



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ZOOOTEKNİ ANABİLİM DALI**

**BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC) TEORİSİ VE TARIMDA  
KULLANIM OLANAKLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**ÖZKAN GÖRGÜLÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**HATAY**

**OCAK-2007**

**ÖZET****BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC) TEORİSİ VE TARIMDA KULLANIM OLANAKLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Dünya üzerinde bugüne kadar birçok bilim alanında yapılan çalışmalarda kullanılan Aristo mantığının (0, 1) ikili önermelerine karşın gerçek hayatta ve canlı materyal ile çalışan uygulamalı bilim dallarında (Tıp, Biyoloji, Ziraat vb.) verilerin kesin olmamasına dayanarak üç veya daha fazla sayıda önermeler yapabilen ve kısmi üyeliğe izin veren bulanık mantık teorisi kullanılmaya başlanmıştır. Bu teorinin bulanık kümeleri kullanarak akıl yürütmeler yapmasıyla çok daha hassas, verimli ve doğru sonuçlar elde edilmiş ve teori zaman içerisinde hızla gelişmiştir.

Bu çalışmada bulanık mantığın doğuşu ve gelişimini incelemenin yanında, bulanık küme teorisi, bulanık çıkarım ve durulaştırma yöntemlerine yer verilmiştir. Bu teorinin tarımsal veriler üzerinde uygulanabilirliği, fayda ve sakıncaları üzerinde durulmuştur. Bu amaç doğrultusunda 3 farklı veri kümesi üzerinde farklı bulanık mantık uygulamaları yapılarak, sonuçların yorumlanması ve nihai kararlar irdelenmiştir. Birçok alanda yaygın olarak kullanılan bulanık mantık teorisinin tarımsal alandaki farklı uygulamalarda da etkin bir şekilde kullanılabilceği gösterilmiştir.

2007, 98 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Bulanık mantık, Bulanık küme, Tarım

**ABSTRACT****A STUDY ON THE FUZZY LOGIC THEORY AND ITS APPLICABILITY TO AGRICULTURE**

Aristotle logic, which has been used in many different types of scientific studies in the world, enables to make only two sided premises (i.e. 0, 1) despite the fact that, in reality, the data in the applied science (i.e. Medicine, Biology, Agriculture etc) are not certain. Thus, fuzzy logic theory that enables to make three or more simultaneous premises and partial memberships is started to use. More sensitive, efficient and precise results can be obtained by means of reasoning made by using fuzzy sets in this theory and consequently the theory has been rapidly developed to the date.

This study elucidates the history of fuzzy logic, description of essential terms and procedures, fuzzy inference and defuzzification methods in fuzzy logic approach. Applicability of this approach to the agricultural data was also considered. For this goal, application of fuzzy logic was shown for three different types of data set. Results suggested that fuzzy logic, which is commonly used for many different scientific areas, can be efficiently used in agriculture as well.

2007, 98 pages

**Key words:** Fuzzy logic, Fuzzy set, Agriculture

## ÖNSÖZ

İnsan beyni, en karmaşık problemler karşısında bile algıladığı uyarıcıları sahip oldukları niteliklere göre ağırlıklandırıp, kusursuz bir davranış üretebilme yeteneğine sahiptir. İnsanlar bu yeteneğini duyu organlarını kullanarak elde ettiği kısıtlı bilgileri, doğduğu ilk günden itibaren çevresinin etkisiyle oluşturduğu bakış ve anlayış tarzıyla yorumlayarak elde etmektedir. Bulanık mantık insan beyninin bu özelliğinin modellenmesini sağlayan bir yöntemdir. İnsan düşüncesi, hareketlerin kontrol problemlerini “EĞER” - “koşul” – “İSE” - “sonuç” gibi basit bir koşullu önerme yaklaşımı kullanarak çözer. Örneğin, ışığı yakmaya karar vermek için ortamın ışık şiddetini ölçmeye gerek yoktur. Bunun yerine ‘EĞER karanlık İSE ışık yakılmalıdır’ davranış kuralı basit ve yeterlidir. Kontrol problemi karmaşıklaştıkça kararı etkileyecek koşulların sayısı artabileceği gibi yapısı da değişebilir. Önermeler VE-VEYA gibi bağlaçlarla kombine edilebilirler. Örneğin, bir sürücünün aracın hızını ayarlarken kullandığı ‘EĞER hız>90km/saat VEYA öndeki araç yakın İSE hız düşürülmelidir’ kuralı, bir taraftan hız göstergesindeki sayısal değeri, diğer taraftan öndeki araç ile olan mesafenin niteliğini kullanmayı gerektirir. Yani hem sayısal değerler hem de sözel ifadeler aynı anda kullanılabilir.

Bulanık mantık, insanlara özgü olan yaşayarak öğrenme olayının modellenebilmesi ve sözel ifadelerin bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak sağlayarak oldukça geniş uygulama alanına sahip olmuştur. Teori, Zadeh tarafından ortaya atıldığı 1960 lı yılların başından 1985 yılına kadar geçen süre içerisinde çok fazla gelişim gösterememiştir. Daha sonra uzak doğu ülkelerinin dikkatini çeken bulanık mantık teorisi özellikle Japonya da mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılması ile tüm dünyada kabul görmüş ve çok hızlı bir gelişim göstermiştir. Nasreddin Hoca'nın “Sende haklısın” sözüyle yıllardır bilinçaltımızda var olan bulanık mantık maalesef ülkemizde 2000 li yıllara kadar çok fazla gelişememiştir. Bu günlerde ise hidroloji ve elektrik elektronik mühendisliği alanlarında geniş bir kullanım alanı bulan bu teori üzerinde ki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Diğer mühendislik uygulamalarında oldukça geniş uygulama alanı bulan bulanık mantık teorisinin tarımsal çalışmalarda elde edilen verilerin yorumlanmasına da farklı bir yaklaşım getireceği düşünülerek yürütülen bu çalışmada, teorisinin mantığı, matematiksel temelleri incelenmiş ve gerçek veriler üzerinde uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmaların her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkılarıyla ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Suat ŞAHİNLER'e (MKÜ Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü), Tez çalışmam süresince, 6 aylık dönemler halinde yapmış olduğum çalışmalarını değerlendiren ve beni yönlendiren değerli Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof.Dr. G. Tamer KAYAALP (ÇÜ Ziraat Fak. Zootekni Bölümü) ve Yrd.Doç.Dr. Oğuz KILIÇOĞLU'na (MKÜ Fen Edebiyat Fak. Matematik Bölümü), bulanık mantık konusunda engin bilgilerine başvurduğum Dr. Z. Fuat TOPRAK'a (Dicle Üniv. Müh. ve Mimarlık Fak.), çalışmada kullanılan verilerin temininde, yardımlarını esirgemeyen, değerli bölüm hocalarıma ve Dr. Erdal YILMAZ'a (MKÜ Su Ürünleri Fakültesi) ayrı ayrı teşekkür ederim. Hayatımda önemli bir yere sahip olan kardeşim, Ercan SOYDAN (OMÜ Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü) ve değerli ailesine, sıkıntılı günlerde serin kanlı duruşuyla bana hep destek olan Abim Kudret ERDOĞAN'a kardeşim Özlem ERDOĞAN'a ve biricik yeğenim Efe Kağan ERDOĞAN'a, Tezimi güven içerisinde yazmam için ülkemin dağlarında vatan topraklarını koruyan kardeşim P.Astsb.Çvş. Osman GÖRGÜLÜ' ye (Bolu Komando Tugayı) ve silah arkadaşlarına, çalışmalarımnda beni motive eden eşim Fatma GÖRGÜLÜ ve oğlum Özcan Eren GÖRGÜLÜ'ye, hayatın tüm güçlüklerine rağmen iyi bir eğitim alabilmem için hiç bir fedakârlıktan çekinmeyen, yaşama sevincimi ve manevi desteğini aldığım, Babam, Özcan GÖRGÜLÜ ve Annem, Fatma GÖRGÜLÜ'ye gönül dolusu teşekkürlerimi sunarım.

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

ANFIS	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
BÇS	Bulanık Çıkarım Sistem
BUMAT	Bulanık Mantık ve Teknolojisi Kulübü
CAA	Canlı Ağırlık Artışı
FIS	Fuzzy Inference System
KDS	Karar Destek Sistemleri
MAKS.	Maksimum
MİN	Minimum
RMSE	Root Mean Square Error
TSK	Takagi Sugeno Kang
ÜF	Üyelik Fonksiyonları

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. İkili mantık ile çoklu mantıkta üyelik kavramları.....	3
Çizelge 4.1. CODEX bal kalite standart değerleri.....	44
Çizelge 4.2. Girdi değişkenlerine ait kesin sınıf sınırları.....	45
Çizelge 4.3. Girdi değişkenlerine ait sınıf sınırları.....	46
Çizelge 4.4. KDS leri ile uzmanın vermiş olduğu kararlar arasındaki benzerlik değerleri (%).....	46
Çizelge 4.5. Bulanık kural tablosu.....	47
Çizelge 4.6. Bal örneklerine ait biyokimyasal değerler, uzman ve KDS vermiş olduğu kararlar.....	49
Çizelge 4.7. Farklı modellere ait üyelik fonksiyonu şekilleri ve belirtme katsayıları.....	50
Çizelge 4.8. Gözlenen CAA, farklı modellerden tahmin edilen CAA ve bağıl hata değerleri (%).....	51
Çizelge 4.8. (Devam) Gözlenen CAA, farklı modellerden tahmin edilen CAA ve bağıl hata değerleri (%).....	52
Çizelge 4.9. Farklı modellere ait üyelik fonksiyonu şekilleri, belirtme katsayıları ve RMSE değerleri.....	57
Çizelge 4.10. Bulanık kural parametre değerleri.....	58
Çizelge 4.11. Davranış verileri ve bunlara ait tahmin değerleri.....	58

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Klasik ve bulanık mantığın şekilsel gösterimi.....	2
Şekil 3.1. İneklerin süt verimlerinin klasik küme (a) ve bulanık küme teorisine göre (b) sınıflandırılması.....	16
Şekil 3.2. Kesişim kümesi.....	17
Şekil 3.3. Birleşim kümesi.....	18
Şekil 3.4. Bulanık A ve B kümelerinin tümleyen kümeleri ( $\bar{A}, \bar{B}$ ).....	18
Şekil 3.5. A-B ve B-A işlemlerinin şekilsel gösterimi.....	19
Şekil 3.6. Bulanık kümelerde alt küme bulma işlemi.....	20
Şekil 3.7. A ve B bulanık sayılarının toplamı.....	23
Şekil 3.8. A ve B bulanık sayılarının farkı.....	23
Şekil 3.9. Üyelik fonksiyonunun kısımları.....	25
Şekil 3.10. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	26
Şekil 3.11. Örnek x değeri için üçgen üyelik fonksiyonunun görünümü.....	27
Şekil 3.12. Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	27
Şekil 3.13. Örnek x değeri için yamuk üyelik fonksiyonunun görünümü.....	28
Şekil 3.14. Gaussian üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	28
Şekil 3.15. Örnek x değeri için Gaussian üyelik fonksiyonunun görünümü.....	29
Şekil 3.16. Sigmoidal üyelik fonksiyonu.....	29
Şekil 3.17. Örnek x değeri için Sigmoidal üyelik fonksiyonunun görünümü.....	30
Şekil 3.18. Artış şeklindeki S üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	30
Şekil 3.19. Azalış şeklindeki S üyelik fonksiyonunun görünümü.....	31
Şekil 3.20. Örnek x değeri için artış eğiliminde olan S üyelik fonksiyonunun görünümü.....	31
Şekil 3.21. Örnek x değeri için azalış eğiliminde olan S üyelik fonksiyonunun görünümü.....	32
Şekil 3.22. Pi üyelik fonksiyonunun şekilsel gösterimi.....	32
Şekil 3.23. Örnek x değeri için Pi üyelik fonksiyonunun görünümü.....	33
Şekil 3.24. Mamdani çıkarım yönteminin gösterimi.....	35
Şekil 3.25. Larsen çıkarım yönteminin gösterimi.....	36
Şekil 3.26. TSK çıkarım yönteminin gösterimi.....	37
Şekil 3.27. Tsukamoto çıkarım yönteminin gösterimi.....	40
Şekil 3.28. En büyük üyelik derecesi durulaştırması.....	41
Şekil 3.29. Sentroid yöntemi ile durulaştırma.....	42
Şekil 3.30. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması.....	42
Şekil 3.31. Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	43
Şekil 3.32. En büyüklerin en küçüğü yöntemi.....	43
Şekil 3.33. En büyüklerin en büyüğü yöntemi.....	43
Şekil 4.1. KDS de kullanılan değişkenlere ait üyelik fonksiyonları. (a) Nem içeriği, (b) HMF, (c) Diastase ve (d) Kalite değişkeni.....	47
Şekil 4.2. Enerji değişkenine ait üyelik fonksiyonları.....	53



## VIII

Şekil 4.3. Periyot değişkenine ait üyelik fonksiyonları.....	54
Şekil 4.4. Balıkların gözlenen ve tahmin edilen canlı ağırlık artışları arasındaki ilişki.....	54
Şekil 4.5.Lokomotif aktivite ve dinlenme değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları.....	57
Şekil 4.6. Gözlenen CAA ile tahmin edilen CAA arasındaki ilişki.....	59
Şekil 5.1. Bulanık model ve KDS oluşturmanın önemli aşamaları.....	65

## 1. GİRİŞ

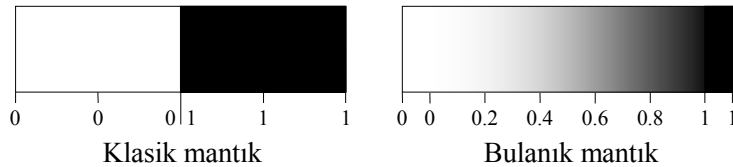
Bulanık mantık; temelleri, Aristo mantığına dayanan ikili mantık sistemine karşı geliştirilen ve üzerinde durulan olaylara üyelik dereceleri atayarak olayların hangi oranlarla gerçekleştiğini belirlemeye çalışan bir çoklu mantık sistemidir.

“Bulanıklık” kavramı ilk kez 1960’lı yılların başlarında Azerbaycanlı bir bilim adamı olan Lütü A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh 1961 yılında yayımladığı bir makalesinde olasılık dağılımıyla tanımlanamayan bulanık ya da belirsiz nicelikler için farklı bir matematiğe ihtiyaç olduğuna dikkat çekmiştir. 1960’ların sonlarında Zadeh’in makalesi klasik mantıktan vazgeçmeyen bilim çevreleri tarafından kabul görmemiş ve hatta ABD kongresinde ABD Ulusal Bilim Vakfı (NSF– National Science Foundation) kaynaklarının boşa harcanmasına örnek gösterilmiştir. Tüm bu olumsuz gelişmelere rağmen çalışmalarını sürdüren Zadeh 1965 yılında konuyla ilgili ilk çalışma olan “Fuzzy Sets” başlıklı makalesini yayınlamıştır (ZADEH, 1965; MITRA ve ark., 2005; NGUYEN, 2005). Bulanık küme, mantık ve sistem kavramları, makine sistemlerinin kontrol mekanizmalarının elde edilmesinde kullanılan fazla sayıda doğrusal olmayan denklemin yöntemi karmaşıktırması ve çözümü zorlaştırması neticesinde ortaya çıkmıştır. Modern anlamda bulanık mantık teorisinin ortaya atılmasına kadar geçen süre içerisinde, gerçek hayatta meydana gelen olayların Aristo mantığı ile açıklanmasının zor olduğunu düşünen bilim adamlarının çoklu mantık sistemini geliştirme yönünde çalışmaları olmuştur. 1900 lü yılların başlarında Jan Lukasiewicz “Doğru, Belki, Yanlış” şeklinde 3 lü önemeye sahip bir mantık ileri sürmüştür. Donald Erwin Knuth ise Lukasiewicz’in ileri sürdüğü bu üçlü mantığı  $[0, 1, 2]$  tamsayı aralığı yerine  $[-1, 0, 1]$  aralığını kullanarak ifade etmiştir. Fakat bu alternatif çoklu mantık sistemleri uzun zaman yaygınlaşmamış ve bilim çevreleri tarafından önemsenmemiştir (BAYKAL ve BEYAN, 2004; GOTTWALD, 2005).

Temelde olasılık kuramı ve yapay zekâ teorileri üzerine oturtulmuş olan bulanık mantık, matematik modellemenin gerçek olaylara uyarlanması şeklinde yorumlanabilir. Çünkü bulanık mantık; “açık/kapalı; soğuk/sıcak; hızlı/yavaş gibi ikili denetim değişkenlerinden oluşan keskin mantık dünyasını, az açık/az kapalı, serin/ılık, biraz hızlı/biraz yavaş gibi gerçek niteleyicilere belli üyelik dereceleri atayarak, olayları gerçeğe yakın tanımlamayı ve gerçek dünyayı daha yaklaşık temsil eden sistemler oluşturmayı başarmıştır (KARANFİL,1997). Sözel olarak ifade edilebilen fakat

matematiksel olarak sembolize edilemeyen veya ifade edilmesi zor olan olaylar için bulanık mantık kullanılır. Örneğin bir meyvenin kalitesinin belirlenmesinde meyvenin rengi, şekli, ağırlığı, büyüklüğü vb. özellikleri dikkate alındığında, bilinen klasik küme teorisine göre meyve kalitesi ya iyidir (1) ya da kötüdür (0) şeklinde bir tanımlama yapılır. Ancak, meyve kalitesinin “çok iyi, iyi, orta, kötü, çok kötü” gibi bir derecelendirme ile bulanık ara terimlerle ifade edilmesi, iyi (1) veya kötü (0) şeklindeki kesin sayısal değerler ile ifade edilmesinden daha uygun ve gerçeğe daha yakın bir tanımlamadır. Klasik mantık doğadaki bu ve benzeri her şeyi sadece iyi ve kötü gibi iki sınıfa ayırır. Yani matematiksel olarak arada bir sınıf kabul etmez, buda doğanın yapısına uymamaktadır. Doğanın sadece evet – hayır dan ibaret olmadığını Prof. Dr. Üstün DÖKMEN *Küçük Şeyler* adlı kitabında şu şekilde açıklamaktadır. Hayatta sadece “EVET” ve “HAYIR” olsa idi size sorulan “Eroin kullanmayı bıraktınız mı?” Sorusuna nasıl cevap verirdiniz? **EVET mi?** Bu cevabı verdiğinizde daha önce eroin kullanıyormuş gibi algılanırsınız. **HAYIR mı?** Bu cevabı verdiğinizde halen eroin kullanıyormuşsunuz gibi algılanırsınız. Görülüyor ki normal hayat sadece EVET-HAYIR ile sınırlı değildir (DÖKMEN, 2004).

Zadeh 1965 yılında yayınladığı “Fuzzy Sets” başlıklı makalesinde bulanık kümeyi  $[0-1]$  aralığında değişen üyelik derecelerine sahip nesnel kümesi olarak tanımlamıştır (ZADEH, 1965). Buna göre bir elemanın bulanık kümedeki üyelik derecesinin bir mutlak değer olmadığı ve  $[0-1]$  arasında bir “aralık değer” olduğu ifade edilmektedir (SHIMODA, 2002). Bilinen klasik küme teorisine göre ise bir elemanın alabileceği üyelik dereceleri 0 ve 1’dir. Yani, bir eleman kümenin ya elemanıdır (1) ya da değildir (0) (Çizelge 1.1). Bulanık kümeler siyah-beyaz arasındaki tüm gri tonları kabul ederken klasik küme teorisi için siyah ve beyaz vardır, aradaki tonlar yoktur (Şekil 1. 1) (VRUSIAS, 2005).



Şekil 1.1. Klasik ve bulanık mantığın şekilsel gösterimi

Çizelge 1.1’de ikili mantık ile bulanık mantığa ait üyelik kavramları verilmiştir. Buna göre ikili mantık üyeliği tanımlarken 0 veya 1 gibi ikili sayı sistemi (Binary digit, Bit) kullanırken bulanık mantık 0 ve 1 arasında sürekli değerleri yani bulanık sayıları (Fuzzy digitleri, Fit) kullanmaktadır.

Çizelge 1.1. İkili mantık ile çoklu mantıkta üyelik kavramları

İkili mantık	Bulanık mantık
A veya A değil*	A ve A değil**
Kesin	Kısmi
Hepsi veya hiçbiri	Belli derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 arasında sürekli
Bit (Binary digit)	Fit (Fuzzy digit)

\* x elemanı ya A kümesinin elemanı veya değil

\*\* x belli bir üyelik derecesi ile A nın elemanı belli bir üyelik derecesi ile de değil.

Günümüzde, başta Japonya ve Çin olmak üzere birçok ülkede bulanık kümeler ve bulanık mantık konusunda araştırmalar yapılmaktadır (KARANFİL, 1997). Bugün bulanık mantık başta elektronik eşya sanayi, robot sanayi, fizyoloji, tıp, ekonomi, biyoloji, istatistik, matematik vb. birçok alanda kontrol mekanizmaları ve karar destek sistemlerinin (KDS) oluşturulması, verilerin sınıflandırılması ve modelleme gibi farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır (HALAVATI ve SHOURAKI, 2005).

Bu çalışmanın temel amacı, özellikle elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve diğer alanlarda da kullanımı her geçen gün artarak yaygınlaşan bulanık mantık teorisini incelemek ve bu teorinin tarımsal alanda yapılan çalışmalarda kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla bulanık kümeler, bu kümelere ait özellikler ve bu kümelerle yapılan işlemler incelenmiştir. Bulanık sayılar ve bu sayılarla yapılabilen aritmetik işlemler üzerinde durulmuştur. Bulanık mantık teorisi kullanılarak oluşturulan bulanık modellemenin temel aşamaları olan bulanıklaştırma, çıkarım ve durulaştırma aşamaları, bu aşamalarda kullanılan yöntemler ve dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir. Bu kapsamda bulanıklaştırma aşamasında Üçgen, Yamuk, Gaussian, Sigmoidal, S ve Pi olmak üzere 6 üyelik fonksiyonu ve bunlara ait önemli özellikler üzerinde durulmuştur. Çıkarım aşamasında Mamdani, Larsen, Takagi-Sugeno-Kang (TSK) ve Tsukamoto bulanık çıkarım mekanizmaları incelenmiştir. Bu yöntemlerin birbirlerinden farkları ve birbirine olan üstünlükleri belirlenmiştir. Bulanık model oluşturmanın son aşaması olan durulaştırma aşamasında ise en büyük üyelik

ilkesi, sentroid yöntemi, ortalama en büyük üyelik, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyüklerin en küçüğü ve en büyüklerin en büyüğü yöntemleri incelenmiştir. MATLAB (Matrix Laboratory) programında bulanık mantık araç kutusu (fuzzy logic toolbox) ve ANFIS editörü yardımıyla bulanık mantık uygulamalarının nasıl yapıldığı detaylı olarak açıklanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bulanık mantık ile ilgili 1965 yılından günümüze kadar oldukça fazla çalışma yürütülmüştür. Bu konuda yapılan çalışmaları yayınlamak amacıyla SCI de taranmakta olan “ IEEE Transactions on Fuzzy Systems (A), Fuzzy sets and systems (B), J. Intelligent Fuzzy Systems (C)” adında 3 dergi çıkarılmaktadır. Diğer mühendislik alanlarında çok fazla uygulama alanı bulmuş olan bu teorinin tarım alanında kullanımı oldukça yeni ve sınırlıdır.

ZADEH (1965) bulanık mantık teorisinin temelini oluşturan bulanık kümeler teorisini ortaya attığı ilk çalışmasını “Fuzzy Sets” başlığı ile yayınlamıştır. Zadeh niteliklerin ikili üyelik fonksiyonu ile ifade edildiği klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edildiği bulanık kümeleri önerdiği bu çalışmada, bulanık kümeyi değişik üyelik derecelerine sahip elemanları olan bir topluluk olarak tanımlamıştır. Bu çalışmada bulanık kümelerde kesişim, birleşim ve bir kümenin tümleyeni gibi işlemler açıklanmıştır. Bulanık kümelerde konveksliği de inceleyen araştırmacı konveks ve konveks olmayan bulanık kümeleri de tanımlamıştır.

KLIR ve FOLGER (1988), bulanık kümeler ve bu kümelerle ilgili teorik işlemler üzerinde durmuşlardır. Klasik küme teorisini de inceleyen araştırmacılar klasik küme teorisi ile bulanık küme teorisini karşılaştırmışlardır. Bulanık ölçümler ve bulanık ilişkiler üzerinde duran araştırmacılar bu çalışmada, fen bilimleri, sosyal bilimler, mühendislik, eczacılık alanlarında bulanık mantık uygulamalarına yer vermektedirler.

GRINSPAN ve ark. (1994) yılında yaptıkları çalışmada, sağmal ineklerin beslenmesinde hangi besleme yönteminin kullanılması gerektiğine karar verirken bulanık mantığı başarılı bir şekilde kullanmışlardır.

KLIR ve YUAN (1995) bulanık küme teorisinin tam üyelikten üye olmamaya kadarki dereceli geçişi tanımlamadaki yeteneğini oldukça faydalı bir özellik olarak ifade eden araştırmacılar, bulanık kümeler, bu kümelerdeki matematiksel işlemler ve özellikler, bulanık mantık teorisi ve bu teori ile ilgili bazı uygulamalar üzerinde durmuşlardır.

STRASSER ve ark. (1997) yılında yapmış oldukları bir çalışmada sağmal ineklerde aylık süt üretim verilerini temel alarak, ayıklanacak hayvanların belirlenmesinde bulanık mantığı kullanarak bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

KLUN ve VIRANT (1999) bulanık mantığın biyomedikal analizlerde istatistiklere bir alternatif veya destek verici bir teknik olarak nasıl kullanılabileceğini ve gerekliliğini araştırmışlardır. Çalışmada modern mantığın biyoanalizler üzerindeki etkisi üzerine odaklanmışlar ve son 50 yılda klasik mantığın yerini bulanık mantık, olasılık mantık ve diğer birçok mantığın aldığını ifade etmişlerdir. KLUN ve VIRANT 1999'un bildirdiğine göre 1980 li yıllarda AKAIKE istatistiksel modellerde teorik sonuçlar ile gerçek uygulamalardaki sonuçlar arasında büyük bir farklılık olduğunu ve bu farklılığın bulanık mantık kullanılarak giderilebileceğini ifade etmişlerdir.

AHAMED ve ark. (2000) buğday alanlarının kullanışlılık analizi için coğrafi bilgi sistem tabanlı bir bulanık model geliştirmişlerdir. FAO 1976 yılında yayınlamış olduğu bir bültenle iyi bir buğday hasatı için arazinin buğday ekmeğe uygun olup olmadığının önceden belirlenmesi gerektiğini duyurmuştur. FAO bu bültende tarım arazilerini kullanışlı ve kullanışsız olmak üzere iki sınıfa ayırmıştır. Bu iki sınıftan kullanışlı olanını Çok kullanışlı ( $S_1$ ), Orta kullanışlı ( $S_2$ ) ve Az kullanışlı ( $S_3$ ) olmak üzere 3 alt sınıfa, kullanışsız olanını ise Son zamanlarda kullanışsız ( $N_1$ ) ve Devamlı kullanışsız ( $N_2$ ) olmak üzere 2 alt sınıfa ayırmıştır. Bu bilgileri kullanan araştırmacılar sekizi toprağın yapısı ile ilgili ve biri arazinin topoğrafik yapısı ile ilgili olmak üzere toplam dokuz parametrelili bir bulanık model geliştirmişlerdir. Çalışma sonunda araştırmacılar coğrafi bilgi sistemleri ve kısmi üyelik izin veren bulanık sınıflandırmanın bir arada kullanılması ile buğdayın mevcut tarım arazileri içerisinde en uygun bölgede yetiştirilmesini sağladıklarını ve bunun buğday üretimini arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca buğday üretmeye uygun olmayan arazilerin farklı amaçlar için kullanıldığı veya ıslah programına alınarak ülke toprak kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamışlardır.

EKLUND ve ark. (2000) yılında yaptıkları çalışmada, çoklu mantık, bulanık mantık, bulanık sistemler ve bulanık sınıflandırma üzerinde durmuşlardır. Çalışmada Üçgen, Yamuk, Gauss ve Sigmoidal üyelik fonksiyonlarını incelemişlerdir. Mamdani ve Takagi Sugeno Kang çıkarım yöntemlerinin kural tabanlı ve uygulama alanları hakkında bilgi vermişlerdir.

ÖNDER (2000) askeri müzeye gelen ziyaretçilerin salon gezi süresi ya da toplam müze gezi sürelerinin belirlenmesi, mevcut ziyaret sürelerinin en uygun şekilde değerlendirilmesi için bulanık mantığı kullanarak bir model geliştirmiştir. Çalışma

sonunda, askeri müzeyi ziyarete gelen ziyaretçilere, gezi süre taleplerine göre çeşitli alternatifler sunmuşlar, talep edilen süre ne olursa olsun, bu süre zarfında müze salonlarının tümünü çeşitli hızlarda gezilme olabirlikleri belirtilmiş ve bu olabirliği sağlayabilmek için hangi salonda ne kadar süre kalınması gerektiği söylenmiştir. Bu çalışma sayesinde her gezi süresi için hem müze salonlarının tümü, hemde tek tek müze salonlarının gezilme olabirlikleri hesaplanabilmekte ve buna göre gelen ziyaretçilere daha ilk girişte sunularak kendi zamanlarını planlamaları sağlanabilmektedir.

SALEHI ve ark. (2000) süt veriminin kalitatif analizleri için bir yapay sinir ağı bulanıklaştırıcısı geliştirmişlerdir. Lacroix'in 1998 yılında geliştirmiş olduğu tek değişkenli bulanıklaştırıcı ile karşılaştırmışlar ve geliştirmiş oldukları bulanıklaştırıcının daha iyi sonuçlar verdiğini ve bu bulanıklaştırıcının kullanıldığı karar destek sistemlerinin uzmanların vermiş olduğu kararlara oldukça yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

SHAHIN ve ark. (2000) yer fıstığının olgunlaşmasının tahmin edilmesinde bulanık mantık ve doğrusal ayırım (discriminant) analizini karşılaştırmışlardır. Bulanık mantık kullanıldığında 6 sınıf olduğunda %45 doğruluk, 5 sınıf olduğunda %63, 3 sınıf olduğunda %73 başarı sağlamışlardır. Bu oranlar doğrusal ayırım analizinde sırasıyla % 42, % 56 ve %70 dir. Bu çalışma sonucunda olgunlaşma tahmininde bulanık mantıkla yapılan tahminin ayırım analizinden daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

ALLAHVERDİ (2001) çalışmasında, bulanık küme teorisi, bu kümelere ait özellikler ve matematiksel işlemleri açıklamıştır. Dilsel değişkenler, bulanık kurallar, çıkarım mekanizmalarını hem teorik hem de farklı alanlardan seçmiş olduğu örnekler üzerinde uygulamalı olarak anlatmıştır.

GÜNEŞ ve YİĞİTBAŞI, (2001) Türk vergi sisteminin yürürlükteki tahsilat uygulamalarına yeni bir model boyutu kazandırarak vergilendirmede optimum tahsilat modelini belirlemek amacıyla bulanık mantığı kullanmışlardır. Çalışmada DİE ve Maliye bakanlığına ait süreli yayınlar ile internet arşivlerinden sağlanan verileri kullanarak önce Türk vergi sistemine ait doğrusal programlama modeli kurmuşlar, sonrada klasik doğrusal programlama tekniğiyle gelirleri maksimum yapan model elde etmişlerdir. Kurulan modelin bulanık doğrusal programlama ile yeniden çözümlerini çalışmaya dahil ederek alternatif modeller geliştirmişlerdir. Çalışma sonunda bulanık doğrusal programlama tekniğiyle kurulan vergi modelinden elde edilen vergi geliri



klasik tekniğe göre elde edilen gelirden %12,71 daha fazla bulunmuştur. Araştırmacılar bulanık doğrusal programlama tekniğinin klasik tekniğe göre model oluşturma çalışmalarında daha anlamlı sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

MORAG ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada, bulanık mantığı kullanarak çiftlik hayvanlarının rasyonlarına katılması gereken kesif yem miktarını hayvanların performanslarına (süt verimi ve vücut ağırlığı) göre bireysel olarak belirleyen bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. 130 hayvanın kullanıldığı bu çalışmada performanslarına göre beslenen hayvanların üretim performanslarında gözlenen artışın istatistikî olarak önemli olduğu ( $P<0.01$ ) bulunmuştur. Süt üretim endüstrisinde yeni bir teknik olan bulanık mantık kullanılarak oluşturulan karar destek sistemlerinin pratik olarak kullanılabilirliğini gösteren araştırmacılar, Karar Destek Sistemlerinin (KDS) verdiği kararlar ile uzmanın verdiği kararlar arasında % 10 luk bir farklılık olduğunu, bunun da önemli olmadığını belirtmişlerdir.

AKÇAM ve TAKADA (2002) Ortodontik tedavide diş teli tipinin seçiminde yardımcı olacak bir bulanık model geliştirmişlerdir. Araştırmacılar düşük, orta ve yüksek basınçlı olmak üzere 3 farklı diş teli kullanıldığını, hastanın ağız yapısına göre hangisinin kullanılacağına diş hekimlerinin karar verdiğini belirtmişlerdir. Klinik deneyimi az olan hekimlerin bazen yanlış karar verdiğini belirten araştırmacılar konu hakkında uzman kişilerden almış oldukları bilgiler doğrultusunda geliştirdikleri modeli 85 hasta üzerinde denemişlerdir. Bulanık modelin vermiş olduğu sonuçları, deneyimleri en az 10 yıl ve en fazla 20 yıl arasında olan 8 uzmana göstermişlerdir. Uzmanlardan bu sonuçlara katılıyorum, olabilir ve katılmıyorum şeklinde 3 yorum belirtmelerini istemişlerdir. Çalışma sonunda modelin verdiği kararların önemli bir kısmının uzmanlar tarafından kabul gördüğü belirtilmiştir.

NASCIMENTO ve ORTEGA (2002) yaptıkları çalışmada, Neonatal ölüm olarak adlandırılan yeni doğan bebeklerin ilk 28 günlük yaşamlarında gerçekleşen ölümlerde etkili olduğu düşünülen, doğum ağırlığı ve gebelik süresi değişkenlerini kullanarak bir bulanık erken tahmin sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemi kullanarak doğan bebeklerin ilk 28 günlük yaşamında ölüm riski olarak “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” şeklinde sınıflandırılmasını sağlamışlardır. Sistemin sonuçlarını uzmanların görüşleri ile kıyaslandıklarında % 96’lık bir ilişki tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bulanık mantık kullanılarak oluşturulan bu erken uyarı sisteminin bir diğer avantajının, verdiği

sonuçların zamanla değişmediği, fakat uzmanların aynı girdi değişkenleri için farklı ölüm riskleri geliştirebildikleri, uzmanların o anki olumlu veya olumsuz ruh haline göre farklı görüşler verdiklerini belirtmişlerdir.

SHIMODA (2002) bu çalışmada, bulanık kümeler, bulanık alt kümeler, bulanık kümelere ait üyelik fonksiyonları üzerinde durmuştur. Bulanık kümeler ve bulanık ilişkilerdeki temel notasyonlar ve işlemleri kendi geliştirmiş olduğu yeni ve doğal bir yöntemle yorumlamıştır. Özellikle doğrusal bulanık ilişkilerin kendi geliştirmiş olduğu model ile yorumlanmasının sıradan yöntemlere nazaran daha iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir.

KAVDIR ve GUYER (2003) yaptıkları çalışmada, elmaların kalitelerine göre derecelendirilmesinde bulanık mantığı kullanmışlardır. Çalışmada girdi değişkeni olarak renk, boyut ve yüzeysel bozukluklar kullanılmıştır. Çalışma sonunda bulanık mantık tarafından elde edilen sınıflama sonuçları uzman tarafından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve % 89 oranında bir uyum gözlemlendiği ifade edilmiştir.

