ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TUZLU TOPRAKLARIN ISLAHI İÇİN BİR BULANIK UZMAN SİSTEM TASARIMI

Reşat MİKAİL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Matematik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

2007, 85 Sayfa

Jüri : Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Doç. Dr. Galip OTURANÇ

Bu çalışma tuzlu toprakların yıkanmasında suyun miktarını bulanık mantık yöntemiyle belirleyip toprak tipine göre en uygun miktarda su verip yıkamak amacı ile yapılmıştır.

Bu çalışmada tuzlu toprakların ıslahı, yani yıkama suyunun miktarının tahmini daha geniş boyutlarda, bulanık mantık yönteminin uygulanması ile incelenmiş ve gerekli ıslah tedbirleri detaylı olarak ortaya konmuştur.

Topraktaki toplam tuzluluk oranı ve tuzun türüne bağlı olarak tuzun yıkanması için verilecek su miktarının uzman bilgilerine dayanılarak belirlenmesi problemi geleneksel yöntemlere göre bir çok avantajları olan bulanık kontrol kullanılarak çözüme kavuşturulmaya çalışılmıştır. Suyun miktarının belirlenmesi için iki girişli ve bir çıkışlı bulanık uzman sistem tasarlanmıştır.

Çalışmanın ana kısmını oluşturan bulanık uzman sistem tasarımı için Matlab Fuzzy Logic Toolbox programı kullanılmıştır. Bulanık uzman sistem için giriş parametreleri olarak toprağın yıkanabilirlik katsayısı ve toplam tuzluluk oranı seçilerek, çıkarım mekanizması olarak "Mamdani" yöntemi, durulaştırma yöntemi olarak "Centroid" yöntemi kullanılmış, çıkış parametresi olarak da toprağı yıkamak için gereken suyun miktarı belirlenmiştir. Bir uzman yardımıyla tüm parametrelerin sayısal verileri bulanıklaştırılarak dilsel değişken olarak ifadeleri çıkartılmıştır. Bu

ifadelere göre bulanık kümeler ve kurallar oluşturulmuştur. Bu kümelerin ve bulanık kuralların ağırlık dereceleri matematiksel olarak ifade edilmiştir. Her bir parametrenin üyelik ve ağırlık derecelerine göre durulaştırması yapılarak kesin sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak da bulanık uzman sistem ile elde edilen sonuçlar literatürden alınan deneysel verilerle karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bulanık uzman sistem ile elde edilen sonuçların deney verileri ile % 98 oranında doğrulandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: bulanık mantık, uzman sistem, bulanık uzman sistem, tuzlu toprakların ıslahı, toprak tuzluluğu, yıkama suyu normu.

ABSTRACT

MS Thesis

DESIGN OF FUZZY EXPERT SYSTEM FOR RECLAMATION OF SALINE SOILS

Reşat MİKAİL

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mathematics

Supervisor : Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

2007, 85 Pages

Jury : Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Doç. Dr. Galip OTURANÇ

This study was conducted to determine the water norm in reclamation of saline soils with fuzzy expert system for giving the appropriate water norm for each type of soils.

In this study the prediction of water norm in reclamation of saline soils has been widely investigated with fuzzy expert systems and exposed the required reclamation precautions with details.

Determining problem of reclamation water norm, relating with total salinity and salinity type of soils based to expert's knowledge, tried to be solved with more advantageous method, fuzzy controller than traditional methods. Fuzzy expert system which has two inputs and one output has been designed to determine the water norm of reclamation.

To design the fuzzy expert system which is a main part of this study, Matlab Fuzzy Logic Toolbox software has been used. Saltiness coefficient and total salinty ratio of soils has been selected as a input parameters for fuzzy expert system. For output parameter, water norm for reclamation of soils has been selected. Mamdani's method has been selected as a inference method and "Centroid" method has been selected as a defuzzification method. All of digital values for input has been

fuzzificated with expert of the field and expressed as a linguistic variables. Fuzzy sets and fuzzy rules has been formed for these expressions. Gravity degree of these fuzzy sets and fuzzy rules has been expressed mathematically. Definite digital values has been obtained with defuzzifying each parameters based their membership and gravity degree. As a conclusion, result values concluded with fuzzy expert system has been compared with experimental values. These results have matched approximately 98 % with experimental values.

Key Words: fuzzy logic, fuzzy expert system, expert system, reclamation of soils, soil salinity, saline soils.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....i
ABSTRACT.....iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....x
1.GİRİŞ.....1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....4
2.1. Tuzlu Toprakların Islahında Kullanılan Geleneksel Yöntemler.....4
2.1.1. Basit - Mantıksal Modeller.....5
2.1.2. Olasılık Modelleri.....6
2.1.3. Teorik Modeller.....9
2.2. Yıkama Suyu Modellerindeki Parametrelerin Belirlenmesi.....11
3.BULANIK MANTIK.....14
3.1. Bulanık Mantık Kavramları.....15
3.2. Bulanık Mantığın Avantajları.....17
3.3. Bulanık Mantığın Dezavantajları.....18
3.4. Bulanık Kümeler ve İşlemler.....14
3.5. Üyelik Fonksiyonu.....23
3.6. Üyelik Fonksiyon Tipleri.....24
3.6.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....24
3.6.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu.....25
3.6.3. Gaussian Üyelik Fonksiyonu.....26
3.6.4. Çan Şekilli Üyelik Fonksiyonu.....26
3.6.5. Sigmoidal üyelik fonksiyonu.....27
3.6.6. S Üyelik Fonksiyonu.....27
3.6.7. Π Üyelik Fonksiyonu.....28
3.6.8. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları.....29
3.7. Sözel Değişkenler.....30
3.8. Bulanık Kural ve Çıkarım.....31
4.UZMAN SİSTEMLER.....33
4.1. Uzman Sistemlerin Genel Yapısı.....34
4.2. Uzman Sistemlerin Özellikleri.....37
4.3. Uzman Sistemlerde Alanın Özgüllüğü.....38
4.4. Uzman Sistemlere Duyulan Gereksinim.....38
4.5. Uzman Sistem Geliştirme.....39
5.BULANIK UZMAN SİSTEMLER.....41
5.1. Bulanık Uzman Sistemin Yapısı.....41
5.2. Bulanık Uzman Sistemin Kurulması.....44
5.3. Bulanıklaştırma Birimi.....45
5.3.1. Veritabanı.....47
5.3.2. Bulanık Kural Tabanı.....47
5.4. Çıkarım Birimi.....47
5.5. Çıkarım Yöntemleri.....49
5.5.1. Mamdani Yöntemi.....49

5.5.2. Larsen Yöntemi.....52
5.5.3. Tsukamoto Yöntemi.....53
5.5.4. TSK (Takagi-Sugeno-Kang) Yöntemi.....55
5.6. Durulaştırma Birimi.....57
5.7. Durulaştırma Yöntemleri.....58
5.7.1. En Büyüklerin Ortası.....59
5.7.2. Ağırlık Merkezi (Alan Merkezi) Yöntemi.....60
5.7.3. Ortalama Merkezi.....61
5.7.4. İki Bölümlü Alan (Açıortay) Yöntemi.....61
5.7.5. En Büyük Üyelik Yöntemi.....61
5.7.6. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi.....62
5.7.7. Toplamların Merkezi.....63
5.7.8. En Büyük Alanın Merkezi.....63
5.7.9. En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi.....64
5.7.10. Diğer Durulaştırma Yöntemleri.....64
5.8. Bulanık Uzman Sistem Geliştirme Yazılımları.....65
6.TUZLU TOPRAKLARIN ISLAHI İÇİN BİR BULANIK UZMAN SİSTEM TASARIMI.....67
6.1. Bulanıklaştırma.....68
6.2. Bulanık Kurallar.....74
6.3. Çıkarım Mekanizması.....75
6.4. Durulaştırma.....76
7.SONUÇ VE ÖNERİLER.....82
8.KAYNAKLAR.....83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Laboratuar ortamında deney yıkaması için oluşturulan toprak kolonu (Monolit).....12
Şekil 2.2. Arazi ortamında deney yıkanması için oluşturulan toprak parseli.....13
Şekil 3.1. Bulanık (a) küme ile klasik (b) kümenin karşılaştırılması.....19
Şekil 3.2. "Yavaş", "Orta" ve "Hızlı" bulanık kümeleri.....19
Şekil 3.3. Bulanık kümelerde birleşme işlemi.....20
Şekil 3.4. Bulanık kümelerde kesişme işlemi.....21
Şekil 3.5. Bulanık kümelerde tümleme işlemi.....22
Şekil 3.6. A ve A^C bulanık kümelerin [0,1] aralığındaki eğrisi.....23
Şekil 3.7. Üyelik fonksiyonlarının gösterimi (a) Üçgen, (b) Yamuk, (c) Gaussian, (d) Çan şekilli.....25
Şekil 3.8. Sigmoidal (a) ve S (b) üyelik fonksiyonunun gösterimi.....27
Şekil 3.9. Π_1 üyelik fonksiyonunun gösterimi.....28
Şekil 3.10. Π_2 üyelik fonksiyonunun gösterimi.....28
Şekil 3.11. Dışbükey (a) ve içbükey (b) küme üyelik dereceleri.....30
Şekil 4.1. Bir uzman sistemin genel yapısı.....35
Şekil 5.1. Bulanık uzman sistemin genel yapısı.....43
Şekil 5.2. Bulanıklaştırma fonksiyonu: bulanık tekillik değeri.....46
Şekil 5.3. Mamdani çıkarım yöntemi.....51
Şekil 5.4. Larsen çıkarım yöntemi.....53
Şekil 5.5. Tsukamoto çıkarım yöntemi.....55
Şekil 5.6. TSK (Takagi-Sugeno-Kang) çıkarım yöntemi.....56
Şekil 5.7. En büyüklerin ortası yöntemi ile durulaştırma.....60
Şekil 5.8. Sentroid yöntemi ile durulaştırma.....60
Şekil 5.9. En büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma.....62
Şekil 5.10. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma.....62
Şekil 5.11. En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma.....64
Şekil 5.12. Durulaştırma tiplerinin grafiksel gösterimi.....65
Şekil 6.1. Geliştirilen bulanık uzman sistemin yapısı.....67
Şekil 6.2. α katsayısının üyelik fonksiyon grafiği.....70
Şekil 6.3. Toplam tuzluluk oranının üyelik fonksiyon grafiği.....71

Şekil 6.4. Yıkama suyu miktarının üyelik fonksiyon grafiği.....73
Şekil 6.5. Sentroid durulaştırıcı ile bulanık uzman sistem sonucu.....77
Şekil 6.6. İki kuralın aynı anda ateşlendiği durum.....78
Şekil 6.7. Dört kuralın aynı anda ateşlendiği durum.....79
Şekil 6.8. BUS ve deney sonuçlarının korelasyonu.....81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Toprakların başlangıç tuzlaşmasına, tuzlaşma tiplerine ve mekanik bünyesine göre toprakların yıkanabilirlik katsayısı değerleri.....8
Çizelge 6.1. α – Toplam Tuzluluk – Yıkama Suyu parametrelerinin dilsel olarak ifadeleri.....74
Çizelge 6.2. Geliştirilen bulanık uzman sistem için oluşturulan kurallar.....74
Çizelge 6.3. Deney verileri ile geliştirilen BUS sonuçlarının karşılaştırılması.....80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μ	Üyelik fonksiyonu
λ	Doğruluk derecesi
[0,1]	0 ve 1 arasında sonsuz değer aralığı
max	Maksimum operatörü
min	Minumum operatörü
EB	Maksimum operatörü
EK	Minumum operatörü
$\otimes$	Max-min çarpma
Λ	Ve işlemi
V	Veya işlemi
$\cup$	Birleşim işlemi
$\cap$	Kesişim işlemi
σ	Fonksiyon genişliği
$\circ$	Bileşke işlemi
$\bullet$	Çarpım işlemcisi
$\rightarrow$	Koşul önermesi
$\perp$	T-conorm
BM	Bulanık Mantık
US	Uzman Sistem
BUS	Bulanık Uzman Sistem
ÇM	Çıkarım Motoru

1.GİRİŞ

Son yıllarda yapay zekanın alt bileşenlerinin birleşiminden oluşan çeşitli kombinasyonlar bilim ve endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
Yapay zeka uygulamalarında geniş kullanılmakta olan bulanık mantık, insan düşünce şekli ve sözel ifadelerle bilgiyi işleyebilme imkanı sağlamasıyla yepyeni bir kapıyı açarken, bilimsel yöntembilimde de neredeyse 2500 yıllık bir çatı olan, Aristoteles mantığının konumunu da sarsmıştır (Baykal 2004 b).

Bulanık mantık; ikili mantık sistemine karşı geliştirilen ve günlük hayatta kullandığımız değişkenlere üyelik dereceleri atayarak, olayların hangi oranlarda gerçekleştiğini belirleyen çoklu mantık sistemidir.

Günümüzde kontrol teknolojisi geleneksel kontrol tekniklerinden matematik modellere dayanan kontrol teknikleri ve bilgi tabanlı zeki kontrol tekniklerine doğru hızla yol almaktadır. Bulanık sistemler bir süreci modellemek için kullanılırsa; bu modele dayanarak tasarlanan kontrolörler bulanık kontrolörlerdir. Bulanık kontrolün temel avantajları sistemin matematiksel formülasyona ihtiyaç duymaması, tam olmayan eksik nesnelerin tanımlanması ve çok amaçlı kontrolün başarılmasında kullanılan dilsel değişkenler ve yaklaşık çıkarımdır. Klasik kontrol teorisinde sistemin yapısını açıklayan bilgiler, kesin değerler halinde verilir. Kontrol stratejisinin temelini; sisteme ait bilgilerle sistem değişkenleri arasında ilişkiler oluşturur. Klasik kontrol, sürecin matematiksel bir modeli ile başlar ve kontrolör de bu modele göre tasarlanır. Bulanık kontrol ise bir insanın uzmanlığına (eğer – o halde kuralları yapısında) ya da gözlemlerine dayanır ve kontrolör bu kurallar sentezinden yola çıkılarak tasarlanır. Klasik ve modern kontrol teorisinde olduğu gibi kesin ve tam matematik modellere ihtiyaç duymaz. Denetlemesi zor olan karmaşık süreçlerde (çimento ocakları, çelik fırınları, çöp işleme fabrikaları gibi), bulanık kontrolü kullanmak zorunlu hale gelmektedir (Çobanoğlu 2007).

Bulanık uygulamalar hakkında araştırmalar devam etmekle birlikte son yıllarda araştırmalar bulanık uzman sistemleri ve bulanık mantığın yapay sinir ağları ile birleştirilmesi konularında yoğunlaştırılmaktadır. Bulanık mantığın yapay sinir

ağları ile birleştirilmesi sonucunda "öğrenme" yeteneğine sahip bulanık kontrol sistemlerine ulaşılmak istenmektedir (Nabiyev 2005).

Yıkama suyu normunun belirlenmesi, tuzlu toprak ıslahı teorisinin ve pratiğinin önemli problemlerinden biridir. Bir çok teorik, deneysel ve yerel araştırmanın esas hedefi, yıkama suyu normunun hesaplanması için gerekli fonksiyonel bağıntıların bulunmasıdır.

Bu çalışma ile tuzlu toprakların ıslahı, yani yıkama suyunun miktarı, verilme zamanı ve tuz konsantrasyonundaki değişimin tahmini daha geniş boyutlarda (bulanık mantık yönteminin uygulanması ile) incelenmiş ve gerekli ıslah tedbirleri detaylı olarak ortaya konmuştur.

Dünya nüfusunun hızla artması ve onların gıda ihtiyacının karşılanması için tarımsal üretiminin artırılması zorunluluk arz etmektedir. Birim alandan elde edilen ürünün artırılmasında nasıl iyi cins tohumluk kullanımı, gübreleme, zirai mücadele v.b. önemli ise bitki gelişimini sınırlayıcı etmenlerin ortadan kaldırılması, yani bitki yetişme ortamının düzeltilmesi (ıslah) de büyük önem taşımaktadır. Bitki gelişimini sınırlandıran en önemli etmenlerden biri de bitki kök bölgesinde birikmiş fazla tuzlardır.

Dünyada toplam arazilerin yaklaşık 950 milyon hektarında tuzluluk problemi mevcut olup bu da tarım yapılan arazilerin yaklaşık % 33'üne eşdeğerdir (Rowel 1994, Lal ve Stewart 1990).

Tuzlaşma; özellikle kurak ve yarı-kurak yani yıllık toplam yağış miktarının toprağın bitki kök bölgesinde birikmiş tuzları yıkamak için yeterli miktarda olmadığı bölgelerde yaygındır. Doğu Anadolu gibi bölgelerde de tuzlulaşmanın kaynağı, aşırı buharlaşma ve taban sularının derin olmamasıdır. Be sebeple, yörede tuzlu toprakların ıslahı zorunluluk arz etmektedir (Dorsan 1998).

Tuzlu toprakların ıslahının başarılı olabilmesi için profildeki mevcut tuzluluğun ve yıkama sonucunda topraktaki tuz değişiminin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca tuzlu toprakların ıslahının etkinliği ıslah edilecek arazilerin su-tuz rejiminin iyi bir şekilde analiz edilmesi ile mümkündür.

Dünyanın özellikle kurak ve yarı kurak (Konya ve Doğu Anadolu Bölgesi gibi) bölgelerinde yıllık toplam yağış miktarı, aşırı buharlaşma ve yüzeye yakın taban sularının bitki kök bölgesinde birikmesine sebep olduğu çözünebilir tuzları yıkamaya

yeterli düzeyde değildir. Bu sebeple, arazi ıslah çalışmalarında topraktaki mevcut olan tuzluluk probleminin bilinmesi ve yıkama sonucundaki tuz değişiminin doğru olarak tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır (Mikayilov 1998).

Ayrıca son yıllardaki küresel ısınma kullanılabilir su miktarını önemli ölçüde azaltmakta ve bundan dolayı tuzlu toprakların ıslah çalışmalarında verilen suyun miktarının optimize edilmesi problemi de günümüzde çok aktüel olmaktadır.

Böylece, bu çalışmada topraktaki toplam tuzluluk oranı 3ve tuzun türüne bağlı olarak tuzun yıkanması için verilecek su miktarının uzman bilgilerine dayanılarak belirlenmesi problemi geleneksel yöntemlere göre bir çok avantajları olan bulanık kontrol kullanılarak çözüme kavuşturulmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde kaynak araştırması yapılmış olup, konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde bulanık mantık ve küme kavramları verilmiş, bunlarla ilgili özellikler ve diğer kavramlar ele alınarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde uzman sistemler konusu işlenmiş, beşinci bölümde ise bulanık uzman sistemlerin genel yapısı ve oluşturulması ele alınmıştır. Altıncı bölümde tuzlu toprakların yıkanmasında gereken su miktarının bulanık uzman sistem ile tahmin edilmesi çalışması yapılmıştır. Tarımsal sistemlerde topraktaki toplam tuzluluğun oranına ve toprağın yıkanabilirlik katsayısına göre toprağı yıkamak için gereken suyun miktarı önem taşımaktadır. Bu nedenle suyun miktarının belirlenmesi için iki girişli ve bir çıkışlı bulanık uzman sistem tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar deney verileri ile karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra sonuç ve öneriler kısmı, sonra da kaynaklar kısmı yer almaktadır.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çevre problemlerini göz ardı etmeden, toprak ıslahının gelişimi temel bilimsel gerekçeler esas alınarak yapılmalıdır. Tuzlaşmış toprakların ıslah edilmesi, su kaynaklarının rasyonel kullanılması ve sulanan arazilerin su-tuz rejimlerinin düzenlenmesi temel bilimsel gerekçeleri oluşturmaktadır.

Bu problemlerin çözümü ıslah edilmiş toprakların su-tuz rejiminin tahminine bağlıdır. Günümüzde topraklarda tuz hareket teorisi esas alınarak, bu rejimlerin tahminini sağlayacak matematik modellerin hazırlanması önem arz etmektedir. Ancak, toprakların su-tuz rejiminin (tuz hareketinin tahmininin, yıkama suyu normunun ve süresinin) hesaplaması için kullanılan yöntemlerin yeterli olmadığından, bu yöntemlerin incelenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, toprak profilinde tuz hareketinin tipik ve önemli özelliklerini yansıtan, daha mükemmel matematik modellerin hazırlanması ve uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

2.1. Tuzlu Toprakların Islahında Kullanılan Geleneksel Yöntemler

Yıkama suyunun miktarının ve uygulama süresinin hesaplanması, tuzlu toprakların ıslahı teorisinin önemli sorunlarından biridir. Bir çok deneysel ve teorik araştırmalardaki temel amaç, yıkama suyu miktarının hesaplanması için bilinen Hidrodinamik yasalara uygun olarak fonksiyonel bir formülün tespit edilmesidir. Dünyada ıslah konusunda çalışan bilim adamları çalışmalarının büyük bölümünü bu konuya ayırmışlardır. Günümüze kadar araştırmacılar pek çok sayıda formül kullanımını önermişlerdir. Bu konu üzerine bir çok toprak-ıslah bilim adamı araştırmalar yapmış ve yirminin üzerinde formül önermişlerdir. Tüm bu formüller, elde edilmesine göre üç temel grup altında toplanabilir. Bunlar;

Araştırma konusu ile ilgili kaynaklar tuzlu toprakların yıkanmasında kullanılan geleneksel yöntemler ile ilgili bazı çalışmalar başlıkları altında toplanarak özetlenmiştir.

2.1.1. Basit - Mantıksal Modeller

Bu gibi modeller, yıkamanın başarısını etkileyen temel faktörleri ayrıntılı bir biçimde göz önüne almadan, topraklarda sadece tuz hareketini kabaca analiz etmişlerdir. Yıkama suyu miktarını $\left(N_y\right)$ belirlemek için kullanılan bu modeller genel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Volobuyev 1948, Kostyakov 1960, Kovda 1973, Beybudov 1977):

$$N_y=(\Pi - W)+N_v=N_n+N_v \qquad (2.1)$$

Eşitlikte;

$N_n = (\Pi - W)$ – yıkama yapılacak derinlikteki boş olan gözenekleri tamamen dolduracak su miktarı, (m^3 / ha),

Π – toprağın su tutma kapasitesi, (m^3 / ha),

W – yıkamadan önce topraktaki su miktarı, (m^3 / ha),

N_v – çözünmüş tuzların yıkanması için gerekli su miktarı, (m^3 / ha).

N_n değerinin hesaplanması oldukça kolay olmasına rağmen, N_v değerinin bulunması oldukça zordur ve çok sayıda faktörlere bağlıdır.

Kostyakov (1960) N_v değerinin bulunmasında aşağıdaki eşitliğin kullanılabileceğini bildirmiştir:

$$N_v = \frac{S_0 - S_t}{k} \qquad (2.2)$$

Eşitlikte;

S_0 ve S_t – hesaplanması istenen toprak derinliğindeki yıkamadan önceki ve sonraki tuz miktarı, (ton / ha),

k – toprak özelliklerine, yıkanması gereken tuzların miktar ve karakterlerine bağlı katsayıdır.

Kovda (1973), N_v değerinin bulunmasında toprakların mekanik içeriğinin, ilkin tuzluluğun derecesini, taban sularının seviyesini ve içerdiği tuzluluğu göz önüne alan aşağıdaki eşitliğin kullanılabileceğini önermiştir:

$$N_v \; N_v = k_1 k_2 k_3 k_4 S_0 \cdot 400 \pm 100\, mm \qquad (2.3)$$

Eşitlikte;

$k_1 -$ toprağın mekanik içeriğini dikkate alan katsayıdır (örneğin, kumlu topraklar için: $k_1 = 1$ ve killi topraklar için $k_1 = 3$ dür),

$k_2 -$ taban sularının derinliğini (h) dikkate alan katsayıdır (örneğin, $h > 5$ için: $k_2 = 1$ ve $h < 5$ için $k_2 = 2...3$ dür),

$k_3 -$ taban suyunun tuz içeriğini dikkate alan katsayıdır (örneğin, taban suları tuzsuz ise: $k_1 = 1$ ve tuzlu ise $k_3 = 2...3$ dür),

$k_4 -$ tazyikli yer altı suların olmasını dikkate alan katsayıdır ($k_4 = 1...1,5$),

$S_0 -$ yıkamadan önceki tuz miktarı, (m^3 / ha).

2.1.2. Olasılık Modelleri

Bu grup modeller çok miktarda yıkama denemeleri sonuçlarının istatistiksel analizleri sonucundan elde edilirler (Reeve ve ark. 1955, Çerkasov 1958, Volobuev 1959, 1975, Minaşina 1973, Haydarov 1985) ve genel olarak deneysel (ampirik) modeller olarak adlandırılırlar.

Bu modellerden ıslah çalışmalarında en çok kullanılanları aşağıda verilmiştir. Reeve ve ark. (1955) tarafından önerilen deneysel model aşağıdaki şekildedir:

$$N_v = \frac{R}{5}\left(\frac{S_0}{S_t} + \frac{3}{4}\right) \qquad (2.4)$$

Eşitlikte; $R -$ yıkanacak toprak derinliğini göstermektedir, (m).

N_v değerinin bulunmasında Çerkasov (1958) tarafından geliştirilen model, topraktaki ilkin tuzluluğun yanı sıra, toprağın önemli parametreleri olan - tam ve minimal nemliyi de içeriyor:

$$N_v = \frac{\Pi - W_0}{\log(\Pi / W_0)} \log\left(\frac{S_0}{S_t}\right) \tag{2.5}$$

Eşitlikte;

W_0 – yıkamadan önce topraktaki minimal nemlik, (m^3 / ha).

Minaşina (1973) tarafından önerilen modelde ise yıkama suyunun tuz içeriği de göz önüne alınmaktadır:

$$N_v = \frac{\Pi - W_0}{\log(\Pi / W_0)} \log\left(\frac{S_0}{S_t - C_\Pi}\right) \tag{2.6}$$

Panin (1968) tarafından geliştirilmiş model, tuzlu toprak arazilerinde yapılan pek çok sayıda parsel yıkama deneyleri verilerine dayanarak elde edilmiştir:

$$N_v = 2,3k\ \Pi \log\left(\frac{S_0}{S_t}\right) \tag{2.7}$$

Eşitlikte;

k – topraktaki tuzların kimyasal bileşenlerine bağlı olan katsayıdır.

Bir metrelik toprak katmanının yıkanması için gereken su miktarının, yani N_v değerinin bulunması için, çok sayıda arazi koşullarındaki parsel ve laboratuar ortamındaki monolit (toprak kolonu) yıkamaları sonucunda elde edilen verilere dayanarak Volobuyev (1948, 1959, 1975) tarafından geliştirilen ve tuzlu toprakların ıslahında en çok tercih edilen deneysel model aşağıdaki biçimdedir:

$$N_v = \alpha \log\left(\frac{S_0}{S_t}\right) \tag{2.8}$$

Eşitlikte;

α – toprakların yıkanabilirlik katsayısı, (m),

S_0 – yıkamadan önce toprağın ortalama tuz konsantrasyonu, (%),

S_t – yıkamadan sonra toprağın ortalama tuz konsantrasyonudur, (%).

