

T Ü R K İ Y E ' D E V E D Ü N Y A D A

OTOMASYON

AYLIK ELEKTRİK ELEKTRONİK MAKİNA BİLGİSAYAR DERGİSİ

Agustos 2006
112498 2006/08
Fiyatı: 3 YTL



Robotik Camiasına Verilen Hediye
Scada Sistemleri ve Uygulamaları
Endüstride ve Makinada Güvenlik
Kalorimetrik Akış Ölçme Sistemleri
Bulanık Mantık Denetleyici Simülatörü
Birkaç Dakika İçinde Kolay Görsel Denetim
PWM İşaretinin Mikroşlemci İle Üretimi ve Denetimi



BİLESİM
YAYINCILIK A.Ş.

WIN
World of Industry

OTOMASYON'07
14. Endüstriyel Otomasyon Fuarı
08-11 Mart 2007
Tüyap Fuar ve Kongre Merkezi Beylikdüzü-İstanbul

Bulanık Mantık Denetleyici Simülatörü

Kısım I – Tasarım

İsmail H. Altaş

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
ihaltas@altas.org

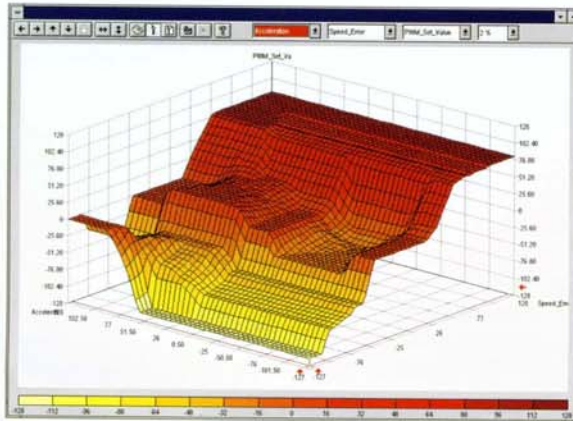
Özet

Bulanık mantık artık klasikleşmeye doğru giderken, bu konuyu merak eden, uygulanabilirliği ve nasıl uygulandığı konusunda hala arayış içinde olan bir çok kişi bulunmaktadır. Konu ile ilgili detaylı kitaplar yazılmış olmasına rağmen, konuyu kısa yoldan inceleyip, işlerliğini anlamak isteyenler ve bu konuyu öğrenmeye çalışan öğrenciler için kullanıcı dostu bir ara yüz geliştirilerek kullanıma sunulmuştur. Geliştirilen yazılımla fiziki bir sistemin bulanık mantık denetleyici ve denetlenen sistem parametreleri değiştirildiğinde kontrol işlemi üzerinde ne tür etkiler meydana getirdiği rahatlıkla izlenebilmektedir. Geliştirilen ara yüz ile kullanıcı bulanık kuralları değiştirebilmekte, üçgen, yamuk ve gaussian tipi üyelik fonksiyonlarından istediğini seçebilmekte ve bu üyelik fonksi-

yonlarının tanım aralıklarını değiştirebilmektedir. Kullanıcı ve okuyucunun işini kolaylaştırmak karmaşıklığa yol açmamak amacıyla konu iki kısma bölünmüş olup, bulanık mantık tabanlı denetleyicinin teorik alt yapısı burada I. Kısımda "BMD tasarımı" alt başlığı ile verilmektedir. Simülatörün genel yapısı, işlevleri ve kullanımı ile ilgili açıklamalar II. Kısımda "Simülatör" alt başlığı ile verilecektir.

