

Bulanık Mantık Kavramına Genel Bir Bakış

Hasan YILMAZ*,¹, Mustafa Ergin ŞAHİN²



TELHİS (ÖZ)

Derleme Makale

Takvim-i Vekayi
ISSN: 2148-0087

Basım (Published): 30.06.2023
Kabul (Acceptance): 30.06.2023
Gönderi (Submitting): 11.03.2023

Cilt (Vol): 11
No (Issue): 1
Sayfa (Pages): 94-129

Adres:

¹ Recep Tayyip Erdoğan
Üniversitesi, Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü.
ORCID: 0000-0003-0431-195X

² Recep Tayyip Erdoğan
Üniversitesi, Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü.
ORCID: 0000-0002-5121-6173

*Sorumlu Yazar (Corresponding);
E-mail: hasan_yilmaz22@erdogan.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık,
Bulanık kümeler, Bulanık sistem,
Bulanıklaştırma, Durulaştırma,
Üyelik fonksiyonu, Bulanık sayılar,
Bulanık kurallar.



Bulanık mantık, insanların en gelişmiş duyu organlarıyla edindiği bilgileri, yaşamının başlangıcından itibaren çevresinin etkisiyle geliştirdiği bakış açısı ve anlayış tarzıyla yorumlar. Zamanla, dış dünyaya belli değer ve anlamlar yükler. İnsan deneyimi ve yaşanmışlığı arttıkça, bilincindeki kesin sınırlar yumuşar, bulanıklaşır ve nihayetinde "tek bildiğinin hiçbir şey bilmediği" gerçeğiyle yüzleşir. Klasik mantıkta önermelerin kesin doğru ya da kesin yanlış olduğu, matematiksel olarak sıfır ve bir gibi iki değere sahip olduğu bilinmektedir. Ancak, bulanık mantıkta durum kesin doğru ya da kesin yanlış olmaktan ziyade, sonsuz sayıda doğruluk değerlerini içeren ve sayısal olarak sıfır ile bir arasında değerlere sahip olan bir fonksiyonu ifade eder.

Bu çalışmada, bulanık mantığın geniş bir uygulama alanına sahip olduğu vurgulanmaktadır. Otomatik kontrol sistemlerinden trafik akışı yönlendirilmesine, yapay zekâ uygulamalarından ekonomik tahminlere kadar birçok alanda bulanık mantık başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bulanık mantık, esneklik ve belirsizlikle başa çıkma yeteneği sayesinde daha gerçekçi sonuçlar elde etmede büyük avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada bulanık mantık kavramına genel bir bakış sunmaktır. Bulanık mantık, belirsizlikle dolu problemleri ele almak için geliştirilen bir matematiksel modeldir. Makalede, bulanık mantığın ortaya çıkış nedenleri, temel prensipleri ve bileşenleri, uygulama alanları ve avantajları gibi konular ele alınmaktadır. Bu bağlamda, okuyucuların bulanık mantık hakkında temel bir anlayışa sahip olmaları amaçlanmaktadır. Bu bilgi, okuyucuların bulanık mantığın çalışma prensiplerini anlamalarını ve gerçek dünya problemlerine nasıl uygulanabileceğini kavramalarını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma bulanık mantık kavramını genel bir bakış açısıyla ele alarak okuyuculara bu matematiksel modelin ne olduğunu ve nasıl işlediğini anlatmayı hedeflemektedir. Bulanık mantığın belirsizlikle başa çıkma yeteneği ve geniş uygulama alanları bu modelin önemini ve kullanım potansiyelini vurgulamaktadır. Çalışma aynı zamanda, okuyucuların bulanık mantığın temel prensiplerini anlama ve potansiyel uygulama alanlarını keşfetme konusunda bilgi edinmelerini sağlamaktadır.

An Overview of the Concept of Fuzzy Logic

Review Article

ABSTRACT

Fuzzy logic interprets the information that people acquire with their most developed sense organs, with the perspective and understanding style developed by the influence of their environment since the beginning of their life. Over time, it imposes certain values and meanings on the outside world. As human experience and experience increase, the precise boundaries of his consciousness soften and blur, and he finally comes face to face with the fact that "all he knows is nothing". In classical logic, it is known that propositions are either absolutely true or false, and they have two mathematical values, such as zero and one. However, in fuzzy logic, the state is not exactly true or false, but rather a function that contains an infinite number of truth values and numerically has values between zero and one.

In this study, it is emphasized that fuzzy logic has a wide application area. Fuzzy logic has been used successfully in many areas from automatic control systems to traffic flow routing, from artificial intelligence applications to economic forecasting. It provides a great advantage in obtaining more realistic results thanks to its fuzzy logic, flexibility and ability to deal with uncertainty. In this research, it is to present an overview of the concept of fuzzy logic. Fuzzy logic is a mathematical model developed to deal with problems full of uncertainty. In the article, issues such as the reasons for the emergence of fuzzy logic, its basic principles and components, application areas and advantages are discussed. In this context, it is aimed that the readers have a basic understanding of fuzzy logic. This knowledge will enable readers to understand the working principles of fuzzy logic and how it can be applied to real-world problems.

As a result, this study aims to explain to the readers what this mathematical model is and how it works by considering the concept of fuzzy logic from a general point of view. The ability of fuzzy logic to deal with uncertainty and its wide application areas highlight the importance and potential of use of this model. The study also provides readers with information on understanding the basic principles of fuzzy logic and exploring its potential applications.

KEYWORDS

Fuzzy logic, Fuzzy sets, Fuzzy system, Fuzzification, Defuzzification, Membership function, Fuzzy numbers, Fuzzy rules.

1. GİRİŞ

Yaşadığımız günlük hayatımızda birçok olayda belirsiz durumlarla karşılaşırız. Bu karşılaştığımız olaylarda bulunan belirsizlikleri açıklamak ve kesin tanımlamalarda bulunmak olanaksız bir hal almaktadır. Bu durumların neticesinde belirsizlik kavramı hemen hemen hayatımızın her düzeyinde kaçınılmaz olarak etki eden bir kavramdır. Bulanık mantık günlük hayatta her zaman kullanılan ve davranışlarının yorumlandığı bir sisteme ulaşma çabası olan matematiksel disiplin sistemidir. İnsanların hayatlarında nümerik olmayan dilsel ifadeler (çok sıcak, sıcak, ılık, soğuk, çok soğuk vs.) kullanılarak verilen kararlar neticesinde problemlerini çözer. Bulanık mantık aslında akıl yürütme mantığını kullanarak çeşitli işlemler dahilinde sonucu optimize etmeye yarayan bir düşünce yapısıdır. Bulanık mantık kavramı bilgisayarlara yardımcı olan makine düşünce biçimidir.

Bulanık mantık kavramını hayatımızın her köşesinde görmekteyiz. Bu kavramlar düşük, orta ve yüksek olarak değerlendirilir ve bunun yanında ara değerleri de içerir. Bulanık mantık sisteminin temel taşı bulanık küme oluşturur. Bu kümeler sistemin en temel elemanıdır. Bulanık kümelerle ilgili ilk açıklamayı 1965 yılında Azerbaycan kökenli Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh "Bulanık Kümeler" makalesinde ortaya ilk kez atmıştır (Zadeh, 1965). Klasik mantık sistemleri sadece kesin bilgilerle yani evet-hayır, doğru-yanlış gibi önermelerle ilgilenirler. Bu mantıkta üçüncü bir durum söz konusu değildir. Klasik mantıktaki küme kavramı $[0, 1]$ küme elemanları ile adlandırılır. Bulanık mantık ise bu klasik mantığın yapısını içine alarak sadece iki doğru değil sonsuz derecede doğruluk değerinin olduğunu ve $[0, 1]$ aralığındaki sayısal değerleri de ilişkilendiren fonksiyon olarak ortaya çıkar (Altaş, 1999). Mamdani yöntemi, yaygın olarak kullanım alanı olan, uzman bilgisi gerektiren ve her türlü problemin çözümüne uygulanabilen bir bulanık mantık yöntemidir. Sugeno yöntemi ise değişken sayısının çok fazla olmadığı ya da bu değişkenlerin fazla sayıda alt kümelere ayrılmadığı durumlardaki problemlerin çözümünde kullanılır (Yılmaz-Arslan, 2005).

Bu çalışmada, bulanık mantığın geçmişten günümüze olan kısa tarihsel gelişimi, hangi alanlarda kullanıldığı, avantajları ve dezavantajları, bulanık küme ile ilgili olan tüm işlemleri ve bu işlemlerde kullanılan bulanık sayılar ve bulanık üyelik fonksiyonları, bulanık çıkarım yöntemleri, bulanık kuralları ve bulanık sistemleri en basite indirgenerek incelenecektir.

2. BULANIK MANTIK VE MANTIK KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Bulanık mantığın tarihsel süreci incelenmeden önce eski dönemlerdeki mantığın doğuşundan başlayarak mantığın genel olarak gelişme sürecini incelemek uygun görülmektedir. Bu nedenle öncelikle eski dönem, ortaçağ dönemi (400-1600), erken modern dönem (1600-1850), modern dönem (1850'den sonrası), çok değerli (belki) ve bulanık mantık tarihsel konuları tarihsel gelişimi incelenmiştir.

2.1. Eski Dönem Mantık

Geçmiş kültürlerde akıl yürütme sistemlerini kullanmış ve birbirinden farklı olan Eski Yunan, Eski Çin ve Eski Hindistan'da akıl yürütme yöntemlerin kullanıldığı ve açıkça analiz edildiği kabul edilir. Bu mantığın tam kesin bilinmemekle beraber M.Ö. 4'üncü yüzyılda ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu dönemde Buda, Aristoteles, Platon, Elealı Zenon, Sokrates ve Parmenides damga vuran düşünürler olarak söylenebilir. Elealı Zenon kavramsal düşünceye ve aklın bilgisine dayanarak aklın ilkelerini kabaca ortaya koymuştur. Aristoteles tarafından ise mantık sistematik bir şekilde tanımlanarak klasik mantık, ikili mantık ve Aristoteles mantığı olarak adlandırılarak karşımıza çıkmıştır (Keskenler, 2017).



Şekil 1. İlk dönem mantık anlayışını geliştiren düşünürler (Keskenler, 2017).

Daha sonra ki dönemde St. Augustine, Severinus Boethius, Farabi, İbn-i Sina, İbn-i Rüşd, Aquinolu Thomas, Duns Scotus gibi düşünürler çalışma göstermiştir. Aristoteles mantığının Orta çağ boyunca teoloji tarafından kullanılmasından dolayı bu mantık Yeniçağ laik anlayışı açısından gözden düşürülmüştür. Gottfried Wilhelm çalışmalarında büyük bir oranda Aristoteles mantığını takip etmiştir. Kant'a göre tüm bilgiler iki kaynaktan doğmaktadır. Bunlar öznel ve gerçeklik bilinçtir. Augustus De Morgan, George Boole (Sembolik mantığın kurucusudur), John Stuart Mill (Tümevarımla ilgilenmiş ve Mill yöntemini geliştirmiştir), Charles Dodgson (Sembolik mantık ve mantık oyunu kitapları yazmıştır), Charles Sanders Peirce (Amerikan Pragmatizminin öncülerinden), Gottlob Frege (Mantığın matematiğin temeli olduğunu savunmuştur), Bertrand Russell, Alfred North Whitehead, David Hilbert, Wilhelm Ackermann, Ludwig Wittgenstein, Emil Post, Kurt Gödel (Bitmemişlik teoremi) ve Rudolph Carnap bu dönemde önemli çalışmalar yapmışlardır.