Bu model, farklı mekanik bünyeli (kumlu, tınlı, killi ve tınlı, tuz vermelerinin oldukça az, az ve orta seviyede ola bilen) topraklar sınıflarına, ayrıca bu toprakların eriyebilen (klorlu, sülfatlı-klorlu, klorlu-sülfatlı) tuz bileşenlerine göre uygulanabilir biçimdedir.

(2.8) nolu modeldeki $\alpha-$katsayısının ($R=1\,m$ için) değerleri, Volobuyev (1959) tarafından, Orta Asya ve Azerbaycan'ın tuzlu topraklarında pek çok sayıda yapılan tarla ve laboratuar deneyleri sonuçlarına istatistik yöntemin uygulanması ile hesaplanmıştır. Bu değerler farklı toprak sınıfları ve onların tuz içeriğine göre değişmektedir. Bu değişim Çizelge 2.1.'de ifade edilmektedir.

Çizelge 2.1. Toprakların başlangıç tuzlaşmasına, tuzlaşma tiplerine ve mekanik bünyesine göre toprakların yıkanabilirlik katsayısı değerleri

No	Yıkanabilirlik derecesine göre toprak tipleri	**Tuzlaşma içeriklerine göre toprak tipleri**		
		klorlu, $Cl=40-60\%$ kuru kalıntının	sülfatlı-klorlu, $Cl=25-35\%$ kuru kalıntının	klorlu- sülfatlı, $Cl=10-20\%$ kuru kalıntının
		0 -1 ($м$) katmanındaki kullanılabilir tuz miktarı, %		
		$S_t=0,2$	$S_t=0,3$	$S_t=0,4$
		Yıkanabilirlik katsayısı		
I	Kolay yıkanabilir kumlu Topraklar	$\alpha=0,62$	$\alpha=0,72$	$\alpha=0,82$
II	Orta derecede yıkanabilir tınlı topraklar	$\alpha=0,92$	$\alpha=1,02$	$\alpha=1,12$
III	Killi, tınlı ve tuz vermesi orta topraklar	$\alpha=1,22$	$\alpha=1,32$	$\alpha=1,42$
IV	Killi, tınlı ve tuz vermesi az olan topraklar	$\alpha=1,80$	$\alpha=1,90$	$\alpha=2,10$
V	Killi, tınlı ve tuz vermesi çok az olan topraklar	$\alpha=2,70$	$\alpha=2,80$	$\alpha=3,0$

Haydarov (1984), (2.8) nolu modeli daha da geliştirerek, onu $R>1\,m$ toprak katmanlarındaki eriyebilen tuzların ıslahı için, aşağıdaki modeli teklif etmiştir:

$$N_v=\alpha\left[\log\left(\frac{S_0}{S_t}\right)+\frac{R}{\rho}\right] \tag{2.9}$$

Eşitlikte; $\rho-$yıkama suyunun filtrasyon (sızma hızı) katsayısıdır.

Her iki grup modelde de genellikle sabit bir (k veya α- gibi) katsayı vardır ki, onlar da toprağın ve tuzun özelliklerine bağlıdır. Bu sabit katsayılar toprakta su-tuz arasında oluşan çeşitli ilişkileri, tuzların toprak katmanlarında dağılımını ve toprak özelliklerini (mekanik ve fiziki-kimyasal) göz önüne almamaktadır. Bu

sebeplerden dolayı, söz konusu modellerin yıkamada uygulanabilmesi, sadece bu eşitliklerin ıslahı yapılacak toprak şartlarında kullanılması ile mümkün olacaktır.

Volobuyev'in modelinin diğerlerinden önemli farkı ve ıslah işlemlerinde tercih edilmesinin başlıca nedeni, formülündeki α parametresinin tarımsal toprakların her çeşidini ve tuzluluk içeriğini ihtiva etmesidir.

Lakin ister Volobuyev'in isterse de diğer formüllerin genel olarak teorik esasa dayanmadığı ve hatta bu tür topraktaki çeşitli kimyasal proseslerin mekanizmasının göz ardı edilmesidir.

Bu nedenle, jeokimyasal hidrodinamiğin temel ilkeleri ve metotlarına dayanarak yıkama suyu normunun (N_v) hesaplama yöntemlerinin hazırlanması oldukça önem arz etmektedir.

2.1.3. Teorik Modeller

Bu grup modeller Jeokimyasal ve Hidrodinamik metot ve prensiplere dayanarak elde edilirler. Çok sayıdaki laboratuar ve arazi araştırmaları, teorik incelemeler ve bilimsel literatür sonuçları göstermiştir ki, çözünmüş tuzların topraklardan yıkanmasını "Piston hareketi" olayı (I ve II grup modellerde olduğu) gibi ele almak doğru değildir. Toprakta su ve tuzların hareketi bileşik fiziki-kimyasal işlem olarak:

- tuzların topraktaki (sulama ve yeraltı suları da dahil) miktarına ve dağılımına,
- gözeneklerin karakterlerine (tabiat ve niteliğinden),
- gözeneklerdeki suyun hareket hızına,
- çözünmüş tuzların (moleküler ve konvektif) difüzyonuna,
- toprağın sıvı ve katı fazları arasında oluşan iyon alışverişine ve başka pek çok sayıda faktörlere bağlıdır.

Dolayısıyla, tuzlu toprakların ıslahının daha detaylı olarak bilimsel yönden incelenmesi, teorik modellerin temelleştirilmesi, ancak gözenekli ortamda madde hareket mekanizmalarının daha derin araştırılması ile belirlenebilir.

Bu gün toprak biliminde ortaya çıkan ıslah problemlerini çözmek, matematiksel modelleme kullanmadan mümkün değildir.

50'li yıllardan beri tuzlu toprakların ıslahı için gerekli su miktarının ve yıkama zamanının belirlenmesi için jeokimyasal-hidrodinamik yöntemlerin kullanımı ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Tuzların çözünmesini ve hareketini ifade eden kısmı türevli diferansiyel denklem sisteminin çeşitli başlangıç ve sınır koşullarındaki genel çözümüne:

$$S(R,t) = \Phi\left(R, t, m_0, D, v, \gamma, \beta, S_0, S_1, S_2, S_3, N_0\right) \tag{2.10}$$

dayanarak yıkama suyunu $\left(N_v\right)$ belirleyecek çok sayıda teorik modeller elde edilmiştir (Brenner 1962, Averyanov 1978, Verigin 1979, Van Genuchten 1981, Bresler ve ark.1982, Mikayilov 2003, 2007, Pachepsky 1990, Jury ve ark. 1991).

Genel olarak yıkama suyu miktarının belirlenmesi için geliştirilen teorik modellerin matematiksel şekli kapalı fonksiyon olarak şu şekilde yazılabilir;

$$N_v = \theta \cdot R \cdot \tau(R) \tag{2.11}$$

Eşitlikte;

$\theta -$ yıkanması gereken toprak derinliğinde ortalama nemlik (%),

R – yıkanacak toprak derinliği, (m),

$\tau(R) -$ konvektif difüzyon denkleminin genel çözümünü (2.10) kullanılarak;

1) toprağın daha fazla homojen veya daha fazla heterojen yapıda,

2) taban suyunun toprak yüzeyine yakın veya daha derinde ,

3) topraktaki tuzların yıkanmasının:

kolay (kloridler- NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$,sülfatlar - Na_2SO_4, $MgSO_4$, bikarbonatlar - $NaHCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$,$NaHCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$ ve soda Na_2CO_3)

orta (cips-$CsSO_4 2H_2O$) veya

zor ($MgCO_3$, $CaCO_3$)

olmasına bağlı olarak çeşitli eşitliklerden bulunabilir.

Jeokimyasal hidrodinamiğin temel ilkeleri ve metotlarına dayanarak, taban suyunun toprak yüzeyine yakın olduğu durumda ve topraktaki kolay çözünebilen tuzların daha fazla olduğu şartlarda uygulanacak yıkama suyunun miktarı için aşağıdaki teorik model (Verigin ve ark. 1986) geliştirilmiştir:

$$\mathrm{N}_v = \left(\frac{\theta\eta L}{\lambda_1^2 + \eta^2}\right)\left\{\ln\left(\frac{S_0 - S_1}{S_t - S_1}\right) + \ln\left[\frac{\sin(2\lambda_1)\sin(2a\lambda_1)}{2a(\lambda_1^2 + \eta^2 + \eta)}\right]\right\} \tag{2.12}$$

Eşitlikte; $T = \frac{N_v}{v}$, $\eta = \frac{vL}{4D}$, $\tau = \frac{vt}{m_0 L}$, $0 < \mathrm{a} = \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}} < 1$

S_0 , S_t – toprağın yıkamadan önceki ve sonraki tuz konsantrasyonu, (%);

S_1 – yıkama suyunun tuz konsantrasyonu, (%),

$D = D_m + \lambda v$ – konvektif difüzyon parametresi, (m^2 / s),

D_m – moleküler difüzyon parametresi,(m^2 / s),

λ – hidrodinamik dispersiyon parametresi ,(m),

v – gözeneklerdeki çözeltinin infiltrasyon hızı, (m/s),

θ – yıkanması gereken toprağın ortalama nemliği, (%),

t – yıkama süresi, (s),

R – yıkanacak toprak derinliği, (m),

L – taban suyu derinliği,(m)

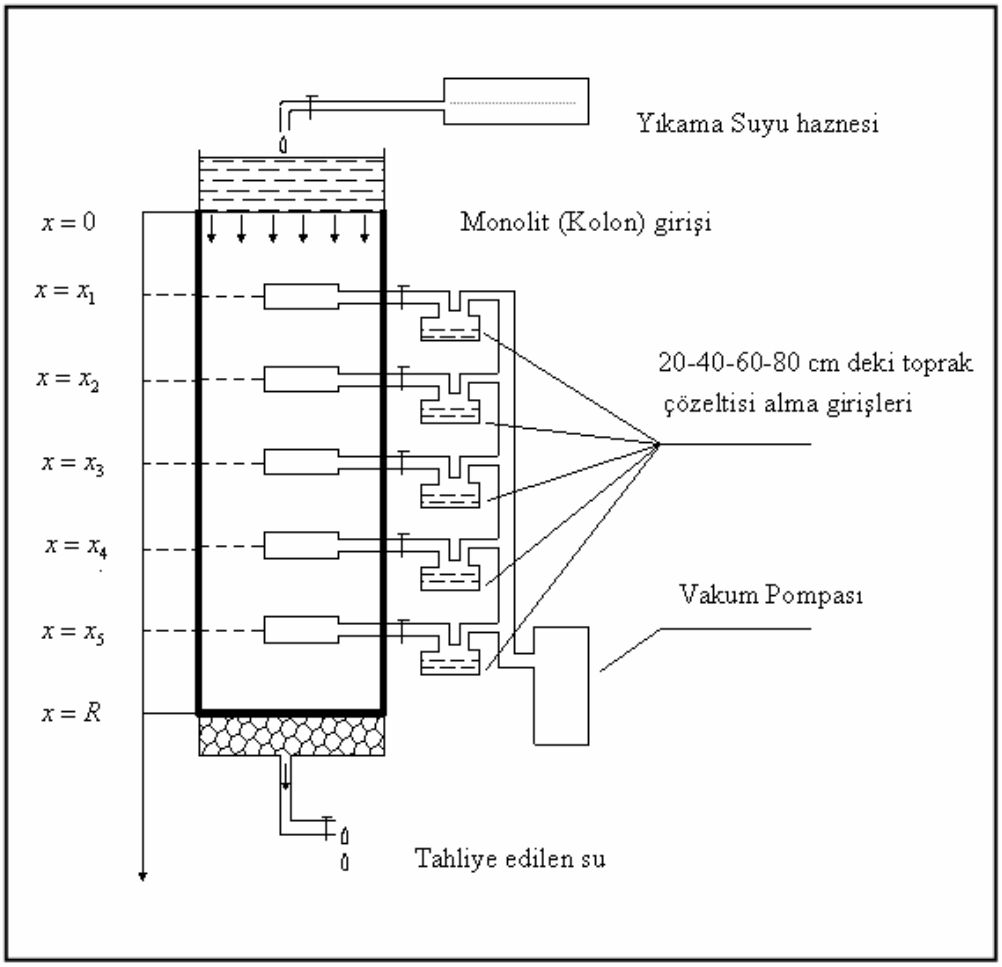
λ_1 – trigonometrik denklemin: $\eta \operatorname{ctg}(\lambda_1) = \lambda_1$ köküdür ve değerleri η parametresinin farklı değerleri için kolayca hesaplana bilir.

2.2. Yıkama Suyu Modellerindeki Parametrelerin Belirlenmesi

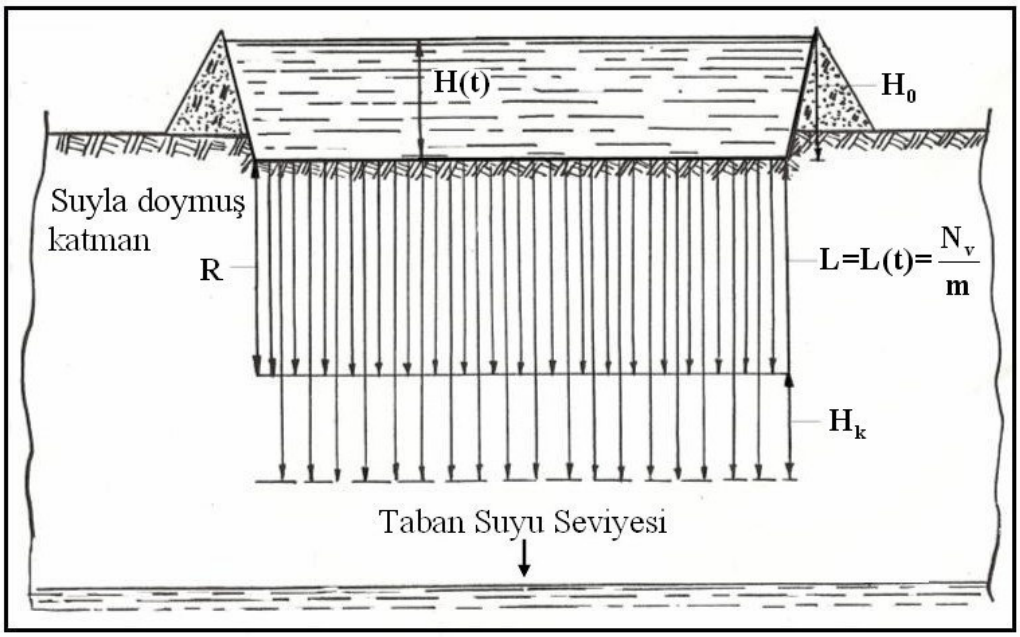
Yukarıda açıklanan yöntemlerin hepsi için tuzlaşmış tarımsal alandan arazini karakterize edecek 3-5 adet 3 x 3 m boyutunda olan parsel yıkama deneyleri yapılır.

Bunun yanı sıra laboratuar ortamında da 0,2 x 0,2 x 1,0 m boyutunda toprak kolonlarında yıkama deneyleri yapılır.

Bu yıkama deneyleri sırasıyla Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Laboratuar ortamında deney yıkaması için oluşturulan toprak kolonu (Monolit)



Şekil 2.2. Arazi ortamında deney yıkanması için oluşturulan toprak parseli

Toprağın yukarıdaki açıklanan şekilde deney yıkamaları toprağın bünyesine ve tuz içeriğine bağlı olarak ortalama 20 – 60 gün devam edebilir.

Deneme sonuçlarından elde edilen verileri kullanarak ister deneysel isterse de teorik modellerin içerdiği parametrelerin (örneğin, yıkanabilirlik katsayısı olan α, vb.) değerleri belirlendikten sonra ıslah için tercih edilen modelleri kullanarak yıkama suyu miktarı belirlenir.

Böyle bir yöntemle belirlenmiş yıkama suyu miktarı, ıslahı öngörülen toprak sınıfları ve içermiş oldukları tuz bileşenleri için geçerlidir. Fakat bu parametrelerin önerilen tabloda yer almayan değişik değerleri için yıkama suyu miktarını belirlemek oldukça zordur. Örneğin, Çizelge 2.1'de belirtilen tınlı topraklar için yıkanabilirlik katsayısının değeri $0,92 < \alpha < 1,02$ arasında olduğu durumda yıkama suyunun miktarı hakkında geleneksel yöntemle (2.8 nolu eşitlikle) karar vermek zordur. Bu da tuzlu toprakların ıslahı için kullanılan geleneksel yöntemlerin dezavantajını ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı bulanık mantık yönteminin uygulanması ile bu konudaki eksikliği gidermek ve tuzlu toprakların ıslahında gereken yıkama suyunun miktarının belirlenmesinde kullanılarak uzun süren deneylerden dolayı meydana gelen zaman ve işgücü kaybını önleyerek ekonomik kazançlar sağlamaktır.

3.BULANIK MANTIK

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanan, her gün kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan bir matematiksel disiplindir. Temelini "doğru" ve "yanlış" değerlerinin belirlediği Bulanık Küme Kuramı (Fuzzy Set Theory) oluşturmaktadır. Burada yine geleneksel mantıkta olduğu gibi "1" ve "0" değerleri vardır. Ancak bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de (0 ile 1 arasındaki değerler) kullanarak, bir uzaklığın yalnızca yakın yada uzak olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar yakın yada ne kadar uzak olduğu da söyler. Bulanık küme kuramı hayattaki kesin olmayan, örneğin "sıcak" ve "soğuk" kesin ifadelerinin arasında kalan "az soğuk" veya "soğuğa yakın" şeklindeki belirsizlikleri de matematiksel olarak ifade etmeye yönelik bir teoridir. Bu dilsel değerlerin de arkasında net olmayan bir sayısal değer mevcuttur (Elmas 2003).

Bulanık kümelerin en büyük özelliği belirsizlik içeren sözel ve sayısal bilgi ile verileri aynı anda insan aklına en yakın biçimde modelleyebilmesidir. Günümüz teknolojisinde çok yaygın olarak karşımıza çıkan akıllı ve uzman sistemlerle otomasyonda, belirsizlik ortamında en iyi karar verebilme ve modellemenin temelinde bulanık mantık önerme ve çıkarımları bulunur. Bugün artık birçok ülkede, teknolojik alanda hayatın vazgeçilmez unsurları olan akıllı robotlar da diyebileceğimiz çamaşır makinası, elektrik süpürgesi, fırın, trafik ışıkları, asansörler, soğutucular ve benzeri alet ve cihazlar ile metro, fabrika işletmeleri, iş yönetimi, uzaktan algılama ve daha birçok iş sahasında, gerek dizayn ve imalat, gerekse uygulamada bulanık mantık geniş çapta ve yaygın bir şekilde yer almış bulunmaktadır. Son yıllarda, ülkemizde de, sistem ve kontrol ilkelerinin öğrenimi ve uygulaması hiç olmazsa bilim ve araştırma alanlarında önemli bir yer tutmaktadır. Uluslararası birçok şirketin AR-GE birimlerinde, artık bulanık mantık, sistem ve kontrol mekanizmaları aranır hale gelmiştir. Bu ihtiyaç, ucundan kıyısından ülkemiz şirketlerinde de başlamıştır (Şen 2001).

Bulanık mantık teorisini ilk defa 1972 yılında İngiltere'de Ebrahim Mamdani, bir buhar makinesi için kontrolör tasarlayarak kullandı. Bundan sonra Danimarka ‘da çimento sanayisindeki uygulama bu yöntemin avantajlarını gösterdi. Bundan sonra bulanık mantığın en çok uygulandığı ülke Japonya oldu. Japon bilim adamları ve mühendisleri bulanık mantığı metroda, otomatik tren kontrolü, hisse senedi portföyü, asansör vs. gibi bir çok alanda kullanmışlar ve bundan büyük ekonomik kazançlar elde etmişler. Bugün Japonya'da bulanık mantık kullanılmayan beyaz eşya çeşidi yoktur (Allahverdi 2002).

Bulanık mantıkla ilgili yöntem ve tekniklerin yaygın olarak kullanıldığı temel alanlar görüntü işleme, denetleyici sistemler, uzman sistemler, veritabanları, veri madenciliği olarak sıralanabilir. Aslında, bulanık mantık uygulamalarının sınıflamasında da bir bulanıklık vardır. Bunun nedeni çoğu yaklaşımda birden fazla teknik kullanabilme ve durumların özgüllüğünün teknikler arasındaki sınırları da bulanıklaştırmasıdır (Baykal 2004 a).

3.1. Bulanık Mantık Kavramları

Bu yaklaşım ilk defa 1965 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde California (Berkeley) Üniversitesinden Azeri kökenli Ali Asker Lütfi-Zade (Lotfi Zadeh) tarafından yayınlanan bir makalede bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adı altında ortaya konulmuştur. Zadeh bu çalışmasında insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden 0 ve 1 ile temsil edilen Boole mantığı bu düşünce işlemini yeterli bir şekilde ifade edememektedir. İnsan mantığı, açık, kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Ayrıca Zadeh insanların denetim altında, mevcut makinelerden daha iyi olduğunu ve kesin olmayan dilsel bilgilere bağlı olarak etkili kararlar alabildiklerini savunmuştur. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bulanık mantık denetimi alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş ve modern denetim altında geniş uygulama alanı bulmuştur.

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından şu şekilde ifade edilmiştir:

- Bulanık mantıkta kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir.

Bulanık mantık işlemleri problemin analiz edilmesi ve tanımlanması, kümelerin ve mantıksal ilişkilerin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır. Birçok önkoşul kullanılarak bulanık mantığın problemi çözüme götürüp götüremeyeceğine karar verilebilir. Bu önkoşullara sonucun tutarlılık oranını ve verilerin belirlilik ölçüleri de dahildir.

Öncelikle çözülecek problem için bulanık mantık yaklaşımının doğru bir seçenek olup olmadığına karar verilir. Eğer uygulanacak sistemin davranışı kurallarla ifade edilebiliyorsa veya çok karmaşık bir matematiksel işlem gerektiriyorsa, bulanık mantık yaklaşımı uygulanabilir. Aksi takdirde bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar büyük olasılıkla istenilen değerleri vermeyecektir.

Sistemin her bir çıkış ve giriş değişkenleri için üyelik işlevi tanımlanmalıdır. Üyelik işlevinin sayısı sistemin davranışına bağlı olmakla birlikte, aynı zamanda tasarımcı seçimine de bağlıdır. Kaç tane kural gerektiğine tasarımcı karar verir.

Bulanık mantık çok değişkenli mantıktır. Yani bu mantıkta küme üyeleri derecelendirilebilir. Bu basit bir örnek ile açıklanacak olursa bilgisayar dünyasında büyük önemi olan ikili sayılarda, sayı 0 yada 1 olabilir, bilgisayar mantığına uygulanırsa ya doğru yada yanlış olabilir.

Bulanık mantık kuramının en büyük özelliği “klasik” bilgide olduğu gibi sayılardan çok sembolik bilgilerin kullanılmasıdır. Bu bilgi kavramları nesneleri

düşünürken bir insanın göz önünde bulundurduğu olguların aynılarını temsil eder. Bu sayısal işlem yöntemlerinin kullanılmasını dışlamaz, ancak sonuçların incelenmesi genellikle sembole dayalı olarak yapılır. Bulanık mantıkta bulunan ikinci bir kavram da klasik algoritma metotlarının tersine "tecrübeye dayalı bilgi" metotları kavramıdır.

Bulanık mantığın bir başka özelliği de işlenen verilerin ve bilgilerin belirsiz, eksik, yanlış ve hatta çelişkili olduğu durumlarla yetinmesidir. Bulanık mantık çok karmaşık bir problemi tamamen çözmese de etkili metotlar geliştirir.

Bulanık mantık ile tasarlanan ürünlerin kullanımı, tasarlanması, denenmesi daha kolay ve standart sistemlere göre daha iyi bir denetim sağlamaktadır. Ayrıca bulanık mantığın uygulamaya geçirilişi kolay, hızlı ve ekonomiktir (Baykal 2004 b).

3.2. Bulanık Mantığın Avantajları

Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bilindiği gibi denetim işlemlerinin bir çoğu dilsel niteleyicilerle yapılmaktadır.

Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en başarılı uygulama alanlarıdır.

Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar.

Özellikle deneysel (ampirik) sonuçlar kullanılan bir sistemde bazı ara giriş değerlerinin ne gibi sonuçlar vereceği uzun süren deneyler sonucunda ortaya çıkmaktadır, oysa bulanık sistemde cevaplar anında alınabilmektedir. Bu da sistemin zaman tasarrufu sağlaması demektir.

3.3. Bulanık Mantığın Dezavantajları

Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir.

Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme-yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür.

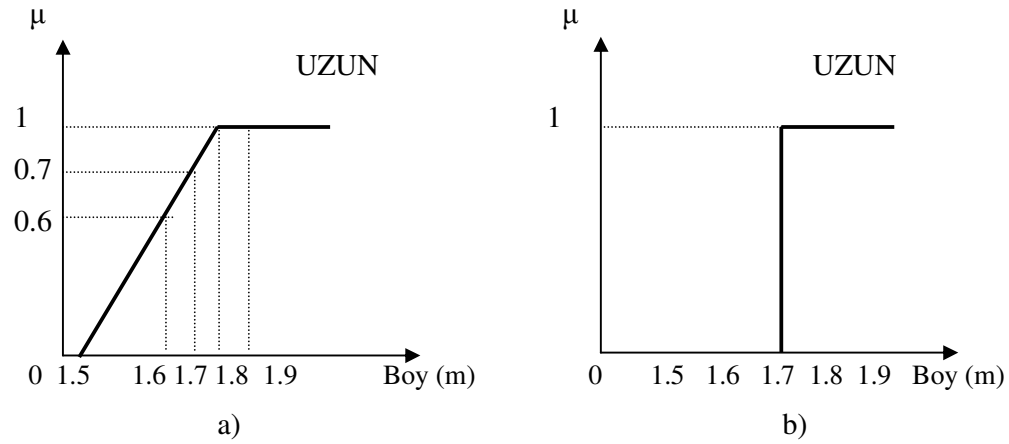
Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır.

Bulanık mantık yaklaşımında üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanması çok zordur.

Bunun yanı sıra en sık belirtilen dezavantajları ise üyelik işlevlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması ve öğrenme yeteneği olmamasıdır.

