T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİMİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KURAL TABANLI BULANIK MODELLEME VE FİYAT TAHMİNLEME SÜRECİNDE BİR UYGULAMA

Ejder AYÇIN

Danışman

Prof. Dr. Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU

2011

YÜKSEK LİSANS
TEZ/ PROJE ONAY SAYFASI

2009800086

Üniversite	: Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü	: Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı	: Ejder AYÇIN
Tez Başlığı	: Kural Tabanlı Bulanık Modelleme ve Fiyat Tahminleme Sürecinde Bir Uygulama
Savunma Tarihi	: 09.08.2011
Danışmanı	: Prof.Dr.Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU

JÜRİ ÜYELERİ

Ünvanı, Adı, Soyadı	**Üniversitesi**	**İmza**
Prof.Dr.Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU	YAŞAR ÜNİVERSİTESİ	....
Doç.Dr.Ali ÖZDEMİR	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	....
Yrd.Doç.Dr.Güzin ÖZDAĞOĞLU	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	....

Oybirliği (X)

Oy Çokluğu ( )

Ejder AYÇIN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "**Kural Tabanlı Bulanık Modelleme ve Fiyat Tahminleme Sürecinde Bir Uygulama**" başlıklı Tezi( ) / Projesi( ) kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Utku UTKULU
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Kural Tabanlı Bulanık Modelleme ve Fiyat Tahminleme Sürecinde Bir Uygulama" adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

..../..../.......

Ejder AYÇIN

İmza

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kural Tabanlı Bulanık Modelleme ve Fiyat Tahminleme Sürecinde Bir Uygulama

Ejder AYÇIN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Yönetim Bilimi Programı

İşletmelerin son yıllarda küresel ekonominin varlığıyla artan rekabet ortamında varlıklarını devam ettirmeleri için, kendilerine katma değer yaratacak, etkin stratejiler geliştirmeleri zorunlu bir hal almıştır. Stratejilerin belirlenmesinde, geleceğe yönelik doğru tahminlemelerde bulunmak fark yaratacak önemli bir unsur olmaktadır. Bu doğrultuda işletmeler kalitatif veya kantitatif birçok tahmin yöntemini kullanmaya yönelmişlerdir.

Doğru karar vermenin işletmeler için oldukça önemli olduğu belirsizlik ortamlarında, ilgili kararların alınması sürecinde deterministik yöntemler, her zaman doğru modelleme imkanı vermemektedir. İnsan yargılarının çoğunlukla söz konusu olduğu belirsizlik durumlarında, insan yargılarının dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonları yardımıyla sayısallaştırılması esasına dayanan 1960'lı yıllarda Zadeh tarafından geliştirilen Bulanık Mantık yaklaşımı, karar verme sürecinde kullanılan önemli bir karar verme yöntemi olmaktadır.

Bu tez çalışmasında Bulanık Mantık ile Bulanık Modelleme konuları teorik olarak incelenmiş ve bu kapsamda boya uygulamaları sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın katıldığı ihalelerdeki fiyat tahminlemesine

yardımcı olacak, kural tabanlı bir bulanık model oluşturularak bir uygulama yapılmıştır. Bulanık modelle elde edilen bulgular ile firmanın tahmin sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Kural Tabanlı Bulanık Modelleme, Fiyat Tahminleme

ABSTRACT

Master's Thesis

Fuzzy Rule-Based Modeling and An Implementation of a Price Forecasting Process

Ejder AYÇIN

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Business Administration

Management Science Program

In recent years, developing effective strategies those create added value, have become mandatory for the businesses to survive in an increasingly competitive environment by the presence of global economy. Making accurate demand forecasts for the future becomes an important element making difference in strategy determination . In this respect, enterprises have turned to use several qualitative or quantitative forecasting methods.

In uncertainty environments where making sound decisions is very important for the businesses, the deterministic methods do not always enable accurate modeling in process of making relevant decisions. In uncertain environments commonly consisting of human judgments, fuzzy logic approach, which is based on the essence of digitization of human judgments by aid of linguistic variables and membership functions and that was developed by Zadeh in the 1960s, occurs as a crucial decision making method used in decision-making process.

In this thesis, Fuzzy Logic and Fuzzy Modeling subjects had been examined theoretically and in this context an application is made by creating a rule-based fuzzy model that would help to price forecasting in tenders those a

firm operating in paint sector participates in. The findings of fuzzy model has been shown in comparison with the estimated results of firm.

Keywords: Fuzzy Logic, Fuzzy Rule-Based Modeling, Price Forecasting

KURAL TABANLI BULANIK MODELLEME VE FİYAT TAHMİNLEME SÜRECİNDE BİR UYGULAMA

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MODELLEME

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

TABLOLAR LİSTESİ

ŞEKİLLER LİSTESİ

GİRİŞ

Günümüz küreselleşen dünyasında, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için geleceğe yönelik doğru tahminlerde bulunmaları ve stratejilerini bu tahminlere göre yönlendirmeleri bir zorunluluk haline gelmiştir. İşletmelerin vereceği kararların ve yapacağı planların temelini tahminleme süreci oluşturmaktadır. Dolayısıyla işletmeler bu süreçleri en iyi şekilde yönetmeli ve en doğru tahminlerde bulunmalıdırlar. Bu doğrultuda işletmeler geleceğe yönelik tahminlerde bulunabilmek için çeşitli analiz yöntemlerini yoğun olarak kullanmaya başlamışlardır.

İnsan yargılarının çoğunlukla söz konusu olduğu belirsiz bir sistem yapısıyla karşı karşıya kalındığında, klasik yöntemlere göre daha rahat modelleme imkanı veren bulanık mantık yaklaşımı bu tez çalışmasının konusu olmaktadır. Bu çalışmada işletmelerin karar vermeye yönelik tahminleme süreçlerinde bulanık mantık yardımıyla oluşturulan modellerin kullanılmasını ve uygulanışını göstermek ve elde edilen sonuçları gerçek sonuçlarla kıyaslanması amaçlanmıştır.

Üç bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde bulanık mantık ele alınmıştır. Bulanık mantık yaklaşımı, ihale tahmin süreçleri gibi, insan yargılarının çoğunlukla söz konusu olduğu belirsizlik durumlarında daha rahat modelleme imkanı vermesinden dolayı bu çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık modelleme konusuna yer verilmiştir. Bulanık modellemede yer alan bulanıklaştırma, kural tabanlı çıkarım, durulaştırma gibi kavramlar açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise ihale fiyatlarının tahminlenmesine yönelik bulanık kural tabanlı modelleme uygulaması anlatılmıştır. Fiyat tahmin modelinin oluşturulmasında, Matlab®7.5.0 paket programı Fuzzy Logic modülü kullanılarak bulanık üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanı oluşturulmuştur. Seçilen ihaleye ait iş kalemleriyle ilgili, her bir kalem için birim maliyetler Matlab®7.5.0 paket programı ile hesaplanmış ve toplam maliyet bulunmuştur. Bulanık Modelin sonucundan oluşan tahmin değerleri ile firmanın tahmin değerleri karşılaştırmalı olarak analiz edilip, yorumlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

1.1. BULANIK MANTIĞIN GENEL YAPISI

Klasik mantık, sadece belirli koşullarda oluşan, doğruluk değerleri tamamen doğru yada tamamen yanlıştan biri olan önermelerle ilgilenir. Yani belirsizlikle ilgilenmez. Sadece iki durumun (doğru yada yanlış) gerçekleşmesi nedeniyle klasik mantık 'İki değerli mantık' olarak ta bilinir. Diğer taraftan 1930'lu yıllarda Lukasiewicz tarafından geliştirilen üç değerli mantık ve çok değerli mantık gibi kavramlarda, önermeler ikiden fazla doğruluk değeri ile eşleştirilebilir. Önermelerin tamamen doğru, tamamen yanlış ve kısmen doğru(kısmen yanlış) olduğu kabul edildiği mantığa 'üç değerli mantık' ; doğru ile yanlış arasında sonsuz farklı değer olduğunu kabul eden mantığa ise çok değerli mantık denilmiştir (Chen ve Pham, 2001:57). 1930'larda üzerinde durulan bu kavramlar Bulanık Mantığın temelini oluşturmuştur.

Doğal süreçler, klasik yöntemlere her zaman rahat modelleme imkanı vermez. Belirsizlik ve kesinsizlik durumlarında daha uygun olarak kullanılabilecek L.A. Zadeh'in ileri sürdüğü esnek yöntemler (soft computing) olarak ifade edilebilecek bu grup içerisinde yapay sinir ağları, evrimsel hesaplama, olasılıkçı akıl yürütme, kaotik modelleme ve bulanık mantık gibi yöntembilimler bulunmaktadır (Baykal ve Beyan,2004b:102).

Bulanık Mantık kavramı ilk defa 1965 yılında L.A. Zadeh tarafından yayımlanan 'Fuzzy Sets'(Bulanık Kümeler) isimli makale ile ortaya çıkmıştır (Zadeh,1965). Klasik mantığın oluşturulan bazı önermelerin doğruluk değerlerinin belirlenmesindeki yetersizliği ile ''çok, oldukça, hemen hemen'' gibi belirsizlik içeren kavramların insan düşünce biçimine yaklaşabilmek için kullanılması gerekliliği, bulanık mantığın gelişmesine yol açmıştır (Özkan,2003:123-126).

Bulanık mantığın (Fuzzy Logic) teorisini geliştiren ve geometrik açıklamalarını yapan L.A. Zadeh, problem çözerken insan düşünüş tarzını esas almıştır. "Büyük", "uzun", "sıcak", "yaşlı", "genç" ve "hızlı" gibi nispi kavramların derecelendirilmesinde Zadeh'in geliştirdiği "Bulanık Küme Teorisi" ve matematik formülasyonu, klasik mantığın aksine çok daha geniş ufuk açmıştır (Güneş,2001:176-192).

Gerçekte insan kararları belirsiz veya bulanıktır. Kesin sayısal değerlerle modellemeye uygun değildir. Bu nedenle insan kararlarını modellemede sözel değişkenler kullanmak daha gerçekçi olabilir. bulanık mantığın sözel değişkenlerin kullanımına izin vermesi, bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığı olarak görülmektedir (Li ve Yang,2004:264). Değişken değeri olarak bir dildeki kelimeleri alabilen değişkene 'dilsel değişken' denir (Zadeh,1994:50).

Bulanık mantık, her şeyin bir derecelendirme sorunu olduğunu savunmaktadır. Bulanıklığın bilimsel adı çoklu değerlilik olurken, bunun tersi ise iki değerli mantık veya iki değerliliktir. İki değerli mantıkta 0-1, sıcak-soğuk, genç-yaşlı, uzun-kısa gibi kesin önermeler bulunmaktayken; bulanık mantıkta günlük yaşantıda kullanılan ara durumlar da (az sıcak, çok sıcak, biraz uzun, çok uzun) ifade edilmektedir (Kosko,1993:18-23).

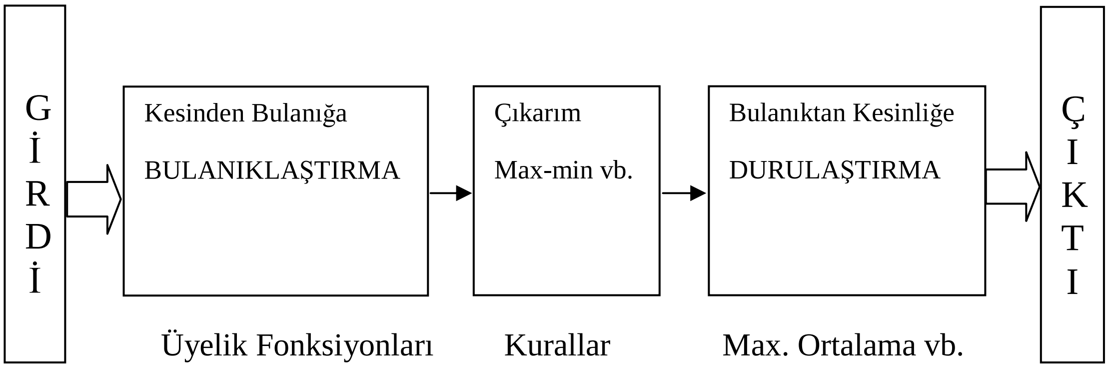
İncelenen olayın karmaşık olması ve olayla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüşlerine ve değer yargılarına yer verilmesi yani insan yargılarına yer verilmesi bulanık mantığın geçerli olduğu durumlarda mümkündür (Kandel,1986:2).

Bulanık mantık, bir sistemin girdi-çıktı ilişkilerini açıklamak için insana dayalı dili kullanan, insanların kesin olmayan ifadelerle düşünme yeteneğiyle örtüşen mantık sistemidir (Özkan,2003:132).

İncelenen sistemlerin karmaşıklığı arttığında, az veya yeterli miktarda veri bulunmadığında bulanıklık o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilmektedir (Şen,2001:8).

Bulanık sistemler, bilgisayara 0 ile 1 arasında doğru değerin nasıl hesaplanacağını gösterebilmek için üyelik fonksiyonlarına dayanmaktadır. Herhangi bir bulanık durumun derecesi 0 ile 1 arasında gösterilmektedir. Tipik bir bulanık sistem kural tabanını, üyelik fonksiyonunu ve çıkarım prosedürünü içermektedir (Metaxiotis vd.,2003:54). Tipik bir bulanık sistem Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

Şekil 1.1. Tipik Bir Bulanık Sistem



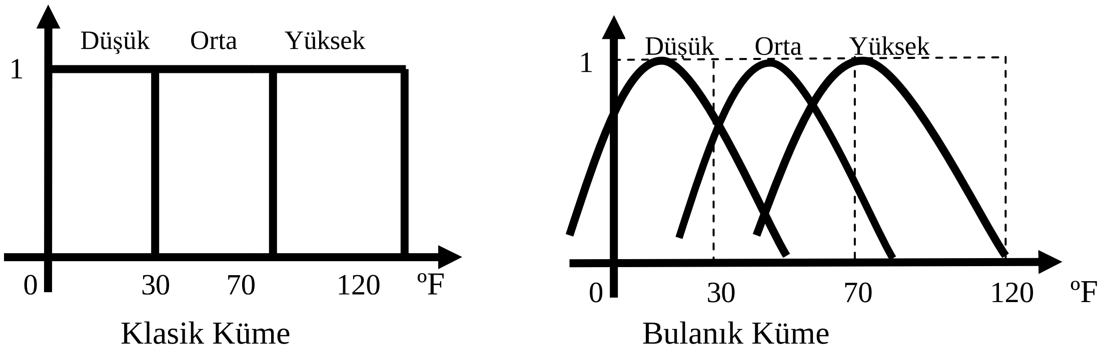
Kaynak: Metaxiotis vd.,2003:54

1.2. BULANIK KÜME TEORİSİ

Klasik küme teorisi bir elemanın belirlenen kümenin elemanı olması ya da olmaması felsefesine dayanmaktadır. İyi tanımlanmış bir küme için kesin belirli bir üyelik veya üye olmama söz konusudur. Diğer bir deyişle, bir eleman için kümenin elemanı olup olmadığına ilişkin sorunun cevabı 'evet' ya da 'hayır'dır. Klasik küme teorisi belirli ya da ihtimale dayalı uygulamalarda kullanılabilir. Bir elemanın kümeye ait olma olasılığı hesaplanabilir. Bir üye %90 ihtimalle kümenin elemanı iken %10 ihtimalle kümeye ait olmayabilir. Ancak sonuç yine 'elemanıdır' ya da 'elemanı değildir' seklinde olacaktır. Klasik kümede kısmi üyelik durumu söz konusu olmadığından, bu küme teorisi gerçek dünyadaki uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. Diğer taraftan kısmi üyeliği kabul eden bulanık küme teorisi, klasik küme teorisini genelleştirilmiş bir hali olmaktadır (Chen ve Pham, 2001:1).

Örneğin; sıcaklık 0-30ºF düşük, 30ºF -70 ºF orta, 70 ºF-120 ºF yüksek olacak şekilde üç kategoriye ayrılabilir. Klasik kümede herhangi bir sıcaklık değeri bu üç kategoriden sadece birine dahildir ve sınırlar çok nettir. Fakat bulanık bir kümede bir sıcaklı değeri, birden fazla kategoriye dahil edilebilir. 40 ºF sıcaklık değeri için %50 olasılıkla düşük veya %70 olasılıkla orta sıcaklık düzeyindedir gibi söylemlerde bulunulması mümkündür (Bai,Y.,vd.,2006:22). Klasik ve bulanık kümeler için sıcaklık değerlerinin gösterimi aşağıdaki gibidir:

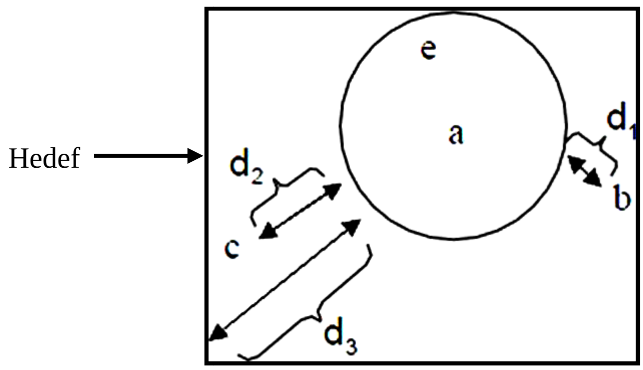
Şekil 1.2. Klasik Küme ve Bulanık Kümenin Gösterimi



Kaynak: Bai,Y.,vd.,2006:22

Bir başka örnek ile klasik küme ve bulanık küme arasındaki temel farklılıkları açıklayabiliriz. Bir hedef ve bu hedefe atış yapan atıcılar bulunmakta ve bu atıcıların hedefi daima vurdukları varsayılmaktadır. Eğer bu olay klasik küme teorisine göre incelenirse, hedefin merkezinde bulunan daireyi vuran atıcılar “iyi”, daireyi vuramayan atıcılar ise “kötü” olarak değerlendirilecektir. Hedefe yapılan atışlar Şekil 1.3’de verilmektedir.

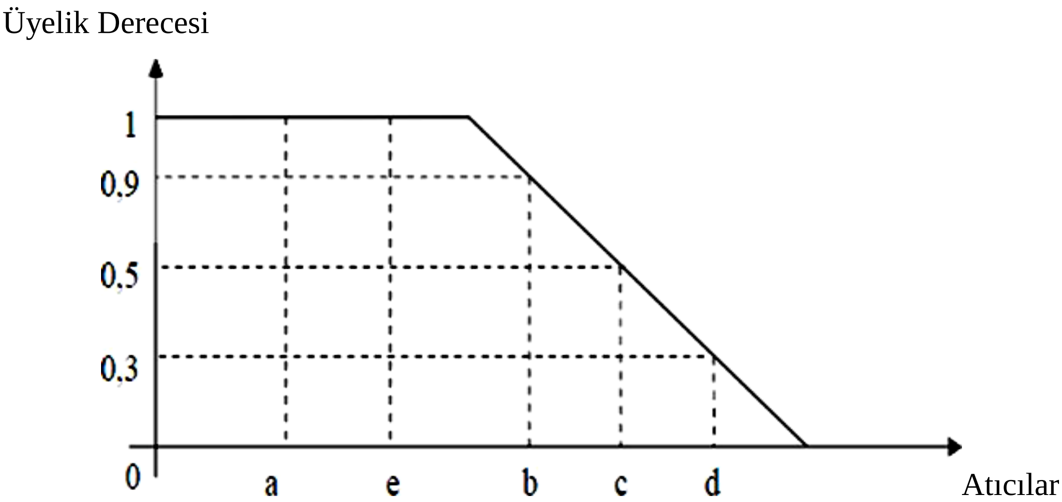
Şekil 1.3. Hedefe Yapılan Atışlar



Atışlar yapıldıktan sonra hedef incelendiğinde klasik küme teorisine göre, daireyi vuran *a* ve *e* atıcıları dışındaki tüm atıcılar “kötü” atıcı olarak sınıflandırılacaktır. Bu da *b* atıcısı ile *d* atıcısı arasındaki farkın göz ardı edilmesine neden olacaktır. Çünkü klasik küme kuramına göre bu iki atıcıda “kötü” atıcılar kümesinin birer elemanıdır ve aralarındaki fark göz ardı edilmektedir. Klasik küme kuramına göre $d_3 > d_1$ olması bir önem taşımamaktadır. Sonuçta, *b* atıcısı *d* atıcısından daha iyi bir atış yapmasına rağmen klasik küme kuramından dolayı, iki atıcının da kötü atıcılar sınıfına girdiği kabul edilmektedir.

Aynı problem bir de bulanık küme kuramı ile ele alınırsa, sonuçların daha adil bir şekilde değerlendirildiği görülecektir. Bu şekilde atıcıların yaptıkları atışların hedefin merkezindeki daireye olan uzaklıkları da göz önüne alınmış olacaktır. Bu sayede *b, c* ve *d* atıcıları arasındaki fark ortaya çıkmış olacaktır. Çünkü Şekil 1.3'e göre *b* atıcısı *c* atıcısından, *c* atıcısı da *d* atıcısından daha iyi atıcılardır. d_1 , d_2 ve d_3 uzaklıklarının 3, 4 ve 5 cm olduğunu varsayarsak üyelik fonksiyonunun grafiği Şekil 1.4'teki gibi bu uzaklıklara bağlı olacaktır. Hedefe yakın olan atışa sahip atıcının üyelik fonksiyonu uzak olanınkine oranla daha büyük olacaktır (Li ve Yen, 1995).

Şekil 1.4. Atışlara İlişkin Üyelik Fonksiyonu Grafiği



Kaynak: Li veYen,1995

a ve *e* atıcılarının hedefi vurdukları için üyelik derecelerinin 1'e eşit oldukları, *b* atıcısının *c*'den, *c* atıcısı da *d*'den daha iyi bir atış yaptıkları için üyelik derecelerinin sırasıyla 0.9, 0.5 ve 0.3 oldukları görülmektedir. Eğer daha kötü atış yapan kişilerinde oyuna girmesi durumunda bu kişilere ait üyelik değerlerinin de sıfıra doğru azalacağı görülmektedir.

Bulanık küme yaklaşımının ortaya çıkmasında aşağıda belirtilen amaçlara ulaşmak hedeflenmiştir (Sugeno vd., 1992:6).

1. İnsan tecrübesi, sağduyusunu makinelerin işleyebileceği bir yapıda ifade etmek.
2. İnsan duyguları veya lisanını modellemek.
3. İnsan algılama, genel çıkarım ve anlama işlemlerini taklit etmek.
4. Bilgiyi insanların kolaylıkla anlayabileceği bir yapıya çevirmek.
5. Büyük miktarlardaki bilgiyi sıkıştırmak.
6. İnsan psikolojisi veya davranışı modelleri yapmak.
7. Sosyal sistemleri modellemek.

1.2.1. Üyelik Fonksiyonları

Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu adı verilmektedir (Zadeh ve Kacprzyk, 1992:214).

Üyelik fonksiyonları $\mu_A(x)$ ile gösterilir ve "karakteristik fonksiyon" olarak da adlandırılır (Kaufmann ve Gupta,1998: 9,10).

$A \subset E$ alt kümesi bulanık olmayan bir küme ise üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$ olarak gösterilir (1.1)

(Bojadziev ve Bojadziev, 2007:7)

O halde üyelik fonksiyonu, E evrensel kümesine ait bir x elemanının A alt kümesine ait olma derecesini veren bir fonksiyondur.

Bulanık küme tanımında ise herhangi bir elemanın ilgili kümeye ait olması, [0, 1] sürekli aralığında karakteristik değere atanan sayının büyüklüğü ile açıklanır. Klasik kümelerden farklı olarak {0, 1} kümesi yerine [0, 1] sürekli aralığı söz konusudur ve bu aralıktaki değerler üyelik derecesi adını alır (Bojadziev ve Bojadziev,2007:9).