2.2. Bulanık Mantık Tarihi (1900 sonrası)

Bu dönem bulanık mantığın tam olarak ortaya çıktığı dönemdir. 1900'lerin başlarında Aristoteles mantığına karşı Jan Lukasiewicz (1878-1956) öneride bulunarak iki değerli mantığa karşı açıkladığı üç değerli mantık en uygun "belki" tanımı ile doğru ile yanlış değerleri arasında bir değere sahip olmuştur. Bu durumu matematiksel ifade olarak ise $[0, 1, 2]$ aralığını kullanmıştır. Donald Erwin Knuth(1938-) Lukasiewicz'in kullandığı $[0, 1, 2]$ sayı aralığı yerine $[-1, 0, 1]$ aralığını kullanarak tanımlamıştır (Vural, 2002).



Jan Łukasiewicz
(1878-1956)

Arend Heyting
(1898-1980)

Lotfi A. Zadeh
(1921-2017)

Şekil 2. Bulanık mantık dönemi düşünürleri (Vural, 2002).

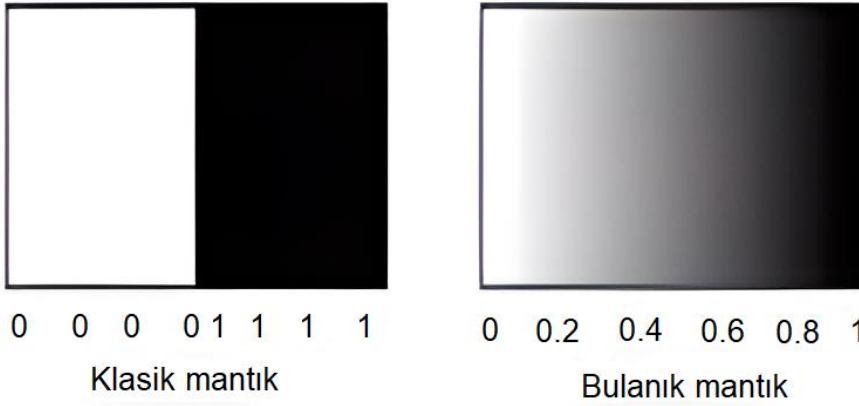
Bulanık mantık düşüncesinin modern anlamda kurucusu sayılan California Berkeley Üniversitesinde dekanlık görevinde bulunan Lütü Zadeh (Lotfi A. Zadeh) 1965 yılından itibaren bulanık mantık alanına yoğunlaşmıştır. Lütü Zadeh, insan düşüncesini işlemede ve tanımlamada eksik kalan bilgisayar mantığının yetersiz olduğunu gözlemlemiş ve 1965 yılında bulanık kümeler ile ilgili ilk çalışmasını yayımlamıştır (Zadeh, 1965). Bulanık mantığın kurucusu olan Lotfi A. Zadeh aslen Tahran Üniversitesinde Elektrik Mühendisliği lisans eğitimini tamamlamıştır. Lisans eğitiminden sonra Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Columbia Üniversitesinde 1949 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır. Çalışmalarına Columbia, Princeton ve Kaliforniya Üniversitelerinde devam etmiştir. 6 Eylül 2017 yılında hayata veda ederek gerisinde bilim dünyasına çok önemli sayıda katkılar bırakmıştır (Işıklı, 2010).

3. BULANIK MANTIK KAVRAMI

Mantık, tüm olası biçimleriyle akıl yürütme yöntem ve ilkelerinin incelenmesidir. Her önermenin, genellikle olumsuzlaşması olarak adlandırılan karşıtı vardır. Bir önerme ve onun olumsuzlaşması, karşıt doğruluk değerlerini varsaymak için gereklidir. Önerme mantığı olarak anılan mantığın bir alanı, keyfi önermeleri temsil eden değişken kombinasyonlarıyla ilgilenir. Bu değişkenlere genellikle mantık değişkenleri veya önerme değişkenleri denir. Her değişken varsayımsal bir önermeyi temsil ettiğinden, iki doğruluk değerinden

birini alabilir. Değişken, onun yerine belirli bir önerme koyulmadığı sürece, her iki doğruluk değerine de bağlı değildir. Önermeler mantığının temel ilgi alanlarından biri, verilen bazı mantık değişkenlerinin fonksiyonları olarak yeni mantık değişkenlerinin üretilebildiği kuralların incelenmesidir. Mantık değişkenlerinin temsil ettiği önermelerin içyapısıyla ilgilenmez. Bulanık sistemler, bilgisayar ortamında insanları sınıflama ve karar verme biçimine öykünen matematiksel modellerdir.

Şekil 3'deki şematik gösterimde klasik mantık grafiğinde sonuçların keskin olduğu gözükmemektedir. Bulanık mantıkta ise durum tam tersidir. Cevap 0 veya 1 değildir. Kesin sonuçların 0 ile 1 arasında herhangi bir değer olduğu mantık tipidir. Şekilde gözüktüğü gibi bulanık mantıkta değerler 0 ve 1 arasında tüm değerlerde bulunabilir.



Şekil 3. Klasik mantık ve bulanık mantık şematik gösterimi.

4. BULANIK MANTIĞIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Sistemlerin kullanılan ortama ve duruma göre diğer sistemlere karşı bazı avantajları ya da dezavantajları oluşabilir. Ayrıca kullanılan sistemin kullanıldığı uygulamaya göre avantajları değişiklik gösterebilir. Bulanık mantıkta da Aristoteles sistemine ve diğer sistemlere göre avantajlar ve dezavantajlar mevcuttur. Bunlar aşağıda verilmiştir.

4.1. Avantajları

- Bu sistem, her türlü girişle (bozuk veya gürültülü) çalışabilir.
- Bu sistemlerin yapımı kolay ve anlaşılırdır.
- İnsan muhakemesine çok benzediğinden dolayı her alanda karmaşık sorunlara daha verimli çözümler sunar.
- Kullanılan işlemler daha az veri ile tanımlandığından çok az daha bellek gereklidir.
- Bulanık küme teorisi matematiksel ifadeler ile birlikte kullanılır ve kullanım mantığı basittir.

4.2. Dezavantajları

- Bu sistemlerde üyelik fonksiyonlarının ve kural kümesinin oluşturulması problem konusunda uzman kişiler tarafından yapılması gerekmektedir.
- Her zaman uzman kişi bulmak kolay olmayabilir ve uzman kişinin de probleme olan hakimiyeti ve yeterli bilgi birikimi olmayabilir.
- Belirli bir problemi çözmek için sistematik bir yaklaşım yoktur.
- Bulanık mantık denetimde kullandığımız kurallar insan deneyimine çok bağlıdır.
- Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntem yoktur. En uygun fonksiyon deneme yöntemi ile bulunur.

5. BULANIK KÜMELER

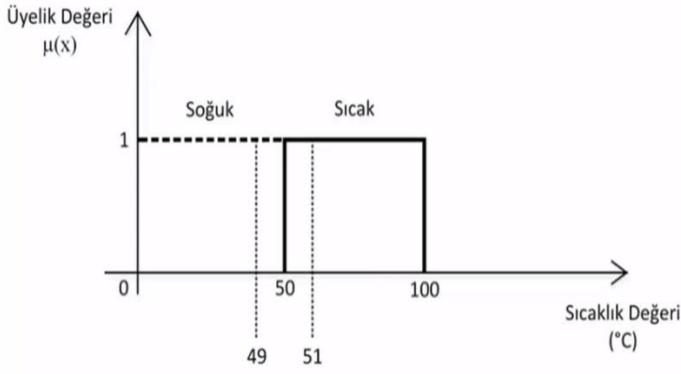
5.1. Bulanık Küme Kavramı

Bulanık sistemlerde en temel eleman bulanık kümedir. Bu kümelerde üyelik yani ait olma derecelerine sahip olan elemanları olan bir kümedir. Sözel ifadeleri bilgisayarlara aktarmak için oluşturulan matematiksel modellerdir. Kümede bulunan elemanlar küme içerisinde ise 1 ile dışında ise 0 ile tanımlanır. Kümenin içinde ya da dışında olduğu belli olmayan belirsizlik

durumlarında 0 ile 1 arasında değer atanır. Klasik küme kavramında böyle bir durum söz konusu değildir.

Şekil 4'deki örnek sıcaklık grafiğinde gözüken klasik mantık kavramına uygun olarak çizilmiş grafik bulunmaktadır. 0 ile 50 arasının soğuk, 50 ile 100 arası sıcaklıkları sıcak olarak alındı. 49°C ile 51°C sıcaklık değerlerinin üyelik değeri fonksiyonları hesaplanırsa:

$\mu_{\text{soğuk}}(49)=1$, $\mu_{\text{sıcak}}(51)=1$, $\mu_{\text{sıcak}}(49)=0$, $\mu_{\text{soğuk}}(51)=0$ olarak bulunur.

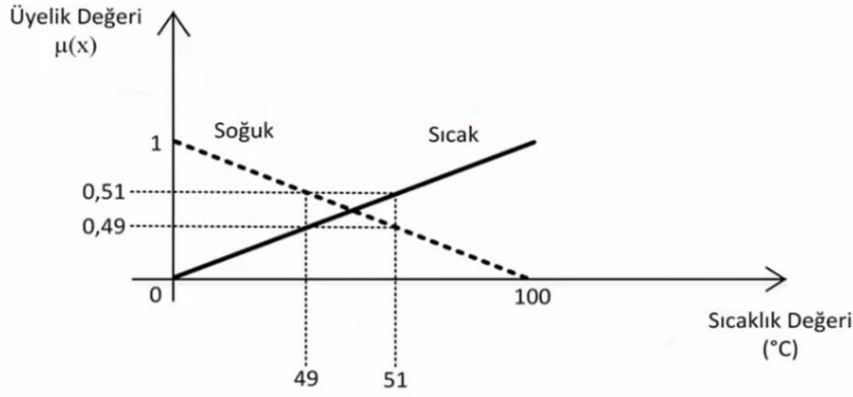


Şekil 4. Klasik mantıkta örnek sıcaklık grafiği.

Hesaplanan derecelerin üyelik fonksiyon değerlerinde çıkan sonuçları incelersek, 49°C'nin üyelik değeri soğukta 1 iken sıcakta 0'dır. 51°C'de ise sıcakta 1 iken soğukta 0'dır. Klasik mantık kesin sınırlar olduğundan dolayı sonuçlar kesin çıkmıştır. 49,99°C klasik mantıkta üyelik fonksiyon değeri sıfır (0) değerini alırken 50,01°C üyelik fonksiyon değeri bir(1) olur. Burada 0,02 gibi çok küçük bir sıcaklık değeri olmasına rağmen biri soğuk biri sıcak olarak alınmaktadır.

Şekil 5'deki bulanık mantık örnek sıcaklık grafiğinde gözüktüğü gibi sıcak ve soğuk eğrileri keskin değil iç içe geçmiş durumdadır. Klasik mantıkta hesapladığımız üyelik fonksiyon değerleri hesaplanırsa:

$\mu_{\text{soğuk}}(49)=0.51$, $\mu_{\text{sıcak}}(51)=0.51$, $\mu_{\text{sıcak}}(49)=0.49$, $\mu_{\text{soğuk}}(51)=0.49$ olarak bulunur.



Şekil 5. Bulanık mantıkta örnek sıcaklık grafiği (Korucu,2007).

Hesaplanan üyelik fonksiyon değerlerinde sonuçları incelersek klasik mantıkta 49°C soğukta 1 iken sıcakta 0'dır. Ancak bulanık mantıkta üyelik değeri 49°C soğukta 0.51 değerini alırken sıcaklıkta 0.49 değerini alır. Klasik mantıkta sıcaklıkta sıfır (0) olan üyelik fonksiyonu, bulanık mantıkta 0.49 değerini alır. Burada anlaşıldığı gibi klasik mantık (0, 1) değerlerini alırken, bulanık mantık (0, 1) arasındaki tüm değerleri alır.

