

Bulanık Mantık : Bulanıklılık Kavramı

Doç. Dr. İsmail H. ALTAŞ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
61080 – Trabzon
E-mail : altas@ktu.edu.tr

Özet

Bulanık mantık ve bulanık mantık tabanlı uygulamalar son yıllarda hem üniversite çevrelerinde hem de üretici firmalar tarafından ilgiyle izlenen bir konu haline geldi. Uluslararası dergiler bu konuya daha fazla yer ayırmaya başlamış, hatta sadece bu konuya yönelik araştırmalara yer veren dergiler de yayına konmuştur. Üniversitelerde konuya yönelik araştırma grupları oluşturulmuş, firmalar özel çalışma grupları kurmuşlardır. Bu makalede bulanık mantık konusu anlaşılabilir, basit bir anlatımla ele alınıp bulanıklılık kavramı açıklanmaya çalışılmıştır. Makale, bulanık mantık konusunda hiç bir bilgisi olmayanlar dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu nedenle bazı ayrıntıların üzerinde biraz daha fazla durularak konunun anlaşılması kolaylaştırılmaya çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Günlük hayatta rastgele kullandığımız bir çok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha bir çok durumda kullandığımız sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerir. Bu terimlere örnek olarak; **yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla** gibi daha bek çok sözel terim gösterilebilir. Biz insanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür *kesinlik ifade etmeyen* terimler kullanırız. Kişinin yaş durumuna göre ona *yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı* ve *çok genç* deriz. Yolun kayganlık ve rampa durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına *biraz daha yavaş* veya *biraz daha hızlı* basarız. Çalıştığımız odanın ışığı yetersiz ise onu *biraz artırır*, yeterinden fazla ise *biraz azaltırız*. Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğine dair birer örnektir.

Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli orijinal makalesinde[1] yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. 1965 de ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh'in 1965 deki ilk makalesinden [1] daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri [2,3] etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonların ürünlerinde bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak, günümüzdeki doruk noktasına gelmiştir. Artık hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür. Kaynak [4] de bulanık mantık uygulamaları alanlarına göre ayrıştırılmış olup, her uygulama, kaynağı da belirtilerek, liste halinde verilmektedir. Aynı listeyi buraya aktarmak yerine bulanık mantığın elektrik mühendisliğindeki uygulama alanlarından bazılarını sıralamak bu aşamada yeterli olacaktır.

Bulanık mantığın uygulama alanlarından bazıları:

- **Otomatik Kontrol Sistemleri** : Robotik, otomasyon, akıllı denetim, izleme sistemleri, ticari elektronik ürünler, vb.
- **Bilgi Sistemleri** : Bilgi depolama ve yeniden çağırma, Uzman sistemler, bilgi tabanlı sistemler, vb.
- **Görüntü Tanımlama** : Görüntü işleme, makina görüntülemesi.
- **Optimizasyon** : Fonksiyon optimizasyonu, süzgeçleme, eğri uydurma, vb.

Bulanık mantığın Mamdani ve arkadaşları tarafından denetim sistemlerine ilk uygulanmasından[5,6,7] sonra, bu alanda oldukça önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Öyle ki denetim sistemleri bulanık mantığın en fazla uygulandığı alan olarak günümüze kadar gelmiştir.

Klasik denetim sistemlerindeki aksine, sistemlerin matematiksel modeline gerek duymadan, sadece istenilen çıkışı verecek şekilde girişe uygulanan işaret ayarlandığından, bulanık denetimin işlemesi tıpkı usta bir insanın o sistemi denetlemesine benzer. Yani bulanık mantık ve bulanık küme işlemleri kullanılarak makinelerin insanlar gibi kararlar vermesi sağlanabilmektedir. Bulanık mantığın bu uyumluluğunun yapay sinir ağları veya genetik algoritmalarla desteklenmesi sonucu *nöral-bulanık* (İngilizce literatürde bu konu *artificial neural networks and fuzzy logic, neuro-fuzzy, ve neural fuzzy* terimlerinden birisi ile ifade edilmektedir) *sistemler*, veya *genetik-bulanık sistemler* ortaya çıkmıştır. Böylece akıllı (*intelligent*) sistemler de hızlı bir gelişme kaydetmeye başlamıştır [8-19].