3.4. Bulanık Kümeler ve İşlemler

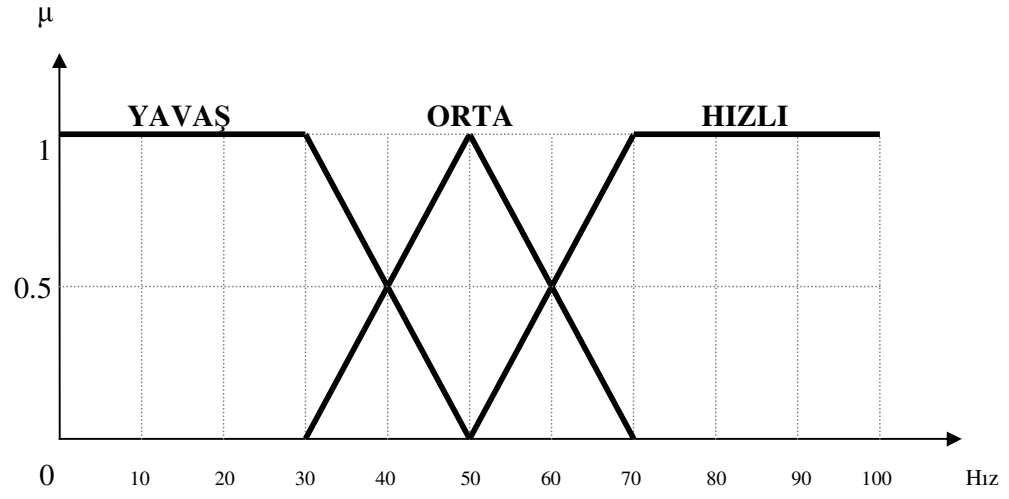
Bulanık küme değişik üyelik derecesinde öğeleri olan bir topluluktur. Bir eleman için eleman olma durumu 1 ve olmama durumu 0 ile değil 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesi ile gösterilir. Örneğin "Uzun boylu kime denir?" sorusuna cevap verecek olan bir UZUN alt kümesini her iki mantığa göre tanımlayalım. Şekil 3.1.'de de görüldüğü gibi klasik küme mantığına göre 160 cm boyundaki bir kişi uzun boylu insanlar kümesi içinde değildir. Hatta 169 cm boyundaki bir kişi uzun boylu insanlar kümesi içinde değildir. Oysa bulanık mantığa göre 160 cm boyundaki kişiye kısa denilmez. Çünkü kısmen de olsa uzun boylu insanlar kümesi içindedir. Bulanık mantıkta 160 cm boyundaki biri 0.6 üyelik derecesiyle, 170 cm boyundaki biri 0.7 üyelik derecesiyle, 180 cm boyundaki biri de 1.0 üyelik derecesiyle uzun boylu olabilir.



Şekil 3.1. Bulanık (a) küme ile klasik (b) kümenin karşılaştırılması

Bunun gibi bir insanın uzun boylu olması, bulanık küme mantığında derecelerine ayrılabilmektedir. Büyük üyelik dereceleri az bulanık kabul edilirken, küçük üyelik dereceleri daha bulanık olarak kabul edilir (Çobanoğlu 2007).

Örneğin X = {0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100} 0-100 arası hızları ifade eden evrensel hız kümesi olsun. 0-50 arası hıza "yavaş" diyelim, 50-100 arası hıza ise "hızlı" olarak kabul edersek o zaman 30-70 arasında değişen değerlerde de farklı üyelik dereceleri ile "orta" bulanık kümesini tanımlamamız gerekir. Bu kümeleri Şekil 3.2. de görüldüğü gibi tanımlarsak $A_{Yavaş,}$ A_{Orta} ve $A_{Hızlı}$ kümeleri X evrensel kümesinden seçilen değerlerin üyelik derecelerini göstermektedir.



Şekil 3.2. "Yavaş", "Orta" ve "Hızlı" bulanık kümeleri

Hızları ifade eden "Yavaş", "Orta" ve "Hızlı" bulanık kümeleri

$A_{Yavaş}$ = {1/0 + 1/10 + 1/20 + 1/30 + 0.5/40 + 0/50 + 0/60 + 0/70 + 0/80 + + 0/90 + 0/100}

A_{Orta} = {0/0 + 0/10 + 0/20 + 0/30 + 0.5/40 + 1/50 + 0.5/60 + 0/70 + 0/80 + + 0/90 + 0/100}

$A_{Hızlı}$ = {0/0 + 0/10 + 0/20 + 0/30 + 0/40 + 0/50 + 0.5/60 + 1/70 + 1/80 + 1/90 + 1/100}

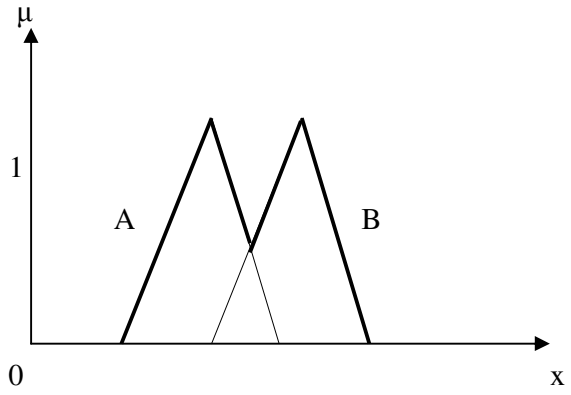
şeklinde olacaktır.

Bulanık Kümelerin Birleşimi

X evrensel kümesi üzerinde tanımlanan A ve B kümeleri verilsin, A ve B kümelerinin birleşimi $A \cup B$ olarak gösterilir. Aynı zamanda $A \cup B$ kümesi X evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesidir. Bu kümenin üyelik fonksiyonu biçimindeki matematiksel ifadesi şöyledir;

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \qquad x \in X$$

$A \cup B$ kümesinin, herhangi bir $x \in X$ için elemanlarının üyelik derecesi, A ve B kümelerinden üyelik derecesi büyük olana eşittir. Bu tanımlamadan anlaşılacağı gibi ve A ve B kümelerinin her biri $A \cup B$ kümesinin alt kümesidir. Şekil 3.3. 'de A ve B olarak tanımlanan iki bulanık kümenin birleşimi görülmektedir.



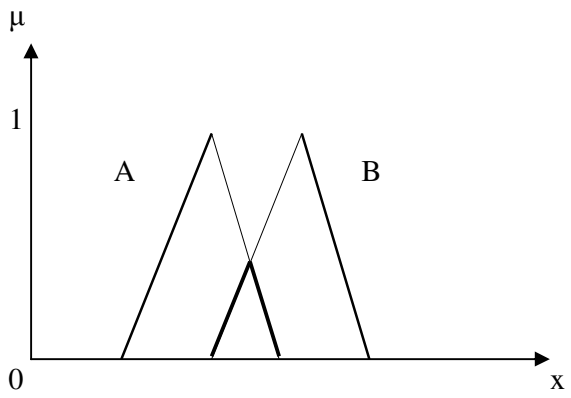
Şekil 3.3. Bulanık kümelerde birleşme işlemi

Bulanık Kümelerin Kesişimi

X evrensel kümesi üzerinde tanımlanan A ve B kümeleri verilsin, A ve B kümelerinin kesişimi $A \cap B$ olarak gösterilir. Aynı zamanda $A \cap B$ kümesi X evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesidir. Bu kümenin üyelik fonksiyonu biçimindeki matematiksel ifadesi şöyledir;

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

$A \cap B$ kümesinin, herhangi bir $x \in X$ için elemanlarının üyelik derecesi, A ve B kümelerinden üyelik derecesi küçük olana eşittir. Bu tanımlamadan anlaşılacağı gibi $A \cap B$ kümesi, A ve B kümelerinin her birinin alt kümesidir. Şekil 3.4.'de A ve B olarak tanımlanan iki bulanık kümenin kesişimi görülmektedir.



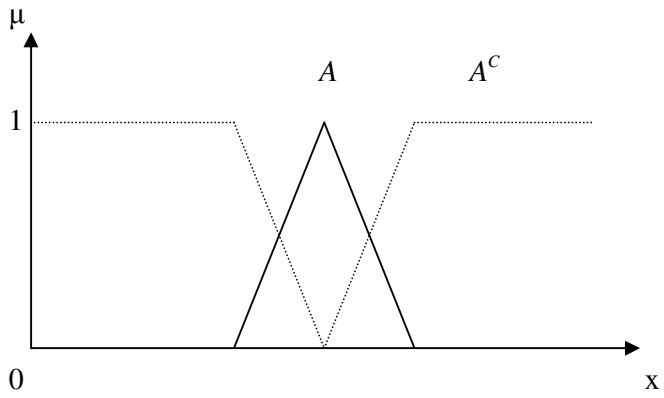
Şekil 3.4. Bulanık kümelerde kesişme işlemi

Bulanık Kümelerin Tümleyeni

X evrensel kümesinde verilen bir A kümesinin tümleyeni A^C olarak gösterilir. A^C'nin üyelik fonksiyonun matematiksel ifadesi şöyledir;

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

Eğer herhangi bir elemanın A bulanık kümesindeki üyelik derecesi 0.8 ise tümleyenindeki üyelik derecesi 0.2'dir. Bu ifadenin eğrisi Şekil 3.5.'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Bulanık kümelerde tümleme işlemi

Bulanık Kümelerin Özellikleri

1. $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$
   $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$

2. $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
   $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$

3. $A \cup A = A$
   $A \cap A = A$

4. $A \cup \varnothing = A \qquad A \cap \varnothing = \varnothing$
   $A \cap X = A \qquad A \cup X = X$

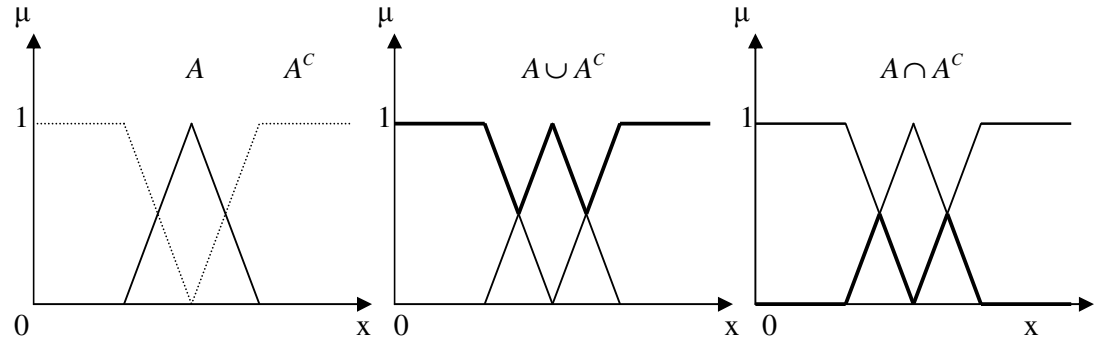
5. Eğer $A \subseteq B \subseteq C$ ise o halde $A \subseteq C$

6. $(A^C)^C = A$

Son olarak bulanık mantığı klasik kümelerden ayıran en önemli iki özelliği aşağıda verilmiştir ve grafiksel olarak Şekil 3.6.'de ifade edilmiştir:

7. $A \cup A^C \neq X$

$A \cap A^C \neq \varnothing$



a) b) c)

Şekil 3.6. a) A ve A^C bulanık kümelerin [0,1] aralığındaki eğrisi

b) $A \cup A^C \neq X$ matematiksel ifadesinin [0,1] aralığındaki eğrisi

c) $A \cap A^C \neq \varnothing$ matematiksel ifadesinin [0,1] aralığındaki eğrisi

Bulanık küme işlemlerinden bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

A	=	$\sum \mu_A(x)/x$
Çok A	=	$\sum(\mu_A(x))^2/x$
Çok Çok A	=	$\sum(\mu_A(x))^4/x$
Az Çok A	=	$\sum(\mu_A(x))^{0.5}/x$
Az A	=	$\sum(\mu_A(x))^{0.25}/x$
A Değil	=	$\sum(1-\mu_A(x))/x$
Çok A Değil	=	$\sum(1-(\mu_A(x))^2)/x$

3.5. Üyelik Fonksiyonu

Bir x elemanının A kümesinin elemanı olup olmadığı üyelik fonksiyonu(karakteristik fonksiyon, diskriminasyon fonksiyonu) kullanılarak ifade

edilebilir. Örnek olarak klasik bir A kümesinin elemanlarını, yalnızca 0 ve 1 değeri alan $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu ile ifade edebiliriz. x'in A kümesinin elemanı olup olmadığını belirleyen fonksiyon

$$\mu_A(x) : E \to \{0,1\}$$

şeklinde tanımlanabilir. Bunu evrensel kümeden, $\{0,1\}$ kümesine bir fonksiyon olarak da tanımlayabiliriz. Bir klasik küme için bir nesne bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir ve ortası yada farklı bir durum yoktur. Ait olma ve olmama arasındaki geçiş keskin ve ani olarak kesilmiştir.

Genel olarak küme üyelerini değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Üyelik fonksiyonu grafiğinde x ekseni üyeleri gösterirken, y ekseni de üyelik derecelerini gösterir.

A bulanık kümesi, μ_A A'nın üyelik fonksiyonu ve $\mu_A(x)$ A daki üyelik derecesi olmak üzere $A = \{\mu_A(x), x\}$ olarak yazılabilir. Bu durumda E'deki bulanık küme olan

$$A = \{\mu_A(x), x\} = \{\mu_A(x)/x\} = \{\mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + ... + \mu_A(x_n)/x_n\}$$

ve bu da $A = \{\sum \mu_A(x_i)/x_i\}$ olarak gösterilebilir. Bulanık kümenin sürekli olması durumunda gösterim $A = \{\int \mu_A(x_i)/x_i\}$ şeklinde olacaktır (Allahverdi 2006, Baykal 2004 b).

3.6. Üyelik fonksiyon tipleri

Çok sayıda üyelik fonksiyonu tipi olmakla beraber pratikte en fazla kullanılanlar üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoidal fonksiyonlardır. Bunlardan başka S ve Π üyelik fonksiyonları da vardır.

3.6.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

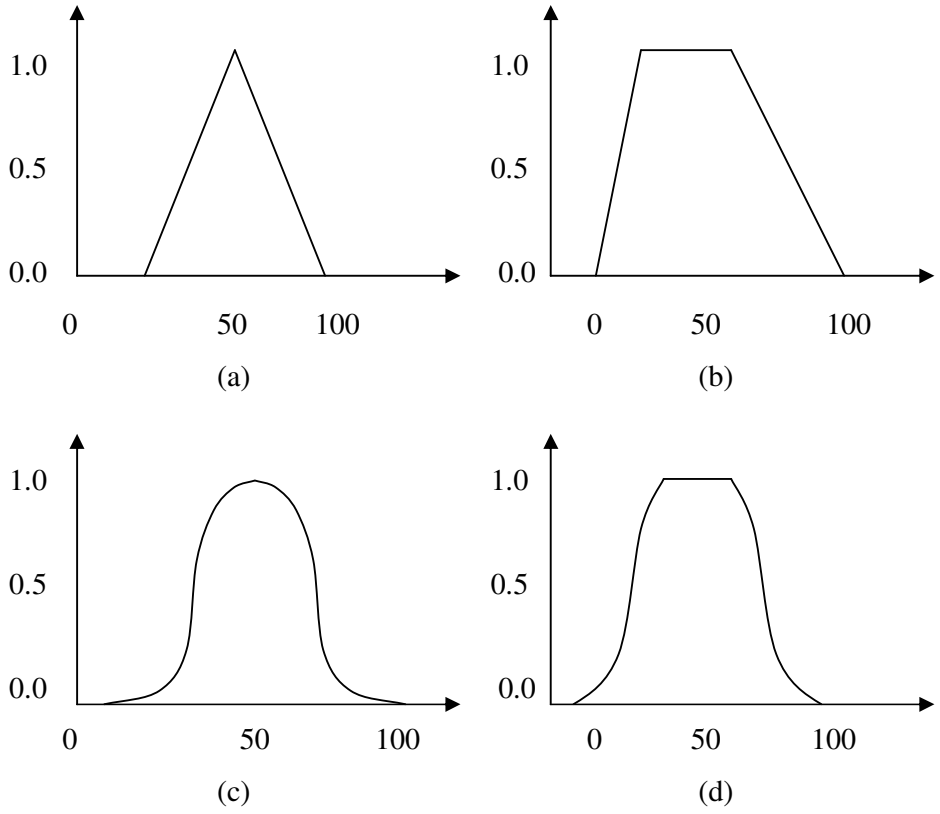
Bir üçgen üyelik fonksiyonu a_1, a_2 ve a_3 olarak üç parametre ile tanımlanır.

$$\mu_A(x;a_1,a_2,a_3)=\begin{cases} a_1 \le x \le a_2 & ise \quad (x-a_1)/(a_2-a_1) \\ a_2 \le x \le a_3 & ise \quad (a_3-x)/(a_3-a_2) \\ x > a_3 \ \text{ veya } \ x < a_1 & ise \quad 0 \end{cases}$$

Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 3.7. (a)'da gösterilmiştir.

3.6.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Bir yamuk üyelik fonksiyonu a_1, a_2, a_3 ve a_4 olarak dört parametre ile tanımlanır. Aslında üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur.



Şekil 3.7. Üyelik fonksiyonlarının gösterimi (a) Üçgen, (b) Yamuk, (c) Gaussian, (d) Çan şekilli

$$\mu_A(x;a_1,a_2,a_3,a_4)=\begin{cases} a_1 \le x \le a_2 & ise \quad (x-a_1)/(a_2-a_1) \\ a_2 \le x \le a_3 & ise \quad 1 \\ a_3 \le x \le a_4 & ise \quad (a_4-x)/(a_4-a_3) \\ x > a_4 \ \text{ veya } \ \mathrm{x} < \mathrm{a}_1 & ise \quad 0 \end{cases}$$

Formüllerinin basit oluşu ve bilgi işlemsel etkinlikleri açısından hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları çeşitli bulanık mantık uygulamalarında oldukça sık kullanılan fonksiyonlardır. Şekil 3.7. (b)'de Yamuk üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi verilmiştir.

3.6.3. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Bu tip bir üyelik fonksiyonu *m* ve σ parametreleri ile tanımlanırlar.

$$\mu_A(x;m,\sigma)=\exp\left\{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

Bu fonksiyonda m fonksiyon merkezini ve σ da genişliğini ifade eder. σ değerini değiştirerek, fonksiyonun biçimini değiştirebiliriz. Eğer σ küçük olursa üyelik fonksiyonu daha ince olurken, bu değer büyüdükçe üyelik fonksiyonu gittikçe yayvanlaşacaktır. Şekil 3.7. (c)'de Gaussian üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi verilmiştir.

3.6.4. Çan Şekilli Üyelik Fonksiyonu

Bu tip üyelik fonksiyonu da a_1, a_2, a_3 olarak üç parametre ile tanımlanır.

$$\mu_A(x;a_1,a_2,a_3)=\left\{\frac{1}{1+\left|\frac{x-a_3}{a_1}\right|^{a_2}}\right\}$$

Çan şekilli üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 3.7. (d)'de verilmiştir.

3.6.5. Sigmoidal üyelik fonksiyonu

Bu tip bir üyelik fonksiyonu a_1 ve a_2 parametreleri ile tanımlanırlar.

$$\mu_A(x;a_1,a_2)=\left\{\frac{1}{1+e^{-a_1(x-a_2)}}\right\}$$

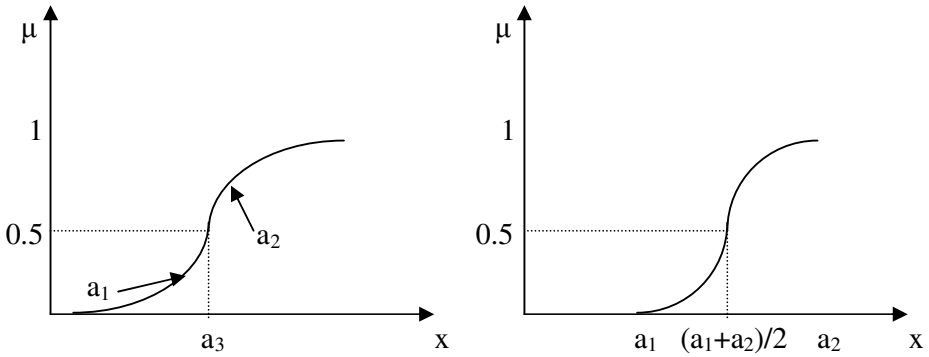
a_3 değeri tüm sigmoidal üyelik fonksiyonlarında üye olma ile olmama arasında bir kırım noktası olup $\mu(a_3)$ değeri 0.5'dir. Sigmoidal üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 3.8. (a)'da verilmiştir.

3.6.6. S Üyelik Fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu a_1 ve a_2 parametreleri ile tanımlanan düzgün bir üyelik fonksiyonudur. Bu fonksiyonun adı şeklinin S harfine benzemesinden gelmektedir.

$$\mu_A(x;a_1,a_2)=\begin{cases} x\le a_1 & ise \quad 0 \\ a_1\le x\le[(a_1+a_2)/2] & ise \quad 2[(x-a_1)/(a_2-a_1)]^2 \\ [(a_1+a_2)/2]\le x\le a_2 & ise \quad 1-2[(x-a_2)/(a_2-a_1)]^2 \\ a_2\le x & ise \quad 1 \end{cases}$$

S üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 3.8. (b)'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Sigmoidal (a) ve S (b) üyelik fonksiyonunun gösterimi

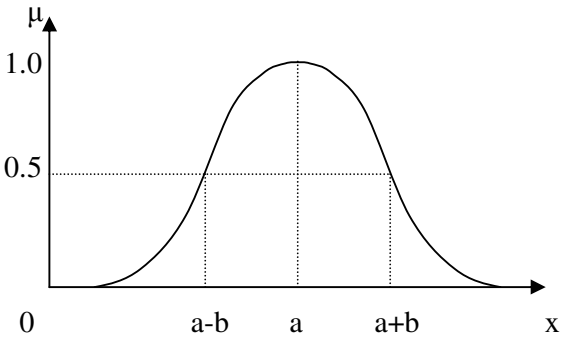
3.6.7. Π Üyelik Fonksiyonu

İki tip Π üyelik fonksiyonu vardır. İlki iki parametre ile ikincisi de dört parametre ile tanımlanır. S fonksiyonundan farklı olarak Π fonksiyonları iki taraflı olarak "0" değerine doğru asimptotik olarak azalır.

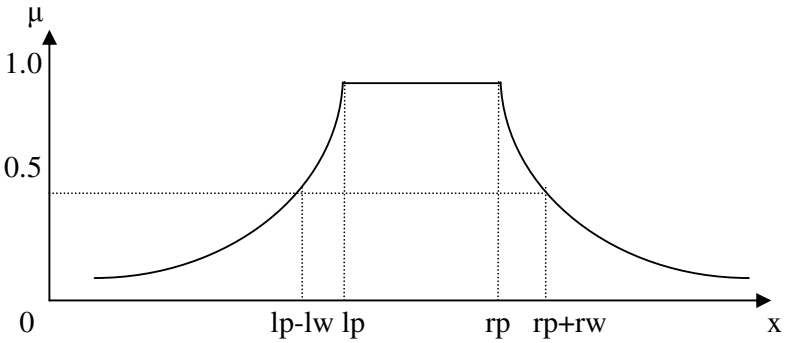
$$\Pi_1 = \mu_A(x; a_1, a_2) = \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{x - a_1}{a_2} \right)^2} \right\}$$

$$\Pi_2 = \mu_A(x; lw, lp, rp, rw) = \begin{cases} x \le lp & ise \quad lw/(lp + lw - x) \\ lp \le x \le rp & ise \quad 1 \\ x > rp & ise \quad rw/(x - rp + rw) \end{cases}$$

Π üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'de verilmiştir.



Şekil 3.9. Π_1 üyelik fonksiyonunun gösterimi



Şekil 3.10. Π_2 üyelik fonksiyonunun gösterimi

3.6.8. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları

Bir bulanık alt kümede üyelik derecesi 1'e eşit olan elemanlara öz, bir alt kümenin tüm elemanlarını içeren aralığa dayanak ve üyelik dereceleri 1 veya 0'a eşit olmayanların oluşturduğu kısımlara ise üyelik fonksiyonunun sınırları veya geçiş bölgeleri denir. Genel olarak tüm üyelik fonksiyonlarında biri sağda ve biri solda olmak üzere iki geçiş bölgesi bulunmaktadır.

$\mu_{\mathbf{A}}(x) = 1 \rightarrow$ öz

$\mu_{\mathbf{A}}(x) > 0 \rightarrow$ dayanak

$0 < \mu_A(x) < 1 \rightarrow$ sınırlar

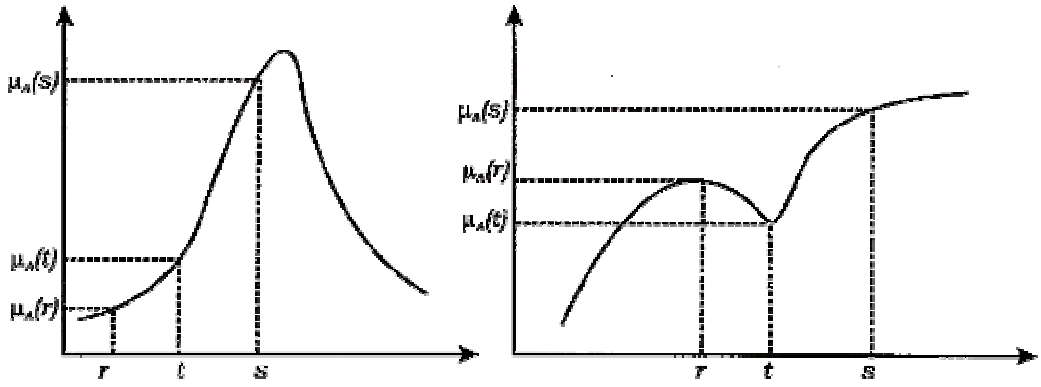
Tüm elemanlarının üyelik derecesi 0 'dan büyük küme A'nın dayanak kümesidir;

Dayanak $(A) = \{x \in E \mid \mu_A(x) > 0\}$

Üyelik fonksiyonun sahip olması gereken iki özellik daha vardır. Bunlar normallik ve dışbükeyliktir. Normal bulanık küme demek en azından bir tane üyelik derecesi 1 'e eşit olan kümedir. Aksi takdirde küme normal altı olarak tanımlanır. Dışbükeylik ise üyelik fonksiyonunu sürekli artan, sürekli azalan veya üçgen gibi olması durumudur. Bir kümedeki herhangi iki noktayı birleştiren çizgideki her nokta bu kümenin elemanı ise küme dışbükeydir. n-boyutlu bir Euclidian vektör uzayı olan R^n 'da bir evrensel E kümesini tanımladığımız ı kabul edelim. Tüm α kesim kümeleri dışbükey ise bu α kesim kümelerinin bulanık kümesi dışbükeydir. Diğer bir deyişle; $r, s \in R^n, \lambda \in [0,1]$ için $t = \lambda r + (1-\lambda)s$ olduğunda;

$\mu_A(t) \geq \min[\mu_A(r), \mu_A(s)]$

koşulları sağlanıyorsa A bulanık kümesi dışbükeydir. Dışbükey ve içbükey küme üyelik dereceleri Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.11. Dışbükey (a) ve içbükey (b) küme üyelik dereceleri

Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu belirli bir x = c noktası için simetrik ise bulanık küme simetrik olarak tanımlanır. $\forall x \in E$ için;

$$\mu_A(x+c) = \mu_A(c-x)$$

olarak gösterilir.