5.2. Bulanık Kümelerin Gösterimi

Klasik mantıkta elemanların kümeye ait olup olmaması durumu kesindir. Bulanık kümelerde durum ise tam tersi ve kademelidir. Bulanık mantıkta klasik mantık gibi iki yolla gösterilmektedir. Birincisi üyelik elemanları üyelik derecelerine göre sınıflandırılır. İkinci olarak matematiksel olarak üyelik fonksiyonu tanımlanır.

X elemanları 'x' ile gösterilen bir evrensel küme olarak tanımlansın. X'in klasik bir alt kümesi olan F için üyelik μ_F fonksiyonu ile gösterilir ve (0,1) olarak değişir:

$$\mu_F(x) = \{ \text{Eğer } x \in F \text{ ise } 1; \text{ aksi halde } 0. \}$$

Üyelik fonksiyonu grafiğinde x eksenini üyeleri gösterirken, y eksenini de üyelik derecelerini göstermektedir. \tilde{A} bulanık kümesi, $\mu_F : X \rightarrow [0,1]$ \tilde{A} 'nın üyelik fonksiyonu ve $\mu_F(x) \in [0,1]$, $x \in X$ 'in F deki üyelik derecesi olmak üzere;

$A = \{ (\mu_F(x), x) \}$ şeklinde ifade edilebilir.

Bu durumda X'deki bulanık küme olan F;

$$F = \{(\mu_F(x), x)\} = \left\{ \frac{\mu_F(x)}{x} \right\} \quad (1)$$

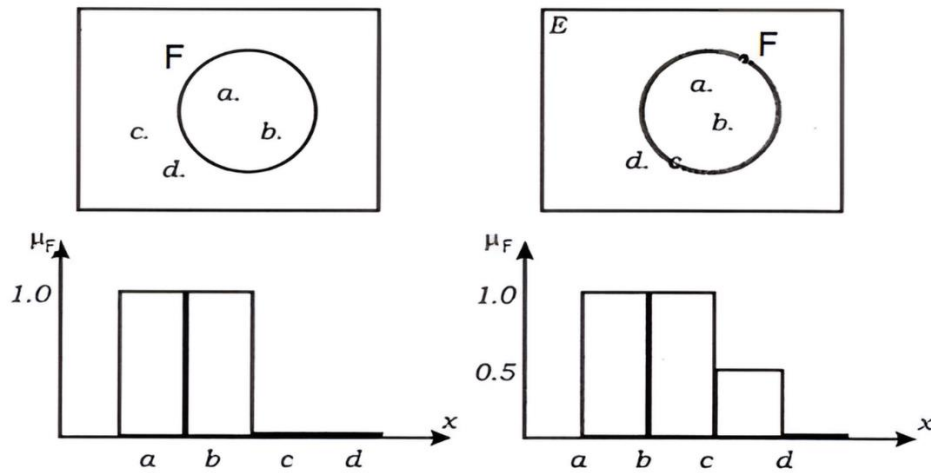
$$F = \left\{ \frac{\mu_F(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_F(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_F(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_F(x_i)}{x_i} \right\}, \quad i=(1, \dots, n). \quad (2)$$

X evreni sürekli ve sınırsız ise F kümesi;

$$F = \left\{ \int \frac{\mu_F(x)}{x} \right\} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Gösterimde bulunan bölüm işareti bölmeyi değil alttaki sayıya yani küme ögesine üstteki üyelik fonksiyonu derecesinin karşılık geldiğini ifade eder. Σ ve \int sembolleri küme öğelerinin topluluğunu ifade eder.

Şekil 6 da ki klasik ve bulanık mantık kümelerinin venn şematik gösteriminde, klasik mantıkta evrensel küme içerisindeki $\{c\}$ elemanı F kümesinin dışında yer alırken bulanık mantıkta $\{c\}$ elemanı F kümesinin sınırındadır.



Şekil 6. Klasik ve bulanık kümenin Venn ve grafik olarak gösterimi.

6. BULANIK KÜME İŞLEMLERİ

Bulanık küme işlemlerinin gösterimi Tablo 1 de özetlenmiştir.

Tablo 1. Bulanık küme işlemlerinin gösterimi.

Küme Gösterimi	Küme İşlemi	Küme Açıklaması
Eşitlik ($A=B$)	$\mu_A(x) = \mu_B(x), \quad \forall x \in X$	Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonların eşit olmasıdır
Kesişim ($A \cap B$)	$\mu_f(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad \forall x \in X$	A ve B bulanık kümesinin ortak elemanlarının minimum alma durumudur
Birleşim ($A \cup B$)	$\mu_f(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad \forall x \in X$	A ve B bulanık kümesinin ortak elemanlarının her alanı alma durumudur
Kapsama ($B \subseteq A$)	$\mu_B(x) \leq \mu_A(x), \quad \forall x \in X$	A kapsar B'yi yani A'nın üyelik fonksiyonu B'den büyük ya da eşit
Tümleyen alma (A')	$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$	Sayının doğal tabandaki karşılığını ifade eder

Bulanık küme işlemlerinde kullanılan yöntemler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bulanık küme işlemlerinde kullanılan yöntemler.

<i>Yöntem</i>	<i>t-norm işlemleri</i>	<i>t-conorm işlemleri</i>
Zadeh	Min (x,y)	Maxs(x,y)
Olasılıkçı	x.y	x+y-x.y
Lukasiewicz	Maxs (x+y-1,0)	Min (x+y,1)

Bulanık küme işlemlerini A ve B kümeleri üzerinden gösterilir;

$$A = \{(0,0.0), (1,0.2), (2,0.4), (3,0.6), (4,0.8), (5,1.0)\}$$

$B = \{(0,1.0), (1,0.8), (2,0.6), (3,0.4), (4,0.4), (5,0.0)\}$ kümeleri tanımlanmıştır.

Tanımladığımız A ve B kümeleri Tablo 1’de gösterilen işlemler uygulayarak hesaplanır:

- $A \cap B = \{(0,0.0), (1,0.2), (2,0.4), (3,0.4), (4,0.2), (5,0.0)\}$
- $A \cup B = \{(0,1.0), (1,0.8), (2,0.6), (3,0.6), (4,0.8), (5,1.0)\}$
- $A' = \{(0,1.0), (1,0.8), (2,0.6), (3,0.4), (4,0.2), (5,0.0)\}$
- $B' = \{(0,0.0), (1,0.2), (2,0.4), (3,0.6), (4,0.8), (5,1.0)\}$

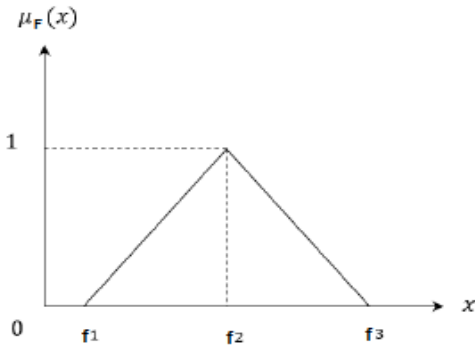
6.1. Bulanık Kümelerden Üyelik Fonksiyonları

Birçok üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Ancak pratikte hepsi kullanılmamaktadır. Pratikte en çok kullanılan üçgen, yamuk, çan eğrisi, sigmoidal ve gaussian üyelik fonksiyonları incelenecektir.

6.1.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonunda üç adet parametre bulunmaktadır. Sisteme ait olan bu üç parametre için elde edilen Şekil 6 da ki grafik de verilen üç farklı değer buldukları parametre aralıklarına uygun formüle edilerek üyelik değeri Eşitlik 4’deki gibi bulunur.

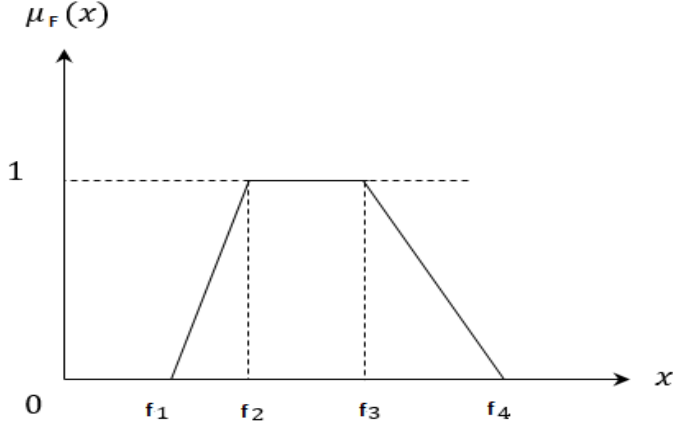
$$\mu_F(x; f_1, f_2, f_3) = \begin{cases} f_1 \leq x \leq f_2 & \text{ise} & \frac{x-f_1}{f_2-f_1} \\ f_2 \leq x \leq f_3 & \text{ise} & \frac{f_3-x}{f_3-f_2} \\ x > f_3 & \text{veya} & x < f_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (4)$$



Şekil 6. Üçgen üyelik fonksiyonu grafiksel gösterimi (Güvenç,2007).

6.1.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 7'deki gibi f_1, f_2, f_3 ve f_4 olmak üzere dört parametre ile tanımlanır. Tanımlanan parametrelere göre verilen değerlerin sayısı kadar hem şekil hem de üyelik sayılarında Eşitlik 5'deki gibi değişiklik gösterir.



Şekil 7. Yamuk üyelik fonksiyonun grafiksel gösterimi.

$$\mu_F(x; f_1, f_2, f_3, f_4) = \begin{cases} f_1 \leq x \leq f_2 & \text{ise} & \frac{x-f_1}{f_2-f_1} \\ f_2 \leq x \leq f_3 & \text{ise} & 1 \\ f_3 \leq x \leq f_4 & \text{ise} & \frac{f_4-x}{f_4-f_3} \\ x > f_4 \quad \text{veya} \quad x < f_1 & \text{ise} & 0 \end{cases} \quad (5)$$

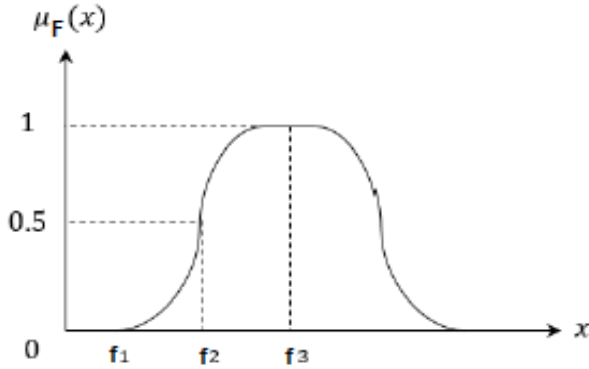
Formüllerin ve çıkarımların basit olması sebebiyle üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları bulanık küme uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır (Baykal, 2004).

6.1.3. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu Eşitlik 6'da ki f_1, f_2, f_3 ve f_4 şeklinde üç parametre ile tanımlanır.

$$\mu_F(x; f_1, f_2, f_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left(\left| \frac{x-f_3}{f_1} \right| \right)^{2.f_2}} \right\} \quad (\text{Baykal, 2004}). \quad (6)$$

Eşitlik 6'daki f_2 parametresi çoğunlukla pozitif değer almaktadır. f_1 ve f_3 değerlerini değiştirerek Şekil 8'deki gibi genişlik ve merkez değiştirilebilir ve f_2 değeri geniş noktalarında eğimi kontrol için kullanılır.