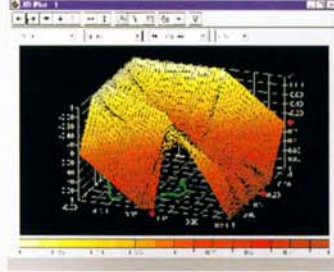
Giriş

Bulanık mantık teorisini ve farklı uygulama alanlarını anlatan oldukça fazla sayıda kitap ve makale yayınlanmış olmasına rağmen, bulanık mantığın uygulanabilirliği ile ilgili somut örneklerle rastlamak ne yazık ki pek mümkün değil. İnternet üzerinden bazı örneklerle ulaşmak [1], bazı paket yazılımlarda [2, 3] örnek animasyonlar bulmak mümkün. Ancak bunlar sadece fiziki sistemin animasyonunu vermekte, bulanık mantık denetleyicinin kuralları ya da üyelik fonksiyonlarının parametreleri ile oynamaya izin vermemektedirler. Matlab, Vissim, LabVIEW [4] gibi paket yazılımlar tasarım amaçlı uygulama yazılımı geliştirmeye elverişli araçlara sahipler ancak profesyonel uygulamalar için geliştirilen bu yazılımları satın alabilmek maaşlarla çalışan araştırmacılarımız için her zaman mümkün değildir.



Bilgisayarda gerçekleştirilen eğitim animasyonları teorik bilgi ve uygulamayı birleştirerek görsel olarak öğretime katılmakta ve konuların daha kolay anlaşılmasını sağlamaktadırlar. Bu amaçla derslere destek olması için bir çok farklı konuda animasyona dayalı simülasyonlar gerçekleştirilip kullanılmaktadır. İnteraktif kullanıcı ara yüzüne sahip böyle bir otomatik kontrol sistem yazılım platformu [5] de verilmektedir. Kontrol sistemleri eğitimi için geliştirilen PSpice tabanlı bir başka sanal simülasyon (VAS) [6] de tanıtılmaktadır. Mühendislik öğrencilerinin temel enerji sistemlerinin öğretiminde kullanılabilecekleri bir yazılım [7] de tanıtılmakta, üç fazlı güç bileşenlerinin sanal ortamda ölçülebileceklerini öneren LabVIEW tabanlı bir sistem ise [8] de önerilmektedir. Elektrik ve elektronğin bilgisayar destekli örneklerle öğretilmesini hedefleyen LabVIEW tabanlı bir başka çalışma da [9] de verilmektedir. Bu örnekler daha da artırılabilir. Ancak bilgisayar animasyonları ve simülasyonlarının teorik bilgilerin daha iyi anlaşılmasındaki önemini ortaya koymak açısından verilen bu örnekler yeterlidir.

Teoriyi uygulamaya dönüştürme konusunda daha öğretici olması bakımından bulanık mantık konusunda da bir çok simülasyon geliştirilmiştir. Nöral bulanık sistemlerin tasarım, deney ve eğitimi gerçekleştirilmek üzere geliştirilen NEFLASS [10], bulanık mantık denetleyicilerin tasarım, ve gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek bir araç olan MATLAB Fuzzy Logic Toolbox [2], ISO 9000 ve IEC 1131-7 bulanık mantık standartlarına dayalı olarak endüstriyel uygulamalara yö-



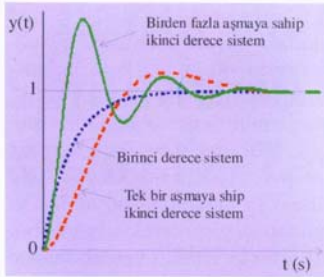
nelik geliştirilen fuzzyTECH [1] bu yazılımlardan en tanınmışları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunların dışında bulanık mantık teorisi ve kavramlarının öğretilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş yazılımlar da bulunmaktadır. İspanyolca olarak yazılmış olan FLEB [11] ile bulanık mantığın matematik alt yapısı grafikler, animasyonlar ve uygulamalarla öğretilmeye çalışılmaktadır. Bir başka yazılım olan Xfuzzy [12] ise XFL yazılım dili ile geliştirilmiş olup CAD araçlarını kullanarak bulanık sistemlerin tanım ve sentezini yapmaktadır. Ayrıca Java tabanlı bulanık denetleyici simülasyonları da değişik kaynaklarda verilmektedir. Bulanık tabanlı denetleyicilerin elektrik makinelerindeki uygulamalarını öğretmek amacıyla bir fırçasız doğru akım motorunun kontrolü için geliştirilmiş bulanık mantık denetleyici kaynak [13] de açıklanmaktadır.