BEYNON ve ark., (2004) finans sektöründe karar sistemlerinin ilk kez 1962 yılında kullanıldığını belirten araştırmacılar bu sektörde belirsiz, bulanık terimlerin çok fazla olduğunu göz önünde bulundurarak bulanık mantık teorisi aracılığıyla bir bulanık karar sistemi geliştirmişlerdir. Bulanık karar sistemlerinin geliştirilmesinin özellikle belirsiz kavramların çok olduğu alanlarda, önemli bir gelişme olduğunu belirten araştırmacılar, geliştirmiş oldukları karar destek sistemini 12 farklı şirket üzerinde kullanmışlar ve bunlardan 9 unda başarılı bir sınıflandırma elde ederken 3 ünde hatalı sınıflandırma yapmışlardır.

CORDON ve ark., (2004) yaptıkları çalışmada parametrik durulaştırma ifadelerini bünyesinde bulunduran bir çeşit durulaştırma yöntemi olan EAD (Evolutionary Adaptive Defuzzification) yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntemle ilgili genel ifadeler, yöntemin uygulanışı ve diğer durulaştırma yöntemlerinden farklarını açıklamışlardır. Durulaştırma yöntemleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan ve oldukça güvenilir olduğu düşünülen sentroid ve ortalama en büyük üyelik yöntemlerini temel alarak farklı bir yaklaşımla EAD yöntemini genişletmişlerdir. Mamdani çıkarım yöntemini kullanarak oluşturdukları 2 farklı bulanık sistemde bu durulaştırma yöntemini test etmişlerdir. Çalışma sonunda EAD yöntemlerinin güzel ve

güvenilir sonuçlar verdiğini fakat daha fazla güncel uygulamada denenerek test edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

MARCHANT (2004) bulanık kümelerle ait özellikler ve matematiksel işlemler üzerine çalışan araştırmacı, sıralı ve sürekli veriler kullanıldığında üyelik derecesi ölçümleri için teorik bir alt yapı oluşturmuştur. Bu kapsamda bir nesnenin birden fazla kümede üyeliğe sahip olduğu ya da birden çok elemanın aynı anda birden çok bulanık kümede üyeliğe sahip olduğu durumlarda birleşim, kesişim ve tümleyen özelliklerini incelemiştir. Araştırma sonunda kullanılan verilerin ölçeği (sıralı veya aralık) ne olursa olsun birleşim işlemi için En Büyük (maks.), kesişim işlemi için En Küçük (min.) işlemcilerinin kullanılabileceği belirtilmiştir.

POPOOLA (2004) çalışmasında, bulanık sistemler ve bu sistemlerin oluşturulmasındaki aşamalar üzerinde durmuştur. Mamdani ve Sugeno çıkarım sistemlerini incelemiş, bunlar arasındaki farklar ve birbirlerine olan üstünlüklerini açıklamıştır.

SRIRAMAN ve MAYORGA (2004) Bulanık mantığı kullanarak sera içi hava kontrolörü geliştirmişlerdir (greenhouse climate controller). Araştırmacılar sera içi hava şartlarının kontrolünde klasik yöntemlerin yetersiz kaldığını bildirmişlerdir. Bu sorunu çözmek için MATLAB'da Mamdani çıkarım yöntemini kullanarak daha etkili, daha kolay ve hızlı çalışabilen bir sistem geliştirmişlerdir.

ŞEN (2004a) çalışmasında mühendislikte bulanık mantık ile modelleme prensipleri üzerinde durmuştur. Bu kapsamda belirsizlik kavramları, bulanık kümeler, üyelik dereceleri, bulanık ve klasik kümelerle ait özellikler, matematiksel işlemler hakkında bilgi vermiştir. Bulanık kurallar ve sistemlerle ilgili bilgiler veren araştırmacı, birkaç pratik uygulama üzerinde bu sistemlerin nasıl oluşturulduğunu da göstermiştir.

ŞEN (2004b) hidroloji alanında bulanık mantık ve sistem modelleri üzerine yaptığı bu çalışmada, sözel değişkenler, bulanık kümeler, bu kümelerdeki işlemler ve IF-THEN kuralları hakkında bilgi vermiştir. Hidroloji alanından elde edilmiş farklı veriler üzerinde bulanık modeller oluşturularak tahminlerde bulunmuştur.

TRON ve MARGALOT (2004) yaptıkları çalışmada bilimin birçok alanında matematiksel modellemenin yaygın olarak kullanıldığı ve matematiksel modellerin araştırmacılara teorilerinin belirli bir mantık çerçevesinde formüle edilmesine yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel matematiksel modelleme yaklaşımlarının ileri

seviyede matematik bilgisi gerektirdiğini ifade eden araştırmacılar, bunun sonucunda birçok matematik modelin hayvan davranışları üzerinde çalışan etnologlar ya da insan davranışı üzerinde çalışan sosyologlar tarafından değil, bunların verdiği sözel bilgileri kullanarak matematikçiler tarafından oluşturulduğuna dikkat çekmişlerdir. Bulanık modelleme yaklaşımının sözel verileri matematiksel formüllere veya matematiksel formülleri sözel verilere dönüştürmede oldukça etkili bir yaklaşım olduğunu ifade eden araştırmacılar, balıkların içgüdüsel davranışlarının arkasındaki mekanizmayı açıklayabilmek için Lorenz'in modelleme tekniği ve bulanık modelleme yaklaşımı ile matematik modeller oluşturmuştur. Bu modellerle yapılan simülasyon sonuçlarını doğada gözlenen davranışlarla karşılaştırmışlar ve matematik model oluşturmak için mevcut yöntemler içerisinde bulanık modelleme yaklaşımının en uygun yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak da bulanık modelleme araçlarının var olan simülasyon ortamlarına eklenmesi ile biyoloji, ekonomi, psikoloji ve sosyoloji gibi yapısında çok miktarda sözel verileri barındıran bilim alanlarında yaygın bir kullanım olanağı bulacağını belirtmişlerdir.

BUCKLEY (2005) çalışmasında bulanık mantık teorisi ve bu teorinin temelini oluşturan bulanık kümeler hakkında bilgi vermiştir. Bulanık sayılarla yapılan matematiksel işlemler ve bulanık fonksiyonlarla ilgili bilgi veren yazar bu teorik bilgileri farklı alanlardan seçmiş olduğu örnekler üzerinde uygulamalı olarak göstermiştir.

ÇAĞMAN ve GÖKBULUT (2005) yaptıkları çalışmada, Chiu-Keung Law tarafından 1996 yılında bulanık küme teorisi kullanılarak geliştirilen eğitimde derecelendirme sistemi için yeni üyelik fonksiyonları geliştirmek amacıyla alternatif bir yöntem bulmuşlardır. Eğitim öğretimde öğrencilerin sınavlardaki başarı durumlarını A, B, C, D ve F gibi tek bir harfle gösterilen eğitim sistemlerinde harfleri dilsel değişkenlere dönüştürmek suretiyle bulanıklaştıran araştırmacılar, geliştirmiş oldukları yöntemin Law' un geliştirmiş olduğu yönteme göre daha basit olduğunu ve gerek öğretmenler gerekse araştırmacılar için oldukça faydalı olduğunu belirtmişlerdir.

GOTTWALD (2005) bulanık mantık teorisi ile ilgili ilk yayın olan "Fuzzy Sets" başlıklı makalenin yayınlandığı 1965 yılından bugüne kadar geçen 40 yılın sonunda, bulanık mantık ve bulanık kümelerin matematiksel durumu ve gelişimini ortaya koymuştur. Çalışmasında bulanık mantık ve bulanık kümelerden kısaca bahseden

Gottwald, Lukaszewicz mantığı  $L_{\infty}$  ve Gödel mantığı  $G_{\infty}$  ile bulanık mantığı karşılaştırmıştır. Bulanık mantık ile diğer mantıklar arasında bir ilişki kurma çalışmalarının bulanık mantığın geliştirilmesi açısından sevindirici olduğu ve çalışmalara devam edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

HOJATI ve ark. (2005) bulanık doğrusal regresyon analizinin hesaplanmasında kullanılan mevcut yöntemleri incelemişler ve bu yöntemlere ek olarak daha kolay ve daha iyi sonuçlar veren yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında iki farklı durum üzerinde durmuşlardır. Bunlardan birincisi, bağımsız değişkenin keskin (Crisp) ve bağımlı değişkenin bulanık olduğu durumdur. İkinci durum ise, bağımsız ve bağımlı değişkenlerin her ikisinde bulanık olduğu durumdur. Çalışmada incelenen yöntemler her iki durum için basit iki örnekle karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar birinci durumda en iyi değerleri Peters (1994) ile Özelkan ve Duckstein (2000) tarafından verilen yöntemlerin verdiği, bunun yanında kendilerinin geliştirdiği yönteme ait ortalama benzerlik derecesinin en yüksek olduğu (% 55) ve bununda iyi bir doğrusal bulanık ilişkinin var olduğunun bir göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. İkinci durum için en iyi sonucu yine kendilerinin geliştirdiği HBS 2 yaklaşımı ve Sawaka ve Yano (1992) tarafından geliştirilen SAK 1 yaklaşımlarının verdiği bildirmişlerdir.

SICAT ve ark. (2005) tarımsal arazilerin uygun bir şekilde sınıflandırılması için bulanık mantığı kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Deneme materyali olarak Hindistan'ın belirli bir bölgesinde bulunan tarımsal arazileri kullanan araştırmacılar, modellemede tamamen bu bölgedeki çiftçilerin vermiş oldukları bilgileri kullanmışlardır. Çiftçilere göre iyi bir hasat için en önemli faktörler hasat zamanı, toprağın rengi, toprağın yapısı, toprağın derinliği ve arazinin eğimidir. Bu faktörleri girdi değişkeni olarak kullanan araştırmacılar, tarımsal arazilerin uygun bir şekilde sınıflandırılması ve en iyi arazi kullanma planının oluşturulması için oluşturmuş oldukları bulanık modelin son derece uygun ve kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir.

SOFU ve KİTİŞ (2005) *Yersinia enterocolitica* bakterisinin Türk feta peynirinde yaşam süresini bulanık mantık kullanarak modellemişlerdir. Oluşturulan modelde bağımlı değişkendeki varyasyonun % 99.46 sını tanımlayabilmişlerdir. Girdi değişkeni olarak tuz miktarı, olgunlaşma süresi, Ph ve depolama sıcaklığı kullanılmıştır. Çalışma sonunda Türk feta peynir üretiminde gıda güvenliğinin sağlanması için bakteri yaşam süresi parametreleri çok kolaylıkla belirlenebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca değişen

faktörlere göre bakterinin yaşam süresi ve akademik çalışmalar sonucu elde edilen olumlu kazanımlara göre kural tabanı ve üyelik fonksiyonları tekrar düzenlenerek yeni yaşam sürelerinin belirlenebileceği ifade edilmiştir.

WADE ve ark. (2005) Bulanık mantık teorisini kullanarak sağmal ineklerde üretim indeksi, üreme etkinliği ve laktasyon sayılarına göre hayvanların kuruya çıkarılıp çıkarılmayacağına karar veren bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır.

LEE (2006) bulanık kümeler, bulanık kümeler arasındaki ilişkiler, üyelik derecesi, bulanık kümelerde ki işlemler, bir kümenin  $\alpha$  kesiti, bulanık sayılar ve bu sayılarla yapılan matematiksel işlemler hakkında bilgi vermiştir. Bulanık fonksiyonlar, bulanık mantık ve Mamdani, Larsen, Tsukamoto, Takagi Sugeno Kang (TSK) çıkarım yöntemlerinin kullanımı ile ilgili bilgiler vermiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. MATERYAL

Bu çalışmada, birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılan bulanık mantık teorisinin daha iyi anlaşılması ve tarımsal veriler üzerinde de kullanılabileceğini göstermek amacıyla 3 farklı çalışmaya ait veri kullanılmıştır. Birinci veri M.K.Ü. Ziraat Fakültesi arıcılık biriminde yürütülen ve 35 çiçek balı örneğine ait biyokimyasal değerlerin tespit edildiği bir çalışmaya aittir (Ek 2). Bu biyokimyasal değerler kullanılarak bal örnekleri kaliteli, orta kaliteli ve kalitesiz olmak üzere 3 farklı kalite sınıfına ayrılmaya çalışılmıştır.

İkinci veri, M.K.Ü. Su Ürünleri Fakültesi akvaryum ünitesinde yürütülen ve 5 farklı enerji düzeyinin (2596 SE/kg, 2828 SE/kg, 3045 SE/kg, 3275 SE/kg ve 3603 SE/kg) 6 periyot boyunca Karabalıklarda (*Clarias gariepinus*) canlı ağırlık artışları üzerine olan etkilerini inceleyen bir denemeye aittir (Ek 3) (YILMAZ, 2005.). Burada, her akvaryumda 10 balık denemeye alınmıştır. Bu balıkların her ay canlı ağırlıkları kontrol edilmiştir. EK 3’de verilen canlı ağırlık artış değerleri aylık kontrollerdeki ortalama canlı ağırlık artış değerleridir. Çalışmada farklı enerji düzeyleri ve periyotlardaki balıkların canlı ağırlık artışlarını tahmin etmek için bulanık model oluşturulmaya çalışılmıştır.

Son veri ise M.K.Ü. Ziraat Fakültesi Selam Hayvancılık Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde 3 aylık yaştaki erkek ivesi kuzularında yapılan davranış çalışmasına aittir (Ek 4). Yapılan bu çalışmada, 16 hayvanın davranışları haftada iki kez (Salı ve Perşembe) saat 13:00, 16:00, 19:00, 22:00, 01:00, 04:00, 07:00 ve 10:00 da 5 er dakika arayla 1 saat gözlenmiştir. Deneme 24 hafta yürütülmüş ve deneme süresinde hayvanların ayakta durma, gezinme, oyun oynama, yatma ve uyuma davranış sayıları ile canlı ağırlıkları (kg) kayıt edilmiştir. Bu davranışlardan ayakta durma, gezinme ve oyun lokomotif aktivite, yatma ve uyuma davranışları ise dinlenme adı altında iki ayrı değişken olarak toplanmıştır. Çalışmada hayvanların deneme boyunca göstermiş olduğu toplam davranış sayıları kullanılarak canlı ağırlık kazançları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. Bulanık Kümeler

A, X nesnelere uzayında bir bulanık küme olsun. Eğer A bulanık kümesinin elemanları kesikli ise,

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) / x_i = \mu_A(x_1) / x_1 + \mu_A(x_2) / x_2 + \dots + \mu_A(x_n) / x_n \quad (3.1.)$$

sürekli ise,

$$A = \int_x \mu_A(x) / x \quad (3.2.)$$

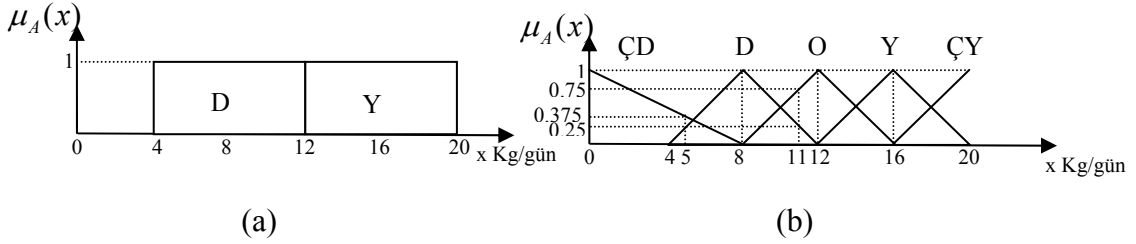
şeklinde gösterilir. Burada sigma ve integral işaretlerinin matematiksel bir anlamı yoktur. Birlikteliği gösterirler.  $\mu_A(x)$ ; A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonudur. Bu fonksiyonun alacağı değere de x elemanının A bulanık kümesindeki üyelik değeri denir ve  $\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$  şeklinde gösterilir (KARANFİL, 1997; NASCIMENTO ve ORTEGA, 2002; PEREIRA ve ark., 2004) .

Çoklu küme kuramı olan bulanık küme teorisi, belirsizliğin bir çeşit formüleştirilmesidir. İşlemleri, klasik küme teorisindeki işlemlerden farklılık gösterir. Kümede bulunan her bir eleman, klasik küme teorisinde olduğu gibi üye veya üye değil olarak değil, bir dereceye kadar üye olarak görülür. Kısmi üyelik söz konusudur (AHAMED ve ark., 2000; BAYKAL ve BEYAN, 2004). Yani, bir kümenin tam üyeliği ile o kümenin üyesi olmaması durumları arasında kademeli bir geçişe izin verir. Verilen bir elemanın bir kümede kısmi üyeliğinin başlaması demek, aynı zamanda bu elemanın bu kümenin üyesi olmama durumunun da kısmen başlaması demektir (SICAT ve ark., 2005). Bu olaylar bir örnek ile açıklanacak olunursa,  $D = \{\text{Düşük süt verimli inekler}\}$  olmak üzere bu kümenin alt sınırı ve üst sınırı kişiden kişiye değişebilecektir. Örneğin alt sınır 4 kg/gün, üst sınır 12 kg/gün kabul edildiğinde  $D = [4-12]$  belirli aralığı elde edilir. Burada bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Neden 11 kg/gün süt veren inek düşük süt verimlidir de, ondan 2 kg/gün fazla veren inek düşük süt verimli değildir? Veya 5 kg/gün süt veren inekle 11 kg/gün süt veren inek arasında 6 kg/gün fark olmasına karşın neden aynı sınıfta yer almaktadır? Bunlar yapısal problemlerdir. Üst sınır 12 kg/gün den daha yukarı çekilse de aynı problemlerle yine karşılaşılacaktır.

Bu yapısal problemi çözümlerin en kolay yolu düşük süt verimli ve düşük süt verimli olmayan arasındaki ayrımı esnetmektir. Yani “Çok Düşük (ÇD), Düşük (D),



Orta (O), Yüksek (Y), Çok Yüksek (ÇY)” gibi ara sınıflar da tanımlanmalıdır. Bu iki durumu Şekil 3.1 ile açıklamaya çalışalım Şekil 3.1(a) ile gösterilen ilk sınıflandırmada D kümesinde bulunan tüm elemanlar 1 üyelik değeri ile kümenin elemanı iken diğer elemanlar 0 üyelik değerine sahiptir. Yani o kümenin elemanı değildir. Şekil 3.1(b) ile gösterilen ikinci sınıflama ise her bir elemanın her sınıfta 0 ile 1 arasındaki sonsuz sayıdaki değeri almalarına izin vermektedir.



Şekil 3.1. İneklerin süt verimlerinin klasik küme (a) ve bulanık küme teorisine göre (b) sınıflandırılması

Diğer bir ifade ile klasik küme teorisine göre 4–12 kg/gün arasında verim veren tüm hayvanlar 1 üyelik derecesi ile düşük kümenin elemanıdır. Bulanık küme teorisine göre ise 5 kg/gün süt veren bir inek 0.25 üyelik derecesi ile düşük verimli kümenin elemanı iken 0.375 üyelik derecesi ile çok düşük verimli kümenin elemanıdır. Benzer şekilde 11 kg/gün süt veren bir inek 0.25 üyelik derecesi ile düşük verimli kümenin elemanı iken 0.75 üyelik derecesi ile orta verimli kümenin elemanıdır. Bu şekilde yapılan bir kümeleme daha önce ifade edilen yapısal problemleri de çözmektedir.

### 3.2.1.1. Bulanık Kümelerde İşlemler

Klasik kümelerdeki işlemlere benzer olarak bulanık kümelerde de kesişim, birleşim ve değil işlemleri yapılmaktadır. L. A. Zadeh, kesişim işlemi için minimum işlemciyi birleşim için maksimum işlemciyi ortaya koymuştur (ZADEH, 1965).

#### Kesişim işlemi

İki bulanık kümenin ortak elemanlarının üyelik derecelerinin büyüklüğü dikkate alınarak kesişim noktaları ve bu noktalara ait üyelik dereceleri tespit edilir. Zadeh ortaya koyduğu bulanık küme teorisinde bu üyelik derecelerinden en küçük olanlarının alınacağını belirtmiştir. A ve B olarak isimlendirilen iki bulanık kümenin kesişimi.

$$A \cap B = \{\forall x \in E | \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.3.)$$

şeklinde gösterilir (ZADEH, 1965; KLIR ve FOLGER, 1988; SHIMODA, 2002). Eşitlik 3.3'de verilen kesişim kümesinin üyelik fonksiyonu da

$$\mu_{A \cap B}(x) = \{\forall x \in E \mid \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.4.)$$

şeklinde tanımlanır.

Örnek 1. A ve B

$$A = \{0/0 + 0.5/3 + 1/6 + 0.5/9 + 0/12\}$$

$$B = \{0/6 + 0.5/9 + 1/12 + 0.5/15 + 0/18\}$$

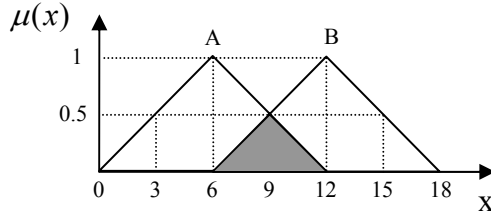
şeklinde iki bulanık küme olsun. Bu kümelere ait evrensel küme

$$E = \{0, 3, 6, 9, 12, 15, 18\}$$

şeklinde dir. A ve B bulanık kümelerine ait kesişim kümesi Eşitlik 3.3.'de verilen tanıma göre

$$A \cap B = \{0/6 + 0.5/9 + 0/12\}$$

olur. İki bulanık kümenin kesişim işlemi Şekil 3.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kesişim kümesi

### Birleşim işlemi

İki bulanık kümenin birleşim kümesinin elemanları maksimum işlemci ile gösterilir. Her iki kümede üyelik değeri olan elemanlardan en büyük üyelik derecesine sahip olan elemanlar birleşim kümesini oluşturmaktadır. İki bulanık kümenin birleşimi

$$A \cup B = \{\forall x \in E \mid \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.5.)$$

şeklinde gösterilir (ZADEH, 1965; DUALIBE, 2003). Bu birleşim kümesinin üyelik fonksiyonu da

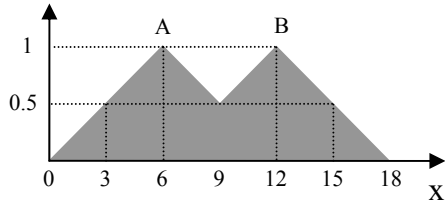
$$\mu_{A \cup B}(x) = \{\forall x \in E \mid \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.6.)$$

şeklinde tanımlanır.

Örnek 1'de verilen A ve B bulanık kümelerinin birleşim kümesi Eşitlik 3.5' de verilen tanıma göre

$$A \cup B = \{0/0 + 0.5/3 + 1/6 + 0.5/9 + 1/12 + 0.5/15 + 0/18\}$$

olur. Birleşim işlemi Şekil 3.3.' de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Birleşim kümesi

### Tümleyen İşlemi

A bulanık kümesinin tümlemeyeni ( $\bar{A}$ ), A kümesinin değil olarak anlaşılabilir.

Bulanık A kümesinin tümleyeni,

$$\bar{A} = \{\forall x \in E \mid \mu_{\bar{A}(x)} = 1 - \mu_A(x)\} \quad (3.7.)$$

şeklinde gösterilir (ZADEH, 1965). Burada görüldüğü gibi üyelik dereceleri 1'e tamamlanarak tümleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Örnek 1'de verilen A ve B bulanık kümelerinin tümleyenleri Eşitlik 3.7'de verilen tanıma göre

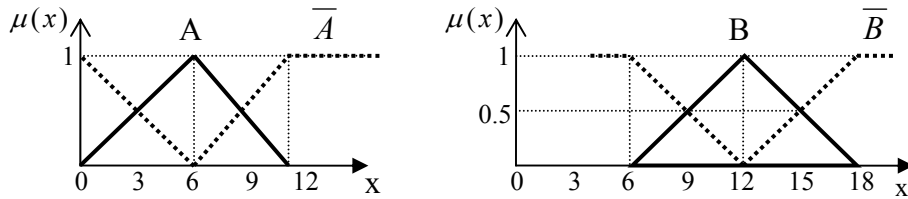
$$\bar{A} = \{(1-0)/0 + (1-0.5)/3 + (1-1)/6 + (1-0.5)/9 + (1-0)/12\}$$

$$\bar{A} = \{1/0 + 0.5/3 + 0/6 + 0.5/9 + 1/12\}$$

$$\bar{B} = \{(1-0) + (1-0.5) + (1-1) + (1-0.5) + (1-0)\}$$

$$\bar{B} = \{1/6 + 0.5/9 + 0/12 + 0.5/15 + 1/18\}$$

olur. Bu özellik Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bulanık A ve B kümelerinin tümleyen kümeleri ( $\bar{A}, \bar{B}$ )

### Fark İşlemi (iki kümenin farkı)

İki bulanık kümenin farkı, birinci küme ile ikinci kümenin tümleyenin kesişiminden oluşur (ROSS, 2005).

$$A - B = (A \setminus B) = A \cap \bar{B} \quad (3.8.)$$

$$B - A = (B \setminus A) = B \cap \bar{A} \quad (3.9.)$$

Örnek 1’de verilen A ve B bulanık kümelerine ait A fark B ve B fark A işlemleri Eşitlik 3.8 ve 3.9’ da verilen tanıma göre

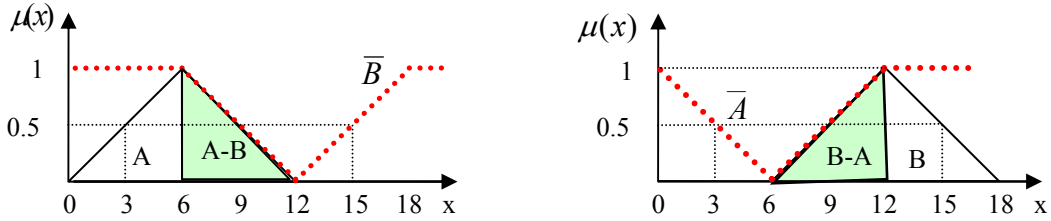
$$\bar{A} = \{1/0 + 0.5/3 + 0/6 + 0.5/9 + 1/12\}$$

$$\bar{B} = \{1/6 + 0.5/9 + 0/12 + 0.5/15 + 1/18\}$$

$$A - B = (A \setminus B) = A \cap \bar{B} = \{1/6 + 0.5/9 + 0/12\}$$

$$B - A = (B \setminus A) = B \cap \bar{A} = \{0/6 + 0.5/9 + 1/12 + 0/15 + 0/18\}$$

olur. Bu fark işlemlerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. A-B ve B-A işlemlerinin şekilsel gösterimi

### Bulanık Kümelerin Eşitliği

İki bulanık kümenin eşit olabilmesi için evrensel kümede yer alan tüm elemanların her iki kümedeki üyelik derecelerinin birbirine eşit olması gerekir. Diğer bir ifadeyle, eğer

$$\forall x \in E \mid \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad (3.10.)$$

ise A bulanık kümesi B’ye eşittir denir ve  $A=B$  şeklinde gösterilir. Kümelerin elemanlarından bir tanesi dahi eşitliği sağlamıyorsa iki küme arasında eşitlikten söz edilemez (ZADEH, 1965; KLIR ve FOLGER, 1988). Örnek 1’de verilen A ve B bulanık kümeleri Eşitlik 3.10’da verilen şartı sağlamadığından eşit değildirler ( $A \neq B$ ).

$$\mu_A(0) = \mu_B(0) = 0$$

$$\mu_A(12) = 0 \neq \mu_B(12) = 1$$

$$\mu_A(3) = 0.5 \neq \mu_B(3) = 0$$

$$\mu_A(15) = 0 \neq \mu_B(15) = 0.5$$

$$\mu_A(6) = 1 \neq \mu_B(6) = 0$$

$$\mu_A(18) = 0 = \mu_B(18) = 0$$

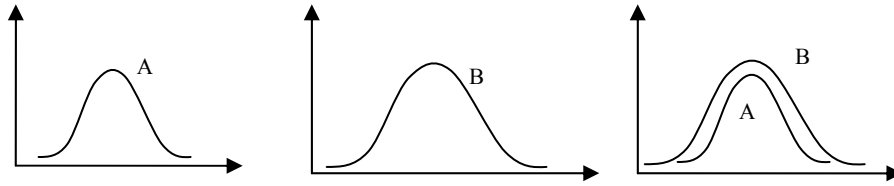
$$\mu_A(9) = 0.5 = \mu_B(9) = 0.5$$

### Alt Küme Bulma İşlemi

Evensel kümede yer alan elemanların her birinin A bulanık kümesindeki üyelik dereceleri B kümesindeki üyelik derecelerine eşit ya da küçükse A, B'nin alt kümesidir denir. Bu durum

$$A \subset B = \{\forall x \in E \mid \mu_A(x) \leq \mu_B(x)\} \quad (3.11.)$$

olarak tanımlanır ve Şekil 3.6 daki gibi gösterilir. (ZADEH, 1965; KLIR ve FOLGER, 1988).



Şekil 3.6. Bulanık kümelerde alt küme bulma işlemi (BAYKAL ve BEYAN, 2004)

Örnek 1'de verilen A ve B bulanık kümeleri için Eşitlik 3.11'de tanımlanan şart sağlanamadığı için A bulanık kümesi, B bulanık kümesinin bir alt kümesi değildir.

$$\mu_A(0) = \mu_B(0); \mu_A(3) > \mu_B(3); \mu_A(6) > \mu_B(6); \mu_A(9) = \mu_B(9); \mu_A(12) < \mu_B(12)$$

$$\mu_A(15) < \mu_B(15); \mu_A(18) = \mu_B(18)$$

#### 3.2.1.2. Bulanık Kümelerle İlgili Özellikler

$$A \cap B = B \cap A; A \cup B = B \cup A \text{ (Değişme özelliği)} \quad (3.12.)$$

$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C); (A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C) \text{ (Birleşme özelliği)} \quad (3.13.)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C); A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \text{ (Dağılma özelliği)} \quad (3.14.)$$

$$\begin{aligned} A \cap \emptyset &= \emptyset & A \cap E &= A & \overline{\overline{A}} &= A \\ A \cup \emptyset &= A & A \cup E &= E & & \end{aligned} \quad (3.15.)$$

$$[(\overline{A \cap B}) = \overline{A \cup B}] = [1 - \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x))] \text{ (De Morgan)} \quad (3.16.)$$

$$[(\overline{A \cup B}) = \overline{A \cap B}] = [1 - \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \min(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x))]$$

$$\text{Eğer } A \subset B \subset C \Rightarrow A \subset C \text{ (Geçişlilik özelliği)} \quad (3.17.)$$

$$\text{Eğer } A \subset B \Rightarrow A \cup C \subset B \cup C \text{ (Monotonluk özelliği)} \quad (3.18.)$$

Buraya kadar gösterilen tüm özellikler klasik kümeler içinde geçerlidir. Bulanık kümelerle klasik kümeler arasında farklılık yaratan özellikler ise Eşitlik 3.19 ve 3.20'de verilmiştir (ZADEH, 1965; WALKER ve WALKER, 2005).

$$\bar{A} \cap A = \emptyset \text{ (Klasik kümelerde)} \quad \bar{A} \cap A \neq \emptyset \text{ (Bulanık kümelerde)} \quad (3.19.)$$

$$\bar{A} \cup A = E \text{ (Klasik kümelerde)} \quad \bar{A} \cup A \neq E \text{ (Bulanık kümelerde)} \quad (3.20.)$$

### 3.2.1.3. Bulanık Kümelerdeki Kavramlar

#### Bir Bulanık Kümenin Desteği (Support)

Bir A bulanık kümesinin desteği üyelik dereceleri sıfırdan büyük olan tüm elemanları bulunduran bir klasik kümedir. Desteğin matematiksel gösterimi,

$$Dest A = \{x \in E \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (3.21.)$$

şeklinde (KLIR ve FOLGER, 1988; KLIR ve YUAN, 1995).

Örnek 1’de verilen A ve B bulanık kümelerinin destek kümeleri Eşitlik 3.21’de verilen tanıma göre

$$Dest A = \{3,6,9\}$$

$$Dest B = \{9,12,15\}$$

olur.

#### Bir Bulanık Kümenin Alfa ( $\alpha$ ) Kesiti (Kesim kümesi)

Bir A bulanık kümesinin  $\alpha$  kesiti (kesim kümesi), üyelikleri  $\alpha$ ’ya eşit veya daha büyük olan elemanların oluşturduğu kümedir. Bu küme

$$A_\alpha = \{x \in E \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (3.22.)$$

şeklinde gösterilir.  $\alpha$  değeri kişilerin isteğine bağlı olarak seçilebilir. Eşitlikte  $\geq$  yerine  $>$  kullanılırsa, yani kesit kümesi  $\alpha$ ’ya eşit veya büyük üyelik derecesine sahip olan elemanlar değil de sadece büyük olan elemanlardan oluşturuluyorsa bu kesite güçlü  $\alpha$  kesit kümesi denir (BAYKAL ve BEYAN, 2004; BUCKLEY, 2005).

Eşitlik 3.22’de verilen tanıma göre örnek 1’de yer alan A ve B bulanık kümelerinin  $\alpha = 0.5$  kesit kümeleri

$$A_{0.5} = \{3,6,9\}; B_{0.5} = \{9,12,15\}$$

olur.

#### Bulanık Kümenin Büyüklüğü

Bir bulanık kümenin büyüklüğü iki şekilde ifade edilebilmektedir. Bunlardan birincisi sayısal büyüklük olup, bulanık kümenin sayısal değerini ortaya koyan o bulanık kümede bulunan elemanlara ait üyelik derecelerinin toplamıdır ve

$$|A| = \sum_{x \in E} \mu_A(x) \quad (3.23.)$$

şeklinde gösterilir. Evrensel kümenin büyüklüğü eleman sayısına eşittir (KLIR ve FOLGER, 1988). Eşitlik 3.23'de yapılan tanıma göre örnek 1'de verilen A, B ve evrensel kümenin sayısal büyüklükleri

$$|A| = 0 + 0.5 + 1 + 0.5 + 0 = 2$$

$$|B| = 0 + 0.5 + 1 + 0.5 + 0 = 2$$

$$|E| = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7$$

olur.

İkincisi bağıl büyüklük olup bulanık küme büyüklüğünün evrensel küme büyüklüğüne oranıdır (BAYKAL ve BEYAN, 2004).

$$\|A\| = \frac{|A|}{|E|} \quad (3.24.)$$

Eşitlik 3.24'de yapılan tanıma göre örnek 1'de verilen A ve B bulanık kümelerinin bağıl büyüklükleri

$$\|A\| = \frac{|A|}{|E|} = \frac{2}{7} = 0.285$$

$$\|B\| = \frac{|B|}{|E|} = \frac{2}{7} = 0.285$$

olur.