Bulanık mantık, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde kullanılan alternatif bir yaklaşım olarak ait olduğu yeri almıştır. Gerçek hayattaki sistemlerin hemen hiçbiri doğrusal değildir. Alışılacağı tasarımı yöntemleri doğrusallaştırma yaparken farklı yöntemler kullanırlar. Örneğin;

doğrusal, parçalı doğrusal ve el altı tabloları kullanarak karmaşıklık, maliyet ve sistem performansını olumsuz yönde etkileyen faktörler giderilmeye çalışılır. Doğrusal yaklaşım teknikleri aslında basittir, ancak denetim sisteminin performansı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Parçalı doğrusallaştırma tekniği daha iyi işler, fakat uygulanması daha zordur. Çünkü, genellikle birkaç doğrusal denetleyici tasarımı gerektirir. El altı tabloları denetim performansını artırabilir, fakat bu tablolara ulaşım ayarlamak zordur. Ayrıca çok girişli karmaşık sistemlerde fazla bellek gerektirdiğinden, el altı tabloları pratik değildir.

Gerçek dünyaya daha yakın olduğundan, bulanık mantık doğrusal olmayan denetim için alternatif bir yaklaşım olarak karşımıza çıkar. Sistemlerin doğrusal olmayan karakteristikleri *kurallar*, *üyelik fonksiyonları* ve *sonuca varma işlemi* ile temsil edilir. Bulanık mantık yaklaşımının kullanılmasıyla sistem performansı artar, uygulama basitleşir, ve mali giderler azalır. Gerçek sisteme daha yakın olan, daha doğal bir *kural tabanı* kullanılarak doğrusal olmayan denetim alışlagelmiş yöntemlere göre daha iyi biçimde gerçekleştirilebilir. Bu durumda sistem performansı mükemmel bir şekilde iyileştirilip daha etkili ve duyarlı bir denetim elde edilebilir. Çoğu kontrol uygulamaları çok girişli olup çok sayıda parametrenin tasarlanıp, ayarlanmasını gerektirirler. Bu da uygulamayı zorlaştırıcı ve zaman alıcı bir işlemdir. Oysa bulanık mantık tabanlı bir denetleyicinin *kuralları*, doğrusal olmayan özellikleri de dikkate alarak, çok sayıdaki girişi tekli **if then** sözel ifadeleriyle birleştirip uygulamayı basitleştirir. Ayrıca, bulanık mantık kullanılarak, çıkış büyüklüğü VE (AND) gibi işlemcilerle birbirine bağlanmış iki veya daha fazla girişin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Girişlerle çıkış arasındaki bu ilişki kurallardan oluşan bir tablo ile de gösterilebilir. Bu kural tablosu, el altı tablolarla karıştırılmamalıdır. Her bir giriş değişkeni için gerekli tanım sayısına bağımlı olan el altı tablolarına karşın, bulanık yaklaşım önemli ölçüde az giriş gerektirir. Ayrıca kurallar daha kolay geliştirilip, programa daha basitce entegre edilip, daha kolay ayarlanabilirler. Apronix Inc. tarafından geliştirilen iki girişli bir ısı kontrol sisteminde el altı tabloları kullandığında 64 Kb 'lık bir bellek gerekirken, bulanık mantık kullanıldığında sadece 0.5 Kb bir bellek yeterli olmuştur [20]. Gereken bellek farkı da gösteriyor ki, bulanık mantıkla daha az malzemeye ihtiyaç duyulur. Bu da denetimin gerçekleşmesini daha basit ve daha ucuz kılar.