$\mu_A(x) = 0.5$ → geçiş noktası

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecelerinin 0.5'e eşit olması durumundaki noktaya geçiş noktası adı verilir.

Bulanık kümenin yüksekliği üyelik derecesinin en büyük olduğu öğeye karşılık gelir. Normal bulanık küme'nin yüksekliği 1'e eşittir. Normal olmayan bulanık küme'leri normal hale dönüştürmek için (dış bükey olmaları şartı ile). kümenin üyelik derecesinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekir (İbrahim 2004).

3.7. Sözel Değişkenler

Genel olarak değişkenler sayısal değerler alırlar. Eğer bir değişkene sözel terim atanırsa sözel değişken adını alır. x; değişken adı, T(x); değişkene değer olabilecek sözel terim kümesi, E; değişken karakteristiklerini tanımlayacak evrensel küme, G; T(x) de terim üreten dizimsel (sintaktik) gramer ve M; E'deki bulanık kümelere karşılık gelen T(x) terimlerinin yorum bilimsel (semantik) kuralları olmak üzere sözel değişken

Sözel değişken=(x, T(x), E, G, M) olarak tanımlanabilir.

Bulanık sözel değişkenler bulanık yüklem ve bulanık sıfat olarak iki parçadan oluşurlar. Bulanık yük1em birincil terimdir. Bulanık sıfatlar da bunu niteleyen çok, olası, hemen hemen imkansız, aşırı, olası olmayan gibi kelimelerdir. Sıfatlar öncülün anlamını değiştirmede kullanılırlar ve iki sınıfta toplanılabilir. Bir kısım sıfatlar bulanık doğruluk niteleyici veya bulanık doğruluk değeri olarak tanımlanır. Bunlara örnek olarak kesinlikle doğru, çok doğru, daha çok veya daha az doğru, çoğunlukla yanlış kelimeleri sayılabilir. Bulanık niceleyici ise çok, birkaç, hemen hemen, tüm, genellikle gibi kelimelerdir (Aliev 2001).

3.8. Bulanık Kural ve Çıkarım

Genel olarak çıkarım, eldeki bilgileri kullanarak yeni bilgi elde etme olarak tanımlanabilir. Çıkarımda bilginin sunum ve gösterim şekli önemlidir. Sunum yöntemleri içinde eğer - o halde kural tipi en sık kullanılan sunum tipidir. Kural tipi sunum, içerme (koşullu önerme) olarak yorumlanır ve öncül (eğer) ve soncul (o halde) kısımları içerir.

"Eğer x A ise, o halde y B dir" şeklinde bulanık kuralımız olsun. Bulanık kural öncül ve sonculda bulanık yüklemler içerebilir, ve "Eğer x A(x) ise, o halde y B(y) dir" şeklinde yazılabilir. Bu kural R(x,y) bağıntısı aracılığı ile

R(x,y): Eğer A(x), ise B(y) veya

R(x,y): A(x) → B(y)

şeklinde gösterilebilir.

Bulanık kümeleri içeren bir kural ve bir olgu varsa, genelleştirilmiş modus ponens ve genelleştirilmiş modus tollens olarak iki tip akıl yürütme kullanabiliriz. Genelleştirilmiş Modus Ponens (GMP) 'de;

OLGU: x A' dür. (R(x))

KURAL: Eğer x A ise, o halde y B dir. (R(x,y))

SONUÇ: y B' dür. (R(y)=R(x)°R(x,y))

Genelleştirilmiş Modus Tollens (GMT) 'de ise;

OLGU: y B' dür. (R(y))

KURAL: Eğer x A ise, o halde y B dir. (R(x,y))

SONUÇ: x A' dür. (R(x)=R(y)°R(x,y))

olarak ifade edilir.

Yukarıdaki akıl yürütmede, olguların (A' ve B') kurallardaki öncüllerle (A ve B) aynı olmadığını, sonuçların soncullardan farklı olabileceğini görüyoruz. Bundan dolayı bu çeşit çıkarıma bulanık (yaklaşık) akıl yürütme yada çıkarım denir. Bulanık (yaklaşık) çıkarım yapmak için, bileşkesel çıkarım kuralı uygulanmaktadır. ° işlemcisi burada bileşke çıktıyı elde etmek için yapılan işlemi temsil etmektedir (Baykal 2004 b, Şen 2001).

4.UZMAN SİSTEMLER

Uzman sistem genel olarak, bir uzmandan alınan bilgilere dayanarak oluşturulan, karmaşık problemleri çözmek için olayları ve deneyimleri kullanan etkileşimli bilgisayar destekli karar aracıdır.

Diğer bir deyişle uzman sistem, özel bir alanda, karmaşık bir karar verme problemini çözen insan uzmanın düşünce sürecini taklit eden bir bilgisayar programıdır.

Bir uzman sistem, sorulara cevap verir, konuyu netleştirmek için sorular sorar, yorumlar yapar ve genellikle karar verme sürecine yardım ederek çalışır. Uzman sistemler uzman önerileri verir ve bilgisayarlı tanıdan, hassas tıbbi cerrahiye kadar çok sayıda etkinlik için öncülük yapar.

Geleneksel programlardaki algoritma ile veritabanındaki verileri işleme yaklaşımı, yapay zeka programlama çeşitlerinden biri olan uzman sistemlerde çıkarım mekanizması ile bilgi tabanını işlemeye dönüşmüştür. Uzman sistemler gerçekten uzmanlık gerektiren karmaşık bilgileri içerirler. Bu tip bilgiler uzmanlık ve deneyime dayanan bilgilerdir. Uzman sistemler kesin olmayan ve eksik bilgileri de değerlendirebilmektedir. Uzman sistemlerde kesin ve net algoritmalar yerine deneyime dayalı çıkarım yöntemleri kullanılır. Bu yüzden uzman sistemlerin tasarımı karmaşık ve zaman alan bir işlemdir.

Bilgi sıklıkla kural tabanı şeklinde depolanır ve en tanınmış şekli de eğer-o halde şeklindedir. Uzman sistemler, bilgi tabanlı sistemler, karar destek sistemleri gibi kavramlar farklı yayınlarda değişik şekillerde tanımlanmakta ve bazen birbirlerinin yerlerine kullanılabilmektedir (Allahverdi, Yaldız 2004).

Bilgi tabanlı sistemler bilgisayara girilmiş bilgi yardımı ve akıl yürütme yöntemleri ile problemleri çözer. Bunlar uzman sistemlerden daha küçük boyutlu ve sınırlı problemleri çözmek üzere tasarlanmışlardır.

Karar destek sistemleri herhangi bir problem karşısında karar verirken kullanıcıya yön gösterecek şekilde bilgiler üreten sistemlerdir. Ancak uzman sistem

olarak tasarlanırken istenen düzeyde başarılı olmadığından dolayı karar destek sistemi olarak kullanılan çalışmalar da bulunmaktadır (Allahverdi 2002, Baykal 2004 a).

4.1. Uzman Sistemlerin Genel Yapısı

Bir Uzman Sistemin temel unsuru, sistem oluşturulurken toplanan bilgidir. Bilgi, kolay işlenecek şekilde özelleştirilmiş ve karar vermeye uygun hale getirilmiş durumda olmalıdır. Daha önceden de belirttiğimiz gibi Uzman Sistemler, genellikle belli uygulama alanlarında bir uzman gibi davranan programlardır. Uzman Sistemlerin bir uzman gibi davranabilmesi için belli konulardaki problemleri çözebilecek bilgiye sahip olması gerekir. Bir Uzman Sistem verdiği kararları ve davranış tarzını herhangi bir yolla gerçek bir uzman gibi açıklayabilmelidir. Verilen kararların nedenleriyle birlikte açıklanması özellikle belirsizliğin çok olduğu tıbbi ve teknik teşhis konularında kullanıcının sisteme olan güveni açısından önemlidir. Bu nedenle Uzman Sistemler kullanıcı dostu ve şeffaf olmalıdır.

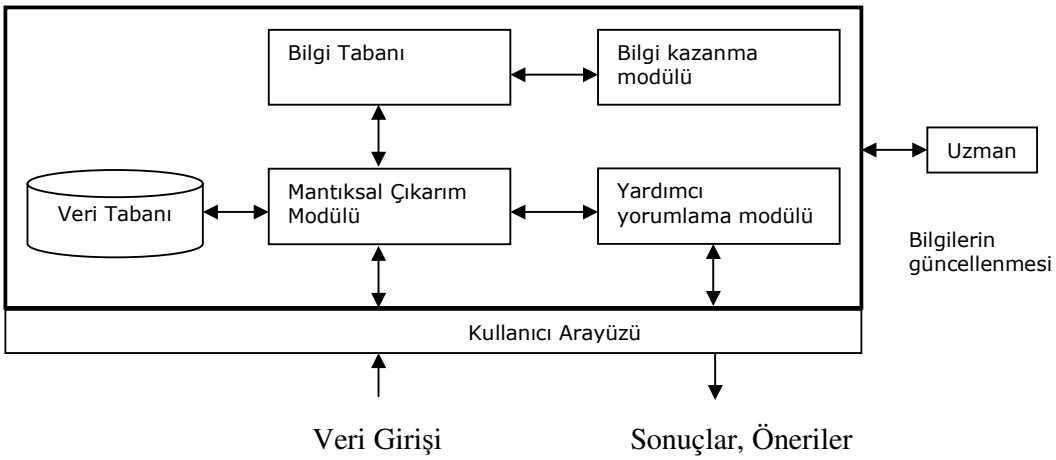
Uzman Sistemlerde aranan başka bir özellik de belirsizliği dikkate alabilmesidir. Çözülecek problemle ilgili bilgiler eksik ve tutarsız, problem kümesindeki ilişkiler yaklaşık olarak verilebilir. Örneğin, bazı belirtilerin hastada olup olmadığından, bazı test değerlerinin kesinliğinden, bazı ilaçların yan etkilerinden emin olmayabilirsiniz. Bütün bu durumlar olasılığın hesaba katılmasını gerektirir.

Bir Uzman Sistemin tasarlanması için genellikle aşağıdaki fonksiyonların geliştirilmesi gerekir:

- Problem çözme fonksiyonu, belirsizlikle uğraşılması gerekli olabilen belli alan bilgilerini kullanabilmelidir.
- Kullanıcı ilişki fonksiyonu, problem çözme işlemi sırasında ve sonrasında sistemin eğilimini ve kararlarını kullanıcıya açıklayabilmelidir.

Bu iki fonksiyonun her ikisi de çok karmaşık, uygulama alanına ve pratik gereksinimlere bağlı olabilir. Tasarım ve uygulama sırasında çok değişik ve karmaşık problemler ortaya çıkabilir. Bunlar bilginin sunulmasıyla ilgili problemlerdir.

Bir Uzman sistemin genel yapısı Şekil 4.1.'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Bir uzman sistemin genel yapısı

Uzman sistemlerin iç yapısını kısaca açıklayalım.

Bilgi tabanı, bilgilerin özel bir biçimde tutulduğu, halen tutulmakta olan bilgilerden yeni bilgilerin üretilmesine imkan sağlayan birimdir ve bir uzman sistemin temel taşıdır. Bir bakıma uzmanın beyni de olarak isimlendirilebilir.

Uzman'ın görevi, sisteme yeni bilgiler kazandırmaktır. Bu bilgi kazandırma işlemi, genellikle sıradan bir kişinin yapamayacağı kadar karmaşıktır ve bilgi kazandıran kişinin sistem hakkında ihtisas sahibi olmasını gerektirir.

Bilgi kazanma modülü, uzman ile bilgi tabanı arasında bir arabirim oluşturur. Uzmanın verdiği bilgileri alıp bilgi tabanına uygun bir biçime sokmaktan ve bilgi tabanına yerleştirmekten sorumludur.

Veri tabanı, geleneksel ilişkisel veri tabanı biçimindedir ve bu veri tabanında temel nesneler veya özellikler tutulur. Örneğin kişi isimleri veya şehirler ve bunlara ait nüfusların bir uzman sistemdeki yeri, veri tabanıdır. Bu bilgilerin bilgi tabanı ile de ilişkisi mevcut olmalıdır.

Mantıksal sonuçlandırma mekanizması, veri tabanını da kullanarak bilgi tabanı üzerinde araştırma yapmaktan ve kendisine verilen mantıksal olarak sonuçlandırmaya muhtaç önermelerin doğruluğunu araştırmaktan sorumlu bir birimdir. Bilgi tabanında araştırma yaparken, gerçekleri ve kuralları kullanır. Örneğin, "Her insan akıllıdır", kuralı ve "Ali bir insandır" gerçeği mevcutken "Ali akıllıdır" sonucuna varılması, mantıksal sonuçlandırma mekanizmasının görevidir.

Yardımcı yorumlama modülü, mantıksal sonuçlar üretmek için mantıksal sonuçlandırma mekanizmasına yardımcı olacak işleve sahiptir.

Kullanıcı arabirimi kullanıcının sistem ile iletişimi için bir bağdaştırıcı görevi üstlenir. Kullanıcının sorularını mantıksal sonuçlandırma mekanizmasının anlaya-bileceği biçime sokar. Örneğin, Türkçe bir cümle bu haliyle mantıksal sonuçlandırma mekanizması için bir anlam taşımaz. Bu cümleyi uygun bir biçime dönüştürmek kullanıcı arabiriminin görevidir. Bu işlemin gerekliliği ise doğal dil işleme gibi yapay zeka alt konularının doğmasına neden olmuştur.

Kullanıcı, uzman olmayan herhangi biridir ve sistemin iç yapısı hakkında bilgisi olması gerekmez. O yalnızca sonucunu almak istediği soru veya önermeleri sisteme verir ve bunlara karşılık cevap veya cevaplar alır. Bir uzman sistemin başarılılığının ölçüsü; doğru mantıksal sonuçlar verebilmesinin yanında, bu sonuçlara ulaşabilmesi için kullanıcının sistemin iç yapısı hakkında ne kadar bilgili olmasının zorunlu olduğudur. Diğer bir deyişle, kullanımda olan bir uzman sistemde kullanıcı ile sistem arasındaki fark ne kadar büyükse, bu uzman sistem bir o kadar başarılıdır (Nabiyev 2005).

Uzman Sistemler bir dizi pratik problemleri çözmek için kullanılır. Uzman Sistemlerde çözüme ulaşmak için, geleneksel programlama yöntemlerinin dışına çıkılır. Kısaca söylemek gerekirse uzman sistemler, çözülmesi zor olan ve bilgi talep eden problemlerin çözülmesinde kullanılır. Uzman Sistemler, tavsiye verebilen, analiz yapabilen, danışma verebilen ve bir teşhis koyabilen bilgisayar programları sınıfına girer. Bunlar adeta insandan bir uzmanın incelemesini talep eden problemlerin çözümüne yönelmiştir. Prosedürel analiz kullanan sıradan bir bilgisayar programında farklı olarak Uzman Sistemler, sınırlı bir disiplin alanında tümdengelim akıl yürütme ile problemleri çözerler. Bu sistemler yapılaştırılmamış ve az belirlenmiş problemlerin çözümünü bulmaya imkan verirler. Yapılaştırılmamış yeterli bilgi ve zamanın olmaması gibi tam analiz yapılmasına imkan vermediği durumlarda heuristik yöntemler kullanılır.

Uzman sistemler, çok karmaşık olduğu için bilirkişi katılmadan çözülemeyen problemleri, bilgi tabanı ve çıkarım mekanizması kullanarak çözen intellektüel (akıllı) bilgisayar programlarıdır.

Başka bir tanıma göre Uzman Sistemler, belli bir alandaki uzman bilgiye ve deneyime dayanan verilerinin bilgisayarda, o alanda istenen bir problem için intellektüel danışma yapabilecek ve karar verebilecek şekilde bir program halinde gerçekleştirilmesidir (Allahverdi 2002).

4.2. Uzman Sistemlerin Özellikleri

Bir uzman sistem, insan uzmanın bilgisayar taklidi olarak görülebilir. Uzman sistemler pek çok alanda giderek daha çok kullanılan araçlardır. Eski uygulamalar bulaşıcı kan hastalıklarının tanısında kullanılan MYCIN'den, bilgisayar sistemleri tasarlamada kullanılan XCON'a kadar değişmektedir.

Uzman sistemlerin en çok kullanıldığı alanlar yorumlama ve tanıma, ön görü, tanı, tasarım, planlama, izlem, hatadan arındırma ve test, eğitim ve denetim olarak sıralanabilir.

Matematiksel yada deterministik yapıdaki uygulamalar uzman sistemler için iyi adaylar değildir. Tablosal yapıdaki sıradan karar destek sistemleri problem çözmede oldukça mekanik kalmaktadır. Bunlar, çalışmaları sırasında matematikçi ve Boolean işlemciler ile işlem yaparlar ve verilen veri kümesi için yalnızca bir tane durağan çözüme giderler. Çok açık gereksinimleri olan yoğun hesap gerektiren uygulamalar geleneksel karar destek araçları yada klasik programlama ile daha kolay çözülürler.

Uzman sistemler için en iyi uygulama adayları problemlerin çözümü için uzman deneyimi kullanılan alanlardır. Klasik bilgisayar programları gerçek bilgiye ve hesaba dayanır. Bu bilgisayarların tartışmasız gücüdür. İnsanlar ise tersine olgusal ve deneyimsel bilginin karışımına dayanarak problemleri çözerler. Deneyimsel bilgi sezgi, yargı ve mantıksal çıkarımların bir bileşkesidir. Bu da insanın tartışmasız gücüdür. Başarılı uzman sistemler olgu ve deneyimlerin bileşkesini oluşturacak ve böylece problem çözmede bilgisayar ve insan gücünü beraberce kullanacaktır. Bir uzman sistemin başarılı olması için belirli bir problem alanına odaklanması gerekir (Sarıtaş 2003, Allahverdi 2002).

4.3. Uzman Sistemlerde Alanın Özgüllüğü

Uzman sistemler, belli bir alana özgül olarak geliştirilirler. Örnek olarak, sistem ve süreçlerdeki aksaklıkları belirleyip çözen tanısal bir uzman sistem, insan uzmanın yapabildiği tüm veri işleme işini gerçekten yapabilmelidir. Böyle bir sistemin geliştiricisi sisteme bakış açısını sorunun çözümü için gerekenlerle sınırlamalıdır. Özel arayüzler yada programlama dilleri sistemin özgül hedeflerini başarmak için sık olarak kullanılır.

4.4. Uzman Sistemlere Duyulan Gereksinim

Uzman sistemler, çeşitli nedenlerle klasik insan karar verme süreçlerinin sınırlanması ile ilişkili durumlarda gerekirler. Bu gibi durumlara yol açan nedenler arasında, insan uzmanların çık az sayıda oluşunun yanı sıra, insanlar fiziksel ve zihinsel olarak yorulabilir oluşu, önemli ayrıntı ve problemleri unutabilmesi, kararlarının bazen günden güne tutarsızlık göstermesi, sınırlı bir belleğe sahip oluşu, çok miktarda bilgiyi hızlı bir şekilde işleyememesi, belleğinde çok miktarda bilgi tutamaması, hareketlerinde kasıtlı yada kasıtsız olarak ön yargılarının etkisinin olması, kararlarının sorumluluklarından kaçınma arzusu gibi nedenler sayılabilir. Ayrıca insan uzmanlar yalan söyler, kaybolur ve ölebilirler.

Klasik programlar, doğaları itibarıyla algoritmiktir ve ham makine gücüne dayanmaktadırlar. Bunlar insan uzmanlar gibi etkin deneyimsel yaklaşımlar üretmezler, değişen çevre koşullarına kolayca adapte olamazlar.

Bu nedenlerden ötürü, klasik programlar ve insanların yada geleneksel karar destek araçlarının beraberce çalışması yeterli olmayabilir.

Uzman sistemler, insanın iyi özellik ve yetenekleri ile bilgisayarların gücünü birleştirerek pek çok sınırlamayı ortadan kaldırmaya çalışırlar. Bu sayede iyi kararlar verilebilmesi için olasılık, sıklık ve tutarlılık arttırılmaya çalışılır. İnsan uzmanlığı bu programlar sayesinde yayılmış olur. Erişilen verinin çoğunun değerlendirilmesi sağlanır ve bunu yaparken de öznel yargı ve eğilimlerin ön plana çıkmasını engeller. Daha ucuza, eş zamanlı olarak karar sürecini sağlarken, uzmanlara da daha farklı yaratıcı etkinliklere yoğunlaşmalarını sağlayacak boş zaman imkanı sağlamış olur.

Uzman sistemler, yüksek üretkenlik ve güvenli karar almayı gerektiren her alanda uygulanabilir. Uzman sistemlerin iş güvenliğini tehdit edeceğine olan inancın tersine, yeni iş alanları açılmasını sağlamıştır (Baykal 2004 a).

4.5. Uzman Sistem Geliştirme

Bir uzman sistem yazılırken genellikle çok miktarda para ve zaman harcanır. Bu noktada hatalardan kaçınabilmek için en uygun uzman sistem çözümünü belirlemek üzere çeşitli aşamalar kabul edilmektedir.

Çözüm gereksinimi maliyete göre değerlendirilmelidir. Maliyet/yarar değerlendirilmesi gerçekçi bir şekilde yapılmalıdır.

İnsan uzmanı gereken tüm durumlarda bulmak mümkün değildir. Eğer, uzman bilgisi büyük oranda erişilebilir bir bilgi ise bunun uzman sistemini yapmak uygun değildir. Bununla beraber, petrol arama ve tıp gibi alanlarda çok özgülleşmiş nadir bilgiyi, uzman sistem daha ucuza mal edilebilir ve gerektiğinde bunlardan yararlanılabilir .

Problem sembolik akıl yürütme teknikleri kullanılarak çözülebilmelidir. Elle yada fiziksel bir beceri gerekmemelidir. Problem iyi yapılandırılmalı ve sağ duyuya dayanan bilgiyi çok gerektirmemelidir. Bunu elde etmek ve sunmak çok zordur. Çok teknik alanlarda bu durumun tersine olarak iyi biçimlendirilebilen bilgi sayısı da fazla değildir. Problem daha geleneksel bilgi işlem yöntemleri ile çözülememelidir. Daha iyi bir algoritmik çözüm yolu varsa bu sistemler kullanılmamalıdır.

Uzmanlarla ortak ve beraberce çalışılmalıdır. Uzman sistem projesinin başarılı olabilmesi için uzmanların işlerini kaybetme konusunda tedirgin olmadan yardımcı olabilmeleri gerekir. Problem uygun büyüklükte ve vizyonda seçilmelidir. Tipik olarak çözülmesi istenen problemin büyük oranda uzman problemi olması gerekir.

Uzman sistemler teknolojisine uygun problemlerin sayısının kısıtlı olduğu açıktır. Bununla beraber uygun bir problem verildiğinde bu sistemler büyük yararlar sağlayabilirler. Petrol keşfi sırasında toplanan verileri analiz eden yada bilgisayar konfigürasyonuna yardım eden çeşitli uzman sistemler geliştirilmiş olup, bunlar aktif olarak kullanılmakta ve tasarruf sağlamaktadır.

Bir uzman sistem geliştirme süreci, bilgi edinimi, bilgi sunumu, bilgi kodlama, uzman sistemi test etme ve uzman sistemi gerçekleştirme aşamalarını kapsamaktadır (Aliev 2001).

5.BULANIK UZMAN SİSTEMLER

Verilerin yetersiz ve az olduğu sistemlerin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir.

Bulanık uzman sistem belirsizliği ve bulanık bilgiyi değerlendirebilen bir uzman sistemdir. Bulanık bir uzman sistem yapısı, bulanık mantık denetleyicilere benzer. Bulanık mantık denetleyicilerde olduğu gibi bulanıklaştırma arayüzü, bilgi tabanı, ve çıkarım motoru (karar verme mantığı) olabilir. Durulaştırma modülü yerine sözel yaklaştırma modülü olabilir. Bulanık uzman sistemlerde çıkarım süreci üç veya dört adımdan oluşur. Bunlar bulanıklaştırma, çıkarım, bileşke ve durulaştırma olarak tanımlanabilir (Allahverdi 2002).

5.1. Bulanık Uzman Sistemin Yapısı

Bulanık uzman sistem belirsizliği ve bulanık bilgiyi değerlendirebilen bir uzman sistemdir. Gerçek dünyada insan uzman, bilgisini sözel terimlerle tutar. Bundan dolayı bulanık kurallarla bilgiyi temsil etmek ve bulanık çıkarım yöntemlerini kullanmak doğaldır.

Bulanık bir uzman sistem yapısı, bulanık mantık denetleyicilere benzer. Bulanık mantık denetleyicilerde olduğu gibi bulanıklaştırma ara yüzü, bilgi tabanı, ve çıkarım motoru (karar verme mantığı) olabilir. Durulaştırma modülü yerine sözel yaklaştırma modülü olabilir. Modelleme bölümünde de vurguladığımız gibi kullanım yeri, bakış açısı ve vurgulanan boyutu ile ilgili olarak, bulanık uzman sistemler; bulanık model, bulanık çıkarım sistemi, bulanık kural tabanlı sistem, bulanık ilişkilendirici bellekler (fuzzy associative memories) yada denetleyicilerde kullanıldığı zaman bulanık mantık denetleyiciler olarak da bilinir.

Bulanık uzman sistemlerde çıkarım süreci üç veya dört adımdan oluşur. Bunlar bulanıklaştırma, çıkarım, bileşke ve durulaştırma olarak tanımlanabilir.

Bulanıklaştırma her bir kural ve varsayımın doğruluk derecesini belirlemek için gerçek değerlere uygulanmış giriş değişkenleri üzerinde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir.

Çıkarım her bir kuralın varsayım kısmı için doğru değerlerin hesaplanması ve bu değerlerin her kuralın çıkarım kısmına uygulanmasıdır.

Bileşke her bir çıkış değişkenine atanmış bulanık alt kümelerin tümünün her bir çıkış değişkeni için bir tane bulanık alt küme oluşturulması için birleştirilmesidir.

Durulaştırma bulanık çıkış kümesi kesin sayılara dönüştürülmek istendiği zaman yapılan işlemdir.

