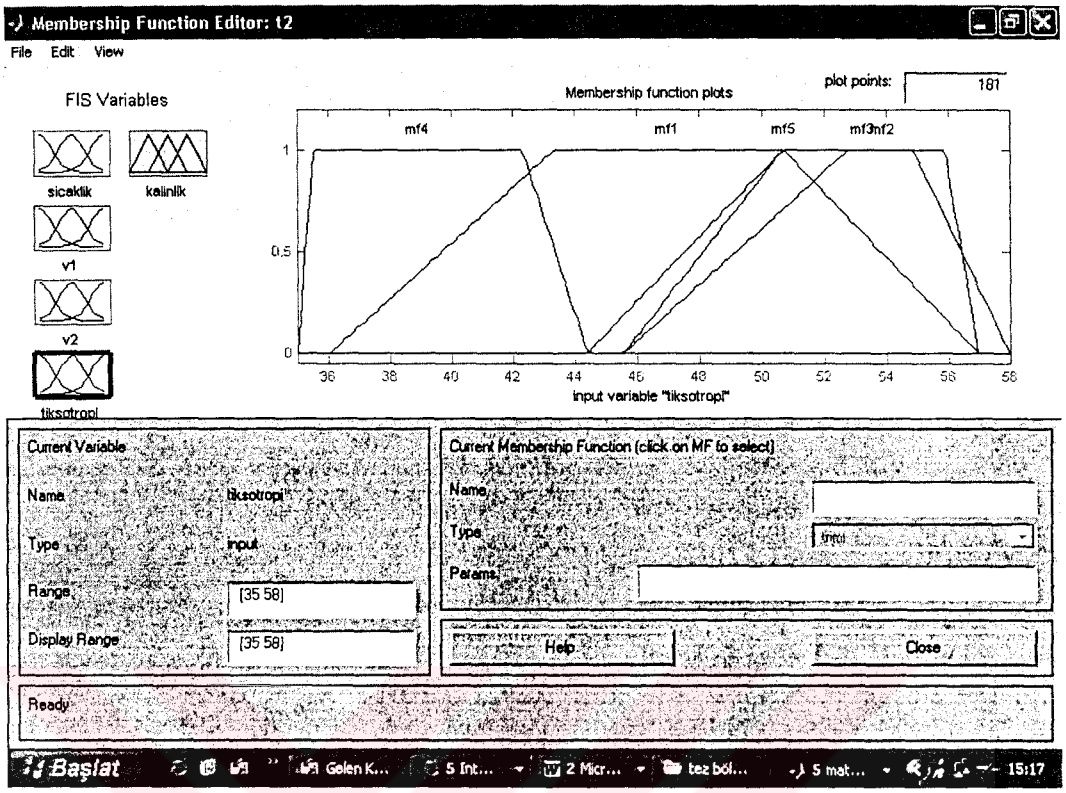
Sıcaklık üyelik fonksiyonları



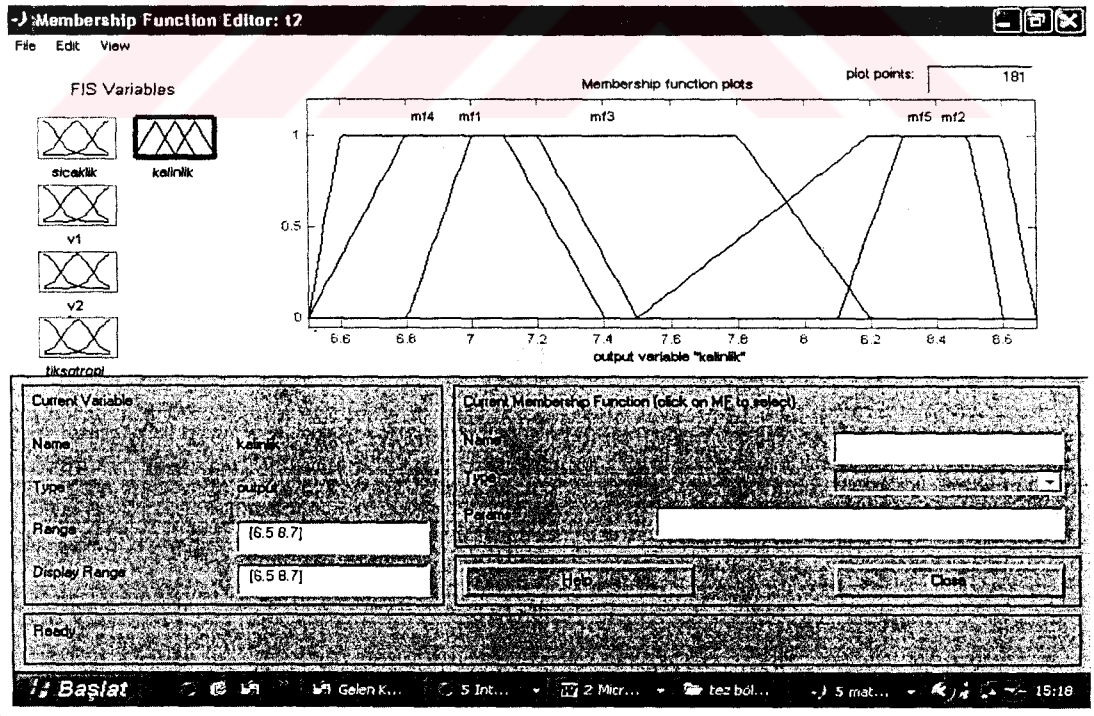
Viskozite1 üyelik fonksiyonları



Viskozite2 üyelik fonksiyonları



Tiksotropi üyelik fonksiyonları



Kalınlık üyelik fonksiyonları

EK-3 Veri dosyasını okutup sonuçları veren yazılım

```
a = readfis('t2')
load 'turkuaz.txt'
b = evalfis([turkuaz],a)
k=zeros (size(b));
i = find ((b >= 7.8) & (b <= 8.2));
k(i) = 1;
c = [b k]
```

EK-4 Modelden Elde Edilen Sonuçlar

s	V_1	V_2	t	k	Modele ait kalınlık sonuçları	0/1 Değeri	Kabul/ Red
26	28	53	47	6.7	7.0006	0	Red
26	28	53	47	6.8	7.0060	0	Red
26	29	55	47	7	7.0060	0	Red
26	30	55	45	7	7.0060	0	Red
27	28	55	49	6.8	7.0060	0	Red
27	29	57	49	7.2	7.0060	0	Red
27	30	57	47	7.2	7.0060	0	Red
27	29	57	49	7.1	7.0060	0	Red
27	30	59	49	7.2	7.0060	0	Red
27	28	59	53	7	7.0060	0	Red
27	31	59	47	7.4	7.0060	0	Red