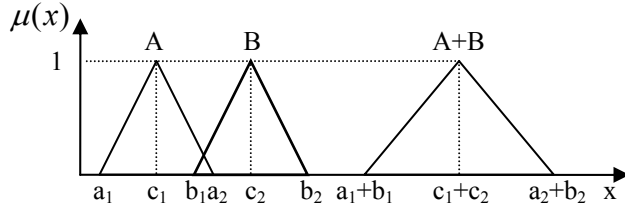
### 3.2.2. Bulanık Sayılar

Bulanık teoride sayılar da bulanık olabilmektedir. Reel doğru üzerindeki bulanık A sayısı  $\mu_A : R \rightarrow [0,1]$  aitlik fonksiyonu ile karakterize edilen bir sayı topluluğudur. Bir bulanık sayı sadece alt ve üst sınır değerleri ile belirlenir (ALLAHVERDİ, 2001, ŞEN, 2004a). Bulanık sayılarla yapılan aritmetik işlemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

#### Toplama İşlemi

A ve B bulanık sayılarının toplamı alınırken her iki kümenin minimum noktalarının toplamı toplam kümesinin minimum noktasını, maksimum noktalarının toplamı da maksimum noktasını oluşturmaktadır. Üyelik derecesi 1 olan noktaların toplamı da toplam kümesinin merkezini oluşturmaktadır (Şekil 3.7) (ÖNDER, 2000; ALLAHVERDİ, 2001; AYDEMİR, 2001).

$$A + B = [a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [(a_1 + b_1), (a_2 + b_2)] \quad (3.25.)$$



Şekil 3.7. A ve B bulanık sayılarının toplamı

Eşitlik 3.25'de verilen tanıma göre örnek 1'de yer alan A ve B bulanık kümelerinin toplamı

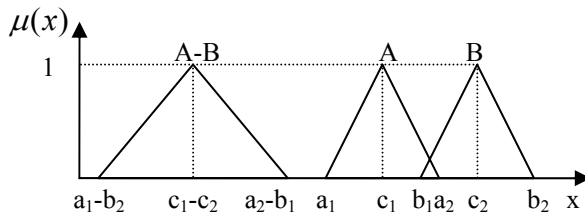
$$A + B = [0,12] + [6,18] = [(0 + 6), (12 + 18)] = [6,30]$$

olur.

### Çıkarma İşlemi

A ve B bulanık sayılarının farkları alınırken A bulanık kümesinin en küçük elemanı B kümesinin en büyük elemanından çıkartılıp toplam kümesinin en küçük elemanı elde edilir. A kümesinin en büyük elemanından B kümesinin en küçük elemanı çıkartılarak fark kümesinin en büyük elemanı elde edilir. Üyelik dereceleri 1'e eşit olan merkez noktalarının farkı da toplam bulanık kümesinin merkezini oluşturmaktadır (Şekil 3.8.) (ÖNDER, 2000; ALLAHVERDİ, 2001).

$$A - B = [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [(a_1 - b_2), (a_2 - b_1)] \quad (3.26.)$$



Şekil 3.8. A ve B bulanık sayılarının farkı

Eşitlik 3.26.'da verilen tanıma göre örnek 1'de yer alan A ve B bulanık kümelerinin çıkarma işlemi

$$A - B = [0,12] - [6,18] = [(0 - 18), (12 - 6)] = [-18,6]$$

olur.



### Çarpma İşlemi

A ve B bulanık sayılarının kartezyen çarpımı sonucunda elde edilen değerlerin en küçüğü çarpımın alt sınırını, en büyüğü de üst sınırını oluşturmaktadır (ŞEN, 2004a).

$$AXB=[a_1, a_2]X[b_1, b_2] \quad (3.27.)$$

$$= [Min[(a_1X b_1), (a_1X b_2), (a_2X b_1), (a_2X b_2)], Maks[(a_1X b_1), (a_1X b_2), (a_2X b_1), (a_2X b_2)]]$$

Eşitlik 3.27'de verilen tanıma göre örnek 1'de yer alan A ve B bulanık kümelerinin çarpım işlemi

$$\begin{aligned} AXB &= [0,12]X[6,18] \\ &= [Min[(0X6), (0X18), (12X6), (12X18)], Maks.[(0X6), (0X18), (12X6), (12X18)]] \\ &= [0, 216] \end{aligned}$$

olur.

### Bölme İşlemi

Çarpma işlemine benzer olarak A ve B bulanık sayılarının bölme işlemi

$$A/B = [a_1, a_2]/[b_1, b_2] \quad (3.28.)$$

$$= [Min[(a_1/b_1), (a_1/b_2), (a_2/b_1), (a_2/b_2)], Maks[(a_1/b_1), (a_1/b_2), (a_2/b_1), (a_2/b_2)]]$$

şeklinde yapılır (ÖNDER, 2000). Çarpma işleminden farklı olarak bölen sayıların sıfırdan farklı bir sayı olması gerekmektedir (ŞEN, 2004a).

Eşitlik 3.28'de verilen tanıma göre örnek 1'de yer alan A bulanık kümesinin B bulanık kümesine bölümü

$$\begin{aligned} A/B &= [0,12]/[6,18] \\ &= [Min[(0/6), (0/18), (12/6), (12/18)], Maks.[(0/6), (0/18), (12/6), (12/18)]] \\ &= [0, 2] \end{aligned}$$

şeklinde olur.

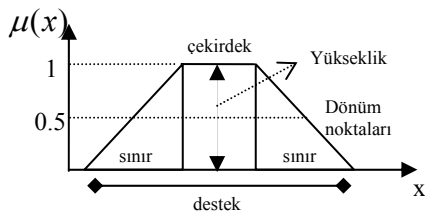
### 3.2.3. Bulanık Modellemenin Aşamaları

Giriş kısmında ifade edildiği gibi bulanık modellemenin 3 önemli aşaması vardır. Bunlar bulanıklaştırma, çıkarım ve durulaştırma aşamalarıdır (DUALIBE ve ark., 2003). Bu tez kapsamında bu aşamalar ayrı ayrı ele alınmıştır.

### 3.2.3.1. Bulanıklaştırma Aşaması

Bulanıklaştırmanın iki anlamı vardır. Bunlardan birincisi, kesin bir değerin üyelik derecesi ile ifade edilen bulanık bir değere dönüştürülmesidir. İkincisi ise, sayısal bir girdi değerinin, uygun üyelik fonksiyonu kullanılarak belli bir üyelik derecesi ile sözel bir değişkene dönüştürülmesi işlemidir (WILLIAM, 2005). Bu amaçla bu aşamada kullanılacak üyelik fonksiyonları, bu fonksiyonların x eksenindeki konumu ve sayısı (alt küme sayısı) belirlenir.

Üyelik fonksiyonu, bir nesnenin bulanık kümeye aitlik derecesini gösteren üyelik değerinin hesaplanmasını sağlayan bir fonksiyondur (SALEHI ve ark., 2000). Üyelik fonksiyonları bir bulanık kümenin içerdiği tüm bilgileri açıkladığından, bu fonksiyonların çeşitli görünümlerini ve kısımlarını açıklamakta yarar vardır. Bir üyelik fonksiyonu 5 kısımdan oluşur. Bunlar, üyelik fonksiyonunun çekirdeği, desteği, sınırları, dönüm noktası ve yüksekliğidir (Şekil 3.9.). Bulanık kümenin tam üyeliğe sahip elemanlarının oluşturduğu topluluğa üyelik fonksiyonunun çekirdeği (özü) denir ve  $\mu_A(x) = 1$  şeklinde gösterilir. Üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların oluşturduğu topluluk üyelik fonksiyonunun desteği olarak adlandırılır. Matematiksel olarak  $DESTEK_A = \{x \in E | \mu_A(x) > 0\}$  şeklinde gösterilir. Bir üyelik fonksiyonunun sınırları, 0 (sıfır) ile 1 (bir) arasında üyelik derecelerine sahip elemanların oluşturdukları bölgedir. Genelde tüm üyelik fonksiyonlarında biri çekirdeğin sağında ve biri de solunda olmak üzere iki sınır bölgesi vardır. Bulanık kümelerde 0.5 üyelik derecesine sahip elemanların oluşturdukları bölge üyelik fonksiyonunun dönüm noktası olarak tanımlanır. Bir bulanık kümenin yüksekliği üyelik derecesi en yüksek olan elemana karşılık gelir. Elemanlardan en az birine ait üyelik derecesi 1 (bir) ise bu bulanık küme normal bulanık küme olarak tanımlanır (Şekil 3.9.). Normal olmayan bulanık küme kümede bulunan tüm elemanların üyelik derecelerinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi ile normal hale dönüştürülebilir (KLIR ve FOLGER, 1988).



Şekil 3.9. Üyelik fonksiyonunun kısımları

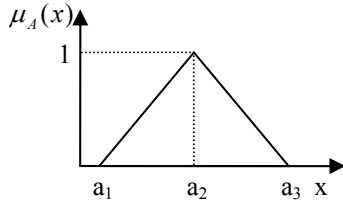
Bulanıklaştırma aşamasında çok sayıda üyelik fonksiyonu olmakla birlikte pratikte en yaygın olarak kullanılanlar üçgen, yamuk, ve Gaussian fonksiyonlarıdır (BAYKAL ve BEYAN, 2004; NABABAN ve ark., 2004). Bunların yanında pratikte fazla kullanılmayan Sigmoidal, S ve Pi ( $\Pi$ ) üyelik fonksiyonları da vardır. Bu tez kapsamında bu 6 üyelik fonksiyonu üzerinde durulmuş, bunlara ait eşitlikler açıklanmıştır.

### Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu  $a_1, a_2$  ve  $a_3$  olmak üzere 3 parametre ile tanımlanır.  $a_2$  parametresi bu üyelik fonksiyonunun çekirdeğini oluştururken  $a_1$ - $a_3$  parametreleri arasında kalan değerlerde desteğini oluşturmaktadır. Yani çekirdekteki eleman sayısı 1 olan üyelik fonksiyonlarıdır. Üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bir elemanın üyelik derecesinin hesaplanması, elemanın değerine ( $x$ ) göre yapılır. Fonksiyon

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise } (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise } 0 \end{cases} \quad (3.29.)$$

olarak tanımlanır ve Şekil 3.10'daki gibi gösterilir (EKLUND ve ark., 2000).



Şekil 3.10. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi

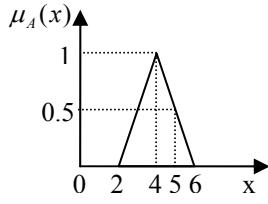
Üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bir bulanık kümede yer alan elemanın üyelik derecesi şu şekilde hesaplanır. A bulanık kümesi

$$A = \{0/2 + 1/4 + 0/6\}$$

şeklinde tanımlansın. Burada  $a_1=2$ ,  $a_2=4$  ve  $a_3=6$  değerlerini alırlar. A bulanık kümesinde 5 değerinin üyelik derecesi Eşitlik 3.29 kullanılarak

$$\mu_A(5) = (a_3 - x)/(a_3 - a_2) = (6 - 5)/(6 - 4) = 0.5$$

şeklinde hesaplanır. Bu durumda üçgen üyelik fonksiyonunun bulanık A kümesi için gösterimi



Şekil 3.11. Örnek x değeri için üçgen üyelik fonksiyonunun görünümü

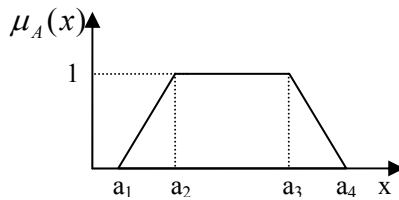
şeklinde olur.

### Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  ve  $a_4$  olmak üzere dört parametre ile tanımlanır. Aslında üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur (EKLUND ve ark., 2000). Bu fonksiyonda  $a_1$ - $a_2$  ve  $a_3$ - $a_4$  arasında kalan değerler fonksiyonun sınırlarını oluşturmaktadır. Fonksiyonun çekirdeği ise  $a_2$ - $a_3$  parametreleri arasında kalan noktalardır. Yamuk üyelik fonksiyonunda değeri x olan bir elemanın üyelik derecesinin hesaplanması

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 \text{ ise } (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ ve } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (3.30.)$$

olarak tanımlanır ve Şekil 3.12'deki gibi gösterilir (NABABAN ve ark., 2004; ŞEN, 2004a).



Şekil 3.12. Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi

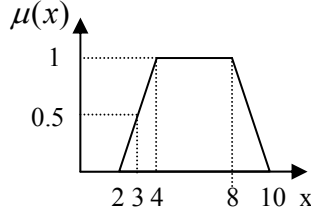
Yamuk üyelik fonksiyonu kullanılarak bir bulanık kümede yer alan elemanın üyelik derecesi şu şekilde hesaplanır. A bulanık kümesi

$$A = \{0/2 + 1/4 + 1/8 + 0/10\}$$

şeklinde tanımlansın. Burada  $a_1=2$ ,  $a_2=4$ ,  $a_3=8$  ve  $a_4=10$  değerlerini alır. A bulanık kümesinde 3 değerinin üyelik derecesi Eşitlik 3.30 kullanılarak

$$\mu(3) = (x - a_1)/(a_2 - a_1) = (3 - 2)/(4 - 2) = 0.5$$

şeklinde hesaplanır. Bu durumda yamuk üyelik fonksiyonunun bulanık A kümesi için gösterimi



Şekil 3.13. Örnek x değeri için yamuk üyelik fonksiyonunun görünümü

şeklinde olur.

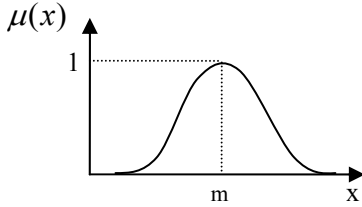
Formüllerinin basit oluşu ve hesaplamalardaki kolaylık açısından hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları bulanık mantık uygulamalarında oldukça fazla kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır.

### Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu  $m$  ve  $\sigma$  parametreleri ile

$$\mu_A(x; m, \sigma) = \exp \left\{ \frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (3.31.)$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 3.14'deki gibi gösterilir.



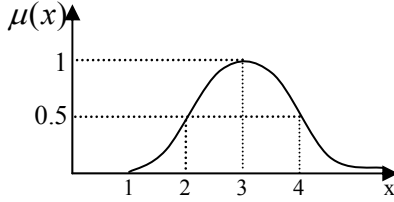
Şekil 3.14. Gaussian üyelik fonksiyonunun gösterimi

Bu fonksiyonda  $m$  fonksiyona ait olan dağılımın merkezini ve  $\sigma$  da dağılımın şeklini belirler. Eğer  $\sigma$  küçük olursa üyelik fonksiyonunun göstermiş olduğu dağılım daha sivri olur. Bu değer büyüdükçe dağılım yayvanlaşacaktır (BAYKAL ve BEYAN, 2004; ANONYMOUS, 2005; LEE, 2006). Gaussian üyelik fonksiyonunun çekirdeği  $m$  dir. Çekirdeğin sağında ve solunda kalan elemanların oluşturduğu bölge ise fonksiyonun sınırlarını oluşturmaktadır.

Gaussian üyelik fonksiyonu kullanılarak bir bulanık kümede yer alan elemanın üyelik derecesi şu şekilde hesaplanır. Merkezi  $m=3$ , standart sapması  $\sigma=1$  olan A bulanık kümesinde değeri 2 olan elemana ait üyelik derecesi Eşitlik 3.31. kullanılarak

$$\mu_A(2;3,1) = \exp \left\{ \frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2} \right\} = \exp \left\{ \frac{-(2-3)^2}{2 \cdot 1^2} \right\} = 0.5$$

şeklinde hesaplanır. Bu durumda Gaussian üyelik fonksiyonunun A bulanık kümesi için gösterimi



Şekil 3.15. Örnek x değeri için Gaussian üyelik fonksiyonunun görünümü

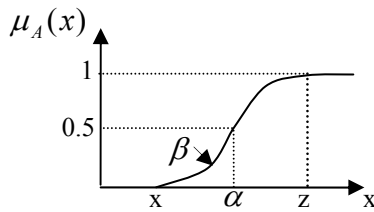
şeklinde olur.

### Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

Sigmoidal üyelik fonksiyonları  $\beta$  ve  $\alpha$  olmak üzere iki parametre ile

$$\mu_A(x; \beta, \alpha) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(x-\alpha)}} \quad (3.32.)$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 3.16'daki gibi gösterilir.



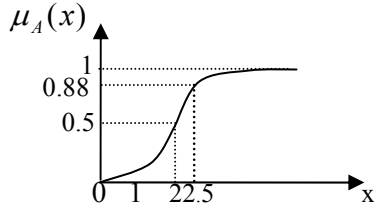
Şekil 3.16. Sigmoidal üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonunda  $\beta$ ; eğrinin eğimini göstermektedir.  $\alpha$  parametresi ise eğrinin dönüm noktası olup üyelik derecesi daima 0.5 e eşittir (DOMBI ve GERA, 2005). Sigmoidal üyelik fonksiyonunun çekirdeği z, x ile z arasında kalan elemanların oluşturduğu bölgede sınırlardır.

Eğimi  $\beta=4$  ve dönüm noktası  $\alpha = 2$  olan A bulanık kümesinde  $x = 2.5$  değerine ait üyelik derecesi Eşitlik 3.32. kullanılarak

$$\mu_A(2.5;4,2) = \frac{1}{1 + e^{-4(2.5-2)}} = 0.88$$

şeklinde hesaplanır. Bu durumda Sigmoidal üyelik fonksiyonunun A bulanık kümesi için gösterimi



Şekil 3.17. Örnek x değeri için Sigmoidal üyelik fonksiyonunun görünümü

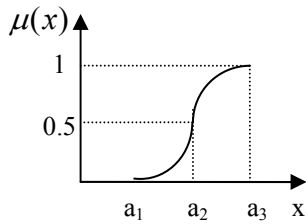
şeklinde olur.

### S Üyelik Fonksiyonu

S üyelik fonksiyonu  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  parametreleri ile tanımlanan bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun adı şeklinin S harfine benzemesinden kaynaklanmaktadır. Eğer fonksiyon artış eğiliminde ise

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} -\infty < x < a_1 & \text{ise } 0 \\ a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } 2[(x - a_1)/(a_3 - a_1)]^2 \\ [a_2 < x \leq a_3 & \text{ise } 1 - 2[(x - a_2)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_3 < x < +\infty & \text{ise } 1 \end{cases} \quad (3.33.)$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 3.18'deki gibi gösterilir.

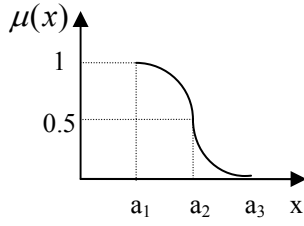


Şekil 3.18. Artış şeklindeki S üyelik fonksiyonunun gösterimi

Fonksiyon azalış eğiliminde ise

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} -\infty < x < a_1 & \text{ise } 1 \\ a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } 1 - 2[(x - a_1)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_2 < x < a_3 & \text{ise } 2[(x - a_2)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_3 < x < +\infty & \text{ise } 0 \end{cases} \quad (3.34.)$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 3.19'deki gibi gösterilir.



Şekil 3.19. Azalış şeklindeki S üyelik fonksiyonunun görünümü

Bu fonksiyonda  $a_2$  parametresi fonksiyonun dönüm noktasıdır ve  $x$  eksenindeki yeri daima  $a_1$  ile  $a_2$  parametrelerinin tam ortasıdır (SICAT ve ark., 2005). Her iki şekilde de  $a_1$  ve  $a_3$  parametreleri arasında kalan değerler fonksiyonun sınırlarını oluşturur.

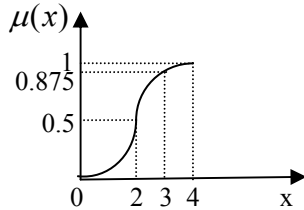
Artış eğiliminde olan S üyelik fonksiyonu kullanılarak bir bulanık kümede yer alan elemanın üyelik derecesi şu şekilde hesaplanır. A bulanık kümesi

$$A = \{0/0 + 0.5/2 + 1/4\}$$

şeklinde tanımlansın. Burada  $a_1=0$ ,  $a_2=2$  ve  $a_3=4$  değerlerini alır. Bu bulanık kümede 3 değerinin üyelik derecesi Eşitlik 3.33 kullanılarak

$$\mu(3) = 1 - 2[(3 - 2)/(4 - 0)]^2 = 0.875$$

şeklinde hesaplanır. Artan S üyelik fonksiyonu durumunda bulanık A kümesinin gösterimi



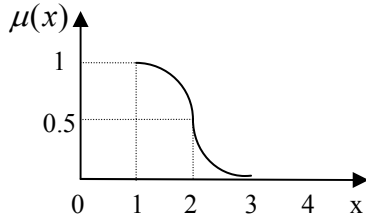
Şekil 3.20. Örnek  $x$  değeri için artış eğiliminde olan S üyelik fonksiyonunun görünümü

şeklinde olur. Azalış eğiliminde olan S üyelik fonksiyonu kullanılarak A bulanık kümesinde yer alan 3 değerine ait üyelik derecesi Eşitlik 3.34 kullanılarak

$$\mu(3) = 2[(3 - 2)/(4 - 0)]^2 = 0.125$$

şeklinde hesaplanır. Bu durumda azalan S üyelik fonksiyonunun bulanık A kümesi için gösterimi





Şekil 3.21. Örnek  $x$  değeri için azalış eğiliminde olan S üyelik fonksiyonunun görünümü

şeklinde olur.

### Pi ( $\Pi$ ) Üyelik Fonksiyonu

Pi üyelik fonksiyonu 4 parametre ile tanımlanmaktadır. Fonksiyonun ismi şeklinin pi simgesine benzemesinden kaynaklanmaktadır. S fonksiyonundan farklı olarak fonksiyon üyelik değeri iki taraflı “0” değerine doğru asimptotik olarak azalır.  $lp$  ve  $rp$  parametreleri arasında kalan değerler fonksiyonun çekirdeğini oluştururken  $ld$  ve  $rd$  noktaları dönüm noktalarıdır. Pi üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x;lw,lp,rp,rw) = \begin{cases} x \leq lp \text{ ise } lw/lp + lw - x \\ lp \leq x \leq rp \text{ ise } 1 \\ x > rp \text{ ise } rw/(x - rp + rw) \end{cases} \quad (3.35.)$$

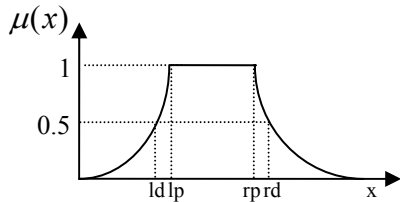
olarak tanımlanır ve Şekil 3.22'deki gibi gösterilir (BAYKAL ve BEYAN, 2004).

Burada  $lw$  ve  $rw$ ,

$$lw = lp - ld \quad (3.36.)$$

$$rw = rd - rp \quad (3.37.)$$

şeklinde tanımlanır.

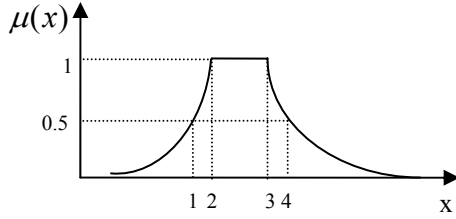


Şekil 3.22. Pi üyelik fonksiyonunun şekilsel gösterimi

Parametre değerleri  $lw=1$ ,  $lp=2$ ,  $rp=3$  ve  $rw=1$  olan bir Pi üyelik fonksiyonu kullanılarak  $x = 1.5$  değerinin üyelik derecesi Eşitlik 3.35 kullanılarak

$$\mu(1.5;1,2,3,1) = (lw/lp + lw - x) = (1/2 + 1 - 1.5) = 0.67$$

şeklinde hesaplanır. Bu durumda Pi üyelik fonksiyonu üzerindeki yeri



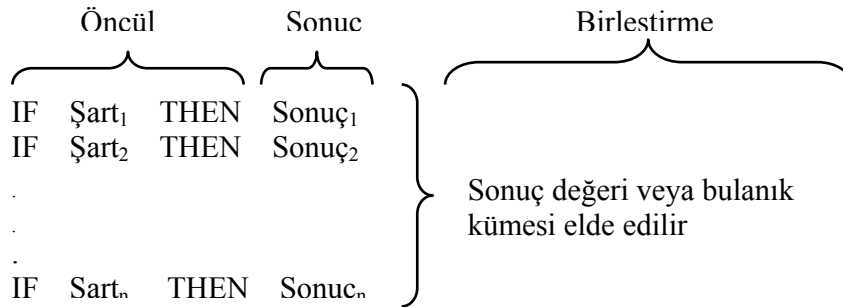
Şekil 3.23. Örnek x değeri için Pi üyelik fonksiyonunun görünümü

şeklinde görünür.

Bulanıklaştırma aşamasında girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanırken birden çok ve birbirinden farklı üyelik fonksiyonları yan yan gelebilir.

### 3.2.3.2. Çıkarım Aşaması

Genel olarak çıkarım, var olan bilgileri kullanarak yeni bilgileri elde etme süreci olarak tanımlanır (BAYKAL ve BEYAN, 2004). Çıkarım aşamasında girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiler konunun uzmanından alınan bilgiler doğrultusunda IF-THEN mantıksal ifadeleri kullanılarak açıklanır. IF-THEN mantıksal ifadesi veya kuralları iki kısımdan oluşur. IF ile THEN'i kapsayan kısma öncül, THEN'den sonraki kısma da sonuç kısmı denir. İki veya daha fazla mantıksal ifade VE (AND), VEYA (OR) mantıksal bağlantı işlemcileri kullanılarak birleştirilebilir. Çıkarım aşamasında her mantıksal ifade sonunda bir sonuç (sonuç aşaması), bu sonuçların birleştirilmesi ile de en son sonuç değerine veya sonuç kümesine ulaşılır (birleştirme aşaması).



AND ve OR mantıksal bağlantı işlemcileri her kural için  $w_i$  ile gösterilen eşik değerini belirlemede etkilidirler. Eşik değeri çıkarım aşamasında kullanılan çıkarım yöntemine göre farklı şekillerde hesaplanır ve kullanılır. Kural AND mantıksal bağlantı işlemcisi ile oluşturuldu ise eşik değeri Eşitlik 3.3'de verilen tanıma göre en küçük

üyelik derecesine eşit olur. OR mantıksal bağlantı işlemcisi ile oluşturuldu ise Eşitlik 3.5’de verilen tanıma göre en büyük üyelik derecesine eşit olur. IF-THEN kurallarının öncül kısmında verilen şart sağlanamadığında eşik değeri ( $w_i$ ) sifıra eşit olur ve sonuç aşamasında boş küme elde edilir.

Bu çalışmada, çıkarım aşamasında Mamdani, Larsen, Takagi-Sugeno-Kang (TSK) ve Tsukamoto çıkarım yöntemleri üzerinde durulmuştur. Bu yöntemlerin çalışma prensipleri genellikle birbirlerine benzemektedir. Aralarındaki temel farklılıklar IF-THEN kurallarının sonuç kısmı ile birleşim aşamasındadır.

### **Mamdani Yöntemi**

Bulanık küme teorisi temel alınarak oluşturulan ilk kontrol sisteminde kullanılan bulanık çıkarım yöntemidir. İlk kez 1974 yılında Ebraham MAMDANI tarafından kullanılmıştır. Bu ilk çalışma bulanık uzman sistemlerinin kullanılabilirliğini göstermiş ve kendisinden sonra birçok çalışmaya örnek olmuştur (TRON ve MARGALIOT, 2004). Bulanık çıkarım yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin kural yapısı

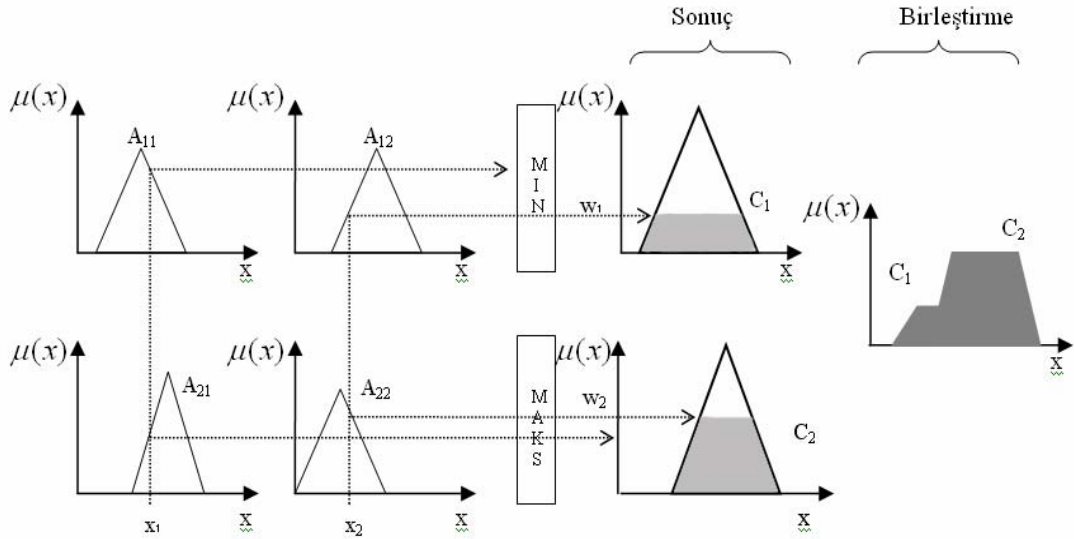
IF ( $x_1 = A_{11}$ ) AND ( $x_2 = A_{12}$ ) THEN ( $z_1 = C_1$ )

IF ( $x_1 = A_{21}$ ) OR ( $x_2 = A_{22}$ ) THEN ( $z_2 = C_2$ )

şeklinde (MAZZUCCO ve ark., 2000; POPOOLA, 2004; VRUSIAS, 2005). Bu kural yapısının şekilsel gösterimi Şekil 3.24’de verilmiştir. Burada  $x_1$  ve  $x_2$  girdi değişkenleri,  $z$  ise çıktı değişkenidir.  $A_{11}$  ve  $A_{12}$  girdi değişkenlerinin alt seviyelerini temsil eden üyelik fonksiyonlarıdır.  $C$  ise her kuralın sonunda çıkan bulanık sonuç kümesidir (BEYNON, 2004; CERRADA ve ark., 2005).  $C$  bulanık kümeleri Mamdani çıkarım yönteminde sonuç kısmında eşik değerinin kestiği noktanın altında kalan alandan oluşmaktadır. Daha önce ifade edildiği gibi eşik değeri ( $w_i$ ), birinci kuralda AND mantıksal bağlantı işlemcisi kullanıldığı için en küçük üyelik derecesine, ikinci kuralda OR mantıksal bağlantı işlemcisi kullanıldığı için en büyük üyelik derecesine eşittir.

Konunun uzmanından alınan bilgiler ve girdi değişkenlerinin seviyelerine bağlı olarak oluşturulan tüm kurallardan elde edilen bulanık sonuç kümeleri birleşim aşamasında Eşitlik 3.5 yardımıyla bulanık kümelerde birleşim kuralı gereğince birleştirilerek birleşim kümesi elde edilir. Birleşim aşamasında kesin bir değer değil bulanık bir küme elde edildiğinden Mamdani yönteminde bu bulanık küme durulaştırma

işlemine tabii tutulmaktadır (NASCIMENTO VE ORTEGA, 2002; ANONYMOUS, 2005).



Şekil 3.24. Mamdani çıkarım yönteminin gösterimi (LEE, 2006)

### Larsen Yöntemi

Bu yöntem Mamdani çıkarım yöntemine benzemekle birlikte temel farkı, sonuç aşamasında bulanık sonuç kümesini bulurken çarpım (product) işlemcisini kullanmasıdır. Bu işlemin matematiksel gösterimi

$$\mu_{C'_i}(z) = w_i \cdot \mu_{C_i}(z) \quad (3.38.)$$

şeklindedir. Eşitlik 3.38'de görüldüğü gibi eşik değeri ile sonuç kümesinde bulunan elemanlara ait üyelik dereceleri çarpılarak bulanık sonuç kümeleri ( $C'_i$ ) elde edilir.

Larsen yöntemine ait kural yapısı,

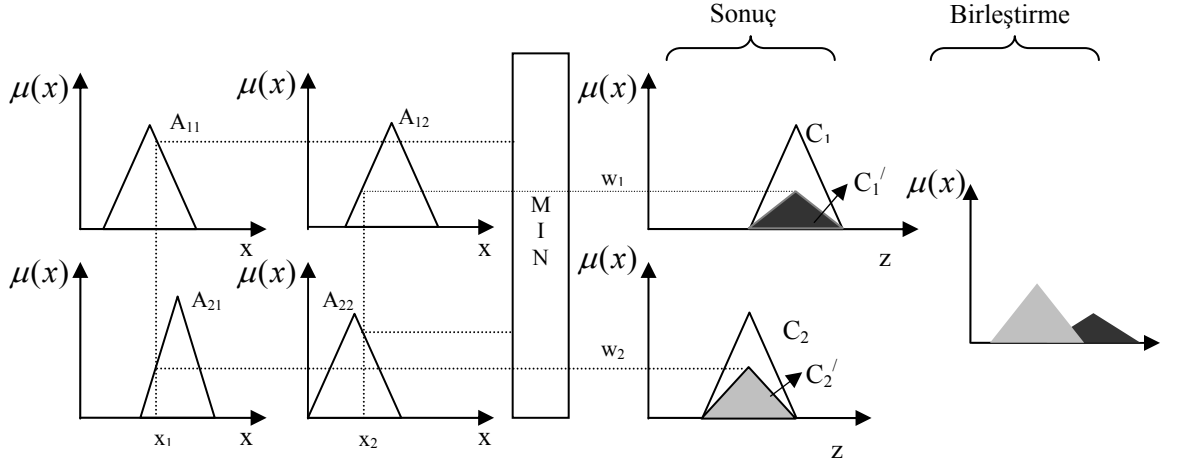
IF ( $x_1 = A_{11}$ ) AND ( $x_2 = A_{12}$ ) THEN ( $z_1=C_1$ )

IF ( $x_1 = A_{21}$ ) AND ( $x_2 = A_{22}$ ) THEN ( $z_2=C_2$ )

şeklindedir (BAYKAL VE BEYAN, 2004; LEE, 2006).

Larsen yönteminin çalışma prensibinin gösterildiği Şekil 3.25'de, birinci kural incelendiğinde  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenlerine ait değerlerin sahip olduğu üyelik derecelerinden  $x_2$  nin değeri daha küçük olduğu için eşik değeri bu üyelik derecesine eşittir. İkinci kuralda ise  $x_1$  değişkeninin üyelik derecesine eşittir. Sonuç aşamasında her  $z$  değerine ait üyelik dereceleri kendi  $w$  değerleri ile çarpılarak (Eşitlik 3.38.) sonuç aşamasındaki

bulanık kümeler elde edilir. Mamdani çıkarım yönteminde olduğu gibi tüm kurallardan elde edilen bulanık sonuç kümeleri birleşim aşamasında Eşitlik 3.5 yardımıyla birleştirilerek bir birleşim kümesi elde edilir. Birleşim aşamasında kesin bir değer değil bulanık bir küme elde edildiğinden Larsen yönteminde de işlemlerin sonunda durulaştırma işlemine gerek vardır



Şekil 3.25. Larsen çıkarım yönteminin gösterimi

Mamdani ve Larsen çıkarım yöntemleri daha çok karar destek sistemlerinin (KDS) oluşturulmasında kullanılır. Bu KDS nin doğru karar verip vermediğini kontrol etmek için sistemin vermiş olduğu kararlar ile konunun uzmanının vermiş olduğu kararlar karşılaştırılır. Sistem ile uzmanın vermiş olduğu kararların % 90 nın üzerinde benzer olması istenir. Eğer konu üzerinde çok sayıda uzmanın görüşü alındı ve bu uzmanların vermiş olduğu kararlar ile KDS inin vermiş olduğu kararların tutarlılığı test edilmek isteniyorsa, kappa istatistiği veya  $\chi^2$  uyum testi kullanılarak test edilebilir (AKÇAM ve TAKADA, 2002).

### Takagi-Sugeno-Kang (TSK)

Bu çıkarım yöntemi tek başına Sugeno olarak da adlandırılmaktadır. Birçok bakımdan Mamdani ile benzer özelliklere sahiptir. Bu iki yöntem arasındaki temel farklılık, TSK yönteminde çıktı değişkeni bulanık bir küme değil, doğrusal bir fonksiyon veya sabit bir değerdir (KURTENER ve ark., 2005; ROSS, 2005). Bu nedenle durulaştırma işlemine ihtiyaç duymaz. Kullanımının basit olması ve özellikle

sayısal verilerle çalışıldığında oldukça başarılı sonuçlar vermesinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (MASTORAKIS, 2004).