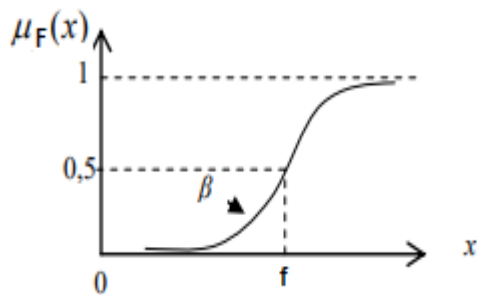


Şekil 8. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu grafiği.

6.1.4. Sigmoidal üyelik fonksiyonu

Sigmoidal tipi üyelik fonksiyonu Eşitlik 7'deki gibi β ve f olmaz üzere iki parametre ile tanımlanır. Şekil 9'da β parametresi eğimi gösterirken f parametresi 0,5 üyelik fonksiyon değeri ile fonksiyonun geçiş noktasını belirtir.

$$\mu_F(x; \beta, f) = \left\{ \frac{1}{1 + e^{-1\beta(x-f)}} \right\} \quad (7)$$



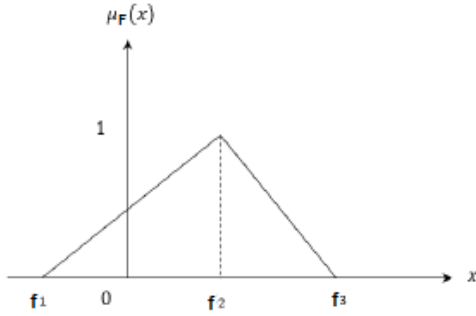
Şekil 9. Sigmoidal üyelik fonksiyonu grafiği.

7. BULANIK SAYILAR

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Kesin olmayan veya yaklaşık sayısal miktarların nitelenmesinde bulanık sayılar kullanılır. Bulanık sayıların tanımlı olduğu evrensel küme reel sayılar kümesi, tam sayılar kümesi veya doğal sayılar kümesidir. Bulanık kümeler ve bulanık sayılar kavram olarak aynı olduklarından üyelik fonksiyonu kadar bulanık sayı çeşidi bulunmaktadır. Ancak genel olarak burada en çok kullanılan üçgen sayı ve yamuk sayı işlemleri açıklanacak.

7.1. Üçgen Bulanık Sayı

Sistemde tanımlanan f_1, f_2, f_3 parametreleri, istenilen duruma göre değerleri bulunur. f_1 ve f_3 bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerlerini, f_2 ise tam üyelik tek sayı olmak üzere üçgen bulanık sayı grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. $F = [f_1, f_2, f_3]$ üçgen bulanık sayısı.

Üçgen bulanık sayılar (f_1, f_2, f_3) gibi üçlüler ile gösterilirler. f_1, f_2, f_3 parametreleri sırasıyla en küçük değeri, alınabilecek en büyük değeri ve en geniş değeri temsil etmektedirler.

$F = (f_1, f_2, f_3)$ şeklindeki bir üçgen bulanık sayı için üyelik fonksiyonu,

$$\mu_F(x) = \mu_F(x; f_1, f_2, f_3) = \begin{cases} f_1 \leq x \leq f_2 \text{ ise } \frac{x-f_1}{f_2-f_1} \\ f_1 \leq x \leq f_3 \text{ ise } \frac{f_3-x}{f_3-f_2} \\ x > f_3 \text{ veya } x < f_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır (Kaufmann ve Gupta, 1988).

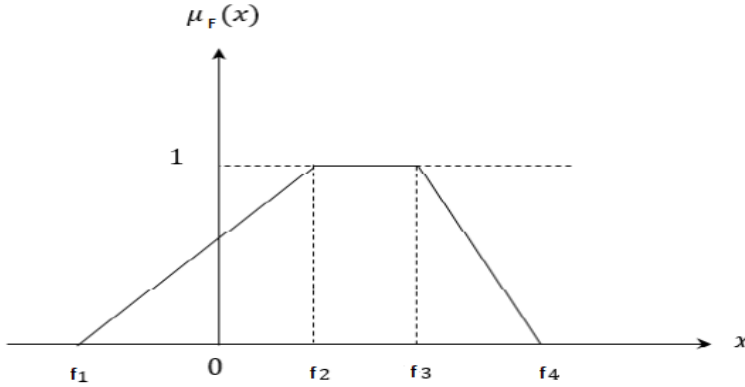
7.2. Yamuk Bulanık Sayı

Bulanık sayı işlemlerinde en sık kullanılan bulanık sayıdır. Daha sık kullanılmasının sebebi yamuk bulanık sayıların üçgen bulanık sayılara göre özel bir şekle sahip olması ve sözel değişkenlerle daha anlaşılır olmasıdır.

Yamuk bulanık sayılar (f_1, f_2, f_3, f_4) şeklindeki dörtlülerle ifade edilirler. Burada $[f_2, f_3]$ aralığı büyüklüğün kesinlikle gösterilebildiği sayıları ifade eder. f_1 ve f_4 sırasıyla alt ve üst sınırlardır. $F = (f_1, f_2, f_3, f_4)$ şeklindeki bir yamuk bulanık sayı için üyelik fonksiyonu,

$$\mu_F(x: f_1, f_2, f_3, f_4) = \begin{cases} f_1 \leq x \leq f_2 \text{ ise } \frac{x-f_1}{f_2-f_1} \\ f_2 \leq x \leq f_3 \text{ ise } 1 \\ f_3 \leq x \leq f_4 \text{ ise } \frac{f_4-x}{f_4-f_3} \\ x > f_4 \text{ veya } x < f_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir (Kaufmann ve Gupta, 1988).



Şekil 11. $F = [f_1, f_2, f_3, f_4]$ yamuk bulanık sayısı (Gülcan,2012).

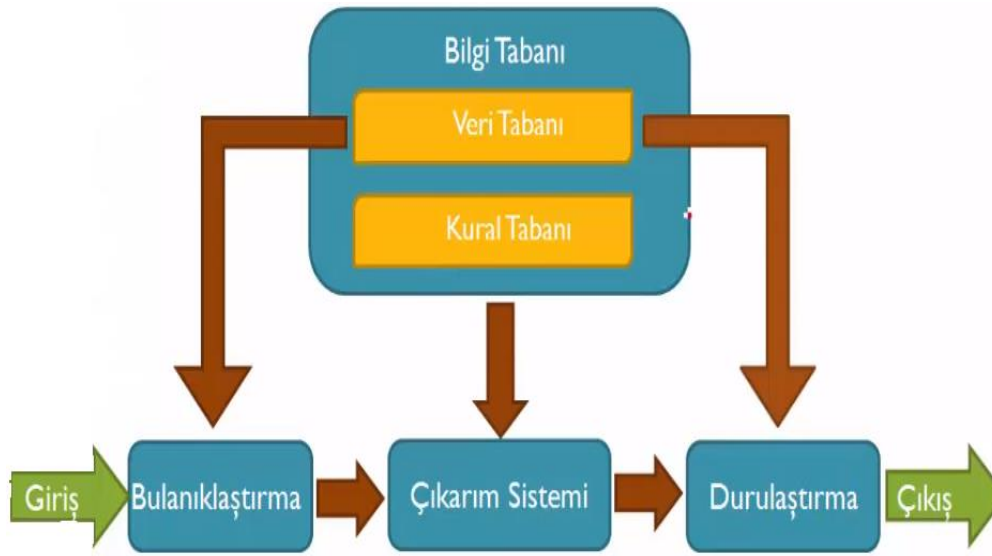
8. BULANIK SİSTEM VE KURALLAR

Bulanık sistemlerdeki önemli kavramlardan bir tanesi de bulanık kurallardır. Bulanık kurallar, kontrolü gerçekleştirmek için tasarlanmış bilgi kurallarından oluşmaktadır.

Bir bulanık mantık işlem sisteminin süreçlerini ve aşamalarını şöyle sıralayabiliriz:

- 1-Bilgi tabanı
- 2-Kural tabanı
- 3-Bulanıklaştırma
- 4-Çıkarılma
- 5-Durulaştırma (Netleştirme) olarak sıralanabilir.

Bulanık çıkarım sisteminin şematik gösterimi Şekil 12’de gösterilmiştir. Verilerin bulanık sistem üzerinden geçerek işlenmesi süreci okla gösterildiği yönde ilerlemektedir. İlk olarak giriş verilerini dahil ederek, bulanık sistem çalışmaya başlar. Buradaki işlemlere geçmeden önce öncelikle önceki konularda bahsedilen kavramlardan dilsel değişkenleri ve buna bağlı olarak bulanık kümeleri ve üyelik fonksiyonlarını oluşturmak gerekir. Şekilde gösterilen adımlar sistemin bulanık mantık kuramıyla tanımlandıktan sonrasını ifade etmektedir.



Şekil 12. Bulanık çıkarım sisteminin şematik gösterimi (Gündoğdu-Yücedağ,2016).

Veri tabanı, bulanık sisteme ait üyelik fonksiyonların tutulduğu alandır. Kural tabanı, bulanık sistemin çıkarım yapmak için kullanacağı bulanık kurallar kümesidir. Bulanıklaştırma, sisteme yalın haliyle alınmış değerleri üyelik fonksiyonunu kullanarak bulanık değerlere (0 ile 1 arası) dönüştüren birimdir. Yani her bir giriş değerinin, bulanık kümeye olan üyelik derecesi

hesaplanır. Çıkarım sistemi, bilgi tabanıyla ortak çalışarak kendisine gelen bulanık değerlerden sonuçlar çıkarmaya çalışır. Bu sonuçların neye göre ve nasıl çıkarılacağına bilgisi bilgi tabanında tutulmaktadır. Durulaştırma, çıkarım yapılmış veriler buraya kadar bulanık değerler aralığında gelmektedir. Elde edilen bulanık çıkış değerlerini gerçek değere dönüştürmektedir.

Çıkarım sistemi, kural tabanı içerisinde tanımladığımız kurallar silsilesi **[Eğer-O halde(IF-THEN)]** çıkarım sistemine sırasıyla gönderilerek işleme sokulur.

Örnek olarak; iki giriş (x_1, x_2), tek çıkış (y) olsun. Bir bulanık denetleyici için kural sıralaması aşağıdaki gibidir:

Kural 1: Eğer $x_1 = A_{11}, x_2 = A_{12}$ ise o halde $y = C_1$;

Kural 2: Eğer $x_1 = A_{21}, x_2 = A_{22}$ ise o halde $y = C_2$;

Kural 3: Eğer $x_1 = A_{31}, x_2 = A_{32}$ ise o halde $y = C_3$;

· · · · ·
· · · · ·
· · · · ·

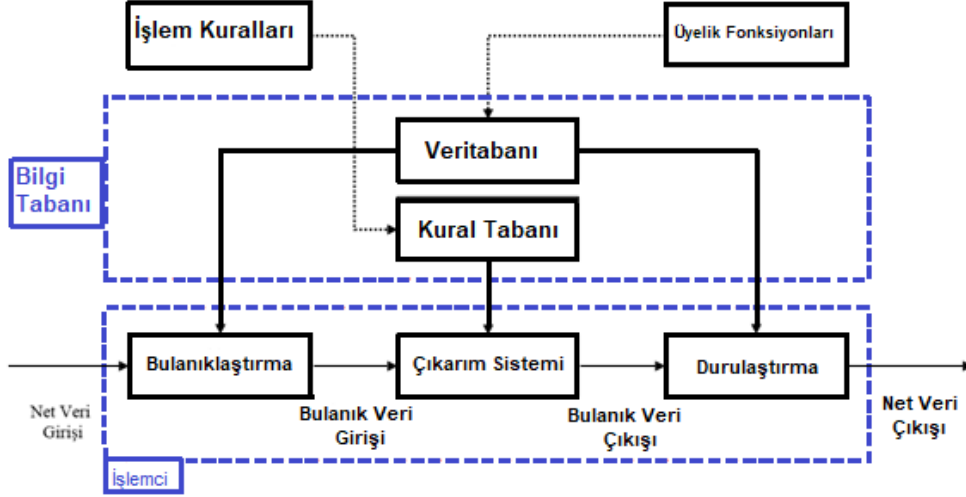
Kural i: Eğer $x_1 = A_{i1}, x_2 = A_{i2}$ ise o halde $y = C_i$ olarak tanımlanır.