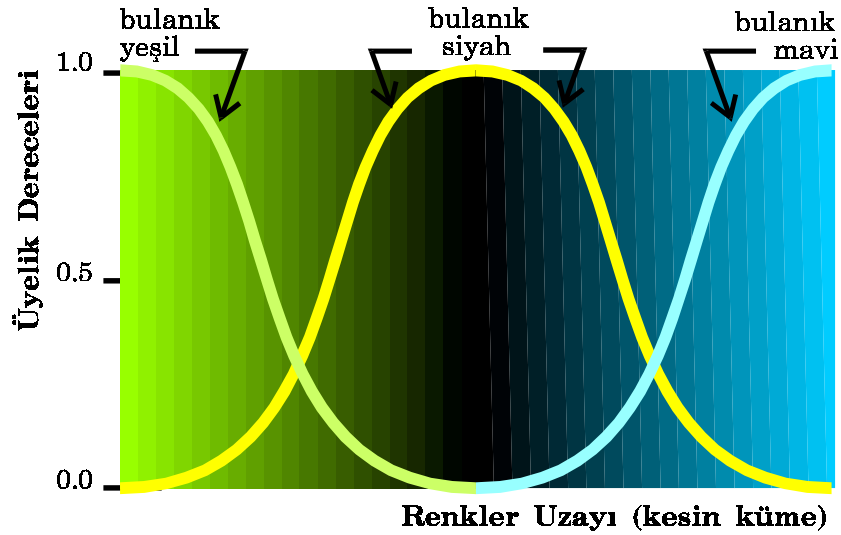
Karmaşıklık ve belirsizlik içeren büyüklükler, bulanık sayılar olarak da isimlendirilebilen ve bulanık kümeleri karakterize eden üyelik fonksiyonları ile tanımlanırlar. Bulanık sayılar, yine bulanık bir ortamda insan düşünce ve karar verme mekanizmasına benzer şekilde **if ... then else** biçimindeki önerme ve kural yürütme işlemlerine tabi tutularak yine bulanık bir sonuca varılır. Nasıl ki insan karşılaştığı bir problemi çözerken kafasındaki bilgi bankasını kullanıp, bu bilgiler ışığında sonuca gidiyorsa, bulanık mantık esaslarına göre işlem yapan bir sistem de kendisine daha önceden öğretilen bilgileri kullanarak, yeni durum hakkında bir sonuca varır. Bu durum insan-makina iletişimine yeni bir boyut kazandırmıştır.

Bulanık küme işlemleri kullanılarak bulanık modelleme tasarımı ve yazılımı gerçekleştirilir. Bulanık küme teorisi, ya da bulanık mantığın kendi başına özel bir sistem için gerçekleştirilen uygulaması aslında Boolean mantığı ya da olasılık mantığının uygulamasından pek farklı değildir. Fakat bulanık küme teorisi, bulanık mantık veya bulanık işlemci teorisini daha genel bir hale getirir. Şöyle ki, bulanık küme teorisi ve bulanık küme işlemleri bulanık işlem yapabilmeyi kolaylaştırır. Yani bulanık işlemcileri oluşturmak için gerekli yapılanmayı sağlar. Bulanık işlemcilerin daha genel bir adı *approximate reasoning* olarak verilmektedir. *Yaklaşık düşünme, yaklaşık neden olma, yaklaşık sonuçlandırma* anlamlarını taşıyan bu tanımlama, bulanık küme teorisini temsil eden bir ifadedir. Ancak *Bulanık mantık* daha çok kabul gören bir isimdir. **Approximate reasoning** ya da **yaklaşık düşünme** kavramı, bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile desteklendiğinde **fuzzy reasoning** ya da **bulanık düşünme** kavramını ortaya çıkarır. Yaklaşık düşünme genellikle günlük hayatta kullandığımız bazı sözlerle uygulanır. Örneğin *biraz fazla, azıcık soğuk, oldukça yaşlı*, vb tanımlamalar yaparken kullanılan **biraz, azıcık, oldukça** gibi terimler birer yaklaşık ya da bulanık düşünceyi tanımlamaktadırlar. Fazla, soğuk ve yaşlı sözleri ise birer bulanık ifadedir ve bulanık kümelerle temsil edilip, bulanık mantık işlemlerine tabi tutulabilirler. Yaklaşık ve bulanık düşünme kavramları bulanık mantık ile birlikte kullanılarak ifadelerin sınırları ve bulanıklığın kapsamı ayarlanabilir.

Bulanık sistemleri, ya da bulanık düşünmeyi iyi anlayabilmek için önce bulanıklığın ne olduğunu kavramak gerekir.