TSK yönteminde IF THEN kuralı,

IF ( $x_1 = A_{11}$ ) AND ( $x_2 = A_{12}$ ) THEN ( $z_1 = p_{10} + p_{11}x_1 + p_{12}x_2$ )

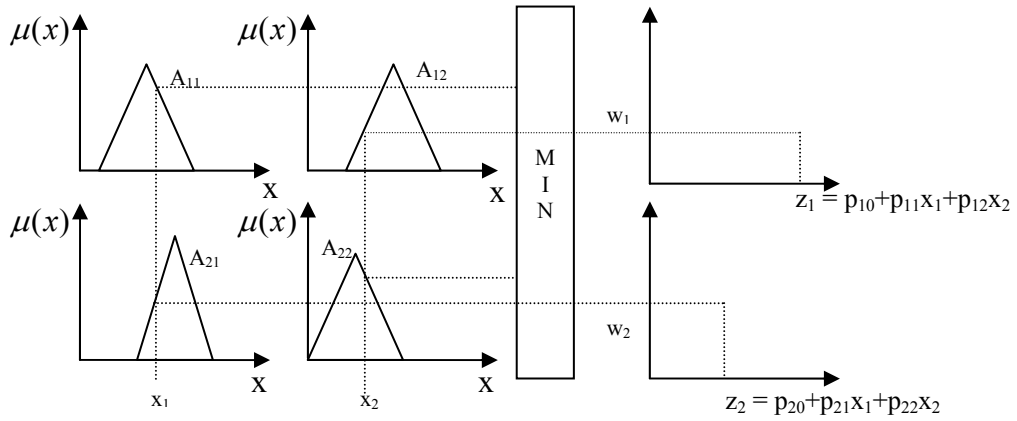
IF ( $x_1 = A_{21}$ ) AND ( $x_2 = A_{22}$ ) THEN ( $z_2 = p_{20} + p_{21}x_1 + p_{22}x_2$ )

veya

IF ( $x_1 = A_{11}$ ) AND ( $x_2 = A_{12}$ ) THEN ( $z_1 = c_1$ )

IF ( $x_1 = A_{21}$ ) AND ( $x_2 = A_{22}$ ) THEN ( $z_2 = c_2$ )

şeklinindedir. TSK çıkarım yönteminin gösterimi Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26. TSK çıkarım yönteminin gösterimi (DUALIBE ve ark., 2003)

Burada bir veya birden çok girdi değişkeni tek bir çıktı değişkeni ( $z_i$ ) vardır. Çıktı değişkeni olan  $z_i$ ,  $x_1$  ve  $x_2$  girdi değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu olabildiği gibi sabit ( $c_i$ ) bir sayıda olabilir. Çıktı değişkeni doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlandığında,  $p_{i0}$ ,  $p_{i1}$  ve  $p_{i2}$  bu fonksiyonun parametreleridir. (EKLUND ve ark., 2000; RANKOVIC ve NIKOLIC, 2003; POPOOLA, 2004). Bu parametreler her kural için farklı değerlere sahiptir. Parametre değerleri hesaplanırken başlangıçta girdi değişkenlerinin ilk değerleri için rasgele değerler atanır. Bu ilk parametre değerlerinin hiçbir önemi yoktur. İstenirse bu değerler olay hakkında hiçbir bilgisi ve tecrübesi olmayan bir kişi tarafından da rasgele belirlenebilir. Bu başlangıç pi tahminleri kullanılarak girdi değişkenlerine ait ( $x_1$  ve  $x_2$ ) tüm değerler için çıktı değişkeninin ( $z_i$ ) değerleri tahmin edilir. Bu değerler ve her bir kural için tespit edilen eşik değerleri kullanılarak;

$$\text{Sonuç değeri} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (3.39.)$$

yardımıyla bir sonuç değerine ulaşılır (DUALIBE ve ark., 2003). Bu değere tahmin değeri de denir.

Çıktı değişkenine ait elde edilen tahmin değerleri ile önceden bilinen gözlem değerleri arasındaki farklar hata olarak kabul edilir. Tahmin edilen değerler, gözlem değerlerine ne kadar yakın olursa, hata o kadar küçük olacak demektir. Hata değeri istenilen sınırlar içerisinde olmadığında  $p_{i0}$ ,  $p_{i1}$  ve  $p_{i2}$  parametreleri değiştirilerek sonuç değerleri yeniden hesaplanır. Nihai  $p_i$  değerleri bağıl hata değerinin %5 veya %10' un altında olmasını sağlayan değerdir. Bağıl hata,

$$H_i = \frac{|b_i - \varphi_i|}{b_i} \times 100 \quad (3.40.)$$

yardımıyla hesaplanır. Burada,  $b_i$ ;  $i$  inci gözlenen sonuç değeridir.  $\varphi_i$ ;  $i$  inci tahmin edilen sonuç değeridir. Bağıl hata istenilen sınırlara indiğinde girdi değişkenlerinin ilk değerleri için parametreler sabitlenmiş olur. Girdi değişkenlerinin ikinci değerleri için sonuç değeri hesaplama işlemleri bu parametre değerleri ile başlar ve ikinci değerler içinde bağıl hata değeri istenen sınırlar içerisinde kalırsa girdi değişkenlerinin üçüncü değerlerine geçilir. Bağıl hata burada istenilen sınırların dışına çıkarsa parametrelere atanan ilk değerler değiştirilir ve tüm işlemler girdi değişkenlerinin ilk değerlerinden başlanarak tekrar yapılır. Bu işleme girdi değişkenlerine ait tüm değerler için bağıl hatayı istenen sınırlar içerisinde yapacak parametre değerleri elde edilinceye kadar devam edilir ve sonra parametreler sabitlenir. Diğer bir ifade ile  $p_i$  parametreleri hata değerlerinin istenen sınırlar içerisinde olmasını sağlayacak şekilde herhangi bir başlangıç değerinden başlanarak iterasyon yapılarak elde edilir.

Çıktı değişkeni ( $z_i$ ) sabit bir değer ( $c_i$ ) olarak tanımlandığında. Değerler araştırmacının verilerinde yer alan gözlenen sonuç değerleridir. Modelin başarısı, çıktı değişkeninin doğrusal fonksiyon olarak tanımlandığı modelin değerlendirilmesinde olduğu gibi Eşitlik 3.40. yardımıyla hesaplanan bağıl hata değeri ile kontrol edilir.

Çıktı değişkeninin her iki şekli ile oluşturulan modellerin performanslarını değerlendirmek için bağıl hatanın yanında, gözlem değerleri ile tahmin değerleri

arasındaki ilişkinin bir göstergesi olan  $R^2$  değeri de kullanılır. Bu değer 1'e yaklaştıkça modelin başarısı artmaktadır (KLUN ve VIRANT, 1999; ÇAM ve ark., 2005). Bazı durumlarda modellere ait  $R^2$  değeri 1'e çok yakın çıkarken bağıl hata değerlerinden bazıları %5 ve %10 bağıl hata sınırlarının dışına çıkabilmektedir. Bu durumda tüm bağıl hataların aritmetik ortalamasına bakılır. Ortalama bağıl hata değeri % 5 ve % 10' un altında kalırsa model başarılı kabul edilir (ŞEN, 2004a)

Tüm bu işlemlerin elle yapılması imkânsız denecek düzeyde zordur. Bu nedenle bu işlemlerin hem daha kısa sürede, hem de daha doğru olarak yapılması için MATLAB programı içerisinde yer alan ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) editör kullanılmaktadır. ANFIS'in temelini yapay sinir ağları oluşturmaktadır. ANFIS parametrelerin tahmininde Yapay Sinir Ağlarını (YSA) kullanmaktadır. Öğretmenli eğitim olarak adlandırılan eğitim modelini kullanan ANFIS en iyi tahmin yapan parametre değerlerini elde edene kadar parametrelere farklı değerler vermektedir.

### **Tsukamoto Yöntemi**

Bu yöntem TSK yönteminin biraz değiştirilmesi ile elde edilmiştir. TSK yönteminden farkı, her bulanık kuralın çıktısı değeri ( $z_i$ ), eşik değerinin sistem içerisinde tanımlanan bir monotonik üyelik fonksiyonunu kestiği noktadaki değerdir (Şekil 3.27.). Bu durumda bu yöntemde çıktı değeri monotonik üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilen bir bulanık küme elemanı olur (EKLUND ve ark., 2000; BAYKAL ve BEYAN, 2004; LEE, 2006).

Monotonik fonksiyon

$\forall x_1, x_2 \in A$  için;

$x_1 < x_2$  için  $f(x_1) < f(x_2)$  (Artan fonksiyon)

$x_1 < x_2$  için  $f(x_1) \leq f(x_2)$  (Azalmayan fonksiyon)

$x_1 < x_2$  için  $f(x_1) > f(x_2)$  (Azalan fonksiyon)

$x_1 < x_2$  için  $f(x_1) \geq f(x_2)$  (Artmayan fonksiyon)

koşullarından birisini sağlayan fonksiyona denir (BAYKAL ve BEYAN, 2004).

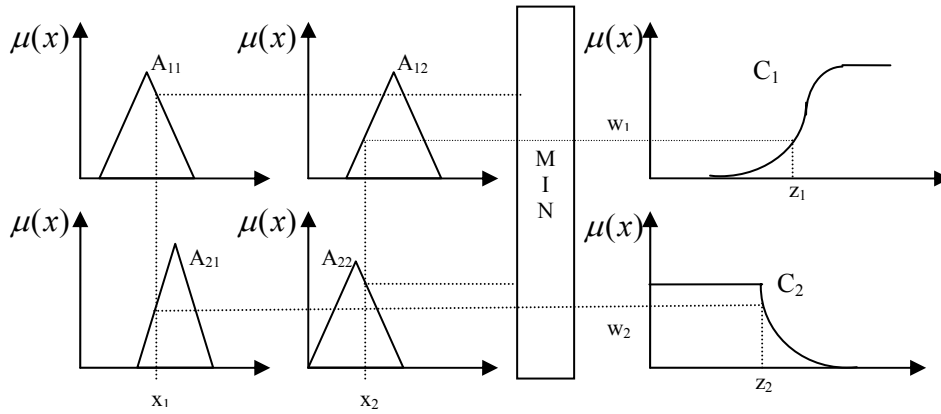
Tsukamoto yöntemine ait IF-THEN kural yapısı;

IF ( $x_1 = A_{11}$ ) AND ( $x_2 = A_{12}$ ) THEN (çıktı= $C_1$ )

IF ( $x_1 = A_{21}$ ) AND ( $x_2 = A_{22}$ ) THEN (çıktı= $C_2$ )

şeklindedir.





Şekil 3.27. Tsukamoto çıkarım yönteminin gösterimi (JANG, 1993; ROSS, 2005)

Bu yöntemde sonuç değeri TSK yönteminde olduğu gibi kesin bir değerdir. Her kuraldan elde edilen çıktı değerleri kullanılarak ve Eşitlik 3.39 yardımıyla sonuç değeri hesaplanır. Bu nedenle TSK yönteminde olduğu gibi Tsukamoto yönteminde de durulaştırma işlemine gerek yoktur.

Tsukamoto yöntemi diğer çıkarım yöntemlerine nazaran daha kullanışsız bir yöntemdir (ROSS, 2005). Kullanımının zorluğu ve MATLAB gibi bulanık mantık uygulamaları yapabilen bilgisayar programları tarafından desteklenmediği için de çok fazla kullanılmamaktadır.

### 3.2.3.3. Durulaştırma

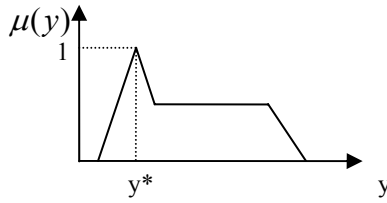
Bulanık model oluşturmanın son aşaması durulaştırmadır. Bu aşamaya çıkarım aşamasında sonuç değerlerinin bulanık bir küme olarak elde edilen Mamdani ve Larsen çıkarım yöntemleri kullanılırsa ihtiyaç duyulur. Sonuç değerini kesin değer olarak veren TSK ve Tsukamoto çıkarım yöntemleri kullanıldığında durulaştırma aşamasına gerek yoktur. Durulaştırma, bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir (KLUN ve VIRANT, 1999; ŞEN, 2004a; 2004b). Pratik uygulamalarda çoğu zaman kesin sayılara gerek duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilebilmesi için kullanılan çok sayıda durulaştırma yöntemi vardır. Bunlardan en çok kullanılanları, en büyük üyelik ilkesi, sentroid yöntemi, ortalama en büyük üyelik, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyüklerin en küçüğü ve en büyüklerin en büyüğü yöntemleridir ( BAYKAL ve BEYAN, 2004; ŞEN, 2004a; PATEL, 2005).

### En Büyük Üyelik İlkesi

Bu yöntemin diğer bir adı yükseklik yöntemidir. Yöntemin kullanılabilmesi için çıkarım aşamasında elde edilen bulanık birleşim kümesinin tepe noktasının olması gerekir. Durulaştırılmış değer bulanık birleşim kümesinde en yüksek üyelik derecesine sahip değere eşittir. Şekil 3.28’de gösterilen bu durulaştırma yönteminin aritmetik notasyon ile gösterimi,

$$\mu_B(y^*) \geq \mu_B(y_i) \quad \forall y \in B \quad (3.41.)$$

şeklindedir (ŞEN, 2004a). Burada B; Mamdani ve Larsen çıkarım metotlarında birleştirme aşamasında elde edilen bulanık birleşim kümesidir.  $y_i$ ; bulanık birleşim kümesinin  $i$ ' inci ögesidir.  $y^*$ ; durulaştırılmış değer olup, bu küme içerisinde en büyük üyelik derecesine sahip olan elemandır.



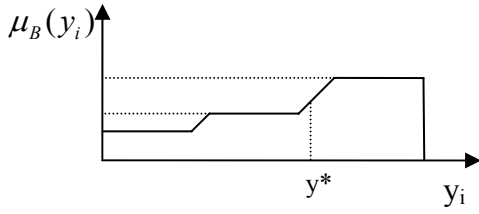
Şekil 3.28. En büyük üyelik derecesi durulaştırması

### Sentroid Yöntemi

Durulaştırma yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntemdir. Ağırlık merkezi yöntemi de denir. Bu yöntemde  $y^*$  durulaştırılmış değeri,

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i)} \quad (3.42.)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır (POPOOLA, 2004; LEE, 2006). Bu durumda  $y^*$  çıkarım işleminin son aşaması olan birleştirme aşamasında elde edilen bulanık kümenin ağırlık merkezi olarak kabul edilebilir.



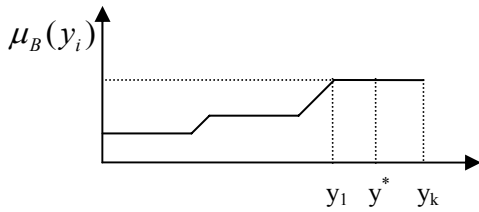
Şekil 3.29. Sentroid yöntemi ile durulaştırma

### Ortalama En Büyük Üyelik (Mean of Max. MOM)

Bulanık birleşim kümesi içerisinde birden çok en büyük üyeliğe sahip eleman olduğunda, birinci durulaştırma yöntemi olan en büyük üyelik ilkesi yöntemi geçerliliğini kaybetmektedir. Bu sorunu çözmek için ortalama en büyük üyelik veya diğer bir adıyla en büyüklerin ortası,

$$y^* = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_k}{k} \quad (3.43.)$$

formülü ile durulaştırılmış değer olarak alınır. (CORDON ve ark., 2004; ŞEN, 2004a).



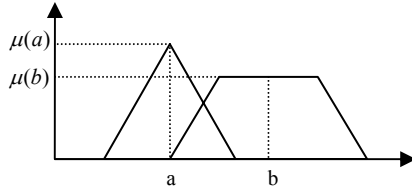
Şekil 3.30. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması

### Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bu yöntem bulanık birleşim kümesinin Şekil 3.31’de olduğu gibi simetrik bir üyelik fonksiyonu ile temsil edildiği durumlarda kullanılır. Bu durumda durulaştırılmış değer  $y^*$ ;

$$y^* = \frac{a \cdot \mu(a) + b \cdot \mu(b)}{\mu(a) + \mu(b)} \quad (3.44.)$$

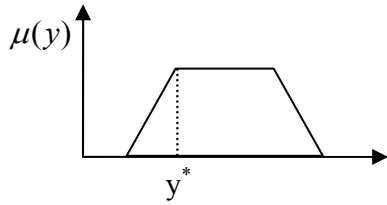
yardımıyla hesaplanır ve bulanık birleşim kümesinin ağırlıklı ortalamasını ifade eder. Burada, a ve b çıktı değişkenini temsil eden üyelik fonksiyonlarının merkezini gösterir. (POPOOLA, 2004; ŞEN, 2004a).



Şekil 3.31. Ağırlıklı ortalama yöntemi

### En Büyüklerin En Küçüğü (Smallest of Max. SOM)

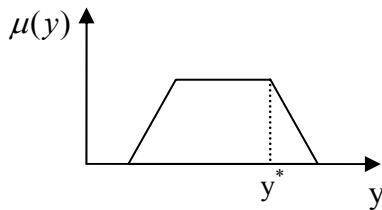
Bu durulaştırma yönteminde tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık birleşim kümesinde en büyük üyelik derecesine sahip küme elemanları içerisinde en küçük değere sahip eleman durulaştırılmış değer olarak kabul edilir (Şekil 3.32.) (BAYKAL ve BEYAN, 2004; ŞEN, 2004a, ANONYMOUS, 2005).



Şekil 3.32. En büyüklerin en küçüğü yöntemi

### En Büyüklerin En Büyüğü (Largest of Max. LOM)

En büyüklerin en küçüğü metodunun tam tersine en büyük üyelik derecesine sahip elemanlardan en büyük değere sahip olan eleman durulaştırılmış değer olarak kabul edilir.(Şekil 3.33.) (BAYKAL ve BEYAN, 2004; ŞEN, 2004a, ANONYMOUS, 2005).



Şekil 3.33. En büyüklerin en büyüğü yöntemi

Durulaştırma yöntemlerinin tamamında hesaplanan durulaştırılmış değer ( $y^*$ ) karar destek sistemlerinde tanımlanan sonuç değişkenine ait sınıflardan hangisine düştüğüne bakılarak nihai karar verilir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında yöntem kısmında açıklanan işlemler konunun tarımsal alanda uygulanabilirliğini göstermek ve yöntemleri karşılaştırmalı olarak irdelemek amacıyla 3 farklı veri grubu üzerinde uygulanmıştır. Bu uygulamalarda izlenen yolun ve kullanılan yöntemlerin daha iyi anlaşılması için 3 uygulamanın elle çözümleri yapılmış ve ekler kısmında verilmiştir.

##### 4.1. Balların Kaliteleri ile İlgili Verilerin Analiz Sonuçları

Materyal kısmında açıklanan ve EK 2’de verilen veriler kullanılarak CODEX bal kalite standartları (Çizelge 4.1.) yardımıyla çiçek ballarının Yüksek kaliteli, Orta kaliteli ve Düşük kaliteli olmak üzere 3 kalite sınıfına ayrılmasını amaçlayan bir KDS geliştirilmiştir.

Çizelge 4.1. CODEX bal kalite standart değerleri (ANONYMOUS, 2001)

Asitlik (Meq kg <sup>-1</sup> )	Nem (%)	HMF (mg kg <sup>-1</sup> )	Diastase	Mineral madde (%)	Sakaroz (%)	İnvert şeker (%)
≤ 50	≤ 21	≤ 80	≥ 8	≤ 0.6	≤ 5	≥ 65

CODEX bal kalite standartlarına göre balın kalitesini etkileyen 7 temel özellik vardır. Bu özellikler Asitlik, Nem, HMF, Diastase, Mineral Madde, Sakaroz ve İnvert şeker içeriğidir. Araştırmacılar balın kalite sınıflarına ayrılmasında kullanmak amacıyla bir KDS’i geliştirirken Çizelge 4.1.’de verilen 7 özelliğin tamamının girdi değişkeni olarak kullanabilirler. Yöntem kısmında da bahsedildiği gibi bu şekilde fazla sayıda değişken kullanıldığında çok sayıda IF-THEN kuralı yazılması gerekmektedir. Kural sayısının artması, kuralların yazımının çok zaman alacağı ve çalışmanın hassasiyetini düşürebileceği düşüncesiyle istenilmez. Bu durumda değişken sayısını azaltmak için Faktör analizi ve PCA kullanılabilir. Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı bu çalışmada sadece 3 değişken kullanılarak bir KDS’i geliştirilmiştir. Bu değişkenlerden ikisi uluslar arası bal ticaretinde balın kalitesini kontrol etmek için kullanılan iki temel özellik olan Diastase ve HMF dir (WHITE, 1994; RAMINEZ SERVANTES et al., 2000). Üçüncü değişken ise balın nem içeriğidir. Uzmanlardan edinilen bilgilere göre balın nem içeriğinin yüksek olması balın fermantasyona, dolayısıyla ekşimesine neden olmaktadır.

KDS'i oluşturulurken değişken sayısı belirlendikten sonra bu değişkenlerin sınıf sayıları ve bu sınıfların sınırları belirlenmelidir. Çizelge 4.1.'de verilen CODEX bal standartları incelendiğinde her özelliğın klasik mantığa göre iki sınıfa ayrıldığı gözlenmektedir. Bu şekilde yapılan sınıflandırma gerçeği çok yansıtmamaktadır. Örneğın bu sınıflandırmaya göre Asitlik değeri 50 Meq kg<sup>-1</sup>'den küçük olan ballar kaliteli bal, büyük olanlar kalitesiz bal olarak ayrılmaktadır. Bunun sonucunda 49 Meq kg<sup>-1</sup> asitlik değerine sahip bal ile 20 Meq kg<sup>-1</sup> veya daha küçük asitlik değerine sahip bal örnekleri aynı sınıfta yer almaktadır. Fakat 51 Meq kg<sup>-1</sup> asitlik değerine sahip olan bal örneği ile 49 Meq kg<sup>-1</sup> asitlik değerine sahip bal örneği arasında 2 Meq kg<sup>-1</sup> fark olmasına karşın biri kaliteli diğeri kalitesiz bal sınıfına düşmektedir. Bu yapısal problemi çözmek için CODEX kalite sınırlarını esneterek her değişken ikiden fazla sınıfa (Düşük kaliteli, Orta kaliteli ve Yüksek kaliteli vb.) ayrılabilir. Bu durumda daha esnek bir sınıflandırma yapılmış olur ve gerçeğe daha yakın ifadeler kullanılabilir. Fakat burada da sınıf sınırlarının Çizelge 4.2'deki gibi olduğu varsayıldığından bir elemanın aynı anda iki farklı sınıfın elemanı olma şansı yoktur. Yukarıda örnekle açıklanan yapısal problem bu sınıflandırma şeklinde de gözlenmektedir. Nem içeriği % 16 ve % 2 olan iki bal yüksek kaliteli sınıfta yer alırken % 17 nem içeriğine sahip bir bal orta kaliteli sınıfına ayrılmaktadır.

Çizelge 4.2. Girdi değişkenlerine ait kesin sınıf sınırları

Sınıflar	Nem (%)	HMF (mg kg <sup>-1</sup> )	Diastase
Düşük	$x > 25$	$x > 100$	$x < 4$
Orta	$17 \leq x \leq 25$	$60 \leq x \leq 100$	$4 < x \leq 8$
Yüksek	$x < 17$	$x < 60$	$x > 8$

Sınıflar şu şekilde de oluşturulabilir, sınıf sınırlarının Çizelge 4.3'de belirtildiği gibi olduğu varsayılarak sınıfların Şekil 4.1.'de olduğu gibi belirli oranlarda birbiri içerisine girmesine izin verilir. Bu sınıflandırma şeklinde yukarıda verilen yapısal problem ortadan kalkmış olur. Bu nedenle bu çalışmada oluşturulan KDS'inde sınıf sınırları bu şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Girdi değişkenlerine ait sınıf sınırları

Sınıflar	Nem (%)	HMF (mg kg <sup>-1</sup> )	Diastase
Düşük	$x > 21$	$x > 80$	$x \leq 6$
Orta	$17 \leq x \leq 25$	$60 \leq x \leq 100$	$4 \leq x \leq 8$
Yüksek	$x \leq 21$	$x \leq 80$	$x > 6$

Modele giren her üç girdi değişkeni ve çıktı değişkeni için bulanıklaştırma aşamasında değişik üyelik fonksiyonları, çıkarım aşamasında Mamdani çıkarım yöntemi ve durulaştırma aşamasında farklı yöntemler kullanılarak çok sayıda KDS'i oluşturulmuştur. Bu KDS lerinin doğru karar verip vermediğini belirlemek için yöntem kısmında ifade edildiği gibi elde edilen sonuçlar balın kimyasal yapısı ve kalitesi üzerine çalışmış uzman bir kişinin vermiş olduğu kararlar ile karşılaştırılmıştır. Farklı üyelik fonksiyonları ve farklı durulaştırma yöntemleri kullanılarak oluşturulan KDS lerinin vermiş olduğu kararlar ile uzmanın vermiş olduğu kararlar arasındaki benzerlikler % olarak Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

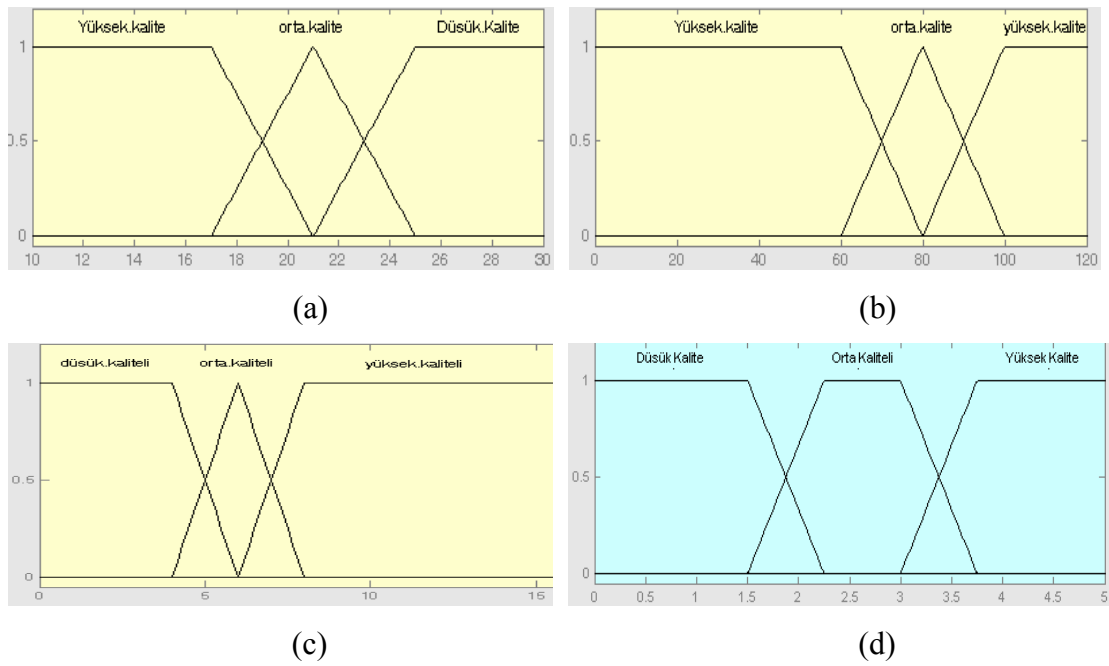
Çizelge 4.4. KDS leri ile uzmanın vermiş olduğu kararlar arasındaki benzerlik değerleri (%)

Nem (%)	HMF (mg kg <sup>-1</sup> )	Diastase	DURULAŞTIRMA YÖNTEMLERİ			
			Sentroid	SOM	LOM	MOM
Üçgen	Üçgen	Üçgen	% 91.42	% 77.14	% 71.42	% 91.42
Yamuk+Üçgen	Yamuk+Üçgen	Yamuk+Üçgen	<b>% 94.28</b>	% 82.85	% 80.00	% 82.85
Sigmoidal	Sigmoidal	Sigmoidal	% 28.57	% 40.00	% 51.42	% 54.28
Gauss	Gauss	Gauss	% 80.00	% 62.85	% 74.28	% 91.42
Yamuk	Yamuk	Yamuk	% 91.42	% 91.42	% 82.85	% 91.42
S	S	S	% 28.57	%42.85	% 34.28	% 48.57

Çizelge 4.4. incelendiğinde uzmanın vermiş olduğu kararlara en yakın kararları, girdi değişkenleri için yamuk ve üçgen üyelik fonksiyonlarının birlikte kullanıldığı ve durulaştırma aşamasında da sentroid yönteminin kullanıldığı KDS'nin verdiği görülmektedir. Oluşturulan KDS leri içerisinde en kötü sonuçları (% 28.57) ise Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarının sentroid durulaştırma yöntemi ile birlikte kullanıldığı KDS leri vermiştir. Aynı IF-THEN kuralları ve aynı durulaştırma yöntemleri kullanılmasına karşın en iyi sonucu veren KDS ile aralarında % 65.71 gibi yüksek bir fark çıkmış olması, bulanık model oluşturma sürecinde üyelik fonksiyonu

seçiminin dolayısıyla bulanıklaştırma aşamasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonları yapı olarak birbirine benzer fonksiyonlardır. Her iki üyelik fonksiyonunun da ucu açıktır. Belli bir noktadan sonra fonksiyonlar birbirinin içerisine girmekte ve üyelik dereceleri sabitlenmektedir. Bu özelliklerinden dolayı KDS leri ve bulanık modellemelerde diğer üyelik fonksiyonlarına oranla çok fazla kullanım alanı bulamamıştır.

Uzmanın vermiş olduğu kararlara en yakın kararı veren KDS'inde yer alan değişkenlere ait üyelik fonksiyonları Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. KDS de kullanılan değişkenlere ait üyelik fonksiyonları. (a) Nem içeriği, (b) HMF, (c) diastase ve (d) Kalite değişkeni

Bu bilgiler doğrultusunda Mamdani çıkarım metoduna uygun olarak 27 adet IF-THEN kuralının yazıldığı bu çalışmada, kuralların tamamı bulanık kural tablosunda (Çizelge 4.5.) verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bulanık kural tablosu

Nem	Yüksek			Orta			Düşük			
	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	
Diastase	Yüksek	Q <sub>1.2</sub>	Q <sub>1.5</sub>	Q <sub>2.14</sub>	Q <sub>1.3</sub>	Q <sub>2.10</sub>	Q <sub>2.15</sub>	Q <sub>1.4</sub>	Q <sub>2.11</sub>	Q <sub>3.7</sub>
	Orta	Q <sub>1.1</sub>	Q <sub>2.7</sub>	Q <sub>2.12</sub>	Q <sub>2.3</sub>	Q <sub>2.8</sub>	Q <sub>2.13</sub>	Q <sub>2.4</sub>	Q <sub>2.9</sub>	Q <sub>3.6</sub>
	Düşük	Q <sub>2.1</sub>	Q <sub>2.5</sub>	Q <sub>3.3</sub>	Q <sub>2.2</sub>	Q <sub>2.6</sub>	Q <sub>3.4</sub>	Q <sub>3.1</sub>	Q <sub>3.2</sub>	Q <sub>3.5</sub>



Bu tabloda Q kalite sınıfını göstermektedir. Bu değişkene ait birinci indis hangi kalite sınıfına ait olduğunu göstermektedir. Bu indisin 3 değeri vardır. Bunlardan 1: Balın yüksek kaliteli olduğunu, 2: Balın orta kaliteli olduğunu, 3. Balın düşük kaliteli olduğunu göstermektedir. İkinci indis ise bu kalite sınıfının kaçınıcı IF-THEN kuralı olduğunu göstermektedir. Örneğin  $Q_{1.3}$ ; yüksek kaliteli sınıfının 3 üncü kuralı iken,  $Q_{3.1}$ ; düşük kaliteli sınıfının 1 inci kuralıdır.

Bu kurallardan bazılarının açık şekilde yazılışı,

IF Nem=Yüksek AND HMF=Yüksek AND Diastase=düşük THEN kalite=Orta kaliteli ( $Q_{2.1}$ )

IF Nem =Yüksek AND HMF =Yüksek AND Diastase =yüksek THEN kalite=Yüksek kaliteli ( $Q_{1.2}$ )

IF Nem =Düşük AND HMF = Düşük AND Diastase =orta THEN kalite=Düşük kaliteli ( $Q_{3.6}$ )

şeklindedir.

Şekil 4.1’de tanımlanan üyelik fonksiyonları ve Çizelge 4.5’de verilen IF-THEN kurallarını kullanan KDS nin 35 bal örneği için vermiş olduğu kararlar ve uzmanın vermiş olduğu kararlar Çizelge 4.6’da özetlenmiştir. Uzmanın yapmış olduğu sınıflandırma ile % 94.28 lik benzerlik gösteren bu sınıflandırmada 2 adet bal örneği (Örnek 2 ve 8) uzmanın görüşünden farklı sınıfa düşmüştür. Bu benzerlik oranı KDS nin güvenilir bir şekilde sınıflandırma yaptığını göstermektedir.

