

BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC)

1. GİRİŞ

Fiziksel sistemleri matematiksel olarak modellerken, transfer fonksiyonlarını çıkarırken, sistemlerin doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemler olduğunu kabul ederiz. Oysa doğada doğrusal sistem pek yoktur. Bu kabullenmeyi belirli çalışma bölgeleri etrafında kabul edebiliriz. Bunların dışında matematiksel modelinin çıkarılması oldukça karışık hatta imkansız çok sayıda matematiksel işlemler kabullenmeler gerektirir [1]. Bir insanın zihnindeki düşünce dünyasının bile tomografisi çekilecek olursa, bunun çok renkli değişik hatta karmaşık motiflere sahip olduğu çok belirgin olmayan desenler içerdiği görülür. İşte bu belirsizliği, bulanıklılık (fuzzy) diye tanımlamak mümkündür [2]. Bulanık Mantık diğer adıyla “*Fuzzy Logic*” kuramı ilk kez 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Kümeler teorisinde bir eleman ya bir kümeyle aittir yada değildir. Fakat bulanık kümelerde bir eleman birden fazla kümeyle ait olabilmektedir. Bulanık kümelerde kesinlik kavramı yoktur[3]. Bulanık mantık (Fuzzy) karar verme mekanizması olarak tanımlanabilecek sözel ifadelerin bir uzman kişi tarafından belirtilen kesin olmayan sınırlar içindeki davranışını matematiksel olarak modellemeye yarar. Modelleme kesin olmayan bulanık kümelerden oluştuğundan *Bulanık* yada *Fuzzy* olarak ifade edilir. Bu ismi kişisel yada uzman kişinin kesin çizgilerle ifade edemediği ancak bölgesel olarak yaklaşık sınırlarının belli olduğu durumlarda anlamlı sonuçlar vermektedir.

Bulanık mantık, hesaplama tekniği bu tür sorunları büyük ölçüde çözebilmektedir. Bu nedenle bilinen geleneksel hesaplama yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan bu yöntem, doğadaki işleyişi taklit ederek çözüme ulaşır. Bulanık mantık kavramı iki temel öğeden oluşur;

1-Bulanık kümeler ve bu kümeleri kullanarak bir dizi kural oluşturma

2- Karar verme süreci.

Bulanık mantık kuramının uygulamaları, günümüzün karmaşık problemlerinin çözümünde kullanışlı bir araç haline gelmiştir. İlk ortaya atıldığı tarihten bu yana konu, matematikçiler, bilim adamları ve mühendisler tarafından birbirinden bağımsız pek çok çalışmaya konu olmuştur[1]. Bulanık Mantık’ın kurucusu Azeri asıllı Lotfi Zadeh’dir.

1.1 Bulanık Mantık 'ın Tarihçesi ve Kurucusu Lotfi Zadeh

Matematiğin doğruluğundaki ve bütünlüğündeki başarısı Aristoteles'in ve öğrencilerinin katkısıyla olmuştur. Onların mantık teorisini oluşturma çabaları ile matematik bilimi gelişmiş ve "Düşüncenin Yasaları" oluşturulmuştur. Bu yasalardan biri, her önermenin ya doğru yada yanlış olması gerektiğini belirtmektedir. Bu anlayışa geleneksel anlayış yada Aristo Mantığı denilmektedir [4,6]. Bu yüzyılda matematik ve bilimdeki değişik fikirler belirsizlik kavramını da etkilemiştir [5,6]. 1900'lerin başında, geleneksel anlayıştan farklı olarak Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz'in 3. Bir değer olan "olası" kavramını ortaya atması, 1920'ler ve 1930'larda çok değerli mantık sisteminin gelişmesine yol açmıştır. 1930'larda Max Planck tarafından belirsizliği açıklayıcı ilk kavramlar geliştirilmiş ve 1965'de Azeri kökenli sistem bilimci Zadeh tarafından yayımlanan makale ile modern anlamda belirsizlik kavramı açıklığa kavuşmuştur [2,4,5,6,7].



