

Bulanık Mantık : Bulanık Denetim

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 hızlı bir gelişme göstermişlerdir. Bu gelişmelerden en fazla etkilenen alanlardan birisi de kontrol sistemleridir. Öyle ki artık hemen her türlü kontrol uygulamasına alternatif olarak karşımıza bir bulanık mantık denetleyici çıkmaktadır. Bulanık mantığın insan düşüncesine paralel bir yapıda olması ve bu paralellikte sistemleri tanıyıp karar verebilmesi onun hızlı bir şekilde geniş uygulama alanları bulmasına neden olmuştur. Özellikle bulanık mantığın yapay sinir ağları ve genetik algoritmalarla birlikte kullanılmasıyla akıllı denetim sistemleri ortaya çıkmıştır. Üniversitelerde bu konuya yönelik araştırma grupları oluşturulmuş, firmalar özel çalışma grupları kurmuşlardır. Bu makalede bulanık mantık tabanlı bir denetleyicinin genel yapısı ve işlevleri basit bir anlatımla ele alınıp açıklanmaya çalışılmıştır. Makale, bulanık mantık konusunda hiç bir bilgisi olmayanlar dikkate alınarak hazırlanmıştır. konunun anlaşılmasını kolaylaştırılmak amacıyla bazı ayrıntılar üzerinde biraz fazla durulmuştur.

1. GİRİŞ

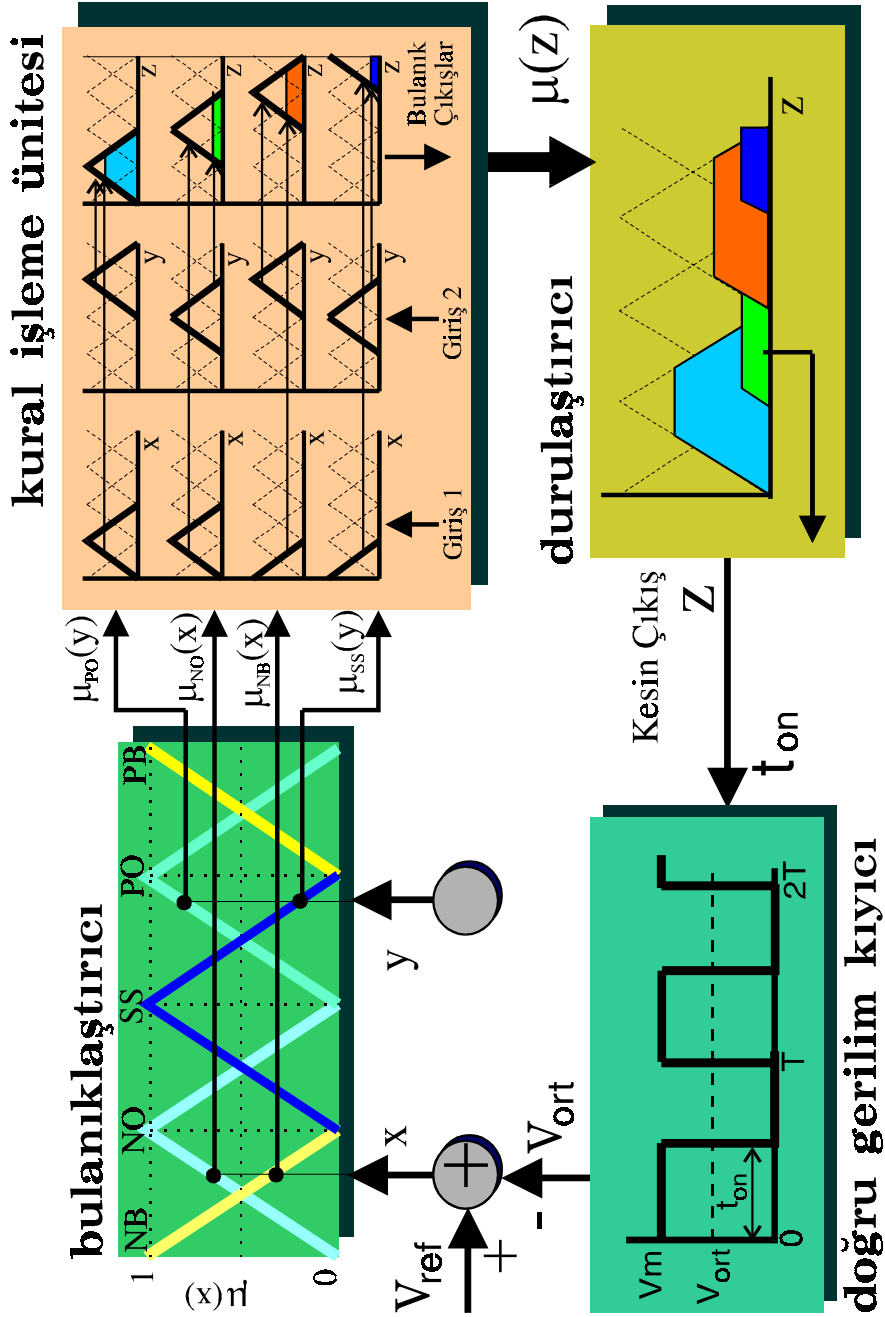
Daha önceki bir makalede bulanıklılık konusu ele alınıp bulanık sistemlerin temel yapısı ve bulanık kümeler hakkında bazı bilgiler verilmişti. Bu nedenle burada bulanıklılık üzerinde fazla durmadan doğrudan bulanık denetim sistemlerine geçilecektir.