Burada tanıtılmaya çalışılan bulanık mantık denetleyici simülasyonu (BMDS), bir su tankındaki su seviyesini kontrol etmek için geliştirilmiş olup, bulanık mantık tabanlı denetleyicinin çalışma sırasındaki yapısal özelliklerinin ve gerçekleştirilen işlemlerin izlenmesine olanak vermektedir. Kullanıcı dostu bir ara yüze sahip olan simülasyon; üçgen, yamuk ve gaussian tipi üyelik fonksiyonları-

nı tercihe göre kullanarak su tankındaki suyun seviyesini ayarlamaktadır. Kullanıcı hem bulanık kuralları hem de üyelik fonksiyonlarının tanım aralıklarını istediği gibi değiştirebilme şansına sahiptir. Ayrıca simülasyon çalışırken su tankından boşaltılan su miktarı değiştirilerek sisteme bozucu bir giriş etkisi verilebilmekte ve bulanık denetleyicinin performansı gözlemlenebilmektedir. Kullanıcı kontrol paneli, kural tablosu, su tankı animasyonu, üyelik fonksiyonları ve sistem çıkışının zamana göre değişiminin çizdirildiği grafik ara yüzü aynı anda görünecek şekilde yerleştirilerek bulanık denetleyicinin çalışma safhaları ve elemanları kullanıcıya sunulmakta, konunun görsel olarak daha kolay anlaşılması sağlanmaktadır. Bu simülasyon daha önce [14] de tanıtılmış, ancak orada dikkate alınmayan bazı ayrıntılar biraz daha detaya inilerek burada açıklanacaktır. Bu ayrıntılardan bir de bulanık mantık tabanlı denetleyicinin tasarım aşamasıdır. Bu tasarım işlemi her ne kadar [15-16] da açıklanmış olsa da bütünlük sağlaması açısından burada tekrar ele alınarak farklı bir yaklaşımla açıklanacaktır. Dolayısıyla, simülasyonun kullanıcı arayüzü ile ilgili ayrıntılara geçmeden önce bulanık mantık denetleyici tasarımı ile ilgili teorik alt yapı burada verilecek, simülasyonla ilgili kullanıcı arayüzü II. Kısımda yer alacaktır.

Fiziki Sistem Davranışı

Gerçek fiziki sistemleri çalıştıran ustalar için bilinmesi gereken önemli verilerin başında o sistemin zaman tepkisi gelir. Bir usta, referans değerler veya sistem parametrelerinde meydana gelen değişimlerin o sistemi nasıl etkile-



Şekil 1. Birinci ve ikinci dereceden sistem çıkışlarının zaman tepkeleri.

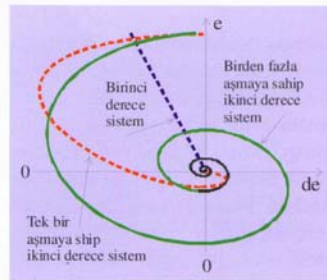
diğini çok iyi bilir ve buna karşı gerekli ayarlamaları yaparak a makinenin normal çalışma sınır ve koşullarında işletilmesini sağlar. Fiziki bir sistemin zaman tepkisi önemlidir, çünkü hem referans giriş hem de sistemin iç parametrelerinde meydana gelen değişimleri yansıtır. Bu nedenle sistemin referans girişe göre çalışma hatası ve bu hatanın değişim bilgisi bulanık denetleyicilerde kullanılan iki temel giriş verisidir. Çalışma hatası sistemin çıkış bilgisini de içerdiğinden, bulanık kurallar aracılığı ile sistem girişi ve çıkışını birleştiren bir köprü olarak kullanılır.

Doğrusal zamanla değişmeyen (DZD) bir sistem durum uzayı modeli ve transfer fonksiyonu gibi farklı biçimlerde genellikle birinci, ikinci ve daha yüksek dereceden terimlerle temsil edilirler. Model derecesine bağlı olarak bir sistemin çıkışına ait basamak tepkisi Şekil 1'de gösterildiği gibi değişik yapıda olabilir. Buna bağlı olarak aynı sistemlerin hata ve hata değişimleri de benzer biçimde Şekil 2'deki gibi olur.