Çizelge 4.6. Bal örneklerine ait biyokimyasal değerler, uzman ve KDS vermiş olduğu kararlar

Örnek	Diastase	HMF	Nem	Karar	
				KDS	Uzman
1	6.00	75	24	Orta	Orta
<b>2</b>	<b>6.00</b>	<b>4.00</b>	<b>24.00</b>	<b>Orta</b>	<b>Düşük</b>
3	8.00	4.22	17.00	Yüksek	Yüksek
4	12.00	10.0	16.00	Yüksek	Yüksek
5	16.00	12.0	23.00	Orta	Orta
6	20.0	14.0	28.00	Orta	Orta
7	24.0	16.0	24.00	Orta	Orta
<b>8</b>	<b>30.0</b>	<b>18.0</b>	<b>22.56</b>	<b>Yüksek</b>	<b>Orta</b>
9	3.77	20.0	26.20	Düşük	Düşük
10	4.50	25.0	25.00	Düşük	Düşük
11	6.80	30.0	27.00	Düşük	Düşük
12	8.90	65.0	21.00	Orta	Orta
13	10.0	60.0	26.50	Düşük	Düşük
14	12.0	80.0	22.00	Orta	Orta
15	4.00	90.0	28.00	Düşük	Düşük
16	4.00	85.0	25.00	Düşük	Düşük
17	10.0	8.00	17.00	Yüksek	Yüksek
18	6.00	30.0	22.00	Orta	Orta
19	4.00	85.0	27.00	Düşük	Düşük
20	29.4	2.17	18.40	Yüksek	Yüksek
21	17.9	2.17	17.81	Yüksek	Yüksek
22	23.4	2.17	18.00	Yüksek	Yüksek
23	29.4	4.99	17.10	Yüksek	Yüksek
24	28.4	4.60	17.30	Yüksek	Yüksek
25	28.6	6.72	17.22	Yüksek	Yüksek
26	25.4	5.44	17.20	Yüksek	Yüksek
27	23.0	4.60	18.70	Yüksek	Yüksek
28	27.0	3.07	18.40	Yüksek	Yüksek
29	24.0	6.14	18.47	Yüksek	Yüksek
30	10.9	1.92	17.09	Yüksek	Yüksek
31	2.00	66.0	26.00	Düşük	Düşük
32	4.50	68.0	28.00	Düşük	Düşük
33	3.60	76.0	26.50	Düşük	Düşük
34	5.31	90.0	27.00	Düşük	Düşük
35	2.60	86.0	28.00	Düşük	Düşük

#### 4.2. Balıkların Canlı Ağırlık Artışları ile İlgili Verilerin Analiz Sonuçları

Materyal kısmında açıklanan ve EK 3’de verilen balıkların canlı ağırlık artışları ile ilgili veriler bulanık mantık yaklaşımı ile TSK çıkarım yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Balıklara verilen yemin enerji içeriği ve balıkların canlı ağırlık artışlarının (CAA) ölçüldüğü periyotlar girdi değişkenleri olarak, canlı ağırlık artışları ise çıktı değişkeni olarak modele dahil edilmiştir. Bulanık modellemede üyelik fonksiyonlarının şeklinin ve yerinin uygun bir şekilde belirlenmesi oluşturulan modelin başarısı açısından oldukça önemlidir. Bu veri grubunda, üyelik fonksiyonlarının performanslarını karşılaştırmak için fonksiyonların yerleri sabit tutulup, sadece şekilleri değiştirilerek 7 adet bulanık model oluşturulmuştur. Bu çalışmada oluşturulan modellerin yapmış olduğu tahminlerin doğruluğunu tespit edebilmek için belirtme katsayıları ( $R^2$ ) ve Eşitlik 3.40 yardımıyla bağıl hatalar hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 4.7. ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı modellere ait üyelik fonksiyonu şekilleri ve belirtme katsayıları

	<b>Enerji</b>	<b>Periyot</b>	<b><math>R^2</math></b>
Model 1	S	S	0.573
Model 2	Sigmoidal	Sigmoidal	0.575
Model 3	Gauss	Gauss	0.977
Model 4	Gauss	Üçgen	0.987
Model 5	Üçgen	Üçgen	0.990
Model 6	Pi+Gauss	Pi+Gauss	0.990
Model 7	Pi	Pi	1.000

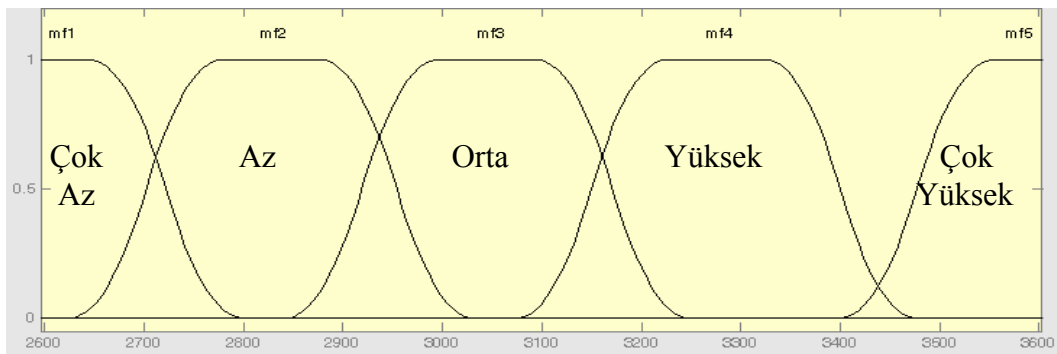
Çizelge 4.8. Gözlenen CAA, farklı modellerden tahmin edilen CAA ve bağıl hata değerleri (%)

Gözlenen CAA	Model 1 (S)		Model 2 (Sigmoidal)		Model 3 (Gauss)		Model 4 (Gauss+Üçgen)		Model 5 (Üçgen)		Model 6 (Pi+Gauss)		Model 7 (Pi)	
	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H)(%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H)(%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl Hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H)(%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H)(%)
10	10	0.00	10.2	2.00	10.3	3.00	9.79	2.10	10	0.00	10	0.00	10	0.00
16.4	13.2	19.51	13.5	17.68	16.6	1.22	16.1	1.83	16.4	0.00	16	2.44	16.4	0.00
24.5	17	30.61	17.3	29.39	25.8	5.31	25.3	3.27	24.5	0.00	24.5	0.00	24.5	0.00
28.5	19.9	30.18	20.1	29.47	30.8	8.07	30.7	7.72	28.5	0.00	28.5	0.00	28.5	0.00
34.9	22.9	34.38	23	34.10	34.6	0.86	34.6	0.86	34.9	0.00	34.6	0.86	34.9	0.00
30	24.1	19.67	24.1	19.67	29.9	0.33	29.6	1.33	30	0.00	30	0.00	30	0.00
7.6	8.8	15.79	8.98	18.16	8.49	11.71	7.68	1.05	7.6	0.00	7.71	1.45	7.6	0.00
12.6	11.7	7.14	12	4.76	14.2	12.70	12.9	2.38	12.9	2.38	12.4	1.59	12.6	0.00
33.7	17.5	48.07	17.7	47.48	31.2	7.42	32.5	3.56	33	2.08	33.3	1.19	33.7	0.00
54.2	23.4	56.83	23.4	56.83	46.1	14.94	50.6	6.64	52.3	3.51	53.1	2.03	54.2	0.00
31.1	25.3	18.65	25.3	18.65	32.7	5.14	32	2.89	31.4	0.96	30.9	0.64	31.1	0.00
25.4	25.7	1.18	25.7	1.18	27.5	8.27	26.4	3.94	25.7	1.18	25.6	0.79	25.4	0.00
6.6	8.07	22.27	8.25	25.00	7.4	12.12	6.7	1.52	6.77	2.58	6.6	0.00	6.6	0.00
12.2	10.9	10.66	11.2	8.20	13.3	9.02	12.2	0.00	12.3	0.82	11.9	2.46	12.2	0.00
28.8	16.9	41.32	17.1	40.63	28.2	2.08	28.6	0.69	29.6	2.78	28.8	0.00	28.8	0.00
38.5	22.8	40.78	22.7	41.04	37	3.90	39.6	2.86	41.1	6.75	38.5	0.00	38.5	0.00
37.2	25.1	32.53	25	32.80	34.6	6.99	35.1	5.65	36.2	2.69	36.9	0.81	37.2	0.00
31.7	25.8	18.61	25.7	18.93	29.8	5.99	29.9	5.68	30.6	3.47	31.7	0.00	31.7	0.00
6.5	7.68	18.15	7.84	20.62	7.13	9.69	6.56	0.92	6.52	0.31	6.52	0.31	6.5	0.00
11.2	10.4	7.14	10.6	5.36	12.1	8.04	11.3	0.89	11.4	1.79	10.9	2.68	11.2	0.00
19.8	15.8	20.20	16	19.19	21.1	6.57	20.6	4.04	21.6	9.09	19.8	0.00	19.8	0.00
31.9	21.4	32.92	21.4	32.92	31.2	2.19	32.4	1.57	33.2	4.08	31.9	0.00	31.9	0.00
19	23.3	22.63	23.2	22.11	22.3	17.37	20.7	8.95	22.6	18.95	18.9	0.53	19	0.00
16.6	23.7	42.77	23.7	42.77	19	14.46	17.9	7.83	19.6	18.07	16.6	0.00	16.6	0.00
12.4	8.62	30.48	8.76	29.35	12.4	0.00	12.4	0.00	12.4	0.00	12.4	0.00	12.4	0.00

Çizelge 4.8. (Devam) Gözlenen CAA, farklı modellerden tahmin edilen CAA ve bağıl hata değerleri (%)

Gözlenen CAA	Model 1 (S)		Model 2 (Sigmoidal)		Model 3 (Gauss)		Model 4 (Gauss+Üçgen)		Model 5 (Üçgen)		Model 6 (Pi+Gauss)		Model 7 (Pi)	
	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)	Tahmin Edilen CAA(g)	Bağıl hata (H) (%)
13.7	10.9	20.44	11.1	18.98	13.7	0.00	13.7	0.00	13.7	0.00	13.6	0.73	13.7	0.00
15.3	15.4	0.65	15.5	1.31	15.8	3.27	15.3	0.00	15.3	0.00	15.3	0.00	15.3	0.00
23,9	20,4	14,64	20,4	14,64	23,8	0,42	20	16,32	23,9	0,00	23,9	0,00	23,9	0,00
30.4	22.4	26.32	22.4	26.32	29.9	1.64	30.3	0.33	30.4	0.00	29.4	3.29	30.4	0.00
13	22.6	73.85	22.6	73.85	14.1	8.46	13	0.00	13	0.00	13	0.00	13	0.00
Ortalama		25.28		25.11		6.37		3.16		2.72		0.73		0.00

Oluşturulan modeller içerisinde en kötü tahmini S ve Sigmoidal üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı Model 1 ve Model 2 yapmıştır. Her iki modele ait Çizelge 4.7’de verilen  $R^2$  ve Çizelge 4.8’de verilen bağıl hatalar incelendiğinde,  $R^2$  değerlerinin oldukça düşük ve bağıl hataların yöntem kısmında ifade edilen kabul edilebilir sınırların çok üzerinde olduğu görülmektedir. Her iki girdi değişkeni için gauss üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı Model 3’e ait  $R^2$  değeri (0.97) oldukça yüksek çıkmıştır. Fakat bu modele ait bağıl hatalar incelendiğinde % 5 ve % 10 hata sınırlarının üstünde değerler olduğu görülmektedir. Bu durumda yöntem kısmında ifade edildiği gibi ortalama bağıl hata değerlerine bakılmaktadır. Model 3’e ait ortalama bağıl hata değeri % 6.37 bulunmuştur. Bu değer kabul edilebilir bir değerdir. Model 3’de olduğu gibi Model 5’e ait  $R^2$  değeri de (0.99) oldukça yüksek çıkmasına karşın Çizelge 4.8’de verilen bağıl hata değerlerinden bazılarının kabul edilebilir sınırların dışına çıktığı gözlemlenmektedir. Bu modele ait ortalama bağıl hata değeri de (% 2.72) yöntem kısmında verilen kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğundan geçerli olup, kullanılmasında bir sakınca olmadığı anlaşılmaktadır. Oluşturulan tüm modeller içerisinde gerek  $R^2$  ve gerekse bağıl hata değerleri bakımından en iyi sonucu her iki girdi değişkeni için pi üyelik fonksiyonunun kullanıldığı Model 7 vermiştir. Bu modelde enerji değişkenine ait üyelik fonksiyonları 2600 SE/kg ile 3600 SE/kg arasında, çok az, az, orta, yüksek ve çok yüksek enerji düzeyi olmak üzere 5 alt bulanık kümeye ayrılmıştır. Tüm alt kümeler pi üyelik fonksiyonu kullanılarak Şekil 4.2’deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.2. Enerji değişkenine ait üyelik fonksiyonları

Periyot değişkeni ise 1 ay ile 6 ay arasında çok erken, erken, biraz erken, orta, geç ve çok geç olmak üzere 6 alt bulanık kümeye ayrılmıştır (Şekil 4.3.). Tüm alt



Uygulamada tahmin yapmak amacıyla bir model oluşturmak için kullanılan istatistik tekniklerinin başında regresyon analizi gelmektedir. Regresyon analizi kullanarak oluşturulan modelin geçerliliği, seçilen modelin uygunluğuna ve kullanılan teknik ile ilgili varsayımların tutmasına bağlıdır. Bulanık mantık yaklaşımında ise (otokorelasyon, varyansların homojenliği, normal dağılım, doğrusallık vb.) hiçbir varsayım yoktur (ŞEN, 2004a;b). Regresyon analizi tekniği ile matematiksel bir eşitlik olarak bir model oluşturulurken, bulanık mantık sürecinin tüm aşamaları bulanık modellemeyi oluşturur.

Bulanık mantık yaklaşımı istatistik veya olasılık yaklaşımlarından farklı olarak sözel ifadeleri de modelleyebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı birçok araştırmacı farklı mühendislik problemlerinin çözümü için bulanık mantığı kullanmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan modellemenin bir diğer avantajı regresyon analizinde modelin doğrusal, kübik, quadratic vb. olmasına karar vermekte zorluk çekilmektedir. Bulanık mantık her türlü veri seti için kullanılabilir. Örneğin balıkların fizyolojileri gereği belirli bir dönemden sonra canlı ağırlık artışları azalmaya başlamaktadır. Bu azalışı bulanık model oldukça iyi yakalamış ve bu dönemlerde % 100 doğru tahminler yapmıştır. Verinin ölçeği ne olursa olsun bulanık model doğru tahminler yapabilmektedir. Ayrıca girdi değişkenlerine ait ölçekte bulanık yaklaşım için önemli değildir. Örneğin tadılan peynir örneklerinin koku ve tat gibi özellikleri veya hayvanların vücut kondisyonlarına göre aldıkları puanlar gibi sınıflayıcı ya da sıralayıcı ölçekte elde edilen veriler kullanılarak da bulanık model oluşturulabilir.

Bu yaklaşımın en önemli dezavantajı ise sadece araştırmacının denemeye aldığı uygulama seviyeleri için tahmin yapabilmesidir. Örnek uygulamamızda enerji değişkeni için 2596 SE/kg ile 3603 SE/kg arasındaki enerji düzeyleri için tahmin yapabilmektedir. Regresyon analizinde olduğu gibi mevcut verilerin seyrini kullanarak geleceğe yönelik tahminde bulunamaz. Yani 3603 SE/kg dan fazla yada 2596 SE/kg dan az enerji içerikli yem verildiğinde canlı ağırlık artışının ne kadar olacağını bulanık model tahmin edememektedir. Bu nedenle çalışmayı yapacak kişi kullanacağı uygulamanın en küçük ve en büyük değerini belirlerken dikkatli olmalıdır. Değişim genişliğini mümkün olduğu kadar büyük tutmalıdır.



### 4.3. Hayvan Davranışları ile ilgili Verilerin Analiz Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında yapılan son uygulama hayvan davranışlarının modellenmesi ile ilgilidir. Hayvancılık alanında yapılan son çalışmalarda, hayvan davranışlarının incelendiği bilimsel araştırmaların sayısının hızla arttığı gözlenmektedir. Hayvan davranışları üzerine hayvanın sağlık durumu, yemiş olduğu yemin özelliği, cinsiyeti, yaşı, çevre sıcaklığı vb. çok sayıda faktör etki etmektedir. Bu nedenle davranış çalışmalarını kurmak ve yürütmek oldukça zor ve zaman alıcıdır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamasında da araştırmacılar istatistik testler kullanmak yerine elde ettikleri davranış verilerini tablo ve grafik haline getirip bunlar üzerinde yorum yapmaya çalışmaktadırlar. Özellikle davranış verilerinin modellenmesinde, verilerin istatistiki modelleme tekniklerinin gerektirdiği varsayımları sağlaması da güçlüklerle karşılaşmaktadır. Halbuki bulanık mantık teorisi ile modellemede hiçbir varsayım yoktur. Gerekli olan sadece bulanık çıkarım mekanizmalarını kullanarak girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasında mantık ilişkilerinin ortaya konulmasıdır. Burada materyal kısmında açıklanan ve EK 4’de verilen davranış verileri kullanılarak bir bulanık model oluşturulmuştur. Bu model yardımıyla farklı davranış sayılarına göre kuzuların CAA tahmin edilmiştir.

Çalışmada yorumların sözel olarak yapılabilmesi için önce girdi değişkenleri sözel alt bulanık kümeler şekline dönüştürülmüştür. Bu çalışmada lokomotif aktivite (ayakta durma, gezinme, oyun) ve dinlenme (yatma, uyuma) olmak üzere 2 girdi değişkeni sırasıyla “Az aktivite (AA), Normal aktivite (NA), Çok aktivite (ÇA), Az dinlenme (AD), Normal dinlenme (ND), Çok dinlenme (ÇD) olmak üzere 3 er alt bulanık kümeyle ayrılmıştır.

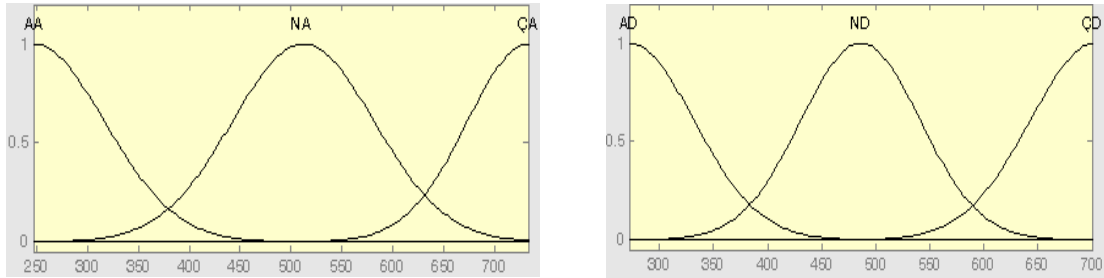
Bu girdi değişkenleri kullanılarak deneme sonunda kuzuların canlı ağırlık artışları (CAA) tahmin edilmiştir. TSK çıkarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, çıktı değişkeni girdi değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. ANFIS editör yardımıyla farklı üyelik fonksiyonları kullanarak modeller oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu modellerde kullanılan üyelik fonksiyonları, modellere ait  $R^2$  ve RMSE değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Yöntem kısmında ifade edildiği gibi ANFIS editörde çıktı değişkenine ait parametre değerleri hesaplanırken ANFIS tarafından hesaplanan ve ANFIS penceresinin sol alt köşesinde verilen RMSE değerinin 0.05 ve 0.01 hata sınırları altında olması gerekir.

Çizelge 4.9. Farklı modellere ait üyelik fonksiyonu şekilleri, belirtme katsayıları ve RMSE değerleri

Modeller	Lokomotif aktivite	Dinlenme	R <sup>2</sup>	RMSE
Model 1	Gauss	Gauss	1.00	0.025
Model 2	Pi	Pi	0.86	1.430
Model 3	Yamuk+Pi	Yamuk+Pi	0.82	1.610
Model 4	S	S	0.89	1.270
Model 5	Üçgen+Yamuk	Üçgen+Yamuk	0.77	1.880

Çizelge 4.9. incelendiğinde oluşturulan tüm modellerin R<sup>2</sup> değerleri yüksek çıkmasına rağmen sadece girdi değişkenleri için gauss üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı model 1'e ait RMSE değerinin kabul edilebilir hata limitlerinin altında bir değer aldığı gözlenmektedir. EK 1'de verilen Eşitlik 1. yardımıyla hesaplanan RMSE değeri model 1 için 0.025 olarak bulunmuştur. Diğer modellere ait RMSE değerleri kabul edilebilir hata sınırlarının dışına çıkmıştır. Bu nedenle bu modeller kullanılabilir değildir.

Model 1'de kullanılan girdi değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Lokomotif aktivite ve dinlenme değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları

Çalışmada toplam 3x3=9 IF-THEN kuralı ANFIS aracılığıyla otomatik olarak oluşturulmuştur. Bu kurallar.

IF ( $x_1 = AA$ ) AND ( $x_2 = AD$ ) THEN ( $z_1 = p_{10} + p_{11}x_1 + p_{12}x_2$ )

IF ( $x_1 = AA$ ) AND ( $x_2 = ND$ ) THEN ( $z_2 = p_{20} + p_{21}x_1 + p_{22}x_2$ )

IF ( $x_1 = AA$ ) AND ( $x_2 = ÇD$ ) THEN ( $z_3 = p_{30} + p_{31}x_1 + p_{32}x_2$ )

· · · ·  
· · · ·  
· · · ·

IF ( $x_1 = ÇA$ ) AND ( $x_2 = ÇD$ ) THEN ( $z_9 = p_{90} + p_{91}x_1 + p_{92}x_2$ )

şeklindedir.

Davranış verilerinin ANFIS aracılığıyla eğitilmesi sonucunda bulanık kuralların THEN kısmından sonraki çıktı değişkenine ait parametreler her bir kural için Çizelge 4.10’da ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 4.10. Bulanık kural parametre değerleri

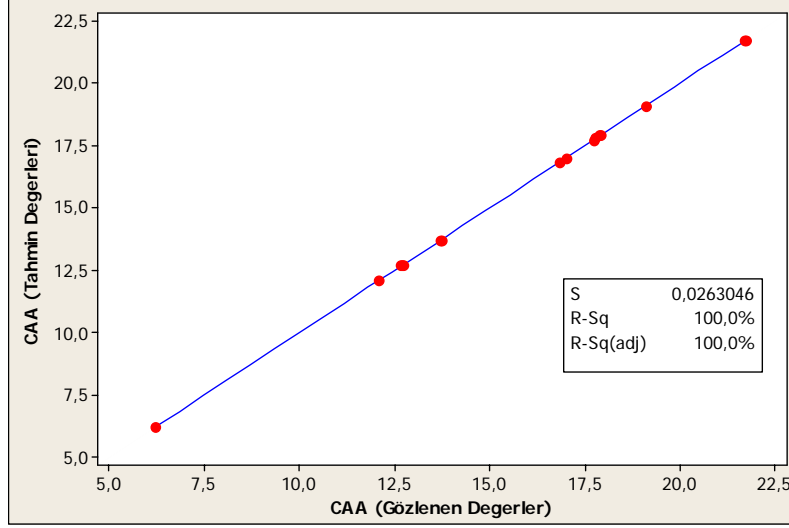
Kurallar	Lokomotif Aktivite	Dinlenme	$z_i$		
			$p_0$	$p_1$	$p_2$
1	Az Aktif	Az Dinlenme	1943	-1797	-4.339
2	Az Aktif	Normal Dinlenme	44.83	-23.64	-129
3	Az Aktif	Çok Dinlenme	61.47	4.276	-13.15
4	Normal Aktif	Az Dinlenme	-37.53	5160	-48.63
5	Normal Aktif	Normal Dinlenme	-56.94	-37.65	38.56
6	Normal Aktif	Çok Dinlenme	-1160	601	0.9889
7	Çok Aktif	Az Dinlenme	-1190	3306	10.08
8	Çok Aktif	Normal Dinlenme	1009	17.01	0.5865
9	Çok Aktif	Çok Dinlenme	2342	2143.4	4.124

Oluşturulan model aracılığıyla tahmin edilen CAA Çizelge 4.11’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde Eşitlik 3.40.yardımla hesaplanan bağıl hatalar % 1 in altında, ortalama bağıl hata % 0.03 gibi oldukça küçük bir değer çıkmıştır.

Çizelge 4.11. Davranış verileri ve bunlara ait tahmin değerleri

Hayvan	Lokomotif Aktivite	Dinlenme	Gözlenen CAA (kg)	Tahmin edilen CAA (kg)	Bağıl hata (%)
1	478	470	13.680	13.700	0.1462
2	733	272	17.900	17.900	0.0000
3	427	469	19.110	19.100	0.0523
4	504	433	21.680	21.700	0.0920
5	537	471	16.830	16.800	0.1783
6	247	652	17.730	17.700	0.1692
7	357	482	12.660	12.700	0.3160
8	371	700	12.060	12.100	0.3320
9	490	360	17.870	17.900	0.1680
10	651	318	6.220	6.220	0.0000
11	448	516	12.670	12.700	0.2370
12	540	480	17.000	17.000	0.0000
13	505	460	13.720	13.700	0.1458
14	256	604	12.730	12.700	0.2357
15	352	468	17.770	17.800	0.1690
16	336	658	21.720	21.700	0.0921
Ortalama					0.0366

TSK çıkarım metodu kullanılarak oluşturulan Model 1 tarafından tahmin edilen CAA değerleri ile gözlenen CAA değerleri arasında % 100 bir ilişki bulunmuştur ve bu ilişki Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Gözlenen CAA ile tahmin edilen CAA arasındaki ilişki

Çalışmanın başında hayvanların davranışlarını inceleyerek CAA tahmin etmenin mevcut modelleme teknikleri ile oldukça zor olduğu belirtilmiştir. Burada, TSK çıkarım yöntemi kullanılarak oluşturulan bulanık modellerin bu tarz çalışmalarda güvenle ve kolay bir şekilde kullanılabilceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada yapılan her üç uygulama MATLAB 7.0 bilgisayar programı aracılığıyla yapılmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz şartlarının değişmesi ve sürekli gelişmesi, yapılan araştırmaların daha karmaşık yapıya sahip olmasını beraberinde getirmiştir. Bu zaman içerisinde meydana gelen gelişmeler geleneksel analiz yöntemlerinin ve bakış açılarının değiştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucunda mühendislik ve birçok alanda bulanık mantık, yapay zekâ, yapay sinir ağları gibi konular uygulamalarda etkinlik kazanmaya başlamıştır.

Bulanık modelleme, bulanıklaştırma, çıkarım ve durulaştırma temel aşamalarından oluşan bir süreçtir. Süreç sonunda verilecek kararın doğruluğu, süreci oluşturan her aşamada araştırmacının konu ile ilgili tecrübesi, uzman görüşü ve kullanılan yöntemlerin uygunluğuna bağlı olacaktır.

Bulanıklaştırma aşamasında kullanılacak üyelik fonksiyonlarının şekli,  $x$  eksenindeki konumu ve sayısı (alt küme sayısı) belirlenir. Bulanık modellemede üyelik fonksiyonlarına ait bu özelliklerin belirlenmesi modelin başarısı açısından birinci derecede önemlidir. Bu özelliklerin en iyi şekilde belirlenebilmesi için araştırmacıların bulanıklaştırma işleminden önce, yapacakları çalışmayı çok iyi planlamaları gerekmektedir. Bunun için daha önce yapılmış çalışmaları inceleyerek ve konunun uzmanları ile görüşerek çalışmaya başlamadan konu hakkında detaylı bilgi elde edilmelidir. Bulanık mantık kullanılarak oluşturulan model ya da sistemin başarısında uzmanın vermiş olduğu bilginin doğruluğu oldukça önemlidir. Uzmanın vereceği yanlış bir bilgi tüm modelin ya da sistemin baştan oluşturulmasına neden olabilmektedir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda araştırmacı problemi net olarak açıklamalı ve çözmek için izleyeceği yolu bu aşamada belirlemelidir. Planlama aşamasından sonra araştırmacılar konu hakkında elde ettikleri bilgilere göre kullanacağı değişkenleri belirlemeli ve bu değişkenlere ait verileri toplamalıdır. Modele alınacak gereksiz bir girdi değişkeni oluşturulacak kural sayısını çok fazla arttırmaktadır. Bu durum zaman alıcı olmasının yanında modelin ya da sistemin sağlıklı çalışmasını engelleyebilmektedir. Bu aşamada çok değişkenli istatistik analizlerden faktör analizi ve PCA yardımıyla gereksiz değişkenler modelden çıkartılarak değişken sayısı azaltılabilir.

Bulanıklaştırma aşamasında, çok kompleks üyelik fonksiyonlarının kullanılması çıkarım yöntemlerinin sonuç kısmında karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir. Bu nedenle daha çok üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanılması tavsiye

edilmekte olup özellikle bulanık mantık konusunda yeni çalışmaya başlayanlara üçgen üyelik fonksiyonunu kullanarak başlamaları önerilmektedir (ŞEN, 2004a). Bu fonksiyonda, üyelik derecelerinin hesaplanması ve çıkarım aşamasındaki hesaplamalar oldukça kolaydır. Bu üyelik fonksiyonlarından farklı olarak metot kısmında anlatılan Sigmoidal, S ve Pi gibi çok kompleks üyelik fonksiyonları da mevcuttur. Bu fonksiyonlardan Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarında belli bir noktadan sonra fonksiyonlar birbirinin içerisine girmekte ve üyelik dereceleri sabitlemektedir. Bu özelliklerinden dolayı KDS leri ve bulanık modellemelerde kullanılması oldukça zordur. Bu tez çalışması kapsamında yapılan ve sonuçlarının araştırma bulguları ve tartışma kısmında verildiği birinci uygulamada, balların kimyasal özelliklerine göre kalite sınıflarına ayrılması amacıyla oluşturulan KDS leri içerisinde en kötü sonucu Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı KDS leri vermiştir. Çizelge 4.4. incelendiğinde Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı KDS lerinin başarılarının oranının (%) diğer KDS lerine nazaran oldukça düşük olduğu görülmektedir. İkinci uygulama olan balıkların CAA larının tahmin edilmesi amacıyla farklı üyelik fonksiyonları kullanarak oluşturulan modeller içerisinde en kötü tahminleri Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı Model 1 ve Model 2 yapmıştır. Oluşturulan modellere ait  $R^2$  değerlerinin verildiği Çizelge 4.7. incelendiğinde en düşük  $R^2$  değerlerinin Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan Model 1 ve Model 2 ye ait olduğu görülmektedir. Tüm modellerin bulmuş olduğu tahmini CAA değerleri, bağıl hata (%) ve ortalama bağıl hata (%) değerlerinin birlikte verildiği Çizelge 4.8. incelendiğinde de gözlenen CAA değerlerine en uzak tahminleri Sigmoidal ve S üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı modellerin yaptığı görülmektedir. Bu modellere ait bağıl hata ve ortalama bağıl hata değerleri yöntem kısmında verilen kullanılabilir hata sınırlarının çok üzerindedir. Tüm bu nedenlerden dolayı bu kompleks fonksiyonlar diğer üyelik fonksiyonlarına oranla pratikte çok fazla kullanım alanı bulamamaktadır.

Bulanıklaştırma aşamasında üyelik fonksiyonlarının alt küme sayısı ve x eksenindeki konumunun belirlenmesi, şeklinin belirlenmesinden daha önemlidir (ŞEN, 2004b). Üyelik fonksiyonlarının x eksenindeki konumunu belirleyebilmek için uzmanın vermiş olduğu bilgilerden ve verilere ait aritmetik ortalama, minimum ve maksimum

gibi istatistik değerlerden yardım alınması başarıyı arttırmaktadır (KAVDİR ve GUYER, 2003).

Bulanıklaştırma aşamasında üyelik fonksiyonlarının konumunun belirlenmesi yanında alt küme sayısının da belirlenmesi oldukça önemlidir. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken 3–7 arasında alt küme oluşturulmalıdır (BEYNON ve ark., 2004; ŞEN, 2004b). Üçten az alt kümeye bölünmesi değişkenlerin tam tanımlanmamasına neden olmaktadır. Fazla sayıda alt kümeye bölünmesi de oluşturulacak kural sayısını arttırmaktadır. Araştırmacı bu sayıyı belirlerken girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi göz önünde tutmalıdır. Çıktı değişkeni üzerinde etkisinin çok olduğu düşünölen girdi değişkenleri için fazla sayıda alt küme oluşturulması modelin ya da sistemin doğru çalışmasını olumlu yönde etkilemektedir.

Üyelik fonksiyonlarının şekli, konumu ve sayısı belirlendikten sonra, Mamdani, Larsen, TSK ve Tsukamoto gibi çıkarım yöntemlerinin kullanıldığı çıkarım aşamasına geçilir. Bu aşamada araştırmacı yapacağı çalışmanın amacına uygun bir çıkarım yöntemi seçer. Bu yöntemler içerisinde Mamdani Larsen ile, TSK da Tsukamoto ile benzer bir yapı göstermektedir. Mamdani ve Larsen çıkarım yöntemleri daha çok KDS lerinin oluşturulması ve sınıflandırma işlemleri gibi çıktı değişkeninin bulanık bir küme ile temsil edildiği durumlarda kullanılır. TSK yönteminde sonuç çıktısı sabit bir değer ya da doğrusal bir fonksiyon olduğu için modelleme ve tahmin yapma işlemlerinde kullanılır. Tsukamoto yöntemi, çıktı değişkeninin monotonik üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilmesinden dolayı kullanımı zordur. Bu yöntem MATLAB gibi bulanık mantık uygulamaları yapabilen bilgisayar programları tarafından desteklenmemektedir. Bu nedenlerden dolayı diğer çıkarım yöntemlerine nazaran daha kullanışsız bir yöntemdir ve çok fazla kullanım alanı bulamamıştır (ROSS, 2005).

Bu yöntemlerden Mamdani ve Larsen yöntemleri sezgisel ve sözel (dilsel) girdiler söz konusu olduğunda daha etkili sonuçlar vermektedir. Mamdani yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha çok kullanım alanı bulmuştur. TSK yöntemi ise matematiksel analizler söz konusu olduğunda daha kullanışlı olup değişkenler arasında doğrusal ilişkiler söz konusu olduğunda daha iyi sonuçlar vermektedir (MASTORAKIS, 2004). Örneğin bir hayvanın vermiş olduğu süt miktarı, yemiş olduğu yeme, laktasyon sayısına, ırkına vb. girdi değişkenlerine bağlıdır. Bu tür değişkenlerin modellenmesi istendiğinde TSK metodu Mamdaniye göre daha uygundur. TSK kural

tipinde değişken sayısı ve parametre sayılarında bir sınır yoktur. Fakat pratikte genel olarak 2–10 arasında değişken kullanılması önerilir (KLUN ve VIRANT, 1999). TSK ve Tsukamoto yöntemlerinde çıktı değişkeni kesin bir değer olduğu için durulaştırma ihtiyacı yoktur. Mamdani ve Larsen yöntemlerinde ise çıktı bulanık küme olduğu için işlem sonunda durulaştırma işlemi yapılır (KLUN ve VIRANT, 1999; VRUSIAS, 2005).

Araştırmacı çıkarım aşamasında kullanacağı yöntemi belirledikten sonra bu yönteme uygun olarak IF-THEN kuralları tanımlar. IF-THEN kuralları çalışmanın planlanması aşamasında konunun uzmanlarından veya önceki çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda oluşturulur. Kurallar yöntem kısmında açıklandığı gibi AND ve OR mantıksal bağlantı işlemcileri kullanılarak yazılır. Seçilen üyelik fonksiyonları ve kullanılan girdi değişkenlerinin sayılarına bağlı olarak çok fazla kural yazılması gerektiğinde, araştırmacı tekrar değişkenlerini gözden geçirerek değişken sayısını ve kullanacağı üyelik fonksiyonlarının sayısını azaltmaya çalışmalıdır.

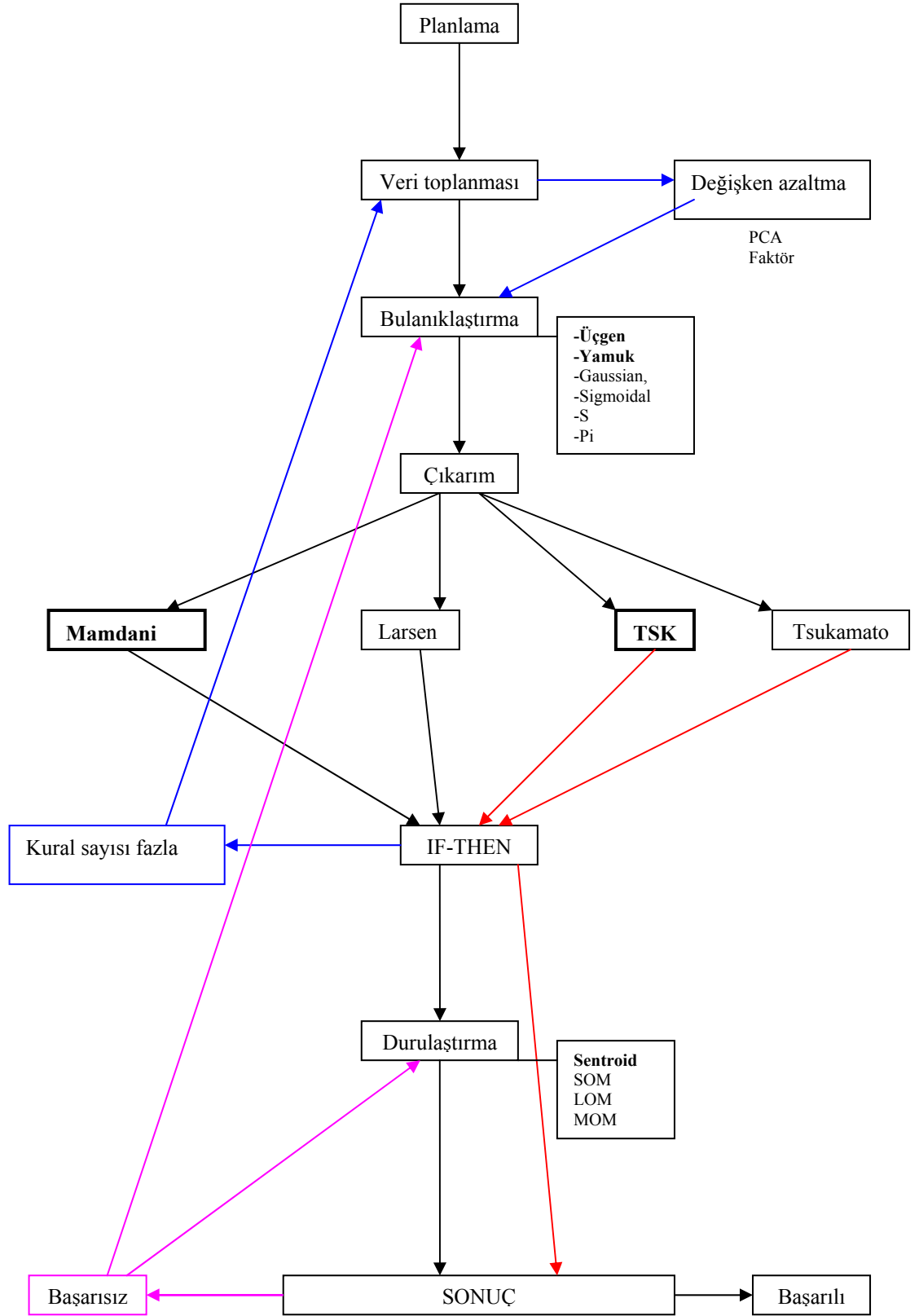
Çalışmada Mamdani veya Larsen çıkarım yöntemlerinden birisi kullanıldı ise IF-THEN kuralları oluşturulduktan sonra durulaştırma aşamasına geçilir. TSK ve Tsukamoto yöntemlerinden birisi kullanıldı ise sonuç değerleri elde edilir ve bu değerler incelenir. Elde edilen sonuçlar yöntem kısmında verilen kabul edilebilir hata limitleri içerisinde değilse tekrar bulanıklaştırma aşamasına dönülür ve tüm işlemler tekrar gözden geçirilir.