E, bir evrensel küme, x ise bu evrensel kümenin bir elemanı olsun. $\tilde{A}$, E'nin bulanık bir alt kümesi ise, E'deki her bir elemanı birbirine bağlayan [0, 1] aralığında bir gerçel sayı olan üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$ şeklinde tanımlanır. Burada 0 sayısı ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını, 1 sayısı ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise ilgili nesnenin kümeye üyelik derecesini veya kısmi üyeliğini gösterir (Kaufmann ve Gupta,1998: 9,10).

Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterimi mümkündür.

$$\forall x \in E : \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \tag{1.2}$$

$$\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in E\} \tag{1.3}$$

E evrensel kümesi E = { x_1, x_2 , ... , x_n } şeklinde sonlu bir küme olsun. E'deki bir bulanık küme aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\forall x \in E \text{ için } \tilde{A} = \mu_{\tilde{A}}(x_1)/x_1 + \mu_{\tilde{A}}(x_2)/x_2 + \ldots\ldots + \mu_{\tilde{A}}(x_n)/x_n$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \mu_{\tilde{A}}(x_i)/x_i \tag{1.4}$$

Bulanık kümenin sonlu sürekli olması durumunda ise aşağıdaki gibi gösterilir (Dubois,1980:10)

$$\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}}(x)/x \tag{1.5}$$

Buradaki $\sum$, $\int$, /, ve + işaretleri cebirsel anlamda sırasıyla toplam, integral alma, bölme ve toplama işlemlerini göstermez. $\sum$ ve $\int$ işaretleri, sıralı ikililerin sırasıyla kesikli ve sürekli evrenlerde bir araya getirilmesini ifade eder. / işareti, matematiksel olarak $x, \mu_{\tilde{A}}(x)$ sıralı ikilisini ifade etmek için kullanılan bir ayraçtır. Yani herhangi bir elemanla onun üyelik derecesi arasında bağlantıyı göstermek amacıyla kullanılmaktadır. '+' işareti ise, sıralı ikililerin birleşimini gösterir (Sugeno vd.,1992:27).

1.2.2. Üyelik Fonksiyonu Tipleri

Çok sayıda üyelik fonksiyonu tipi bulunmaktadır. Bunlardan, bazıları çalışma kapsamında da yer alacak olan fonksiyon tiplerinden üçgen, yamuk, *L*, Gamma, Gaussian ve S üyelik fonksiyonları, aşağıda incelenmiştir.

1.2.2.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

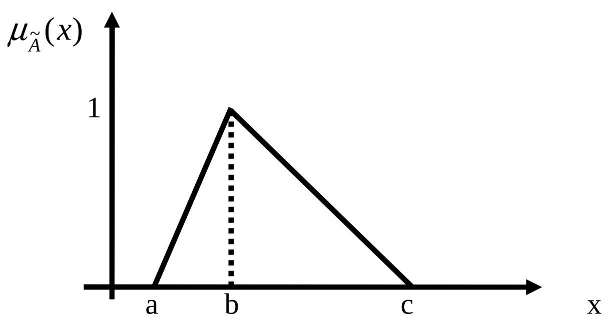
Üçgensel bir üyelik fonksiyonu, a ve c üçgenin tabanını, b üçgenin tepe noktasını belirtecek şekilde üç parametre ile tanımlanır (Zhao ve Bose, 2002:229).

Bulanık $\tilde{A}$ kümesinin a, b ve c parametreleri için tanımlanmış üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ veya } x \geq c \\ (x-a)/(b-a), & x \in (a,b] \\ (c-x)/(c-b), & x \in (c,b) \end{cases} \qquad (1.6)$$

Üçgen üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.5’te gösterilmiştir.

Şekil 1.5. Üçgen Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Zhao ve Bose, 2002:229

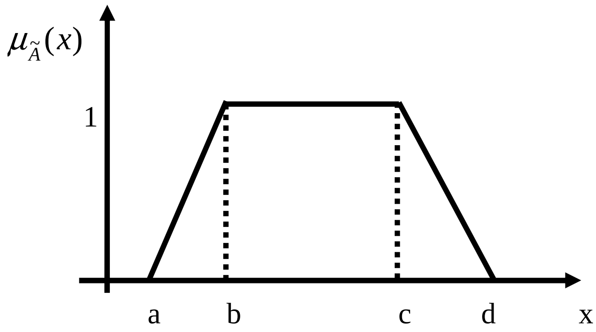
1.2.2.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk Üyelik fonksiyonunun, alt limit olan *a*, üst limit olan *d* ve öz değerler olan *b* ve *c* olmak üzere 4 parametresi vardır. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin *a,b,c,d* parametreleri için tanımlanmış yamuk üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Galindo,2008:6).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ veya } x \geq d \\ (x-a)/(b-a), & x \in (a,b) \\ 1, & x \in [b,c] \\ (d-x)/(d-c), & x \in (c,d) \end{cases} \tag{1.7}$$

Yamuk üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

Şekil 1.6. Yamuk Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Galindo,2008:6

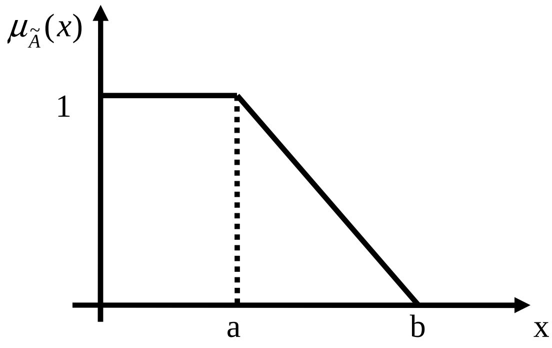
1.2.2.3. L Üyelik Fonksiyonu

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin 'a' ve 'b' gibi 2 parametresi için tanımlanmış L üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ (b-x)/(b-a), & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \tag{1.8}$$

L üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.7'de gösterilmiştir.

Şekil 1.7. L Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Galindo,2008:5

1.2.2.4. Gamma Üyelik Fonksiyonu

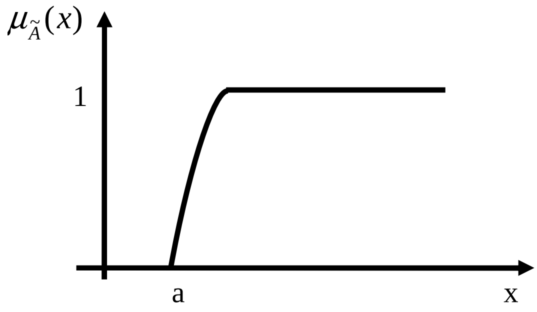
Gamma üyelik fonksiyonunun alt limit olan *a* ve sıfırdan büyük olan bir *k* değeri olmak üzere, iki parametresi vardır. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterimleri mümkündür.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2}, & x \ge a \end{cases} \qquad (1.9)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{k(x-a)^2}{1+k(x-a)^2}, & x \ge a \end{cases} \qquad (1.10)$$

Gamma üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.8'de gösterilmiştir.

Şekil 1.8. Gamma Üyelik Fonksiyonu



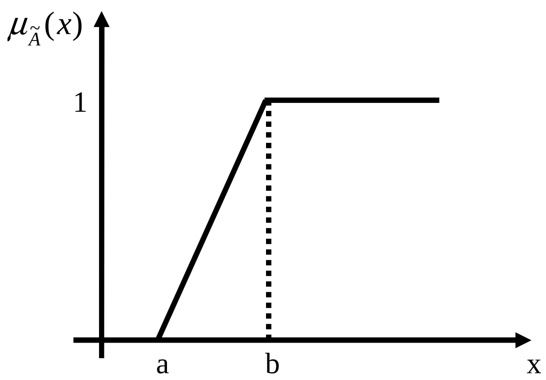
Kaynak: Galindo,2008:5

Gamma fonksiyonu doğrusal bir şekilde de matematiksel olarak ifade edilebilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x-a)/(b-a), & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \tag{1.11}$$

Doğrusal Gamma üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.9'da gösterilmiştir.

Şekil 1.9. Doğrusal Gamma Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Galindo,2008:5

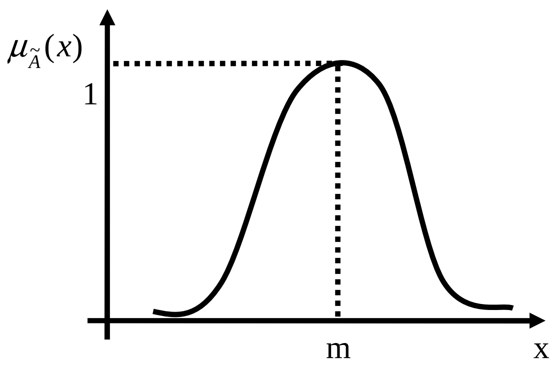
1.2.2.5. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Gaussian Üyelik Fonksiyonu ‘m’ ve ‘k’ olmak üzere iki parametreye sahiptir. Burada ‘m’, fonksiyonun merkezindeki değeri, ‘k’ ise genişliği ifade etmektedir. ‘k’ değeri büyüdükçe fonksiyon daha yayvan bir şekil alacaktır. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = e^{-k(x-m)^2} \qquad (1.12)$$

Gaussian üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.10’da gösterilmiştir.

Şekil 1.10. Gaussian Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Galindo,2008:6

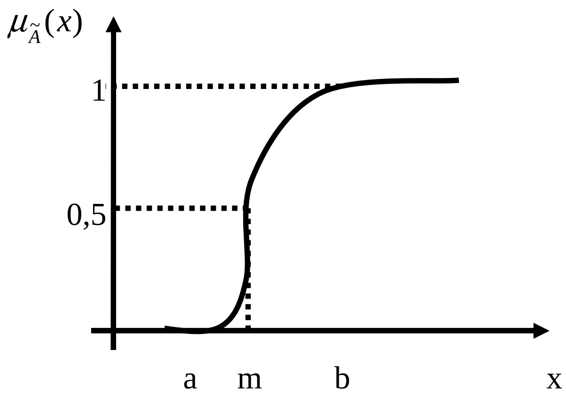
1.2.2.6. S Üyelik Fonksiyonu

S Üyelik fonksiyonunun, alt limit olan ‘a’, üst limit olan ‘b’ gibi iki parametresi vardır. Ayrıca a<m<b olmak üzere bir m kırılma değeri bulunmaktadır. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin S üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2\{(x-a)/(b-a)\}^2, & x \in (a,m] \\ 1-2\{(x-b)/(b-a)\}^2, & x \in (m,b) \\ 1, & x \geq b \end{cases} \qquad (1.13)$$

S üyelik fonksiyonuna ilişkin çizilen grafik ise Şekil 1.11'de gösterilmiştir.

Şekil 1.11. S Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Galindo,2008:6

1.2.3. Üyelik Fonksiyonlarının Kısımları

Bir üyelik fonksiyonu 'öz', 'destek' ve 'sınırlar' olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Bulanık bir kümeye ait elemanlardan üyelik dereceleri 1'e eşit olanlar o kümenin özünü oluşturmaktadır.

Üyelik dereceleri 0 ve 1'e eşit olmayan elemanların oluşturduğu kısımlar bulanık kümenin sınırlarını oluşturmaktadır.

Bir bulanık kümenin desteği o kümede yer alan, sıfırdan farklı üyelik derecesi olan elemanları içermektedir (Bai,Y. vd,2006:25-26).

Öz, destek ve sınır kavramlarının matematiksel olarak gösterimi ise aşağıdaki gibidir (Baykal ve Beyan,2004:84).

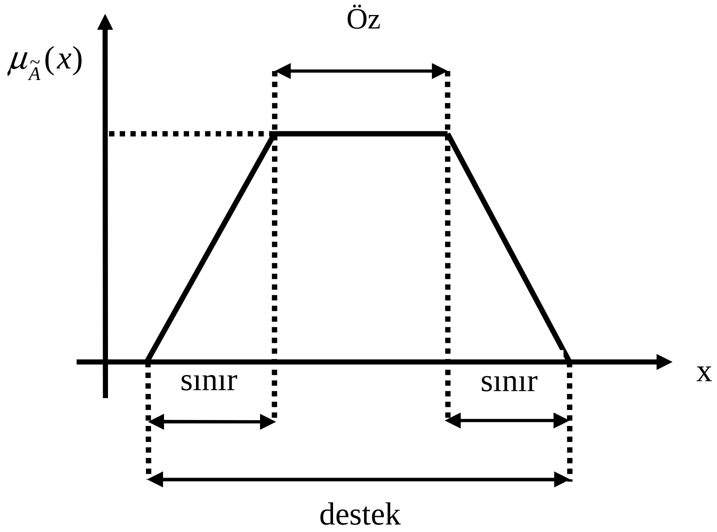
Öz $\longrightarrow$ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ (1.14)

Destek $\longrightarrow$ $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ (1.15)

Sınırlar $\longrightarrow$ $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ (1.16)

Yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonu olan Şekil 1.12 üzerinde öz, destek ve sınır kavramları gösterilmiştir.

Şekil 1.12 Üyelik Fonksiyonunun Kısımları



Kaynak: Şen,2001:33

1.2.4. Bulanık Kümelerle İlgili Kavramlar

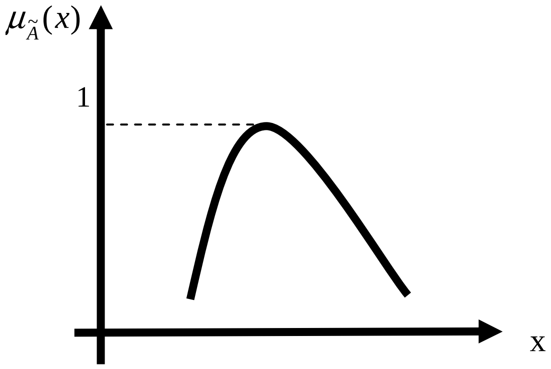
Bu başlık altında bulanık kümelerle ilgili normallik, dışbükeylik, geçiş noktası, α-kesim kümesi, düzey kümesi gibi kavramlar tanımsal olarak açıklanacak ve matematiksel olarak gösterilecektir.

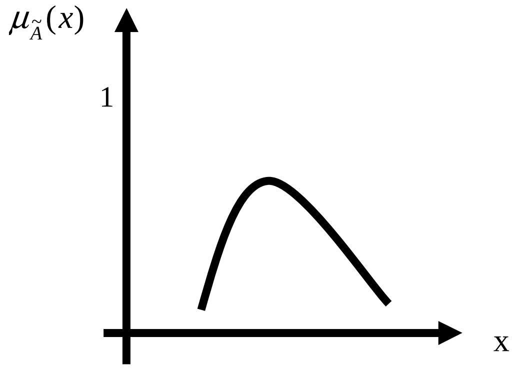
1.2.4.1. Normallik

En azından bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan kümeye normal bulanık küme adı verilir. Aksi takdirde küme 'normal altı' olarak tanımlanır. Bulanık kümenin 'yüksekliği' üyelik derecesinin en büyük olduğu öğeye karşılık gelir. O halde normal bulanık kümenin yüksekliği 1'e eşittir. Normal olmayan bulanık kümeleri normal hale dönüştürmek için (dışbükey olmak şartı ile), kümenin üyelik derecesinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekir (Baykal ve Beyan,2004:84-85).

Normal bulanık küme Şekil 1.13'te, normal olmayan bulanık küme ise Şekil 1.14'de gösterilmiştir.

Şekil 1.13. Normal Bulanık Küme **Şekil 1.14.** Normal Olmayan Bulanık Küme





Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:85

1.2.4.2. α-Kesim Kümesi

α- kesim kümesi, $\tilde{A}_\alpha$, üyelikleri α'dan az olmayan üyelerden kurulmuştur. α keyfi bir değerdir. Matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{A}_\alpha = x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \qquad (1.18)$$

Yukarıdaki matematiksel gösterimde '≥' yerinde '>' işareti olursa, bu kümeye 'güçlü α- kesim kümesi' adı verilir.

$$\tilde{A}_\alpha = x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > \alpha \qquad (1.19)$$

Örneğin yaşla ilgili olarak bir evrensel küme tanımlayalım. E={5,15,25,35,45,55,65,75,85} ve erkekleri tanımlayan bir küme olsun.

Bulanık kümeleri ise bebek, genç, yetişkin, yaşlı olarak sınıflarsak bunların üyelik dereceleri de tablodaki gibi olsun.

Tablo 1.1. Bulanık Kümelerin Sınıflandırılması ve Üyelik Dereceleri

Yaş(Eleman)	Bebek	Genç	Yetişkin	Yaşlı
5	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,2	0,1	0,0
25	0,0	1,0	0,9	0,0
35	0,0	0,8	1,0	0,0
45	0,0	0,4	1,0	0,1
55	0,0	0,1	1,0	0,2
65	0,0	0,0	1,0	0,6
75	0,0	0,0	1,0	1,0
85	0,0	0,0	1,0	1,0

Tabloya bakarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir.

Genç bulanık kümesinin desteği; Destek(Genç)= {15,25,35,45,55}

Bebek kümesinin desteği boş kümedir.

Genç, yetişkin ve yaşlı kümeler normaldir çünkü en az 1 tam üyelik derecesine sahip elemanları vardır.

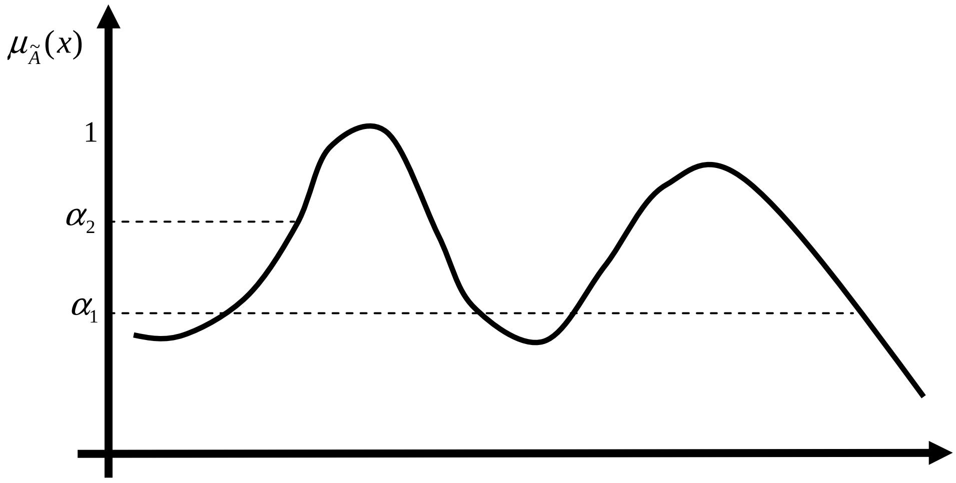
α=0,2 olursa genç bulanık kümesinin α-kesim kümesi $\text{Genç}_{0,2}$={15,25,35,45} olacaktır. Bunun anlamı 0,2 ve daha fazla olasılıkla genç olanların kümesi demektir.

α=0,4 olursa; $\text{Genç}_{0,4}$={25,35,45}

α=0,8 olursa; $\text{Genç}_{0,8}$={25,35} şeklinde olacaktır.

$\tilde{A}_{\alpha_1}$ ve $\tilde{A}_{\alpha_2}$ şeklinde iki kesim kümesi varsa, $\alpha_1 \leq \alpha_2$ ise $\tilde{A}_{\alpha_2} \subseteq \tilde{A}_{\alpha_1}$ ’dir. Yukarıdaki örnekte $\text{Genç}_{0,8} \subseteq \text{Genç}_{0,2}$ olmaktadır (Baykal ve Beyan,2004:86-87).

Şekil 1.15. α - Kesim Kümesi



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:87

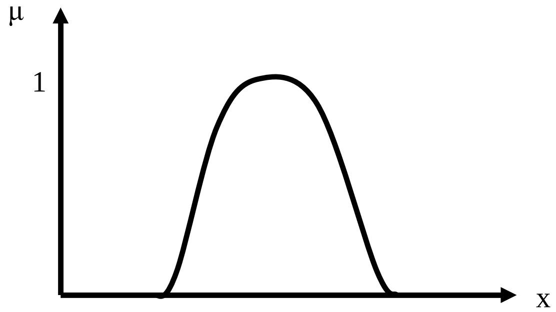
1.2.4.3. Dışbükeylik

Bir kümedeki herhangi iki noktayı birleştiren çizgideki her nokta bu kümenin elemanı ise küme dışbükeydir. Aksi durumda ise içbükeylik söz konusudur (Baykal ve Beyan,2004:84).

Eğer a-kesim kümelerinin her biri dışbükey kümeler ise bulanık küme $\tilde{A}$ da dışbükey bir kümedir ve matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki gibidir (Zimmerman, 1992: 15).

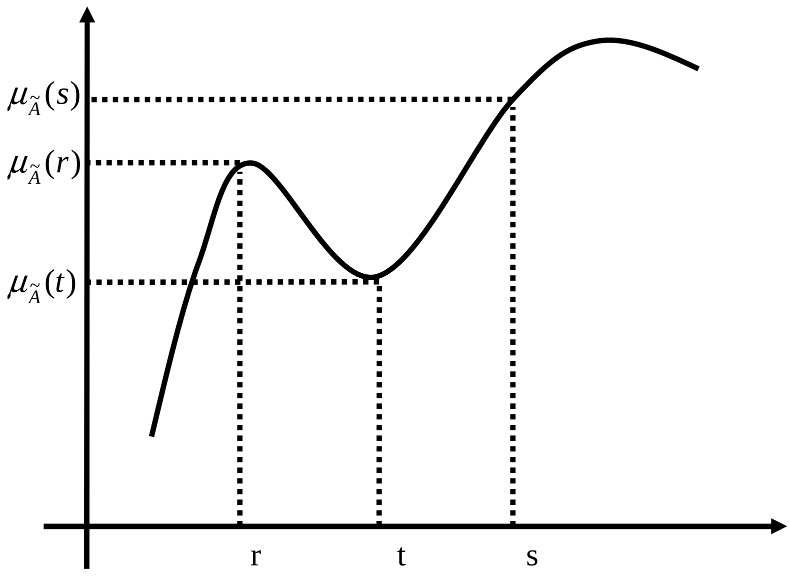
$$(\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2 \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)), x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1] \qquad (1.17)$$

Şekil 1.16. Dış Bükey Bulanık Küme



Kaynak: Zimmerman, 1992; 15

Şekil 1.17. Dışbükey Olmayan Bulanık Küme



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:85

1.2.4.4. Geçiş Noktası

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecelerinin 0,5'e eşit olması durumundaki noktaya geçiş noktası adı verilir. Matematiksel olarak gösterimi ise aşağıdaki gibidir (Baykal ve Beyan,2004:85).

$$\text{Geçiş Noktası} \longrightarrow \quad \mu_{\tilde{A}}(x) = 0{,}5 \qquad (1.17)$$

1.2.4.5. Düzey Kümesi

Üyelik fonksiyon değerini açıkça gösteren α değeri [0,1] aralığındadır. Düzey kümesi α ile elde edilebilir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\tilde{A}_A = \left\{ \alpha \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = \alpha, \alpha \geq 0, x \in E \right\} \qquad (1.20)$$

Yukarıdaki örneğe göre 'genç' bulanık kümesinin düzey kümesi: $\tilde{A}_A$ ={0,0.1,0.2,0.4,0.8,1.0} şeklinde olacaktır. (Baykal ve Beyan,2004:87)

1.2.5. Bulanık Kümenin Büyüklüğü

Bulanık kümenin büyüklüğünü göstermede, bir kümede yer alan eleman sayısı anlamına gelen 'kardinalite' veya 'nicellik' kavramından bahsedilmektedir. Ölçülebilir bir üyelik ölçeği için sayısal nicelik, bütün elemanların üyelik derecelerinin toplamıdır. $|\tilde{A}|$, $\tilde{A}$ kümesinin sayısal niceliğini göstermekte şu şekilde tanımlanmaktadır (Smithson ve Verkvilen, 2006: 37-38)

$$|\tilde{A}| = \sum_{i=1}^{N} \mu_{\tilde{A}}(x_i) \tag{1.21}$$

Evrensel küme ile bulanık kümenin büyüklüğü oranlanmasıyla ise 'bağıl nicelik' denir.

$$\|\tilde{A}\| = \frac{|\tilde{A}|}{|E|} \tag{1.22}$$

Bir diğer husus da bulanık küme olarak asallığın açıklanmasıdır. Bunun için kesim kümesi olarak $\tilde{A}_\alpha$ 'yı ele alalım. $\tilde{A}_\alpha$ 'nın eleman sayısı $|\tilde{A}_\alpha|$ 'dır. Diğer bir deyişle A da elemanların $|\tilde{A}_\alpha|$ olma olasılığı α'dır. 'Bulanık nicellik', │A│'nın üyelik değeri olarak tanımlanır ve α ∈ $\tilde{A}_A$ olmak üzere;

$$\mu_{|\tilde{A}|}(|A_\alpha|) = \alpha \tag{1.23}$$

ile hesaplanır. $\tilde{A}_\alpha$ bir alfa kesim kümesi ve $\tilde{A}_A$ bir düzey kümedir.