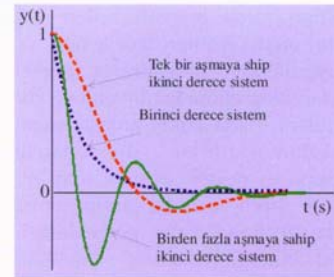
Hata işaretinin zaman tepkeleri sistem çıkışı ile ilgili bilgileri temsil etmek üzere kullanılabilirler. Hata işareti sıfıra yaklaşırken sistem çıkışı referansa doğru yakla-

şır. Kullanılan denetleyici performansına bağlı olarak hata işareti sıfır olabileceği gibi tam sıfır da olmayabilir. Bir denetim sisteminde hata işareti gerekli çıkış bilgilerini içerdiğinden denetim kurallarının üretilmesi için yeterlidir. Dolayısıyla Şekil 2'de verilen hata işaretleri, bulanık mantık denetleyici kural tabanını oluşturmak için gerekli bilgileri içeren birer kayna olarak kullanılabilirler. Bu işaretler herhangi bir denetim hatasının basamak tepkesini temsil edebilirler. Aslında basamak ve rampa tepkelerine ait çıkış işaretleri arasında farklılık olmasına rağmen, rampa giriş işaretine ait kontrol hatası işaretleri Şekil 3'de basamak tepkisi için verilenden pek de farklı olmaz.

Bir kontrol sistemini işleten uzman kişi, yani usta, sistemin çıkış tepkisine bakarak gerekli giriş ayarlamalarını yapar. Eğer çıkış hedeflenen referanstan uzakta ise hızlı bir ayarlama, yakında ise yeterince yavaş bir ayarlama yaparak çıkışı istenilen seviye veya değere getirir. Böylece, belirli bir zaman diliminde, örnekleme periyodunun süresinde, hata değerindeki değişim bilgisi de gereklidir. Şekil 3'de verilen kontrol hatası zaman tepkesinin bu hatadaki değişimin zaman tepkesine göre



Şekil 3. e hatası zaman tepkesinin de hata değişimi zaman tepkesine karşı çizilmesiyle elde edilen e-de uzayı.



Şekil 2. Birinci ve ikinci dereceden sistem hatalarının zaman tepkeleri.

çizimi bu bilgiyi elde etmek için kullanılabilir.

Kontrol hatası e ve bunun değişimi de'nin değerleri başlangıçta büyükken denetleyici performansına bağlı olarak zamanla orjinde veya orjin yakınında son bulur. Bu çizime aslında bir e-de haritası da denebilir. Şekil 3 de gösterildiği gibi birinci dereceden sistemin e-de haritası sadece grafiğin ikinci çeyrek kısmında, yani e(+) - de(-) bölgesinde, yer almaktadır. İkinci dereceden osilasyonlu bir sistemin e-de haritası ise dört bölgenin hepsini de dolaşmaktadır. Daha yüksek dereceden DZD sistemler de ikinci derecedekine benzer osilasyonlara sahip olacaklarından Şekil 3 de ikinci dereceden osilasyonlu sistemleri temsil eden koyu kesintisiz çizgi aynı zamanda daha yüksek dereceden sistemleri de temsil emektedir. Aslında bu grafik genel olarak birinci, ikinci ve daha yüksek dereceden sistemleri temsil etmek üzere kullanılabilir.

Bulanık Mantık Denetleyici (BMD)

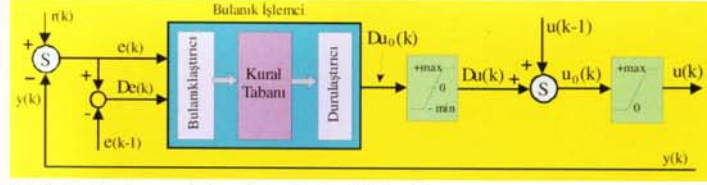
BMD Genel Yapısı

Zadeh [17] tarafından keşfinden buyana BM teorisi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Mam-