Durulaştırma aşamasında, en büyük üyelik ilkesi, sentroid yöntemi, ortalama en büyük üyelik, ağırlıklı ortalama yöntemi, toplamların merkezi, en büyük alanın merkezi, en büyüklerin en küçüğü ve en büyüklerin en büyüğü yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden Sentroid, Ortalama En Büyük Üyelik (MOM), En Büyüklerin En Küçüğü (SOM), En Büyüklerin En Büyüğü (LOM) yöntemleri MATLAB tarafından desteklendiğı için diğer yöntemlere nazaran daha fazla kullanım alanı bulmuştur. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına araştırmacı karar vermesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta, durulaştırmadan sonra varılan sonuç aşamasında sonuç değerleri, şüpheli, ikilemli veya çok cevaplı olmamalıdır. Sonuçlar makul ve mantıklı olmalıdır. Makul ve mantıklı bir durulaştırmada, elde edilen kesin değer bulanık kümenin dayanağının ortalarına doğru düşmeli ve üyelik derecesi oldukça büyük bir değer almalıdır. Yapılacak işlemler basit olmalıdır (ŞEN, 2004a). Durulaştırma sonunda



elde edilen kesin değer, eldeki verilerin ışığı altında soruna iyi denilebilecek düzeyde cevap vermelidir. Bu şartlar yerine getirilemiyor ve yöntem kısmında verilen, bulanık model veya KDS lerinin performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan kriterler sağlanamıyorsa farklı durulaştırma yöntemleri denenmelidir. Farklı durulaştırma yöntemleri de sonuç değerindeki sorunları gideremiyorsa tekrar bulanıklaştırma aşamasına dönülür ve tüm işlemler tekrar gözden geçirilir. Durulaştırma yöntemlerinden En Büyüklerin En Küçüğü yöntemi genellikle sonuç değerlerini bir alt kümeye kaydırmaya çalışmaktadır. En Büyüklerin En Büyüğü yöntemi ise bir üst kümeye kaydırmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en mantıklı sonuçları sentroid yöntemi vermektedir. Bunun nedeni ise bu yöntem çıkarım yöntemlerindeki birleştirme aşamasında elde edilen bulanık kümenin ağırlık merkezini bulmaktadır. Balların kalite sınıflarına ayrılması amacıyla yapılan birinci uygulamada de en iyi sonucu sentroid yönteminin kullanıldığı KDS' i vermiştir. Bu nedenlerden dolayı uygulamalarda en çok sentroid durulaştırma yöntemi kullanılmaktadır ve bunun dışında kalan yöntemler genelde teoride kalmış pratikte çok fazla kullanım alanı bulamamıştır.

Buraya kadar anlatılan bulanık model oluşturma sürecinin aşamaları Şekil 5.1'de bir akış diyagramı halinde özetlenmiştir. Bu diyagramda en çok kullanılan ve önerilen yöntemler koyu olarak gösterilmiştir. Diyagramda okların yönleri işlemin yönünü göstermektedir. Aynı renkle gösterilen oklar, birbirini takip etmesi gereken işlem sırasını ifade etmektedir. Örneğin kırmızı renkle gösterilen oklar takip edildiğinde TSK ve Tsukamoto çıkarım yöntemleri için IF-THEN kuralları oluşturulduktan sonra bu yöntemler için durulaştırma aşaması gerekmediğinden sonuç kısmına geçileceği gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Bulanık model ve KDS oluşturmanın önemli aşamaları

Bulanık mantık, insana özgü “tecrübe ile öğrenme” olayının modellenmesi ve sözel verilerin bile matematiksel olarak ifade edilmesine imkân tanıyarak oldukça geniş uygulama alanına sahip olmuştur. Klasik Aristo mantığına alternatif olarak ortaya atılan bu teorinin getirmiş olduğu temel yenilik, klasik mantıktaki kesin doğru ve kesin yanlış durumlarının yerine kısmi doğruluk ve kısmi yanlışlık olarak tanımlayabileceğimiz anlayıştır. Bu teorinin araştırmacılara sağlamış olduğu en önemli kolaylık ise model oluşturulurken çok fazla matematik bilgisine ihtiyaç duyulmaması ve sağlanması gereken herhangi bir varsayımın olmamasıdır. Geleneksel yöntemlerde model oluşturulurken birçok varsayımın sağlanma zorunluluğu vardır. Bunun yanında çok fazla matematik hesaplamalar yapılması da gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacılar elde ettikleri verilerin modellenmesi aşamasında büyük sıkıntı çeker ve bir matematikçi ya da istatistikçiden yardım almak zorunda kalabilmektedirler. Bulanık modelleme ise geleneksel yaklaşımların tersine çok fazla matematik bilgisi istemez. Birçok şeyi insanların normal hayatta algıladığı şekilde sunar. Böylece model konu üzerinde uzman olmayan kişiler tarafından bile kolayca oluşturulabilmekte ve sonuçları yorumlanabilmektedir. Bulanık modeller yeni durumlar veya ilave bilgilere göre kolayca uyarlanabildiğinden model beklenenden farklı sonuçlar verdiğinde, yeni kural ve terimler kolayca modele dahil edilebilir.

Bulanık mantık kullanılan bir modellemede ya da karar destek sistemlerinin oluşturulmasındaki her aşamada (üyelik fonksiyonlarının seçimi, durulaştırma yöntemlerinin belirlenmesi vb.) çok fazla sınırlama veya varsayım olmayıp bir esneklik vardır (TRON ve MARGALİOT, 2004; ODETUNJI ve KEHİNDE, 2005).

Bulanık mantık insan düşünce ve davranış biçimine uygun özellikler taşımaktadır. Bu özelliğinden dolayı klasik mantığın sağladığından daha fazla ifade edilebilir durum oluşturmakta ve doğal dildeki ifadelerle daha uygun temsiller sağlamaktadır.

En önemli avantajlarından biriside, insan davranışını modelleyebilmesi nedeniyle matematik modelin oluşturulmasının imkânsız olduğu durumlarda dahi bir kontrol mekanizması geliştirilmesine izin vermesidir (YUMAK ve ERTUNÇ, 2005).

Bulanık mantık kullanılarak oluşturulan modellerde çok geniş bir alana yayılan veriler az sayıda üyelik fonksiyonu ile temsil edilebilir (GÜNEŞ ve YİĞİTBAŞI, 2001).

Ülkeler arası ticarete tarımsal ürünlerin belirli standartlara uyma zorunluluğunun getirilmesi bu ürünlerin kalite sınıflarına ayrılmasının önemini arttırmıştır. Bugün tarımsal ürünlerin kalite sınıflarına ayrılmasında daha çok insan gücü kullanılmaktadır. Bu da maliyeti arttırmakta tekdüzeliğin sağlanmasını zorlaştırmakta ve hatalara neden olabilmektedir. Tüm bu sorunları, bulanık mantık teorisi kullanarak uluslar arası standartları (CODEX ve TSE) ve konunun uzmanlarının vermiş olduğu bilgileri baz alarak oluşturulan KDS leri çözmektedir. Bu sistemler incir, ceviz, fındık vb. ihracatta önemli yere sahip olan tarımsal ürünlerin kalite sınıflarına ayrılmasında, araştırma bulguları ve tartışma kısmında açıklanan balların kalite sınıflarına ayrılması ile ilgili örnek uygulamada olduğu gibi faydalı bir şekilde kullanılabilir. KDS leri insanların belirli bilgilere dayanarak karar verdiği her noktada daha objektif, daha tutarlı ve daha hızlı karar verebilmektedirler.

Uygulamada kullanılan kuralların belirlenmesinin uzmana bağıllığı, üyelik fonksiyonları ve durulaştırma yöntemlerinin deneme yanılma yolu ile bulunmasının çok zaman alması nedeniyle bulanık mantık teorisi kullanılarak model oluşturma sürecinde yapılan işlemlerin elle yapılması nerede ise imkânsızdır. Araştırmacılar bu işlemlerin tamamını MATLAB programının içerisinde bulunan bulanık mantık araç kutusu aracılığıyla kolay bir şekilde yapabilirler. Bulanık mantık araç kutusu kolay bir kullanıma sahiptir. Araştırmacılar istedikleri tüm düzeltme ve değişiklikleri burada kolayca yapabilirler ve sonuçlarını kısa bir zamanda görebilirler. Ayrıca programın yardım menüsü çok detaylı olarak hazırlanmıştır. Sadece bulanık mantık araç kutusunun kullanımı ile ilgili yardım kısmı 279 sayfalık bir dosyadır. MATLAB kullanmaya yeni başlayan birisi için oldukça basit ve açıklayıcı olarak hazırlanmıştır.

Bulanık mantık konusunda kaynak bulmada çok fazla sıkıntı yoktur. Bu konuda yapılan çalışmaları yayınlamak amacıyla SCI de taranan 3 dergi bulunmaktadır. Ayrıca yurt dışında çok sayıda bulanık mantık enstitüsü mevcuttur. İnternet ortamında bilgi alışverişinin yapıldığı çok sayıda haber grubu vardır. Ülkemizde bu konuda İTÜ bünyesinde **Bulanık Mantık ve Teknolojisi Kulübü (BUMAT)** faaliyet göstermektedir. Tarımsal alanda uygulamaları çok yeni olan bulanık mantık ile ilgili dünya üzerinde çok az yayın mevcuttur. Özellikle ülkemizde bu alanda çalışan bilim adamı sayısı oldukça azdır.

Tüm bu avantaj ve dezavantajlar dikkate alındığında diğer mühendislik uygulamalarında geniş bir uygulama alanı bulan bulanık mantık teorisinin tarımsal çalışmalarda da kısa bir zaman içerisinde yaygın olarak kullanılacağı ve yapılan bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara temel oluşturacağı düşünülmektedir.

**KAYNAKLAR**

- AHAMED, T.R.N., RAO, G.K. ve MURTHY, J.S.R., 2000. GIS-Based Fuzzy Membership Model for Crop-Land Suitability Analysis. **Agricultural Systems**, 63 (2):75–95.
- AKÇAM, M.O. ve TAKADA, K., 2002. Fuzzy Modelling for Selecting Headgear Types. **European Journal of Orthodontics**, 24(1):99-106.
- ALLAHVERDİ, N., 2001. Bulanık mantık ve sistemler. Selçuk üniversitesi Teknik eğitim fakültesi uzaktan eğitim ders notları. <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim> (Erişim tarihi:04/03/2005).
- ANONYMOUS, 2001. CODEX Standarts. [http://www.codexalimentarius.net/web/standard\\_list.do?lang=en](http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do?lang=en) (Erişim tarihi: 28/04/06).
- ANONYMOUS, 2005. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com). (Erişim tarihi: 06/09/06).
- ARİFOĞLU, U., 2005. **Matlab 7**. Alfa yayınları, 895 s. İstanbul.
- BAYKAL, N ve BEYAN, T., 2004. **Bulanık Mantık İlke ve Temelleri**. Bıçaklar kitapevi, 413 s. Ankara.
- BEYNON, J.M., MICHAEL, J.P. ve TANG, Y.C., 2004. The Application of Fuzzy Decision Tree Analysis in an Exposition of The Ancedents of Audir Fees. **Omega**, 32(3):231-244.
- BUCKLEY, J.J., 2005. **Simulating Fuzzy Systems**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 205 p, Germany.
- CERRADA, M, AGUILAR, J., COLINA,E. Ve TITLI, A., 2005. Dynamical Membership Functions: An Approach for Adaptive Fuzzy Modelling. **Fuzzy Sets and Systems**, 152(3):513–533.
- CORDON, O., HERRERA, F., MARQUEZ, A., PEREGRIN, A., 2004. A Study On The Evolutions Adaptive Defuzzification Methods In Fuzzy Modelling. **International Journal of Hybrid Intelligent Systems**, 1(1): 36-48.
- ÇAĞMAN, N. ve GÖKBULUT, Y., 2005. New Membership Functions for The Law's Fuzzy Educational Grading System. **International Journal of Computational Cognition**, 3(3):49-52.
- ÇAM, E., KARATEPE, E. ve YILDIZ, O., 2005. Marmara Bölgesinde Ortalama Rüzgar Hız ve Güç Değerlerinin Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini. **Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu (BMYS) 2005**, 16–18 Kasım 2005: 123–130, Kocaeli.
- DOMBI, J. ve GERA, Z., 2005. The Approximation of Piecewise Linear Membership Functions and Lukasiewicz Operators. **Fuzzy Sets and Systems**, 154(2): 275–286.
- DÖKMEN, Ü.,2004. **Küçük Şeyler**. Sistem Yayıncılık, 192 s, İstanbul.
- DUALIBE, C., VERLEYSSEN, M. ve JESPERS, P.G., 2003. **Design of Analog Fuzzy Logic Controllers in CMOS Technologies. Implementation, Test and Application**. Kluwer Academic Publishers, 227 s,USA.
- EKLUND, P., KALLIN, L. ve RIISSANEN, T., 2000. **Fuzzy Systems**. Tappı PCE&I Edition. 60s, Sweden.
- GRINSPAN, P., EDAN, Y., KAHNE.H., MALTZ, E., 1994. A fuzzy Logic Expert System for Dairy Cow Transfer Between Feding Groups. **Transactions of The ASAE**, 37(5):1647–1654.

- GOTTWALD, S., 2005. Mathematical Aspects of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Some Reflections After 40 Years. **Fuzzy Sets and Systems**, 156(3):357–364.
- GÜNEŞ, M., YİĞİTBAŞI, O.N., 2001. Türk Vergi Sisteminde Bulanık Mantık Uygulamaları. V. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, :Adana.
- HALAVATI, R. ve SHOURAKI, S.B., 2005. fuzzy Learning in Zamin Artificial World. **Fuzzy Sets and Systems**, 152(3):603-615.
- HANSELMAN, D. ve LITTLEFIELD, B., 2001. Mastering MATLAB 6. Prentice Hall, 814 s. New Jersey.
- HOJATI, M., BECTOR, C.R. and SMIMOU, K., 2005. A Simple Method for Computation of Fuzzy Linear Regression. **European journal of Operational Research**, 166(1):172–184.
- JANG, J.S.R., 1993. ANFIS: Adaptive – Network – Based Fuzzy Inference System. **IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics**, 23(3):665–685.
- KARANFİL, S., 1997. **Fuzzy logic problemlerinde üyelik fonksiyonunun belirlenmesinde deneysel verilere dayanarak bir yöntem geliştirilmesi.** Yüksek lisans tezi. Yıldız teknik üniversitesi, 59s, İstanbul.
- KAVDIR, İ., and GUYER, D.E., 2003. Apple grading using fuzzy logic. **Turk. J. Agric.** (27), 375–382.
- KLIR, G.J. and FOLGER, T.A., 1988. **Fuzzy Sets, Uncertainty and Information.** Prentice Hall, 355 s, New Jersey.
- KLIR, G.J. and YUAN, B., 1995. **Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory And Application.** Prentice Hall, 592 s, New York.
- KLUN, I. and VIRANT, J., 1999. Fuzzy Logic Alternative for Analysis in The Biomedical Sciences. **Computers and Biomedical Research**, 32 (4): 305-321.
- KOIVO, H., 2006. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. [http://www.control.hut.fi/Kurssit/AS-74.3115/Material/Adaptive\\_Neuro-Fuzzy\\_Inference\\_System.pdf](http://www.control.hut.fi/Kurssit/AS-74.3115/Material/Adaptive_Neuro-Fuzzy_Inference_System.pdf) (Erişim tarihi: 28/4/06)
- KURTENER, D., GREEN, T.R., SHVETSOVA, E.K. ve ERSKINE, R.H., 2005. Exploring Relationships between Geomorphic Factors and Wheat Yield Using Fuzzy inference Systems. **Hydrology Days**, 7-9 Mart 2005: 121-129, Colorado.
- LEE, K.H., 2006. Fuzzy Theory Lectures Notes. <http://if.kaist.ac.kr/lecture/cs670/2001/lecture-note.html> (Erişim tarihi: 16/2/06)
- MARCE, R., COMERMA, M., GARCIA, J.C. ve ARMENGOL, J., 2004. A neuro - fuzzy modeling tool to estimate fluvial nutrient loads in watersheds under time-varying human impact. **Limnology and Oceanography:Methods**. 2: 342–355.
- MARCHANT, T., 2004. The Measurement of Membership By Comparisons. **Fuzzy Sets and Systems**. 148(2):157–177.
- MASTORAKIS, N. E., 2004. General Fuzzy Systems as Extensions of Takagi Sugeno Methodology. **WSEAS Transactions on Systems**, 2(3):668-678.
- MAZZUCCO, M.M., BOLZAN, A., BARCIA, R.M. and Machado, R.A. F., 2000. Application of genetic algorithms to the adjustment of the supports of fuzzy sets in a mamdani controller. **Braz. J. Chem. Eng.**, 17 (4): 625-638.
- MITRA, S. ve PAL, K.S., 2005. Fuzzy sets in Pattern Recognition and Machine Intelligence. **Fuzzy Sets and Systems**. 156(3):381-386.

- MORAG, I., EDAN, Y. ve MALTZ, E., 2001. An Individual Feed Allocation Decision Support System for the Dairy Farm. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 79(2):167–176.
- NABABAN, E.B., HAMDAN, A.R., HASAN, M.K. and MOHAMED, H., 2004. Fuzzy Membership Function in Determining SPC Allocation. **InterStat and The Journal of Statistical Computation and Simulation**. <http://jscs.stat.vt.edu/interstat/articles/2004/abstracts/0402002.html-ssi>. February 2004. 16 pages
- NASCIMENTO, L.F.C ve ORTEGA, N.R.S., 2002. Fuzzy Linguistic Model for Evaluating The Risk of Neonatal Death. **Rev Saude Publica**, 36(6):686–692.
- NGUYEN, H.T., 2005. Fuzzy and Random Sets. **Fuzzy Sets and Systems**. 156(3):349–356.
- ODETUNJI, O.A. ve KEHINDE, O.O., 2005. Computer Simulation of Fuzzy Control System for Gari Fermentation Plant. **Journal of Food engineering**, 68(2); 197–207.
- ÖNDER, E., 2000. **Askeri müzeye gelen ziyaretçilerin ziyaret sürelerinin fuzzy matematiği ile optimizasyonu**. Yüksek lisans tezi. Marmara üniversitesi, 88s, İstanbul.
- PATEL, V.A., 2005. Simplest Fuzzy PI Controllers under Various Defuzzification Methods. **International Journal Of Computational Cogniton**, 3(1): 21–34.
- PEREIRA, J.C.R., TONELLI, P.A., BARROS, L.C. ve ORTEGA, N.R.S., 2004. Clinical Signs of Pneumonia in Children: Association With and Prediction of Diagnosis By Fuzzy Sets Theory. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, 37(5):701-709.
- POPOOLA, D., 2004. Fuzzy Expert Systems. Artificial Intelligence: Structures & Strategies for Complex Problem Solving Lectures Notes, London. <http://www.computing.surrey.ac.uk/courses/cs364/> (Erişim:09/08/2005).
- RAMINEZ CERVANTES, M A., GONZALES NOVELO, S A., SAUR DUCH, E (2000). Effect of The Temporary Thermic Treatment of Honey On Variation of The Quality Of The Same During Storage. **Apiacta**, 35(4): 162-170.
- RANKOVIC, V. ve NIKOLIC, I., 2003. Application Of The Takagi-Sugeno Fuzzy Controller For Solving The Robots' Inverse Kinematics Problem. **Mechanics, Automatic Control and Robotics**, 3(15): 1039 – 1054.
- ROSS, T. J., 2005. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. John Wiley & Sons, Ltd., 120s, USA.
- SALEHI, F., LACROIX, K.M. ve WADE, K.M., 2000. Development of Neuro-Fuzzifiers for Qualitative Analyses of Milk Yield. **Computers and Electronics in Agriculture**, 28(3); 171–186.
- SICAT, R.S., CARRANZA, E.J.M., NIDUMOLU, U.B., 2005. Fuzzy Modeling of Farmers' Knowledge for Land Suitability Classification. **Agricultural systems**, 83 (1): 49–75.
- SHAHIN, M.A., VERMA, B.P. and TOLLNER, E.W., 2000. Fuzzy Logic Model for Predicting Peanut Maturity. **Transactions of the ASAE**, 43(2): 483–490.
- SHIMODA, M., 2002. A Natural Interpretation Of Fuzzy Sets And Fuzzy Relations. **Fuzzy Sets and Systems**, 128(2):135–147.



- SOFU, A.B. ve KİTİŞ, F.Y.E., 2005. *Yersinia Enterocolitica'nın* Türk Feta Peynirinde Yaşam Süresinin Bulanık Mantık İle Modellenmesi. **1<sup>st</sup> International Food and Nutrition Congress**. 15–18 June. İstanbul.
- SRIRAMAN, A. ve MAYORGA, R.V., 2004. A Fuzzy Inference System Approach for Greenhouse Climate Control. **Environmental Informatics Archives**, 2(6): 699–710.
- STRASSER, M., LACROIX, R., KOK, R. ve WADE, K.M., 1997. **A Second Generation Decision Support System for the Recommendation of Dairy Cattle Culling Decisions**. Annual Research Report. 13-17p. <http://upload.mcgill.ca/animal/97r04.pdf> (Erişim Tarihi: 11/2/2005).
- ŞEN, Z., 2004a. **Mühendislikte Bulanık Mantık İle Modelleme Prensipleri**. Su vakfı yayımları. 191 s, Türkiye.
- ŞEN, Z., 2004b. **Fuzzy Logic and System Models in Water Sciences**. Su vakfı yayımları. 315 s, Türkiye.
- ŞEN, Z., 2004c. **Yapay Sinir Ağları İlkeleri**. Su vakfı yayımları. 183s, Türkiye.
- TRON, Z. ve MARGALOT, M., 2004. Mathematical Modeling of Observed Natural Behavior: A fuzzy Logic Approach. **Fuzzy Sets and Systems**, 146(3):437–450.
- UZUNOĞLU, M. ve ONAR, Ö. Ç., 2003. **Her Yönü ile Matlab**. Türkmen kitabevi, 652 s. İstanbul.
- VRUSIAS, L.B., 2005. Fuzzy Logic. Artificial Intelligence Lectures Notes, London. [http://portal.surrey.ac.uk/portal/page?\\_pageid=798,596751&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://portal.surrey.ac.uk/portal/page?_pageid=798,596751&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Erişim:16.02.06).
- YILDIRIM, Y. ve BAYRAMOĞLU, M., 2006. Adaptive Neuro-Fuzzy Based Modelling for Prediction of Air Pollution Daily Levels in City of Zonguldak. **Chemosphere**, 63(9): 1575-1582.
- YILMAZ, E., 2005. **Protein Düzeyleri Aynı Enerji Düzeyleri Farklı Rasyonların Karabalıkların (Clarias gariepinus) Çeşitli Verim Özellikleri Ve Vücut Kompozisyonu Üzerine Etkileri**. Mustafa Kemal Üniversitesi, Doktora Tezi, 87 s, Hatay.
- YUMAK, Ö. ve ERTUNÇ, H.M., 2005. Matkapla Delme İşlemlerinde Kesici Takım Aşınma Durumunun Bulanık Mantıkla Belirlenmesi. **Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu**:155–162, Kocaeli.
- WADE, K.M., LACROIX, R. and STRASSER, M., 2005. Fuzzy Logic Membership Values as a Ranking Tool for Breeding Purposes in Dairy Cattle. [www.cdn.ca/committees/archives/dec97/info07.html](http://www.cdn.ca/committees/archives/dec97/info07.html) (Erişim tarihi: 11/02/05).
- WALKER, C.L. ve WALKER, E.A., 2005. The Algebra of Fuzzy Truth Values. **Fuzzy Sets and Systems**, 149 (2); 309–347.
- WARNE, K., PRASAD, G., SIDDIQUE, M.N.H. ve MAGUIRE, L.P. 2004. Development of a hybrid PCA-ANFIS Measurement System for Monitoring Product Quality in the Coating Industry. **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. 10-13 Ekim 2004: 3519-3524, Netherlands.
- WHITE, J.W., (1994) The Role of HMF and Diastase Assays in Honey Quality Evaluation. **Bee World**. 75(3): 104-117.

- WILLIAM, S., 2005. **Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning**. John Wiley & Sons, 405 s, USA.
- ZADEH, L.A., 1965. Fuzzy Sets. **Information and Control**, 8(3):338-353.

## ÖZGEÇMİŞ

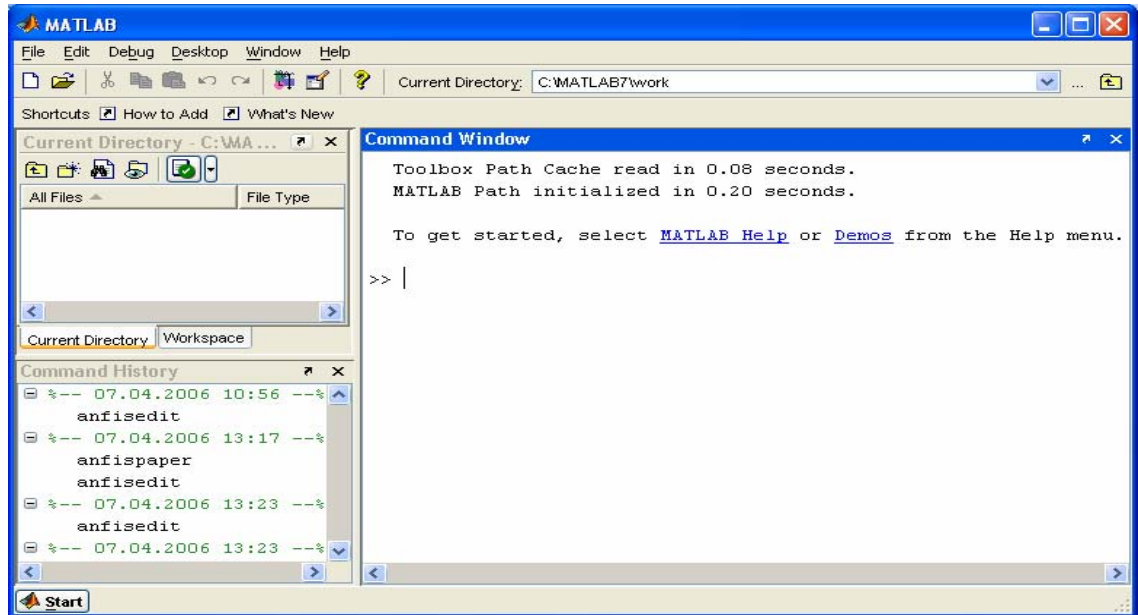
1978 yılında Ankara'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi aynı ilde tamamladım. 1995 yılında girdiğim Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümünden 1999 yılında Ziraat Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. 1999 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümünde, Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. 2000 yılında başladığım Yüksek Lisans öğrenimimi "Tekrar Eden Ölçümlü Deneme Desenleri" adlı tez konusu ile tamamladım. Halen Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktayım. Evli ve bir çocuk babasıyım.

## EKLER

### EK 1. MATLAB'da Bulanık Mantık Uygulamaları

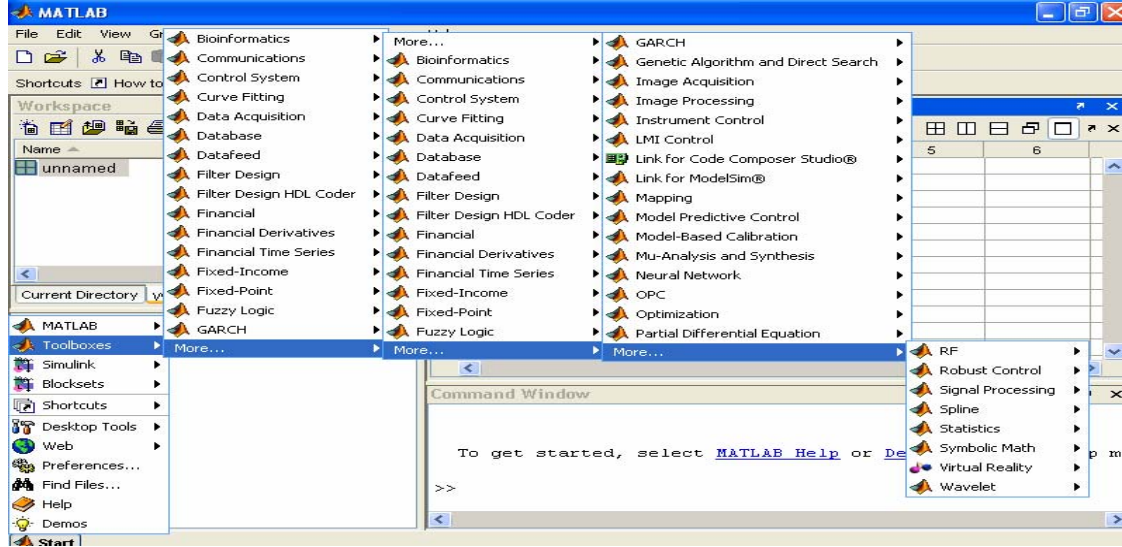
MATLAB, teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümü için tasarlanmış bir yazılım geliştirme aracıdır. "MATrix LABoratory" kelimelerinin kısaltması olan MATLAB, adından da anlaşılacağı üzere matrisler (matrix) yani diğer bir deyişle dizileri (array) kullanarak çalışır. Bugün dünyada 500.000 den fazla akademisyen, araştırmacı ve öğrenci tarafından kullanıldığı tahmin edilen MATLAB, içinde bulundurduğu çok sayıdaki ara yüzü ile bilgisayar dünyasının en gelişmiş teknik ve bilimsel problem çözme ve uygulama geliştirme aracı olarak da tanımlanmaktadır. Özellikle mühendislik alanındaki sistemlerin analizinde kullanılan MATLAB, veri analizi ve inceleme, görsellik ve görüntü işleme, algoritma prototipi oluşturma ve geliştirme, modelleme ve simülasyon, programlama ve uygulama geliştirme işlemlerini yapabilmektedir (HANSELMAN ve LITTLEFIELD, 2001).

MATLAB programının yapısı temel bir platform üzerine oturtulmuş pencereler şeklindedir. Program ilk açıldığında MATLAB masaüstü olarak adlandırılan bir ana platform açılmaktadır (Şekil 1). Bu platform üzerinde Command window, Command history, Current directory, Workspace ve Array editör olmak üzere 5 pencere mevcuttur. Bu pencereler çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda kullanıcı tarafından farklı şekilde de düzenlenebilir (UZUNOĞLU ve ONAR, 2003; ARİFOĞLU, 2005).



Şekil 1. MATLAB programı çalıştırıldığında ki ilk görünüm

MATLAB’da çok farklı amaçlar için kullanılan toplam 39 araç kutusu mevcuttur. Bu araç kutuları sürekli geliştirilmekte ve yenileri eklenmektedir. Bunlardan bazıları, Fuzzy logic, Bioinformatics, Curve fitting, Genetic algorithm, Statistics ve Neural Networks şeklindedir. Araç kutularına programın sol alt köşesinde yer alan start düğmesi kullanılarak ulaşılmakta (Şekil 2.) ve işlemler daha rahat yapılmaktadır.

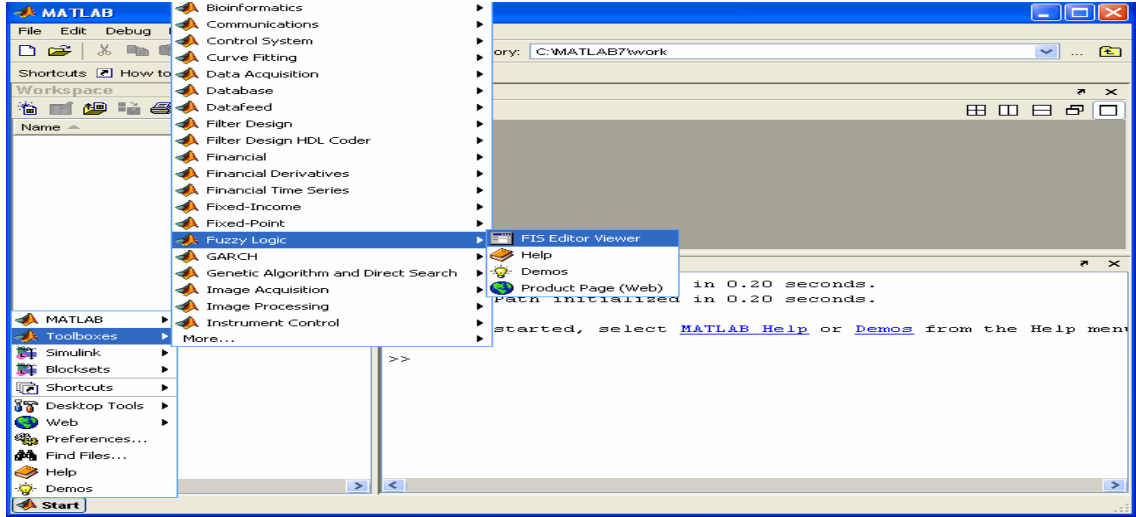


Şekil 2. Araç kutularının açılışı

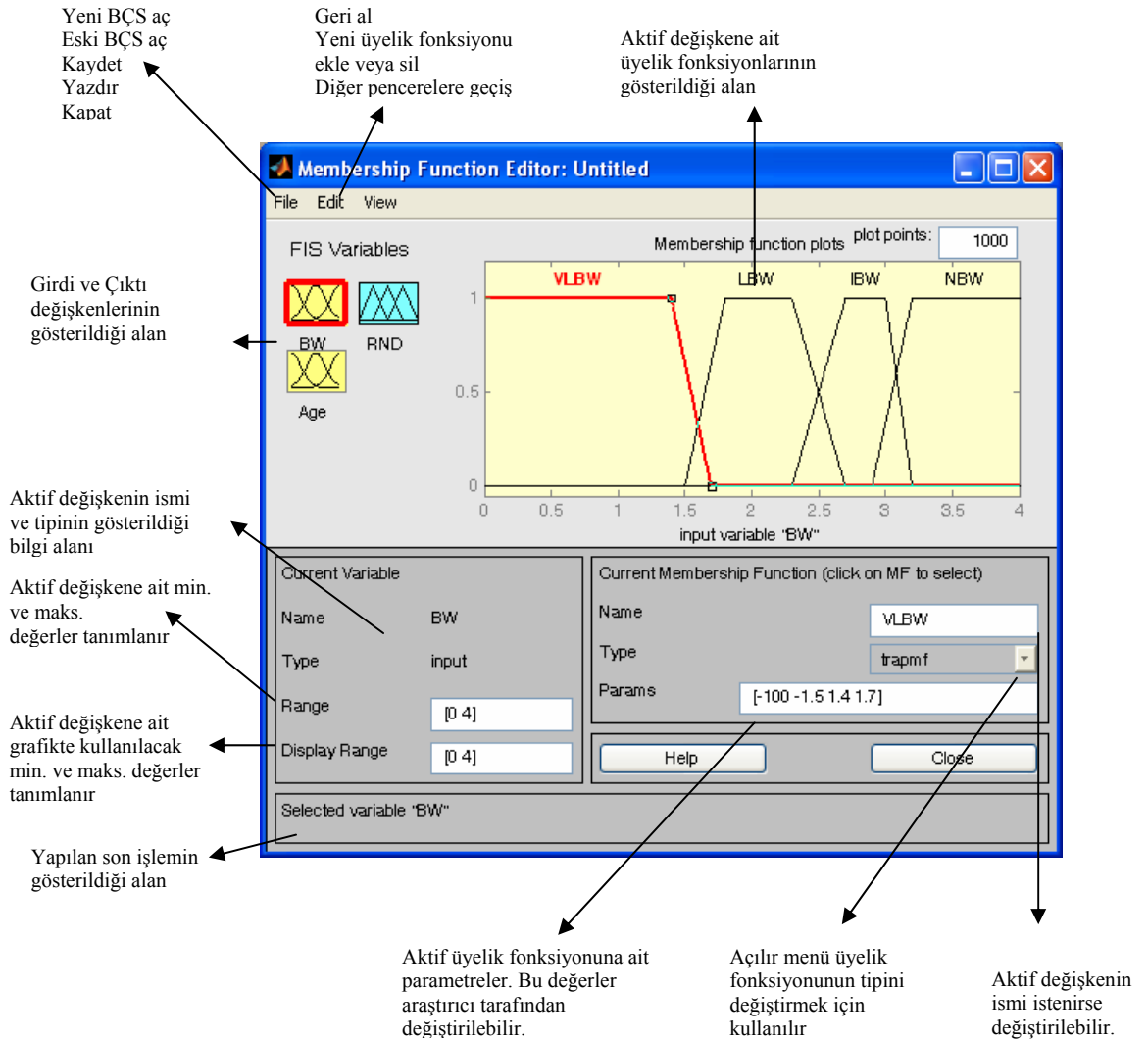
MATLAB’da bulanık mantık kullanılarak bir model veya karar destek sistemi geliştirilmek istendiğinde, Start> Toolboxes> Fuzzy Logic >FIS (Fuzzy Inference Systems) Editör Viewer yolu izlenir (Şekil 3.). Bu aşamanın sonunda bulanık mantık araç kutusu (fuzzy logic toolbox) içerisinde bulanık modelleme veya sistem oluşturmak için kullanılan 5 pencereden birincisi olan üyelik fonksiyonu (ÜF) yazım penceresi (Membership Function Editör) açılır (Şekil 4.). Diğer pencereler, bulanık çıkarım sistem (BÇS) penceresi (FIS editör), kural penceresi (Rule editör), kural gösterim penceresi (Rule viewer) ve yüzey gösterim penceresi (Surface viewer) şeklindedir.