Bulanıklaştırma arayüzü kullanıcının isteğini değerlendirir ve böylece bulanıklaştırma stratejisini belirler. Eğer sözel terimleri alan bir bulanık uzman sistem yapmak istiyorsak, bu modül bazı bulanık bilgileri tutmak zorunda kalacaktır. Bulanıklaştırma stratejisi bulanık mantık denetleyicilerinkine benzer. Bulanık mantık denetleyicilerin tersine, ayrıklaştırma yada normalleştirme gerekmez. Fakat bulanık bölümleme ve her alt bölgeye bulanık sözel terim atama gerekir.

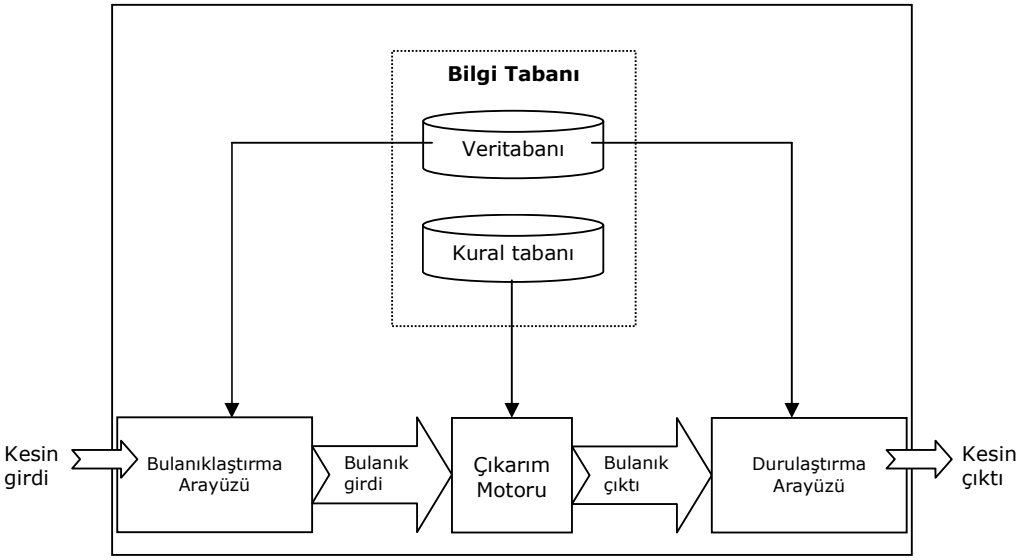
Uzman bilgisi bulanık terimler kullanılarak eğer-o halde şeklinde sunulabilir. Her kural kuralın kesinlik düzeyini temsil eden kesinlik faktörüne sahip olabilir. Bu kesinlik faktörü her kuraldan sonuçların toplanmasında kullanılır.

Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde deneyim, çıkarım, dereceleme, açısal bulanık kümeler, yapay sinir ağlan, genetik algoritmalar, çıkarımcı akıl yürütme gibi değişik yaklaşımlar kullanılabilir.

Çıkarım motoru (karar verme mantığı) bulanık uzman sistemin bulanık mantık denetleyici gibi çıkarım yöntemleri kullanmasını sağlar. Çıkarım her bir kuralın öncül kısmı için doğru değerlerin hesaplanması ve bu değerlerin her kuralın soncul kısmına uygulanmasıdır. Bileşim her bir çıkış değişkenine atanmış bulanık alt kümelerin tümünün her bir çıkış değişkeni için bir tane bulanık alt küme oluşturulması için birleştirilmesidir. Sistem makine yada süreç ile değerlendirilemez ve bundan dolayı bir kuralın soncul parçasında monotonik bir üyelik fonksiyonlu bulanık kümeye sahip olmak zordur. Bundan dolayı özellikle, Mamdani yöntemi ve

Larsen yöntemi sıklıkla kullanılır. Bulanık uzman sistemin genel yapısı Şekil 5.1.'de verilmektedir.

Bulanık uzman sistem bir makine yada süreci kontrol etmiyorsa, genellikle durulaştırma gerekmez. Durulaştırma arayüzü yerine bazen sözel yaklaştırma arayüzü kullanılır. Bu modül elde edilen bulanık kümeye en yakın sözel bir terimi bulur. Bunu yaparken bulanık kümeler arasında mesafe ölçüm teknikleri kullanılabilir (Allahverdi 2002, Baykal 2004 a).



Şekil 5.1. Bulanık uzman sistemin genel yapısı

Bulanık uzman sistemlerde genel olarak, bulanıklaştırma arayüzü, çıkarım motoru (karar verme mantığı), durulaştırma arayüzü ve bilgi tabanı olmak üzere dört bölümden söz edilebilir.

Bulanıklaştırma arayüzü kesin girdi değerlerini bulanık değerlere çevirir. Bunun için girdi değerlerini alır, girdi değişken aralığının uygun evrensel kümeye dönüştürülmesini sağlar ve girdi verilerini uygun sözel değerlere (bulanık kümeler) dönüştürür.

Çıkarım motoru (karar verme mantığı) bulanık kavramlara dayalı insan karar verme işlemini taklit eder. Ayrıca bulanık içerme ve sözel kuralları kullanan bulanık denetim etkinliklerini uygular. Çıkarım motoru akıl yürütme işlemini bulanık çıktıları elde etmek üzere uygulamaktadır.

Bilgi tabanı uygulama alanı hedeflerinin bilgisini içerir, kural ve üyelik fonksiyonlarını tanımlar. Bilgi tabanı bir veri tabanı ve sözel kural tabanından oluşur. Veritabanı denetim kuralları ve veri işlemede kullanılan gerekli tanımlan içerir. Sözel kural tabanı stratejiyi ve kuralları sözel ifadeler aracılığı ile tanımlamaktadır. Kural tabanı, sözel olarak ilgili sistemin modellenmiş hali olarak görülebilir.

Durulaştırma arayüzü ise bulanık çıktı değerlerini, klasik (kesin) değerlere çevirmekten sorumludur.

5.2. Bulanık Uzman Sistemin Kurulması

Bulanık uzman sistemler bulanık modelleme ilkelerine göre kurulurlar. Genel olarak tercih edilen model tipi Mamdani yaklaşımıdır.

Bulanık bir uzman sistemin kurulma süreci aşağıdaki gibidir:

1. Problem alanı belirle ve sözel değişkenleri tanımla
2. Bulanık kümeleri belirle
3. Bulanık kuralları sağla ve yapılandır
4. Bulanık kümeleri, bulanık kuralları ve işlemleri uzman sistemde bulanık çıkarımı sağlayacak şekilde kodla
5. Sistemi değerlendir ve ayarla

şeklinde olacaktır.

Kural tabanı oluşturduktan sonraki aşama, bulanık kümelerin, bulanık kuralların ve işlemlerin uzman sistemde bulanık çıkarımı başarmak için kodlanmasıdır. Bunu başarabilmek için iki seçenekten birini seçebiliriz. Ya C/C++ gibi bir programlama diliyle sistemimizi kurarız yada MATLAB Fuzzy Logic Toolbox yada Fuzzy Knowledge Builder gibi bulanık mantık geliştirme aracını uygularız. Bundan sonraki aşama, en son ve en fazla emek gerektiren kısım olup sistemin ayarlanmasını içerir. Burada başlangıçta belirlediğimiz gereksinimlerin yerine getirildiğini görmek isteriz. Fuzzy Logic Toolbox sistem performansını değerlendirebileceğimiz yüzey üretebilir. Yine de uzman, sistem performansından dolayı tatmin olmayabilir. Sistem performansını daha da arttırmak için başka bulanık kümeler ekleyerek kural tabanını genişletebiliriz.

Bulanık sistemlerin ayarlanmasında aşağıdaki gibi çeşitli yaklaşımlar olabilir:

- Girdi ve çıktı değişkenleri tekrar gözden geçirilip, gerekiyorsa aralıkları değiştirilmelidir.
- Bulanık kümeler gözden geçirilip, gerekiyorsa evrensel kümeye ek kümeler eklenmelidir.
- Komşu kümeler arasında yeterli örtüşmeler sağlanmalıdır. Üçgen-üçgen ve yamuk-üçgen bulanık kümelerinin tabanlarının %25-50 kadarının örtüşmesi önerilmektedir.
- Kurallar gözden geçirilip, gerekiyorsa yeni kurallar kural tabanına eklenmelidir.
- Sistemin hatalı davranışlarını yakalamak üzere, sınır kuralları açısından kural tabanını değerlendirmelidir.
- Kural çalışma ağırlıkları ayarlanmalıdır. Bulanık mantık araçlarından çoğu ağırlıkları değiştirmek suretiyle kuralların öneminin denetlenmesini sağlayacaktır.
- Bulanık kümelerin şekli düzenlenmelidir. çoğu olguda, bulanık sistemler yaklaşık biçime oldukça toleranslıdır.

Bulanık uzman sistemler bulanık mantığın en yaygın olarak kullanıldığı alanlar olup, doğrusal ve doğrusal olmayan denetim, örüntü tanıma, finans sistemleri, işletim araştırmaları, tıbbi tanı ve veri analizi alanlarında çok sayıda örnekler bulunmaktadır.

5.3. Bulanıklaştırma Birimi

Bulanıklaştırma, genel olarak sisteme dışarıdan gelen verilerin, sistemin çıkarım mekanizması aracılığı ile, bilgi tabanındaki bilgileri kullanarak işlenebilmesi için gereken ön hazırlıkları içermektedir. Bulanıklaştırma bölümünde, girdi verilerinin ölçeksel olarak eşlenmesi, gürültüye karşı strateji geliştirme ve bulanıklaştırma fonksiyonunun seçimi olmak üzere üç ana konu ele alınmaktadır.

Girdi verilerinin ölçeksel olarak eşlenmesinde, girdi değişken değerleri aralığının, uygun bir evrensel kümeye dönüştürülmesi gerçekleştirilmektedir. Bir

girdi değeri bu ölçüm sistemine girip çıkınca, değerler, belirlenen evrensel küme aralığında bulunmalıdır. Örnek olarak girdi değişkenlerinin aralığı -1 ile +1 arasında normalleştirilmişse, sisteme giren değer normalleştirme aralığında eşleştirilecek şekilde işlenmektedir.

Gözlemlenen veri ölçülürken, verilerin rasgele gürültü ile karışması söz konusu olabilir. Bu gibi bir durumda, bulanıklaştırma işlemi ile, şüpheli veri bulanık sayılara dönüştürülmelidir. Bulanık sayılar, rasgele değişkenleri daha kolay işleyeceğinden hesaplama etkinliği daha da artacaktır.

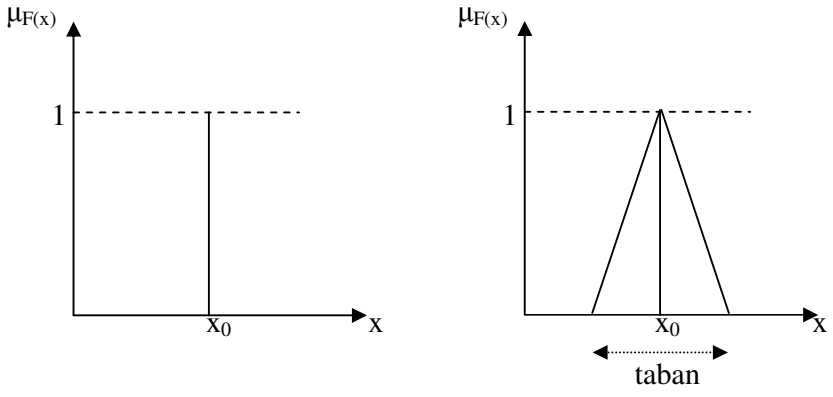
Diğer yandan, gözlenen verinin belirsizlik içermediğini kabul ediyorsak, gözlenen veriyi bulanık tekillik olarak ele alabiliriz. Bulanık tekillik kesin bir değerdir ve böyle bir durumda veriye bulanıklık eklenmemiş olur.

x_0 gözlenen kesin değer, x bulanık kümeyi, Fuzz bulanıklaştırma işlemcisini göstermek üzere,

$x = \text{Fuzz}\ (x_0)$

olarak hesaplanmaktadır. Seçilen bulanıklaştırma işlemcisi kesin verinin bulanık kümelere dönüşümünü etkilemektedir (Aliev 2001).

Şekil 5.2.'de (a) kesin veriyi bulanık tekillik değerine, (b) bulanık üçgen sayıya dönüştüren bulanıklaştırma fonksiyonu görülmektedir. Üçgenin zirve noktası taban veri kümesinin standart sapmasının iki katı iken veri kümesinin ortalama değerine karşılık gelmektedir.



Şekil 5.2. Bulanıklaştırma fonksiyonu: bulanık tekillik değeri(a), bulanık üçgen sayı(b)

5.3.1. Veritabanı

Veritabanı parçasında, evrensel kümenin ayrıklaştırma ve normalleştirilmesi, girdi ve çıktı uzaylarının bulanık bölümlenmesi ve ilk bulanık kümenin üyelik fonksiyonu olmak üzere çeşitli işlemler yapılmaktadır.

Belirsiz bilginin bulanık kümelerle modellenmesi sayısal bilgisayarlar için bilginin nicelendirilmesi sorununu getirir. Bulanık sistemlerde evrensel küme, ayrık yada süreklidir. Eğer evrensel küme sürekli ise, ayrıklaştırma işlemi ile ayrık evren aline getirilmelidir. Bir veri kümesi ayrıca, kesin bir veri aralığında normalleştirilebilir.

5.3.2. Bulanık Kural Tabanı

Bulanık kural tabanı bulanık bir sistemin kalbidir. Bulanık sisteme gelen veriler, öncelikle işlenmeye hazır hale getirildikten sonra bulanık kural tabanında yüklenmiş "eğer- o halde" şeklinde tanımlanmış kurallara göre, çıkarım mekanizması tarafından işlenirler. Bulanık kural tabanında aslında, ilgilenilen sistemin bir modeli sözel ifadelerle (bulanık kümeler) "eğer - o halde" kurallarında işlenmiş durumdadır.

Aslında bulanık küme teorisi kullanarak sistem modelleme konusunda kural tabanlı sistemler, bulanık doğrusal regresyon yöntemi, hücre yapılarına dayalı bulanık gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu kitapta kurala dayalı sistemler açıklanmakta ve bulanık mantık modelleme denilince kural tabanlı bulanık modeller kast edilmektedir.

5.4. Çıkarım Birimi

Bir girdi, bulanık kural tabanında çıkarım mekanizması sayesinde işleme tabi tutulur. Kural tabanında bilginin modellenme şekline göre (Mamdani, Takagi Sugeno Kang vs.) eldeki girdiye karşılık olarak gelen çıktı değeri belirlenecektir. Bu süreç çıkarım ve karar verme sürecidir. Burada girdinin işlenebileceği kurallarla işleme

sokulması söz konusudur. Yapılan işlem aslında içerme işlemi ve ardından elde edilen sonuçların bileşkesinin alınmasıdır.

Önce bulanık "eğer - o halde" kurallarını değerlendirme problemini yani içerme işlemini ele alalım. Bulanık "eğer - o halde" kuralları bulanık içerme olarak değerlendirilebilir.

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) \equiv \mu_A(a) \Rightarrow \mu_B(b)\ ,\ a \in A,\ b \in B$$

İki değerli klasik mantık için, değerlendirme basittir;

$$\mu_B(b) = \begin{cases} 1 & \text{Eger } \mu_A(a) = 1 \\ 0 & \text{Eger } \mu_A(a) = 0 \end{cases}$$

yani, $a \in A \Rightarrow b \in B$ olup;

$$\mu_{\bar{B}}(b) = \begin{cases} 1 & \text{Eger} \mu_{\bar{A}}(a) = 1 \\ 0 & \text{Eger} \mu_{\bar{A}}(a) = 0 \end{cases}$$

yani, $a \notin A \Rightarrow b \notin B$ dir.

Bulanık mantık için, belirli bir mantıksal sistem seçimine göre, "eğer - o halde" kuralları için çeşitli seçenekler söz konusudur;

$$\mu_A(a) \Rightarrow \mu_B(b)$$

yani;

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) = \min\{\mu_A(a),\ \mu_B(b)\}$$

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) = \mu_A(a) \cdot \mu_B(b)$$

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) = \min\{1,\ 1+\mu_B(b)-\mu_A(a)\}$$

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) = \max\{\min\{\mu_A(a),\ \mu_B(b)\},\ 1-\mu_A(a)\}$$

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) = \max\{1-\mu_A(a),\ \mu_B(b)\}$$

Gougen formülü;

$$\mu_{A\Rightarrow B}(a,b) = \begin{cases} 1 & Eger \quad \mu_A(a) \le \mu_B(b) \\ \mu_B(b)/\mu_A(a) & Eger \quad \mu_A(a) > \mu_B(b) \end{cases}$$

Tüm bu değerlendirme formülleri bulanık mantık çıkarım amacına uygun olup, içerme bağıntısı ile aynı formülü tutarlı olarak sağlamaktadır.

Bu formüller, daha çok sayıdaki parçayı da kapsayacak şekilde genişletilebilir.

5.5. Çıkarım Yöntemleri

A_i, B_i ve C_i sırasıyla i = 1, 2, e∈ E, f∈ F ve g∈ G için E, F ve G da tanımlanmak üzere iki tane bulanık denetim kuralını düşünelim;

R_1: Eğer e A_1 ve f B_1 ise g C_1 dir.

R_2: Eğer e A_2 ve f B_2 ise g C_2 dir.

Girdiler genellikle alıcılarla ölçülür ve kesin değerdedir. Bazı olgularda girdi verisini bulanık kümelere döndürmeye elverişli olabilirler. Bununla beraber genelde, kesin bir değer bir bulanık tekillik olarak işlenebilir (Zadeh 2001).

1. Tekillik girdisi: Eğer girdi tekillik değeri olarak verilirse, ilk ve ikinci kuralların α_1 ve α_2 eşleşme dereceleri (ateşleme şiddetleri) $\mu_{A_1}(e_0)$ ve $\mu_{B_1}(f_0)$ kullanıcının girdiği veri (e_0 ve f_0) ile kural tabanındaki veri (A_i ve B_i) arasındaki kısmi eşleşme dereceleri olmak üzere $\alpha_1 = \mu_{A_1}(e_0) \wedge \mu_{B_1}(f_0)$ ve $\alpha_2 = \mu_{A_2}(e_0) \wedge \mu_{B_2}(f_0)$ olarak açıklanabilir.

2. Bulanık girdi: Eğer girdi A_2 ve B' bulanık kümeleri olarak verilirse, kuralların α_i eşleşme dereceleri, i = 1, 2 için;

$$\alpha_i = \min[\max_e(\mu_{A'}(e) \wedge \mu_{A_i}(e)), \min_f(\mu_{B'}(f) \wedge \mu_{B_i}(f))]$$

olacaktır. Eşleşme derecelerinin kartezyen çarpımda EK işlemcisi ile elde edilmektedir. Bu bağıntılar, aşağıdaki dört çıkarım yönteminde anahtar rol oynamaktadır.

5.5.1. Mamdani Yöntemi

Bu yöntem min işlemcisi R_c yi bulanık içerme olarak, max-min işlemcisini de bileşke olarak kullanır. i = 1, 2, ... , n (e∈ E, f∈ F ve g∈ G için);

R_i: Eğer e A_i ve B_i ise g C 'dir.

şeklinde bir kural tabanı verildiğini kabul edelim. Öyleyse R_i = (A_i ve B_i) → C_i;

$$\mu_{R_i} = \mu_{(A_i ve B_i) \to C_i}(e, f, g)$$

ile tanımlanır;

1. Girdi veri tekil olduğu zaman; e = e_0, f = f_0;

$$\mu_{C_i}(g) = [\mu_{A_i}(e_0) ve \mu_{B_i}(f_0)] \to \mu_{C_i}(g)$$

Mamdani yöntemi bulanık içerme (koşul önermesi) (→) için min işlemcisini kullanır. $\alpha_i = \mu_{A_i}(e_0) \wedge \mu_{B_i}(f_0)$ olduğunda $\mu_{C_i}(g) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(g)$ olur.

Çıkartılan sonuç C nin μ_C üyelik fonksiyonunun bireysel denetim kurallarından türetilen toplu sonuç olarak verildiğini ve böylece iki kural R_1 ve R_2 varken,

$$\mu_{C'}(g) = \mu_{C_1'}(g) \vee \mu_{C_2'}(g)$$

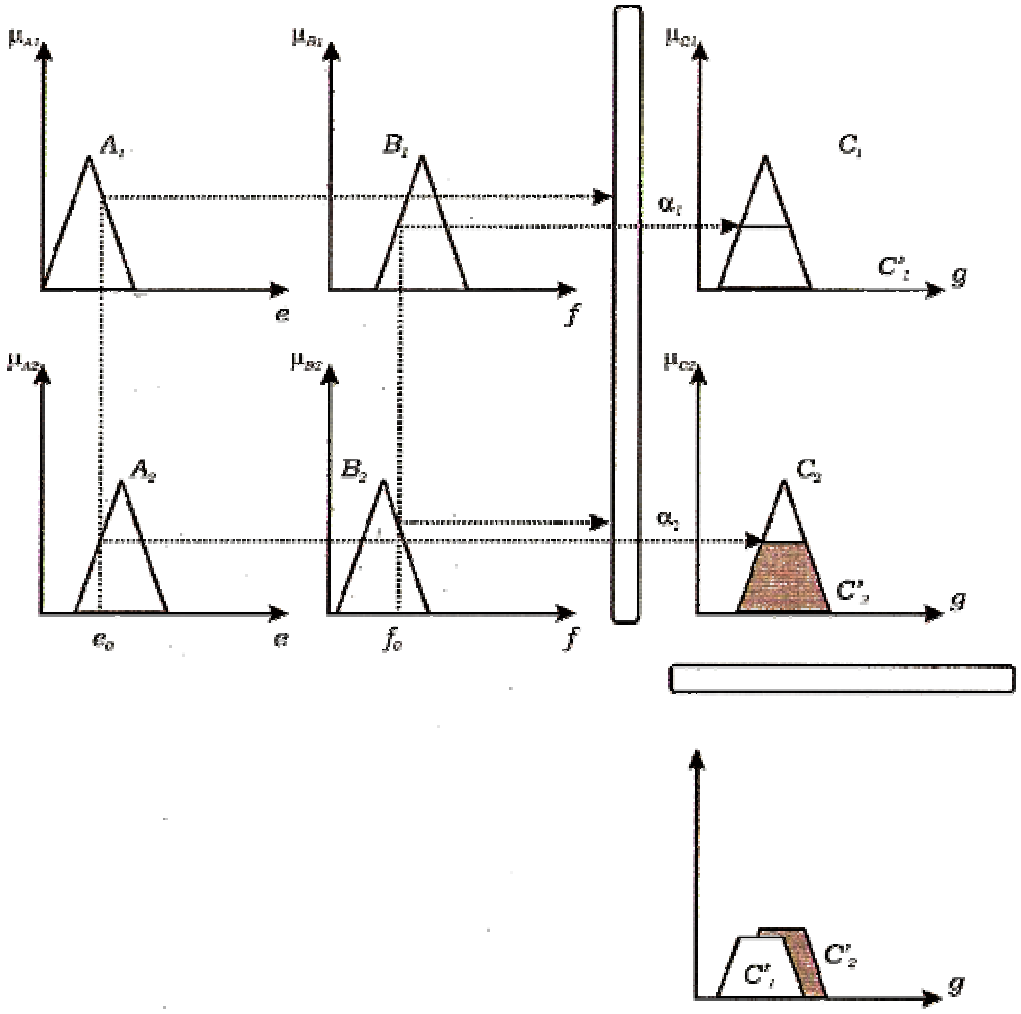
$$\mu_{C'}(g) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(g)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(g)]$$

Girdiler tekillik olarak verildiğinde bu Mamdani bulanık çıkarım süreci aşağıdaki şekildeki gibi temsil edilir.

$$\mu_{C'}(g) = \bigvee_{i=1}^{n} [\alpha_i \wedge \mu_{C_i'}(g)] = \bigvee_{i=1}^{n} \mu_{C_i'}(g)$$

$$C' = \bigcup_{i=1}^{n} C_i'$$

elde edilir. Mamdani çıkarım yöntemi Şekil 5.3.'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Mamdani çıkarım yöntemi

2. Girdi veri A' ve B' bulanık kümeleri olduğu zaman

$\alpha_i = \min_e[\max(\mu_{A'}(e) \wedge \mu_{A_i}(e)), \max_f(\mu_{B'}(f) \wedge \mu_{B_i}(f))]$ olduğunda

$\mu_{C'_i}(g) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(g)$

$\mu_{C'}(g) = \bigvee_{i=1}^{n}[\alpha_i \wedge \mu_{C'_i}(g)] = \bigvee_{i=1}^{n} \mu_{C'_i}(g)$

$C' = \bigcup_{i=1}^{n} C'_i$ elde edilir.

C sonucu, bulanık bir kümedir, bundan dolayı deterministik bir denetim etkinliği elde etmek istersek, durulaştırma yöntemini kullanırız.

5.5.2. Larsen Yöntemi

Bu yöntem bulanık içerme için R_p çarpım işlemcisini, bileşke için de max-çarpım işlemcisini kullanır. i = 1, 2, … , n olmak üzere R_i: Eğer e A_i ve f B_i ise g C_i dir kural tabanı için R_i = (A_i ve B_i) → C_i ; $\mu_{R_i} = \mu_{(A_i ve B_i)\to C_i}(e, f, g)$ ile tanımlanır.