dani [18] tarafından kontrol sistemlerine uygulanmasıyla birlikte BM gerçek hayattaki uygulamalarda da yer bulmaya başladı. Bulanık küme teorisi ve bulanık mantık burada tekrarlanmayacaktır. Ancak, BM tabanlı denetleyicinin tasarım aşamaları detaylı bir şekilde açıklanacaktır. BM denetleyicinin çalışma ilkesi bir makineyi kullanma konusunda uzman olan birinin o makineyi kullanımına benzer. Sistemin çıkışına bakıp girişini ayarlayarak tıpkı uzman kişinin yaptığı işlemleri yapar. Bir BM denetleyici temelde iki kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla bulanık işlemci ve giriş/çıkış birimleridir. Şekil 4 de gösterildiği gibi bulanık işlemcide sırasıyla bulanıklaştırıcı, kural tabanı ve durulaştırıcı olarak isimlendirilen üç aşama bulunmaktadır.

BM denetleyicinin iki giriş işareti bulunmaktadır. Bunlardan birincisi asıl işaret, diğeri de bu işaretin bir örnekleme süresindeki değişimidir. Aslında BM tabanlı denetleyicilerde giriş işaretleri denetim hatası $e(k)$ ve bunun bir periyot süresindeki değişimi olan $\Delta e(k)=e(k)-e(k-1)$ dir. Burada kullanılan k bir örnekleme sayıdır. BM denetleyiciye gönderilen bu iki giriş işareti bulanık işlemcinin bulanıklaştırıcı kısmında birer bulanık ifadeye dönüştürülür. Bu bulanık ifadeler kural tabanında kullanılarak uygun bulanık sonuçlar üretilir. Bulanık sonuçlar ise bu defa bulanık işlemcinin durulaştırma biriminde kesin çıkış değerlerine dönüştürülür.

Şekil 4'de verilen BM denetleyici tıpkı bir integral denetleyici gibi davranmaktadır. Şöyle ki; bulanık işlemci tarafından üretilen $\Delta u(k)$ BM denetleyicinin bir önceki örnekleme için ürettiği $u(k-1)$



Şekil 4. Bulanık mantık denetleyicinin basit işlem diyagramı.

1) değerine eklenerek yeni bir denetleyici çıkış işareti olan $u(k)$ üretilmektedir. Hatırlanacağı gibi bir integralin Euler yöntemiyle sayısal çözümü

$$u(k) = (u(k-1) + \Delta u(k)) \quad (1)$$

olarak yazılabilir. Sayısal integral alma işleminde $\Delta u(k)$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta u(k) = K_I T_s e(k) \quad (2)$$

Burada K_I integral sabiti, T_s örnekleme periyodu ve $e(k)$ ise integrali alınan işarettir. Eğer integrali alınan $u(k)$ işareti sıfırsa, integral alıcı çıkışındaki $\Delta u(k)$ değişimi de sıfır olur. Böylece integral alıcının çıkışı bir önceki değerini korur. Burada üzerinde durulan BM denetleyici, bir integral alıcıya benzer fakat daha etkin çıkış verecek şekilde yapılandırılmış ve kural tabanı buna göre oluşturulmuştur. Dolayısıyla yukarıda verilen (1) denklemi hem integral denetleyici hem de BM denetleyici için kullanılabilir. Integral ve BM denetleyiciler arasındaki tek farklılık $\Delta u(k)$ değişiminin elde edilme yöntemidir. İntegral denetim için bu $\Delta u(k)$ değişimi (2) denklemi ile elde edilebilir. BM denetleyicide ise bu $\Delta u(k)$ değişimi Şekil 4'de gösterildiği gibi bulanık işlemci tarafından üretilmektedir. Zaten BM denetleyicinin görevi de uygun $\Delta u(k)$ değişimini üretmektir ve burada anlatılmakta olan konu aslında tümüyle

bu $\Delta u(k)$ değerinin üretilmesiyle ilgilidir.