Bulanık mantığın Mamdani ve arkadaşları tarafından denetim sistemlerine ilk uygulanmasından[1-3] sonra, bu alanda oldukça önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Öyle ki denetim sistemlerinin yanısıra bulanık mantığın uygulandığı pek çok alan vardır. Bunlardan elektrik güç sistemlerindeki uygulamalarından bazıları kaynaklar listesinde verilmektedir[4-10].

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 [11-20]. Bu makalede bunlardan sadece bulanık mantık tabanlı denetim sistemleri üzerinde durulacaktır.

3. BULANIK DENETLEYİCİ

Daha önce de belirtildiği gibi, bulanık mantığın bir çok uygulama alanı vardır. Bunlardan biri, en önemli olanı, da kontrol sistemlerindeki uygulamasıdır. Şekil 1 de verilen bulanık mantık tabanlı denetim sistemi, bulanık mantığın nasıl kullanıldığı ve bulanık işlemlerin nasıl gerçekleştirildiği konusunda bir fikir edinmeye yeterli bilgiyi içermektedir. Aslında Şekil 1 bulanık mantık tabanlı herhangi bir sistemde bulunması gereken kısımları içermektedir. Dolayısıyla bu şekilde verilen sistem, genel amaçlı bir bulanık mantık sistemi gibi de düşünülebilir.



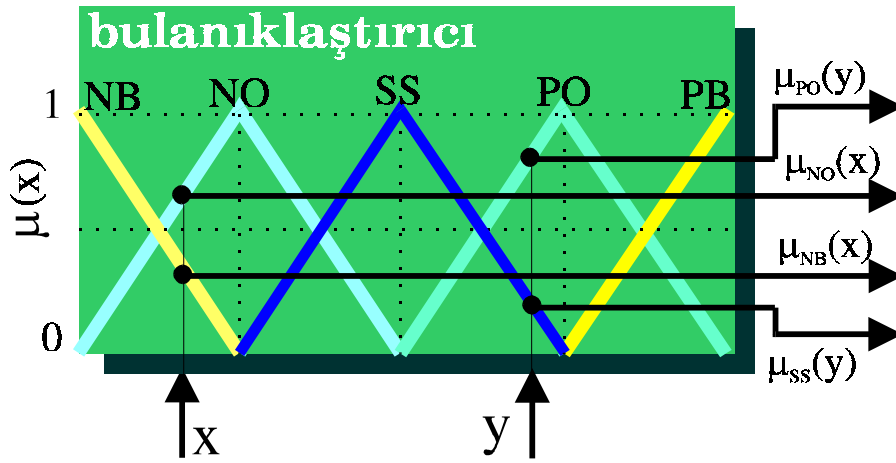
Şekil 1. Bulanık mantık tabanlı bir denetleyicinin genel yapısı

Şekil 1 de verilen sistem dört ana parçadan oluşmaktadır. bunlar:

- Bulanıklaştırıcı
- Kural işleme ünitesi
- Durulaştırıcı
- Denetlenen sistem

Bunların her biri aşağıda genişçe açıklanmaktadır.

Bulanıklaştırıcı Bulanık işlemcinin ilk elemanı olarak devreye girer. Çünkü bulanık işlemci girişlerinin uygulandığı birimdir. Bulanıklaştırıcı (**fuzzifier**) kendisine uygulanan kesin girişleri bulanıklaştırarak işe başlar. Bu girişlerden bazıları denetlenen sistemden gelen geri besleme işaretleri olabileceği gibi, doğrudan dışardan verilen komutlar da olabilir.



Şekil 2. Bulanıklaştırma işleminin yapılışı.

Şekil 1 den alınıp, Şekil 2 de daha açık biçimde gösterilen bulanıklaştırıcıdan da görülebileceği gibi, bulanıklaştırıcıya gelen x ve y kesin değerlerinin burada tanımlı Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Sıfır (SS), Pozitif Orta (PO) ve Pozitif Büyük (PB) bulanık kümelerinde bir üyeliğe sahip olup olmadıkları araştırılır. Eğer bir üyeliğe sahipse buna göre işleme devam edilir. Şekil 2 de x girişinin NB ve NO bulanık kümelerinde, y girişinin ise SS ve PO bulanık kümelerinde üyeliğe sahip oldukları görülür. Dolayısıyla x girişinin NO ve NB deki üyelikleri sırasıyla $\mu_{NO}(x)$ ve $\mu_{NB}(x)$ olarak, y girişinin SS ve PO daki üyelikleri de sırasıyla $\mu_{SS}(y)$ ve $\mu_{PO}(y)$ olarak, belirlenip, x ve y nin bulanık değerleri olarak bulanık kural işleme ünitesine gönderilirler. Ve bu **kural işleme ünitesinde**