1. Tekillik girdi verisi e = e_0, f = f_0 olarak verilince

$$\mu_{C_i'}(g) = [\mu_{A_i}(e_0) ve \mu_{B_i}(f_0)] \to \mu_{C_i}(g)$$

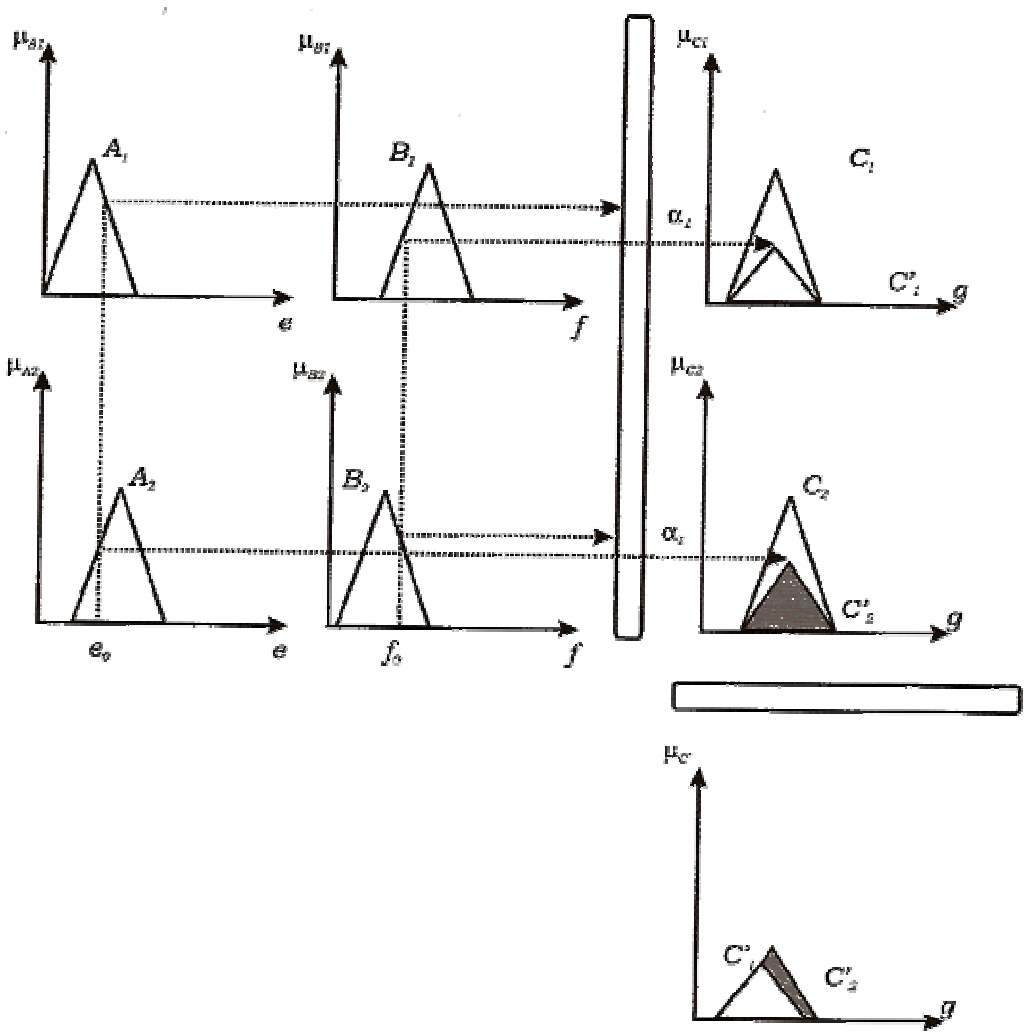
$$\mu_{C_i}(g) = [\mu_{A_i}(e_0) \wedge \mu_{B_i}(f_0)] \bullet \mu_{C_i}(g)$$

$\alpha_i = \mu_{A_i}(e_0) \wedge \mu_{B_i}(f_0)$ olduğunda $\mu_{C_i'}(g) = \alpha_i \bullet \mu_{C_i}(g)$

$$\mu_{C'}(g) = \bigvee_{i=1}^{n} [\alpha_i \bullet \mu_{C_i'}(g)] = \bigvee_{i=1}^{n} \mu_{C_i'}(g)$$

$C' = \bigcup_{i=1}^{n} C_i'$ elde edilir.

Larsen çıkarım yöntemi Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Larsen çıkarım yöntemi

2. Girdi verisi A' ve B' bulanık kümeleri olarak verilince

$\alpha_i = \min_e[\max(\mu_{A'}(e) \wedge \mu_{A_i}(e)), \max(\mu_{B'}(f) \wedge \mu_{B_i}(f))]$ olduğundan

$\mu_{C_i'}(g) = \alpha_i \bullet \mu_{C_i}(g)$ olur.

$\mu_{C'}(g) = \bigvee_{i=1}^{n}[\alpha_i \bullet \mu_{C_i'}(g)] = \bigvee_{i=1}^{n} \mu_{C_i'}(g)$

$C' = \bigcup_{i=1}^{n} C_i'$ elde edilir.

5.5.3. Tsukamoto Yöntemi

Bu yöntemde her bulanık kümenin sonculu monotonik üyelik fonksiyonu olan bulanık küme tarafından temsil edilir. Kural tabanı şu şekildedir. $\mu_{C_i'}(g)$ monotonik bir fonksiyon iken,

R_i: Eğer e A_i ve f B_i ise g C_i dir.

i = 1 , 2, ... , n. Sonuç olarak, her kuralın çıkarımı çıktı kuralın eşleşme derecesi (ateşleme şiddeti) kullanılarak kesin bir değer olarak tanımlanır. Toplam çıktı her kuralın çıktısının ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilir.

C_i kümesinin monotonik üyelik fonksiyonu $\mu_{C_i'}(g)$ olduğu ve α_i nin i inci kuralın eşleşme derecesi olduğunu kabul edelim.

1. Tekil girdi için (e_0, f_0); $\alpha_i = \mu_{A_i}(e_0) \wedge \mu_{B_i}(f_0)$

2. Bulanık küme girdisi için (A', B')

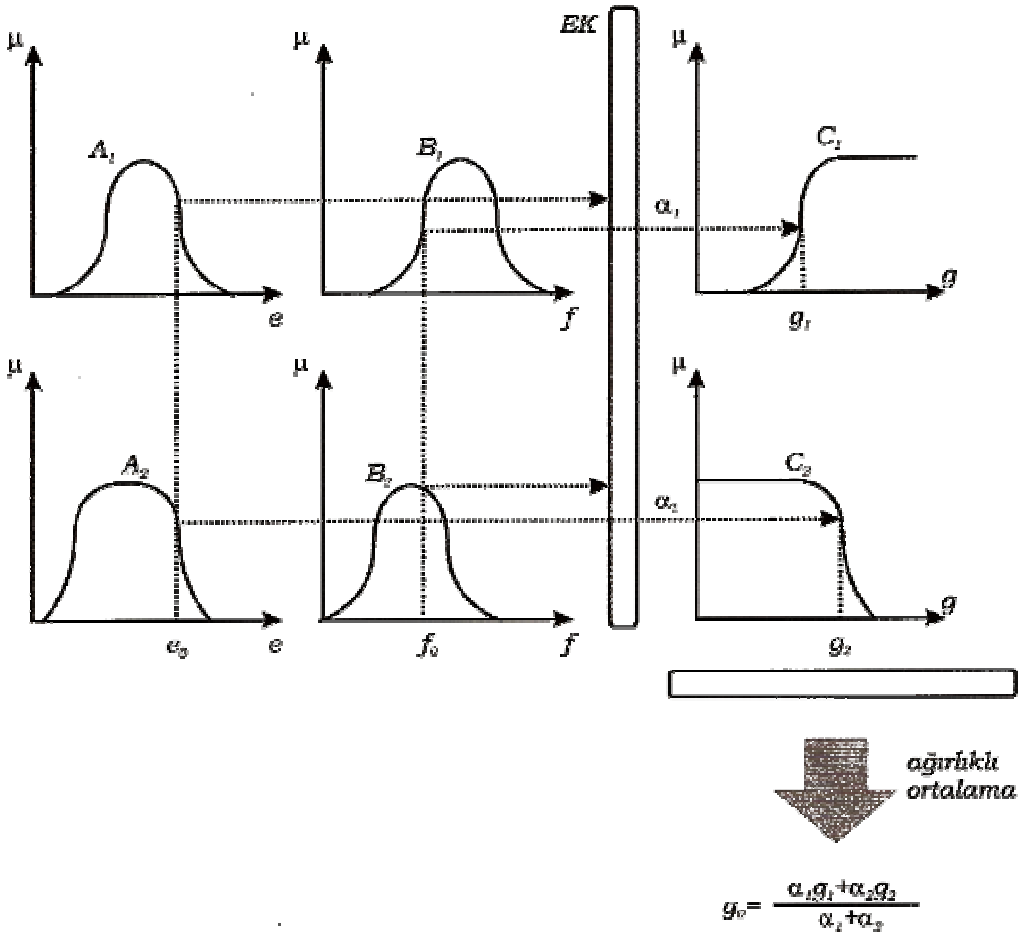
$$\alpha_i = \min_e[\max(\mu_{A'}(e) \wedge \mu_{A_i}(e)), \max_f(\mu_{B'}(f) \wedge \mu_{B_i}(f))] \quad \text{olduğundan}$$

Sonra i inci kuralın sonucu elde edilir; $g_i = \mu_{C_i}^{-1}(\alpha_i)$

İki kural olduğu zaman sonuç ağırlıklı ortalamadan aşağıdaki şekilde türetilir;

$$g_0 = \frac{\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Her kural kesin bir sonuç çıkaracağından, Tsukamoto bulanık modeli ağırlıklı ortalama yöntemi ile her kuralın çıktısını toplar. Bundan dolayı zaman alıcı durulaştırmadan uzak durmayı sağlar. Tsukamoto çıkarım yöntemi Şekil 5.5.'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Tsukamoto çıkarım yöntemi

5.5.4. TSK (Takagi-Sugeno-Kang) Yöntemi

Bu modelde tipik bir bulanık kural şu şekildedir;

Eğer a A ve f B ise g = f(e,f) dir.

g = f(e,f) sonculdaki kesin fonksiyon iken öncüldeki bulanık kümeler A ve B dir. Genellikle f(e,f) e ve f girdi değerlerinde bir polinomdur. Ve bundan dolayı bu yöntem girdiler tekil değerler olarak verilince çalışır.

Basit olsun diye, aşağıdaki şekilde iki bulanık kural olduğunu kabul edelim. p_1, p_2, q_1, q_2 sabitken;

R_1: e A_1 ve f B_1 ise $g = f_1(e,f) = p_1e + q_1f + r_1$

R_2: e A_1 ve f B_1 ise $g = f_2(e,f) = p_2e + q_2f + r_2$

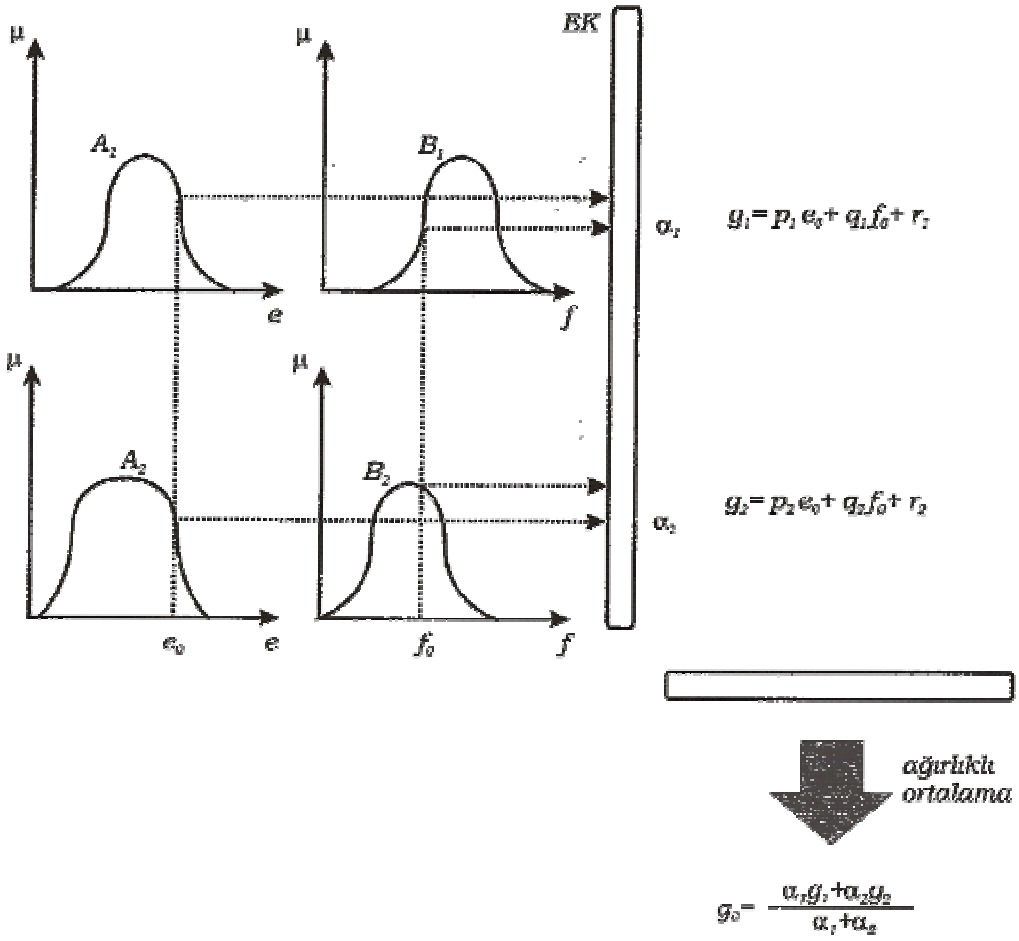
e_0 ve f_0 tekil girdiler ve α_i eşleşeme değeri iken ilk kuraldan elde edilen denetim etkinliğinin çıkarım değeri $f_1(e_0,f_0)$ dır. İkinciden elde edilen çıkarım değeri α_2 eşleşme değeri ile $f_2(e,f)$ dir. Eşleşme derecesi önceki yöntemde elde edildiği şekildedir.

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(e_0) \wedge \mu_{B_i}(f_0)$$

Bunlar tamamen kesin değerlerdir. Toplam sonuç ağırlıklı ortalama ile elde edilir;

$$g_0 = \frac{\alpha_1 f_1(e_0, f_0) + \alpha_2 f_2(e_0, f_0)}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Bu yöntem sonuç kesin değer olduğu için durulaştırma zamanından tasarruf ettirir. TSK (Takagi-Sugeno-Kang) çıkarım yöntemi Şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.6. TSK (Takagi-Sugeno-Kang) çıkarım yöntemi

5.6. Durulaştırma Birimi

Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık olan bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir. İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasına mukabil, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. İşte bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden durulaştırma (defuzzification) işlemleri adı verilir.

Pratik ve endüstri uygulamalarında bir makinenin ihtiyacı olan akımın artırılması bulanık olarak düşünülebilir. Ancak ne miktarda artırılacağı kesin sayılarla olur. Bu nedenle, durulaştırma doğal ve gerekli bir işlemdir. Burada sunulan durulaştırma yöntemlerinden hangisinin en iyi olduğu sorusu vardır. Buna karar verilebilmesi için kullanıcının ilgilendiği sorunla ilişkili olarak bazı durumları önceden bilmesi gereklidir. Bu bilgilerin başında incelenen olayın sürekli olup olmadığıdır. Sürekli durumun söz konusu olması durumunda bulanık sistemde küçük bir değişiklik çıktılarda büyük değişikliklere sebep olmaz.

İkinci olarak göz önünde tutulması gerekli olan husus ise, durulaştırmadan sonra varılan sonucun müphem, ikilemli veya çok cevaplı olmamasıdır. Mesela, böyle bir istek en büyük alanın merkezi yönteminde sağlanamayabilir. Çünkü, en büyük üyelik fonksiyonlarının eşit alana sahip olmaları durumunda z^* için ikilem belirsizliği ortaya çıkar. Aranılması gerekli üçüncü kriter ise sonuçların makul ve mantıki olmasıdır. Örneğin, makul ve mantık i bir durulaştırmada varılan tek değer, bulanık kümenin dayanağının ortalarına doğru ve üyelik derecesinin oldukça büyük olması beklenir. Aranılan bir diğer özellik ise yapılacak hesaplamaların basit olmasıdır (Zadeh 2001).

Son olarak da, bulanık çıktı kümesinin ağırlıklarını hesaba katan ağırlıklı yöntemin öncelikle tercih edilmesidir. Böyle bir yaklaşım sentroid, ağırlıklı ortalama ve toplamların merkezi yöntemleri arasında farkın belirmesine yarar. Durulaştırma

sonucunda elde edilen tek değerin, eldeki verilerin ışığı altında soruna iyi denilebilecek cevap vermesi beklenir (Şen 2001).

5.7. Durulaştırma Yöntemleri

Pek çok pratik uygulamada, denetim komutu kesin bir değer olarak verilir. Bundan dolayı, bulanık çıkarım sonucunu durulaştırmak gerekir. Durulaştırma, elde edilmiş bir bulanık denetim etkinliğinde olasılık dağılımını en iyi gösteren, bulanık olmayan denetim etkinliği elde etme sürecidir. Ancak, iyi bir durulaştırma stratejisi seçmek için sistematik bir işlem yoktur ve bundan dolayı uygulamanın özelliklerini dikkate alan bir yöntem seçilmesi gerekir.

Matematiksel olarak, bulanıklaştırma, R gerçel sayılar alanı, F bulanık kümeler alanı olmak üzere Bulanıklaştırma (R)→F ile gösterilirse bunun tersi durulaştırma olarak tanımlanır. Bu işlem bulanık bir kümeyi sayısal değerlere çevirir. Durulaştırma (F)→F olarak gösterilebilir. Çıkarım motoru bulanık kümeleri alıp bulanık kurallar kümesini uygulayarak dönüştürür. Bu durum da ÇM(F)→F olarak temsil edilebilir.

Genel olarak bir gerçel sayının başka bir gerçel sayıya dönüştürülmesi açısından bir bulanık sistem;

R→Bulanıklaştırma(R)→F→ÇM(F)→F'→Durulaştırma(F')→R

olarak gösterilir. Bulanıklaştırma ve durulaştırma birbirlerinin bütünleyicisi gibi görünse de, ters fonksiyonlar değildir. Durulaştırma yöntemlerinde genel olarak gözlemlenen dört özellik vardır.

1. Durulaştırma işlemcisi daima bir sayısal değer hesaplar. Bu, durulaştırmanın tanımı gereğidir. Açıkça, iki bulanık küme aynı durulanmış değeri verebilir. Ayrıca, durulanmış değerin daima orijinal bulanık kümenin dayanakları arasında olduğu kabul edilir.

2. Üyelik fonksiyonu durulanmış değeri belirler. Bulanık kümenin monotonik olarak daraltılması normal bir bulanık kümenin normalini verir. Benzer şekilde monotonik genişletme işlemcisi bulanık küme normalinden itibaren durulanmış bir değeri verir.

3. İki üçgen bulanık sayının işleme sokulup durulanmasından elde edilen değer daima bireysel olarak durulanıp işleme sokulmasında elde edilen değerlerin arasında yer alır. Af, Bf ; bulanık kümeler ve T; T norm olmak üzere Cf = T(Af,Bf) ise Durulaştırma(Af) $\leq$ Durulaştırma(Cf) $\leq$ Durulaştırma(Bf) ve bu durum T-conorm($\perp$) olmak üzere Cf = $\perp$(Af,Bf) için de geçerlidir.

4. Engelleyici bilgi durumda, durulanmış değer sınırlı bölgeye düşürülmelidir.

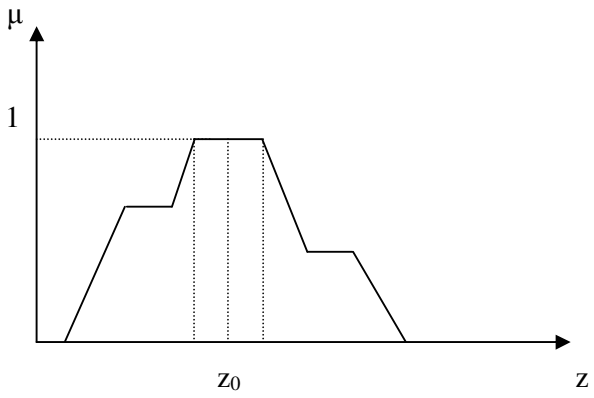
30 dan fazla durulaştırma yöntemi vardır. Bunların bir kısmı en büyük üyelik ilkesi, sentroid yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ortalama en büyük üyelik, toplamların merkezi, en büyük alanın merkezi, en büyük ilk veya son üyelik derecesi olarak sıralanabilir. Bulanık denetleme teorisinde sıklıkla kullanılan dört durulaştırma yöntemi bulunmaktadır. Bunlar en büyüklerin ortası, ağırlık merkezi yöntemi ile hesaplama, ortalamaların merkezi ve alan merkezi yöntemidir (Zadeh 1994).

5.7.1. En Büyüklerin Ortası

En büyüklerin ortası stratejisi üyelik fonksiyonlarının en büyüğe ulaştığı tüm denetim etkinliklerinin ortalama değerlerini temsil eden bir denetim etkinliği üretir. Ayrık bir evren varlığında denetim etkinliği, z_j üyelik fonksiyonunun en büyüğe ulaştığı denetim etkinliği, k bu şekildeki denetim etkinliklerinin sayısı olmak üzere;

$$z_0 = \sum_{j=1}^{k} \frac{z_j}{k}$$

olarak açıklanabilir. En büyüklerin ortası yöntemi ile durulaştırma Şekil 5.7.'de verilmiştir.



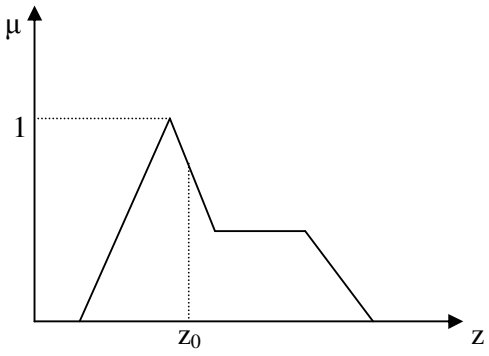
Şekil 5.7. En büyüklerin ortası yöntemi ile durulaştırma

5.7.2. Ağırlık Merkezi (Alan Merkezi) Yöntemi

Sentroid yöntemi de denilen, yaygın olarak kullanılan ağırlık merkezi stratejisi bulanık C kümesinin olabilirlik dağılımının çekim noktasını üretir. çıktının niceleme sayısı n olduğunda, C, (z) çıkış boyutunda tanımlanan bir bulanık kümedir.

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_C(z_j) \cdot z_j}{\sum_{j=1}^{n} \mu_C(z_j)}$$

Sentroid yöntemi ile durulaştırma Şekil 5.8. ‘de verilmiştir.



Şekil 5.8. Sentroid yöntemi ile durulaştırma

5.7.3. Ortalama Merkezi

Bir bulanık kümenin durulma değeri;

$$\sum_{i=\min\limits_{j\in M} j}^{h} \mu(x_i) = \sum_{i=h}^{\mu} \mu(x_i)$$

$$M = \{i \mid \mu_i = \max\{\mu_1, \cdots, \mu_n\}\}$$

$$\overline{X} = X_h$$

5.7.4. İki Bölümlü Alan (Açıortay) Yöntemi

Bu yöntemde çıktı bulanık kümesi en azından iki tane dışbükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa dışbükey bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. İki bölümlü alan yöntemi, aynı alanlı iki bölgeye ayıran bir etkinlik (z_0) üretir. $\alpha = \min\{z \mid z \in W\}$, $\beta = \max\{z \mid z \in W\}$ olmak üzere,

$$\int_{\alpha}^{z_0} \mu_C(z)dz = \int_{z_0}^{\beta} \mu_C(z)dz$$

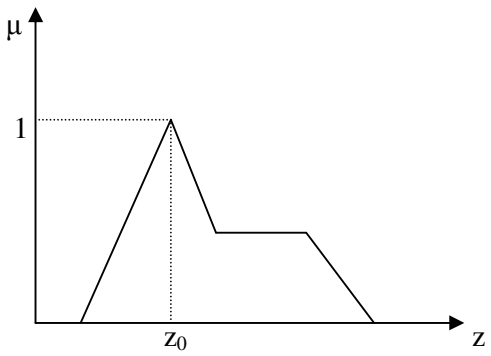
olarak hesaplanır.

5.7.5. En Büyük Üyelik Yöntemi

Yükseklik yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşittir ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\mu_C(z_0) \geq \mu_C(z)$$

En büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma Şekil 5.9.'da verilmiştir.



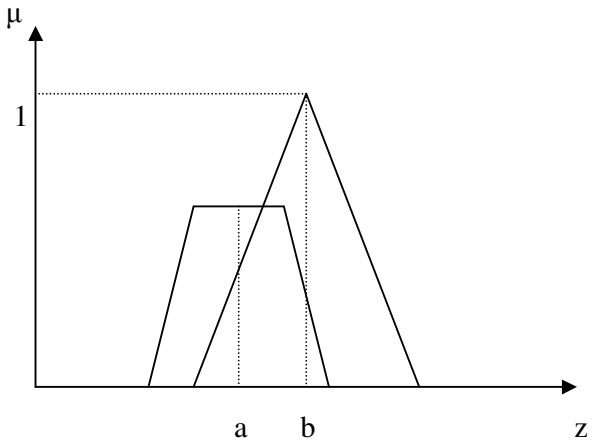
Şekil 5.9. En büyük üyelik yöntemi ile durulaştırma

5.7.6. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bunun kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gereklidir. İşlemler matematik olarak

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_C(\overline{z}) \cdot \overline{z}}{\sum_{j=1}^{n} \mu_C(\overline{z})}$$

şeklinde yapılır. Burada Σ işareti cebir anlamında toplamayı gösterir. Böylece çıkışı oluşturan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının her biri sahip oldukları en büyük üyelik derecesi değeri ile çarpılarak ağırlıklı ortalamaları alınır. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma

5.7.7. Toplamların Merkezi

Kullanılan durulaştırma işlemleri arasında en hızlı olanı bu yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları kullanılır. Bunun bir mahzuru örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Durulaştırılmış değer

$$z_0 = \frac{\int_z z \sum_{j=1}^{n} \mu_C(z_j) dz}{\int_z \sum_{j=1}^{n} \mu_C(z_j) dz}$$

olarak hesap edilebilir. Bir bakıma, bu hesaplama tarzı, ağırlıklı ortalama durulaştırmasına benzer. Ancak toplamların merkezi yönteminde ağırlıklar ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır, Ortalama ağırlıklar yönteminde ise bu üyelik derecesidir.

5.7.8. En Büyük Alanın Merkezi

Eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyor ise, dış bükey bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Durulaştırma işleminin matematik hesaplaması

$$z_0 = \frac{\int \mu_{eb}(z_j) z dz}{\int \mu_{eb}(z_j) dz}$$

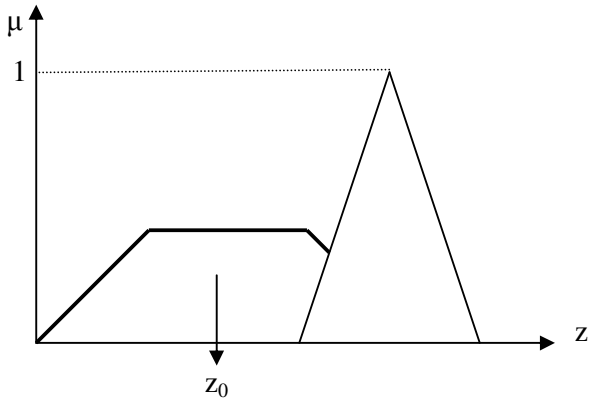
eşitliğine göre yapılır. Burada $\mu_{eb}(z_j)$ en büyük alanlı dış bükey bulanık kümenin hakim olduğu alt bölgeyi gösterir. Bu şart tüm çıkarım bulanık kümesinin dış bükey olmadığı zaman kullanılır, ama tüm çıkarımın dış bükey olması durumunda z_0 sentroid yöntemi ile elde edilenin aynısıdır.