Bulanık mantık 'ın kurucusu, Lütü Zade, tam adıyla Lütü Rahim oğlu Askerzade (Bakü 4 Şubat 1921) dir. Lütü Zadeh; Azerbaycan asıllı matematik ve bilgisayar biliminde çalışan bulanık mantık teorisinin temelini atan bilim adamıdır. Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'nin Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri fakültesinde profesör olarak görev yapmaktadır.

Lütü Zadeh; İlköğrenimini Tahran'da, liseyi Alburz Koleji'nde tamamladı. Liseyi bitirdikten sonra Tahran Üniversitesi giriş sınavına katılıp, ikinciliği elde ederek Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başladı. Üniversite öğrenimini bitirdikten daha sonra 1942 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ne gidip orada Boston'daki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde Elektrik Mühendisliği yüksek lisans eğitimini, ardından New York'ta Columbia Üniversitesinden 1949 yılında doktora eğitimini tamamladı.

Prof. Dr. Lütü Askerzade, Sistem Teorileri üzerinde araştırmalarına Columbia Üniversitesi, Princeton Üniversitesi ve Kaliforniya (Berkeley) Üniversitesi devam etti. 1963 yılında Kaliforniya (Berkeley) Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Fakültesi dekanı oldu.

Lütü A. Zade 1965 yılına kadar sistem teorisi ve karar teorilerin analizi üzerinde yoğunlaşmıştır, ancak bu yıldan sonra Bulanık Mantık üzerinde çalışmalarını başlayıp bu mantığın yapay zeka, dil, mantık, karar teorileri, kontrol teoriler ve sinir sistemleri şebekeleri üzerinde olan etkilerini araştırmıştır.

Lütfi A. Zade işten emekli olmasına rağmen Berkeley Üniversitesi Bilgisayar programlama merkezinin yönetimini üstelenerek çalışmalarına devam etmektedir.

Prof. Dr. Lütfi A. Zade'nin Bulanık Mantık'ı ortaya koyduğu andan itibaren günümüze değin dünyada 15000'nin üzerinde bilimsel makale yayınlanmıştır.

2. BULANIK KÜMELER

Bulanık kümeler, kullandığımız sözel ifadeleri bilgisayara aktarabilmek için oluşturduğumuz matematiksel modellerdir.

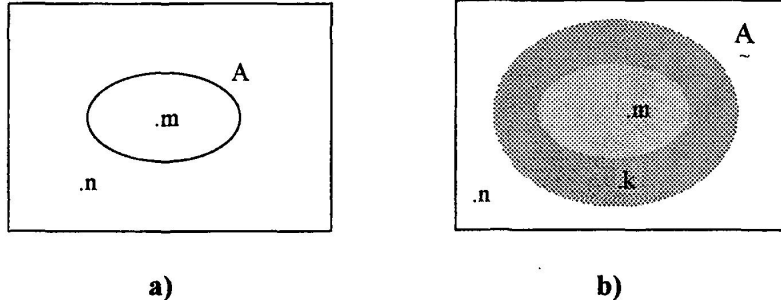
Bulanık Mantığın sağladığı avantajlar:

- 1- İnsan düşünce sistemine ve tarzına yakındır.
- 2- Uygulanmasında mutlaka matematiksel bir modele gereksinim duymaz.
- 3- Yazılımın basit olması nedeniyle, sistem daha ekonomik olarak kurulabilir.
- 4- Bulanık Mantık kavramını anlamak kolaydır.
- 5- Üyelik değerlerinin kullanımı sayesinde, diğer kontrol tekniklerine göre daha esnektir.
- 6- Kesinlik arz etmeyen bilgiler kullanılabilir.
- 7- Doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine izin verir.
- 8- Sadece uzman kişilerin tecrübeleri ile kolaylıkla bulanık mantığa dayalı bir model yada sistem tasarlanabilir.
- 9- Geleneksel kontrol teknikleriyle uyum halindedir [8].