if then else

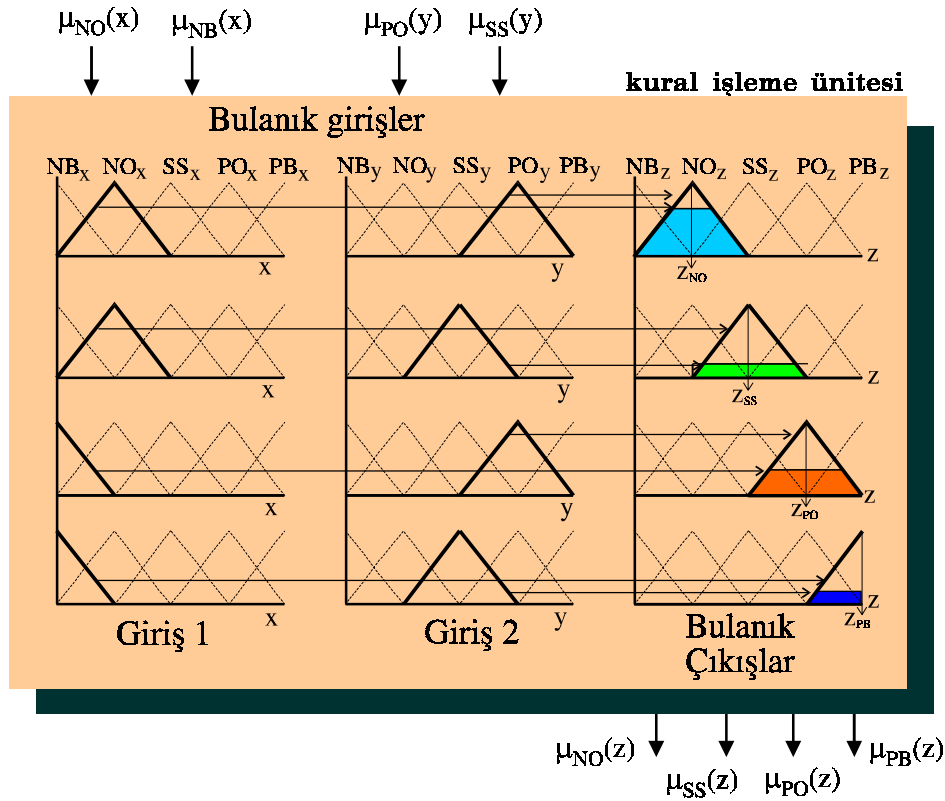
işlemine tabi tutulurlar. Bu işlemin sonucunda bulanık bir çıkış işareti elde edilerek durulaştırıcıya gönderilir.

Bulanıklaştırıcıda elde edilen üyelik değerleri, aslında x ve y kesin girişlerinin ait oldukları bulanık kümedeki bulanıklık dereceleri.

kural işleme ünitesi Bulanıklaştırıcıdan gelen üyelik fonksiyonları burada depolanmış halde bulunan *bilgi tabanına* dayalı bilgi kümeleri ile birlikte kullanılarak bulanık bir sonuç elde edilir. Kullanılan *Bilgi tabanı* (knowledge-base) denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir. Burada sistemle ilgili bilgiler sistem giriş ve çıkışını

if then else

biçimine sahip koşul cümleleriyle birbirine bağlar. Bu koşul cümlelerinin her biri bir *kural* olarak isimlendirilir. Bu nedenle de bilgi tabanı yerine *kural tabanı* (rule-base) terimi de kullanılır. Bulanık işlemlerin bu aşamasında kurallara dayalı işlemler yapıldığı için Şekil 1 de verilen ilgili blok *kural işleme ünitesi* olarak da isimlendirilebilir. Kuralların nasıl işlendiğini daha iyi anlayabilmek için Şekil 3 de ayrı verilen *kural işleme ünitesi*ne biraz daha yakından bakmak gerekir.



Şekil 3. Kural işleme ünitesinde kuralların bulanık kümelerle gösterimi.

Şekil 3 de dört satır halinde dört aktif kural bulanık kümelerle gerçekleşmekte, her bir kural için de bir bulanık $\mu(z)$ çıkışı elde edilmektedir. Bu dört bulanık çıkış daha sonra *durulaştırıcıda* durulaştırılarak kesin bir sayıya dönüştürülür. Bu dört kural *if ... then ... else* biçimindeki koşul cümleleriyle aşağıdaki gibi gerçekleştirilebilir.

| | | |
|---------|--|------|
| Kural 1 | <i>if</i> (x is NO _x) <i>and</i> (y is PO _y) <i>then</i> (z is NO _z) <i>else</i> | |
| Kural 2 | <i>if</i> (x is NO _x) <i>and</i> (y is SS _y) <i>then</i> (z is SS _z) <i>else</i> | |
| Kural 3 | <i>if</i> (x is NB _x) <i>and</i> (y is PO _y) <i>then</i> (z is PO _z) <i>else</i> | (1) |
| Kural 4 | <i>if</i> (x is NB _x) <i>and</i> (y is SS _y) <i>then</i> (z is PB _z). | |