Bulanık İşlemci

Şekil 4'de görüldüğü gibi bulanık işlemci iki girişe sahiptir. Bunlardan birisi referans işareti $r(k)$ ile sistemin gerçek çıkışı $y(k)$ arasındaki fark olarak tanımlanan kontrol hatası $e(k)$, diğeri de bu hatanın değişimi olan $\Delta e(k)$ dir. (3) ve (4) denklemleriyle ifade edilen bu iki giriş işareti öncelikle bulanıklaştırıcı tarafından bulanık terimlere dönüştürülüp sonar da kural tabanında ilgili kuralları tetikleyerek bir çıkış üretilmesini sağlarlar.

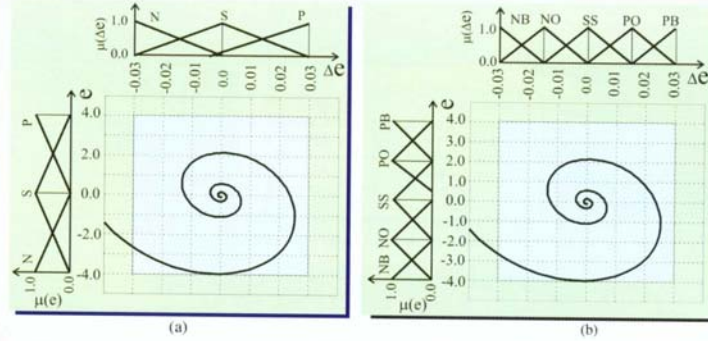
$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (3)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (4)$$

Bulanık kural tabanı aynı zamanda bulanık karar verme çizelgesi olarak da isimlendirilir ve bulanıklaştırılmış $e(k)$ ve $\Delta e(k)$ giriş işaretlerine ait değerlerin $\Delta u(k)$ çıkış uzayında tanımlı bulanık çıkış düzlemine haritalanmasını sağlar. Metni basitleştirmek için bundan böyle (k) indisi yada diğeri bir adıyla örnekleme sayacı kullanılmayacaktır. İkinci dereceden genel bir sistemde basamak girişe göre oluşan kontrol hatasının zamanla değişimi Şekil 5'de verilmektedir. Bu hata işareti zamanla eksponansiyel olarak azalan bir osilasyona ve aşma etkilerine sahip olduğundan genel kullanım amaçlı bir kural tabanının oluşturulmasında göz önüne alınabilir.

Hem Şekil 5 hem de Çizelge I den görüleceği gibi e , Δe ve Δu değişkenlerinden her biri için üç farklı işaret atama seçeneği bulunmaktadır. Bunlar ya pozitif (P), ya sıfır (S) ya da negatif (N) tir. Bu üç seçenek birer bulanık küme ile temsil edilmek suretiyle Çizelge II de verilen başlangıç kural tabanı ya da diğer bir adıyla kural atama çizelgesi oluşturulabilir. Bu tabloda gölgelendirilen ilk kolon ve ilk satır sırasıyla e ve Δe uzaylarını, gölgesiz asıl kısım ise Δu işaretleri cinsinden ilgili kuralları temsil etmektedir.

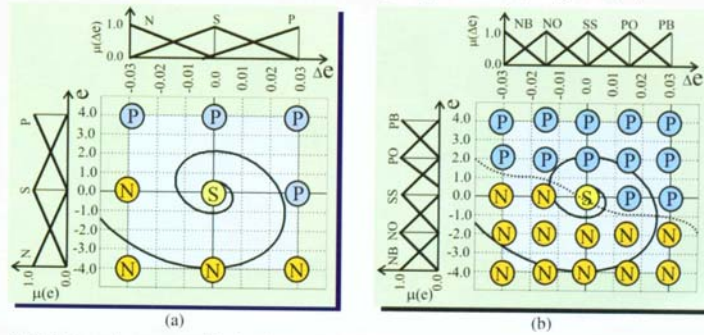
Kontrol hatası e ve bunun Δe değişiminin P, N ve Z olarak üç adet bulanık küme ile temsil edilmesi ile giriş uzayı üç bölgeye bölünmüş oluyor. e ve Δe giriş uzaylarının üçer bulanık bölgeye bölünmesi Çizelge II de görüldüğü gibi dokuz kuralı bir çıkış uzayı oluşmasına yol açar. Dokuz kuralı bir çıkış uzayı bazı uygulamalar için yeterli olabilir. Ancak bir çok uygulama dokuzdan daha fazla denetim kuralı kullanmayı gerektirir. Dokuzdan daha fazla kurala sahip bir bulanık karar verme çizelgesi oluşturabilmek için giriş uzaylarının her birini üçten fazla bölgeye bölmek gerekir. Giriş uzaylarının bulanık bölgelere ayrılmasında e hatasının Δe değişimine karşı çizimi Şekil 6'da gösterildiği gibi kolaylık sağlayabilir. Şekil 6a da giriş uzayları üç bulanık bölgeye, Şekil 6b de ise beş bulanık bölgeye ayrıştırılmıştır. Giriş uzaylarının bölmelenmesinde, e - Δe çizimi her bir giriş değişkeninin alt ve üst sınırlarını aynı anda ayrı ayrı gösterdiği için bu sınırların farklı değerlerde seçilmesini kolaylaştırmaktadır. Böylece e ve Δe için farklı alt ve üst sınırlar belirlenip atanabilir. Bu durumda e ve Δe uzaylarının böl-