Burada x_1 ve x_2 giriş değişkeni y ise çıkış değişkenidir. A_{i1}, x_1 değişkeni için; A_{i2} ise x_2 değişkeni için x evrensel kümede tanımlanan bulanık kümelerden bir tanesidir. C_i ise y evrensel kümede tanımlanan bulanık kümelerden bir tanesi ya da sabit bir değerdir.

9. BULANIK ÇIKARIM SİSTEMLERİ

Bulanık mantık sisteminin ayrıntılı yapısı Şekil 13'de gösterilmiştir. Görülen sistemde tanımlanan kurallar kural tabanı içerisinde kaydedilir. Kural tabanında bulunan kurallar çıkarım sisteminde işleme alınır. Bu işlemler dört ana başlıkta tanımlanır. Ancak en çok kullanılan iki çıkarım yönetim sistemi burada açıklanacaktır (Alışkan-Ünsal, 2016).

- 1-Takagi-Sugeno-Kang(TSK) yöntemi
- 2-Mamdani yöntemi
- 3-Larsen yöntemi
- 4-Tsukamoto yöntemi



Şekil 13. Bulanık mantık sistemi işleyişi.

9.1. Mamdani Çıkarım Sistemi

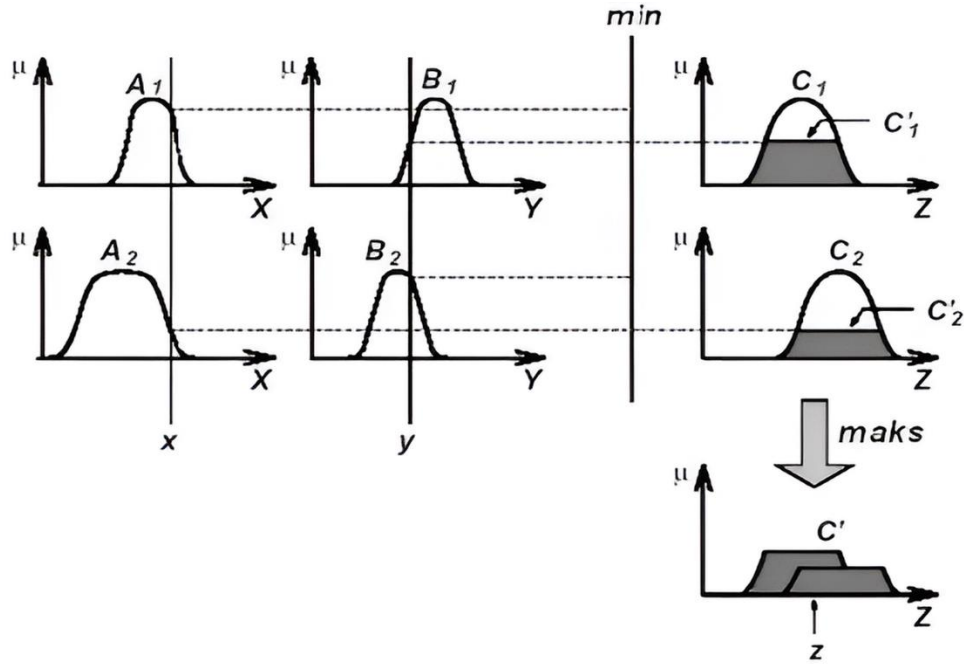
En çok kullanılan bulanık mantık çıkarım sistemidir. Bunun başlıca nedeni insan algısına daha çok hitap etmesi, nispeten kolay olması ve kolay yorumlanabilir olmasıdır. Bu sistemde girişler ve çıkışlar bulanık değerlerdir. Çıkan bulanık değeri daha sonra 'durulaştırma' içerisinde çıkan sonucu nasıl gerçek sonuçlara dönüştürüldüğü anlatılmıştır.

Mamdani çıkarım sisteminde üye değerleri, giriş değerleri tarafından tetiklenen kurallara göre hesaplanır. Ardından, kurallara **ve/veya** bunların mantıksal bağlaçlarına bağlı olarak, hesaplanan değerler **maks** veya **min** olarak alınır. Kuraldaki olgular birbirine '**ve**' ile bağlı ise hesaplanan üyelik değeri **min** operatörüne '**veya**' ile bağlı ise **max** operatörüne verilir.

Şekil 14'te 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 $z = C_1$

Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise $z = C_2$



Şekil 14. Kural 1 ve Kural 2 için Mamdani çıkarım yöntemi (Yılmaz-Arslan, 2005).

Mamdani çıkarım yöntemi ile bir sistem tasarlanırsa;

İkinci el arabanın model ve kilometre bilgisini tutan bir veri tabanı olduğu düşünülürse. Bu bilgilere bakarak araçların yaklaşık fiyatını tahmin eden bir bulanık sistemi tasarlanacak olursa. Bu durumda:

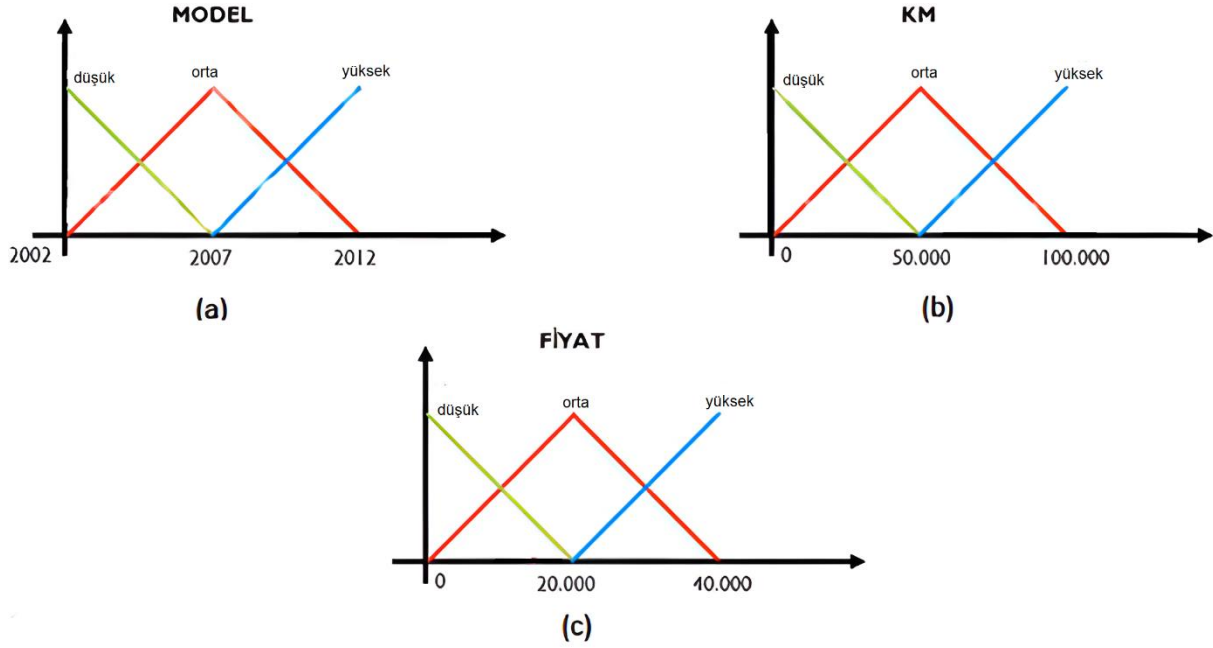
- Giriş değerleri: model [2002-2012] ve km [0-100.000]
- Çıkış değerleri: fiyat [0, 40.000 TL]

olduğu söylenebilir. Her değişken için belirlenen dilsel değerler şu şekilde olsun:

- Model: Düşük [2002, 2007 yıl], Orta [2002, 2012 yıl], Yüksek [2007, 2012 yıl]
- Kilometre: Düşük [0,50.000 km], Orta [0, 100.000 km], Yüksek [50.000, 100.000]

- Fiyat: Düşük [0, 20.000 TL], Orta [0, 40.000 TL], Yüksek [20.000, 40.000 TL]

İlk başta sistem için kullanılan üyelik fonksiyonları grafikleri çizilir. Bu çizimler Şekil 15 (a, b, c) grafikleri olarak gösterilmiştir.



Şekil 15. (a) Model üyelik fonksiyonu, (b) Km üyelik fonksiyonu, (c) Fiyat üyelik fonksiyonu.

Buraya kadar oluşturulan kısımlar, bulanık sistemde geçen **bilgi tabanı** kısmının bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölüm sistemde **veri tabanı** olarak adlandırılır.

Veri tabanını oluşturduktan sonra kural tabanı için bulanık kurallar oluşturulur.

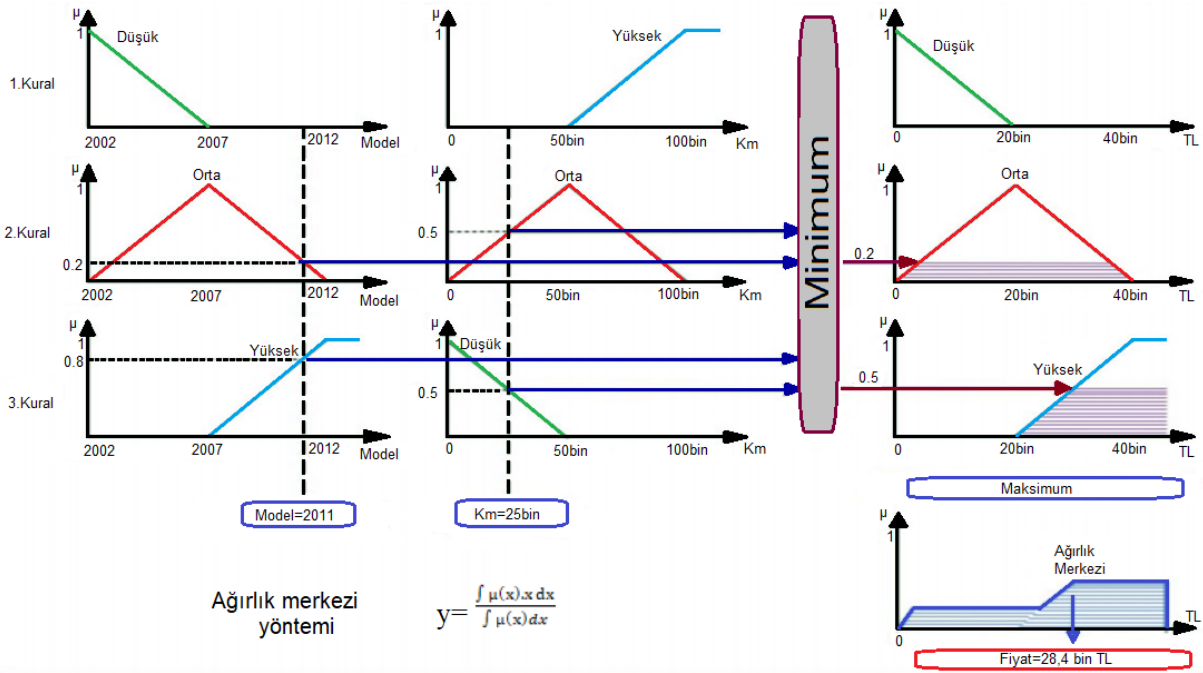
(IF-THEN kuralları):

- **Kural 1:** Eğer **model düşük** ve **kilometresi yüksek** ise o halde **araç fiyatı düşüktür**.
- **Kural 2:** Eğer **model orta** ve **kilometresi orta** ise o halde **araç fiyatı ortadır**.