Yukarıdaki örneğe göre aşağıdaki hesaplamaları yapabiliriz:

Yaşlı bulanık kümesinin büyüklüğü; │yaşlı│= 0.1+0.2+0.6+1.0+1.0=2,9 olarak bulunur.

Yine örnekteki yaşlı kümesinde; │yaşlı│=2.9 , │E│=9 olduğundan dolayı ││yaşlı││= 2.9/9= 0.32 olarak bulunabilir.

Şayet yaşlı bulanık kümesini α=0.1'de kesecek olursak; α-kesim kümesinde beş eleman olduğunu görürüz;

$yaşlı_{0.1}$={45,55,65,75,85}, ⎪$yaşlı_{0.1}$⎪=5

Aynı şekilde α=0.2'de dört, α=0.6'da üç ve α=1.0'da iki eleman vardır. Bundan dolayı yaşlı bulanık kümesinin nicelliği;

⎪yaşlı⎪={(5,0.1),(4,0.2),(3,0.6),(2,1.0)} şeklinde olur.

1.2.6. Bulanık Kümelerde İşlemler

Evrensel küme E içerisinde yer alan $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları aşağıdaki matematiksel ifadelerle gösterilmekteydi.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \tag{1.24}$$

$$\tilde{B} = \{(x, \mu_{\tilde{B}}(x))\}, \mu_{\tilde{B}}(x) \in [0,1] \tag{1.25}$$

Bu üyelik fonksiyonlarından hareketle bulanık küme işlemlerini açıklayabiliriz (Bojadziev,2007:15).

Eşitlik

Evrensel küme E içerisinde tanımlanmış $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin birbirlerine eşit olmaları için her iki kümenin üyelik derecelerinin birbirine eşit olması gerekir.

Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir (Bojadziev,2007:15).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x) \rightarrow \tilde{A} = \tilde{B} \tag{1.26}$$

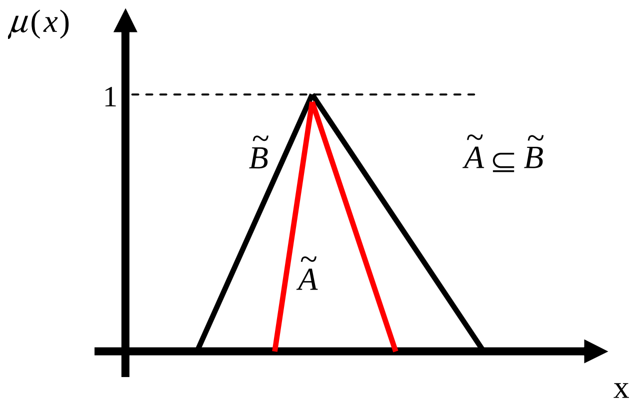
Alt Küme

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, E evrensel kümesinde tanımlanmış olmak üzere $\tilde{A}$ kümesinin tüm elemanları, üyelik dereceleri $\tilde{B}$ kümesindekilere eşit veya daha küçük olmak koşuluyla, $\tilde{B}$ kümesinde de varsa $\tilde{A}$ kümesi $\tilde{B}$ kümesinin alt kümesidir.

Matematiksel olarak ve grafik olarak aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) < \mu_{\tilde{B}}(x), x \in E \rightarrow \tilde{A} \subseteq \tilde{B} \qquad (1.27)$$

Şekil 1.18. Bulanık Alt Küme



Kaynak: Elmas,2003:64

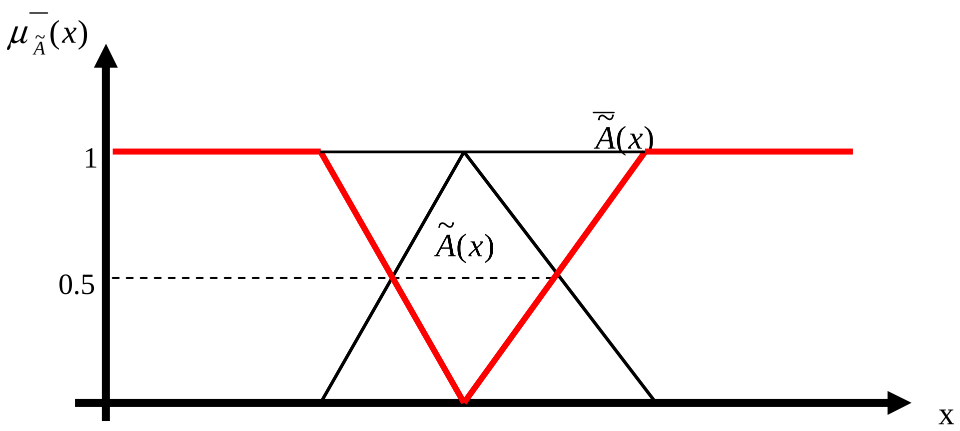
Tümleme

Bulanık A kümesine ait bir x elemanının üyelik derecesi ile, o kümenin tümleyeninin üyelik derecesi toplamı 1'e eşittir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \text{ veya } \mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) + \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \qquad (1.28)$$

Bulanık $\tilde{A}$ kümesi ile bu kümenin tümleyeni, 0.5 üyelik derecesine göre simetriktir (Bojadziev,2007:16).

Şekil 1.19. Bulanık Kümenin Tümleyeni



Kesişim

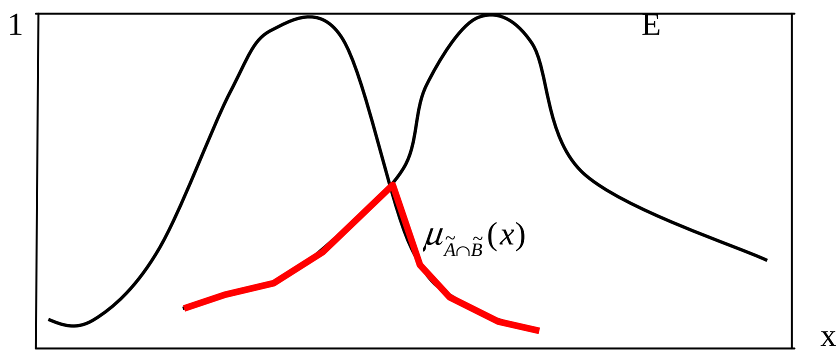
Kesişim kümesi $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri elemanlarının üyelik derecesi en küçük olanlarından oluşur (Bojadziev,2008:16).

Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}\cap\tilde{B}}(x) = \min\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right), x \in E \tag{1.29}$$

Örneğin $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0,5, \mu_{\tilde{B}}(x) = 0,7 \rightarrow \min(0.5,0.7) = 0.5$

Şekil 1.20. Bulanık Kümelerde Kesişim



Kaynak: Bojadziev,2008:18

Birleşim

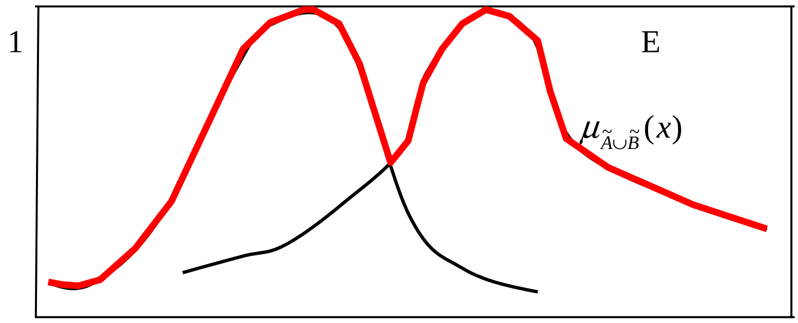
Birleşim kümesi $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri elemanlarının üyelik derecesi en büyük olanlarından oluşur (Bojadziev,2008:16).

Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}\cup\tilde{B}}(x) = \max\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right), x \in E \tag{1.30}$$

Örneğin $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0,5, \mu_{\tilde{B}}(x) = 0,7 \rightarrow \max(0.5,0.7) = 0.7$

Şekil 1.21. Bulanık Kümelerde Birleşim



Kaynak: Bojadziev,2008:18

Bulanık Kümelerde kesişim ve birleşim işlemlerini bir örnekle daha açıklayalım. Evrensel kümeye ait E={ x_1, x_2, x_3 x_4} elemanlarının $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerindeki üyelik dereceleri Tablo 1.2'deki gibidir.

Tablo 1.2. Elemanların $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerindeki üyelik dereceleri

X	x_1	x_2	x_3	x_4
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	0.2	0.7	1.0	0.0
$\mu_{\tilde{B}}(x)$	0.5	0.3	1.0	0.1

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerindeki kesişim ve birleşim işlemleri Tablo 1.3'de gösterilmiştir.

Tablo 1.3. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinde kesişim ve birleşim işlemleri

X	x_1	x_2	x_3	x_4
$\mu_{\tilde{A}\cap\tilde{B}}(x)$	0.2	0.3	1.0	0.0
$\mu_{\tilde{A}\cup\tilde{B}}(x)$	0.5	0.7	1.0	0.1

Kaynak: Bojadziev,2008:17

Fark İşlemi

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için fark işlemi aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilebilir (Baykal ve Beyan,2004:107).

$\tilde{A}/\tilde{B} = \tilde{A} \cap \overline{\tilde{B}}$ ve $\mu_{\overline{\tilde{B}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{B}}(x)$ olduğundan;

$$\mu_{\tilde{A} \cap \overline{\tilde{B}}} = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), 1 - \mu_{\tilde{B}}(x)\} \tag{1.31}$$

1.3. BULANIK SAYILAR

Bulanık sayılar, R gerçel sayı evreninde normalleştirilmiş ve dışbükey olan bulanık kümeler olarak tanımlanmıştır (Bojadziev,2008:19).

Bulanık kümede normallik en az bir elemanın üyelik derecesinin 1'e eşit olması anlamına gelmektedir. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları ile tanımlanması nedeniyle, bulanık sayılar da kendi üyelik fonksiyonları ile tanımlanırlar. $\tilde{A}$ bulanık sayısı için; $\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in E\}$ ve $\mu_{\tilde{A}}(x), [0,1]$ kapalı aralığında süreklidir (Kwong ve Bai,2002:369).

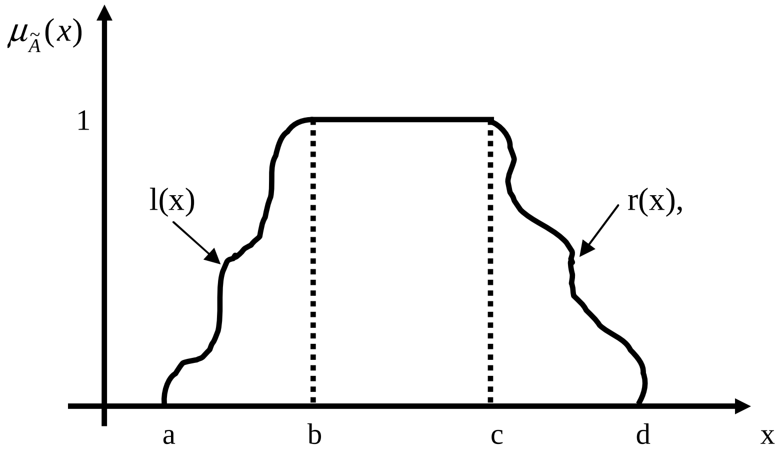
Belli bir biçimde, A ancak ve ancak üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ise bulanık bir sayıdır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} l(x), & x \in (a,b) \\ 1, & x \in [b,c] \\ r(x), & x \in (c,d) \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \tag{1.32}$$

l(x), (a, b) den [0, 1]'e tekdüze artan ve sağdan devam eden bir fonksiyon; r(x), (c, d) den [0, 1] e monoton azalan ve soldan devam eden bir fonksiyondur.

Tipik bir bulanık sayının grafikle gösterimi Şekil 1.22.'deki gibidir.

Şekil 1.22. Tipik Bir Bulanık Sayı



Kaynak: Lin vd.,2004:224

1.3.1. Bulanık Sayının α-Kesimi

α kesme işlemi bulanık kümelerde olduğu gibi bulanık sayılara da uygulanabilir. Bulanık bir $\tilde{A}$ sayısı için α kesme aralığı A_α olarak belirtilirse, bu aralık aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\tilde{A}_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] \tag{1.33}$$

Bulanık sayının dışbükey olma durumu α kesme hattının sürekli olması ve α kesim aralığının $\tilde{A}_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}]$ aşağıdaki koşulları yerine getirmesi ile;

$$\alpha' < \alpha \Rightarrow (a_1^{(\alpha')} \leq a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha')} \geq a_3^{(\alpha)} \quad \text{tanımlanmaktadır.} \tag{1.34}$$

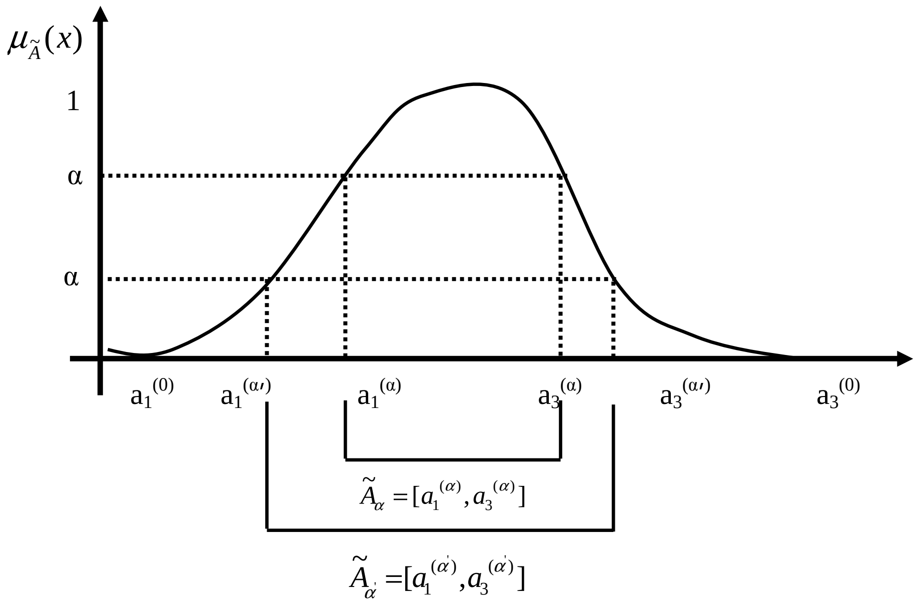
Dışbükeylik koşulu ayrıca,

$$\alpha' < \alpha \Rightarrow (\tilde{A}_\alpha \subset \tilde{A}_{\alpha'}) \tag{1.35}$$

şeklinde de yazılabilir (Baykal ve Beyan,2004:224-225).

$\tilde{A}_\alpha$ ve $\tilde{A}_{\alpha'}$ bulanık kümelerine ait iki farklı kesme Şekil 1.23’te gösterilmektedir.

Şekil 1.23. Bulanık Sayılarda α-Kesim



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:225

Bulanık kümenin her bir α kesimi gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır. Bulanık kümelerin α kesimleri, herhangi bir α değerindeki üyelik derecesine sahip sayıların oluşturduğu gerçel sayı doğrusundaki kapalı aralıktır. Örneğin "20 civarı yaşlar" adındaki $\tilde{S}$ bulanık kümesi(ve sayısı) evrensel kümede [10,30] aralığında tanımlanabilir. Bu bulanık kümenin üyelik fonksiyonu ise aşağıdaki gibi olsun.

$$\mu_S(x) = \frac{1}{1+(x-20)^2}$$

S kümesi için bir α sayısı belirlensin. α=0.5 için $\tilde{S}$ bulanık kümesi α kesimini bulmak için üyelik fonksiyonu α değerine eşitlenir.

$$\mu_S(x) = \frac{1}{1+(x-20)^2} = 0.5$$

Bu denklem ikinci dereceden bir polinom olduğu için kökleri $x_{1,2} = \dfrac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$ formülünden hesaplanır.

$X_1=17$ ve $X_2=23$ bulunur. Bunun anlamının [17,23] aralığındaki α kesim kümesinin alt sınırının 17, üst sınırının ise 23 olduğu ve bu sınır noktalarındaki üyelik derecesinin 0.5 olmasıdır (Özkan,2003:65).

1.3.2. Bulanık Sayı Çeşitleri

Ele alınan konuya göre değişik bulanık sayılar kullanmak mümkündür. Genel olarak pratik uygulamalarda kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere iki tane bulanık sayı söz konusudur (Baykal ve Beyan,2004:234).

Üçgen ve yamuk bulanık sayıların genel yapısı hakkında ayrı ayrı bilgi verildikten sonra, bu bulanık sayıların işlemleri üzerinde durulacaktır.

1.3.2.1. Üçgen Bulanık Sayılar

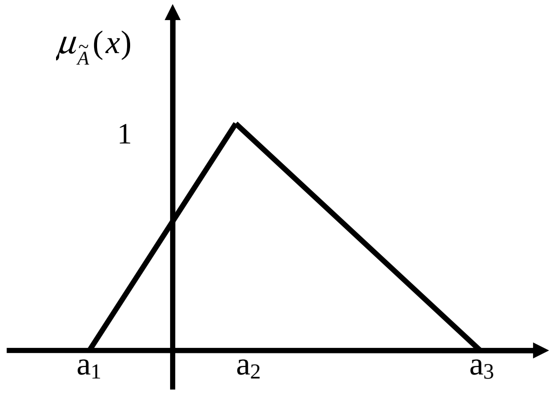
(a_1, a_2, a_3) gibi üç parametresi olan bir üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Cheng ve Lin,2002:177).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \le x \le a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \le x \le a_3 \end{cases} \qquad (1.36)$$

Burada a_1 ve a_3 bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerlerini ve $\mu_{\tilde{A}}(a_2) = 1$ olmak üzere a_2 üçgen bulanık sayının tepe noktasını oluşturmaktadır. a_2 noktasının a_1 ve a_3'ün orta noktası olma zorunluluğu yoktur.

Şekil 1.24'te üçgen bir bulanık sayı gösterilmiştir.

Şekil 1.24. Üçgen Bulanık Sayı



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:234

Bir üçgen bulanık sayı α kesmeleri ile ifade edilebilir. $\forall\alpha \in [0,1]$ ve $a_1^{\alpha}, a_3^{\alpha} \in R$ için;

$$\alpha = (a_1^{(\alpha)} - a_1)/(a_2 - a_1) \Rightarrow a_1^{(\alpha)} = (a_2 - a_1)\alpha + a_1 \tag{1.37}$$

$$\alpha = (a_3^{(\alpha)} - a_3)/(a_3 - a_2) \Rightarrow a_3^{(\alpha)} = -(a_3 - a_2)\alpha + a_3 \tag{1.38}$$

$$\tilde{A}_{\alpha} = [(a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)})] = \left[(a_2 - a_1)\alpha + a_1, -(a_3 - a_2)\alpha + a_3\right] \tag{1.39}$$

şeklinde ifade edilebilir (Baykal ve Beyan,2004:234).

1.3.2.2. Yamuk Bulanık Sayılar

(a_1, a_2, a_3 ve a_4) gibi dört parametresi olan bir yamuk bulanık sayının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Cheng ve Lin,2002:177).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \le x \le a_2 \\ 1, & a_2 \le x \le a_3 \\ (x - a_4)/(a_3 - a_4), & a_3 \le x \le a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \tag{1.40}$$

Yamuk bulanık sayı üyelik derecesi en büyük olan birden çok nokta olması anlamına gelir. Burada a_1 ve a_4; bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerlerini , a_2 ve a_3; tam üyelikli sayıların kümesinin sınırlarını göstermektedir. Eğer $a_2 = a_3$ olduğunda yamuk bulanık sayı, üçgen bulanık sayı olmaktadır.

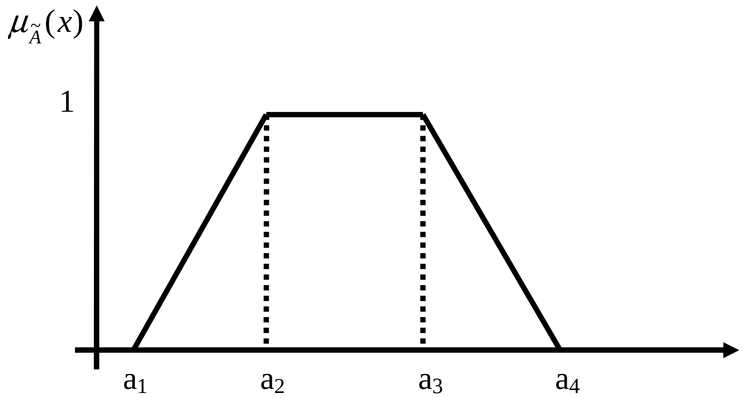
Yamuk bulanık sayının aritmetik işlemleri için de α kesmeleri kullanılabilir. $\forall \alpha \in [0,1]$ için;

$$\tilde{A}_\alpha = [(a_1^{(\alpha)}, a_4^{(\alpha)})] = [(a_2 - a_1)\alpha + a_1 - (a_4 - a_3)\alpha + a_4] \quad (1.41)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Şekil 1.25'te yamuk bulanık bir sayı gösterilmiştir.

Şekil 1.25. Yamuk Bulanık Sayı



Kaynak: Gu ve Zhu,2006:402

1.3.3. Bulanık Sayılarda İşlemler

(a_1, a_2, a_3) ve (b_1, b_2, b_3) gibi parametreleri olan $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ üçgen bulanık sayıları için toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Cheng ve Lin,2002:177).

$$\tilde{A}(+)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (1.42)$$

$$\tilde{A}(-)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (1.43)$$

$$\tilde{A}(\times)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\times)(b_1, b_2, b_3) = (a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3) \quad (1.44)$$

$$\tilde{A}(\div)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3) \quad (1.45)$$

(a_1, a_2, a_3, a_4) ve (b_1, b_2, b_3, a_4) gibi parametreleri olan $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ yamuk bulanık sayıları için toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Cheng ve Lin,2002:177).

$$\tilde{A}(+)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(+)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (1.46)$$

$$\tilde{A}(-)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(-)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1) \quad (1.47)$$

$$\tilde{A}(\times)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(\times)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3, a_4b_4) \quad (1.48)$$

$$\tilde{A}(\div)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(\div)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3, a_4 / b_4) \quad (1.49)$$

Toplama

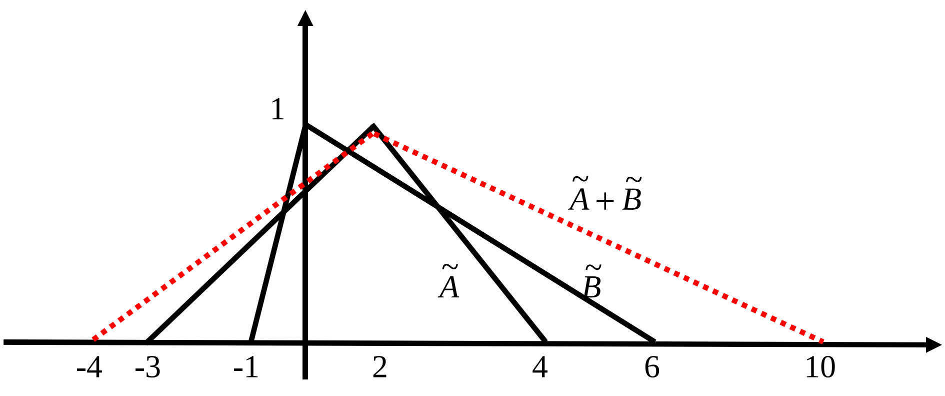
$$\tilde{A}(+)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (1.50)$$

Toplama işlemine örnek olarak;

$\tilde{A}$ ={-3,2,4}, $\tilde{B}$ ={-1,0,6} olmak üzere $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayıları verilsin. Üçgen bulanık sayı formülünden toplama işlemini gerçekleştirirsek;

$\tilde{A}(+)\tilde{B} = (-3 + (-1), 2 + 0, 4 + 6) = (-4, 2, 10)$ olur.