5.7.9. En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi

Bu yöntem de, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük (veya en büyük) bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır. Hesaplamaların vereceği z_0 için aşağıdaki denklemler geçerlidir. Önce bulanık küme çıkarımı, C, birleşiminde en büyük yükseklik, y_{eb} tespit edilir.

$$y_{eb} = \max[\mu_C(z)]$$

Bundan sonra birinci en büyük değer z_0 bulunur. Bu yöntemin bir diğer seçeneği ise ilk yerine son en büyük bulanık küme değerinin z_0 bulunmasıdır. İlk ve son en büyük üyelik dereceleri yöntemi ile durulaştırma Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma

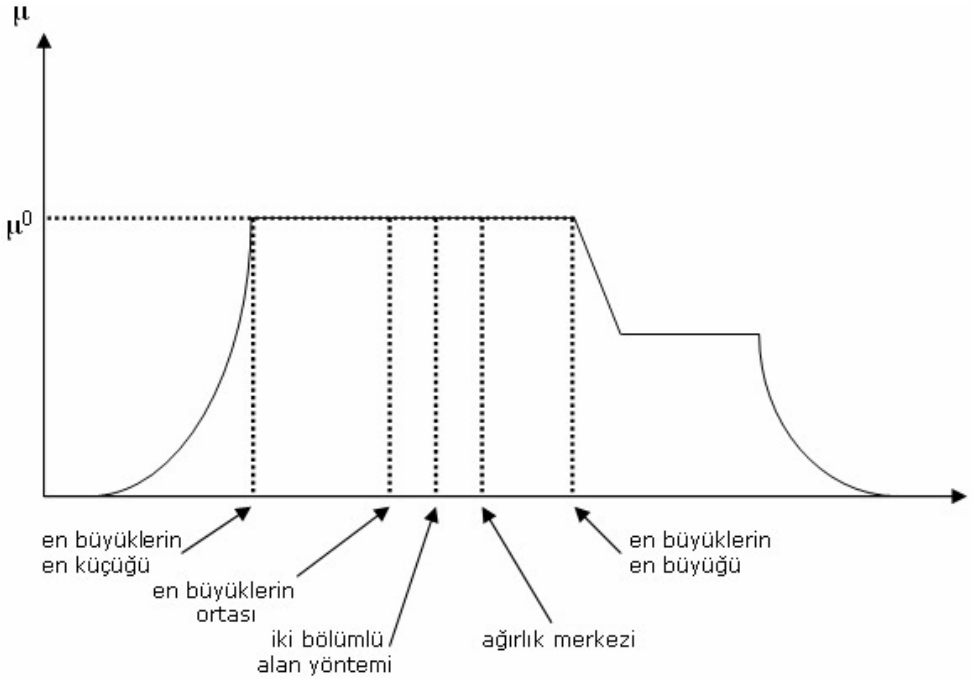
5.7.10. Diğer Durulaştırma Yöntemleri

En büyük üyelik (yükseklik) yöntemi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine İhtiyaç vardır. Ağırlıklı ortalama yönteminin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gereklidir. Toplamların merkezi en hızlı yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları kullanılır. Ağırlıklı ortalama durulanmasına benzer. Ancak toplamların merkezi yönteminde ağırlıklar ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ortalama ağırlıklar yönteminde ise bu üyelik derecesidir. En büyük ilk ve son üyelik derecesi tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik

derecesine sahip olan en küçük (veya en büyük) bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır. Şekil 5.12.'de durulaştırma tiplerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.

Tüm bu yöntemler yanı sıra temel durulaştırma dağılımı (basic defuzzification distribution, BADD) yaklaşımı, yarı doğrusal durulaştırma (semilinear defuzzification, SLIDE), rasgele üretim (random generation, RAGE), ışınsal durulaştırma bulanık kümeleme ile durulaştırma, sinir ağına dayalı durulaştırma gibi yöntemler de bulunmaktadır.

Çıktının standart evrende tanımlandığı durumda, bu değerlerin volt, metre, ton/saat gibi mühendislik birimlerine dönüştürülmesi gerekebilir.



Şekil 5.12. Durulaştırma tiplerinin grafiksel gösterimi

5.8. Bulanık Uzman Sistem Geliştirme Yazılımları

Bulanık uzman sistem geliştirmeyi kolaylaştırmak için piyasaya sürülmüş yazılımlar da vardır. Bunlar içerisinde MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, Mathematica Fuzzy Logic, SieFuzzy, fuzzyTech, TILShell, FIDE, RT/Fuzzy, FuzzyKnowledge Builder ve Fuzz-C sayılabilir. Bu paketler ile kullanıcı dostu grafik arabirimleri ile bulanık sistemin daha kolay ve etkin olarak üretmek mümkündür.

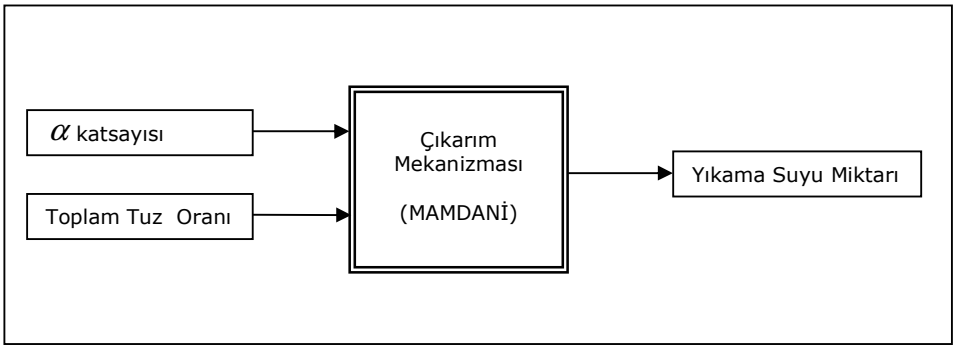
Ayrıca bu sistemler, bulanık sistem tamamlanıp bir donanıma yada başka bir ortama aktarmak gerektiğinde bu parçaların bir kısmını optimize assembly kodu, C kodu yada hedef donanıma kolayca aktarılabilecek mikroişlemci kodu halinde üretebilmektedir (Allahverdi 2002).

6.TUZLU TOPRAKLARIN ISLAHI İÇİN BİR BULANIK UZMAN SİSTEM TASARIMI

Tuzlu toprakların ıslahında yıkama suyu normunun belirlenmesi, tuzlu toprak ıslahı teorisinin ve pratiğinin önemli problemlerinden biridir. Yıkama suyunun gereğinden az olması durumunda zararlı tuzların yıkanmadığı, çok olması durumunda ise faydalı tuzların da yıkanarak toprağın tarıma uygun olarak ıslah edilmediği tespit edilmiştir. Bu yüzden tuzlu toprakların ıslahında yıkama suyunun miktarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Volobuev 1975).

Tuzlu toprakların yıkanmasında kullanılan geleneksel yöntemlerle belirlenmiş yıkama suyu miktarı, ıslahı öngörülen toprak sınıfları ve içermiş oldukları tuz bileşenleri için geçerlidir. Fakat bu parametrelerin önerilen tabloda yer almayan değişik değerleri için yıkama suyu miktarını belirlemek oldukça zordur.

Bu amaçla parametrelerin önerilen tablolarda yer almayan değişik değerlerine göre yıkama suyunun belirlenmesinde kullanılmak üzere BUS tasarlanmıştır. Geliştirilen bulanık uzman sistem iki girişli ve bir çıkışlı olup topraktaki yıkanabilirlik katsayısı α ve toplam tuzluluk oranına göre yıkama suyunun miktarını belirlemektedir. Bulanık uzman sistem geliştirme araçlarından olan Matlab Fuzzy Logic Toolbox programı ile sonuçlar alınmıştır. Deney verileri (Volobuyev 1959, Panin 1968) ve geliştirilen BUS ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Geliştirilen bulanık uzman sistemin genel yapısı Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Geliştirilen bulanık uzman sistemin yapısı

Parametrelerin sınır değerleri aşağıdaki gibidir:

α katsayısı (x) = [0.82 – 1.22]

Toplam tuzluluk oranı (y) = [0.5 – 3.5 %]

Yıkama suyu miktarı (z) = [900 – 12000 m^3/ha]

α yıkanabilirlik katsayısını göstermektedir. α'nın farklı değerleri toprağın tuz içeriğini temsil etmektedir, örneğin, topraktaki kuru kalıntının klor oranı % 40 – 60 arasında olduğunda bu α'nın 0.92 değerine karşılık gelmektedir ve bu tip topraklar "Klorlu" topraklar adlandırılmaktadır. Kuru kalıntının klor oranı % 25 – 35 arasında olduğunda α = 1.02 ve "Sülfatlı-Klorlu", %10 – 20 arasında olduğunda ise α = 1.12 ve "Klorlu-Sülfatlı" topraklar adlandırılmaktadır. Burada sadece orta derecede yıkanabilir tınlı topraklara yani Çizelge 2.1.'de II grup toprak tipi ele alınmıştır. α yıkanabilirlik katsayısının [0.82 – 1.22] aralığının dışındaki değerleri başka bir toprak sınıfına ve tuzluluk grubuna girmektedir.

Toplam tuzluluk oranı [0.5 – 3.5] olarak ele alınmasının nedeni tuzlu toprakların ıslahında amaç toprağı % 0.5 oranındaki tuzluluğa kadar yıkamaktır. Ortalama % 0.5 oranında toplam tuzluluk, tüm toprak tipleri için kabul edilebilir sınırdır (Haydarov 1985). Yani toplam tuzluluğu % 0.5'in altında olan tarımsal topraklar bitki üretimine uygun hesap edilmektedir. Genellikle topraklarda tuzluluk oranı % 3.5'den fazla olması az karşılanabilir durumdur. Böyle tuzluluk tarım arazilerinde noktasal tuzluluk, "lekeli tuzluluk" olarak adlandırılmaktadır ve ıslahı için özel yöntemler uygulanır (burada bahsedilen yöntemden farklı olarak fazla su verilir).

6.1. Bulanıklaştırma

Geliştirilen Bulanık uzman sistemdeki parametreler bir uzman yardımıyla aşağıdaki şekilde bulanıklaştırılmıştır;

Giriş parametreleri için;

α katsayısı (x) : AZ, ORTA, ÇOK

Toplam tuzluluk oranı (y) : AZ, ORTA, FAZLA, ÇOK FAZLA

Çıkış parametreleri için;

Yıkama Suyu miktarı (z) : ÇOK ÇOK AZ (ÇÇA), ÇOK AZ (ÇA), AZ (A), AZ ORTA (AO), ORTA (O), YÜKSEK (Y), ÇOK YÜKSEK (ÇY), ÇOK ÇOK YÜKSEK (ÇÇY)

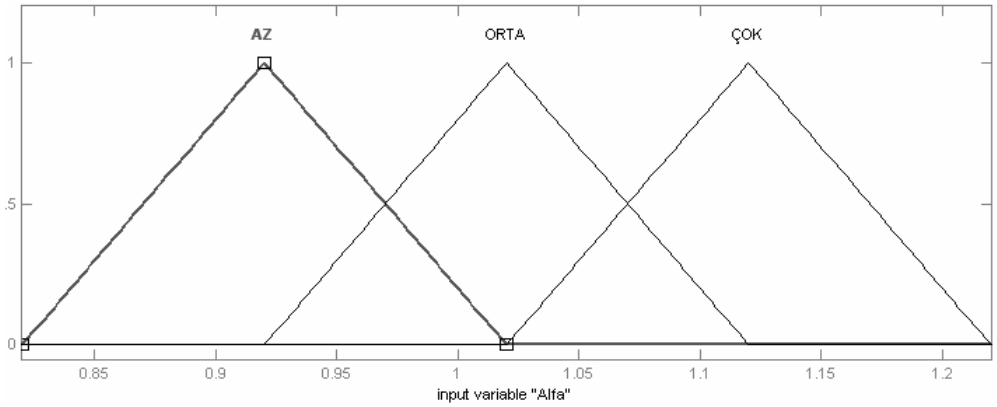
şeklinde dilsel olarak ifade edilmiştir.

α giriş parametresi için üyelik fonksiyonu, grafiği ve bulanık kümeleri aşağıda oluşturulmuştur. α katsayısının üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 6.2.'de verilmiştir.

$$\mu_{Az}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0,82}{0,1}; & 0,82\le x\le 0,92\\ \dfrac{1,02-x}{0,1}; & 0,92< x\le 1,02\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0,92}{0,1}; & 0,92\le x\le 1,02\\ \dfrac{1,12-x}{0,1}; & 1,02< x\le 1,12\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

$$\mu_{Çok}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-1,02}{0,1}; & 1,02\le x\le 1,12\\ \dfrac{1,22-x}{0,1}; & 1,12< x\le 1,22\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$



Şekil 6.2. α katsayısının üyelik fonksiyon grafiği

Böylece, α katsayısının bulanık kümeleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$\mu_{\mathbf{Az}}(x)$ = {0/0,82 + 0,2/0,84 + 0,4/0,86 + 0,6/0,88 + 0,8/0,9 + 1/0,92 + 0,8/0,94 + 0,6/0,96 + 0,4/0,98 + 0,2/1 + 0/1,02}

$\mu_{\mathbf{Orta}}(x)$ = {0/0,92 + 0,2/0,94 + 0,4/0,96 + 0,6/0,98 + 0,8/1 + 1/1,02 + 0,8/1,04 + 0,6/1,06 + 0,4/1,08 + 0,2/1,1 + 0/1,12}

$\mu_{\mathbf{Çok}}(x)$ = {0/1,02 + 0,2/1,04 + 0,4/1,06 + 0,6/1,08 + 0,8/1,1 + 1/1,2 + 0,8/1,14 + 0,6/1,16 + 0,4/1,18 + 0,2/1,2 + 0/1,22}

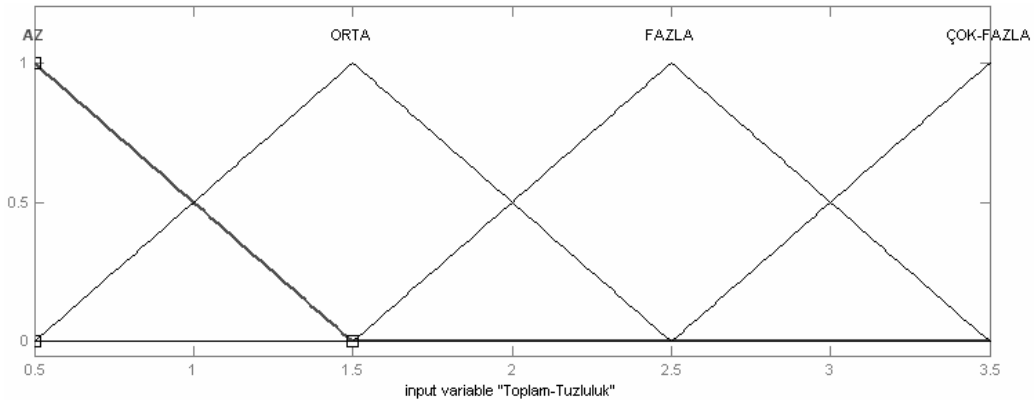
Toplam tuzluluk giriş parametresi için üyelik fonksiyonu, grafiği ve bulanık kümeleri aşağıda oluşturulmuştur. Toplam tuzluluk oranının üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 6.3.'de verilmiştir.

$$\mu_{Az}(y) = \begin{cases} \dfrac{1,5-y}{1}; & 0,5 \le y \le 1,5 \\ 0; & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

$$\mu_{Orta}(y) = \begin{cases} \dfrac{y-0,5}{1}; & 0,5 \le y \le 1,5 \\ \dfrac{2,5-y}{1}; & 1,5 < y \le 2,5 \\ 0; & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

$$\mu_{Fazla}(y) = \begin{cases} \dfrac{y-1,5}{1}; & 1,5 \le y \le 2,5 \\ \dfrac{3,5-y}{1}; & 2,5 < y \le 3,5 \\ 0; & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

$$\mu_{ÇokFazla}(y) = \begin{cases} \dfrac{y-2,5}{1}; & 2,5 \le y \le 3,5 \\ 0; & diğer\ durumlarda \end{cases}$$



Şekil 6.3. Toplam tuzluluk oranının üyelik fonksiyon grafiği

Böylece, toplam tuzluluk oranı için bulanık kümeler aşağıdaki gibi olacaktır.

$\mu_{\mathbf{Az}}$(y) = {1/0,5 + 0,9/0,6 + 0,8/0,7 + 0,7/0,8 + 0,6/0,9 + 0,5/1 + 0,4/1,1 + 0,3/1,2 + 0,2/1,3 + 0,1/1,4 + 0/1,5}

$\mu_{\mathbf{Orta}}$(y) = {0/0,5 + 0,2/0,7 + 0,4/0,9 + 0,6/1,1 + 0,8/1,3 + 1/1,5 + 0,8/1,7 + 0,6/1,9 + 0,4/2,1 + 0,2/2,3 + 0/2,5}

$\mu_{\mathbf{Fazla}}$(y) = {0/1,5 + 0,2/1,7 + 0,4/1,9 + 0,6/2,1 + 0,8/2,3 + 1/2,5 + 0,8/2,7 + 0,6/2,9 + 0,4/3,1 + 0,2/3,3 + 0/3,5}

$\mu_{\mathbf{Çok\ Fazla}}$(y) = {0/2,5 + 0,1/2,6 0,2/2,7 + 0,3/2,8 + 0,4/2,9 + 0,5/3 + 0,6/3,1 + 0,7/3,2 + 0,8/3,3 + 0,9/3,4 + 1/3,5}

Yıkama suyu miktarı çıkış parametresi için üyelik fonksiyonu, grafiği ve bulanık kümeleri aşağıda oluşturulmuştur. Yıkama suyu miktarının üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 6.4.'de verilmiştir.

$$\mu_{ÇÇA}(z)=\begin{cases}\dfrac{1550-z}{650}; & 900\le z\le 1550\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

$$\mu_{ÇA}(z)=\begin{cases}\dfrac{z-1122}{556}; & 1122\le z\le 1678\\ \dfrac{3736-z}{2058}; & 1678< z\le 3736\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

$$\mu_{A}(z)=\begin{cases}\dfrac{z-1798}{999}; & 1798\le z\le 2797\\ \dfrac{6289-z}{3492}; & 2797< z\le 6289\\ 0 & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

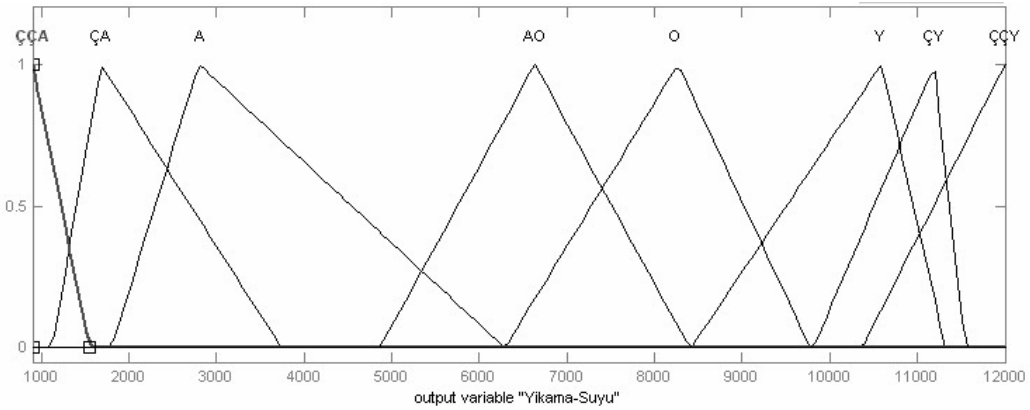
$$\mu_{AO}(z)=\begin{cases}\dfrac{z-4865}{1766}; & 4865\le z\le 6631\\ \dfrac{8397-z}{1766}; & 6631< z\le 8397\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

$$\mu_{O}(z)=\begin{cases}\dfrac{z-6289}{1977}; & 6289\le z\le 8266\\ \dfrac{9780-z}{1514}; & 8266< z\le 9780\\ 0; & \textit{diğer durumlarda}\end{cases}$$

$$\mu_Y(z) = \begin{cases} \dfrac{z-8415}{2175}; & 8415 \le z \le 10590 \\ \dfrac{11320-z}{730}; & 10590 < z \le 11320 \\ 0; & \textit{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$\mu_{ÇY}(z) = \begin{cases} \dfrac{z-9810}{1380}; & 9810 \le z \le 11190 \\ \dfrac{11540-z}{350}; & 11190 < z \le 11540 \\ 0; & \textit{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$\mu_{ÇÇY}(z) = \begin{cases} \dfrac{z-10370}{1630}; & 10370 \le z \le 12000 \\ 0; & \textit{diğer durumlarda} \end{cases}$$



Şekil 6.4. Yıkama suyu miktarının üyelik fonksiyon grafiği

Böylece, yıkama suyu miktarının bulanık kümeleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$\mu_{\mathbf{ÇÇA}}(z)$ = {1/900 + 0,8/1000 + 0,7/1100 + 0,5/1200 + 0,4/1300 + 0,2/1400 + 0,1/1500 + 0/1550}

$\mu_{\mathbf{ÇA}}(z)$ = {0/1122 + 0,1/1200 + 0,3/1300 + 0,5/1400 + 0,7/1500 + 0,9/1600 + 1/1678 + 0,9/1800 + 0,7/2200 + 0,5/2700 + 0,3/3100 + 0,1/3500 + 0/3736}

$\mu_{\mathbf{A}}(z)$ = {0/1798 + 0,2/2000 + 0,4/2200 + 0,6/2400 + 0,8/2600 + 1/2797 + 0,8/3400 + 0,6/4100 + 0,4/4800 + 0,2/5500 + 0/6289}

$\mu_{\mathbf{AO}}(z)$ = {0/4865 + 0,2/5200 + 0,4/5500 + 0,6/5900 + 0,8/6200 + 1/6631 + 0,8/6900 + 0,6/7300 + 0,4/7700 + 0,2/8000 + 08397}

$\mu_{\mathbf{O}}(z)$ = {0/6289 + 0,2/6600 + 0,4/7000 + 0,6/7400 + 0,8/7800 + 1/8266 + 0,8/8500 + 0,6/8800 + 0,4/9100 + 0,2/9500 + 0/9780}

$\mu_{\mathbf{Y}}(z)$ = {0/8415 + 0,2/8800 + 0,4/9200 + 0,6/9780 + 0,8/10100 + 1/10590 + 0,8/10700 + 0,7/10800 + 0,6/10900 + 0/11320}

$\mu_{\mathbf{ÇY}}(z)$ = {0/9810 + 0,2/10100 + 0,4/10300 + 0,6/10590 + 0,8/10900 + 1/11190 + 0,7/11300 + 0,4/11400 + 0,1/11500 + 0/11540}

$\mu_{\mathbf{ÇÇY}}(z)$ = {0/10370 + 0,2/10700 + 0,4/11000 + 0,6/11300 + 0,8/11600 + 1/12000}

6.2. Bulanık Kurallar

Topraktaki α katsayısına ve toplam tuzluluk oranına göre yıkama suyunun belirlenmesi için kurallar dilsel olarak Çizelge 6.1.'deki gibi ifade edilmektedir. Kurallar literatür taranarak ve uzman yardımı ile oluşturulmuştur.

Çizelge 6.1. α – Toplam Tuzluluk – Yıkama Suyu parametrelerinin dilsel olarak ifadeleri

		Toplam Tuzluluk			
		AZ	ORTA	FAZLA	ÇOK FAZLA
α	AZ	**AZ**	**ORTA**	**YÜKSEK**	**ÇOK ÇOK YÜKSEK**
	ORTA	**ÇOK AZ**	**AZ ORTA**	**YÜKSEK**	**ÇOK YÜKSEK**
	ÇOK	**ÇOK ÇOK AZ**	**AZ**	**ORTA**	**YÜKSEK**

Toprağı yıkamak için verilecek su miktarının tahmini için kurallar Çizelge 6.2.'de verilmiştir. Toplam 12 adet kural oluşturulmuştur.

Çizelge 6.2. Geliştirilen bulanık uzman sistem için oluşturulan kurallar

1	Eğer **α =**	**AZ**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**AZ**	ise, O Halde **Su =**	**AZ**
2	Eğer **α =**	**AZ**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**ORTA**	ise, O Halde **Su =**	**ORTA**
3	Eğer **α =**	**AZ**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**FAZLA**	ise, O Halde **Su =**	**YÜKSEK**
4	Eğer **α =**	**AZ**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**ÇOK FAZLA**	ise, O Halde **Su =**	**ÇOK ÇOK YÜKSEK**
5	Eğer **α =**	**ORTA**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**AZ**	ise, O Halde **Su =**	**ÇOK AZ**
6	Eğer **α =**	**ORTA**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**ORTA**	ise, O Halde **Su =**	**AZ ORTA**
7	Eğer **α =**	**ORTA**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**FAZLA**	ise, O Halde **Su =**	**YÜKSEK**
8	Eğer **α =**	**ORTA**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**ÇOK FAZLA**	ise, O Halde **Su =**	**ÇOK YÜKSEK**
9	Eğer **α =**	**ÇOK**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**AZ**	ise, O Halde **Su =**	**ÇOK ÇOK AZ**
10	Eğer **α =**	**ÇOK**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**ORTA**	ise, O Halde **Su =**	**AZ**
11	Eğer **α =**	**ÇOK**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**FAZLA**	ise, O Halde **Su =**	**ORTA**
12	Eğer **α =**	**ÇOK**	ve	**Toplam Tuzluluk =**	**ÇOK FAZLA**	ise, O Halde **Su =**	**YÜKSEK**

6.3. Çıkarım Mekanizması

Çıkarım mekanizması olarak "Mamdani çıkarımı" seçilmiştir. Mamdani max-min çıkarım uygulandığından her bir kural için doğruluk dereceleri λ belirlenmiştir.

$$\lambda_1 = \min\{\mu_{Az}(x), \mu_{Az}(y)\}$$

$$\lambda_2 = \min\{\mu_{Az}(x), \mu_{Orta}(y)\}$$

$$\lambda_3 = \min\{\mu_{Az}(x), \mu_{Fazla}(y)\}$$

$$\lambda_4 = \min\{\mu_{Az}(x), \mu_{ÇokFazla}(y)\}$$

$$\lambda_5 = \min\{\mu_{Orta}(x), \mu_{Az}(y)\}$$

$$\lambda_6 = \min\{\mu_{Orta}(x), \mu_{Orta}(y)\}$$

$$\lambda_7 = \min\{\mu_{Orta}(x), \mu_{Fazla}(y)\}$$

$$\lambda_8 = \min\{\mu_{Orta}(x), \mu_{ÇokFazla}(y)\}$$

$$\lambda_9 = \min\{\mu_{Çok}(x), \mu_{Az}(y)\}$$

$$\lambda_{10} = \min\{\mu_{Çok}(x), \mu_{Orta}(y)\}$$

$$\lambda_{11} = \min\{\mu_{Çok}(x), \mu_{Fazla}(y)\}$$

$$\lambda_{12} = \min\left\{\mu_{Çok}(x), \mu_{ÇokFazla}(y)\right\}$$

6.4. Durulaştırma

Durulaştırma işleminde ise bulunan doğruluk derecesine göre ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi (Sentroid) kullanılarak kesin çıktılar elde edilmiştir.