- **Kural 3:** Eğer **model yüksek** ve **kilometresi düşük** ise o halde **araç fiyatı yüksektir**.

Oluşturulan kural tabanları uygulama durumuna göre sayısı değişiklik gösterebilir. Örnek olarak arabanın modelinin düşük olması, renginin kırmızı olması gibi. Sistemdeki veri tabanı ve kural tabanındaki kuralları tanımladıktan sonra giriş verisi verildiğinde sistem işlemeye başlar.

Giriş: 2011 model ve 25 bin Km de olan bir aracın fiyatını Mamdani çıkarım yöntemi kullanarak tahmin edelim.



Şekil 16. Tanımlanan kurallar ve giriş doğrultusunda grafiksel sistem.

Bu çözümde üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Çözüm grafik üzerinden anlatılırsa:

1. Kural: Model düşük denildiğinde Şekil 16 da bulunan model düşük grafik alınır. Kilometre yüksek denildiğinde Şekil 16 da bulunan km yüksek grafiği çizilir. Girişler 2011 model 25 bin Km kesik çizgi ile gösterilmiştir. Araç fiyatı düşüktür denildiğinde fiyat düşük grafiği alınır. Giriş verileri verilen kurala ait grafikleri kesmediği için işleme alınmaz.

2.Kural: Model orta denildiğinde Şekil 16'da bulunan orta grafik çizilir. Kilometre olarak orta denildiğinde Şekil 16'da bulunan Km orta grafik çizilir.

Girişler grafikleri kestiğinden dolayı üçgen üyelik fonksiyonu hesaplamaları yapılır (üçgen üyelik fonksiyonu yöntemi).

$\mu_{model}=0.2$, $\mu_{km}=0.5$ hesaplamalardan üyelik fonksiyon değerleri bulunur.

Çıkışta araç fiyatının orta olduğu belirtildiğinden dolayı grafiği orta grafik olarak alınır. Daha sonrasında hesaplanan üyelik fonksiyonlardan *min* değeri alınarak grafikte kestiği yüksekliğin alt kısmı işaretlenir.

3.Kural: Model yüksek denildiğinden Şekil 16'da bulunan model yüksek grafiği çizilir. Kilometre yüksek girişi verildiğinden Şekil 16'dan model yüksek grafiği çizilir. Girişler 2011 model ve 25000 Km grafikleri kestiğinden dolayı üyelik değerleri hesaplanır.

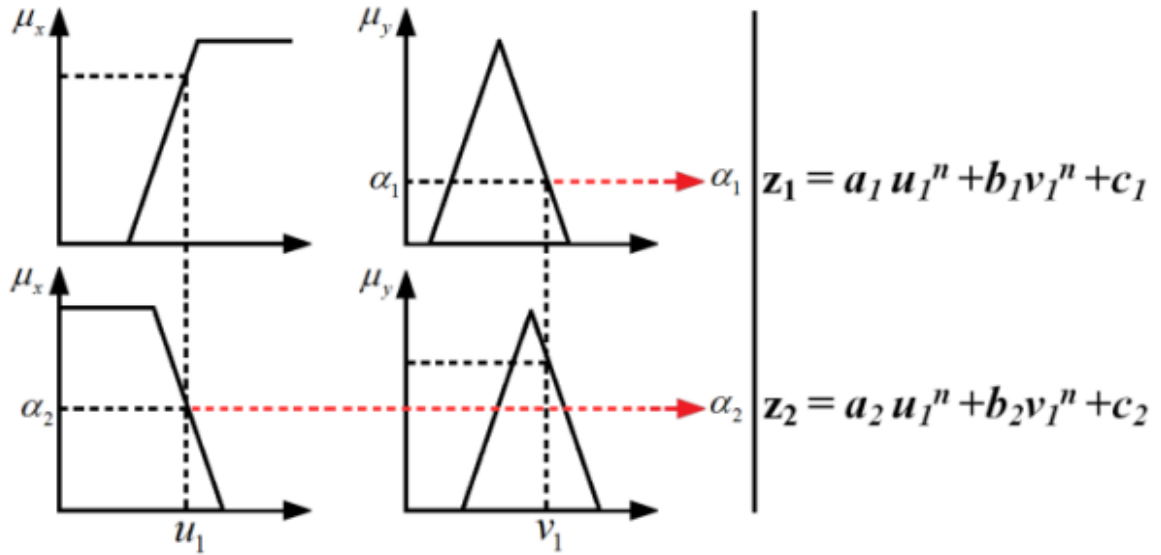
$\mu_{model}=0.8$, $\mu_{km}=0.5$ hesaplamalarından üyelik fonksiyon değerleri bulunur.

Çıkışta veri araç fiyatı yüksek olduğundan dolayı çıkışta araç yüksektir grafiği çizilir. Üyelik değerlerinden *min* değer alınarak grafikte kestiği noktanın alt kısmı işaretlenir.

Sonuç olarak çizilen grafiklerden ve hesaplanan üyelik fonksiyon değerleri sonucunda oluşan grafiklerdeki alanlar birleştirilir. Birleştirildiğinde bir bulanık değer elde edilir. Bu grafikte durulaştırma yöntemlerinden ağırlık merkezi yöntemi uygulanarak fiyat 28,4 bin TL olarak bulunur.

9.2. Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Çıkarım Yöntemi

TSK çıkarımı, özellikle kontrol problemlerinde en popüler çıkarım yöntemlerinden biridir. TSK çıkarımı ile Mamdani çıkarımı arasındaki en büyük fark: Mamdani çıkarımı bulanık değerler verirken, TSK çıkarımı bir fonksiyon olarak çıktı değeri verir. Bu nedenle, TSK çıkarımındaki durulaştırma işlemi genellikle ortalamayı hesaplamak kadar basittir (Torun,2007). TSK çıkarım yönteminin grafiksel gösterimi Şekil 17' de gösterilmiştir. Görülen z_1 ve z_2 değerleri, oluşturulan çıkış fonksiyonlarının, giriş değerlerine göre ürettiği sonuçlardır. Daha sonra bu değerler, üyelik değerleri (a_1 ve a_2) de kullanılarak, durulaştırma işlemine geçilir ve çıkış değeri istenilen şekilde sistemden alınır.



Şekil 17. TSK çıkarım yöntemi grafiksel gösterimi (Ünsal-Alışkan, 2016).

10. DURULAŞTIRMA

Çoğu kontrol ve sınıflandırma sistemi, sistem çıktılarının doğru olmasını gerektirir. Bulanık bir sistemde, bulanık muhakeme mekanizmasının ürettiği bulanık değerlerin gerçek değerlere dönüştürülmesi gerekir. Durulaştırma işlemi, ortaya çıkan bulanık değerleri sistem tarafından çıktı alınacak gerçek değerlere dönüştürür.

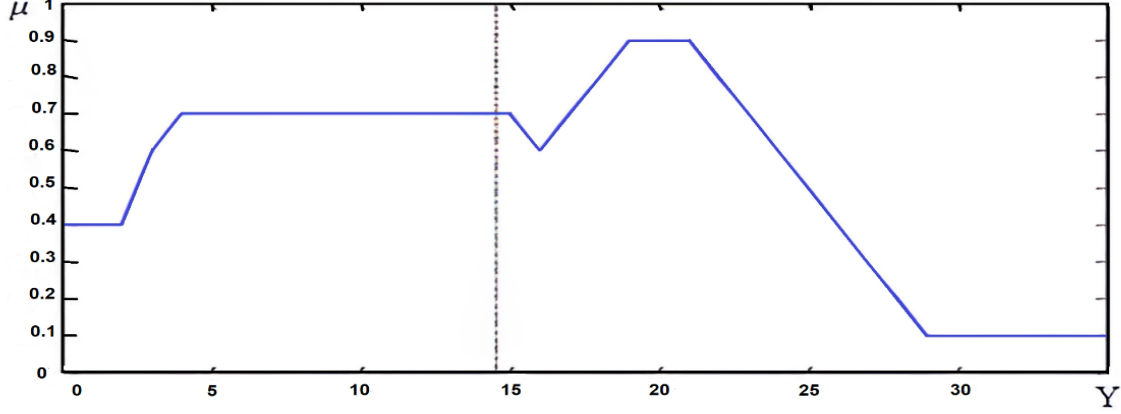
Literatürde beş adet durulaştırma yöntemi bulunmaktadır:

- 1- Ağırlık merkezi yöntemi
- 2- Alan açığortay yöntemi
- 3- En büyük üyelik yöntemi
- 4- En büyüklerin küçüğü yöntemi
- 5- En büyüklerin büyüğü yöntemi

10.1. Ağırlık merkezi yöntemi

Sonuca ait çıkış keskin değeri işlenen kuralların oluşturduğu çıkışa ait elde edilen sonuç bulanık kümelerin karşılama değerlerinin altlarındaki alanların toplamının teşkil ettiği alanın ağırlık merkezinin yatay eksen değeri

olarak ele alınır. Bu yöntem en çok kullanılan durulaştırma yöntemlerinden birisidir (Torun, 2007).



Şekil 18. Ağırlık merkezi yöntemi grafiği.

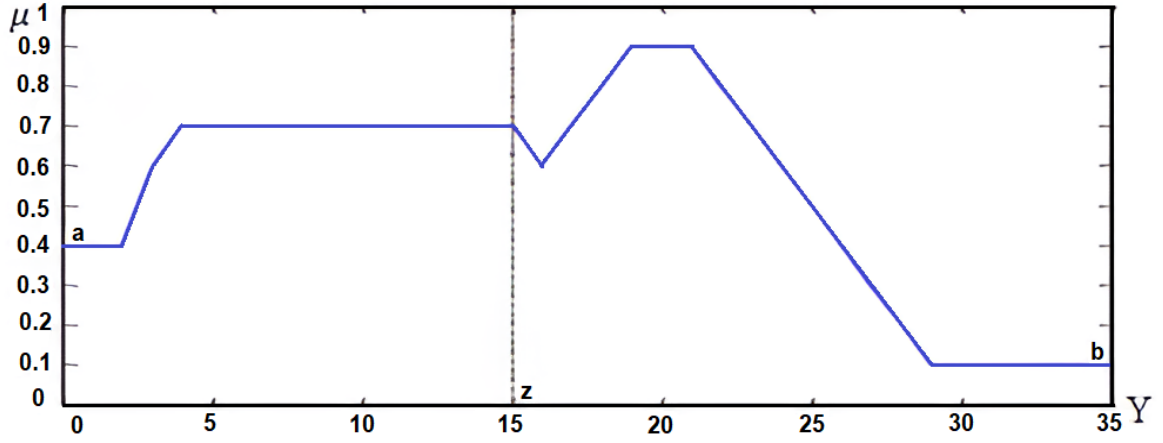
Teknik olarak bu hesaplama temel ayrık destek noktalarında 'y' nümerik integrali ile gerçekleştirilir. Sonucun daha hassas olması hesap süresini artırır. Bu ağırlık merkezi yöntemi Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$y = \frac{\int \mu(x) \cdot x \, dx}{\int \mu(x) \, dx} \quad (10)$$

Ağırlık merkezi yönteminde sonuçta oluşan çözüm yüzeyinin ağırlık merkezi çıkış değeridir.