Burada NB, NO, SS, PO ve PB sırasıyla negatif büyük, negatif orta, sıfır, pozitif orta ve pozitif büyük bulanık sözlerini temsil etmektedir. x, y ve z indisleri ise bu sözlerin tanımlandığı genel uzay kümelerini belirtmektedir. Kullanılan NB, NO, SS, PO ve PB bulanık sözlerinin x, y ve z

uzaylarının her birinde farklı biçimde tanımlanabileceklerini ifade etmek için bu indisler kullanılmıştır. Verilen kurallar incelendiğinde x ve y girişlerinin kendilerine ait NB, NO, SS, PO ve PB bulanık kümelerinde aldıkları üyelik değerlerine göre z çıkışının da kendisine ait NB_z, NO_z, SS_z, PO_z ve PB_z kümelerinde üyeliğe sahip olduğu görülür. x ve y nin durumuna göre z nin alacağı değere karar verirken uzman görüşüne başvurulur. Yani x ve y değerlerine bağlı olarak z çıkışının NB_z, NO_z, SS_z, PO_z ve PB_z bulanık kümelerinden hangisi veya hangilerinde üyeliğe sahip olması gerektiği konusundaki bilgi, bu sistemi iyi bilen uzmanlardan alınır ve kurallar biçiminde depolanır. Bu nedenle de böyle kuralların oluşturduğu tablolara *bilgi tabanı* (knowledge-base) adı da verilir.

Denetlenecek sisteme bağlı olarak, genellikle sistem çıkışı ile referans değer arasındaki fark minimize edildiğinden, tasarlanacak denetim amaçlı uygulamalarda bu kurallar sistem çıkışının denetimsiz tepkisi incelenerek belirlenebilir. Bulanık denetim kurallarının belirlenmesi, ayarlanması ve denetim sırasında duruma göre yenilenmesi ile ilgili farklı yöntemler de geliştirilmiştir. Yapay sinir ağlarının öğrenebilme özellikleri kullanılarak gerçekleştirilen kural oluşturma yöntemleri ile genetik algoritma destekli bulanık mantık sistemleri bunlara örnektir. Bu konuyla ilgili özellikle nöral-bulanık (neuro-fuzzy) ve genetik-bulanık (genetic-fuzzy) sistemler önemli gelişmeler kaydetmiştir.

Yukarıda (1) ile verilen kurallar dikkatle incelenirse, bu kuralların

$$\text{if } A_x \text{ and } B_y \text{ then } C_z \quad (2)$$

yapısında oldukları görülür. Bu yapıdan faydalanılarak yukarıdaki sözel kurallar yeniden daha kısa biçimde yazılabilir.

$$\begin{aligned} \text{Kural 1} & \quad \text{if } NO_x \text{ and } PO_y \text{ then } NO_z \text{ else} \\ \text{Kural 2} & \quad \text{if } NO_x \text{ and } SS_y \text{ then } SS_z \text{ else} \\ \text{Kural 3} & \quad \text{if } NB_x \text{ and } PO_y \text{ then } PO_z \text{ else} \\ \text{Kural 4} & \quad \text{if } NB_x \text{ and } SS_y \text{ then } PB_z. \end{aligned} \quad (3)$$

Burada kullanılan **and** terimi AND (VE) bağlacı olup, küme işlemlerinde **kesişim** işlemine karşılık düşer. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları dikkate alındığında bu AND bağlacı bir minimum alma işlemidir. Dolayısıyla (3) de **and** ile birbirine bağlanan terimlere minimum alma işlemi uygulandığında, üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak aşağıda yazılan ifadeler elde edilir. Bu ifadeler, Şekil 3 de gösterilen işlemleri açıklamaktadır. Yani her bir kural için, z çıkış değişkeninin bu Z uzayında tanımlı NB_z, NO_z, SS_z, PO_z ve PB_z bulanık kümelerindeki üyelik değeri aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\begin{aligned} \text{Kural 1} & \quad \min[\mu_{NO}(x), \mu_{PO}(y)] = \mu_{NO}(z) \\ \text{Kural 2} & \quad \min[\mu_{NO}(x), \mu_{SS}(y)] = \mu_{SS}(z) \\ \text{Kural 3} & \quad \min[\mu_{NB}(x), \mu_{PO}(y)] = \mu_{PO}(z) \\ \text{Kural 4} & \quad \min[\mu_{NB}(x), \mu_{SS}(y)] = \mu_{PB}(z) \end{aligned} \quad (4)$$