2. BULANIKLIK

Bulanık mantık konusunun temel elemanı bulanık kümedir. *Bulanık kümeler*, üyelik fonksiyonları ile karakterize edilirler. Aslında bu *üyelik fonksiyonlar* da birer *bulanık sayıdan* başka bir şey değildir. **Bulanık mantık, üyelik fonksiyonu, ve bulanık sayı** gibi kavramların iyi anlaşılabilmesi için öncelikle **bulanıklık** kavramının anlaşılması gerekir. Dikkat edilirse, Şekil 2 de, renkler uzayında tanımlı *yeşil, siyah* ve *mavi* değişik tonlara sahiptirler. Örneğin soldan sağa doğru ilerledikçe yeşilin renk tonu koyulaşmakta ve siyaha dönüşmektedir. Şeklin tam ortasında renk tam siyahken, sağa doğru ilerleme sürdürülürse, siyahın renk tonu da açılıp mavi olmaktadır. Görüleceği gibi yeşilin bitip siyahın başladığı, siyahın bitip mavinin başladığı noktalar kesin bir şekilde ayrıştırılamamaktadır. Verilen üç renk bölgesi de kesin, sabit bir renk tonuna sahip değildir. Dolayısıyla bu üç renk bölgesini birer bulanık küme ile temsil etmek uygun olacaktır. Verilen şekilde sadece yeşil, siyah ve mavinin tonları bulunduğundan, sadece bu üç rengi temsil eden **yeşil, siyah** ve **mavi** bulanık kümelerini tanımlamak yeterli olacaktır.



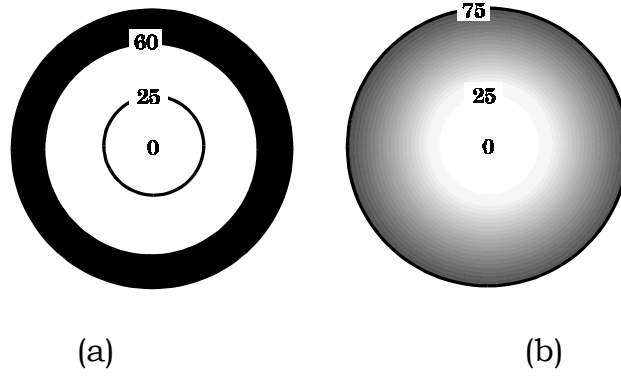
Şekil 1. Yeşil, siyah ve mavi bulanık renk kümeleri.

Şekil 1 in sol yarısındaki ilk bölgede yeşilden siyaha bir geçiş vardır. Dolayısıyla, bu bölgede sağa doğru ilerledikçe, bölgenin **yeşil** bulanık kümesine ait olma derecesi azalırken, **siyah** bulanık kümesine ait olma derecesi de artmaktadır. Şeklin sağ yarısındaki bölgede ise siyahtan maviye bir geçiş vardır. Dolayısıyla, şeklin ortasından sağa doğru ilerledikçe, bu bölgenin **siyah** bulanık kümesine ait olma derecesi azalmakta, **mavi** bulanık kümesine ait olma derecesi de artmaktadır. Yeşil-siyah tonlarının hakim olduğu şeklin sol yarısının **mavi** bulanık kümesinde hiç bir üyeliği yoktur. Benzer şekilde siyah-mavi tonlarının hakim olduğu sağ yarının da **yeşil** bulanık kümesinde hiç bir üyeliği bulunmamaktadır.