10.2. Alan açığortay yöntemi

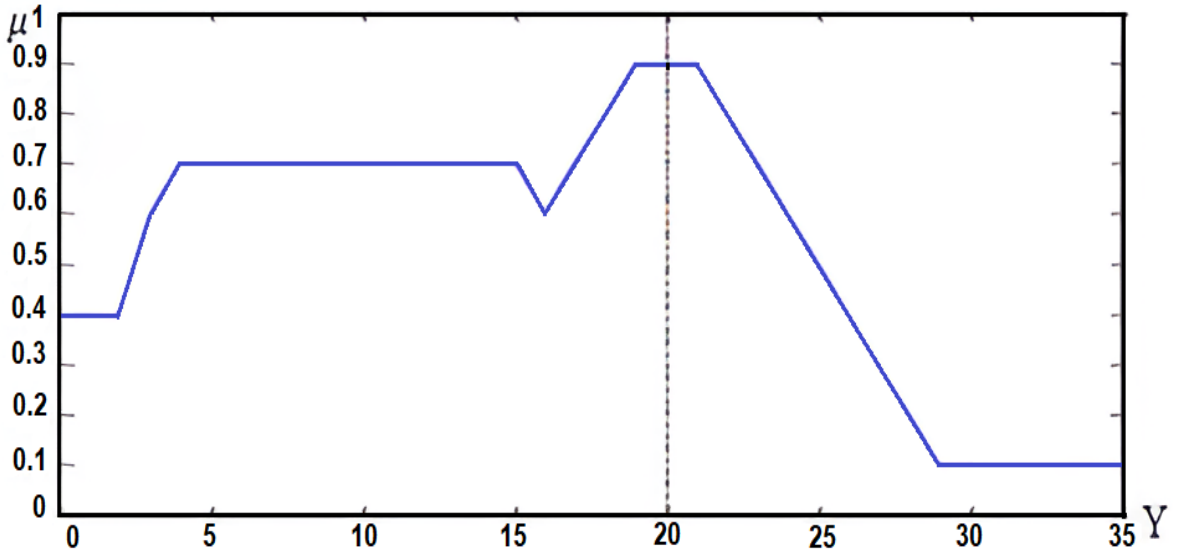
Çıkışa ait alanı iki eşit alana bölen noktadır. Çıkış üyelik fonksiyonunun başlangıç değeri a , bitiş değeri b olsun. a ile b arasında öyle bir z değeri seçilmelidir ki $[a, z]$ arasındaki alan ile $[z, b]$ arasındaki alan birbirine eşit olsun.



Şekil 19. Alan açığortay yöntemi grafiği.

10.3. En büyük üyelik yöntemi

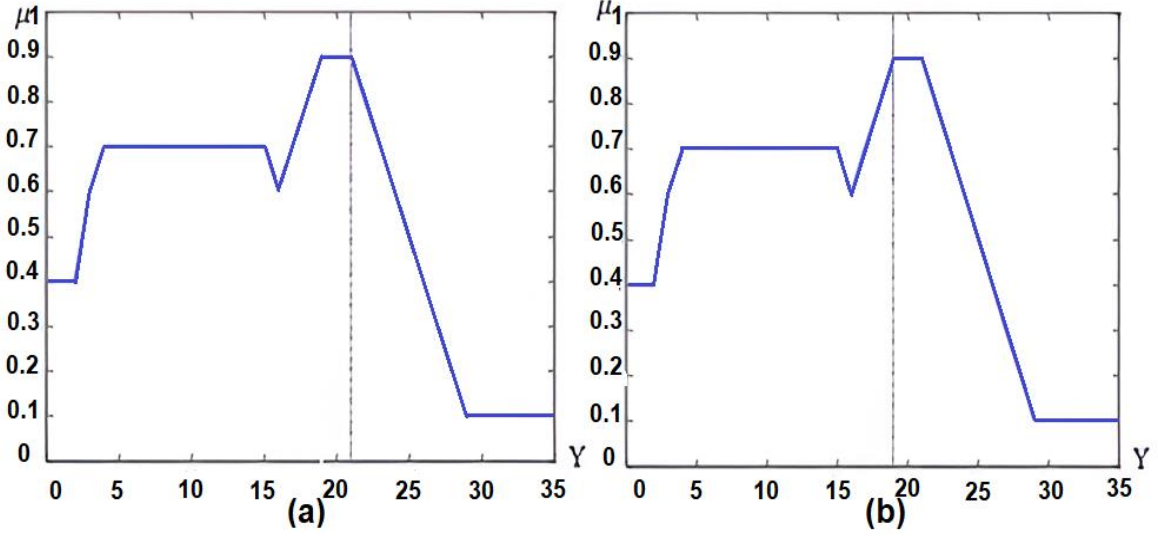
En büyük üyelik derecelerine sahip noktaların aritmetik ortalaması yani orta noktası alınır. Grafikte bulunan üç noktanın orta noktası 20 olmuştur.



Şekil 20. En büyük üyelik yöntemi grafiği.

10.4. En büyüklerin büyüğü ve küçüğü yöntemi

Tüm bulanık çıkış kümelerinin birleşiminde belirlenen en küçük ya da en büyük değerlerin seçilmesi yöntemidir. Doğrudan çıkış aralığı üzerinde, üyelik derecesine göre bir değer seçildiği için matematiksel işleme gereksinim duyulmaz.



Şekil 21. En büyüklerin büyüğü (a) ve küçüğü (b) yöntemi grafiksel gösterimi.

11. BULANIK MANTIK KULLANIM ALANLARI

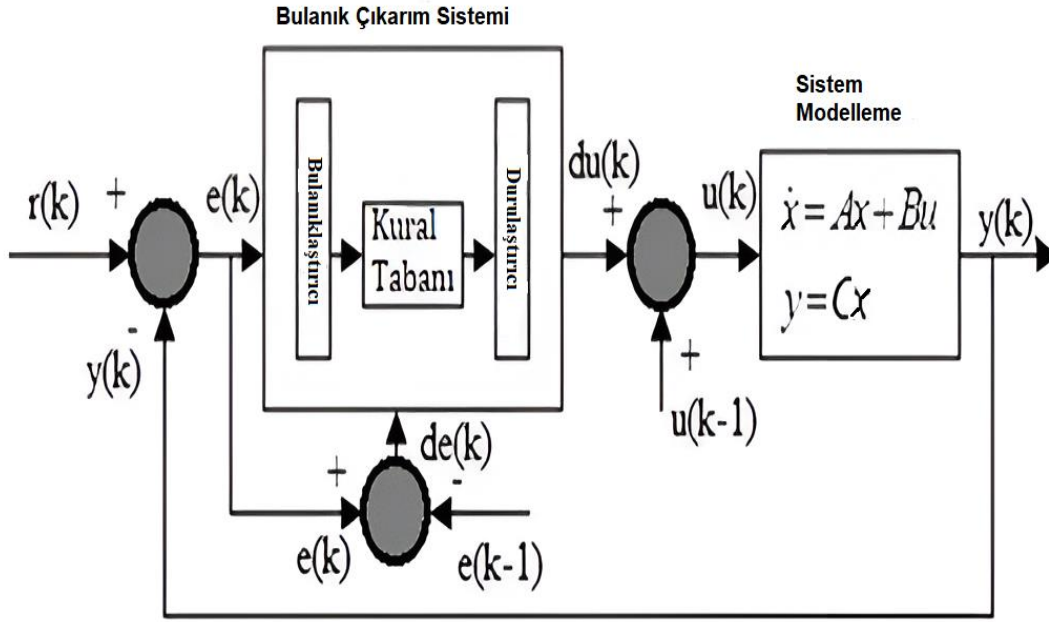
Bulanık mantık, günümüzde başta endüstriyel alanlar olmak üzere hemen hemen her alanda uygulanma imkânına sahiptir. Japonlar bulanık mantığı, özellikle bulaşık makineleri, çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler ve video kameralar gibi elektronik cihazlarda kullanmışlardır (Ödük, 2019).

Bulanık mantığın uygulaması ilk olarak çimento endüstrisinde olmuştur. Bu sahada kalker ve kil 1000-1400°C derecede reaksiyona girer. Fırın içerisindeki oksijen oranı çimento kalitesini doğrudan etkiler. Bunu ancak uzman personel istenilen değerde üretebilir. Ancak günümüzde uygulanan vardiyalı sistem nedeniyle, her biri farklı uzmanlıktaki uzmanların sürekli değişmesiyle, farklı verimlilik ve kalitede ürünler elde edilmektedir. İstenilen kalite ve verimlilikteki ürünleri alabilmek için bu sektörde uzun yıllar çalışmak zorundadırlar. Çimento üretimi için karmaşık bir yapı söz konusudur. Bu karmaşık yapı nedeniyle süreç kontrolünü bulanık kurallar tanımlanarak

yönetir. Danimarkalı bir şirket, uzman operatörlerin süreci kontrol etmek için kullandıkları 50-60 pratik kuralı temel alan bir mikro denetleyici üretti ve böylece tutarlı ürün kalitesi ve önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağladı. Daha sonra insansız hava araçlarının kontrolünde, tren fren sisteminde, ABS (otomatik fren sistemi) ve ASC (otomatik vites kontrolü) kontrolünde bulanık mantık sistemi kullanılmıştır (Alcı-Karatepe, 2002). PD, PI ve PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrolörler, bulanık mantık sistemlerinde sıkça kullanılan kontrol yöntemleridir. Bu kontrolörler, bir sistemin çıkışını istenen değere getirmek veya bir hatayı en aza indirmek için kullanılır (Attia,2019).

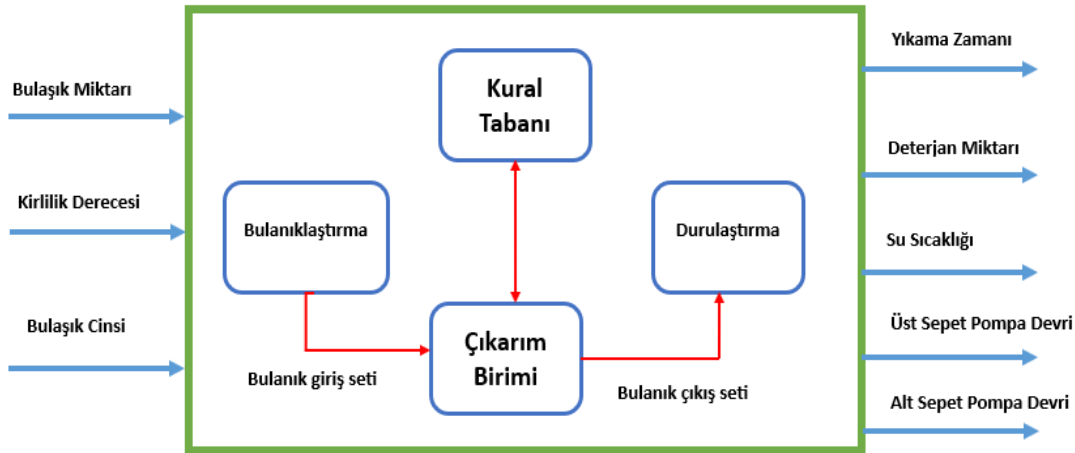
Bulanık mantık kontrolü azaltan artıran DA-DA çeviricide batarya yükü için fotovoltaik kaynak ile çalışan dönüştürücü için kullanılmıştır (Sahin-Okumus, 2012). Hava-uzay araçları ve uydular için irtifa kontrolü, hız kontrolü, trafik kontrolü için otomotiv sistemlerinde kullanılır. Büyük kurumsal işletmelerde kullanılan karar destek sistemleri ve kişisel değerlendirmeler, kimya endüstrisinde pH kontrolü, kurutma, kimyasal distilasyon işlemlerinde, doğal dil işlemede ve yapay zekada çeşitli yoğun uygulamalarda kullanılmaktadır (Alcı-Karatepe, 2002). Bulanık mantık, insansız hava araçların karmaşık ortamlarda akıllıca ve güvenli bir şekilde uçmalarını sağlamak için daha geniş bir kontrollü yetenek sunar (Karaca,2016). Bulanık mantık, uzman sistemler gibi modern kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 22. de gösterilen bulanık mantık tabanlı kontrol sisteminde iki giriş sinyali bulanık mantık çıkarım sisteminde ilk olarak bulanıklaştırıcı da (Fuzzifier) bulanık sayılar üretilir. Bulanıklaştırılan sinyal bulanık sayısını belirlemek için kural tablosunda kullanılır. Son olarak bulanık sayılar durulaştırıcıda (Defuzzifier) net sayılara dönüştürülerek çıkış sinyali elde edilir ve sistem kontrol edilir.