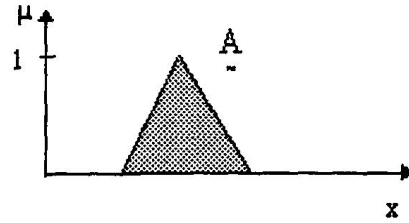
İsminin insanlarda çağrıştırdığı anlamın aksine bulanık mantık, belirsiz ifadelerle yapılan, belirsiz işlemler değildir. Modelleme aşamasında değişkenler ve kuralların esnek bir şekilde belirlenmesidir. Bu esneklik asla rastgelelik yada belirsizlik içermez. Nasıl bir lastik içinde bulunduğu duruma göre şeklini değiştirirken, bütünlüğünü yapısını koruyabilirse, bir bulanık modelde değişen koşullara değişen cevaplar verirken özündeki yapıyı muhafaza eder [6].

Bir elemanın herhangi bir bulanık kümeye olan üyeliğini belirlemek için üyelik fonksiyonları kullanılır. Örneğin; x elemanının *A Bulanık Kümesi*'ne olan üyeliği Şekil 1'deki fonksiyon-teorisi formunda gösterilebilir [7-13].

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



Şekil 1: a) Klasik küme, b) Bulanık Küme[7]



Şekil 2: A Bulanık Kümesi için Üyelik Fonksiyonu[7]

\tilde{A} bulanık kümesi ayrık X uzayının sonlu sayıda x elemanından ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) oluşuyor ise Denklem 2'deki gibi gösterilebilir.

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2)$$

\tilde{A} bulanık sürekli X uzayının sonsuz sayıda x elemanından oluşuyor ise denklem 3' deki gibi gösterilebilir.

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \right\} \quad (3)$$

Denklem 2 ve Denklem 3'ün her ikisinde de kullanılan yatay çizgiler bölüm işareti olmayıp, x_i elemanı için ilgili üyelik fonksiyonun göstermektedir. Denklem 2'deki "+" işareti cebirsel toplama işlemini değil, küme işlemlerindeki birleşim işleminin fonksiyonel gösterimidir. Denklem 3'deki integral işareti de sürekli değişkenlerin birleşimi anlamında kullanılmaktadır [14].

2.1 Bulanık Kümelerde İşlemler

Bulanık küme teorisi; sadece sözel değerlerin temsilini sağlamaz aynı zamanda bu değerlerin mantıksal bir yolla irdelenip sonuç çıkarılmasını da sağlar. Bulanık kümeler teorisinde sık kullanılan temel üç işlem aşağıda sıralanmıştır [14].

$$\text{Birleşim işlemi: } \mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \vee \mu_{\underline{B}}(x) \quad (4)$$

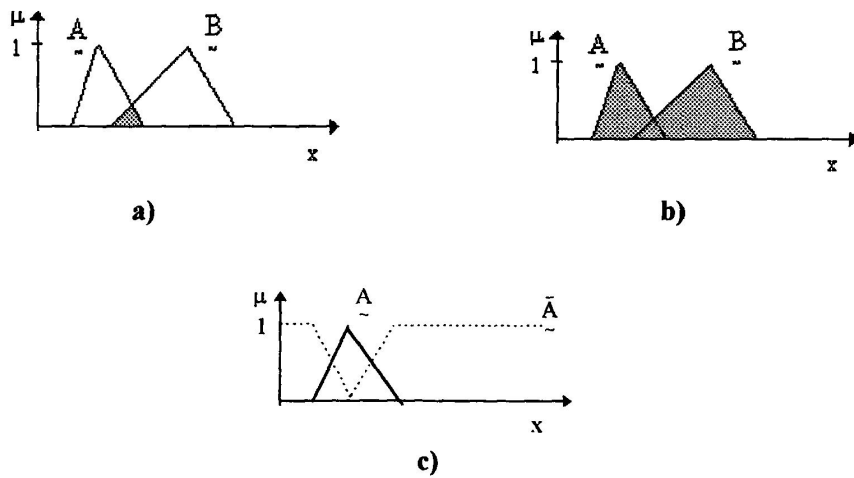
$$\text{Kesişim işlemi: } \mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \wedge \mu_{\underline{B}}(x) \quad (5)$$

$$\text{Değilleme işlemi: } \mu_{\underline{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\underline{A}}(x) \quad (6)$$