3. BULANIK KÜMELER

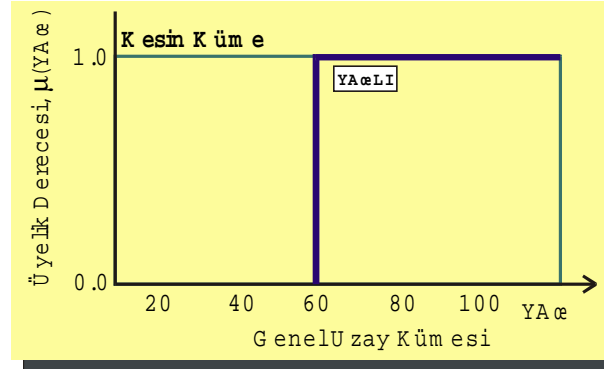
Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümedir. *Bulanık bir küme, değişik üyelik yani ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir küme, elemanlarının her birine 0 ile 1 arasında üyelik değeri atayabilen bir üyelik fonksiyonu ile karakterize edilebilir.* Bulanık kümelerin bu tanımı, bulanık kümelerle ilgili ilk çalışmaları yapan ve bu konunun bulucusu olarak kabul edilen Lotfi A Zadeh tarafından 1965 yılında yayınladığı orjinal makalesinde [1] yapılmaktadır. Kümeye **dahil olmayan** elemanların üyelik değerleri **0**, kümeye **tam dahil** olanların üyelik değerleri de **1** olarak atanmaktadır. Kümeye dahil olup olmadıkları belirsiz olan elemanlara ise belirsizlik durumuna göre 0 ile 1 arasında değerler atanır. Oysa kesin küme teorisinde belirsiz eleman diye bir şey söz konusu değildir. Bir eleman ya kümeye dahildir ya da tamamı ile kümenin dışındadır. Dolayısıyla kesin kümelerde bir elemanın alabileceği üyelik değeri ya 0 ya da 1 dir. Şekil 2 de yaşlı insanlar için **kesin** ve bulanık kümeler gösterilmiştir. Bu şekillerde siyah rengin tonu yaşlılık düzeyini belirtmektedir. Şekil 2.a daki kesin kümeye göre yaşı 60 ve üzerinde olanlar yaşlı, 60 dan küçük olanlar yaşlı değildir. Oysa

Şekil 2.b de sadece yaşı 75 in üzerinde olanlar değil, yaşı 25 ile 75 arasında olanlar da yaşlılar kümesine dahildir.



Şekil 2. Yaşlılar kümesinin kesin ve bulanık kümelerle gösterimi. Rakamlar, 0 yaşa göre yaş halkalarıdır.

Şekil 2.a ve b de verilen kesin ve bulanık kümeler sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 de gösterildiği gibi üyelik fonksiyonları (karakteristik fonksiyonlar) ile temsil edilebilirler.

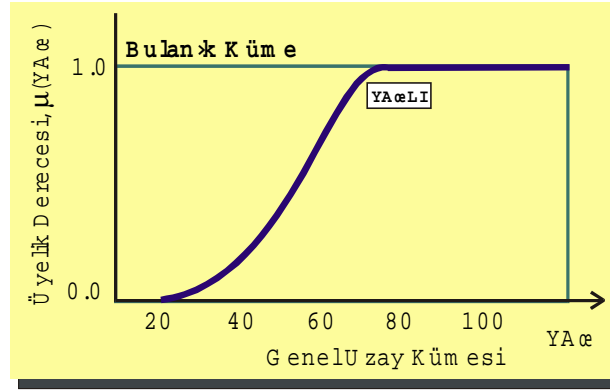


Şekil 3. Yaş genel uzayında tanımlı yaşlı kesin kümesi.

Şekil 2 deki kümeler yerine üyelik fonksiyonlarını kullanmak daha yararlı ve anlaşılır olacaktır. Görüleceği gibi, üyelik fonksiyonlarının kullanılması, elemanların kümelere ait olma derecelerini 0 ile 1 arasında değişen sayılara atama olanağı verir. Üyelik fonksiyonları kullanıldığında da, Yaşlı kesin kümesine göre, yaşı 60 ve daha büyük olanlar yaşlı, yaşı 60 dan daha küçük olanlar ise yaşlı değildirler. Yani 59 yaşındaki biri yaşlı sayılmazken 60 yaşındaki biri yaşlı sayılmaktadır. Bu da şu anlama gelmektedir. Yaşlı kesin kümesine göre 59 yaşındaki bir insan kesinlikle yaşlı değilken 60 yaşındaki bir insan kesinlikle yaşlıdır.