27	29	59	51	7.2	7.0060	0	Red
27	29	57	49	7	7.0060	0	Red
27	30	57	47	7.1	7.0060	0	Red
27	30	60	50	7.2	7.0060	0	Red
27	31	60	48	7.4	7.0060	0	Red
28	28	60	53	7.2	7.0060	0	Red
28	29	61	52	7.2	7.0060	0	Red
28	30	61	51	7.1	7.0060	0	Red
28	29	60	52	7	7.0060	0	Red
28	31	60	48	7.1	7.0060	0	Red
29	29	57	49	6.8	7.0060	0	Red
29	32	57	44	6.9	7.0060	0	Red
29	33	63	48	7.1	7.0720	0	Red
29	34	63	46	7.2	7.0280	0	Red
30	29	57	49	7.7	7.0060	0	Red
33	36	74	51	8.3	8.3260	0	Red
34	34	74	54	8.3	8.3480	0	Red
33	35	74	53	8.3	8.3480	0	Red
34	35	74	53	8.5	8.3480	0	Red
34	36	72	50	8.3	8.2820	0	Red
34	35	74	53	8.4	8.3480	0	Red
34	36	75	52	8.4	8.3700	0	Red
34	35	72	51	8.2	8.3040	0	Red
34	36	76	53	8.6	8.4140	0	Red
35	36	76	53	8.6	8.4140	0	Red
35	36	75	52	8.5	8.3700	0	Red
35	33	74	55	8.4	8.3480	0	Red
35	34	72	53	8.3	8.3040	0	Red
35	33	72	54	8.3	8.3040	0	Red