Bu işlemler, klasik kümede kullanılan *Venn* diyagramına benzer bir yöntemle ifade edilirler. Bulanık kümeler için grafiksel gösterim Şekil 3'de verilmiştir. X uzayında tanımlanan \underline{A} bulanık kümesi, o uzayın alt kümesidir. Klasik kümelerde olduğu gibi, bulanık kümelerde de, x elemanın boş küme'ye olan üyelik değeri 0 ve tüm küme X 'e olan üyeliği 1 dir. Bu ifadeler fonksiyon teorisi formunda aşağıdaki gibi gösterilebilir [14].

$$\underline{A} \subseteq X \Rightarrow \mu_{\underline{A}}(x) \leq \mu_X(x) \quad (7)$$

$$\forall x \in X \rightarrow \mu_{\emptyset}(x) = 0 \quad (8)$$



Şekil 3: A Bulanık Kümelerde İşlemler a) Bileşim, b) Kesişim, c) Değil işlemi

Klasik kümeler için geçerli olan De Morgan kuralları bulanık kümeler için de geçerlidir.

2.2 Üyelik İşlemleri

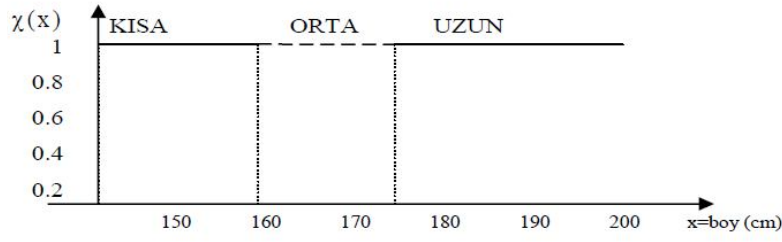
Bulanık kümeler $\mu_{\underline{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu ile temsil edilir. $\mu_{\underline{A}}(x)$, üyelik fonksiyonundaki bir x noktasının \underline{A} bulanık kümesindeki üyelik derecesidir. $\mu_{\underline{A}}(x) = 1$ konumunu, x 'in \underline{A} bulanık kümesinin kesin bir elemanı olduğunu tanımlamaktadır. Benzer şekilde $\mu_{\underline{A}}(x) = 0$, x 'in \underline{A} bulanık kümesi dışında olduğunu göstermektedir. $0 < \mu_{\underline{A}}(x) < 1$ arasındaki her değer, x 'in \underline{A} bulanık kümesindeki üyeliğinin belirsiz değerleridir. Bu yüzden kesin olmayan büyüklükler üyelik fonksiyonları tarafından belirtilmiş bulanık kümelerle temsil edilirler [15].

Önemli üyelik fonksiyonları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Önemli Üyelik Fonksiyonları[6]

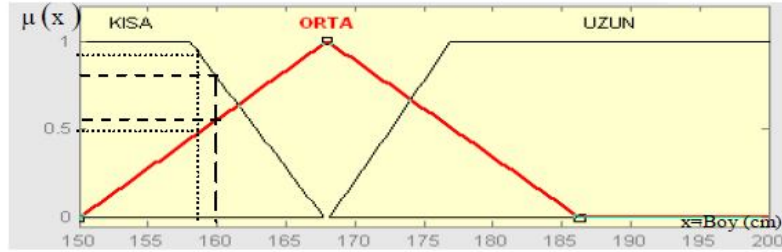
Adı	Denklemleri	Grafikçi
Üçgen Üyelik Fonksiyonu	$\mu(x) = \text{Max} \left\{ \min \left[\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_1}, 0 \right] \right\}$	
Yamuk Üyelik Fonksiyonu	$\mu(x) = \text{Max} \left\{ \min \left[\frac{x - x_1}{x_{t1} - x_1}, 1, \frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_{t2}}, 0 \right] \right\}$	
Gauss Üyelik Fonksiyonu	$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{\sigma} \right)^2}$	