Yaşlı insanlar bulanık bir küme ile temsil edilirse bu yeni küme Şekil 4 de verildiği gibi 20 ile 75 yaşları arasındakileri de kapsar. Ancak bu kapsama

klasik kümede olduğu gibi tam bir kapsama değildir. Yani yaşı 20 ile 75 arasında olanlar belirli derecelerle bu kümenin elemanlarıdır. Örneğin yaşı 20' nin altında olanların yaşı **bulanık** kümesindeki üyelik dereceleri sıfır iken, yaşı 20' nin hemen üzerinde olanların üyelik derecesi sıfırın biraz üzerinde, yaşı 75'e gelmek üzere olanların üyelik derecesi de 1'e yakındır. Örneğin, 25 yaşındaki birisinin YAŞLI kümesindeki üyelik derecesi oldukça az iken, 65 yaşındaki birinin üyelik derecesi oldukça fazladır.



Şekil 4. Yaş uzayında tanımlı yaşlı bulanık kümesi.

Şekil 3 ve Şekil 4 de verilen kümeler aslında yaş genel uzayında tanımlı olan ve yaşlı kümesini sırasıyla kesin ve bulanık biçimlerde tanımlayan birer üyelik fonksiyonudur. **Herhangi bir bulanık küme, elemanlarının ait olma derecelerini gösteren bir karakteristik veya üyelik fonksiyon ile temsil edilebilir.** Örneğin bir A bulanık kümesi genel anlamda aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \text{ öyle ki } x \in X\} \quad (1)$$

$$A = \sum_{x_i \in X} \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (\text{ayrık biçim}) \quad (2)$$

$$A = \int_X \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (\text{sürekli biçim}) \quad (3)$$

Bu denklemlerde;

X : uzay kümesi (kesin küme)

x : uzay kümesinin kesin küme elemanları

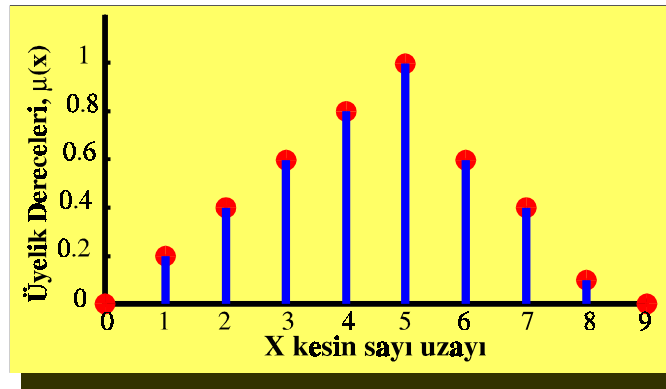
A : bulanık küme

$\mu_A(x)$: x kesin sayılarının A bulanık kümesindeki üyelik dereceleridir.

Denklem (1-3) ile verilen ifadeler, bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonları ile karakterize edilmesini göstermektedir. Bu denklemlerde kullanılan Σ ve \int işaretleri toplama ya da integral alma anlamında değil, üyelik fonksiyonlarının birleşimini temsil etmektedirler. Ayrıca bölme çizgisi de bölme yapmak amacıyla değil, sadece bir işaret olarak kullanılmaktadır.

Örnek olarak aşağıdaki gibi ayırık biçimde verilen A bulanık kümesini $X=\{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$ kesin sayı uzay kümesinde grafikte gösterelim.

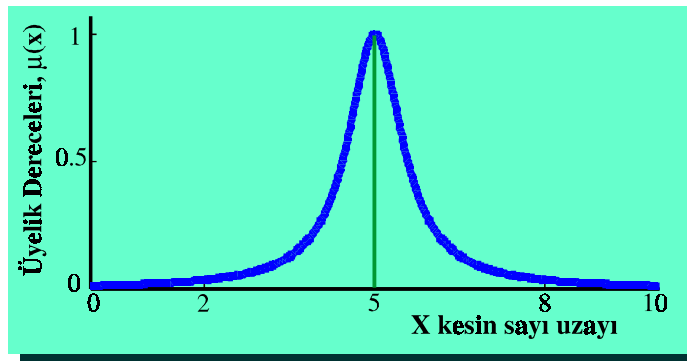
$$A = \frac{0}{0} + \frac{0.2}{1} + \frac{0.4}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.8}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0.6}{6} + \frac{0.4}{7} + \frac{0.1}{8} + \frac{0}{9}$$



Şekil 5. Ayırık zamanlı bulanık küme üyelik fonksiyonunun çizimi.