Şekil 1.26. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ Bulanık Sayılarının Toplamı



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:236

$\tilde{A}$={-3,2,4}, $\tilde{B}$={-1,0,6} için, α kesim aralıklarını kullanarak da aynı sonucu elde edebiliriz. α kesim aralıkları;

$$\tilde{A}_\alpha = [(a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)})] = [(a_2 - a_1)\alpha + a_1, -(a_3 - a_2)\alpha + a_3] \tag{1.51}$$

=[5α-3, -2α+4]

$$\tilde{B}_\alpha = [(b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)})] = [(b_2 - b_1)\alpha + b_1, -(b_3 - b_2)\alpha + b_3] \tag{1.52}$$

=[α-1, -6α+6] olsun.

İki α kesim aralığı $\tilde{A}_\alpha$ ve $\tilde{B}_\alpha$ toplamı;

$\tilde{A}_\alpha (+) \tilde{B}_\alpha$ = [6α-4, -8α+10] olacaktır. Özellikle α=0 ve α=1 için;

$$\tilde{A}_0 + \tilde{B}_0 = [-4,10]$$

$$\tilde{A}_1 + \tilde{B}_1 = [2,2]$$

elde edilir. Bu işlemde elde edilen üç nokta, formülle bulduğumuz $\tilde{A}(+)\tilde{B}$ sonucu olarak elde edilen (-4,2,10) ile uyum içerisindedir (Baykal ve Beyan,2004:236-237).

Çıkarma

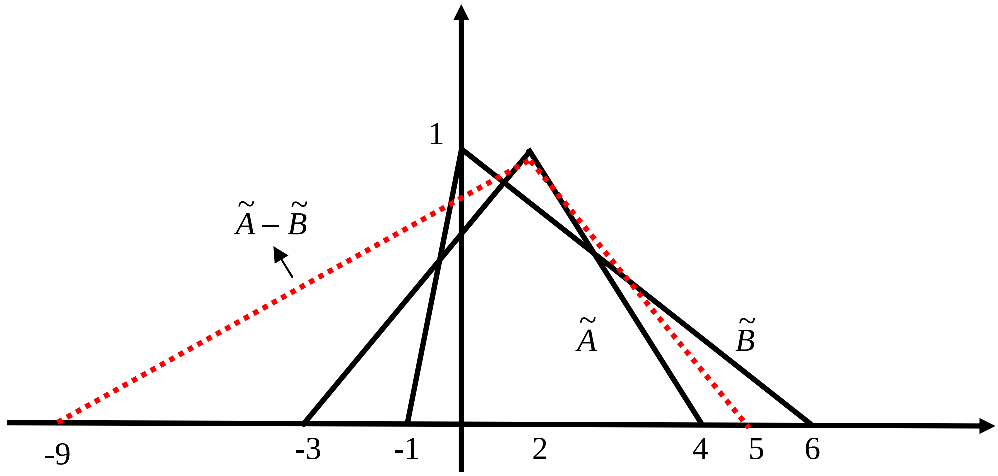
$$\tilde{A}(-)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \tag{1.53}$$

Örneğin;

$\tilde{A}$ ={-3,2,4}, $\tilde{B}$ ={-1,0,6} olmak üzere $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayıları verilsin. Üçgen bulanık sayı formülünden çıkarma işlemini gerçekleştirirsek;

$\tilde{A}(+)\tilde{B} = (-3-6, 2-0, 4-(-1)) = (-9,2,5)$ olur.

Şekil 1.27. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ Bulanık Sayılarının Farkı



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:237

$\tilde{A}$={-3,2,4}, $\tilde{B}$={-1,0,6} için, α kesim aralıklarını kullanarak da aynı sonucu elde edebiliriz. α kesim aralıkları;

İki α kesim aralığı $\tilde{A}_\alpha$ ve $\tilde{B}_\alpha$ farkı;

$\tilde{A}_\alpha$ (-) $\tilde{B}_\alpha$ = [11α-9, -3α+5] olacaktır. Özellikle α=0 ve α=1 için;

$$\tilde{A}_0-\tilde{B}_0=[-9,5]$$

$$\tilde{A}_1-\tilde{B}_1=[2,2]$$

elde edilir. Bu işlemde elde edilen üç nokta, formülle bulduğumuz $\tilde{A}(-)\tilde{B}$ sonucu olarak elde edilen (-9,2,5) ile aynıdır.

Çarpma

$$\tilde{A}(\times)\tilde{B}=(a_1,a_2,a_3)(\times)(b_1,b_2,b_3)=(a_1b_1,a_2b_2,a_3b_3) \tag{1.54}$$

Üçgen bulanık sayıların çarpma işlemi yakınlaştırma kullanılarak yapılır. Bunun için önce ilgili sayıların α kesimleri alınıp çarpılır. Ardından α=0 ve α=1 değerleri için sonuçlar elde edilir. Örneğin;

$\tilde{A}=\{1,2,4\}$, $\tilde{B}=\{2,4,6\}$ olsun. Çarpmada yaklaşık değer elde etmek için önce, her iki bulanık sayının α kesimleri ile ilgilenelim.

$$\tilde{A}_\alpha = [(a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)})] = \left[(a_2 - a_1)\alpha + a_1, -(a_3 - a_2)\alpha + a_3\right] \tag{1.55}$$

$$= \left[(2-1)\alpha + 1, -(4-2)\alpha + 4\right]$$

$$= \left[\alpha + 1, -2\alpha + 4\right]$$

$$\tilde{B}_\alpha = [(b_1^{(\alpha)}, b_3^{(\alpha)})] = \left[(b_2 - b_1)\alpha + b_1, -(b_3 - b_2)\alpha + b_3\right] \tag{1.56}$$

$$= \left[(4-2)\alpha + 2, -(6-4)\alpha + 6\right]$$

$$= \left[2\alpha + 2, -2\alpha + 6\right]$$

$\forall \alpha \in [0,1]$ için $\tilde{A}_\alpha$ ile $\tilde{B}_\alpha$ 'yı çarpalım. $\alpha \in [0,1]$ 'de, her aralığın elemanlarının pozitif sayılar olduğunu göreceğiz. Böylece iki aralığın çarpma işlemi kolaylaşacaktır.

$$\tilde{A}_\alpha (\times) \tilde{B}_\alpha = \left[\alpha + 1, -2\alpha + 4\right] \times \left[2\alpha + 2, -2\alpha + 6\right]$$

$$\tilde{A}_\alpha (\times) \tilde{B}_\alpha = \left[(\alpha + 1)(2\alpha + 2), (-2\alpha + 4)(-2\alpha + 6)\right]$$

$$\tilde{A}_\alpha (\times) \tilde{B}_\alpha = \left[2\alpha^2 + 4\alpha + 2, 4\alpha^2 - 20\alpha + 24\right]$$

α=0 ve α=1 için;

$$\tilde{A}_0 (\times) \tilde{B}_0 = [2,24]$$

$$\tilde{A}_1 (\times) \tilde{B}_1 = [2 + 4 + 2, 4 - 20 + 24] = [8,8]$$

$\tilde{A}(\times)\tilde{B}$ 'nin yaklaşıklaştırılması ile üçgen bulanık sayı elde ederiz

$$\tilde{A}(\times)\tilde{B} \cong (2,8,24)$$

(Baykal ve Beyan,2004:238).

Bölme

$$\tilde{A}(\div)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3) \tag{1.57}$$

Çarpmada yapılana benzer bir yolla, bir üçgen bulanık sayıda $\tilde{A}(\div)\tilde{B}$ 'nin yaklaşık değeri ifade edilir. Önce $\tilde{A}_\alpha$ aralığı $\tilde{B}_\alpha$ ile bölünür ve α=0 ve α=1 değerleri için sonuçlar elde edilir.

Örneğin;

$\widetilde{A}$ ={1,2,4}, $\widetilde{B}$ ={2,4,6}, $\alpha \in [0,1]$ için, her aralığın elemanı pozitif sayı olacağından, $\widetilde{A}_\alpha / \widetilde{B}_\alpha$'yı şu şekilde elde ederiz.

$$\widetilde{A}_\alpha / \widetilde{B}_\alpha = [(\alpha + 1)/(-2\alpha + 6), (-2\alpha + 4)/(2\alpha + 2)]$$

α=0 ve α=1 için;

$$\widetilde{A}_0 / \widetilde{B}_0 = [1/6, 4/2] = [0.17, 2]$$

$$\widetilde{A}_1 / \widetilde{B}_1 = [1+1/(-2)+6, (-2+4)/(2+2)] = [2/4, 2/4] = 0,5$$

Yaklaşıklaştırılmış $\widetilde{A} / \widetilde{B}$' nin değeri;

$$\widetilde{A} / \widetilde{B} \cong (0.17, 0.5, 2)$$

(Baykal ve Beyan,2004:238).

1.4. BULANIK MANTIĞIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşımlara göre bir takım üstünlük ve sakıncaları bulunmaktadır. Bu üstünlükler kısaca şu şekilde ifade edilebilir. Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bilindiği gibi denetim işlemlerinin birçoğu dilsel niteleyicilerle yapılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı, matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en başarılı uygulama alanlarıdır. Bulanık mantık yaklaşımında, işaretlerin bir ön işleme tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin, az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar (Elmas, 2003, 39).

Bulanık mantık denetleyicilerine yöneltilen çeşitli eleştiriler söz konusudur. Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Bulanık mantık yaklaşımında, üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanması çok zordur. Bunun yanı sıra en sık belirtilen dezavantajları ise üyelik işlevlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması ve öğrenme yeteneği olmamasıdır.

Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir. Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme-yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür.

1.5. BULANIK MANTIK UYGULAMALARI

Geçmiş birkaç yıl içinde özellikle Japonya, Amerika ve Almanya'da yaklaşık 1000'e yakın ticari ve endüstriyel bulanık sistem başarıyla gerçekleştirilmiştir. Yakın gelecekte ticari ve endüstriyel uygulamalarda dünya çapında önemli oranda arttığı görülmektedir. Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin bulanık denetiminin gerçekleştirilmesi olmuştur. 1980 yılında bir Hollanda şirketi çimento fırınlarının denetiminde, bulanık mantık denetimi uygulamıştır. 3 yıl sonra Fuji elektrik şirketi, su arıtma alanları için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapmıştır. 1987'de ilk bulanık mantık denetleyicileri sergilenmiştir. Bu denetimler 1984 yılında araştırmalara başlayan Omron şirketinin yaptığı 700'den fazla uygulamayı içermektedir. 1987 yılında ise Hitachi takımının tasarladığı Japon Sendai metrosu denetleyicisi çalışmaya başlamıştır. Bu bulanık mantık denetim metroda daha rahat bir seyahat, düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlamıştır (Elmas, 2007, 187).

Bulanık mantıkla üretilen fotokopi makineleri ise çok daha kaliteli kopyalar çıkarmaktadırlar. Zira odanın sıcaklığı, nemi ve orijinal kağıttaki karakter yoğunluğuna göre değişen resim kalitesi, gibi unsurlar hesaplanarak çıktı kalitesi mükemmele yakın hale getirilmektedir. Kameralardaki bulanık mantık devreleri ise sarsıntılardan doğan görüntü bozukluklarını asgariye indirmektedir. Bilindiği gibi elde taşman kameralar, ne kadar dikkat edilirse edilsin net bir görüntü vermeyebilirler. Bulanık mantık yardımıyla daha net bir görüntüyü yakalama imkanı olmaktadır. Asansörler, arabaların motor ve süspansiyon sistemlerinden nükleer reaktörlerdeki soğutma ünitelerine, klimalardan elektrikli süpürgelere kadar bulanık mantığın uygulandığı birçok alan bulunmaktadır.

Tablo 1.2'de pratikteki bulanık mantık uygulamalarından bazı örnekler verilmiştir.

Tablo 1.2. Bulanık Mantık Uygulamaları

ÜRÜN	FİRMA	BULANIK MANTIĞIN İŞLEVİ
Asansör Denetimi	Fujitec –Toshiba Mitsubishi Hitachi	Yolcu trafiğini değerlendirir. Böylece bekleme zamanı azalır.
SLR Fotoğraf Makinesi	Sanyo –Fisher Canon Minolta	Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi fokusu ve aydınlatmayı belirler
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulması nedeniyle çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır.
Çamaşır Makinesi	Matsushita	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezer, ona göre yıkama programını seçer.
Elektrik Süpürgesi	Matsushita	Yerin durumun ve kirliliğini sezer ve motor gücünü uygun ayarlar.
Su Isıtıcısı	Matsushita	Isıtmayı kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima	Mitsubishi	Ortam koşullarını değerlendirerek en iyi çalışma durumunu algılar, odaya birisi girerse soğutmayı arttırır.
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.
Çelik Endüstrisi	Nippon Steel	Geleneksel denetleyicilerin yerini alır.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlanmasının yanı sıra durma konumunu iyi ayarlar, güçten tasarruf sağlar.

Çimento Sanayi	Mitsubishi	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını,parlaklığını ve rengini ayarlar
El Bilgisayarı	Sony	El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır.

Kaynak: http://kisi.deu.edu.tr/k.yaralioglu (Erişim Tarihi: 18/02/2011)

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MODELLEME

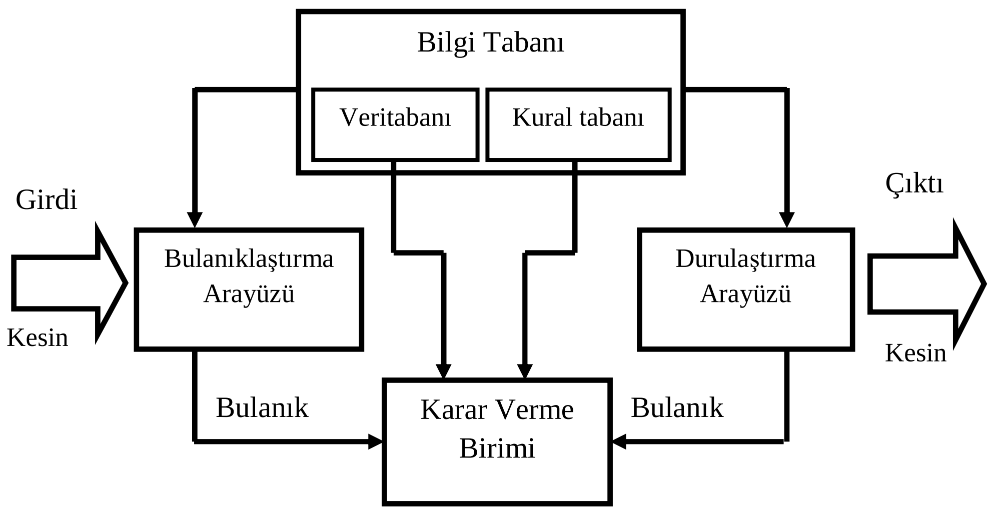
Genel bir ifadeyle modelleme, bir sitemin girdi-çıktı ilişkilerini matematiksel terimlerle tanımlamak olarak adlandırılmaktadır. Fiziksel bir sistemi tanımlarken sistemi kalitatif ve kantitatif olarak temsil eden matematiksel formül ya da denklemler kullanırız. Bu tür matematiksel gösterim, fiziksel sistemin matematiksel modeli olarak adlandırılır. Sistem yapısının karmaşıklığı, doğrusal olmayışı, rastgeleliği vb. nedenlerden dolayı fiziksel sistemlerin birçoğunu, matematiksel bir formül ya da denklemle tam ve kesin olarak modellemek zordur. Bu nedenle 'Yaklaşık Modelleme' gerçek hayatla ilgili uygulamalar için daha uygundur. Sezgisel olarak yaklaşık modelleme her zaman mümkündür. Fakat, buradaki temel sorunlar, sözel verilerin tanımlanmasında ne tür yaklaşımın iyi olacağı ve matematiksel olarak kesin, teoride ve pratikte tatmin edici sonuçlar üretebilen bir sistemin, modellenmesinde iyi bir yaklaşımın nasıl formüle edileceğidir. Belirsizlik içeren karmaşık sistemlerin, basit ve kesin matematiksel formül ve denklemlerle tanımlanmasının zor olması nedeniyle, bu tür sistemlerin matematiksel modellemesinde aralık matematiği ve bulanık mantığın birlikte kullanılması iyi bir alternatif olacaktır. Aralık matematiği ve bulanık mantığın bir araya gelmesiyle, yaklaşık tahminlemede güven aralıkları ve bulanık üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı modellemeye 'bulanık modelleme' adı verilir (Chen ve Pham, 2001:89-90).

Bulanık modelleme temel olarak bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık çıkarım kavramlarına dayanır. Bulanık çıkarım sistemi, 'eğer…ise…' ifadelerini ve gerekli karar kurallarını oluşturmak için 'veya' ile 've' bağlaçlarını kullanır. Temel bulanık çıkarım sistemi bulanık ve kesin girdilerin her ikisini de kullanır fakat ürettiği çıktı genel olarak bulanık kümedir. Bulanık kümeyi en iyi temsil edecek kesin değeri elde etmek için durulaştırma metodu modele dahil edilmelidir.

Bulanık çıkarım sistemi aşağıdaki alt sistemlerden oluşmaktadır (Sivanandam vd.,2007:118).

- Birçok sayıda Eğer-İse kuralını içeren ‘kural tabanı’
- Bulanık kurallarda kullanılan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarını tanımlayan bir ‘veritabanı’
- Kurallara dayalı sonuç çıkarım işlemlerini yapan bir ‘karar verme birimi’
- Kesin girdileri sözel değişkenler ve üyelik dereceleriyle birlikte dönüştüren ‘bulanıklaştırma arayüzü’
- Bulanık sonuçları, kesin çıktılara dönüştüren ‘durulaştırma arayüzü’nden oluşan Bulanık Çıkarım Sistemi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Şekil 2.1. Bulanık Çıkarım Sistemi



Kaynak: Sivanandam vd.,2007:119

2.1. BULANIKLAŞTIRMA

Bulanıklaştırma bulanık mantık teorisinde önemli bir kavramdır. Bulanıklaştırma kesin sayıların bulanık sayılara dönüştürülmesi sürecidir. Kesin değerlerde var olan belirsizliğin tanımlanmasıyla birlikte bulanık değerler oluşturulur. Bulanık değerlere dönüştürme üyelik fonksiyonlarıyla gösterilmektedir (Sivanandam vd.,2007:76).

Bulanık modellemede kullanılan girdi ve çıktılar genellikle kullanımı basit olmasından dolayı üçgen üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılır. Bunun için dilsel değişkenler kullanılır.

2.2. KURAL TABANLI ÇIKARIM

Bulanık kurallar, bulanık çıkarım sisteminin bir girdiyi sınıflandırma ve bir çıktıyı kontrol etme ile ilgili nasıl karar verebileceğini tanımlayan sözel ifadelerin toplamıdır. Bulanık kurallar aşağıdaki biçimde yazılabilir;

EĞER(1. Üyelik fonksiyonuna ait 1.girdi) VE/VEYA (2.Üyelik fonksiyonuna ait 2.girdi) VE/VEYA……. İSE(n. Üyelik fonksiyonuna ait n. çıktı)

Örneğin; EĞER sıcaklık yüksek VE nem yüksek İSE oda sıcaktır. Burada üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı yüksek sıcaklık birinci girdi, yüksek nem ikinci girdi, oda sıcaklığı ise çıktı olmaktadır. Üyelik fonksiyonlarıyla girdilerin kullanılıp sonuçta oda sıcaklığının yüksek kararının verilmesi bir bulanıklaştırma işlemidir (Sivanandam vd.,2007:121).

Eğer-ise mantıksal ilişkisi bulanık kuralların omurgasını oluşturur. Kurallar, girdi-çıktı ilişkisini mantıksal olarak oluşturarak sistemi kontrol etmeyi sağlarlar. Kural sistemi; öncül (antecedent) ve sonuç (consequent) kısımlarından oluşur. Çok sayıda girdinin (X_1,X_2,...,X_N) ve tek çıktının (y) olduğu (multiple input, single output: MISO) bir sistemde kural mekanizması aşağıdaki gibi ifade edilir (Tütmez ve Tercan,2006:39-47).

EĞER $(X_1=X_{11})$ VE ...VE $(Xn=X_{1n})$ İSE $(Y=Y_1)$

EĞER $(X_1=X_{21})$ VE ...VE $(Xn=X_{2n})$ İSE $(Y=Y_2)$

EĞER $(X_1=X_{N1})$ VE ...VE $(Xn=X_{Nn})$ İSE $(Y=Y_N)$ (2.1)

Yukarıdaki örnekte sıcaklık ve nem değişkenleri öncül, oda sıcaklığı ise sonuçtur.

Öncül, doğruluğuna karar verilebilen bir mantıksal önermedir. Öncüller, ‘ve’, ‘veya’ ve ‘değil’ bağlaçlarıyla birleştirilebilen çeşitli basit önermelerden oluşabileceği gibi, karmaşık yapılar da olabilir. Birçok öncül cümlesi, mevcut uygulama için veri değeri ile belirli bir kural için belirlenmiş değer arasında karşılaştırma yapar. Bir kuralın kapsayabileceği koşul dizisi kuralların sözdizimindeki kabul edilebilir veri tipine bağlıdır. Bulanık olmayan bir sistemde yaygın olarak kullanılan veri tipleri, sayıları(eğer x=5 ise) ve sözel karakterleri(eğer isim Ejder ise) içerir. Bulanık sistemler ise bulanık sayılar(eğer yaş 30 civarı ise), bulanık kümeler(süratin yavaş, orta, hızlı olabilmesi durumunda eğer sürat hızlı ise) ve belli bir değerde doğruluk derecesi(eğer ismin Ejder olduğundan 0.9 emin isek) gibi ilave veri tipleri sunar. Böylece bulanık sistemler, bulanık olmayan sistemlerle karşılaştırıldığında çok daha esnek kural dizimi sunmaktadırlar (Siler ve Buckley,2005:16-17).

Kural sisteminde x, X uzayında $\mu_x(x)$ üyeliğine sahiptir. Bir başka ifade ile X, x değişkeninin sözel değeridir. Kural sayısı arttıkça, incelenen verinin etkin (geçerli) olduğu kurallarda değerlendirip nihai üyelik derecesinin elde edilmesi gerekir. Bu işlem için mantıksal operatörler kullanılır. Operatörler, kuralların birleştirilerek (composition) değerlendirilmesinde ve sonuç üzerinde etkili olan araçlardır. Tablo 2.1’de iki bulanık küme ($\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$) çeşitli mantıksal operatörlerle işleme tabi tutulmaktadır (Tütmez ve Tercan,2006:39-47).