MATLAB iki tür bulanık çıkarım kullanarak bulanık bir sistem veya model oluşturmaya izin vermektedir. Bunlar Mamdani ve TSK (Sugeno) çıkarım mekanizmalarıdır. ÜF yazım penceresi ilk açıldığında Mamdani çıkarım yöntemine göre açılmaktadır. Araştırmacılar sugeno çıkarım yöntemini kullanmak isterlerse ÜF yazım penceresinde Dosya>Yeni BÇS>Sugeno (File>New FIS>Sugeno) yolunu izlemelidirler.

ÜF yazım penceresinde Dosya (File), Düzen (Edit) ve Görünüm (View) olmak üzere 3 menü vardır (Şekil 4.).



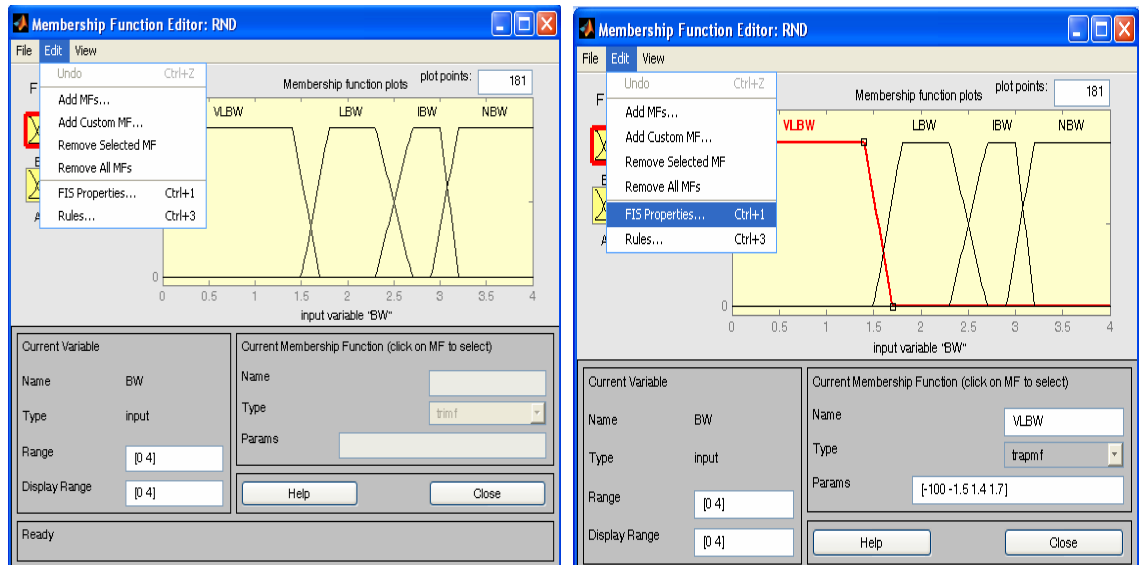
Şekil 3. Bulanık mantık araç kutusu'nun açılışı



Şekil 4. ÜF yazım penceresi yardımıyla yapılan işlemlerin gösterimi

ÜF yazım penceresinde girdi ve çıktı değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarının tipi, ismi, bu fonksiyonlara ait parametreler ve değişkenlerde bulunan verilerin değişim genişliği belirlenir. MATLAB, ÜF yazım penceresinde bulunan açılır (pop-up) menü altında 11 üyelik fonksiyonunu desteklemektedir. Bunlar, dsigmf (d sigmoidal üyelik fonksiyonu), gauss2mf (Gaussian 2 üyelik fonksiyonu), gaussmf (Gaussian üyelik fonksiyonu), gbellmf (Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu), sigmf (sigmoidal üyelik fonksiyonu), pimf (Pi üyelik fonksiyonu), psigmf (P sigmoidal üyelik fonksiyonu), smf (S üyelik fonksiyonu), trapmf (Yamuk üyelik fonksiyonu), trimf (Üçgen üyelik fonksiyonu), zmf (Z üyelik fonksiyonu) dur.

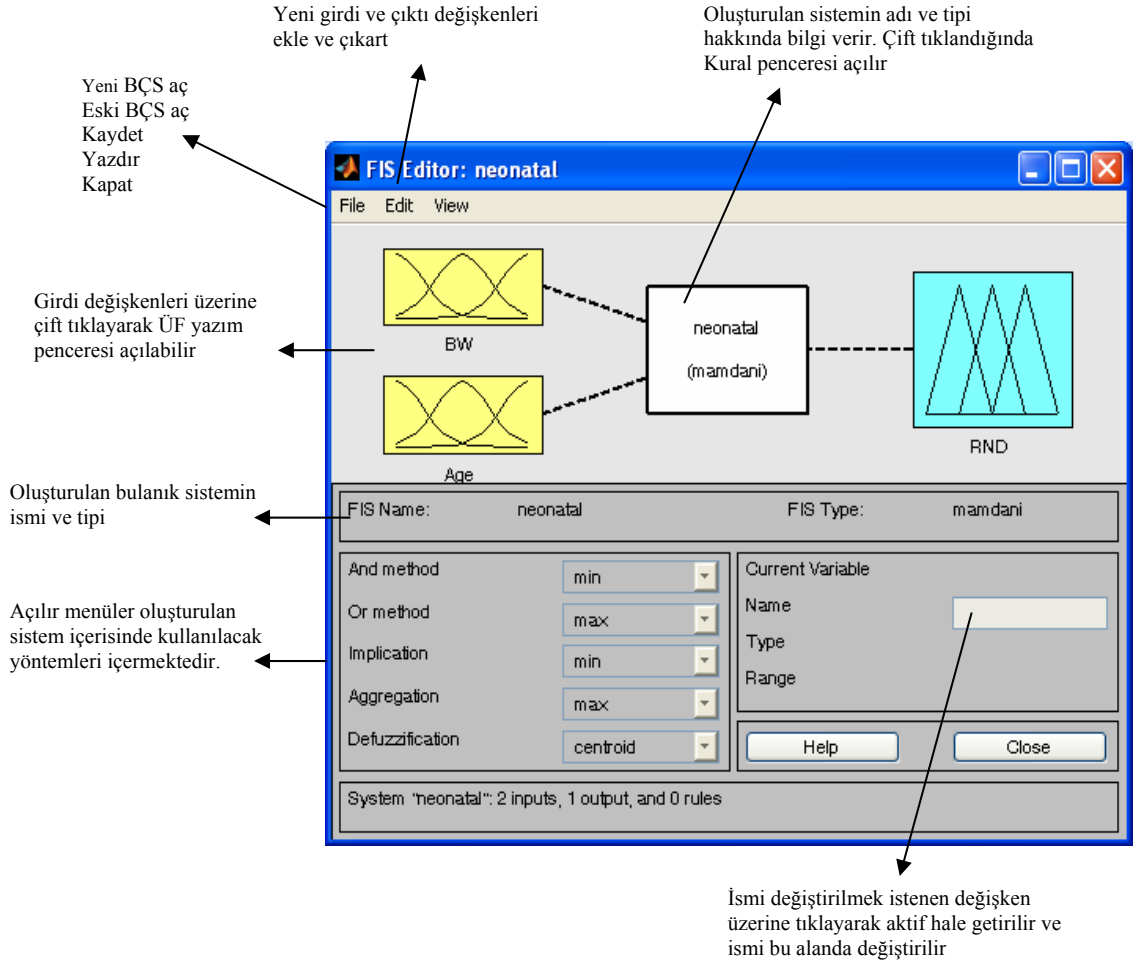
ÜF yazım penceresi ilk açıldığında bir girdi ve bir çıktı değişkeni ve her bir değişkene ait üçer tane üçgen üyelik fonksiyonu standart olarak açılır. Araştırmacı yeni bir üyelik fonksiyonu eklemek ya da silmek istediğinde Düzen menüsü altında bulunan üyelik fonksiyonları ekle (Add MFs), kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu ekle (Add Custom MF), seçili üyelik fonksiyonunu sil (Remove Selected MF) ve tüm üyelik fonksiyonlarını sil (Remove Selected MFs) seçeneklerini kullanabilir (Şekil 5a.). İsterse bu menü yardımıyla tüm üyelik fonksiyonlarını silip yeniden farklı sayı ve tipte üyelik fonksiyonları oluşturabilir. ÜF yazım penceresinde değişkenlerle ilgili bu tanımlamalar tamamlandıktan sonra Düzen menüsü altında bulunan BÇS özellikleri (FIS properties) yolu (Şekil 5b.) yada CTRL+1 kısa yolu kullanılarak BÇS penceresi açılır (Şekil 6.).



(a)

(b)

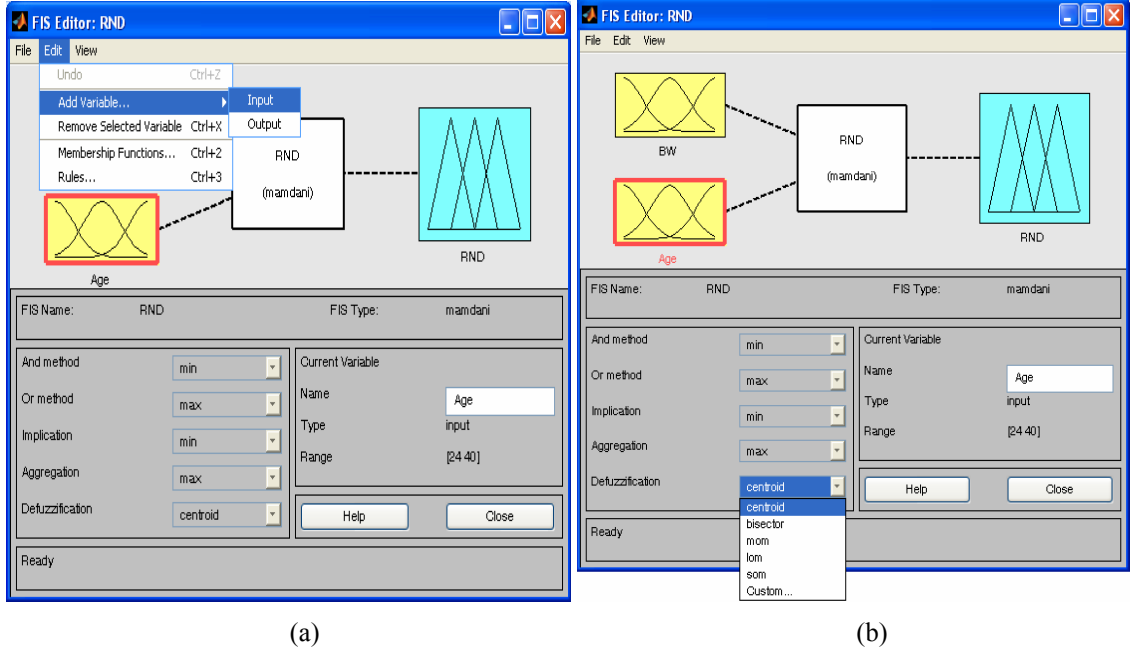
Şekil 5. ÜF yazım penceresinde üyelik fonksiyonu işlemleri (a) ve BÇS penceresinin açılması (b)



Şekil 6. BÇS penceresinin yardımıyla yapılan işlemlerin şekilsel gösterimi

Modele girecek değişkenlerin isimleri Şekil 6.'da gösterilen name kısmına yazılarak belirlenir. Bu pencerede ihtiyaç doğrultusunda Düzen menüsü kullanılarak değişken ekleme ve çıkartma işlemleri yapılabilir (Şekil 7a.). Durulaştırma aşamasında kullanılacak yöntemde yine BÇS penceresinde bulunan Durulaştırma (defuzzification) açılır menüsü yardımıyla seçilir (Şekil 7b). MATLAB mevcut durulaştırma yöntemlerinden Centroid, Bisector, MOM (Mean of Maximum), LOM (Largest of Maximum), SOM (Smallest of Maximum) olmak üzere 5 yöntemi standart olarak destekliyor. Bunun yanında Custom seçeneği ile de araştırmacının ihtiyacına göre kendisinin de bir durulaştırma yöntemi geliştirmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 7b). Bu tanımlamalar tamamlandıktan sonra BÇS penceresinde Düzen menüsü altında yer alan kurallar (Edit>Rules) yolu veya klavyeden CTRL+3 kısa yolu kullanılarak IF-THEN kurallarının oluşturulduğu Kural penceresine geçilir (Şekil 8.).

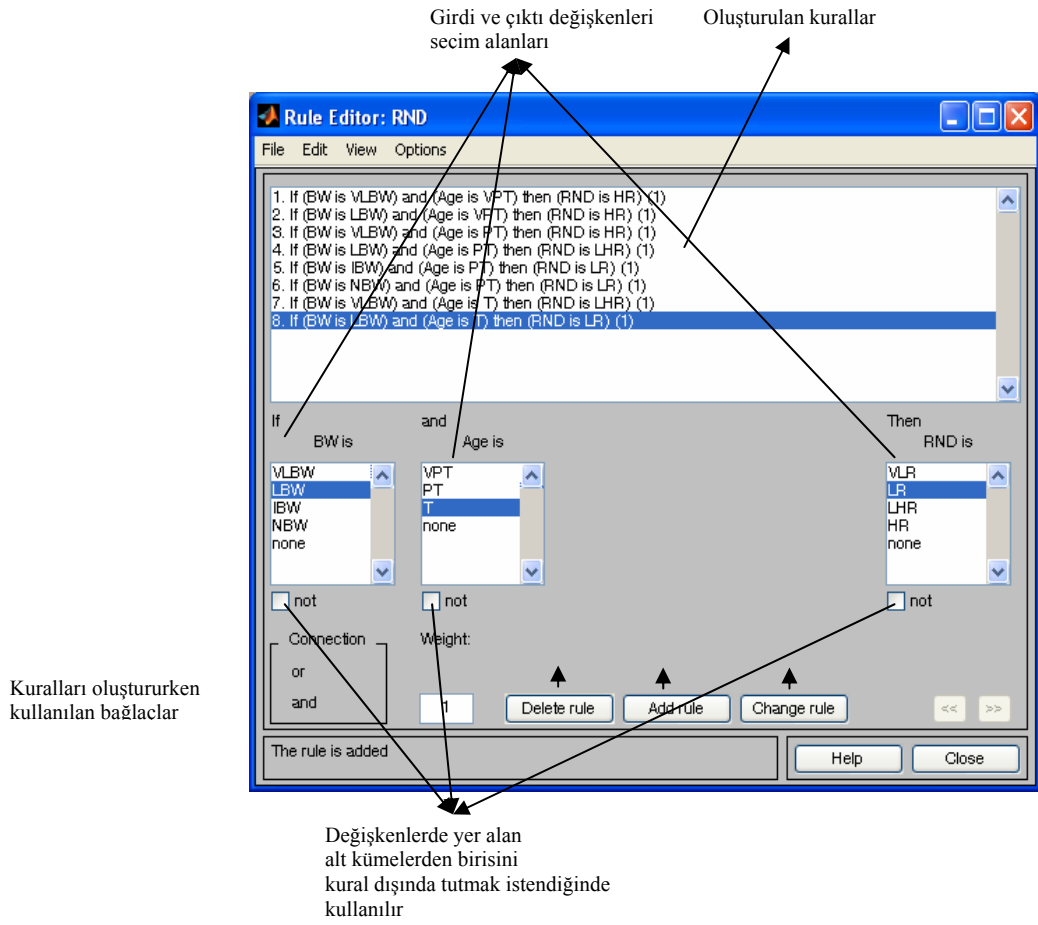




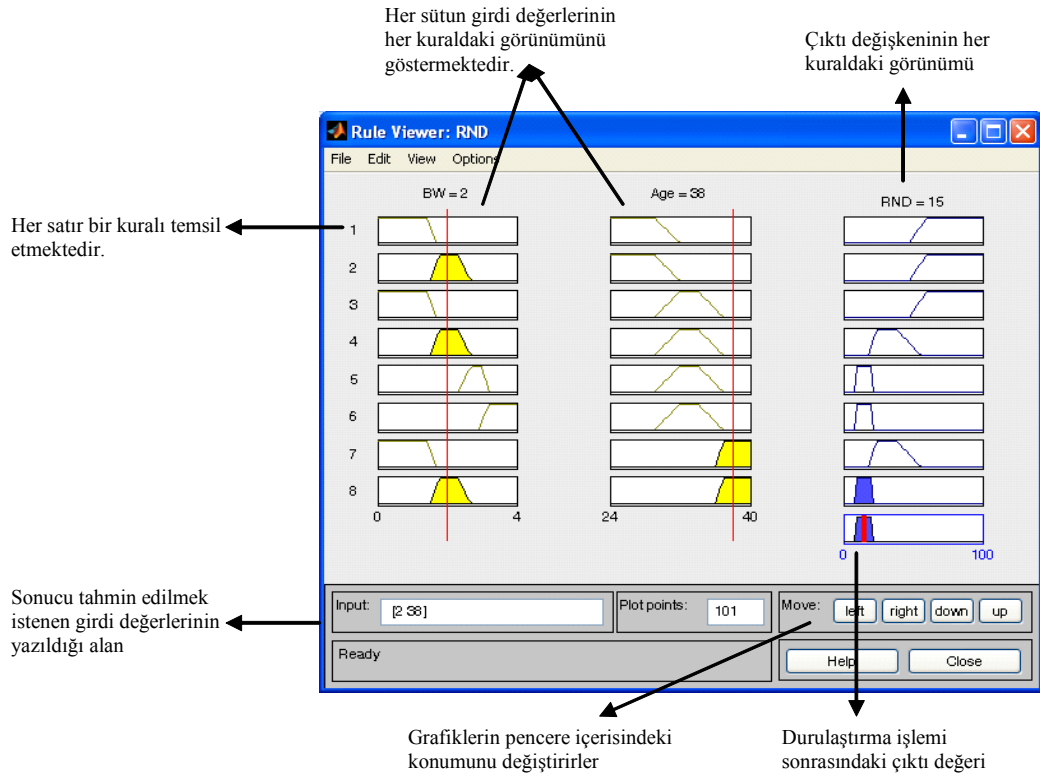
Şekil 7. BÇS penceresinde değişken ekleme, çıkartma (a) ve durulaştırma yöntemlerinin belirlenmesi (b)

Konunun uzmanından ve konu hakkında önceden yapılan araştırmalar sonucu elde edilen bilgiler doğrultusunda, sistemin kuralları bu pencerede yazılır. Kurallar IF-THEN koşulu arasına AND veya OR bağlaçları yardımıyla yazılmaktadır. Oluşturulan tüm kurallar pencerede gözlenebilmektedir. Araştırmacı daha sonra isterse Sil (Delete), Ekle (Add) ve Değiştir (Change) düğmeleri yardımıyla bu kurallara ekleme veya çıkartma yapabilir. Konu ile ilgili kurallar oluşturulduktan sonra Kural penceresinde Görünüm menüsü altında bulunan Kurallar (View>Rules) yolu ya da CTRL+5 kısa yolu kullanılarak Kural gösterim (Rule viewer) penceresine geçilir (Şekil 9.).

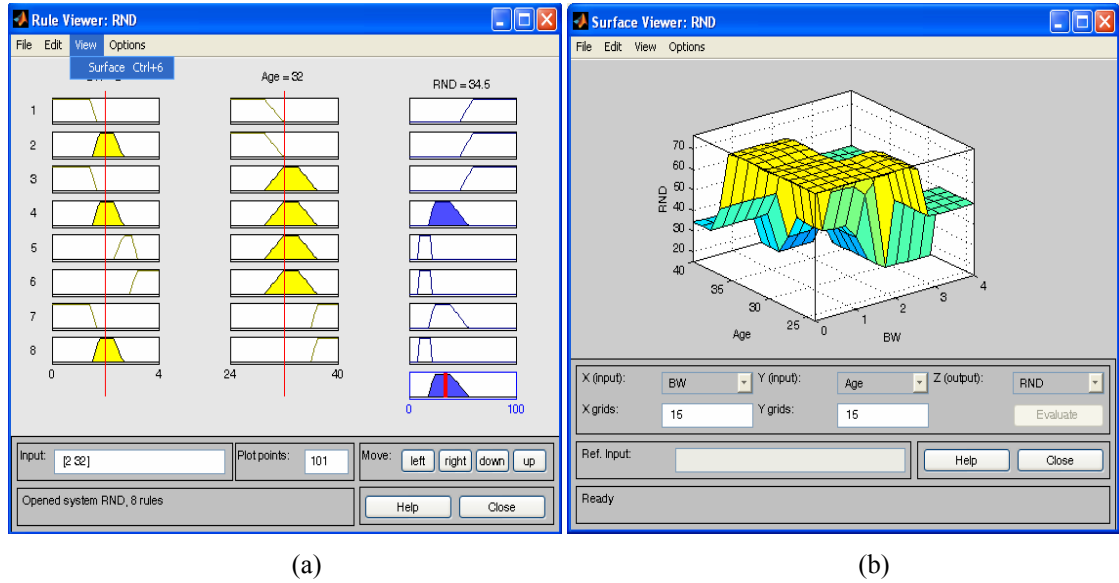
Girdi değişkenlerine farklı değerler girildiğinde oluşturulan bulanık sistemin tahmin ettiği çıktı değeri bu pencerede gözlemlenebilir. Ayrıca araştırmacılar Kural gösterim penceresinde Görünüm menüsü altında bulunan Yüzey (View>Surface) ya da CTRL+6 yollarını (Şekil 10a) kullanarak girmiş oldukları girdi değerlerine karşılık gelen çıktı değerinin 3 boyutlu grafiğini de elde edebilirler (Şekil 10b.).



Şekil 8. Kural penceresinin yardımıyla yapılan işlemlerin şekilsel gösterimi



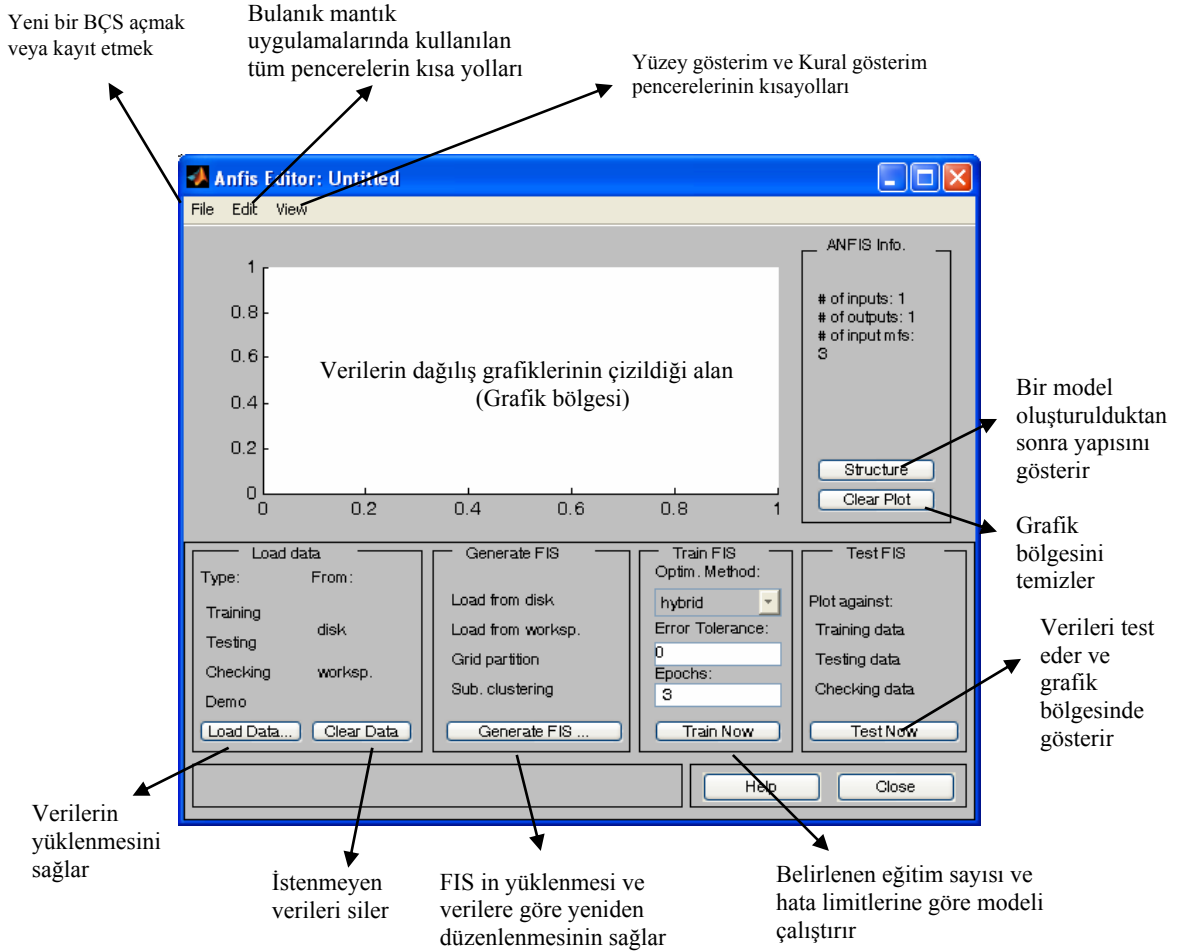
Şekil 9. Kural gösterim penceresinin yardımıyla yapılan işlemlerin gösterimi



Şekil 10. Yüzey gösterim (Surface Viewer) penceresinin açılışı (a) ve görünüşü (b)

MATLAB,'da tüm bu pencerelerin yanında, TSK çıkarım yöntemi kullanılarak oluşturulan bir bulanık modelin çıktı değişkenine ait parametrelerin bulunması için kullanılan ANFIS editörde mevcuttur. ANFIS sadece TSK çıkarım yöntemi kullanılarak oluşturulan bulanık modellerin güvenilirliğinin test edilmesi ve parametrelerinin tahmin

edilmesinde kullanılmaktadır. MATLAB programında ANFIS editör penceresini açmak için iki farklı yol kullanılabilir. Bunlardan birincisi MATLAB ilk çalıştırıldığında açılan Command window kısmında *anfisedit* yazıp enter tuşuna basılarak açılabilir. İkincisi ise bulanık mantık araç kutusu yardımıyla açılan ÜF yazım penceresinde (Şekil 4.) Dosya> Yeni BÇS> Sugeno (File>New FIS> Sugeno) yolu izlenerek yeni bir BÇS penceresi açılır. Burada Düzen menüsünden “anfise” tıklanarak ANFIS penceresi açılır (Şekil 11.).



Şekil 11. ANFIS Editör penceresi

ANFIS editör kullanılarak sıfırdan bir bulanık model veya sistem oluşturulabildiği gibi daha önce TSK çıkarım yöntemi kullanılarak oluşturulan model yada sistemler çağrılarak da bunlar üzerinde düzeltmeler yapılabilir.

ANFIS editör 4 temel bölümden oluşmaktadır. Bunlar veri yükle (Load data), BÇS oluştur (Generate FIS), BÇS eğit (Train FIS) ve BÇS test et (Test FIS) şeklindedir (Şekil 11.). Bu bölümlerden birincisi olan veri yükleme bölümünde Eğitim (Training), Test (Testing), Kontrol (Checking) ve Örnek (Demo) olmak üzere 4 farklı veri seti

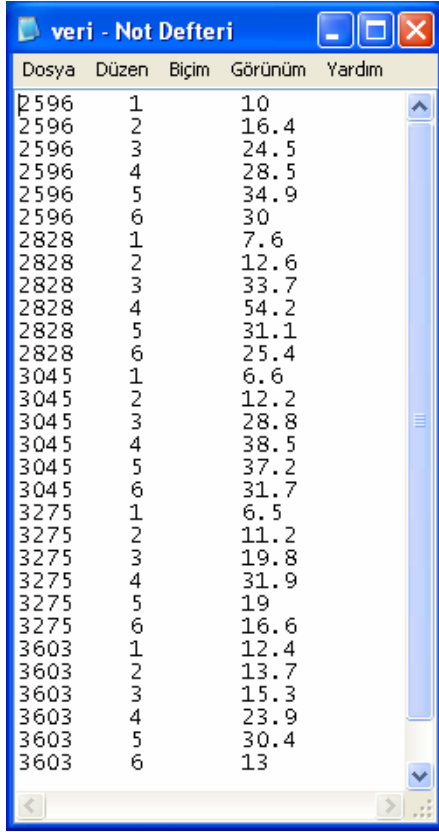
kullanılabilir (KOIVO, 2006). Daha önceden de ifade edildiği gibi ANFIS in temelini YSA oluşturmaktadır. YSA kullanılarak oluşturulan bir modelin güvenilir tahminlerde bulunabilmesi için değişik açılardan denenmesi gereklidir. YSA eğitilmesi esnasında o kadar küçük hata değerine ulaşılabilir ki bu gerçekte tesadüfen karşılaşılmış bir durum olabilir. Bunun için eldeki verilerin Eğitim, Test ve Kontrol olmak üzere 3 bölüme ayrılmasında fayda vardır (ŞEN, 2004c). ŞEN (2004c) ye göre SMITH ve ELI (1995) bu ayrımın oranının sırası ile % 40, % 30 ve % 30 olmasını önermişlerdir. Verilerin bu şekilde ayrılması zorunlu değildir. Araştırmacı verilerini bölmeden ANFIS editör penceresinde (Şekil 11.) Veri yükleme bölümünde veri yükle düğmesine basarak okutabilir. Bu durumda modelin doğru tahmin yapıp yapmadığına hesaplanan hata değerine bakarak karar verir. Veriler ANFIS' e Command Windows da *load* komutu ile de girilebilir. Burada girilen verinin tipine göre dosyalara isim verilmesi gerekmektedir. Örneğin eğitim verisi yüklenecekse dosya isminin sonunda *trnData*, kontrol verisi yüklenecekse *chkdata* yazılmalıdır (ANONYMOUS, 2005)

```
load fuzex1trnData.dat
```

```
load fuzex1chkData.dat
```

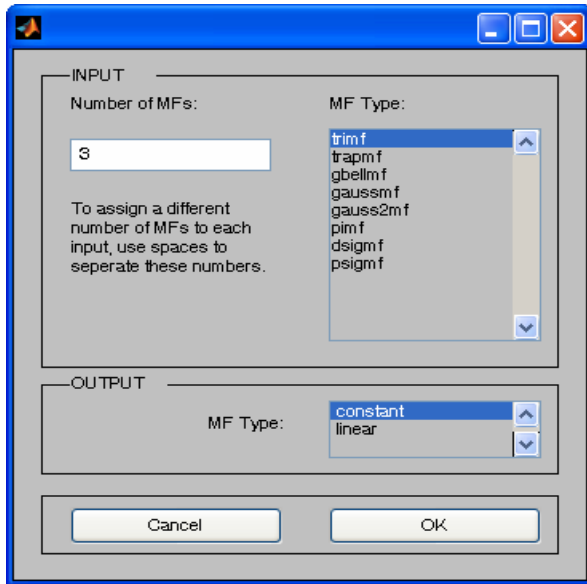
ANFIS'e aktarılacak veriler windows notepad programında sütunlar halinde hazırlanmalıdır. Burada önemli olan çıktı değişkenine ait değerler en son sütunda yer almalıdır (Şekil 12.) (MARCE ve ark., 2004).

ANFIS editörde verileri yüklerken veri dosyasının konumunun belirtilmesi için "disk" ve "workspace". seçenekleri bulunmaktadır. Sisteme yüklenecek veri dosyası eğer programın çalışma dosyalarını içinde bulunduran "work" klasöründe ise "workspace" seçeneği, burada değilse disk seçeneği işaretlenmelidir. Veriler yüklendikten sonra BÇS oluşturma (Generate FIS) aşamasına geçilir. Bu aşamada daha önceden hazırlanmış bir bulanık model, dosyanın konumuna göre "load from disk" veya "load from workspace" seçenekleri işaretliken yükle düğmesine basılarak yüklenir. Mevcut model ANFIS'e yüklendikten sonra BÇS oluştur düğmesine basılarak açılan pencerede (Şekil 13.) gerekli görülürse değişkenlere ait üyelik fonksiyonlarının şekli ve sayısı değiştirilebilir. Ya da "grid partition" seçeneği işaretlenip BÇS oluştur düğmesine basılarak açılan pencerede (Şekil 13.) sıfırdan bir bulanık model oluşturulabilir.



Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
2596	1		10	
2596	2		16.4	
2596	3		24.5	
2596	4		28.5	
2596	5		34.9	
2596	6		30	
2828	1		7.6	
2828	2		12.6	
2828	3		33.7	
2828	4		54.2	
2828	5		31.1	
2828	6		25.4	
3045	1		6.6	
3045	2		12.2	
3045	3		28.8	
3045	4		38.5	
3045	5		37.2	
3045	6		31.7	
3275	1		6.5	
3275	2		11.2	
3275	3		19.8	
3275	4		31.9	
3275	5		19	
3275	6		16.6	
3603	1		12.4	
3603	2		13.7	
3603	3		15.3	
3603	4		23.9	
3603	5		30.4	
3603	6		13	

Şekil 12. Windows Notepad’de verilerin hazırlanışı



INPUT

Number of MFs:

To assign a different number of MFs to each input, use spaces to separate these numbers.