Şekil 22. DC-DC dönüştürücü modeli ve geri bildirim modellemesi (Sahin ve Okumus, 2012)

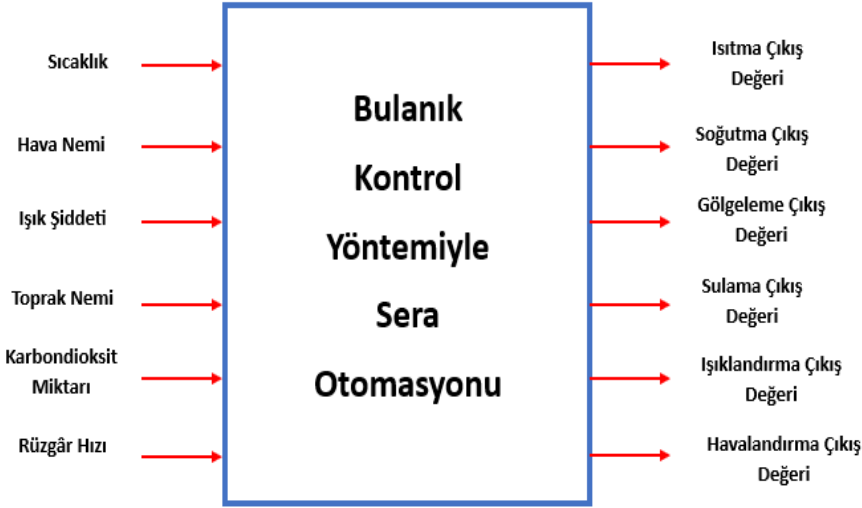
Bulaşık makinesinin çalışması, bulaşıkların temizlenmesi ve zarar görmemesi en önemli beklentilerdir. Bu beklentilerin karşılanması için gerekli olan giriş ve çıkış parametrelerini içeren bulanık mantık kontrolü Şekil 23'te gösterilmiştir.



Şekil 23. Bulaşık makinesinin bulanık mantık sistemi (Tiryaki-Kazan, 2007).

Bulanık mantık sistemi ile yapılan sera otomasyon sistemi ile serada yetiştirilen bitkilerin sıcaklık, havanın nemi, toprak nemi gibi parametrelerin

devamlı takip edilmesi gerekmektedir. Bitkinin verimli büyümesi için bu unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bulanık mantık ile tasarlanan sistemlerde giriş verilerin hangi çıkış verilere etki ettiği Şekil 24 de tespit edilmiştir. Giriş verilerinden sıcaklık ve hava nemi ısıtma ve soğutma gibi veriler çıkış verisini etkiler (Ödük, 2019).



Şekil 24. Bulanık kontrol yöntemi ile sera otomasyonu (Ödük, 2019).

12. SONUÇ

Günümüzde bazı sistemlerin karmaşık olması ve gelecekteki sistemlerin daha karmaşık yapılara sahip olacağı düşüncesi, denetim sürecinde farklı yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. İnsan zihninin ve bilgisayarların daha derinden anlaşılması sayesinde esnek ve sonsuz modellemeye olanak sağlayan bulanık mantık tabanlı sistemlerin gelecekte büyük önem kazanacağı öngörülmektedir. Ayrıca geçmişte elde edilen birçok problem ve çözüm yeniden ele alınarak bulanık mantık sistem yaklaşımı ile daha hassas ve güvenilir sonuçlar üretilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada, bulanık mantık yapısını en basite indirgeyerek uygulamalar ile desteklenerek anlatılmıştır. Bulanık sistem tasarımında, uygulamada daha kolay çözüm üretebilmek için izlenmesi gereken adımları ve yapılması gereken hesaplamaları basit bir şekilde anlamak için grafikler kullanılır. Bu grafikler, bulanık sistemin işleyişini görsel olarak temsil eder ve tasarımcılara önemli bilgiler sağlar. Grafikler, bulanık sistemde kullanılacak

işlemleri ve sonuçları daha anlaşılır hale getirir, böylece tasarım süreci daha verimli bir şekilde ilerler.

Yapılan bu çalışmadaki aşamalar uygulamalar ile desteklenerek anlatılmıştır. Bulanık mantık sistemi öncesinde kullanılan klasik mantık ile geliştirilen uygulamalar ve ürünler günümüzde de kullanılmaktadır. Geçmişte geliştirilen bu uygulamalardaki sorunlar ve hatalara karşı bulanık mantık kullanılarak daha net ve hassas sonuçlar elde edilebilir. Bu durum günümüzde ve gelecekte yapılan ve yapılacak olan uygulamalarda yaşanan hatanın en aza indirgenmesine ve daha net sonuçlar elde edilmesine neden olur. Bu durumda elde edilen iyileştirilmiş sonuçlar ile geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan sistemler daha verimli hale gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Alcı, M., & Karatepe, E. (2002). Bulanık mantık ve Matlab uygulamaları. Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği. Yardımcı Ders Kitabı. İzmir. 118s.
- Alışkan, İ., & Ünsal, S. (2016). Farklı çıkarım yöntemlerine sahip bulanık mantık denetleyicileri kullanarak kalıcı mıknatıslı senkron motorun hız denetimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), 185-191.
- Altaş, E., & Altaş, İ. H. (2022, September). A Smart Decision Maker for Energy Efficient Landscape Designs. In 2022 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) (pp. 1-4). IEEE.
- Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 62, 80-85.
- Attia, A. F., Sharaf, A. M., & Selim, F. (2019). A Multi-Stage Fuzzy Logic Controller for Hybrid-AC Grid-Battery Charging Drive System. Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 4(2), 1-12.
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). Bulanık mantık ilke ve temelleri. Bıçaklar Kitabevi.
- Gülcan, B. (2012). Bulanık doğrusal programlama ve bir bisküvi işletmesinde optimum ürün formülü oluşturma (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Gültekin, A. (2021). Klasik Mantıktan Bulanık Mantığa Yapay Zekâ Serüveni. Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (BUSBED), 11(22), 697-714.
- Gündoğdu, K., Gündoğdu, E., & Yücedağ, İ. (2016). Bulanık Mantık ile Akıllı Fırının Modellenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 574-580.

Güvenç, U., Sönmez, Y., & Biroğul, S. (2007). Bulanık mantık denetimli DA-DA çeviricileri için geliştirilen bir eğitim seti. *Politeknik Dergisi*, 10(4), 339-346.

Işıklı, Ş. (2008). Bulanık Mantık Ve Bulanık Teknolojiler. Ankara Üniversitesi, DTCF, Felsefe Bölümü, Doktora Tezi, 1-19.

Işıklı, Ş. (2010). Lotfi a. Zadeh'nin hayat hikâyesi ve bulanık paradigmanın üç temel unsuru. *Kutadgubilig: Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi*, 17, 89-101.

Jain, A., & Tripathy, B. (2017). *Advances in Application of Fuzzy Sets in Electrical Engineering*.

Karaca, M. Bulanık mantık kullanılarak insansız hava aracı irtifa kontrolü ve simülasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Kaufmann, A., & Gupta, M. M. (1988). *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*. Elsevier.

Keskenler, M. F., & Keskenler, E. F. (2017). Bulanık mantığın tarihi gelişimi. *Takvim-i Vekayi*, 5(1), 1-10.

Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (Vol. 4, pp. 1-12). New Jersey: Prentice hall.

Korucu, A. T. (2007). Bulanık mantık problemleri için Türkçe görsel bir arayüz tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Kurdoğlu, Ö. T. Bulanık mantık kullanılarak Poisson ve Binom dağılımlarının incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Ödük, M. N. *Bulanık mantık yöntemi ve uygulamaları* (2019) ISBN: 978- 625-7029-11-7.

Özdamar, İ. H. (2006). Bulanık istatistiksel kalite kontrolü ve bir orman endüstrisi işletmesinde uygulama (Doctoral dissertation, Sosyal Bilimler).

Özdemir, O., & Kalınkara, Y. (2020). Bulanık mantık: 2000-2020 yılları arası tez ve makale çalışmalarına yönelik bir içerik analizi. *Acta Infologica*, 4(2), 155-174.

Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.

Rekioua, D., Bensmail, S., & Rekioua, T. (2022). Application of adaptive fuzzy logic controller to improve photovoltaic pumping system performances. *Turkish Journal of Electromechanics and Energy*, 7(3).

Sahin, M. E., Okumuş H. İ. (2009). Fuzzy Logic Controlled Synchronous Buck DC-DC Converter Ior Solar Energy-Hydrogen Systems. *INISTA 2009*, 200.

Sahin, M. E., & Okumus, H. I. (2012, July). A fuzzy-logic controlled PV powered buck-boost DC-DC converter for battery-load system. In *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* (pp. 1-5).

Sahin, M. E., & Okumus, H. I. (2013). Fuzzy logic controlled parallel connected synchronous buck DC-DC converter for water electrolysis. *IETE Journal of Research*, 59(3), 280-288.

Sahin, M. E., & Okumus, H. İ. (2011, June). Fuzzy logic controlled buck-boost DC-DC converter for solar energy-battery system. In *2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* (pp. 394-397).

Taçyıldız, B. (2013). Bulanık mantık model geliştirme ortamlarının karşılaştırılması ve örnek bir uygulama (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).

Tiryaki, A. E., & Kazan, R. (2007). Bulaşık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Mühendis ve Makine*, 48(565), 3-8.

Torun, S. (2007). Koroner kalp hastalığı riski tanısı ve tedavisi için hiyerarşik bir bulanık uzman sistem tasarımı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya-Turkey.

Ünsal, S., & Alışkan, İ. (2016). Mamdani ve Takagi-Sugeno Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicilerin Özgün Yazılım ve Araç Kutusu Performans Analizi Performance Analysis of Fuzzy Logic Controllers Having Mamdani and Takagi-Sugeno Inference Methods By Using Unique Software and Toolbox. Erişim Tarihi, 27, 2019.

Vural, Mehmet. (2002). “Düşünce Tarihinde Mantık: Aristoteles Mantığından Bulanık Mantığa.” *Kutadgubilig: Felsefe Bilim Araştırmaları Dergisi*, 2: 93-136.

Yılmaz, M., & Arslan, E. Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması.

Zadeh, L. A., Klir, G. J., & Yuan, B. (1996). Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers (Vol. 6). World scientific.