Tablo 2.1. Mantıksal operatörler

OPERATÖR	İŞLEM
VE (and)	$A \wedge B = \min(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$
VEYA (or)	$A \vee B = \max(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})$
ÇARPIM (product)	$A * B = (\mu_{\tilde{A}} * \mu_{\tilde{B}})$

2.2.1. Mamdani Tipi Çıkarım

Mamdani yöntemi, yaygın olarak kullanım alanı olan, uzman bilgisi gerektiren ve her türlü problemin çözümüne uygulanabilen bir bulanık mantık yöntemidir. Mamdani tipi bulanık model çok kolay oluşturulur, insan davranışlarına çok uygundur. Bu nedenle yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur. İlk defa bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen sözel kontrol kuralları yardımıyla kontrolü amacıyla kullanılmıştır. Bu modelde hem girdi değişkenleri ve hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir (Yılmaz ve Arslan,2005:515).

Mamdani tipi bir bulanık model aşağıdaki 5 adımda oluşturulur.

a) Girdilerin bulanıklaştırılması: Öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak girdi değişkenlerine ait 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinin belirlenmesi.

b) Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi

c) Bulanık küme mantıksal işlemcilerin (“ve”, “veya”) uygulanması

d) Sonuçların toplanması: Her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi

e) Durulaştırma: Tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması.

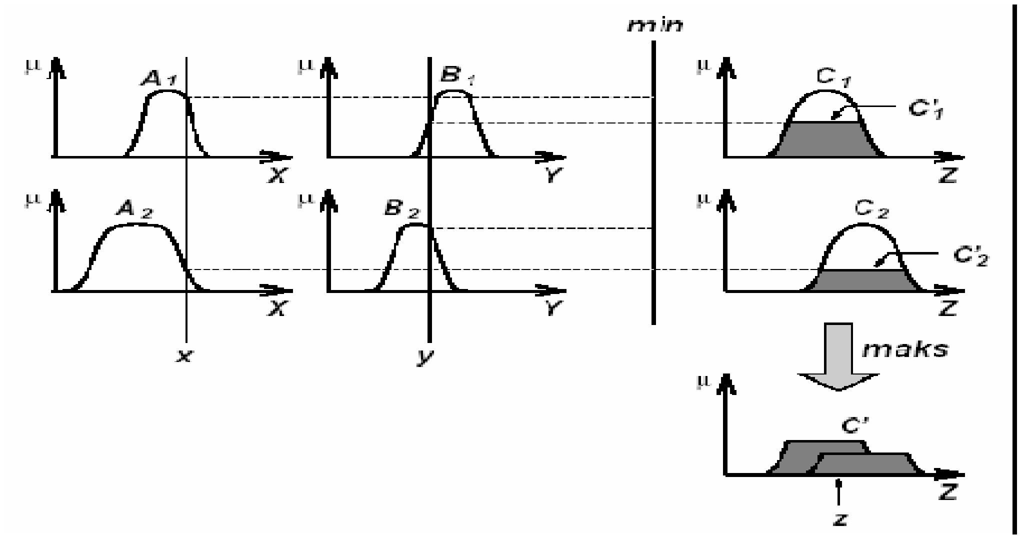
Şekil 2.2’de x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık modelde, z çıkış değerinin c_i bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

Kural 1: Eğer x = A_1 VE y = B_1 ise, o halde z = C_1

Kural 2: Eğer x = A_2 VE y = B_2 ise, o halde z = C_2

(Yılmaz ve Arslan,2005:516)

Şekil 2.2. Bulanık "ve" ve "veya" işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi



Kaynak: Yılmaz ve Arslan,2005:516

2.2.2. Takagi-Sugeno Tipi Çıkarım

Takagi-Sugeno bulanık mantık ya da Sugeno bulanık mantık ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlamasıdır. Değişken sayısının çok fazla olmadığı ya da bu değişkenlerin fazla sayıda alt kümelere ayrılmadığı durumlardaki problemlerin çözümünde kullanılır. Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynıdır. İki yöntem arasındaki fark, çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları sadece lineer ya da sabittir. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman, sıfırıncı derece, 1. derece doğru denklemi şeklinde olduğu zaman ise birinci derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılmıştır. Böylece Sugeno tipi bulanık model, Mamdani tipi bulanık modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişlidir. Bu nedenle Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir.

Bu modelde tipik bir bulanık kural şu şekildedir.

Eğer e, A ve f, B ise g=f(e,f)'dir.

Aşağıdaki şekilde iki bulanık kural olduğunu kabul edelim.

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

R_2: e, A_1 ve f, B_1 ise $g=f_2(e,f)=p_2e+q_2f+r_2$ (2.2)

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

$$\alpha_i = \mu_{Ai}(e_0) \wedge \mu_{Bi}(f_0) \quad (2.3)$$

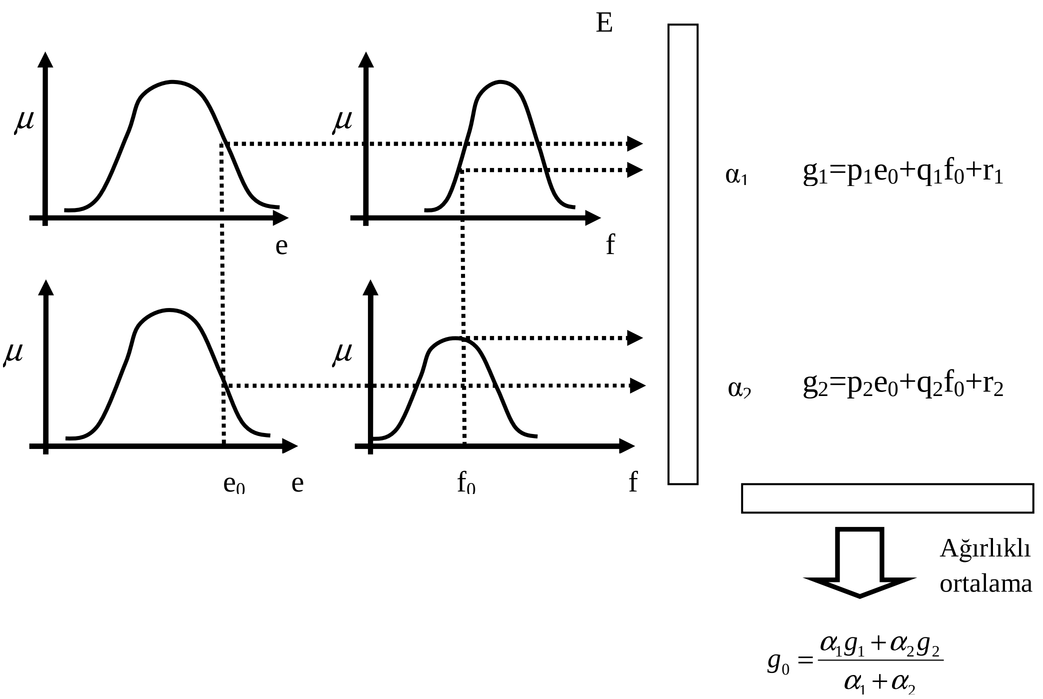
Bunlar tamamen kesin değerlerdir. Toplam sonuç, ağırlıklı ortalama ile elde edilir.

$$g_0 = \frac{\alpha_1 f_1(e_0, f_0) + \alpha_2 f_2(e_0, f_0)}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (2.4)$$

Bu yöntem sonuç kesin olduğu için durulaştırma zamanından tasarruf ettirir (Baykal ve Beyan,2004:382).

Takagi-Sugeno tipi bir bulanık çıkarım sistemi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Şekil 2.3 Takagi-Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi



Kaynak: (Baykal ve Beyan,2004:382)

2.3. DURULAŞTIRMA

Durulaştırma bulanıktan kesine dönüştürme anlamına gelmektedir. Üretilen bulanık sonuçların uygulamada kullanılamaması durumunda, sonraki süreçler için bulanık sayıların kesin sayılara dönüştürülmesi gereklidir. Bu dönüşüm durulaştırma süreci kullanılarak sağlanır. Durulaştırma verilen bulanık sayının kesin tek değerli bir sayıya ya da kümeye dönüştürülmesi işlemidir. Durulaştırma 'yuvarlama metodu' olarak ta bilinmektedir. Durulaştırma üyelik fonksiyon değeri yığınını, tek bir temsili miktara düşürür (Sivanandam vd.,2007:95).

Bulandırma ve durulaştırma birbirinin bütünleyici gibi görünse de, ters fonksiyonlar değildir. Durulama yöntemlerinde genel olarak gözlemlenen dört özellik vardır.

1. Durulama işlemcisi daima bir sayısal değer hesaplar. Bu, durulamanın tanımı gereğidir. Açıkça, iki bulanık küme aynı durulanmış değeri verebilir. Ayrıca durulanmış değerin daima orijinal bulanık kümenin destekleri arasında olduğu kabul edilir.
2. Üyelik fonksiyonu durulanmış değeri belirler.
3. İki üçgen bulanık sayının işleme sokulup durulanmasından elde edilen değer daima bireysel olarak durulanıp işleme sokulmasında elde edilen değerlerin arasında yer alır.
4. Engelleyici bilgi durumunda, durulanmış değer sınırlı bölgeye düşürülmelidir.

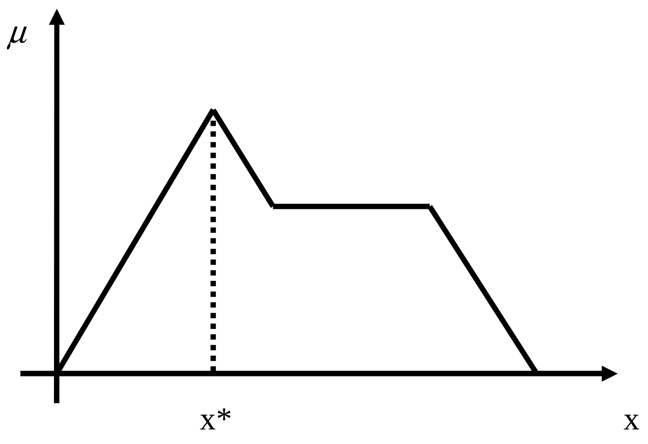
30'dan fazla durulama yöntemi vardır. Ancak iyi bir durulama stratejisi seçmek için sistematik bir işlem yoktur. Uygulamanın özelliklerini dikkate alan bir yöntem seçilmesi gerekir. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir (Baykal ve Beyan,2004:383).

En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi

Bu yöntem üyelik derecesi en yüksek olan değeri çıktı değeri olarak kabul eder. Matematiksel ve şekilsel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x^*) \geq \mu_{\tilde{A}}(x_i), x \in \tilde{A} \tag{2.5}$$

Şekil 2.4. En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi



Kaynak: Sivanandam vd,2007:97-98

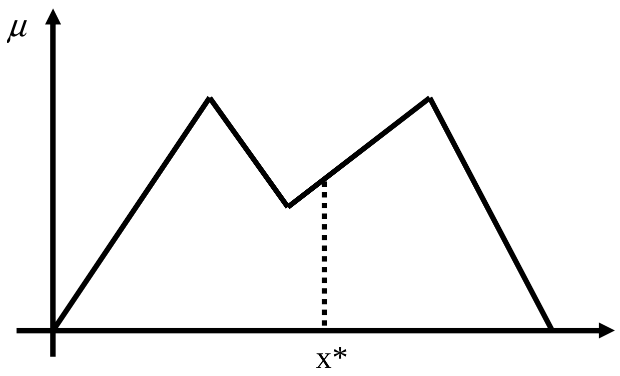
Ağırlık Merkezi Yöntemi

En çok kullanılan durulaştırma yöntemidir. Üyelik fonksiyonunun altındaki alanın ağırlık merkezini veya kitle merkezini hesaplar Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Nurcayho ve Shamsuddin,2003:25).

$$x^* = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x).xdx}{\mu_{\tilde{A}}(x)dx} \tag{2.6}$$

Grafiksel gösterimi ise Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Şekil 2.5 Kitle Merkezi Yöntemi



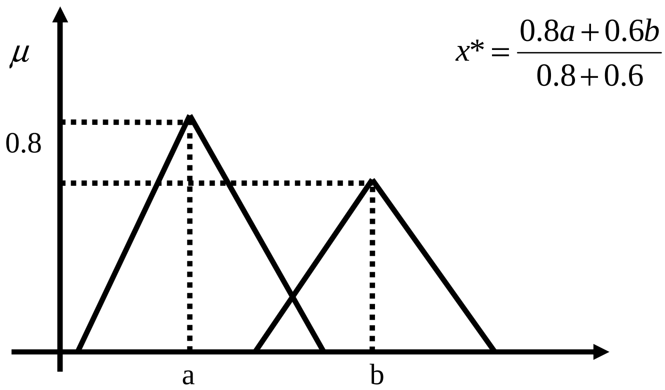
Kaynak: Sivanandam vd.,2007:98

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Her üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik değeriyle ağırlıklandırılmasına dayanan ağırlıklı ortalama yöntemi diğer yöntemlere göre daha az karmaşık ve hesaplama açısından daha kolaydır. Matematiksel ve grafiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Siler ve Buckley,2005:122).

$$x^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{x})\bar{x}}{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{x})} \qquad (2.7)$$

Şekil 2.6 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi



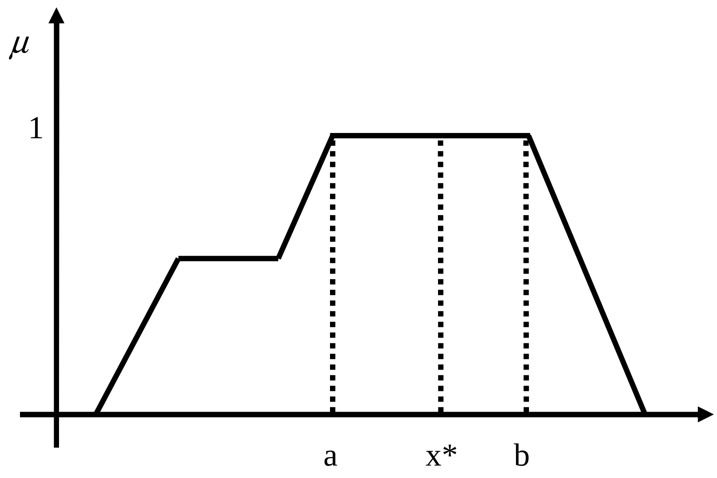
Kaynak: Sivanandam vd.,2007:98

Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi

En büyük üyeliğe sahip değerin tek bir nokta olmaması, bir aralık olması durumunda kullanılır. En büyük üyeliğe sahip değerler içerisinde a en küçük ve b en büyük değeri gösterecek şekilde matematiksel ve şekilsel gösterimi aşağıdaki gibidir (Sivanandam vd., 2007:99).

$$x^* = \frac{a+b}{2} \qquad (2.8)$$

Şekil 2.7. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi



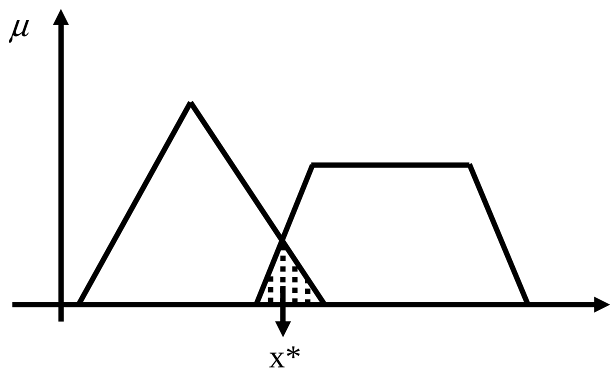
Kaynak: Sivanandam vd., 2007:99

Toplamların Merkezi Yöntemi

Birleşim yerine, $\tilde{A}_1$ ve $\tilde{A}_2$ şeklinde birbirinden ayrı iki bulanık küme çıktılarının cebirsel toplamını içerir. Bu yöntemde kesişen alanlar iki kez eklenir. Toplamların merkezi yönteminde ağırlıklar kendi üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Bu yönüyle ağırlıkların üyelik değerleri olduğu Ağırlıklandırılmış Ortalama Yönteminden farklıdır (Shi ve Sen,2000:2).

Grafiksel gösterimi Şekil 2.8'deki gibidir.

Şekil 2.8 Toplamların Merkezi Yöntemi



Kaynak: Sivanandam vd., 2007: 100

En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi

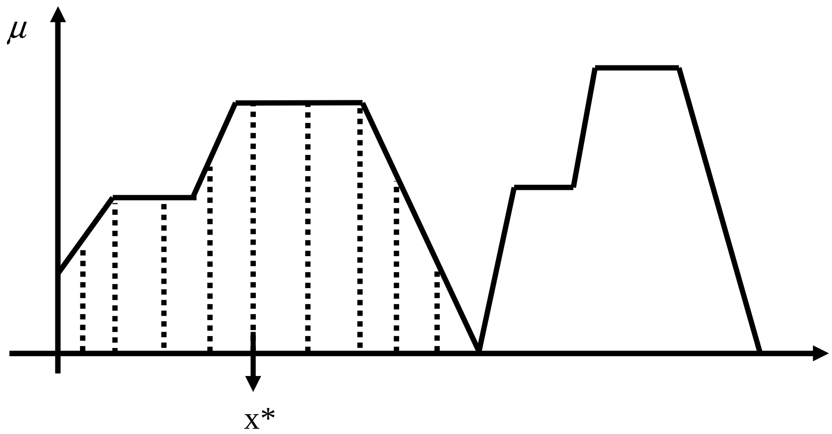
Eğer bulanık kümenin iki dışbükey alt bölümü varsa, en büyük alana sahip dışbükey alt bölümün ağırlığı, durulaştırma değerini hesaplamada kullanılabilir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$x^* = \int \frac{\mu_{\tilde{A}_b}(x).xdx}{\mu_{\tilde{A}_b}(x)dx} \tag{2.9}$$

Burada $\tilde{A}_b$ en büyük alana sahip dışbükey bölüm olmak üzere, x* değeri ağırlık merkezi yöntemi ile elde edilen x* değeriyle aynıdır.

Grafiksel gösterimi ise Şekil 2.9'daki gibidir.

Şekil 2.9 En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi



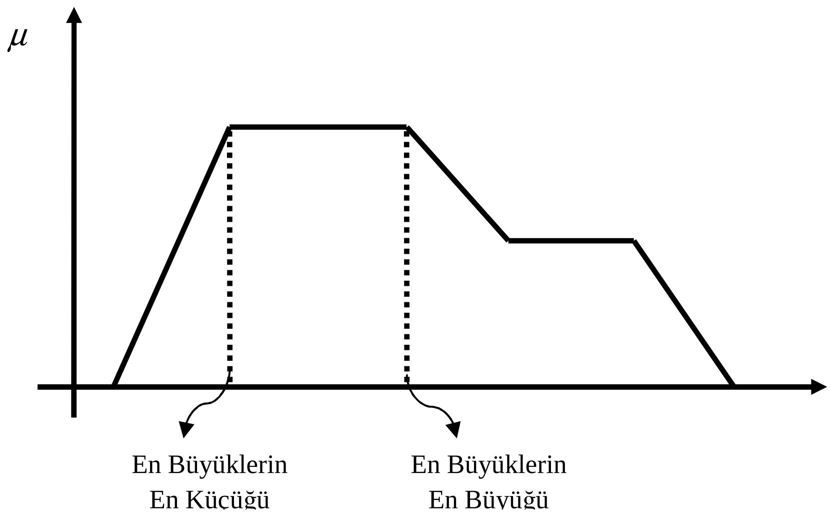
Kaynak: (Sivanandam vd., 2007:101)

En Büyüklerin İlki ya da Sonuncusu Yöntemi

Bu yöntemde tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümenin, en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük değeri veya en büyük değeri durulaştırma değeri olarak belirlenir (Sivanandam vd.,2007:101).

Grafiksel gösterimi ise Şekil 2.10'daki gibidir.

Şekil 2.10 En Büyüklerin İlki yada Sonuncusu Yöntemi



Kaynak: Baykal ve Beyan,2004:385

En Büyüklerin Ortalaması Yöntemi

Mamdani tarafından kullanılan En Büyüklerin Ortalaması (Mean of Maximum-MOM) yöntemi bulanık küme ve üyelik fonksiyonu işlemlerinin bir sonucu olarak doğrudan ortaya çıkmaktadır (Altaş,1999:79)

Yöntemin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Nurcayho ve Shamsuddin,2003:25).

$$U = \sum_{i=1}^{R} U_i / R \tag{2.10}$$

2.4. BULANIK TAHMİN MODELLERİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR

Bulanık Tahmin Modelleri Delphi metoduna dayanan tahmin, bulanık zaman serileri ve bulanık regresyon olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Tablo 2.2'de bulanık tahmin modellerine ilişkin literatür özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Bulanık Tahmin Modelleri İle İlgili Literatür

ARAŞTIRMACI(LAR)	KULLANILAN MODEL	UYGULAMA
Tanaka (1982)	Regresyon	Prefabrik evlerin fiyat tahmini
Hesmaty ve Kandel (1985)	Regresyon	Bilgisayar ve çevre birimlerinin satış tahmini
Sullivan ve Woodall (1994)	Markov modeli ve zaman serileri	Alabama Üni. öğrenci kayıtları
Shnaider ve Kandel (1989)	Zaman serileri	Kurumlar gelir vergilerinin tahmini
Song ve Chissom (1994)	Zaman Serileri	Alabama Üni. öğrenci kayıtları
Chen(1996)	Zaman Serileri	Öğrenci kayıtları
Cummings ve Derrig(1993)	Tahmin seçimi kararı	Sigorta zararlarının tahmini
Kaufmann ve Gupta (1988)	Delphi metodu	Bulanık Delphi Üzerine bir uygulama
Ishikawa (1993)	Delphi metodu	Yeni bir Bulanık Delphi Metodu önerisi
Abraham vd.(2003)	Kural Tabanlı Bulanık Modelleme	Nasdaq Borsası İndex Değerlerinin Analizi
Chang ve Liu(2006)	Kural Tabanlı Bulanık Modelleme	Fiyat Tahminleme
Mamlook vd.(2009)	Kural Tabanlı Bulanık Modelleme	Enerji Dağıtım Sistemlerinde Yük Talep Tahmini
Hadavandi vd.(2010)	Kural Tabanlı Bulanık Modelleme	Turist Sayısını Tahminleme
Park ve Cho(2011)	Kural Tabanlı Bulanık Modelleme	Çoklu Kamera Sistemlerinin Tasarlanması

Kural Tabanlı Bulanık Tahminleme Modelleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Kural tabanlı bulanık modelleme ile ilgili gerek sosyal bilimlerde gerekse mühendislik alanında yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. İlgili çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Eleren, 2007 yılında yaptığı çalışmada, Çimento Sanayi'inde faaliyet gösteren ve İMKB'ye kayıtlı on işletmeyi baz alarak bu şirketlerin 2003-2005 yılları arasındaki mali tablolarını kullanarak bilanço ve gelir tablosu kalemleri arasındaki ilişkileri bulanık mantık yaklaşımı ile modellemiştir. Modelin girdileri olarak bilanço kalemleri olan Dönen Varlıklar, Duran Varlıklar, Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar, Uzun Vadeli Yabancı Kaynaklar ve Özkaynaklar; çıktı olarak ise gelir tablosunun iki önemli kalemi Net satışlar ve Net Karlılık ele almıştır. Bu doğrultuda bilanço kalemleriyle gelir tablosu kalemleri arasında bulanık bir model kurup Matlab paket programıyla ilgili model çalıştırılmıştır. Sonuç olarak Net Satış bulanık model değeri ile gerçek değeri arasında %89,27'lik yüksek bir korelasyon; Net Karlılık bulanık model değeri ile gerçek değeri arasında ise %76,2'lik bir korelasyon tespit etmiştir (Eleren,2007:141-153).