s	V_1	V_2	t	k	Modele ait kalınlık sonuçları	0/1 Değeri	Kabul/ Red
35	36	74	51	8.5	8.3260	0	Red
35	34	75	55	8.4	8.3700	0	Red
35	35	75	53	8.4	8.3920	0	Red
35	35	76	54	8.6	8.4140	0	Red
35	36	76	53	8.6	8.4140	0	Red
35	35	74	53	8.3	8.3480	0	Red
35	35	74	53	8.4	8.3480	0	Red
35	36	76	53	8.6	8.4140	0	Red
36	35	74	53	8.6	8.3480	0	Red
36	35	75	53	8.5	8.3920	0	Red
36	34	75	55	8.5	8.3700	0	Red
36	34	76	55	8.6	8.4140	0	Red
36	34	76	55	8.5	8.4140	0	Red
36	32	74	57	8.4	8.4140	0	Red
36	36	76	53	8.6	8.4140	0	Red
36	34	76	55	8.5	8.4140	0	Red
37	36	75	52	8.6	8.4140	0	Red
37	35	75	53	8.5	8.4140	0	Red
37	36	75	52	8.6	8.4140	0	Red
37	37	76	51	8.6	8.4140	0	Red
28	31	63	51	7.4	7.0060	0	Red
28	28	63	56	7.2	7.0060	0	Red
28	29	63	54	7	7.0060	0	Red
28	30	63	52	7	7.0060	0	Red
28	31	64	52	7.1	7.0280	0	Red
28	32	64	50	7.1	7.0280	0	Red
28	29	64	55	7	7.0060	0	Red
29	30	64	53	7.1	7.1380	0	Red
29	31	64	52	7	7.1380	0	Red
29	28	66	58	7	7.6000	0	Red
29	28	66	58	6.9	7.6000	0	Red
29	30	66	55	7.2	7.6660	0	Red
29	30	66	55	7.1	7.6660	0	Red
29	31	66	53	7.2	7.9520	1.0000	Kabul
29	33	66	50	7.4	7.9520	1.0000	Kabul
29	31	63	51	7.1	7.0720	0	Red
29	31	63	51	7	7.0720	0	Red
29	32	66	52	7.8	7.9520	1.0000	Kabul
30	30	63	52	7.8	7.1160	0	Red
30	31	66	53	7.9	8.0840	1.0000	Kabul
30	31	66	53	8	8.0840	1.0000	Kabul
30	31	68	54	8	8.2380	0	Red
30	32	68	53	8	8.2380	0	Red
30	32	68	53	8.1	8.2380	0	Red
30	31	66	53	7.9	8.0840	1.0000	Kabul

s	V_1	V_2	t	k	Modele ait kalınlık sonuçları	0/1 Değeri	Kabul/ Red
30	31	66	53	7.8	8.0840	1.0000	Kabul
30	29	63	54	7.6	7.1380	0	Red
30	30	66	55	7.8	8.0180	1.0000	Kabul
30	30	66	55	8	8.0180	1.0000	Kabul
30	31	68	54	8	8.2380	0	Red
30	31	68	54	8.2	8.2380	0	Red
30	31	68	54	8.3	8.2380	0	Red
31	30	66	55	8.1	8.1280	1.0000	Kabul
31	29	66	56	8	8.2380	0	Red
31	32	66	52	8.1	8.1280	1.0000	Kabul
31	28	63	56	7.9	7.3800	0	Red
31	29	66	56	7.9	8.2380	0	Red
32	30	66	55	8	8.3260	0	Red
32	29	63	54	8.2	8.4140	0	Red
32	28	63	56	8.1	8.4140	0	Red
33	30	68	56	8	8.3480	0	Red
33	30	66	55	7.9	8.3260	0	Red
23	28	45	38	6.5	6.8960	0	Red
23	28	45	38	6.6	6.8960	0	Red
23	29	46	37	6.6	6.8960	0	Red
23	30	47	36	6.7	6.9180	0	Red
24	28	47	40	6.5	6.9400	0	Red
24	28	47	40	6.6	6.9400	0	Red
24	29	46	37	6.5	6.9400	0	Red
24	29	46	37	6.7	6.9400	0	Red
24	29	49	41	6.8	6.9400	0	Red
24	30	49	39	6.8	6.9400	0	Red
24	30	49	39	6.7	6.9400	0	Red
25	29	49	41	6.6	7.0060	0	Red
25	29	50	42	6.8	7.0060	0	Red
25	29	50	42	7	7.0060	0	Red
25	29	51	43	7	7.0060	0	Red
25	30	51	41	7	7.0060	0	Red
25	30	51	41	6.8	7.0060	0	Red
25	30	52	42	7.1	7.0060	0	Red
25	30	53	43	7	7.0060	0	Red
26	28	51	45	6.6	7.0060	0	Red
29	35	68	49	7.6	8.1940	1.0000	Kabul
30	32	70	54	8.4	8.2380	0	Red
30	32	70	54	8.3	8.2380	0	Red
31	32	68	53	8.3	8.2600	0	Red
31	33	70	53	8.4	8.2600	0	Red
31	34	70	51	8.4	8.2820	0	Red
31	34	70	51	8.5	8.2820	0	Red
31	34	70	51	8.4	8.2820	0	Red