Bu denklemler kısaca ifade edilirse,

$$\mu(z) = \min[\mu(x), \mu(y)] \quad (5)$$

yazılabilir. Bu ifade aslında X ve Y uzayları arasındaki ilişkiyi temsil eder ve kartezyen çarpım olarak

$$Z = X \times Y \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla (4) ile verilen ifade X ve Y uzayları arasındaki bulanık ilişkiyi verir. Bulanık ilişkiler genellikle, tablolar, ilişki diyagramları, veya matrislerle temsil edilirler. Bulanık küme işlemleri bulanık ilişkilere de uygulanabilir. Çünkü bulanık ilişki iki boyutlu kesin sayı uzayında tanımlı bir bulanık kümedir. Buradaki örnekten de anlaşılacağı gibi X ve Y uzayları arasındaki ilişkiyi temsil eden Z kartezyen çarpımı sonucunda, X ve Y uzaylarında tanımlı olan bulanık kümeler iki boyutlu bir bulanık küme olarak Z uzayına taşınırlar. Z uzayında oluşan bu iki boyutlu yeni kümenin Z uzayındaki üyelik dereceleri ise kendisini oluşturan X ve Y düzlemindeki bulanık kümelerin üyelik dereceleri ile belirlenir. Bu ilişki, üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak tablo biçiminde yazılabilir.

Tablo 1. Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen kural tablosu

| | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|--|--|---|---|---|
| | $\mu_{PO}(y)$ | $\mu_{SS}(y)$ | | | | | |
| $\mu_{NO}(x)$ | $\mu_{NO}(z)$ | $\mu_{SS}(z)$ | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>Z</td> </tr> </table> | | Y | X | Z |
| | Y | | | | | | |
| X | Z | | | | | | |
| $\mu_{NB}(x)$ | $\mu_{PO}(z)$ | $\mu_{PB}(z)$ | | | | | |

Tablo biçimindeki bu ilişki matrisi de daha genel olarak Tablo 2 deki gibi kısaltılabilir.

Tablo 2. Bulanık Sözcüklerle temsil edilen kural tablosu

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|---|---|---|
| | PO_y | SS_y | | | | | |
| NO_x | NO_z | SS_z | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>Z</td> </tr> </table> | | Y | X | Z |
| | Y | | | | | | |
| X | Z | | | | | | |
| NB_x | PO_z | PB_z | | | | | |

Bu Tablo 2, aslında (3) ifadesi ile verilen kuralların tablolaştırılmış halinden başka bir şey değildir. Tablo 1 ile Tablo 2 arasındaki tek fark, birinin üyelik derecelerinden, diğersinin ise sözel bulanık ifadelerden meydana gelmiş olmasıdır. Tablo 1 ve Tablo 2 de verilen kurallar (4) ifadesindeki gibi işlenip, Z uzayında tanımlı kuralların üyelik değerleri $\mu_{NO}(z)$, $\mu_{SS}(z)$, $\mu_{PO}(z)$ ve $\mu_{PB}(z)$ ile bu üyeliklerin ait oldukları NO_z , SS_z , PO_z ve PB_z bulanık kümelerinde maksimum üyeliğe sahip olan Z_{NO} , Z_{SS} , Z_{PO} ve Z_{PB} , değerleri bulanık işlemcinin **durulaştırıcı** kısmına aktararak sonuçta tek bir tane kesin z çıkışı elde edilir.

Durulaştırıcı Bulanık işlemcinin son elemanı olarak devreye girer. Bulanık kural işleme ünitesinde elde edilen kural sonuçları durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir sonuca dönüştürülür. Durulaştırma işleminin nasıl gerçekleştirildiği anlamak için (1) ve (3) ifadeleri ile Şekil 3 de verilen kural işleme ünitesini göz önüne almak gerekir. (1) ve (3) denklemlerinden görüleceği gibi, kurallar **else** terimi ile birbirlerine bağlanmaktadır. Dolayısıyla kuralların toplam etkisi, hepsinin birleşimi olan ve aşağıda ifade edilen bağıntı ile belirlenebilir.

$$K_T = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = \sum_{i=1}^4 K_i \quad (7)$$

Bu bağıntıdaki “+” işareti aritmetik bir işlem olmayıp, (1) ve (3) de kullanılan “**else**” terimine karşılık gelmektedir. Buradaki etkisi ise “**birleşim**” yani “**maksimum alma**” işlemidir. Dolayısıyla (4) ve (7) ifadelerinden;

$$\mu_T(z) = \mu_{NO}(z) \vee \mu_{SS}(z) \vee \mu_{PO}(z) \vee \mu_{PB}(z) \quad (8)$$

yazılabilir. Bu ifade daha açık biçimde yazılırsa;