Bir başka örnek olarak da aşağıdaki gibi sürekli biçimde tanımlanan 5'e yakın sayılar kümesini grafikte gösterelim.

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + 10(x - 5)^2}$$



Şekil 6. Sürekli zamanlı bulanık küme üyelik fonksiyonu.

Bulanık kümeleri karakterize eden üyelik fonksiyonlar değişik biçimlere sahiptirler. Üyelik fonksiyonu olarak en çok kullanılan bulanık küme fonksiyonları, üçgen, yamuk, gaussian ve çan, fonksiyonu biçiminde olanlardır.

Bu üyelik fonksiyonu türlerinin yanısıra sigmoid, sinüsoid ve Cauchy türü fonksiyonlar da yeri geldikçe kullanılır. Biraz önce kullanılan *yaşlı* bulanık kümesi de bir çeşit sigmoid fonksiyon olabilir. Sigmoid fonksiyonlar ya sağa ya da sola bakarlar ve genellikle kesin genel kümesinin alt ve üst sınırlarında yer alırlar.

Kullanımlarını kolaylaştırmak amacıyla bulanık kümeleri temsil eden üyelik fonksiyonları (karakteristik fonksiyonlar) parametrelerine bağlı olarak formüle edilirler[2]. Parametrelerin ayarlanabilme kolaylığı, üyelik fonksiyonlarının da ayarlanabilmesini kolaylaştırır.

Bulanık mantık işleminin uygulamaya nasıl dönüştürüldüğünü anlayabilmek için bir uygulama örneği vermek doğru olacaktır. Fakat bir uygulama örneği verilirse bu makalenin gereğinden fazla uzayıp, okuyucuyu sıkmaya başlayacağı düşünülerek, uygulama örneği ayrı bir makale halinde hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Information and Control* 8, 338-353, 1965.
- [2] L.A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", *IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics*, Vol. SMC-3, No. 1.,28-44, January 1973.
- [3] L.A. Zadeh, "The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning", Part 1, 2, and 3. *Information Sciences*, 8: 199-249, 8: 301-357-, 9: 43-80, 1975.
- [4] J.Maiers and Y.S. Sherif, "Applications of fuzzy set theory", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-15, No. 1, 175-189, January/February 1985.
- [5] E.H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", *Int. J. Man-Machine Studies* 7, 1-13, 1975.
- [6] E.H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant", *Proc. Iee*, Vol.121, No.12, 1585-1588, December 1974, pp.
- [7] E.H. Mamdani, "Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers", *Int. J. Man-Machine Studies*, 8,669-678, 1976, pp.
- [8] C. Liu, "Intelligent system applications to power systems", *IEEE Computer Applications in Power*, Vol.10, No.4, pp. 21-24, October 1997.
- [9] K.K. Li, L.L. Lai, and A.K. David, "Stand-alone intelligent digital distance relay", A paper opened for discussion by IEEE Power Engineering Society, Abstract printed on Power Engineering Review, Vol. 19, No. 2, PP. 46, February 1999.
- [10] J.S.R. Jang, C.T. Sun, and E. Mizutani, "*Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Itelligence*", Prentice Hall, 1996
- [11] C.T. Lin and C.S.G. Lee, "*Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*", Prentice Hall, 1996.
- [12] Yen, et al, "*Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Infor.*", Prentice Hall., 1999.
- [13] Adeli and Hung, "*Machine Learning: Appro-aches from the Neural Networks, Genetic Algorithms and Fuzzy Systems (PRT-U)*", Wiley.
- [14] Sahinkaya, "*Design and Analysis of Intelligent Control Systems*", Marcel Dekker.
- [15] King, "*Computational Intelligence in Control Engineering*", Marcel Dekker.

- [16] M.E. El-Hawary (Ed.), “*Electric Power Applications of Fuzzy Systems*”, IEEE, 1998.
- [17] Yen, Langari, and Zadeh (Ed.), “*Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*”, IEEE, 1995.
- [18] Zurada, Marks, and Robinson (Ed.), “*Computational Intelligence*”, IEEE, 1994.
- [19] Gupta and Sinha (Ed.), “*Intelligent Control Systems*”, IEEE, 1996.
- [20] Apronix Incorporated : <http://www.aptronix.com/fuzzynet>