Örnek olarak α katsayısı = 0.92 ve toplam tuzluluk oranı = 1.5 olan bir toprağın yıkanması için gereken su miktarının deney verilerindeki **8051** m^3/ha sonucuna karşılık olarak, geliştirilen bulanık uzman sistemde **8110** m^3/ha değeri elde edilmiştir. α katsayısı = 0.92 ve toplam tuzluluk oranı = 1.5 % değerleri için elde edilen bulanık uzman sistem sonucu Şekil 6.5.'de verilmektedir.

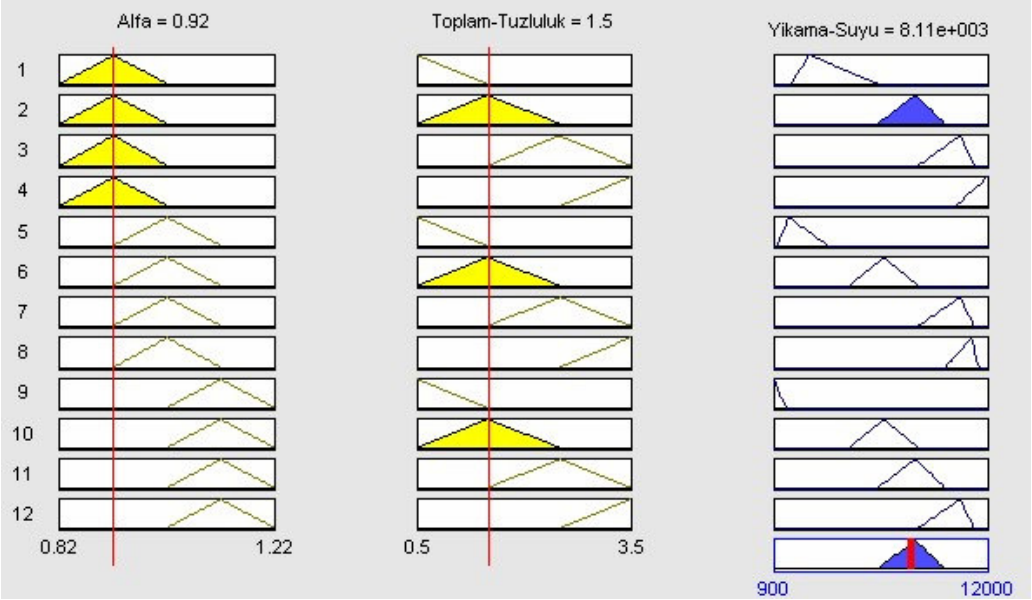
α katsayısı = 0.92 ve toplam tuzluluk oranı = 1.5 % değerleri için sadece Kural 2 ateşlenmiştir. α katsayısı = 0.92 Az kategorisine girdiğinden ve toplam tuzluluk oranı = 1.5 Orta kategorisine girdiğinden, Kural 2 gereği Su miktarı = Orta olacaktır. Kural 2 için doğruluk derecesi

$$\begin{aligned}\lambda_2 &= \min\left\{\mu_{Az}(x), \mu_{Orta}(y)\right\} \\ &= \min\left\{1.0, 1.0\right\} \\ &= 1.0\end{aligned}$$

şeklinde bulunduktan sonra λ_2'ye uygun çıkış kümesinden kesin çıktıyı elde etmek için Sentroid yöntemi kullanılarak

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_C(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_C(z_i)}$$

formülünden yıkama suyunun değeri $z = 8110\ m^3$/ha olarak bulunur.



Şekil 6.5. Sentroid durulaştırıcı ile bulanık uzman sistem sonucu

Başka bir örneğe bakalım:

α katsayısı = 1.02 ve toplam tuzluluk oranı = 2.3 olan bir toprağın yıkanması için gereken su miktarı , geliştirilen bulanık uzman sistemde 9010 m^3/ha değeri elde edilmiştir. Bu değerler için elde edilen bulanık uzman sistem sonucu Şekil 6.6.'de verilmektedir. α katsayısı = 1.02 ve toplam tuzluluk oranı = 2.3 değerleri için 2 kural aynı anda ateşlenecektir. α katsayısı = 1.02 Orta kategorisine girer toplam tuzluluk = 2.3 ise hem Orta, hem de Fazla kategorisine girer. Bu durumda Kural 6 ve Kural 7 aynı anda ateşlenecektir. Kural 6 gereği Su miktarı = Az Orta, Kural 7 gereği ise Su miktarı = Yüksek olacaktır. Bu durumda iki (veya daha fazla) Kural aynı anda ateşlenirse çıkarım doğruluk derecelerinin maksimumlarını almakla bulunur.

Kural 6: $\lambda_6 = \min\{\mu_{Orta}(x), \mu_{Orta}(y)\}$

$= \min\{1, 0.2\}$

$= 0.2$

Kural 7: $\lambda_7 = \min\{\mu_{Orta}(x), \mu_{Fazla}(y)\}$

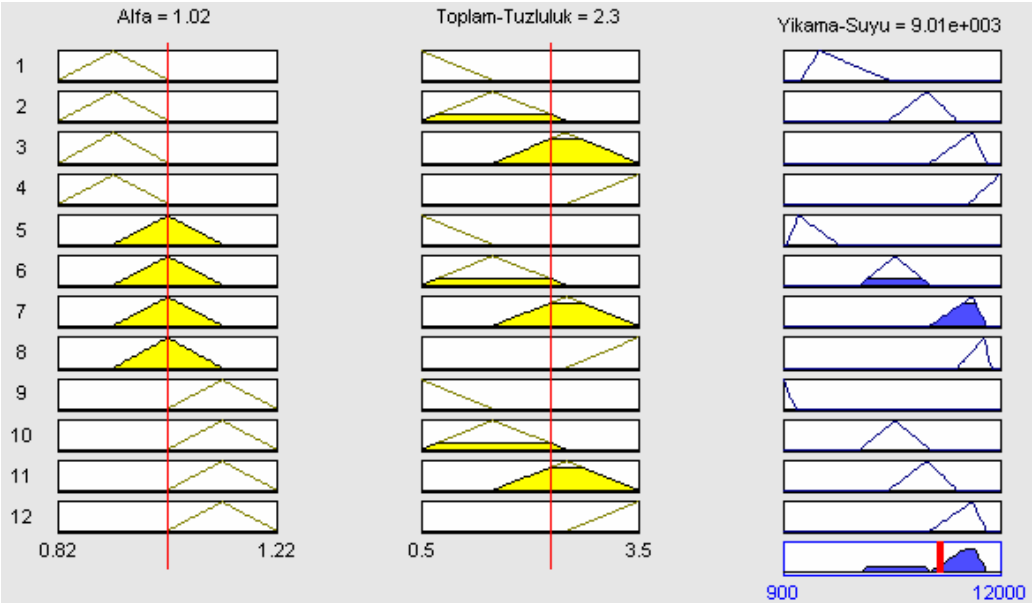
$= \min\{1, 0.8\}$

$= 0.8$

$\lambda = \max\{0.2, 0.8\}$

= 0.8

Daha sonra sentroid yöntemi ile durulaştırma formülünden hesaplarsak kesin çıktı z = 9010 m^3/ha olarak bulunur.



Şekil 6.6. İki kuralın aynı anda ateşlendiği durum

Başka bir örneğe bakacak olursak: örneğin α katsayısı = 0.96 ve toplam tuzluluk oranı = 2.9 olan bir toprağın yıkanması için gereken su miktarı , geliştirilen bulanık uzman sistemde 10400 m^3/ha değeri elde edilmiştir. Bu değerler için elde edilen bulanık uzman sistem sonucu Şekil 6.7.'de verilmektedir. α katsayısı = 0.96 ve toplam tuzluluk oranı = 2.9 değerleri için 4 kural aynı anda ateşlenecektir ve çıkarım bu 4 kuralın doğruluk derecelerinin maksimumlarını almakla bulunacaktır.

α = 0.96 hem Az, hem de Orta kategorisine girer, toplam tuzluluk = 2.9 ise hem Fazla, hem de Çok Fazla kategorisine girer. Bu durumda Kural 3, Kural 4, Kural 7 ve Kural 8 aynı anda ateşlenecektir. Kural 3 gereği Su miktarı = Yüksek, Kural 4 gereği Su miktarı = Çok Çok Yüksek, Kural 7 gereği Su miktarı = Yüksek ve Kural 8 gereği ise Su miktarı = Çok Yüksek olacaktır.

Kural 3: $\lambda_3 = \min\{\mu_{Az}(x), \mu_{Fazla}(y)\}$

$= \min\{0.6, 0.6\}$

$= 0.6$

Kural 4: $\lambda_4 = \min\{\mu_{Az}(x),\ \mu_{ÇokFazla}(y)\}$

$= \min\{0.6,\ 0.4\}$

$= 0.4$

Kural 7: $\lambda_7 = \min\{\mu_{Orta}(x),\ \mu_{Fazla}(y)\}$

$= \min\{0.4,\ 0.6\}$

$= 0.4$

Kural 8: $\lambda_8 = \min\{\mu_{Orta}(x),\ \mu_{ÇokFazla}(y)\}$

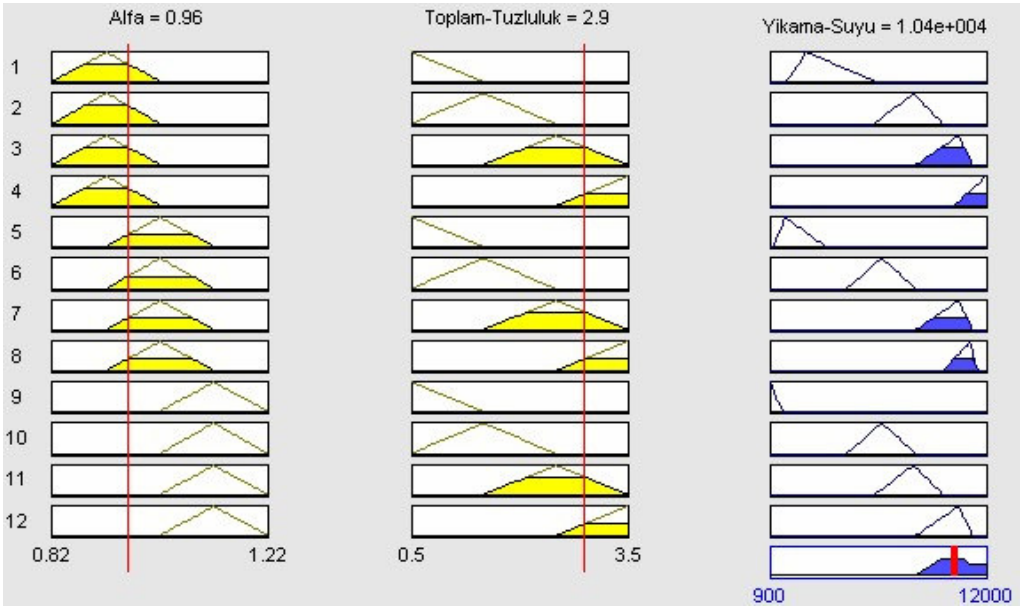
$= \min\{0.4,\ 0.4\}$

$= 0.4$

$\lambda = \max\{0.6,\ 0.4,\ 0.4,\ 0.4\}$

$= 0.6$

Daha sonra sentroid yöntemi ile durulaştırma formülünden yıkama suyunun miktarı hesaplanarak sonuç z = 10400 m^3/ha olarak bulunur.



Şekil 6.7. Dört kuralın aynı anda ateşlendiği durum

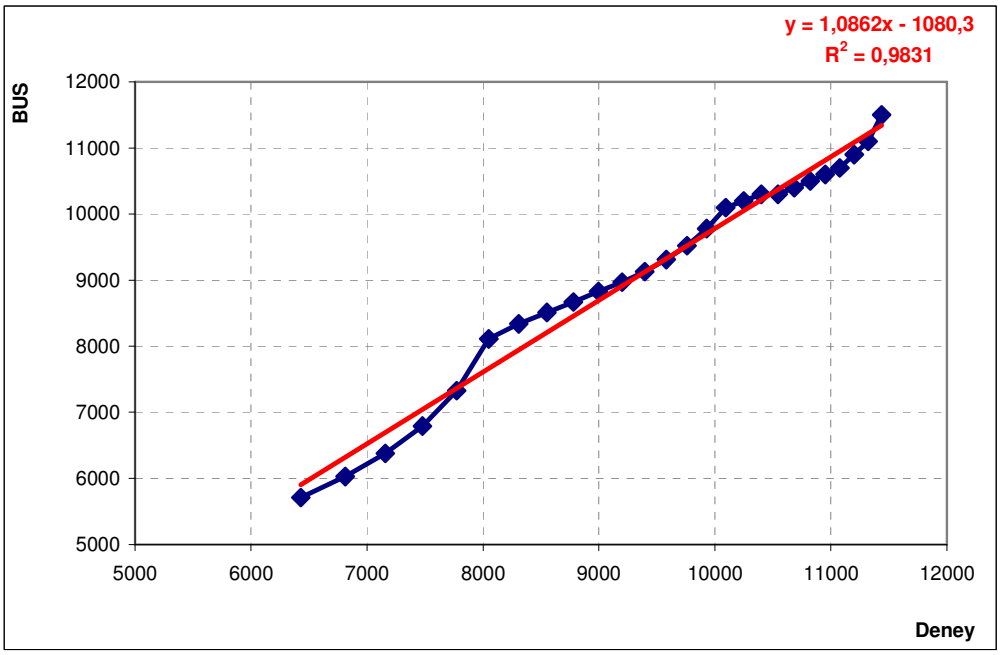
Deney sonuçları (Volobuyev 1959, Panin 1968) ile bulanık uzman sistemde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve Çizelge 6.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Deney verileri ile geliştirilen BUS sonuçlarının karşılaştırılması

			SU				SU				SU		
	S_t	**α**	**Deney m^3/ha**	**BUS m^3/ha**	**Hata %**	**α**	**Deney m^3/ha**	**BUS m^3/ha**	**Hata %**	**α**	**Deney m^3/ha**	**BUS m^3/ha**	**Hata %**
1	**1**	0,92	6431	**5710**	11,2	1,02	5333	**4840**	9,3	1,12	4457	**-**	
2	**1,1**	0,92	6811	**6030**	11,5	1,02	5756	**5130**	10,9	1,12	4921	**-**	
3	**1,2**	0,92	7159	**6380**	10,9	1,02	6141	**5430**	11,6	1,12	5344	**-**	
4	**1,3**	0,92	7479	**6790**	9,2	1,02	6496	**5760**	11,3	1,12	5733	**6460**	12,7
5	**1,4**	0,92	7775	**7330**	5,7	1,02	6824	**6160**	9,7	1,12	6094	**6560**	7,7
6	**1,5**	0,92	8051	**8110**	0,7	1,02	7129	**6680**	6,3	1,12	6429	**6680**	3,9
7	**1,6**	0,92	8308	**8340**	0,4	1,02	7415	**7120**	4,0	1,12	6743	**6850**	1,6
8	**1,7**	0,92	8551	**8510**	0,5	1,02	7684	**7450**	3,0	1,12	7038	**7000**	0,5
9	**1,8**	0,92	8779	**8670**	1,2	1,02	7937	**7720**	2,7	1,12	7316	**7140**	2,4
10	**1,9**	0,92	8995	**8830**	1,8	1,02	8177	**7970**	2,5	1,12	7579	**7270**	4,1
11	**2**	0,92	9200	**8970**	2,5	1,02	8404	**8200**	2,4	1,12	7828	**7390**	5,6
12	**2,1**	0,92	9395	**9130**	2,8	1,02	8620	**8440**	2,1	1,12	8066	**7520**	6,8
13	**2,2**	0,92	9581	**9310**	2,8	1,02	8826	**8710**	1,3	1,12	8292	**7660**	7,6
14	**2,3**	0,92	9758	**9520**	2,4	1,02	9023	**9030**	0,1	1,12	8508	**7800**	8,3
15	**2,4**	0,92	9928	**9780**	1,5	1,02	9212	**9470**	2,8	1,12	8715	**7960**	8,7
16	**2,5**	0,92	10092	**10100**	0,1	1,02	9392	**10100**	7,5	1,12	8914	**8150**	8,6
17	**2,6**	0,92	10248	**10200**	0,5	1,02	9566	**10100**	5,6	1,12	9105	**8340**	8,4
18	**2,7**	0,92	10399	**10300**	1,0	1,02	9733	**10200**	4,8	1,12	9288	**8510**	8,4
19	**2,8**	0,92	10544	**10300**	2,3	1,02	9894	**10200**	3,1	1,12	9465	**8670**	8,4
20	**2,9**	0,92	10685	**10400**	2,7	1,02	10050	**10200**	1,5	1,12	9636	**8830**	8,4
21	**3**	0,92	10820	**10500**	3,0	1,02	10200	**10200**	0,0	1,12	9801	**8970**	8,5
22	**3,1**	0,92	10951	**10600**	3,2	1,02	10345	**10300**	0,4	1,12	9960	**9130**	8,3
23	**3,2**	0,92	11078	**10700**	3,4	1,02	10486	**10400**	0,8	1,12	10115	**9310**	8,0
24	**3,3**	0,92	11201	**10900**	2,7	1,02	10622	**10500**	1,2	1,12	10264	**9520**	7,3
25	**3,4**	0,92	11320	**11100**	1,9	1,02	10754	**10600**	1,4	1,12	10409	**9780**	6,0
26	**3,5**	0,92	11436	**11500**	0,6	1,02	10883	**10900**	0,2	1,12	10550	**10100**	4,3
				Ortalama Hata	**2,4**				**3,0**				**4,3**

Genel Ortalama Hata	**3,2**

Bulanık uzman sistem ile elde edilen sonuçların deney verileri ile karşılaştırılıp deney verilerine göre hata oranları hesaplanmıştır. Genel ortalama hata % 3,2 olarak bulunmuştur. Tuzlu toprakların ıslahında kabul edilebilir hata oranı % 5-15 arasındadır. Dolayısıyla, tasarlanan bulanık uzman sistem ile elde edilen sonuçlar % 5'in de altında hata oranı ile sonuçlar verdiğinden, tuzlu toprakların yıkanmasında çok iyi sonuçlar vereceği beklenmektedir.



Şekil 6.8. BUS ve deney sonuçlarının korelasyonu

Tasarlanan BUS'den elde edilen sonuçlarla deney verilerinin korelasyonu alınarak % 98 oranında doğrulanmıştır ve bu Şekil 6.8.'de gösterilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bulanık mantığın ve uzman sistemlerin temel bilgileri verilmiş ve bu bilgiler çerçevesinde çeşitli uygulamalara değinilmiştir. Aynı zamanda tuzlu toprakların ıslahı için mevcut olan geleneksel yöntemlerden bahsedilmiştir. Bulanık mantığın uygulama alanları kontrol sistemlerinin de ötesine uzanmakta, geliştirilen uygulamalar bulanık mantığın ilke olarak ister mühendislik, ister biyoloji veya diğer alanlarda olsun belirsizlik ve karmaşıklığın olduğu her alanda daima sistemleri modellemek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada tuzlu toprakların yıkanmasında gereken su miktarının belirlenmesi için topraktaki yıkanabilirlik katsayısı α ve toplam tuzluluk oranı giriş değerlerine göre yıkama suyunun miktarının değerleri bulunan 26 adet deneysel veri kullanılmıştır. Deney verileri ile bulanık uzman sistem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Tasarlanan BUS ‘den elde edilen sonuçlarla deney verilerinin korelasyonu alınarak % 98 oranında doğrulandığı görülmüştür.

Tasarlanan bulanık uzman sistemin bir özelliği de deney verilerinde bulunmayan giriş değerleri için de sonuçlar alınabilmesidir.

Bundan sonraki çalışmalarda giriş ve çıkış parametrelerinin ve dilsel değişken sayısının artırılması ve ayrıca yapay sinir ağları kullanılması ile birlikte çok daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Böylece bir bulanık uzman sistemin, bu ve benzeri tarımsal sistemlerin matematik modellenmesi zor olan alanlarda uygulanabildiği ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilebildiği gözlemlenmiştir.

7.KAYNAKLAR

Allahverdi, N., 2002. Uzman Sistemler, Bir Yapay Zeka Uygulaması. Atlas Yayınevi, İstanbul.

Allahverdi, N., 2006. Bulanık Mantık ve Sistemler ders notları, http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik.htm, Mart 2007.

Allahverdi, N., Yaldız S., 2004. Expert System Applications in Medicine And Example of Design of a Pre-Diagnosis Expert System, http://alaeddin.cc.selcuk.edu.tr/~noval/ESMD.htm, Mart 2007.

Aliev, R.A., Aliev R.R., 2001. Soft Computing and its Applications, World Scientific.

Averyanov, S.F., 1978. Suvarılan Toprakların Tuzlaşması ile Mücadele, Moskova, 300 s. , (Rusça).

Baykal, N., Beyan T., 2004 (a). Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.

Baykal, N., Beyan T., 2004 (b). Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.

Beybudov, A.K., 1977. Kür-Araz Ovasının Tuzlu Topraklarının Islahının Tecrübe Esasları, Bakü, 180 s. , (Rusça).

Brenner, H., 1962. The Diffusion Model of longitudinal Mixing in Beds of Finite Length, Numerical values, Chemical Engineering Science, 17: 229-243.

Bresler, E., Mc Neal, B., Carter, D.L., 1982. Saline and Sodic Soils, Springer-Werlag, Berlin, Heidelberg, New York, 296 s.

Çerkasov, A.A., 1958. Islah ve Tarımın Su Teminatı, Selhozgiz, Moskova, 376 s. (Rusça).

Çobanoğlu, B., 2007. Bulanık Kontrol, II Bölüm, http://www.cobanoglu.fws1.com/bulanik.htm, Ağustos 2007.

Dorsan, A.F., 1988. Gediz Havzasında Tuzlu, Tuzlu-Alkali Toprakların KültürTeknik Önlemlerle Islahı Üzerinde Bir Araştırma, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Elmas, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Haydarov, İ.P., 1985. Suvarılan Toprakların Su-Tuz ve Gıda Rejiminin Düzenlenmesi, Moskova, 304 s. , (Rusça).

İbrahim, A.M., 2004. Endüstriye Dönük Uygulamalı Gömülü Sistemlerle Bulanık Mantık, Bileşim Yayınları.

Jury, W.A., Gardner, W.R., Gardner, W.H., 1991. Soil Physics, New York, 456 s.

Kostyakov, A.N., 1960. Meliorasiyanın Esasları, Moskova, 622 s. , (Rusça).

Kovda, V.A., 1973. Toprak Öğresinin Esasları, Moskova, 911 s. , (Rusça).

Lal R., Stewart B.A., 1990. Soil Degradation, Advances in Soil Science, 11: 225-279.

Maslov, B.S., Minaev İ.V., 1989. Guber K.V., Toprak Islahı Kılavuzu, Moskova.

Mikayilov, F.D., Acar, B., Tufan, İ., 1998. Tuzlu Toprakların Islahında Matematiksel Metotların Kullanılması. Doğu Anadolu Tarım Kongresi 14 - 18 Eylül, Erzurum, Cilt: II: 1460 – 1466.

Mikayilov, F.D., Pachepsky Y.A., 2003. Analytical Solution of the Equation of the Nonequilibrium Solute Transport in Soil with Dual Porosity, Eurasian Soil Science, 4, pp. 398-406, Moscow.

Mikayilov, F.D., 2007. Determination of Salt-Transport Model Parameters for Leaching of Saturated Superficially Salted Soils, Eurasian Soil Science, Vol. 40, No. 5, pp. 544-554, Moscow.

Minaşina, N.G., 1973. Tuzlu Toprakların Islahı, Kolos, Moskova, 263 s. (Rusça).

Nabiyev, V.V., 2005. Yapay Zeka, Problemler - Yöntemler - Algoritmalar, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Pachepsky, Y.A., 1990. Mathematical Models of Physico-Chemical Processes in Soils, Moscow, 188 p.

Panin, P.S., 1968. Yıkanan Toprak Katmanlarının Tuz-verme Prosesleri, Nauka, Novosibirsk, 303 s. , (Rusça).

Reeve, R.C., Pillsbury, A.F., Wilcox, L.V., 1955. Reclamation of a Saline and High Boron Soil in the Coachella Valley of California, Hilgardia, 24: 69 – 91.

Rowell, D.L., 1994. Soil Science Methods and Applications, Longman Scientific and Technical, pp: 277-279.

Sarıtaş, İ., Allahverdi N., Sert İ.Ü., 2003. "A Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Prostate Cancer", International Conference on Computer Systems and Technolohies-CompSysTech, Sofia, 18-20 June, pp.III.16-1 – III.16-7.

Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Yayıncılık, İstanbul.

Van Genuchten, M.Th., 1981. Analytical Solutions for Chemical Transport with Simultaneous Absorption, Zero-Order Production and First-Order Decay, Journal of Hydrology, 49: 213-233.

Verigin, N.N., 1979. Toprakların ve Taban Sularının Tuz Rejiminin Tahmin Metotları, Moskova, 336 s. , (Rusça).

Verigin N.N., Azizov K.Z., Mikayilov F.D., 1986. Effect of Boundary Conditions in the Simulation of Salt Transfer in Soils under Leaching, Soviet Soil Science, 6, pp: 67 - 73, Moscow.

Volobuev, V.R., 1948. Tuzlu Toprakların Yıkanması, Bakü, 147 s. , (Rusça).

Volobuev, V.R., 1959. Tuzlu Toprakların Islahı, Moskova, Hidroteknika ve Meliorasiya, 12: 18 - 34, (Rusça).

Volobuev, V.R., 1975. Tuzlu Toprakların Yıkanmasının Hesaplamaları, Moskova, 65s. , (Rusça).

Zadeh, L.A., 1994. "Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing", Communications of the ACM, Vol.37, No.3.

Zadeh, L.A., 2001. "Applied Soft Computing - Foreword", Applied Soft Computing, 1:1-2.