Ertuğrul ve Karakaşoğlu 2008 yılında yaptıkları çalışmada, makine imalatı yapan bir işletmede mermer makinesi üretim sürecindeki faaliyetlerinin kritikliğini incelemek için iki farklı bulanık PERT modeli ele almışlardır. Üretim sürecindeki teslimat sürelerindeki gecikmelere sebep olabilecek kritik faaliyetler, bunların öncelik sıraları ve süreleri ilgili işletmede çalışan mühendislerle görüşüp onlardan alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmuşlardır. Faaliyet süreleri Bulanık PERT modeliyle ele alındığından, ilgili sürelerini üçgen bulanık sayılardan oluşturmuşlardır. Ayrıca oluşturulan bu iki model arasındaki benzerlik ve farklılıklara değinmişlerdir. Makine imalatı yapan bu işletme için, ortaya konulan iki bulanık model, ürünü müşteriye zamanında teslim etmenin önemliliği açısından yol gösterici olmuştur (Ertuğrul ve Karakaşoğlu,2008:109-124).

Subaşı, Beycioğlu ve Çullu 2010 yılında yaptıkları çalışmada betonlar üzerindeki farklı basınç dayanımlarının tahmini için bulanık mantık yöntemleri kullanarak geliştirdikleri tahmin modelini, regresyon modeli ile kıyaslamışlardır.

Geliştirilen bulanık modelde girdi olarak revibrasyon süresi(dk) ve birim ağırlık(gr/cm^3) alınırken, modelin çıktısı olarak ise basınç dayanımı performansı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Girdi ve çıktı değerleri için üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonra, girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kurallar oluşturmuşlardır. Sonuç olarak ise, geliştirdikleri modellerin tahmin performanslarını karşılaştırmışlardır. Bulanık modelleme sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında R^2=0,95 gibi oldukça yüksek bir ilişki, regresyon analizi ile deneysel sonuçlar arasında R^2=0,77 gibi yüksek bir ilişki tespit etmişlerdir. Bulanık modelleme ile elde edilen sonuçlar daha başarılı bulunmuştur (Subaşı vd.,2010:46-52).

Tür, Yardımcı ve Kazaz 2003 yılında yaptıkları çalışmada, inşaat sektörü açısından ekonomik faktörlerde meydana gelen değişimlerin inşaat firmalarını etkileme derecelerini, bulanık mantık yaklaşımıyla analiz etmişlerdir. Firmalar açısından ekonomik durumun belirleyebilmek için 5 parametre(devalüasyon, döviz dalgalanmaları, enflasyon, faiz oranları ve vergiler) belirlemişler söz konusu parametrelerin inşaat firmaları açısından fırsat ve tehdit oluşturma potansiyellerini analiz etmişlerdir. Ekonomik durumun bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilmesi aşamasında kullandıkları bulanık kural tabanını, konuyla ilgili ekonomistler ve uzman mühendis görüşüne dayanarak oluşturmuşlardır. Ekonomik parametreleri belirlenirken bir anket çalışması uygulayıp SPSS ve Minitab paket programları ile analiz ettikten sonra, bu programlarla bulunan sayısal değerler Fuzzy Tech Professional yazılımı ile değerlendirilmişlerdir. Ekonomik parametrelerin tümü için 3 adet dilsel değişken (fırsat, etkisiz ve tehdit) tanımlanmış parametre değerleri ise 0-100 arasında değişim gösterdiği düşünülmüştür. Ekonomik durum (çıktı) üyelik fonksiyonunu ise 5 tane dilsel değişken (büyük fırsat, fırsat, etkisiz, tehdit ve büyük tehdit) ile tanımlamışlar ve parametre değerlerinin ise 0-100 arasında değer aldığını belirtmişlerdir. Modelin analiz edilmesi sonucunda; ülkemizdeki ekonomik durumun firmalar açısından 'büyük tehdit ve etkisiz' arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Özellikle alt yüklenici olan inşaat firmaları küçük sermayeli olmaları ve iş hacimlerinin sınırlı olmalarından dolayı ekonomik parametreleri büyük oranda tehdit olarak görmektedirler. Uluslararası yüklenicilik faaliyetleri nedeniyle iş hacimleri daha büyük olan inşaat firmaları, finansman olanaklarının da esnekliği nedeniyle ekonomik durumu daha düşük bir oranda değerlendirmişlerdir (Tür vd., 2003:218-225).

Paksoy ve Altıparmak, 2004 yılında yaptıkları çalışmada güneş enerjisi ve su arıtma sistemleri imal eden bir işletmenin işlem sürelerindeki belirsizliği bulanık mantık teorisiyle tanımlamışlar ve Malzeme İhtiyaç Planlaması sistemine uygulamışlardır. İşlem sürelerinin bulanık olduğu varsayımı ile malzeme ihtiyaç planını oluşturmuşlardır. İşlem sürelerinin farklı güven düzeyleri(α=0.5 ve α=0.8 ve) için hazırlanan malzeme ihtiyaç planlarının karar vericiler için alternatif durumlar sağlaması önemli olmaktadır (Paksoy ve Altıparmak,2004:291-311).

Kalender, Yılmaz ve Türkbey, 2008 yılında yaptıkları çalışmada bulanık operasyon zamanlı geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir algoritma geliştirmişlerdir. Montaj hattı dengelemede geçmiş verilerin olmaması durumunda, operasyon sürelerinin net olarak belirlenememesi, operasyon sürelerini bulanık olarak ele almayı gerektirmiştir. Çalışmada bulanık operasyon zamanlı modelin çözümünde bazı adımlar belirlenmiştir. Öncelikle operasyon sayısı belirleyip ve operasyonlara ait öncüllük ilişkileri öncelik diyagramıyla göstermişlerdir. Daha sonra çevrim zamanı belirlenip her operasyonun en erken ve en geç tamamlama sürelerini belirlemişlerdir. Bulanık mantık gereği operasyonlar için bulanık üyelik fonksiyonları ve üyelik fonksiyonlarına ait α-kesmeleri belirleyip; öncüllük ilişkileri, çevrim zamanı ve kesme fonksiyonları bilgisayar programına girilmiştir. Program tarafından üretilen alternatifler hattın etkinliği, α-ort, Var α kriterlerine göre değerlendirmiştir (Kalender vd.,2008:129-138).

Murat, 2006 yılında yaptığı çalışmada taşıt gecikme sürelerini bulanık mantık ile modellemiştir. Bulanık mantık gecikme modelinin parametreleri olarak trafik hacmi, şeritteki ortalama kuyruk uzunluğu ve kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı belirlenmiştir. Parametrelerin bulanık üyelik fonksiyonlarının tespitinde gözlemlerden elde edilen verilerin maksimum, minimum değerleri ve standart sapmaları dikkate alınmıştır. Çalışmada üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanının oluşturulması için Matlab yazılımının bulanık modülünden faydalanılmıştır. Durulaştırma yöntemi içinse ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada geliştirilen bulanık gecikme modeli, trafik hacimleri açısından değerlendirildiğinde gerek düşük trafik hacmi olan durumlarda gerekse de yüksek trafik hacmi olarak nitelendirilebilecek durumlarda oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Modelin, gözlem değerlerini gerçekçi bir şekilde temsil ettiği görülmüştür (Murat,2006: 3903-3916).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde İzmir ilinde yol çizgi uygulamaları sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin, katıldığı ihalelerdeki fiyat tahminleme sürecinde, teklif edilecek fiyatın belirlenmesi konusunda yardımcı olacak bir tahmin modeli oluşturulmuştur.

Önceki bölümlerde anlatılan Bulanık Mantık ve Bulanık Kural Tabanlı Modellemeye dayalı oluşturulan fiyat tahmin modeliyle, ihalede teklif edilecek bedelin belirlenmesine çalışılmış; bulanık fiyat tahmin modeli ile hesaplanan birim fiyat ve toplam maliyet, firmanın teklif ettiği bedel ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

3.1. UYGULAMANIN AMACI

Uygulamanın amacı işletmelerin karar vermeye yönelik tahminleme süreçlerinde bulanık mantık yardımıyla oluşturulan modellerin kullanılmasını ve uygulanışını göstermek; elde edilen sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırmaktır. Bu kapsamda yol çizgi uygulama sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ihalelerde teklif ettiği fiyatların tahminlemesine yönelik bir uygulama yapılmış olup elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir ve ileriye yönelik tahminlerde bulunularak bulanık modelin etkinliği kıyaslanacaktır.

3.2. UYGULAMA YERİ

Uygulamanın yapıldığı işletme olan Boytekma Anonim Şirketi faaliyetlerine 1997 yılında başlamıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü standartlarına uygun yatay ve düşey işaretleme yapmak amacıyla kurulmuş olan firma, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Belediyelerin projelerini hayata geçirerek vermiş olduğu trafik mühendisliği hizmetlerinin yanı sıra alışveriş merkezlerinin otoparkları, havaalanları, yarış pistleri ve fabrikalar gibi projelerin yatay ve düşey işaretleme işlerini yapmaktadır. Boytekma A.Ş. uygulamanın yanı sıra, grup şirketlerinden Altekma

Anonim Şirketinin kullandığı yol çizgi kamyonlarını ve yol çizgi makinelerini de imal edebilmektedir. Ayrıca Boytekma'nın kullandığı boyaları tedarik ettiği grup şirketlerinden Signatekma Anonim Şirketi ise yol çizgi boya üretiminde Türkiye'de 14 çeşit yol çizgi boyası üreten ilk ve tek firma olma özelliğine sahiptir.

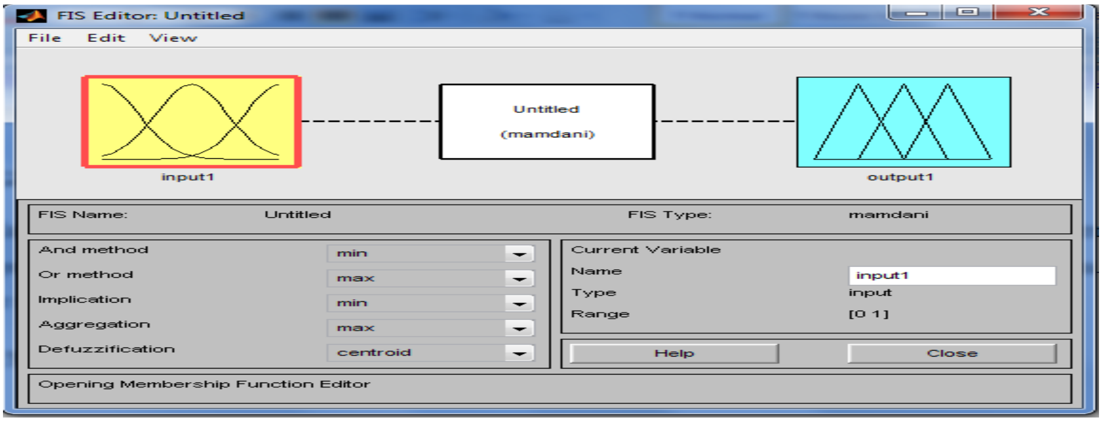
Boytekma A.Ş.'nin boya uygulamasını yaptığı önemli bazı önemli işler ise aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Universiade 2005 İzmir
- ✓ Formula 1 İstanbul Park
- ✓ Adnan Menderes, Bağdat, Basra, Kerkük, Antalya Havalimanları ve Bağdat Askeri Havalimanı
- ✓ Gaziantep Organize Sanayi
- ✓ Ege Ordu Komutanlığı
- ✓ Aksaz Denizüstü Komutanlığı
- ✓ Forum Bornova, Forum Denizli Çamlık, Forum İstanbul, Forum Bayrampaşa
- ✓ Carrefour, İKEA, Metro, Migros, Media Markt, Philip Morris, Turkcell, Vestel.

3.3. UYGULAMA YÖNTEMİ

Çalışmada, Bulanık Kural Tabanlı Model oluşturulurken Matlab®7.5.0 paket yazılım programı içerisindeki Fuzzy Logic modülünden faydalanılmıştır. Fuzzy Logic modülüne ilişkin ekran çıktısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Şekil 3.1. Matlab®7.5.0 Fuzzy Logic Modülü

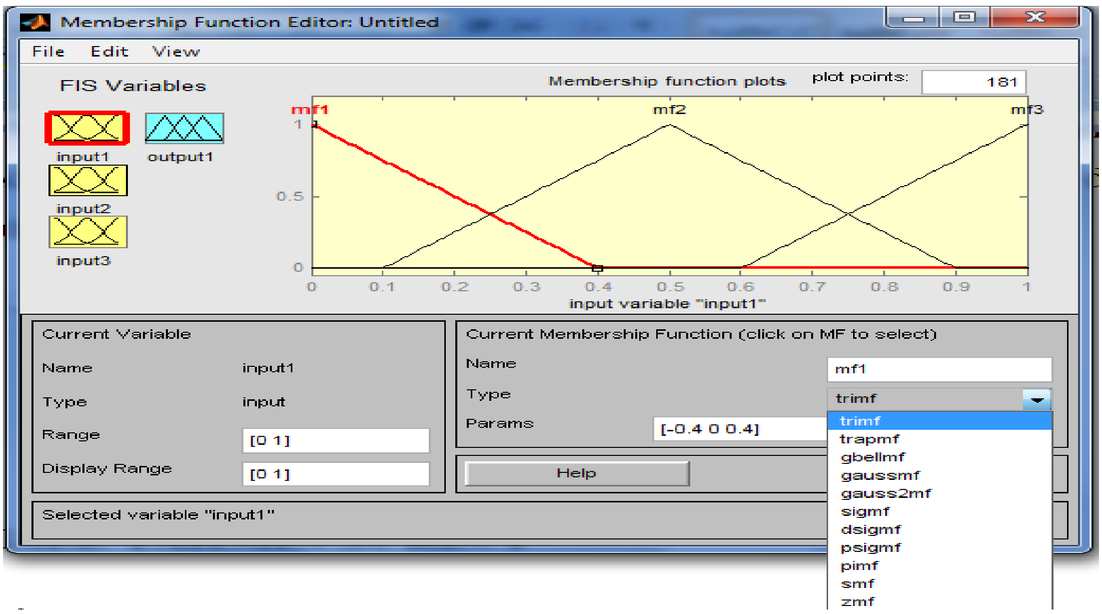


Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, Matlab®7.5.0 Fuzzy Logic Modülü kesin girdileri sözel değişkenler ve üyelik dereceleriyle birlikte dönüştüren bulanıklaştırma arayüzü (girdi arayüzü), birçok sayıda Eğer-İse kuralını içerebilen ‘kural tabanı’ ve bulanık sonuçları, çıktı arayüzünden oluşmaktadır.

Girdi arayüzünde üyelik fonksiyonları tipi belirlenerek her girdi için bulanıklaştırılma işlemi yapılır. Kesin değerler bulanık değerlere bu kısımda dönüştürülür. Uygun üyelik fonksiyonlarının tespiti bulanıklaştırma aşamasındaki en önemli noktalardan biri olmaktadır.

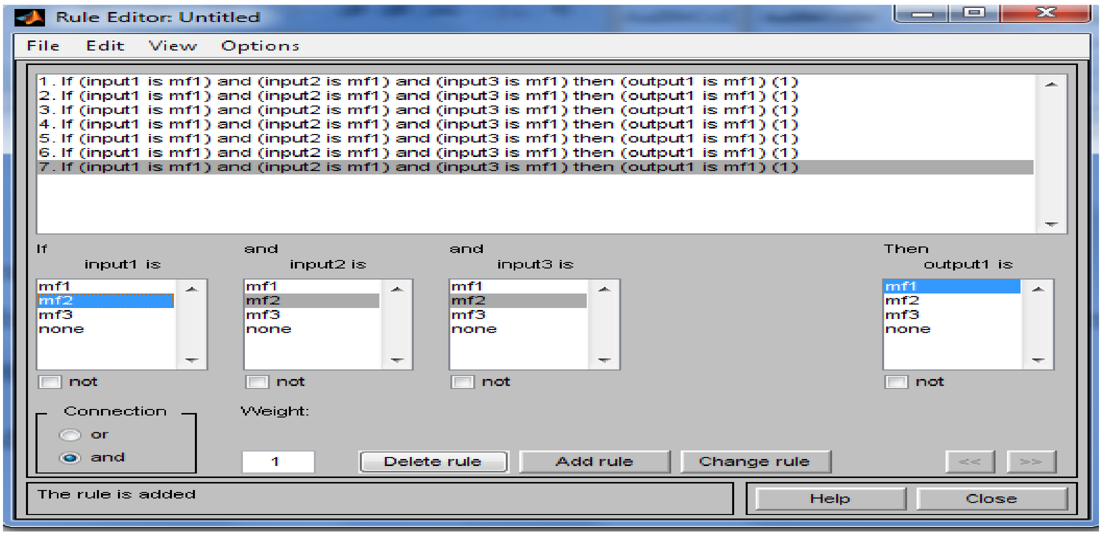
Girdi arayüzü Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Şekil 3.2. Matlab®7.5.0 Fuzzy Logic Modülü Girdi Arayüzü



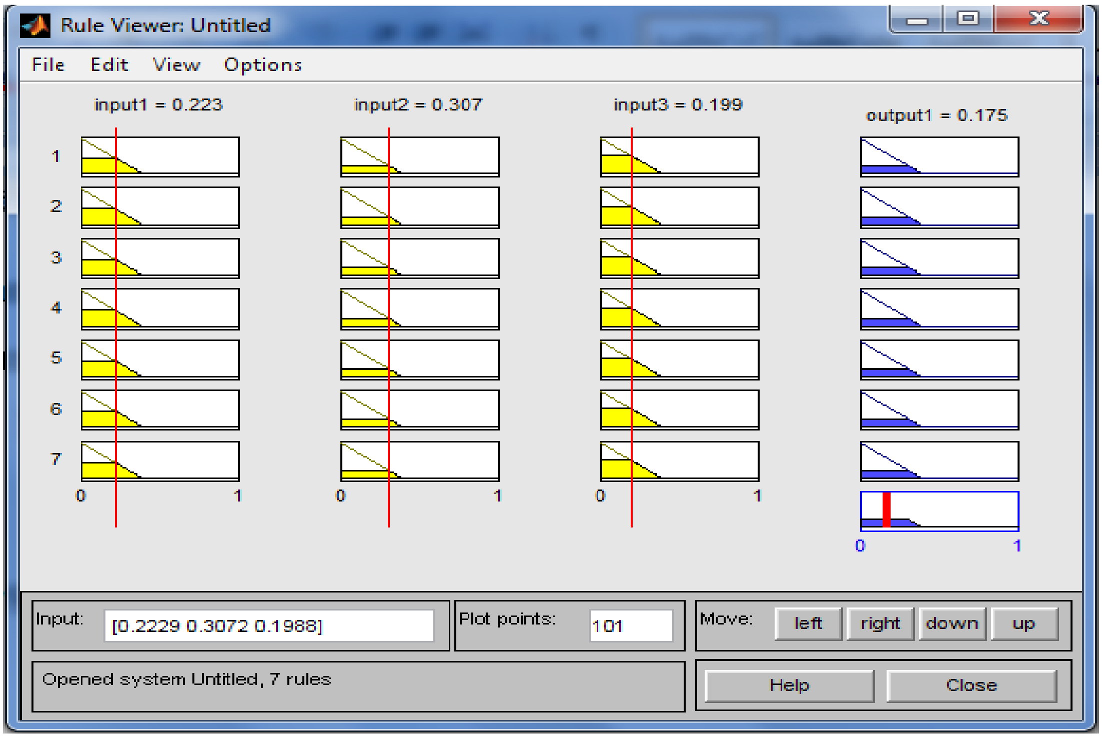
Kural tabanının oluşturulduğu modül ise Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu modülde, birçok Eğer-ise kuralı belirlenebilir. En uygun kuralların bulunması, modelin başarısını artıracak en önemli unsurlardan biridir.

Şekil 3.3. Matlab®7.5.0 Fuzzy Logic Modülü Kural Belirleme Ekranı



Üyelik fonksiyonları yardımıyla bulanıklaştırılan girdiler ve belirlenen kurallar sonrası bulanık çıkarım mekanizması, elde ettiği sonuçları durulaştırıp modelin sonucunu ortaya koyar. Modele ait çözüm ekranına ait ekran çıktısı Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

Şekil 3.4. Matlab®7.5.0 Fuzzy Logic Modülü Sonuç Ekranı



3.4. İHALE KAVRAMI

İhale, kaynakların dağıtımının ve fiyatların, piyasa katılımcılarının teklifleri ile belirlendiği, açık ve tanımlanabilir kuralları olan bir piyasa mekanizmasıdır (McAfee ve McMillan 1987, 701).

İhaleler barındırdıkları özellikler bakımından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

✓ *Katılımcılarına Göre İhaleler:* İhaleler tüm kamunun katılımına açık olarak yapılmasının yanı sıra (Tüm Kamuya Açık İhaleler), Davet Usulü İhalelerde olduğu gibi, yalnızca belirli oyuncuların katılımına açık olarak da düzenlenebilmektedir.

✓ *Teklifin Yapılış Biçimine Göre İhaleler:* Kapalı teklif usulü ihalelerde, oyuncular yalnızca bir teklif yapmaktadır. Teklifler ihale bittikten sonra açılmakta ve kazanan açıklanmaktadır. Açık ihalelerde ise oyuncular tekliflerini ihale sürecinde tüm ilgililerin önünde ve süreklilik arz eden bir biçimde artan, azalan veya eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir.

✓ *İhale Konusu Nesne İçin Ödenen Fiyata Göre İhaleler:* İhalelerde kazanan, nesneye en yüksek teklifi veren (alım ihalelerinde en düşük teklif) kişi olarak tanımlanabilir.

✓ *İhale Konusu Nesnenin Miktarına Göre İhaleler:* İhaleler tekli ya da çoklu nesnelerin satışına yönelik olarak yapılabilmektedir. Tek Nesneli İhalelerde yalnızca tek bir nesne satışa sunulmakta ve teklifler buna göre yapılmaktadır. Çoklu Nesnelerin İhalesi (multiple units) birbirine benzer ürünlerin aynı anda satışa sunulmasını ifade etmektedir. Teklifler satın alınmak istenen miktar ve fiyatın satıcıya sunulması ile gerçekleştirilmektedir. En büyük çoklu nesne ihaleleri olarak hükümetlerin gerçekleştirmiş olduğu tahvil ve bono satışları gösterilebilir.

✓ *İhale Düzenleyicinin Amacına Göre İhaleler:* İhaleyi düzenleyenin herhangi bir nesneyi (nesneleri) satın almak amacıyla düzenlediği ihaleler Alım İhaleleri, satmak amacıyla düzenlediği ihaleler ise Satım İhaleleri olarak adlandırılabilir
Kaynak:http://www.insaatmuhendisligi.net/index.php/topic,285.0/imode.html
(Erişim Tarihi: 20/05/2011).

3.5. İHALE TAHMİN SÜRECİ VE KURAL TABANLI BULANIK MANTIK UYGULAMASI

Boytekma Anonim Şirketi, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Belediyelerin projeleri kapsamında birçok ihaleye katılmaktadır. Bu ihalelerin büyük bir çoğunluğu ise kapalı teklif usulü gerçekleşmektedir. İlgili ihalelere fiyat teklifi hazırlanırken aşağıdaki süreç izlenmektedir.

- ✓ İhaledeki iş kalemleri tek tek belirlenir.
- ✓ Her iş kaleminin bitirilmesi için çalışılacak gün sayısı belirlenir.
- ✓ Çalışılacak gün sayısına göre ilgili iş kalemlerinde görev alacak personel sayısı, iş için gerekli araç sayısı vb. kalemler tespit edilir.
- ✓ Her iş kaleminin tahmini maliyeti hesaplanır.
- ✓ Yönetimin uygun gördüğü bir kar payı, toplam maliyete eklenerek nihai fiyat belirlenir.