MF Type:

OUTPUT

MF Type:

Cancel OK

Şekil 13. BÇS oluştur düğmesine basıldığında açılan pencere

Bu pencerede girdi ve çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının şekli ve sayıları belirlenebilir. Sistem istenen sonucu verene kadar buradan kolay bir şekilde değişiklikler yapılabilir (KOIVO, 2006).

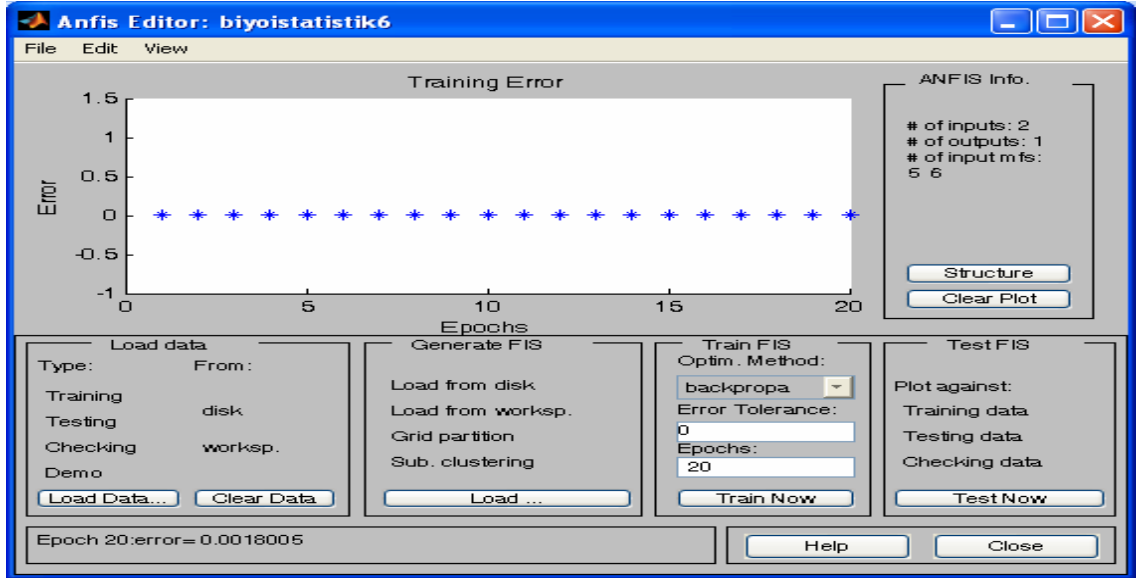
ANFIS editörün üçüncü aşaması olan Eğitim aşamasında oluşturulan model test edilmektedir. Test için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi “backpropagation” olarak adlandırılan geriye besleme yöntemidir. İkincisi ise “hybrid” şeklinde isimlendirilen ve “backpropagation” ile en küçük kareler yönteminin birlikte kullanıldığı yöntemidir. Bu aşamada araştırmacı hata sınırını belirler. ANFIS editörün eğitim kısmında bulunan müsaade edilebilir hata (Error Tolerance) kutucuğuna bu sınırı direkt yazabilir. Bu değerın sıfır olması istenir fakat pratikte bu değeri yakalamak mümkün değildir. Değerin 0.01 ya da 0.05 olmasında araştırmacılar için yeterlidir. Bu hata sınırı RMSE (Root Mean Square Error) değeridir. Bu değer ANFIS editörün sol alt köşesinde gösterilir (Şekil 14). Daha önce ifade edildiği gibi veriler sisteme eğitim, test ve kontrol olarak girilebilir. Eğitim olarak girildi ise model tarafından tahmin edilen sonuç değeri ile gözlem değeri arasındaki fark eğitim hatası (Training error) olarak adlandırılır. Test olarak girildi ise test hatası (Testing error) ve Kontrol olarak girildi ise kontrol hatası (Checking error) olarak adlandırılır. Bu hata değerlerinin her eğitim aşamasındaki (epochs) değeri ANFIS editörün grafik bölgesinde şekil olarak gösterilmektedir (Şekil 14.) (ANONYMOUS, 2005). RMSE bu hata değerlerini kullanarak,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır. Burada  $y_i$ ; gözlenen sonuç değerini,  $\hat{y}_i$ ; tahmin edilen sonuç değerini,  $n$ ; toplam yapılan tahmin sayısını gösterir (WARNE, ve ark., 2004; YILDIRIM ve BAYRAMOĞLU, 2006)

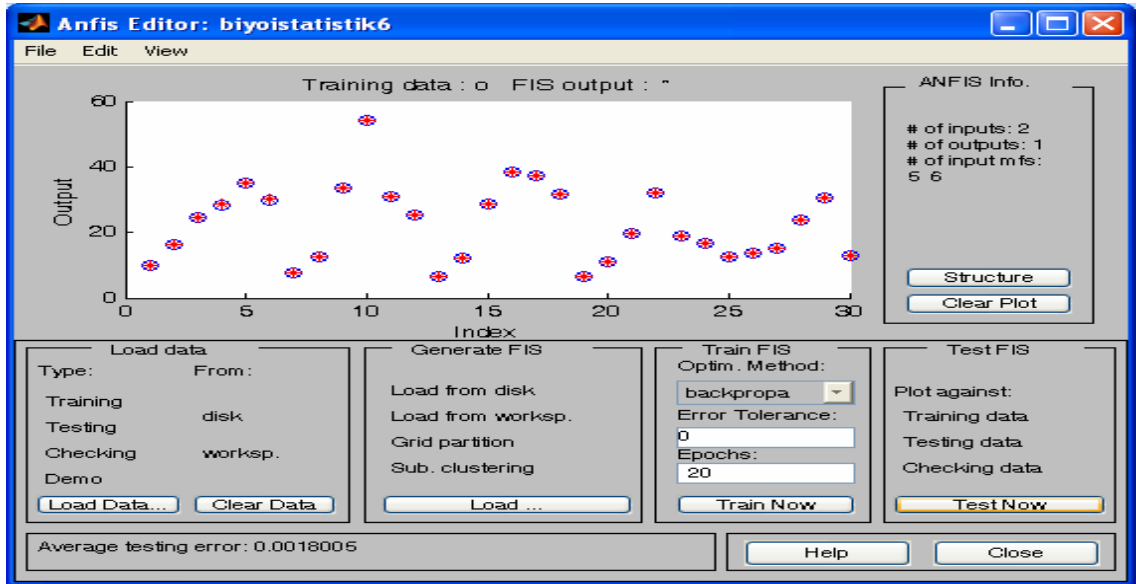
Bulanık çıkarım sistemlerinin eğitim aşamasında önemli bir noktada test edilecek sistemde girdi ve çıktı değişkenleri arasında kaç kez gidip gelme (eğitme) işleminin yapılacağını gösteren “epochs” sayısının belirlenmesidir. Genellikle bu değerin 3 olarak alınması önerilir. Değerin büyütülmesi hatayı azaltmadığı gibi fazladan zaman harcanmasına neden olmaktadır. Bu değerin 100’ü geçmemesi istenir (ANONYMOUS, 2005). Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra Eğitim (Train now) düğmesine basılarak oluşturulan model çalıştırılır ve ANFIS editör penceresinin sol alt

köşesinde verilen RMSE değeri kabul edilebilir sınırlarda ise son aşama olan test aşamasına geçilir. İstenen sınırlara ulaşamadı ise sistem yeniden gözden geçirilir.



Şekil 14. Örnek bir bulanık sistemin eğitildikten sonraki ANFIS editör penceresi

Test aşamasında eğitim verisi ile bulanık modelin yapmış olduğu tahmin değerleri karşılaştırılır. Girdi değerlerine karşılık gelen gözlem değerleri ve tahmin değerlerinin dağılımları ANFIS editör penceresinin grafik bölgesinde gösterilir. Burada gözlenen değerler ve tahmin değerlerinin çakışması modelin doğru tahminde bulunduğu bir göstergesidir (Şekil 15.).

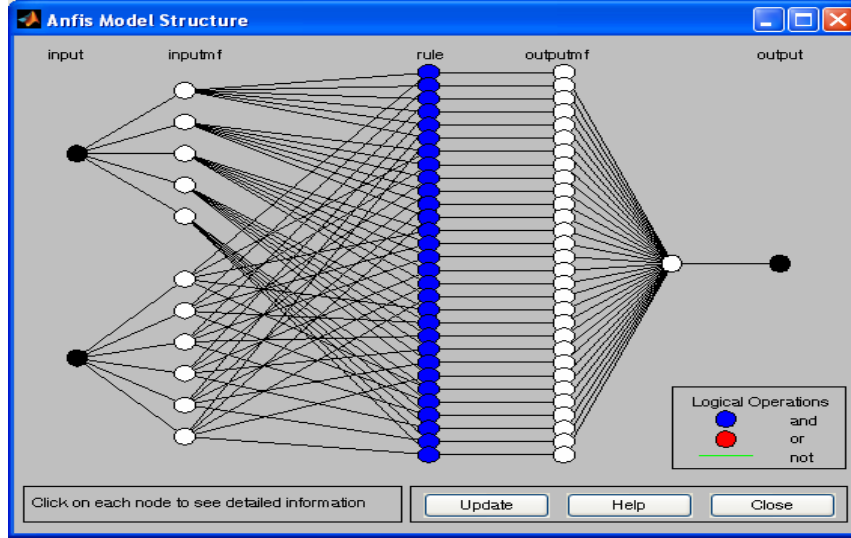


Şekil 15. Test aşamasından sonra ANFIS editör penceresi



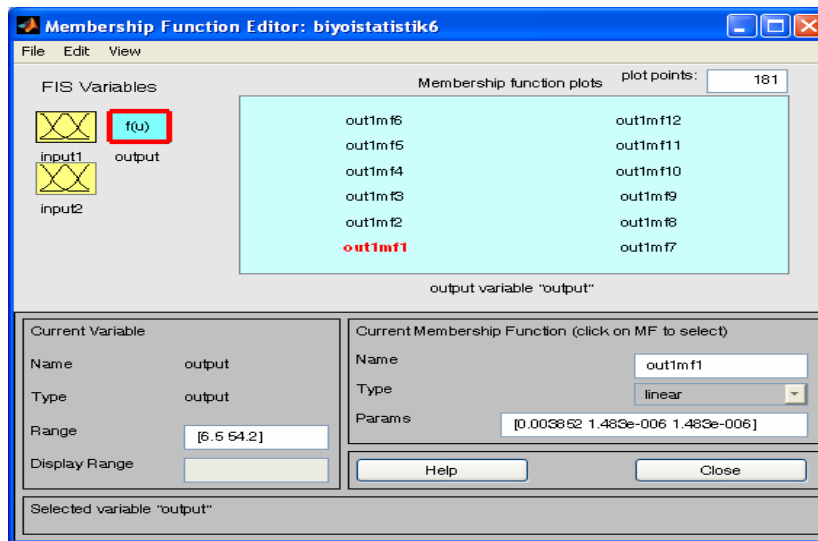
Eğer model oluşturulurken veriler eğitim, test ve kontrol olarak ayrıldı ise bu veriler kullanılarak da tahmin değerleri test edilebilir.

Test işlemi sonunda modelin düzgün çalıştığına kanaat getirildi ise ANFIS editörde “structure” düğmesine basılarak oluşturulan modelin yapısı şekilsel olarak gözlemlenebilir (Şekil 16.).



Şekil 16. ANFIS model yapısının genel görünümü

Çıktı değişkeni doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlandı ise bu fonksiyona ait parametre değerleri ANFIS editörün Düzen menüsünden üyelik fonksiyonu (membership function) seçeneğine basılarak açılan ÜF yazım penceresinden okunabilir (Şekil 17.).



Şekil 17. Örnek uygulama sonunda ÜF yazım penceresinde parametre değerlerinin okunması

**EK 2. Bal Örneklerine Ait Biyokimyasal Değerler**

Örnek	Diastase	HMF (mg kg <sup>-1</sup> )	Nem (%)
1	6.00	75	24
2	6.00	4.00	24.00
3	8.00	4.22	17.00
4	12.00	10.0	16.00
5	16.00	12.0	23.00
6	20.0	14.0	28.00
7	24.0	16.0	24.00
8	30.0	18.0	22.56
9	3.77	20.0	26.20
10	4.50	25.0	25.00
11	6.80	30.0	27.00
12	8.90	65.0	21.00
13	10.0	60.0	26.50
14	12.0	80.0	22.00
15	4.00	90.0	28.00
16	4.00	85.0	25.00
17	10.0	8.00	17.00
18	6.00	30.0	22.00
19	4.00	85.0	27.00
20	29.4	2.17	18.40
21	17.9	2.17	17.81
22	23.4	2.17	18.00
23	29.4	4.99	17.10
24	28.4	4.60	17.30
25	28.6	6.72	17.22
26	25.4	5.44	17.20
27	23.0	4.60	18.70
28	27.0	3.07	18.40
29	24.0	6.14	18.47
30	10.9	1.92	17.09
31	2.00	66.0	26.00
32	4.50	68.0	28.00
33	3.60	76.0	26.50
34	5.31	90.0	27.00
35	2.60	86.0	28.00

**EK 3. Balıkların CAA ile İlgili Çalışmaya Ait Veriler**

Enerji (SE/kg)	Periyot (Ay)	Ort. Gerçek CAA (g/ay)	Ort.Tahmin edilen CAA (g/Ay)
2596	1	10.0	10.0
2596	2	16.4	16.4
2596	3	24.5	24.5
2596	4	28.5	28.5
2596	5	34.9	34.9
2596	6	30.0	30.0
2828	1	7.60	7.60
2828	2	12.6	12.6
2828	3	33.7	33.7
2828	4	54.2	54.2
2828	5	31.1	31.1
2828	6	25.4	25.4
3045	1	6.60	6.6
3045	2	12.2	12.2
3045	3	28.8	28.8
3045	4	38.5	38.5
3045	5	37.2	37.2
3045	6	31.7	31.7
3275	1	6.50	6.50
3275	2	11.2	11.2
3275	3	19.8	19.8
3275	4	31.9	31.9
3275	5	19.0	19.0
3275	6	16.6	16.6
3603	1	12.4	12.4
3603	2	13.7	13.7
3603	3	15.3	15.3
3603	4	23.9	23.9
3603	5	30.4	30.4
3603	6	13.0	13.0

**EK 4. Hayvan Davranışlarının Ait Veriler**

Hayvanlar	Lokomotif Aktivite	Dinlenme
1	478	470
2	733	272
3	427	469
4	504	433
5	537	471
6	247	652
7	357	482
8	371	700
9	490	360
10	651	318
11	448	516
12	540	480
13	505	460
14	256	604
15	352	468
16	336	658

### EK 5. Balların Kalite Sınıflarına Ayrılması ile İlgili Uygulamannın Elle Çözülmesi

Materyal kısmında açıklanan ve Ek 2’de verilen 35 bal örneğine ait biyokimyasal özellikler kullanılarak oluşturulan KDS’inin çalışma mantığının daha iyi anlaşılması amacıyla, sadece 1 nolu bal örneğine ait biyokimyasal değerler oluşturulan KDS’ine girildiğinde verilerin geçirmiş olduğu aşamalar ve yapılan işlemler elle yapılmıştır. Sonuçlar ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

Örnek 1’e ait biyokimyasal değerler Çizelge 4.5’de verilmiş olan bulanık kurallardan  $Q_{2.3}$ ,  $Q_{2.4}$ ,  $Q_{2.8}$  ve  $Q_{2.9}$ ’u etkilemektedir. Bu kuralların açık yazılışı

$Q_{2.3}$  IF Nem=Orta AND HMF =Yüksek AND Diastase= Orta THEN Kalite = Orta kaliteli

$Q_{2.4}$  IF Nem =Düşük AND HMF =Yüksek AND Diastase= Orta THEN Kalite = Orta kaliteli

$Q_{2.8}$  IF Nem =Orta AND HMF =Orta AND Diastase= Orta THEN Kalite = Orta kaliteli

$Q_{2.9}$  IF Nem =Düşük AND HMF =Orta AND Diastase= Orta THEN Kalite = Orta kaliteli

şeklinde dir. Bu çalışmada kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu üyelik fonksiyonlarının yardımıyla girdi değerlerine ait üyelik dereceleri Eşitlik 3.29. ve 3.30. kullanılarak

$$\begin{aligned}\mu_{Orta}(24) &= \frac{25 - 24}{25 - 21} = 2.25 & \mu_{Düşük}(75) &= \frac{80 - 75}{80 - 60} = 0.25 \\ \mu_{Yüksek}(24) &= \frac{24 - 21}{25 - 21} = 0.75 & \mu_{Orta}(75) &= \frac{75 - 60}{80 - 60} = 0.75\end{aligned}$$

$$\mu_{Orta}(6) = 1$$

şeklinde bulunur. Bu üyelik derecelerine göre girdi değişkenlerine ait değerlerin etkilemiş olduğu kuralların eşik değerleri

$$w_{2.3} = \min(\mu_{Orta}(24), \mu_{Düşük}(75), \mu_{Orta}(6))$$

$$w_{2.3} = \min(0.25, 0.25, 1) = 0.25$$

$$w_{2.4} = \min(\mu_{Yüksek}(24), \mu_{Orta}(75), \mu_{Orta}(1))$$

$$w_{2.4} = \min(0.75, 0.25, 1) = 0.25$$

$$w_{2.8} = \min(\mu_{Orta}(24), \mu_{Orta}(75), \mu_{Orta}(6))$$

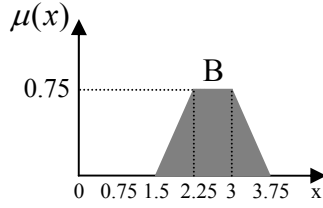
$$w_{2.8} = \min(0.25, 0.25, 1) = 0.25$$

$$w_{2.9} = \min(\mu_{Yüksek}(24), \mu_{Orta}(75), \mu_{Orta}(6))$$

$$w_{2.9} = \min(0.75, 0.25, 1) = 0.25$$

şeklinde hesaplanır. Bu değerlere göre kurallara ait sonuç kümeleri Şekil 2’deki gibi olur. Bu sonuç kümeleri birleşim aşamasında Eşitlik 3.5 yardımıyla bulanık kümelere

birleşim kuralı gereğince birleştirilerek birleşim kümesi elde edilir. Bu bulanık birleşim kümesinin görünümü Şekil 1’de verilmiştir.



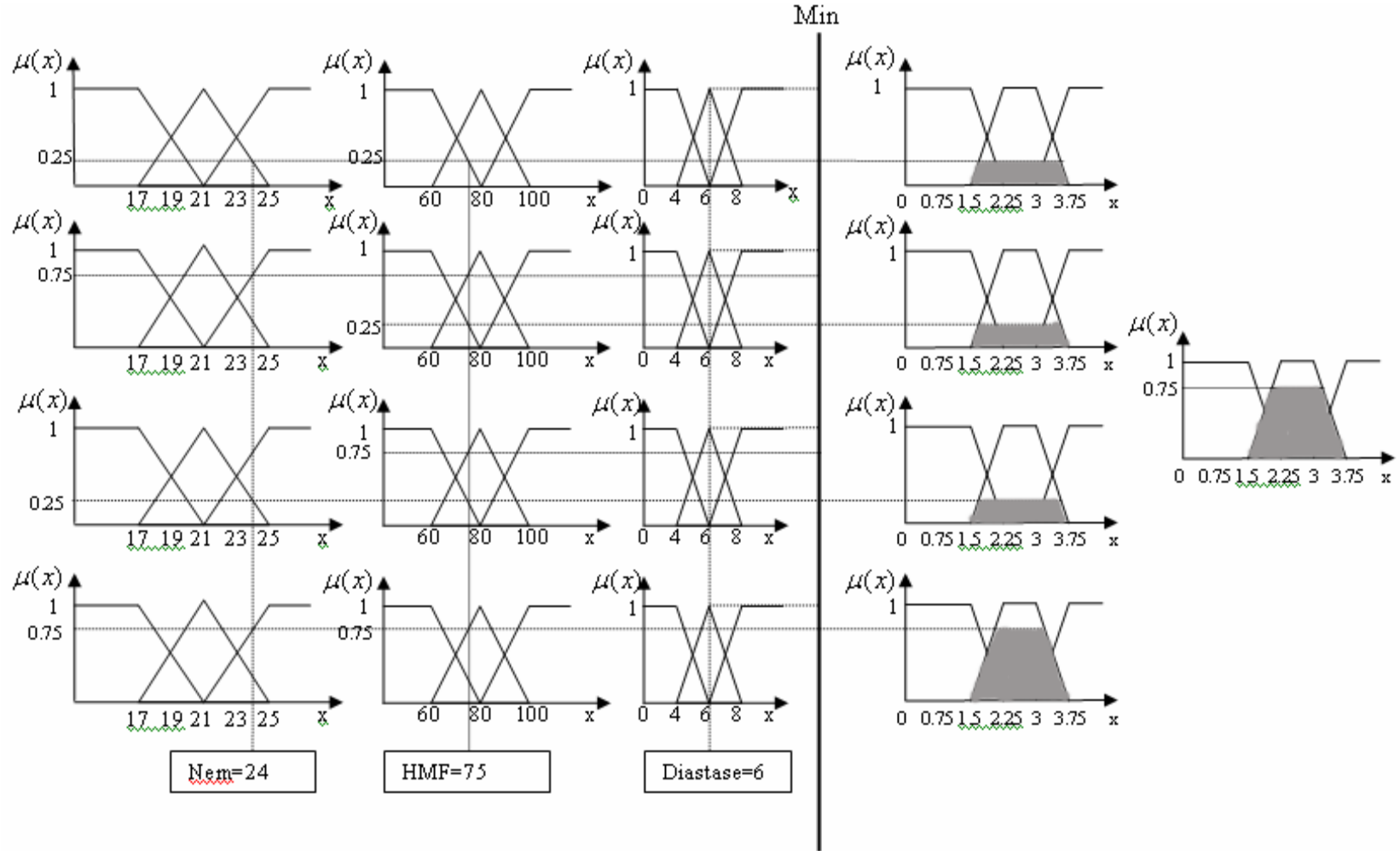
Şekil 1. Bulanık birleşim kümesinin görünümü

Elde edilen bu ‘B’ bulanık kümesinde kesin bir değer ( $y^*$ ) elde etmek amacıyla Sentroid durulaştırma yöntemi kullanılmıştır. Sonuç değeri Eşitlik 3.42 yardımıyla

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i)}$$

$$y^* = \frac{(1.5 * 0) + (2.25 * 0.75) + (2.5 * 0.75) + (3 * 0.75) + (3.75 * 0)}{0.75 + 0.75 + 0.75} = 2.58$$

şeklinde hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer orta kalite sınıfı sınırları içerisine düşmektedir. Bu nedenle 1 nolu bal örneği orta kaliteli bal olarak sınıflandırılır. Çizelge 4.6. incelendiğinde 1 nolu bal örneğinin uzman tarafından da orta kalite sınıfına ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 2. Örnek değerlerin etkilemiş olduğu kuralların genel görünümü

## EK 6. Balıkların CAA'nın Tahmini ile İlgili Uygulamanın Elle çözümü

Materyal kısmında bahsedilen ve Ek 3'de verilen balıkların CAA ile ilgili veriler bulanık mantık yaklaşımı ile TSK çıkarım yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Araştırma Bulguları ve Tartışma kısmında sonuçları verilen bu çalışmadaki işlemlerin daha iyi anlaşılması için elle çözümleri aşağıda verilmiştir.

Çalışmada 7 farklı model oluşturulmuştur. Bu modellerden en iyi tahminleri Model 7 yapmıştır. Burada Model 7 deki işlemler açıklanacaktır. Çalışmada iki girdi değişkeni kullanılarak balıkların CAA tahmin edilmiştir. Bu değişkenler hayvanların yemiş olduğu yemin enerji içeriği ve CAA ölçüldüğü farklı periyotlardır. Her iki girdi değişkeni için pi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır (Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.).

Enerji içeriği 2950 SE/kg olan yemle beslenen bir balığın 2'inci aydaki CAA tahmin edilmek istenildiğinde 2950 SE/kg değerinin Az ve Orta enerji düzeyleri kümelerindeki üyelik dereceleri Eşitlik 3.35. yardımıyla

$$\mu_{Az}(2950,154,2779,2877,154) = \frac{rw}{x - rp + rw} = 0.68$$

$$\mu_{Orta}(2950,154,2996,3094,154) = \frac{lw}{lp + lw - x} = 0.77$$

şeklinde hesaplanır. İkinci girdi değişkeni olan periyot değerinin sadece erken bulanık kümesinde üyeliği vardır ve bu değer 1 dir.

$$\mu_{Erken}(2,0.8,1.9,2.1,0.8) = 1$$

TSK çıkarım yönteminde çıktı değişkeni doğrusal bir fonksiyon olabildiği gibi sabit bir sayıda olabilmektedir. Bu çalışmada çıktı değişkeni sabit bir sayıdır ve EK 3' de verilen girdi değerlerine karşılık gelen gözlenen CAA larıdır. Buna göre bu çalışmada 30 kural yazılmıştır. Enerji=2950 SE/kg ve Periyot=2 ay değerleri bu kurallardan 15'ini etkilemiştir. Bunlar,

Kural 2 IF (Enerji=Çok Az) AND (Periyot=Erken) THEN (z<sub>2</sub>=16.4)

Kural 7 IF (Enerji=Az) AND (Periyot=Çok Erken) THEN (z<sub>7</sub>=7.6)

Kural 8 IF (Enerji=Az) AND (Periyot=Erken) THEN (z<sub>8</sub>=12.6)

Kural 9 IF (Enerji=Az) AND (Periyot=Biraz Erken) THEN (z<sub>9</sub>=33.7)

Kural 10 IF (Enerji=Az) AND (Periyot=Orta) THEN (z<sub>10</sub>=54.2)

Kural 11 IF (Enerji=Az) AND (Periyot=Geç) THEN (z<sub>11</sub>=31.1)

Kural 12 IF (Enerji=Az) AND (Periyot=Çok Geç) THEN (z<sub>12</sub>=25.4)



Kural 13 IF (Enerji=Orta) AND (Periyot=Çok Erken) THEN ( $z_{13}=6.6$ )

Kural 14 IF (Enerji=Orta) AND (Periyot=Erken) THEN ( $z_{14}=12.2$ )

Kural 15 IF (Enerji=Orta) AND (Periyot=Biraz Erken) THEN ( $z_{15}=28.8$ )

Kural 16 IF (Enerji=Orta) AND (Periyot=Orta) THEN ( $z_{16}=38.5$ )

Kural 17 IF (Enerji=Orta) AND (Periyot=Geç) THEN ( $z_{17}=37.2$ )

Kural 18 IF (Enerji=Orta) AND (Periyot=Çok Geç) THEN ( $z_{18}=31.7$ )

Kural 20 IF (Enerji=Yüksek) AND (Periyot=Erken) THEN ( $z_{20}=11.2$ )

Kural 26 IF (Enerji=Çok Yüksek) AND (Periyot=Erken) THEN ( $z_{26}=13.7$ )

şeklinde. TSK çıkarım yöntemine göre oluşturulan bu kuralların sonuç değerleri ( $z_i$ ), eşik değerleri ( $w_i$ ) ve girdi değişkenlerinin üyelik dereceleri Çizelge 1’ de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek değerlerden etkilenen kurallar ve bu kurallara ait bazı değerler

Kurallar	Üyelik dereceleri		Eşik değerleri ( $w_i$ )	Sonuç değerleri ( $z_i$ )	$w_i * z_i$
	Enerji=2950 SE/kg	Periyot=2 ay			
Kural 2	$\mu_{CA}(2950) = 0$	$\mu_E(2) = 1$	0.00	16.4	0.00
Kural 7	$\mu_A(2950) = 0.68$	$\mu_{CE}(2) = 0$	0.00	7.6	0.00
Kural 8	$\mu_A(2950) = 0.68$	$\mu_E(2) = 1$	0.68	12.6	8.57
Kural 9	$\mu_A(2950) = 0.68$	$\mu_{BE}(2) = 0$	0.00	33.7	0.00
Kural 10	$\mu_A(2950) = 0.68$	$\mu_O(2) = 0$	0.00	54.2	0.00
Kural 11	$\mu_A(2950) = 0.68$	$\mu_G(2) = 0$	0.00	31.1	0.00
Kural 12	$\mu_A(2950) = 0.68$	$\mu_{CG}(2) = 0$	0.00	25.4	0.00
Kural 13	$\mu_O(2950) = 0.77$	$\mu_{CE}(2) = 0$	0.00	6.6	0.00
Kural 14	$\mu_O(2950) = 0.77$	$\mu_E(2) = 1$	0.77	12.2	9.39
Kural 15	$\mu_O(2950) = 0.77$	$\mu_{BE}(2) = 0$	0.00	28.8	0.00
Kural 16	$\mu_O(2950) = 0.77$	$\mu_O(2) = 0$	0.00	38.5	0.00
Kural 17	$\mu_O(2950) = 0.77$	$\mu_G(2) = 0$	0.00	37.2	0.00
Kural 18	$\mu_O(2950) = 0.77$	$\mu_{CG}(2) = 0$	0.00	31.7	0.00
Kural 20	$\mu_Y(2950) = 0$	$\mu_E(2) = 1$	0.00	11.2	0.00
Kural 26	$\mu_{CY}(2950) = 0$	$\mu_E(2) = 1$	0.00	13.7	0.00
Toplam			1.45		17.96

Bu elde edilen değerler kullanılarak Eşitlik 3.39 yardımıyla sonuç değeri

$$Sonuç\ Degeri = \frac{\sum_{i=1}^{15} w_i z_i}{\sum_{i=1}^{15} w_i} = \frac{17.96}{1.45} = 12.38$$

şeklinde hesaplanır. Bu sonuca göre oluşturulan bulanık model enerji içeriği 2950 SE/kg olan yemle beslenen bir balığın 2 inci ayındaki CAA 12.38 g olarak tahmin edilmiştir. Araştırmacılar farklı girdi değerleri için aynı yolları kullanarak tahmin yapabilirler.

## EK 7. Hayvanların Davranışları ile İlgili Uygulamanın Elle Çözümü

Materyal kısmında bahsedilen ve Ek 4’de verilen kuzuların davranışları ile ilgili veriler TSK çıkarım yöntemi kullanılarak ANFIS yardımıyla bir bulanık model oluşturularak farklı davranış sayılarına göre kuzuların CAA tahmin edilmeye çalışılmıştır. Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde açıklanan bu çalışmadaki izlenen yol ve yapılan işlemlerin daha iyi anlaşılması için elle çözümleri aşağıda verilmiştir. Çalışmada 5 farklı model oluşturulmuştur (Çizelge 4.9.). Oluşturulan modellerden sadece Model 1’e ait RMSE değeri kabul edilebilir sınırlar altında kalmıştır. Burada bu modele ait işlemlerin elle çözümü verilmiştir. Modelde 2 girdi değişkeni kullanılarak kuzuların deneme sonundaki CAA tahmin edilmiştir. Bu değişkenler lokomotif aktivite (ayakta durma, gezinme, oyun) ve dinlenme (yatma, uyuma) dir. Bulanıklaştırma aşamasında girdi değişkenleri için Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 4.5.). lokomotif aktivite sayısı 478, dinlenme sayısı 470 olan birinci kuzunun deneme sonundaki CAA tahmin edilmek istenildiğinde, 478 lokomotif aktivite sayısının Normal Aktivite, 470 dinlenme sayısının da Normal Dinlenme kümelerindeki üyelik dereceleri Eşitlik 3.31. yardımıyla

$$\mu_{NA}(478,512,70) = \exp \frac{-(478-512)^2}{2*70^2} = 0,89$$

$$\mu_{ND}(470,486,60.88) = \exp \frac{-(470-486)^2}{2*60.88^2} = 0.97$$

şeklinde hesaplanır. TSK çıkarım yöntemi kullanılarak oluşturulan bu modelde çıktı değişkeni olan CAA doğrusal bir fonksiyon ile temsil edilmiştir. Çalışmada 9 kural yazılmıştır. örnek girdi değişken değerleri olan 478 lokomotif aktivite ve 470 dinlenme sayısı bu kurallardan 5 tanesini etkilemektedir. Bu kurallar

Kural 2 IF ( $x_1 = AA$ ) AND ( $x_2 = ND$ ) THEN  $z_2 = 44.83+(-23.64*478)+(-129*470)$

Kural 4 IF ( $x_1 = NA$ ) AND ( $x_2 = AD$ ) THEN  $z_4 = -37.53+(5160*478)+(-48.63*470)$

Kural 5 IF ( $x_1 = NA$ ) AND ( $x_2 = ND$ ) THEN  $z_5 = -56.4+(-37.65*478)+(38.44*470)$

Kural 6 IF ( $x_1 = NA$ ) AND ( $x_2 = ÇD$ ) THEN  $z_6 = -1160+(601*478)+(0.9889*470)$

Kural 8 IF ( $x_1 = ÇA$ ) AND ( $x_2 = ND$ ) THEN  $z_8 = 1009+(17.01*478)+(0.5865*470)$

şeklinde bu kurallarda yer alan çıktı değişkenindeki parametre değerleri başlangıçta rasgele belirlenir. Daha sonra en az hatayı veren değerlere ulaşıncaya kadar iterasyon işlemi yapılır. Burada verilmiş olan parametre değerleri ANFIS editör kullanılarak

bulunan nihai değerlerdir. Bu kuralların sonuç değerleri ( $z_i$ ), eşik değerleri ( $w_i$ ) ve girdi değişkenlerine ait üyelik dereceleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek değerlerden etkilenen kurallar ve bu kurallara ait bazı değerler

Kurallar	Üyelik dereceleri		Eşik değerleri ( $w_i$ )	Sonuç değerleri ( $z_i$ )	$w_i * z_i$
	Lok. Aktivite=478	Dinlenme=470			
Kural 2	$\mu_{AA}(478) = 0.00$	$\mu_{ND}(470) = 0.97$	0.00	0.00	0.00
Kural 4	$\mu_{NA}(478) = 0.89$	$\mu_{AD}(470) = 0.00$	0.00	0.00	0.00
Kural 5	$\mu_{NA}(478) = 0.89$	$\mu_{ND}(470) = 0.97$	0.89	13.70	12.19
Kural 6	$\mu_{NA}(478) = 0.89$	$\mu_{CD}(470) = 0.00$	0.00	0.00	0.00
Kural 8	$\mu_{CA}(478) = 0.00$	$\mu_{ND}(470) = 0.97$	0.00	0.00	0.00
Toplam			0.89		13.70

Bu elde edilen değerler kullanılarak Eşitlik 3.39. yardımıyla sonuç değeri

$$\text{Sonuç değeri} = \frac{\sum_{i=1}^5 w_i z_i}{\sum_{i=1}^5 w_i} = \frac{0.89 * 13.70}{0.89} = 13.70$$

olur. Elde edilen bu değer gözlenen CAA değeri (Çizelge 4.11.) ile karşılaştırılır ve Eşitlik 3.40 yardımıyla bağıl hata değeri

$$H_i = \frac{|b_i - \zeta_i|}{b_i} \times 100 = \frac{|13.68 - 13.70|}{13.68} \times 100 = \% 0.1462$$

şeklinde hesaplanır. Bu hata değeri kabul edilebilir sınırlar altında olduğu için aynı parametre değerleri ile ikinci kuzuya ait CAA tahmin edilir. Eğer herhangi bir kuzunun CAA tahmin değerine ait bağıl hata değeri %5 veya % 10 hata sınırları üstünde çıkarsa parametre değerleri değiştirilir ve tüm işlemler baştan tekrar edilir. Kuzuların tamamı için CAA tahmin değerlerine ait bağıl hata değerleri kabul edilebilir sınırlar altında çıktığında parametre değerleri sabitlenir.