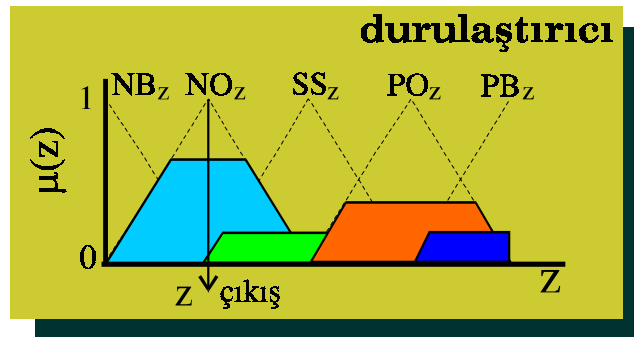
$$\mu_T(z) = [\mu_{NO}(x) \wedge \mu_{PO}(y)] \vee [\mu_{NO}(x) \wedge \mu_{SS}(y)] \vee [\mu_{NB}(x) \wedge \mu_{PO}(y)] \vee [\mu_{NB}(x) \wedge \mu_{SS}(y)] \quad (9)$$

$$\mu_T(z) = \max\{\min[\mu_{NO}(x), \mu_{PO}(y)], \min[\mu_{NO}(x), \mu_{SS}(y)], \min[\mu_{NB}(x), \mu_{PO}(y)], \min[\mu_{NB}(x), \mu_{SS}(y)]\} \quad (10)$$

elde edilir. Bu ifade ise

$$\mu_T(z) = \max\{\min[\mu(x), \mu(y)]\} \quad (11)$$

şeklinde kısaltılabilir. Bu da kuralların işlemesi ile elde edilen sonuç kümelerinden en yüksek üyelik derecesine sahip olan kümenin sonuç kümesi olduğu anlamına gelir. Şekil 4 de görüldüğü gibi, NO_z kümesi en yüksek üyelik derecesine sahip olan kümedir. Dolayısıyla sonuçta elde edilecek olan kesin sayı bu NO_z kümesinin maksimum üyelik değerine karşılık gelen z kesin sayısıdır.



Şekil 4. MOM ilkesine göre işlem yapan durulaştırıcı.

Şekil 4 de gösterilen durulaştırma yöntemi, Mamdani tarafından kullanılan ve maksimumun ortalaması (*MOM - mean of maximum*) olarak isimlendirilen yöntemdir. Bu yöntem bulanık mantık ile yapılan bulanık küme ve üyelik fonksiyonu işlemlerinin bir sonucu olarak doğrudan ortaya çıkmaktadır. Bu durulaştırma yöntemine alternatif olarak daha ileri düzeyde bazı ek yöntemler de geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinenleri;

- Alanların merkezi yöntemi (COA - center of area)
- İki bölge yöntemi (BOA - bisector of area)
- Maksimumun ortalaması (MOM - mean of maximum)
- Maksimumun en küçüğü (SOM - smallest of maximum)
- Maksimumun en büyüğü (LOM - largest of maximum)
- Sugeno bulanık modelleri
- Tsukamoto bulanık modelleri

Bu yöntemlerden alanların merkezi yöntemi, aşağıdaki gibi uygulanır.

$$z_{\zeta} = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^N \mu_i(z_i)} \quad (12)$$

Burada kullanılan örnek için bu denklem açılırsa;

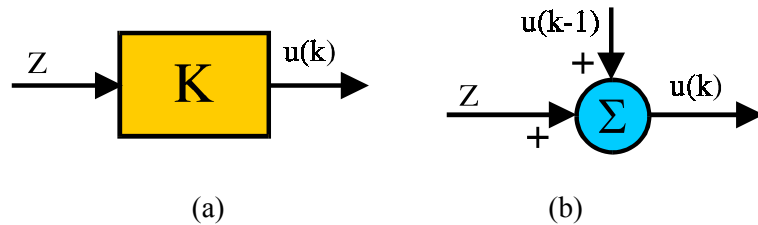
$$z_{\zeta} = \frac{\mu_{NO}(z_{NO}) z_{NO} + \mu_{SS}(z_{SS}) z_{SS} + \mu_{PO}(z_{PO}) z_{PO} + \mu_{PB}(z_{PB}) z_{PB}}{\mu_{NO}(z_{NO}) + \mu_{SS}(z_{SS}) + \mu_{PO}(z_{PO}) + \mu_{PB}(z_{PB})} \quad (13)$$

Bu ifadede i kural numarasını, N de toplam kural sayısını göstermektedir. Etkin olmayan kurallar için daima $\mu_i(z_i)=0$ dır. Etkin kurallar için ise i kural numarası olduğu kadar, bu i . kural için geçerli olan sözel komutu da temsil etmektedir. Mesela, burada verilen örnekte 1. kuralda $i=NO_z$ sözel ifadesini, 2. kuralda $i=SS_z$ sözel ifadesini, 3. kuralda $i=PO_z$ sözel ifadesini, ve 4. kuralda da $i=PB_z$ sözel ifadesini temsil eder. Bu nedenle açık yazılan ifadelerde i yerine sırasıyla karşılıkları olan NO_z , SS_z , PO_z ve PB_z yazılmıştır. Yine yukarıdaki ifadede z_{NO} , z_{SS} , z_{PO} ve z_{PB} değerleri Şekil 3 de de gösterildiği gibi sırasıyla NO_z , SS_z , PO_z ve PB_z bulanık kümelerinde maksimum üyeliğe sahip z değerleridir.

Durulaştırıcı çıkışından elde edilen bu z çıkış değeri, denetlenen sisteme gönderilir ve burada istenilen etkiyi verecek şekilde ek işlemler yapılarak değerlendirilir.