Tez çalışması kapsamında Boytekma Anonim Şirketinin katıldığı Karayolları 2. Bölge İzmir İli Çift Kompenantlı Boya Uygulaması İhalesinde Bulanık Mantık yaklaşımıyla bir fiyat teklifi hazırlanmıştır. Kural tabanlı bulanık model yardımıyla önerilen fiyatla, Boytekma mühendisleri tarafından hazırlanan ihale fiyat teklifi karşılaştırmalı olarak yorumlanacaktır.

Çift Kompenantlı Boya Uygulaması İhalesindeki 5 iş kalemi aşağıda verilmiştir.

- ✓ *1. İş Kalemi:* Makine ile Çift Kompenantlı Boya kullanılarak Yaya Geçidi Çizgilerinin çizilmesi (3mm.kalınlıkta).
- ✓ *2. İş Kalemi:* Makine ile Çift Kompenantlı Boya kullanılarak Yavaşlama Uyarı Çizgilerinin çizilmesi (5mm.kalınlıkta).
- ✓ *3. İş Kalemi:* Makine ile Çift Kompenantlı Boya kullanılarak Ofset Taraması çizilmesi (3mm.kalınlıkta).
- ✓ *4. İş Kalemi:* Makine ile Çift Kompenantlı Boya kullanılarak Standart Ok ve Yazıların çizilmesi (3mm.kalınlıkta).

- ✓ *5. İş Kalemi:* Makine ile Çift Kompenantlı Boya kullanılarak Standart Çift Ok çizilmesi (3mm.kalınlıkta).

Yukarıda yer alan 5 iş kalemine ait ölçü birimleri ve uygulama miktarı Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. İş Kalemlerine Ait Miktar ve Ölçü Birimleri

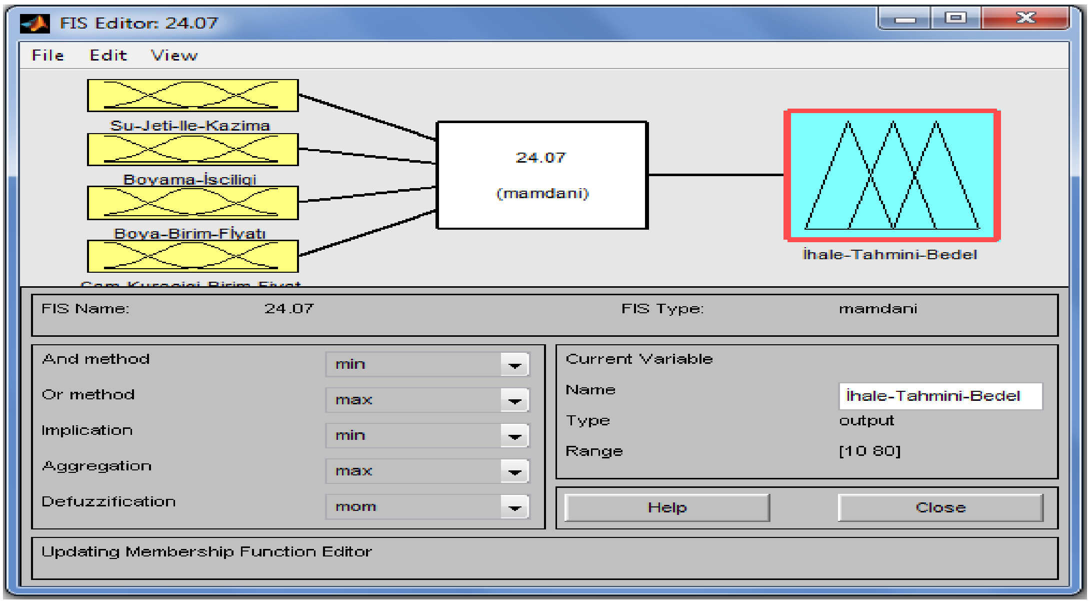
İş Kalemleri	Ölçü Birimi	Miktar
1. İş Kalemi	M^2	4332
2. İş Kalemi	M^2	4871
3. İş Kalemi	M^2	2475
4. İş Kalemi	Adet	195
5. İş Kalemi	Adet	270

Her iş kalemine ait maliyetlerin hesaplanması aşamasında, her iş kaleminin altındaki dört maliyet kalemi ise aşağıdaki gibidir.

- ✓ Su jeti ile kazıma işi birim fiyatı
- ✓ Boyama işçiliği birim fiyatı
- ✓ Harcanacak boyanın birim fiyatı
- ✓ Cam küreciği birim fiyatı

Yukarıdaki dört maliyet kalemi, oluşturulacak bulanık modelin aynı zamanda girdilerini oluşturmaktadır. 4 adet girdi değişkeni ve İhale Tahmin Bedeli çıktı değişkeni modele aktarılmıştır. Mamdani metodu kullanılarak oluşturulan modelin ekran görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Durulaştırma yöntemi olarak ise en büyüklerin ortalaması (Means of Maxima-Mom) yöntemi kullanılmıştır.

Şekil 3.5. Bulanık Modelin Ekran Görüntüsü



Girdilerin bulanıklaştırılması sürecinin en önemli aşaması olan üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde Boytekma mühendislerinin uzman görüşünden ve geçmiş verilerden yararlanılmıştır.

Su jeti ile kazınan yerin yapısı ve üzerindeki boyanın durumuna göre 1. Girdiye ait üyelik fonksiyonu belirlenirken; ‘kolay kazınan’, ‘normal kazınan’ ve ‘zor kazınan’ şeklinde dilsel değişkenler haline dönüştürülmüştür.

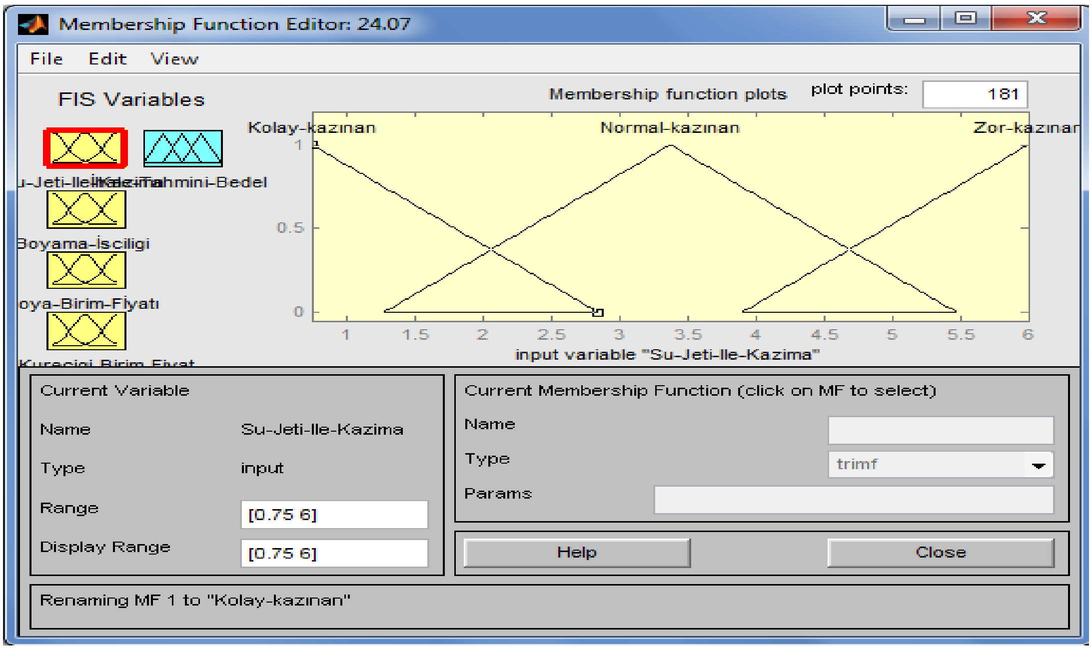
Boyama işçiliği birim fiyatına ait olan 2. Girdiye ait üyelik fonksiyonu ise ‘ucuz işçilik’, ‘normal’ ve ‘pahalı işçilik’ şeklinde dilsel değişkenler haline dönüştürülmüştür.

Boyanın birim fiyatına ait olan 3. Girdiye ait üyelik fonksiyonu ise ‘düşük’, ‘orta’ ve ‘yüksek’ şeklinde dilsel değişkenler haline dönüştürülmüştür.

Cam küreciği birim fiyatına ait olan 4. Girdiye ait üyelik fonksiyonu ise ‘düşük’, ‘orta’ ve ‘yüksek’ şeklinde dilsel değişkenler haline dönüştürülmüştür. 4 girdinin de bulanıklaştırılması sürecinde üçgen üyelik fonksiyonlarından yararlanılmıştır.

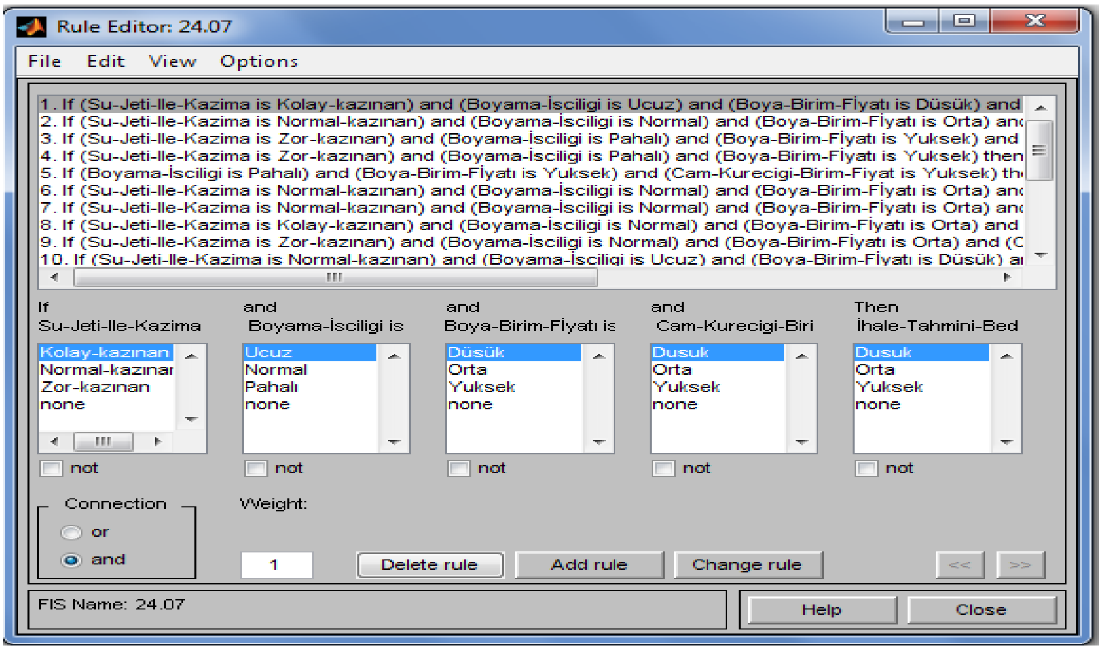
Üyelik fonksiyonları yardımıyla bulanıklaştırılan girdilere ilişkin ekran görüntüsü Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Şekil 3.6. Üyelik Fonksiyonlarına İlişkin Ekran Görüntüsü



Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasından sonra, modelin başarılı sonuçlar verebilmesi konusunda önemli olan bir diğer husus kural tabanının belirlenmesidir. Her ihaledeki kalemlerin farklılığı nedeniyle, aynı ihaleyle ilgili çok fazla veri olmamasından dolayı Boytekma mühendislerinin uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen kural tabanı ekran görüntüsü Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Şekil 3.7. Kural Tabanı Ekran Görüntüsü



Örnek birkaç kural aşağıdaki gibidir, diğer tüm kurallar Ek-5’te verilmiştir.

- ✓ EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Düşük’.
- ✓ EĞER ‘Su jeti ile normal kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.
- ✓ EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ ve ‘Yüksek Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Yüksek’.

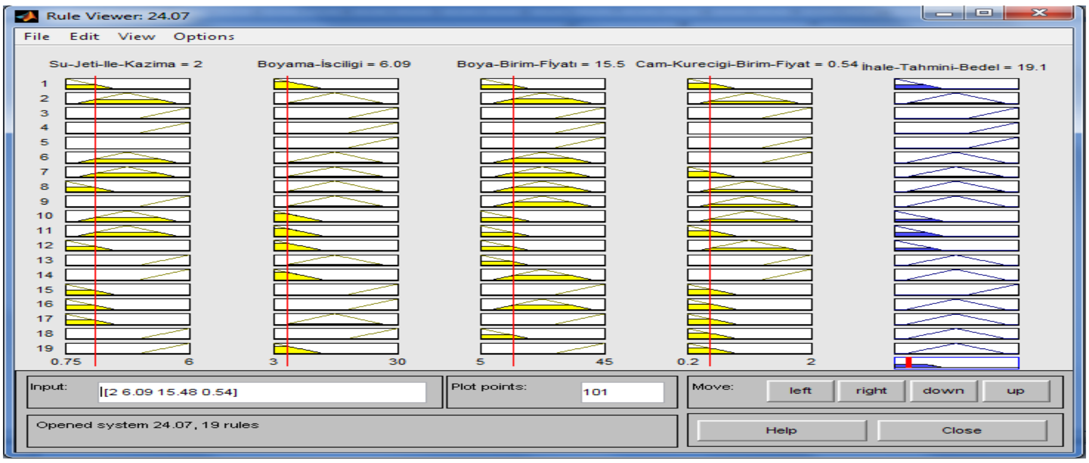
Firma verilerinin girişi “kurallar” sekmesinde gerçekleştirilir. İlgili ihalenin 1.kalemine ilişkin firma verileri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. 1.İhale Kalemine İlişkin Firmanın Girdi Verileri

Girdiler	**TL/br**
Su jeti ile kazıma işi birim fiyatı	2
Boyama işçiliği birim fiyatı	6.09
Harcanacak boyanın birim fiyatı	15.48
Cam küreciği birim fiyatı	0.54

Tablo 3.2’deki 1. İhale kalemine ilişkin firma verileri bulanık modele girilmiş ve o ihale kaleminin model tarafından tespit edilen birim fiyatı 19.1 TL olarak bulunmuştur. 1. İhale kaleminde yapılması gereken 4332 m^2 iş olduğundan, bu kalemin toplam maliyeti 19.1*4332=82741.2 TL olarak hesaplanır. Kurallara ait ekran görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir.

Şekil 3.8. 1. İhale Kaleminin Birim Fiyat Tespitine İlişkin Ekran Görüntüsü



İhalenin diğer kalemlerine ilişkin ekran görüntüleri ise Ek 1, Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'te gösterilmiştir.

- ✓ İlgili ihalenin 2.kalemine ilişkin firma verileri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. 2.İhale Kalemine İlişkin Firmanın Girdi Verileri

Girdiler	**TL/br**
Su jeti ile kazıma işi birim fiyatı	2
Boyama işçiliği birim fiyatı	6.15
Harcanacak boyanın birim fiyatı	31.64
Cam küreciği birim fiyatı	0.54

Tablo 3.3'deki 2. İhale kalemine ilişkin firma verileri bulanık modele girilmiş ve o ihale kaleminin model tarafından tespit edilen birim fiyatı 45 TL olarak bulunmuştur. 2. İhale kaleminde yapılması gereken 4871 m^2 iş olduğundan, bu kalemin toplam maliyeti 45*4871=219195 TL olarak hesaplanır.

- ✓ İlgili ihalenin 3.kalemine ilişkin firma verileri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. 3.İhale Kalemine İlişkin Firmanın Girdi Verileri

Girdiler	**TL/br**
Su jeti ile kazıma işi birim fiyatı	0.75
Boyama işçiliği birim fiyatı	3.87
Harcanacak boyanın birim fiyatı	5.46
Cam küreciği birim fiyatı	0.23

Tablo 3.4'deki 3. İhale kalemine ilişkin firma verileri bulanık modele girilmiş ve o ihale kaleminin model tarafından tespit edilen birim fiyatı 11.05 TL olarak bulunmuştur. 3. İhale kaleminde yapılması gereken 2475 m^2 iş olduğundan, bu kalemin toplam maliyeti 11.05*2475=27348.75 TL olarak hesaplanır.

- ✓ İlgili ihalenin 4.kalemine ilişkin firma verileri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. 4.İhale Kalemine İlişkin Firmanın Girdi Verileri

Girdiler	TL/br
Su jeti ile kazıma işi birim fiyatı	4
Boyama işçiliği birim fiyatı	24.6
Harcanacak boyanın birim fiyatı	31.04
Cam küreciği birim fiyatı	1.19

Tablo 3.5'deki 4. İhale kalemine ilişkin firma verileri bulanık modele girilmiş ve o ihale kaleminin model tarafından tespit edilen birim fiyatı 45 TL olarak bulunmuştur. 4. İhale kaleminde yapılması gereken 195 adet standart ok ve yazılarını çizilmesi işi olduğundan, bu kalemin toplam maliyeti 45*195=8775 TL olarak hesaplanır.

- ✓ İlgili ihalenin 5.kalemine ilişkin firma verileri Tablo 3.6'da verilmiştir.

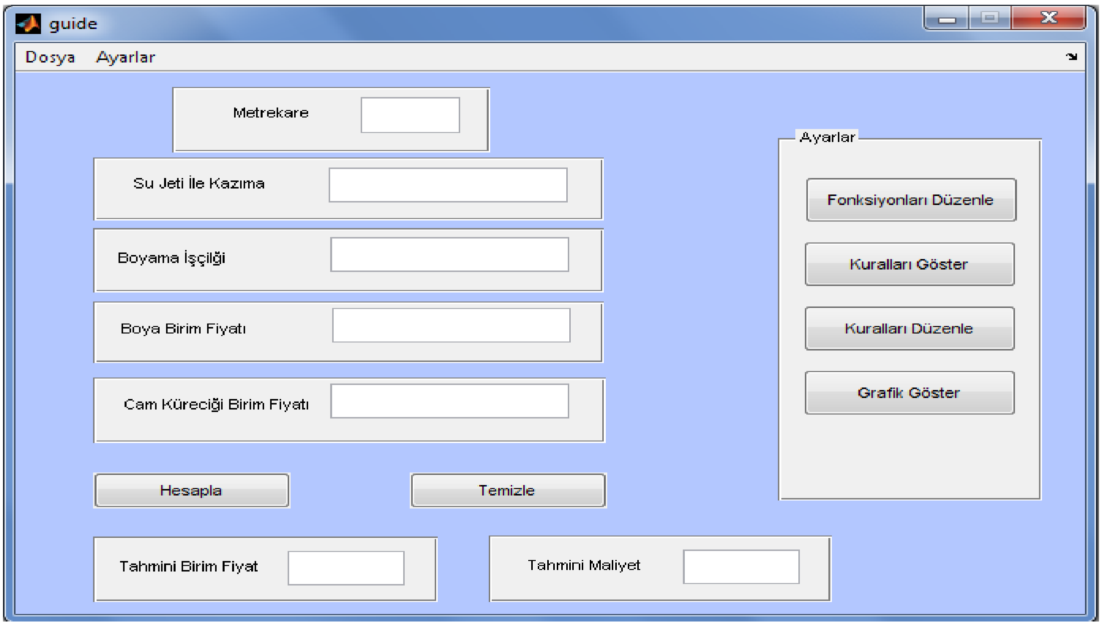
Tablo 3.6. 5.İhale Kalemine İlişkin Firmanın Girdi Verileri

Girdiler	TL/br
Su jeti ile kazıma işi birim fiyatı	6
Boyama işçiliği birim fiyatı	22.2
Harcanacak boyanın birim fiyatı	41.14
Cam küreciği birim fiyatı	1.27

Tablo 3.6'daki 5. İhale kalemine ilişkin firma verileri bulanık modele girilmiş ve o ihale kaleminin model tarafından tespit edilen birim fiyatı 70.2 TL olarak bulunmuştur. 5. İhale kaleminde yapılması gereken 270 adet standart çift ok çizilmesi işi olduğundan, bu kalemin toplam maliyeti 70.2*270=18954 TL olarak hesaplanır.

İhaleye ait 5 iş kalemine ilişkin birim maliyetlerin hesaplanmasında kolaylık sağlayacak bir arayüz Matlab®7.5.0 paket programı yardımıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan arayüz girdilere ilişkin değerlerin girilmesine olanak sağlarken aynı zamanda üyelik fonksiyonları oluşturma ekranı, kural tabanı belirleme ekranına geçiş olanağı da sağlamaktadır. Oluşturulan arayüze ait ekran görüntüsü Şekil 3.9'da verilmektedir.

Şekil 3.9. Oluşturulan Arayüze Ait Ekran Görüntüsü



Bulanık Model Sonuçları ile Firma Tahmininin Karşılaştırılması

Oluşturulan Kural Tabanlı Bulanık Modelin sonuçları ve tahmin edilen ihale bedeli Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Oluşturulan Modelin Sonuçları

İş Kalemleri	**Miktar**	**Tahmini Birim Fiyat(TL)**	**Tahmini Maliyet(TL)**
1. İş Kalemi	4332 m^2	19.1	82741,2
2. İş Kalemi	4871 m^2	45	219195
3. İş Kalemi	2475 m^2	11.05	27348,75
4. İş Kalemi	195 adet	45	8775
5. İş Kalemi	270 adet	70.02	18954
			357013,95

Firmanın kendi hesaplamaları sonucu elde ettikleri tahmini ihale bedeli ise Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Firma Sonuçları

İş Kalemleri	**Miktar**	**Tahmini Birim Fiyat(TL)**	**Tahmini Maliyet(TL)**
1. İş Kalemi	4332 m^2	25,2073	109197,9
2. İş Kalemi	4871 m^2	42,1089	205112,3
3. İş Kalemi	2475 m^2	10,8609	26880,7
4. İş Kalemi	195 adet	64,2246	12523,7
5. İş Kalemi	270 adet	75,0258	20256,9
			373971,5

Sonuç olarak kural tabanlı bulanık modelleme ile tahminlenen ihalenin toplam maliyet bedeli 357013,95 TL'dir. Firmaya önerilen bu bedelin, firmanın tespit ettiği 373971,5 TL'lik maliyet bedelinden 16957,55 TL daha düşük olduğu görülmektedir. İlgili ihalenin kapalı zarf usulü gerçekleşmesi ve bu tip bir ihalede en düşük fiyatı veren firmanın ihaleyi kazanacağı düşünüldüğünde, bulanık mantık yardımıyla geliştirilen modelin, firmaya daha düşük fiyatı verme konusunda yardımcı olacağı görülmektedir.

İhale tahmini gibi belirsizliklerin çok olduğu durumlarda rahat modelleme imkanı veren bulanık mantık yaklaşımı ile oluşturulan modelin, ihalenin toplam maliyetini hesaplamada başarılı olması ihalenin kazanılmasını etkileyecek tek etken olmamaktadır. Hesaplanan toplam maliyet üzerine eklenecek kar oranı belirleyecek olan yönetim kararları modelin başarısını anlamlı kılacak önemli bir unsur olarak görülmektedir. Dolayısıyla ihale girdilerine uygun üyelik fonksiyonları ve bulanık kurallar yardımıyla oluşturulan modelin ihale bedelini belirlemedeki başarısı, firma yöneticilerinin başarılı stratejik kararlar almasıyla orantılı olarak ta değişecektir.

SONUÇ

İşletmelerin tahminleme sürecinde karar vermelerine yardımcı olmasına yönelik olarak yapılan bu çalışmada bulanık mantık ve bulanık kural tabanlı model uygulaması anlatılmıştır. İşletmeler için doğru tahmin yapmak, kuşkusuz günümüzde önemli bir araç haline gelmiştir. Tahminleme süreci tüm işletme kararlarının temelini oluşturmaktadır. İşletmeler yaşamlarını devam ettirebilmek ve rekabet edebilmek amacıyla tahminlerde bulunurlar ve bu tahminleri doğrultusunda stratejiler geliştirip, kararlar alırlar. Bu nedenle geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak için şirketler, birçok uygulamada faydalı olan çeşitli yöntemleri kullanmaya yönelmişlerdir. Çalışmanın da konusu olan bulanık modelleme, işletmelere belirsizlik ortamlarında karar vermelerine yardımcı bir alternatif oluşturması açısından önem arz etmektedir.