Bir büyüklüğün niceliğini veya niteliğini anlatmak için günlük dilde kullandığımız bazı kavramlar, birden fazla özelliği aynı anda gösterebilir, açık ve net tek bir anlamı yoktur. Örneğin “iyi” sıfatı bir çekici nitelerken kullanışlı, fonksiyonel gibi anlamlara gelirken, bir öğrenci için örnek-çalışkan, bir çorba için lezzetli-güzel anlamları taşıyabilir. Kesin değerli kümelerle bulanık kümelerin farkını şu ifadelerle de açıklamak mümkündür. Birçok büyüklüğü veya ifadeyi kesin sınırlarla sınıflara ayırmak mümkündür. Bazı kavramlar ise, az ya da çok gibi birden fazla özelliği aynı anda gösterebilir. Bu kavramı, baskın özelliğini gösterdiği sınıfa dahil etmek, diğer özelliğini ihmal etmek doğru bir yaklaşım olmayabilir. Yaşlı-genç, ılık, soğuk, sıcak gibi kavramlar net olmayan ifadelerdir ve ifadeleri açıklayabilmek için kümeler kavramından yararlanır [1].



Şekil 4: Klasik kümelerle boy sınıflaması[1]

Şekil 4'de klasik Kümelerle Boy sınıflaması gösterilmiştir. Bu kümelere bakıldığında 1.59 boyundaki biri “kısa” sınıfına/kümesine girerken 1.60 boyundaki arkadaşı “orta” boylu kabul edilmektedir. Aynı şey 1.74 boyundaki biri için de söylenebilir. Çünkü kendisi de hemen hemen aynı özellikleri göstermesine rağmen 1.75 boyundaki arkadaşı uzun boylu kabul edilirken kendi orta boylu gurubuna girmektedir. Oysa Şekil 2'deki gibi bir gösterim biçimi daha gerçekçi olacaktır. Şekil 5'de 1.59 boyundaki kişi “Boy” evrensel kümesi üzerinde bulunan “Kısa” kümesine %92 üye iken, aynı evren üzerinde bulunan “Orta” kümesine %50 üye olacaktır (Şekil 2.6). 1.60 boyundaki kişi de, “Kısa” kümesine %80 üye iken, “Orta” kümesine %58 üye olacaktır.



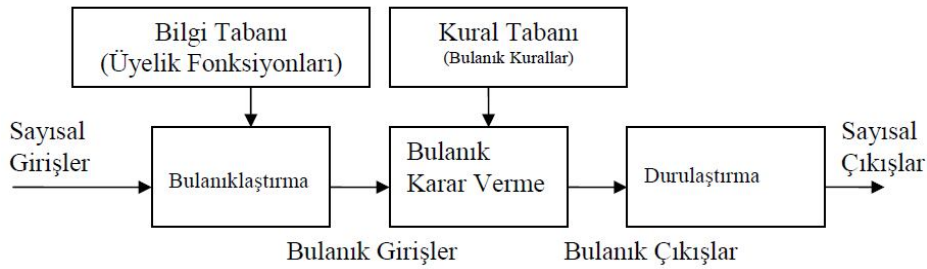
Şekil 5: Bulanık kümelerle boy sınıflaması[1]

Benzer şekilde 1.74 ve 1.75 boyundakiler ilk gösterimde çok farklı sınıflara düşerlerken, bu kişilerin birbirine yakın özellikler taşıdığı ikinci gösterimde daha anlamlı bir biçimde ifade edilebilmektedir. Bulanıklaştırma dediğimiz bu ifade biçiminde, bir büyüklüğü birden fazla sözel değer (veya önerme) ve bu önermelerin doğruluk dereceleriyle temsil edebiliriz. Bulanıklaştırma işleminde kullandığımız iç içe geçmiş kümelerle ise bulanık küme adını veriyoruz[1].