Denetlenen sistem Bulanık mantık tabanlı denetleyici tarafından kontrol edilecek olan gerçek sistem. Bu sistem herhangi bir sebeple bulanık mantık işlemlerinin uygulanacağı bir sistemdir. Bu gerçek sistemin bir çok girişi ve bir çok çıkışı olabilir. Bu girişlerden bir veya birkaçı denetim amaçlı olabilir. Şekil 1 de z ile gösterilen giriş bu denetim amaçlı girişlerden birisi olsun. Bu durumda gerçek sistem, bulanık mantık tabanlı denetleyici tarafından gönderilen $z=t_{on}$ denetim işareti ile denetlenecektir. Denetlenen gerçek sistem çıkışlarından bir veya birkaçı da geri besleme işareti olarak bulanık işlemciye gönderilebilir.

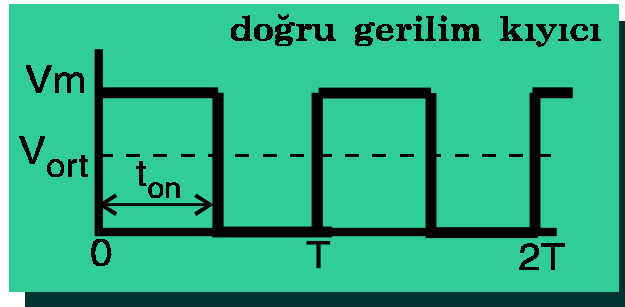
Durulaştırıcıdan gelen z değeri denetlenecek sistemin özelliğine göre değerlendirilir. Bulanık denetleyiciden durulaştırılmış olarak gelen z değeri, denetlenecek sisteme uygulanmadan önce bazı işlemlere tabi tutulabilir. Örneğin bu z bir sabit ile çarpılarak değeri artırılır veya azaltılır. Ya da bu z değeri bir önceki denetim işareti $u(k-1)$ değerine eklenerek yeni bir $u(k)$ elde edilir. Bu durumların her ikisi de Şekil 5 de gösterilmiştir.



Şekil 5. Durulaştırılmış z değerinin denetlenecek sisteme uygulanmadan önce işlenmesi.

Şekil 5a da verilen işlemde z denetim işareti K gibi bir sabitle çarpılarak, K nın değerine bağlı olarak artırılır veya azaltılır. z işareti pozitif veya negatif olabileceğinden, K ile çarpıldıktan sonra elde edilen $u(k)=K(\pm z)$ değeri de pozitif veya negatif olarak artar ya da azalır. Şekil 5b de ise durulaştırıcıdan gelen pozitif veya negatif z değeri bir önceki denetim işareti $u(k-1)$ e eklenerek yeni $u(k)$ değeri elde edilmektedir. Eğer sistem istenilen çıkışa sahipse, $z=0$ olacağından,

denetleyici $u(k)=u(k-1)$ olarak eski değeriyle işlemini sürdürecektir. Eğer sistemin çıkışı istenilen değerde değilse, z pozitif veya negatif bir değer alacak ve denetim işareti $u(k)= \pm z+u(k-1)$ olarak yeni bir değerle sistemi yeni çalışma noktasına doğru zorlayacaktır.



Şekil 6. Doğru gerilim kıyıcı çıkış gerilimi dalga biçimi.

Şekil 1 de verilen ve Şekil 6 da daha ayrıntılı olarak yeniden gösterilen doğru gerilim kıyıcı dikkate alınır, bu kıyıcının bir T periyodu boyunca iletimde kalma süresi t_{on}

$$t_{on}=C T \quad (14)$$

ile belirlenebilir. Burada $(0 < t_{on} < T)$ olduğu göz önüne alınır,

$$0 < C < 1 \quad (15)$$

olması gerektiği ortaya çıkar. Dolayısıyla, eğer denetleyiciden gelen $u(k)$ değerine bağlı olarak

$$C=u(k) \quad (16)$$

alınır, $u(k)$ nın değerinin 0 ile 1 arasında sınırlandırılması gerekir. Bu durumda;

$$C = \frac{z}{Z_{m \text{ ax}}} = \frac{1}{Z_{m \text{ ax}}} = K z = u(k) \quad (17)$$

şeklinde kazanç fonksiyonuna bağlı olarak C ayarlanır. Veya

$$C(k) = u(k) = z + u(k-1) \quad (18)$$

bağıntısı ile $C(k)=u(k)$ nın bir önceki $C(k-1)=u(k-1)$ değerine z eklenerek yeni $C(k)=u(k)$ değeri belirlenir. z pozitif (+) veya negatif (-) olabileceği için duruma göre $C(k)$ azalacak ya da artacaktır. Ancak $0 < C < 1$ olduğu unutulmamalı ve $C(k)$ nın minimum değeri 0, maksimum değeri de 1 ile sınırlandırılmalıdır. C nin 0 ile 1 arasında alacağı değere bağlı olarak da doğru gerilim kıyıcının çıkış gerilimi $0 < V_{ort} < V_m$ aralığında ayarlanmış olur.