s	V_1	V_2	t	k	Modele ait kalınlık sonuçları	0/1 Değeri	Kabul/ Red
31	34	70	51	8.6	8.2820	0	Red
31	35	72	51	8.6	8.2820	0	Red
31	35	72	51	8.7	8.2820	0	Red
31	34	68	50	8.2	8.2600	0	Red
31	33	68	51	8.1	8.2600	0	Red
31	32	68	53	8	8.2600	0	Red
31	33	68	51	8.2	8.2600	0	Red
32	32	68	53	8.3	8.2600	0	Red
32	31	70	56	8.4	8.3480	0	Red
32	33	70	53	8.5	8.2820	0	Red
32	33	68	51	8.3	8.2600	0	Red
32	34	70	51	8.5	8.2820	0	Red
32	34	70	51	8.6	8.2820	0	Red
32	35	72	51	8.7	8.3040	0	Red
32	37	72	49	8.7	8.2600	0	Red
32	36	70	49	8.3	8.2600	0	Red
32	36	70	49	8.4	8.2600	0	Red
32	37	72	49	8.5	8.2600	0	Red
33	32	70	54	8.2	8.3040	0	Red
33	32	68	53	8.1	8.2600	0	Red
33	32	70	54	8.1	8.3040	0	Red
33	31	68	54	8	8.2820	0	Red
33	36	68	47	8.1	8.2160	0	Red
33	36	72	50	8.4	8.2820	0	Red
33	35	72	51	8.3	8.3040	0	Red
33	34	70	51	8.2	8.2820	0	Red
33	34	70	51	8.1	8.2820	0	Red
33	35	72	51	8.3	8.3040	0	Red
34	32	68	53	8.1	8.2600	0	Red
34	32	70	54	8.2	8.3040	0	Red
34	33	68	51	8	8.2600	0	Red
34	35	70	50	8.2	8.2820	0	Red
34	33	66	50	7.9	8.2600	0	Red
34	33	68	51	8	8.2600	0	Red
34	34	70	51	8.1	8.2820	0	Red
34	32	68	53	8.2	8.2600	0	Red
35	32	66	52	8.1	8.2600	0	Red
35	32	70	54	8.1	8.3040	0	Red

ÖZGEÇMİŞ

Feyza TANRIÖVEN GÜRBÜZ 24.Ağustos.1977 tarihinde Kayseri'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kayseri'de tamamladı. 1995 yılında Sami Yangın Anadolu Ticaret Lisesi'nde lise eğitimini tamamladı.

Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı ve 1999 yılında mezun oldu. Mezuniyetin ardından kısa bir süre özel bir işletmede planlama bölümünde görev yaptı. 2000 yılında Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde uzman olarak göreve başladı. Göreve başladıktan sonra Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

Halen Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde görev yapan Feyza GÜRBÜZ evli ve bir çocuk annesidir.

Adres: Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ
E-Mail: feyza@erciyes.edu.tr