Sistemin yapısı karmaşık ta olsa, insanlar sistemin davranışı, eğilimi hakkında genel hatlarıyla bir yargıya varabilirler. Bu genel bilgi, insanların karmaşık sistemleri anlayıp kontrol edebilmesi için yeterlidir. Bulanık küme kuramının mühendislik veya diğer alanlarda

uygulanmasındaki amaç, kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı sonuçlar çıkarabilmektir. Belleğimizde bilgi ve tecrübelerimiz sonucu pekiştirdiğimiz yorum, anlam ve değerlendirmelerden oluşan çok sayıda sözel kural kalıbı vardır. Karar verme süreci, karşı karşıya kalınan bir durumu bu kurallar doğrultusunda yapılan iç konuşmalar aracılığıyla değerlendirerek bir sonuca varma şeklindedir. Bilgisayarların bir durum karşısında bu tür bir muhakeme yapabilmesi için o durumla ilgili bilgi, tecrübe ve sezgilerimizden oluşan bir dizi kuralı bilgisayara aktarabilmemiz gerekir. “EĞER bu böyleyse VE şu da şöyleyse O HALDE şunu yap”... gibi sözel kuralların matematiksel karşılığı ise bahsettiğimiz bulanık kümelerin birbiriyle uygun şekilde bağlanması ile oluşturulmaktadır. Buna bulanık karar verme süreci denir.

Şekil 6’da bilgisayarlarda bulanık karar verme süreci bulanıklaştırma, karar verme ve durulaştırma işlemleri gösterilmiştir[1].



Şekil 6: Bulanık karar verme sisteminin yapısı[1]

Dış dünyadan bilgisayara ölçüm yoluyla alınan ve kesin bir nümerik (sayısal) değere sahip olan giriş verisi, bilgi tabanındaki üyelik fonksiyonları tarafından sözel ifadelere ve giriş verisinin bu ifadeyi ne oranda desteklediğini gösteren üyelik derecelerine dönüştürülür. Bu aşamaya *bulanıklaştırma* adı verilir. Bulanıklaştırma sonunda elde edilen sözel ifadeler, insanların karar verme sürecinde olduğu gibi, kural tabanındaki önermelerle karşılaştırılır ve yine sözel yargı sonuçlarına varılır, bu sonuçların hangi oranda geçerli olduğunu yine girişteki üyelik dereceleri belirler. Bu kısma bulanık karar verme süreci adı verilir. Bulanık karar verme sürecinin çıkışında yargı sonuçlarını ifade eden sözel ifadeler ve bunların destek dereceleri bulanık çıktılar olarak adlandırılır. Eğer bilgisayar çıkışta bir makineye bilgi yolluyorsa, bulanık çıktılar yine makinelerin anlayacağı dil olan sayısal çıkış değerlerine dönüştürülmelidir. Bu dönüştürme işlemi *durulaştırma* yada *berraklaştırma* katında yapılır.

Kural Tabanı; karar verme işleminde kullanılan bir çok paralel kurallardan ve sistem değişkenlerinden oluşmaktadır. Bu kurallar sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır.

3. BULANIK MANTIĞIN KULLANIM ALANLARI VE GÜNÜMÜZDE UYGULANDIĞI ÖRNEKLER

BM birçok kontrol uygulamasında başarıyla kullanılmıştır. Bulanık mantığın kullanım alanlarından bazıları:Trafik Sinyal Optimizasyonu (Kavşak ve Ana arterlerde) ,Katılım Denetimi Kontrolü,Robotik,Proses kontrol,Ev elektroniği,Trafik ,Görüntü işleme, Veri tabanı sorgulama, Arıza denetimidir.Buna ilaveten Bulanık Mantığın en yaygın kullanım alanlarının başında şu konular gelmektedir:

Yapay zeka, sistem analizi, karar analizi, nümerik analiz, veri işleme, mühendislik, Genetik algoritmalar , ekonomi, robotik