Yukarıda açıklanan işlemlere benzer işlemler sonucunda doğru gerilim kıyıcının çıkış gerilimi V_{ort} belirlenir. Eğer bu gerilim değeri istenilen V_{ort} ile uyuşmuyorsa bulanık mantık denetleyicinin bulanıklaştırıcı kısmına yeni bir x_1 girişi olacak ve bulanıklaştırıcıdan itibaren açıklanan işlemler tekrarlanacaktır.

Bulanık kümeleri karakterize eden üyelik fonksiyonları, ya da bir başka deyişle bulanık sayılar ve bu bulanık sayılarla yapılan işlemler, bulanık mantık ve bulanık kümelerin temelini oluşturur. Bu nedenle bulanık mantık ve bulanık küme işlemleri ile neler yapılabileceğini anlayabilmek için, önce bu işlemleri

anlamak gerekir. Bir sonraki bölümde öncelikle temel bulanık küme işlemleri ve bu işlemlerin özellikle denetim amaçlı uygulamalarda kullanılan özellikleri ele alınıp incelenecektir.

Bu notlar hazırlanırken güdülen asıl amaç, okuyucunun kafasını karıştırmadan, bulanıklaştırmadan konuları anlaşılır biçimde sunmaktır. Okuyucu neyin nereden geldiği, ya da bir sonuca nasıl varıldığı konusunda kafasını yormadan sunulanı kavrayıp anlayabilmelidir. *Sistemlerin ağır matematik modellerine gerek duymadan denetlenebilmesini sağlaması, bulanık mantığın avantajlarından biri olarak ortaya konmaktadır. Bu nedenle, sistem matematiğinden kurtuldum derken, kişinin bulanık mantık matematiği ile boğulmaması gerekir.* İşte bu tezden hareketle, makaledeki açıklamalar mümkün olduğunca görsel olarak şekillerle desteklenmiş, zorunlu olmadıkça denklem ve formülasyon kalabalığından kaçınılmıştır.

Bulanık mantığın buradaki ana uygulama alanı olduğu için genellikle denetim amaçlı uygulamalara yer verilmiştir. Ancak başka uygulama alanlarına da hitap edebildiği unutulmamalıdır. Bu makale bulanık mantığı okuyucuya daha iyi tanıtabilmek amacıyla hazırlandığından, konuya bir akademisyenden çok bir eğitimci bakışı ile yaklaşılmıştır.

Kaynaklar

- [1] 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.
- [2] E.H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant", *Proc. Iee*, Vol.121, No.12, 1585-1588, December 1974, pp.
- [3] E.H. Mamdani, "Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers", *Int. J. Man-Machine Studies*, 8, 669-678, 1976, pp.
- [4] İ. H. Altaş and A. M. Sharaf, "A Fuzzy Logic Power Tracking Controller For A Photovoltaic Energy Conversion Scheme", *Electric Power Systems Research Journal*, Vol.25, No.3, 1992, pp.227-238.
- [5] İ. H. Altaş, "A Fuzzy Logic Controlled Tracking System For Moving Targets", *12th IEEE International Symposium on Intelligent Control, ISIC'97*, July 16-18, 1997, Istanbul, Turkey, pp. 43-48.
- [6] İ.H. Altaş, "A fuzzy logic based door position control system", *The proceedings of the 3rd International Mechatronic Design and Modeling Workshop*, 15-18 September 1997, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, pp.107-116.
- [7] İ. H. Altaş, "A Fuzzy Logic Controlled Static Phase Shifter for Bus Voltage Regulation of Interconnected Power Systems", *International Conference on Electrical Machines*, 2-4 September 1998, İstanbul, Turkey, pp.66-71.
- [8] İ.H. Altaş, "The Effects of Fuzziness in Fuzzy Logic Controllers", *2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, August 6-7 1998, Sakarya University, Sakarya, Turkey, pp.211-220.
- [9] C. Liu, "Intelligent system applications to power systems", *IEEE Computer Applications in Power*, Vol.10, No.4, pp. 21-24, October 1997.
- [10] 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.
- [11] J.S.R. Jang, C.T. Sun, and E. Mizutani, "*Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*", Prentice Hall, 1996
- [12] C.T. Lin and C.S.G. Lee, "*Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*", Prentice Hall, 1996.
- [13] Yen, et al, "*Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Infor.*", Prentice Hall., 1999.
- [14] Adeli and Hung, "*Machine Learning: Appro-aches from the Neural Networks, Genetic Algo-rithms and Fuzzy Systems (PRT-U)*", Wiley.

- [15] Sahinkaya, “*Design and Analysis of Intelligent Control Systems*”, Marcel Dekker.
- [16] King, “*Computational Intelligence in Control Engineering*”, Marcel Dekker.
- [17] M.E. El-Hawary (Ed.), “*Electric Power Applications of Fuzzy Systems*”, IEEE, 1998.
- [18] Yen, Langari, and Zadeh (Ed.), “*Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*”, IEEE, 1995.
- [19] Zurada, Marks, and Robinson (Ed.), “*Computational Intelligence*”, IEEE, 1994.
- [20] Gupta and Sinha (Ed.), “*Intelligent Control Systems*”, IEEE, 1996.