Bu kapsamda çalışmanın birinci bölümünde bulanık mantık ele alınmıştır. Klasik düşüncenin her zaman geçerli olmadığı, kesin verilerin dışında belirsizliklerin de hayatın her alanında bulunduğundan bahsedilmiştir. Bulanık mantık yaklaşımı, matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, ihale tahmin süreçleri gibi, insan yargılarının çoğunlukla söz konusu olduğu belirsizlik durumlarında daha rahat modelleme imkanı vermektedir. Bu bağlamda bulanık mantık yaklaşımı bu çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık modelleme yer almaktadır. Bulanık modelleme temel olarak; kesin girdileri sözel değişkenler ve üyelik dereceleriyle birlikte dönüştüren ‘bulanıklaştırma arayüzü’, birçok Eğer-İse kuralını içeren ‘kural tabanı’ ve bulanık sonuçları, kesin çıktılara dönüştüren ‘durulaştırma arayüzü’nden oluşmaktadır. Modellemede, oluşturulan üyelik fonksiyonları ve kurallara dayalı çıkarım yapılmaktadır.

Üç bölümden oluşan çalışmanın üçüncü bölümünde ise ihale fiyatlarının tahminlenmesine yönelik bulanık kural tabanlı modelleme uygulaması anlatılmıştır. Fiyat tahmin modelinin oluşturulmasında, tahmin yapılacak ihale türü seçildikten sonra, firmanın geçmiş yıllardaki benzer tip ihalelerle ilgili verileri ve firma mühendislerinin uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda Matlab®7.5.0 paket programı Fuzzy Logic modülü kullanılarak bulanık üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanı oluşturulmuştur. Seçilen ihaleye ait 5 iş kalemiyle ilgili, her bir kalem için birim maliyetler Matlab®7.5.0 paket programı ile hesaplanmış ve toplam maliyet bulunmuştur. Tablo 3.7'de verilen bulanık model yardımıyla hesaplanan birim maliyetler ve toplam maliyet; Tablo 3.8'deki firmanın hesapladığı birim maliyetler ve toplam maliyetlerle karşılaştırılmıştır. Bulanık modelleme ile elde edilen tahmini ihale bedeli 357013,95 TL olup, firmanın tahminlerine göre bulunan 373971,5 TL'den 16957,55 TL daha az bulunmuştur. Firmanın katıldığı ihalenin kapalı zarf usulü olduğu yani en düşük teklifi veren firmanın ihaleyi kazanacağı düşünüldüğünde, bulanık modelleme yardımıyla hesaplanan ihale bedelinin 16957,55 TL daha düşük bir bedel olması, bulanık modelin firmaya ihale tahmin sürecinde yardımcı olacak bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışmaya konu olan bulanık modelleme ile yapılan örnek uygulama, oluşturulan modelin tahminleme yeteneğini ortaya koymaya yöneliktir. Tahminler geleceğe ilişkin belirsizlikler ile yapıldığından mükemmel olmaları çok zordur. Her zaman hata payı göz önünde bulundurulmalı ve yapılan uygulamalarda amaç bu hataları en aza indirgemek ve gelecekte faydalı olmasını sağlamak şeklinde olmalıdır. Bu çalışmada bulanık modelleme ile yapılan tahminde elde edilen sonuçlar firma tahminleriyle karşılaştırıldığında, bulanık modelin başarılı olduğu görülmektedir. Fakat ihale tahmin sürecinde, toplam maliyetin hesaplanmasının önemli olduğu kadar, ilgili ihalede hesaplanan maliyetler üzerine ne kadar kar oranı koyulacağı da bir o kadar önemlidir. İhalenin gerçekleştiği o günkü ekonomik konjonktürde firmaların karar vericileri tarafından uygulanacak stratejiler ve alınacak doğru kararlar, bulanık modelin başarısını arttıracak önemli unsurlar olarak görülmektedir. Ayrıca kural tabanlı bulanık modelin oluşturulması sürecinde üyelik fonksiyonlarını belirleme ve kural tabanını oluşturma aşamasında kullanılacak yöntem modelin başarısını etkileyecek bir diğer önemli unsurdur. Bu çalışmada ilgili ihale ile ilgili çok fazla veri olmaması nedeniyle, firma mühendislerinin görüşleri doğrultusunda üyelik fonksiyonları ve kurallar belirlenmiştir.

Yapılan çalışma kural tabanlı bulanık modellemenin fiyat tahminlemede uygulanabilirliğini ve karar vericilere katıldıkları ihalelerde fiyat teklifi sunmada bir karar alternatifi sağladığını göstermektedir. Bundan sonraki çalışmalarda bulanık modellemeye ek olarak yapay zeka kullanılarak, rakip firmaların ihalelerde vereceği fiyatların önceden kestirilmesi yönünde bir çalışma yapılması beklenebilir. Rakiplerin stratejilerini önceden kestirilip, stratejilerin en doğru şekilde belirlenmesi, firmaların her zaman bir adım önde olmalarını sağlayacak, uzun vadede sürdürülebilir rekabeti ve başarıyı getirecek önemli bir unsur olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanık Denetim. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik Dergisi*, 63(3):76-81.

Bai, Y., Zhuang, H. ve Wang, D. (2006). *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*. Springer-Verlag London Limited.

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

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

Bellman, R. E. ve Zadeh, L. A. (1970). Decision Science in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4): 141-164.

Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (2007). *Fuzzy Logic for Business, Finance and Management 2nd Edition*. World Scientific Publishing.

Chang, P.T. (1996). Fuzzy Seasonality Forecasting. *Fuzzy Sets and Systems,* 90:1-10.

Chang, P.C. ve Liu, C.H. (2006). A TSK Type Fuzzy Rule Based System For Stock Price Prediction. *Expert Systems with Applications*, 1-10.

Chen, G., Pham,T.T. (2001). *Introduction fo Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Dubois, D. ve Prade, H. (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Application.* Academic Press Inc.

Eleren, A. (2007). İMKB'de Kayıtlı Çimento İşletmelerinin Finansal Tablolarının Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1): 141-153.

Elmas, Ç. (2003). *Bulanık Mantık Denetleyiciler: Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık*. Ankara: Seçkin Yayıncılık

Elmas, Ç. (2007). *Yapay Zeka Uygulamaları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu. N, (2008). Bulanık Pert Yaklaşımlarının Makine Üretim Sürecinde Karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(1):109-124.

Galindo, J. (2008). *Handbook of Research On Fuzzy Information Processing in Databases.* New York: Information Science Reference.

Gu, Xiangbai. Zhu, Qunxiong. (2006). Fuzzy Multi-Attribute Decision-Making Method Based On Eigenvector Of Fuzzy Attribute Evaluation Space. *Decision Support Systems*,(41):400-410.

Güneş, M. (2001). Bulanık Doğrusal Sistemler ve Regresyon Modellerine Uygulaması. *A Review of Social, Economic & Business Studies*, 1(1):176-192.

Hadavandi, E., Ghanbari,A., Shahanaghi,K. ve Abbasian-Naghneh, S. (2010). Tourist Arrival Forecasting by Evolutionary Fuzzy Systems. *Tourism Management,* 32(5):1196-1203.

Kalender, Y. Yılmaz, M.M. ve Türkbey, O. (2008). Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Dergisi, 23(1):129-138

Kandel, A. (1986). *Fuzzy Mathematical Techniques with Applications.* Boston: Addison- Wesley Publishing Company.

Kaufmann, A. ve Gupta, M.M. (1988). *Fuzzy Mathemetical Models in Engineering and Management Science.* North Holland: Elsevier Science Publishers.

Kosko, B. (1993). *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*. Southern California University

Kwong, C. K. ve Bai, H. (2002). A Fuzzy AHP Approach to the Determination of Importance Weights of Customer Requirements in Quality Function Deployment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13:367-377.

Li, H.X. ve Yen, V.C. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Decision-Making*. Florida: CRC Press

Lin, M., Tsai, C., Cheng, C. Ve Chang, C. (2004). Using Fuzzy QFD for Design of Low-End Digital Camera. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2(3):222-233

Mamlook, R., Badran,O. Ve Abdulhadi,E. (2009). A Fuzzy Inference Model for Short-Term Load Forecasting. *Journal of Energy Policy*,37(4):1239-1248.

McAfee, R. ve McMillan, J. (1987). Auctions and Binding. *Journal of Economic Literature*, 25(2):699-738.

Metaxiotis, K., Psarros, J. ve Samouilidis E. (2003). Integrating Fuzzy Logic Into Decision Support Systems: Current Research and Future Prospects. *Information Mangement & Computer Security*,11(2):53-59.

Murat, Y.Ş. (2006). Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık mantık ile Modellenmesi. *İMO Teknik Dergi TMMOB Yayını*, 17(3), 3903-3916.

Nurcayho, G.W. ve Shamsuddin, S.M. (2003). Selection Of Defuzzification Merthod To Obtain Crisp Value For Representing Uncertain Data İn A Modified Sweep Algorithm. *Journal of Computer Science and Technology*, 3(2):22-28.

Özkan, M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama.* Bursa: Ekin Yayınevi.

Paksoy, T. ve Altıparmak, F. (2004). Güneş Enerjisi ve Su Isıtma Sistemleri İmal Eden Bir İşletmede Bulanık İşlem Süreleri İle Malzeme İhtiyaç Planlama. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12: 291-311.

Park, H.S. ve Cho, S.B. (2011). A Personalized Summarization Of Video Life-Logs From An İndoor Multi-Camera System Using A Fuzzy Rule Based System With Domain Language. *Information Systems.*

Shi, Y. ve Sen, P.C. (2000). *A New Defuzzification Method For Fuzzy Control Of Power Converters.*

Siler, W. ve Buckley, J. J. (2005). *Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning*. United States of America: John Wiley & Sons Inc.

Sivanandam, S. N., Sumathi, S. ve Deepa, S. N. (2007). *Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Smithson, M. ve Verkvilen, J. (2006). *Fuzzy Set Theory Applications in the Social Sciences*. USA: Sage Publications.

Sugeno, M., Terano, T. ve Asai, K. (1992). *Fuzzy Systems Theory and Its Applications, 1st edition.* London:Academic Press Limited.

Subaşı, S., Beycioğlu, A. ve Çullu, M. (2010). Bulanık Mantık Ve İstatistiksel Analiz Yöntemleri İle Revibrasyon Uygulanmış Betonlarda Basınç Dayanımı Tahmini. *S.D.Ü. International Journal of Technologic Sciences*, 2(3): 46-52.

Şen, Z. (2001). *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*. İstanbul, Bilge Kültür Sanat Yayıncılık.

Tur, R., Yardımcı, A. ve Kazaz, A. (2003). An Economic Situation Analysis For Construction Industry in Turkey with Soft Fuzzy Approach. *Second International Conference on Soft Computing and computing with Words in System Analysis, Decison and Control* (ss.218-225), Antalya. 9-11 Eylül 2003.

Tütmez, B. ve Tercan, A. E. (2006). Bulanık Modelleme Yaklaşımının Tenör Kestiriminde Kullanılması. *Madencilik Dergisi*, 45(2): 39-47.

Yılmaz, M. ve Arslan, E. (2005). Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması. *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, *Mühendislik*

Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu (ss.512-522), Düzenleyen İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul. 23-25 Kasım 2005.

Zadeh, L.A., Kacprzyk, J. (1992). *Fuzzy Logic for The Management of Uncertainty*. Newyork: John Wiley&Sons Inc.

Zadeh, L.A. (1994). Soft Computing and Fuzzy Logic. *IEEE Software*.

Zadeh, L.A. (1995). *Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB*. The MathWorks Inc.

Zadeh, L. A. ve Kacprzyk, J. (1999), *Computing with Words in Information / Intelligent Sysytems:Foundations*, Physica-Verlag Heidelberg, New York

Zhao, J. ve Bose, B. K. (2002). Evaluation of Membership Functions for Fuzzy Logic Controlled Induction Motor Drive. *28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. İspanya.

Zimmerman, H.J. (1992). *Fuzzy Set Theory And Its Applications*. Netherlands: Kluver Academic Publishers.

İnternet Kaynakları

http://kisi.deu.edu.tr/k.yaralioglu (Erişim Tarihi: 18/02/2011)

http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/ (Erişim Tarihi: 13/05/2011).

http://www.insaatmuhendisligi.net/index.php/topic,285.0/imode.html (Erişim Tarihi: 20/05/2011).

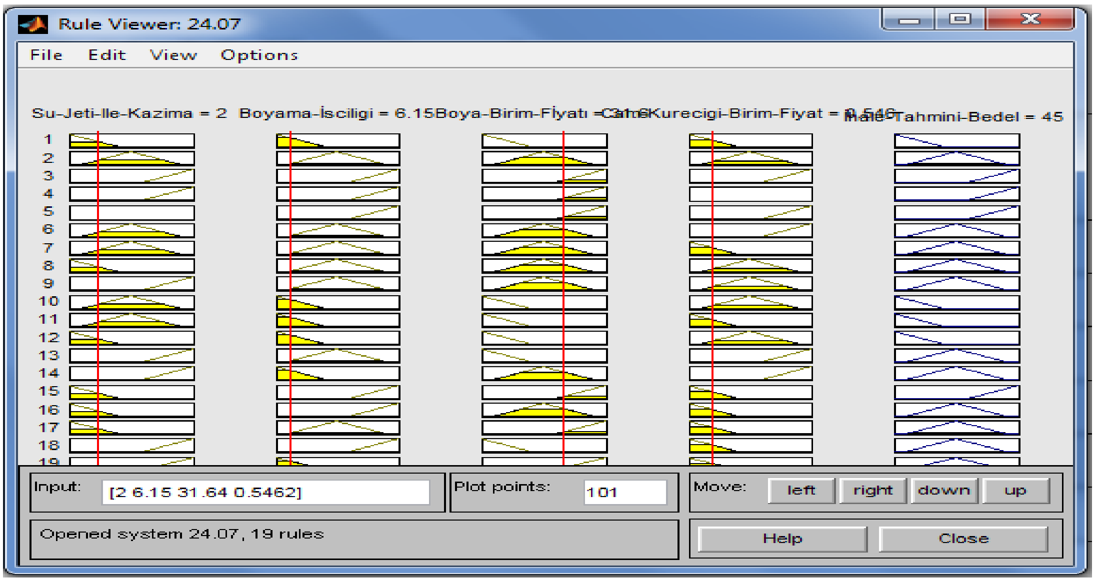
http://www.boytekma.com.tr (Erişim Tarihi: 20/05/2011).

http://www.ihale.gov.tr (Erişim Tarihi: 25/05/2011).

EKLER

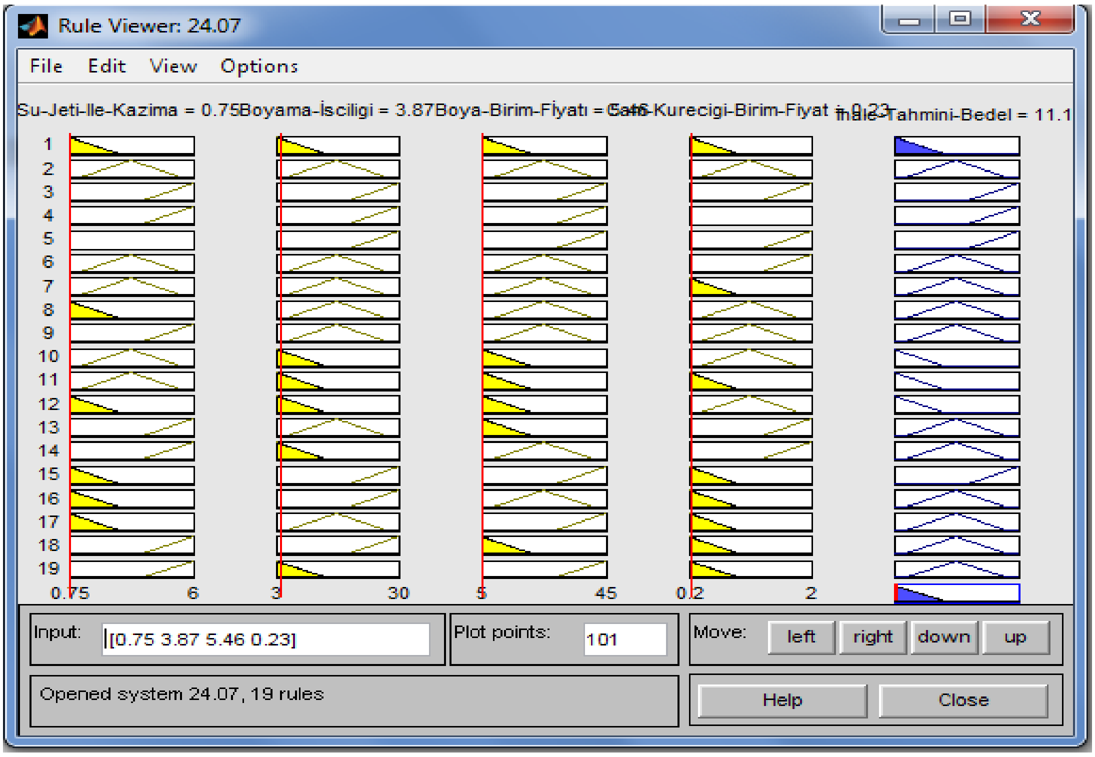
EK-1

2. İhale Kaleminin Birim Fiyat Tespitine İlişkin Ekran Görüntüsü



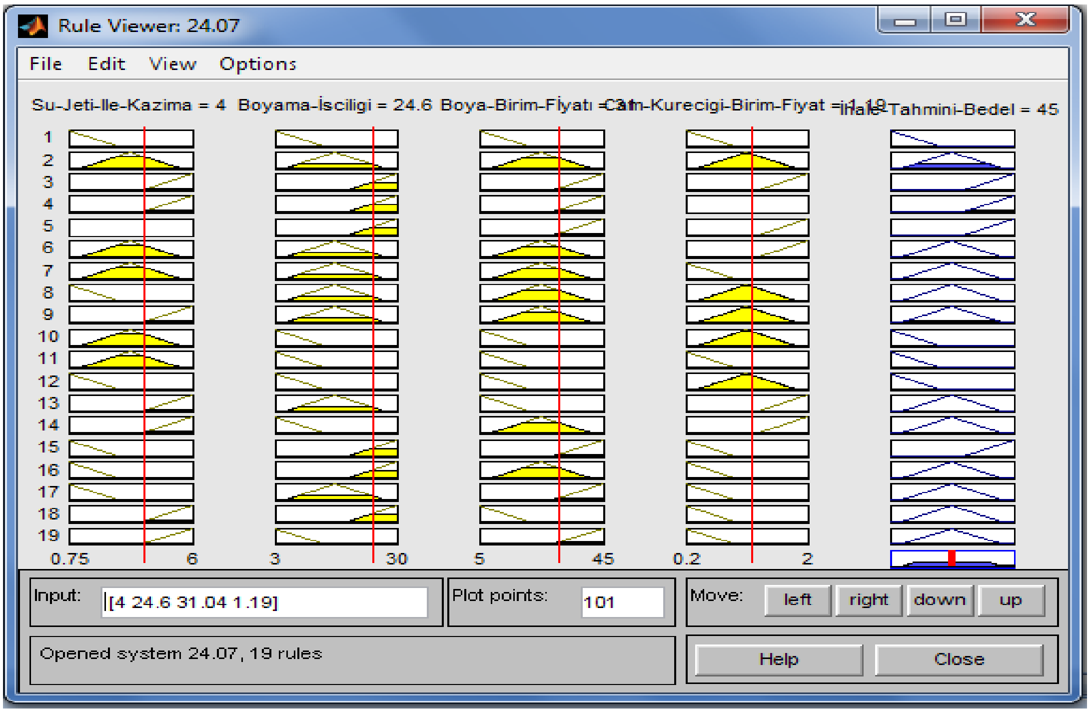
EK-2

3. İhale Kaleminin Birim Fiyat Tespitine İlişkin Ekran Görüntüsü



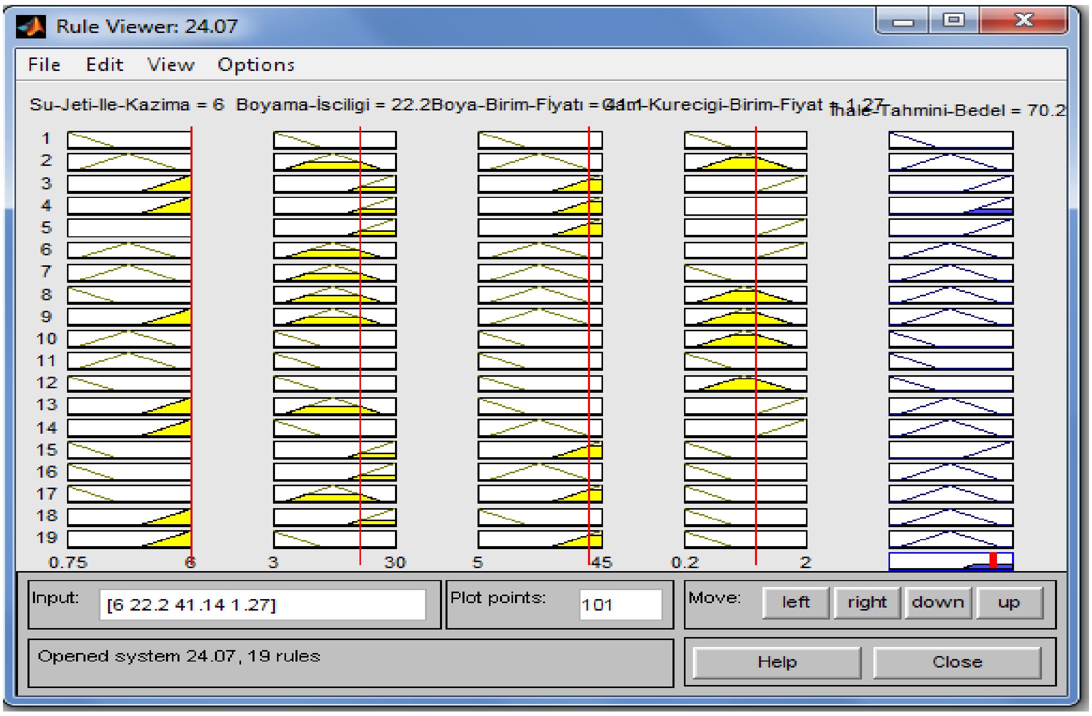
EK-3

4. İhale Kaleminin Birim Fiyat Tespitine İlişkin Ekran Görüntüsü



EK-4

5. İhale Kaleminin Birim Fiyat Tespitine İlişkin Ekran Görüntüsü



EK-5

EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Düşük’.

EĞER ‘Su jeti ile normal kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ ve ‘Yüksek Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Yüksek’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Düşük’.

EĞER ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ ve ‘Yüksek Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Yüksek’.

EĞER ‘Su jeti ile normal kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Yüksek Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile normal kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile normal kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Düşük’.

EĞER ‘Su jeti ile normal kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Düşük’.

EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Düşük’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Yüksek Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Yüksek Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Yüksek’.

EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Orta Boya Fiyatı’ ve ‘Orta Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile kolay kazıma’ ve ‘Normal Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Pahalı Boyama İşçiliği’ ve ‘Düşük Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.

EĞER ‘Su jeti ile zor kazıma’ ve ‘Ucuz Boyama İşçiliği’ ve ‘Yüksek Boya Fiyatı’ ve ‘Düşük Cam Küreciği Fiyatı’ İSE ‘İhale Tahmin Bedeli Orta’.