- Bulanık mantık ilk kez 1973 yılında, Londra'ki Queen Mary College'da profesör olan Ebrahim H. Mamdani tarafından bir buhar makinasında uygulandı.
- Ticari olarak ise ilk defa, 1980 yılında, Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınına kontrol etmede kullanıldı. Bulanık mantık ile hazırlanan bir sistem, bilgisayar desteğinde, sensörlerden ısı ve maddelere ait bilgileri alarak ve "feed-back" (geri besleme) metoduyla değişkenleri kontrol ederek, bu ayarlama işini çok hassas ölçümlerle gerçekleştirmiş ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlamıştır.
- 1987'de, Uluslararası Bulanık Sistemler Derneği'nin Tokyo'da düzenlediği bir konferansta bir mühendis, bulanık mantıkla programladığı bir robota, bir çiçeği ince bir çubuğun üzerinde düşmeyecek şekilde bıraktırmayı başarmıştır. Bundan daha fazla ilgi çeken gerçek ise, robotun bunu yaptığını gören bir seyircinin mühendise, sistemden bir devreyi çıkarmasını teklif etmesinden sonra görülmüştür. Mühendis önce, devreyi çıkarırsam çiçek düşer diye bunu kabul etmemiş, fakat seyircinin çiçeğin ne tarafa doğru düştüğünü görmek istediğini söylemesi üzerine devreyi çıkarmıştır ve Robot beklenmedik bir şekilde yine aynı hassaslıkla çiçeği düşürmeden çubuğun üzerine bırakmıştır. Kısacası bulanık mantık sistemleri, yetersiz bilgi temin edilse bile tıpkı insanların yaptığı gibi bir tür "sağduyu" kullanarak (yani mevcut bilgiler yardımıyla neticeye götürücü akıl yürütmeler yaparak) işlemleri gerçekleştirebilmektedir.
- Bulanık mantık kullanılarak üretilen edilen fotoğraf makineleri, otomatik odaklama yapanlardan bile daha net bir görüntü vermektedir.

- Fotokopi makineleri ise bulanık mantıkla çok daha kaliteli kopyalar çıkarmaktadırlar. Zira odanın sıcaklığı, nemi ve orijinal kağıttaki karakter yoğunluğuna göre değişen resim kalitesi, bu üç temel unsur hesaplanarak mükemmel hale getirilmektedir.
- Kameralardaki bulanık mantık devreleri ise sarsıntılardan doğan görüntü bozukluklarını asgariye indirmektedir. Bilindiği gibi elde taşınan kameralar, ne kadar dikkat edilirse edilsin net bir görüntü vermez. Bulanık mantık programları bu görüntüleri netleştirmek için şöyle bir metot kullanır: Eğer görüntüdeki bütün şekiller, aynı anda, bir tarafa doğru kayıyorsa bu, insan hatasından kaynaklanan bir durumdur; kayma göz önüne alınmadan kayıt yapılır. Bunun dışındaki şekiller ve hareketler ise normal çekim durumunda gerçekleştiği için müdahale edilmez.
- Birkaç bulanık mantık sistemi ise, mekanik cihazlardan çok daha verimli bir şekilde bilgi değerlendirmesi yapmaktadır. Japon Omron Grubu, büyük firmalara sağlık hizmeti veren bir sisteme ait beş tıp veri tabanını, bulanık mantık teorileri ile kontrol etmektedir. Bu bulanık sistem, 10.000 kadar hastanın sağlık durumlarını öğrenmek ve hastalıklardan korunmalarına, sağlıklı kalmalarına ve stresten kurtulmalarına yardımcı olmak üzere kişiye özel planlar çizebilen yaklaşık 500 kural kullanmaktadır.
- Pilav pişirme aletlerinden asansörlere, arabaların motor ve süspansiyon sistemlerinden nükleer reaktörlerdeki soğutma ünitelerine, klimalardan elektrikli süpürgelere kadar bulanık mantığın uygulandığı birçok alan bulunmaktadır. Bu alanlarda sağladığı enerji, iş gücü ve zaman tasarrufu ile "iktisat" açısından da önem kazanmaktadır.
- Bulanık mantığın gelecekteki uygulama sahaları, daha da genişleyecek gibi gözükmektedir. Şeker hastaları için vücuttaki insülin miktarını ayarlayarak yapay bir pankreas görevi yapan minik yapıların üretiminde, prematüre doğumlarda bebeğin ihtiyaç duyduğu ortamı devam ettiren sistemlerin hazırlanmasında, suların klorlanmasında, kalp pillerinin üretiminde, oda içindeki ışığın miktarının ayarlanmasında ve bilgisayar sistemlerinin soğutulmasında bulanık mantık çok şeyler vaatmektedir.

3.1. Bulanık Mantığın Kullanıldığı bazı Uygulamalar:

- Hidroelektrik güç üniteleri için kullanılan Baraj kapılarının otomatik kontrolü
(Tokio Electric Pow.)
- Stok kontrol değerlendirmesi için bir uzman sistem
(Yamaichi, Hitachi)

- Klima sistemlerinde istenmeyen ısı iniş çıkışlarının önlenmesi
- Araba motorlarının etkili ve kararlı kontrolü
(*Nissan*)
- Otomobiller için “Cruise-control”
(*Nissan, Subaru*)
- Dökümanların arşivleme sistemi
(*Mitsubishi Elec.*)
- Depremlerin önceden bilinmesi için Tahmin Sistemi
(*Inst. of Seismology Bureau of Metrology, Japan*)
- İlaç teknolojileri: Kanser teşhisi
(*Kawasaki Medical School*)
- Cep bilgisayarlarında el yazısı algılama teknolojisi
(*Sony*)
- Video Kameralarda hareketin algılanması
(*Canon, Minolta*)
- El yazısı ve ses tanımlama
(*CSK, Hitachi, Hosai Univ., Ricoh*)
- Helikopterler için uçuş desteği
(*Sugeno*)
- Çelik sanayinde makina hızı ve ısısının kontrolü
(*Kawasaki Steel, New-Nippon Steel, NKK*)
- Raylı metro sistemlerinde sürüş rahatlığı, duruş mesafesinin kesinliğini ve ekonomikliğin geliştirilmesi (1.Giriş ‘te bahsedilen metro hedefe 7 cm kala durabilmektedir)
(*Hitachi*)
- Otomobiller için gelişmiş yakıt tüketimi
(*NOK, Nippon Denki Tools*)

KAYNAKLAR

- [1] Serhat YILMAZ, KOÜ, Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları Ders Notları, 2006.
- [2] Zekai ŞEN, Bulanık (Fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul, 2002.
- [3] Ulvi DAĞDELEN, Bulanık Mantık İle Adım Motor Kontrolü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1996.

- [4] http://www.bumat.itu.edu.tr/dokuman_BULANIK_KUMELER.doc.
- [5] KLIR, G.J., Yuan B., Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1995.
- [6] Emre KIYAK, Bulanık Mantık Yöntemiyle Uçuş Kontrol Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2003.
- [7] Mehmet YILDIRIM, Bulanık Mantık Yapay Sinir Ağı ile Doğrusal Olmayan Sistem Modelleme, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1998.
- [8] Çiftçi, H., Fuzzy Logic Function Approximation for Some Mathematical Functions, Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Eskişehir, 2002.
- [9] Nauck, D., Klawonn, F. and Kruse, R., Fuzzy Sets, Fuzzy Controllers, and Neural Networks. Journal of the Humboldt-University of Berlin, Series Medicine 41, No:4, 1992.
- [10] Nauck, D. Beyond Neuro-Fuzzy: Perspectives and Directions. Proc. Third European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, 1159-1164, Aachen, 1994.
- [11] Nauck, D. and Klawonn, F., Neuro-Fuzzy Classification Initialized by Fuzzy Clustering. Proc. Fourth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, 1996.
- [12] Nauck, D. and Kruse, R., Choosing Appropriate Neuro-Fuzzy Models. Proc. European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, 1994.
- [13] Nauck, D., Klawonn, F. and Kruse, R., Combining Neural Networks and Fuzzy Controllers. FLAI'93 Linz, Austria.
- [14] Ross, T.J., Fuzzy Logic with Engineering Applications. Mc. Graw-Hill, Publishing Co. New York, 1995.
- [15] Baba, A.F. İTÜ Triga Mark-II reaktörünün Bulanık Mantık Kontrolü, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1995.
- [16] J.KLIR, George ; YUAN, Bo. ; *"FUZZY SETS AND FUZZY LOGIC-Theory and Applications"*