Şekil 6. Giriş uzaylarının (a) üç ve (b) beş bölgeye ayrıştırılması.

melenmesinde kullanılan bulanık kümelerin ölçeklenmeleri de farklı olabilmektedir. Şekil 5 ve 6 da gösterildiği gibi e ve Δe nin alt ve üst sınırlarındaki farklılıklar nedeniyle bu ölçekleme farklılığı önemli bir özellik teşkil etmektedir. Eğer aynı ölçeklemeye sahip bulanık kümeler hem e hem de Δe için kullanılırsa Δe ye ait bulanık değerler e ye ait bulanık değerler kadar fazla değişmez ve Şekil 5 de gösterildiği gibi Δe değeri sıfır (SS) bulanık kümesinde yüksek negatif küçük (NK) ve pozitif küçük (PK) bulanık kümelerinde çok düşük, geri kalan diğer bütün bulanık kümelere sıfır üğeliğe sahip olarak sıfır etrafında salınıp durur. Bu nedenle e ve Δe kesin uzaylarının farklı sınır ara-

lıkları içerisinde bölünmesinde Şekil 6 daha verimli ve kullanışlıdır. Ayrıca Şekil 6a ve 6b Çizelge II ile benzer bir yapıya sahiptir. Eğer Şekil 6a ile Çizelge II karşılaştırılırsa, Şekil 6a daki yatay ve dikey eksenlerin sırasıyla Çizelge II deki ilk tanım satırı ve ilk tanım sütununa karşılık geldikleri rahatlıkla görülebilir. Çizelge II nin iç kısmı Δu kesin uzayında tanımlı bulanık kümelerle temsil edilen bulanık kuralları içerdiği için, Şekil 6 ile verilen e - Δe düzlemi bulanık denetleyicinin kesin çıkışı olan Δu uzayını temsil etmek üzere kullanılabilir. Böylece (5) ifadesi kullanılarak Δu uzayını temsil eden e - Δe düzlemi Şekil 7a ve 7b'de verildiği gibi pozitif (P), negatif (N) ve sıfır



Şekil 7. Δu çıkış uzayındaki başlangıç kural atamaları. (a). Giriş uzaylarının üç bölgeye ayrıştırıldığı durum. (b). Giriş uzaylarının beş bölgeye ayrıştırıldığı durum.

		Δe				
		NB	NO	SS	PO	PB
e	PB	Z	P	P	P	P
	PO	N	Z	P	P	P
	SS	N	N	Z	P	P
	NO	N	N	N	Z	P
	NB	N	N	N	N	Z

Çizelge III. Başlangıç Bulanık Karar Verme Çizelgesi

		Δe				
		NB	NO	SS	PO	PB
e	PB	SS 1	PO 2	PO 3	PB 4	PB 5
	PO	NO 6	SS 7	PO 8	PO 9	PB 10
	SS	NO 11	NO 12	SS 13	PO 14	PO 15
	NO	NB 16	NO 17	NO 18	SS 19	PO 20
	NB	NB 21	NB 22	NO 23	NO 24	SS 25

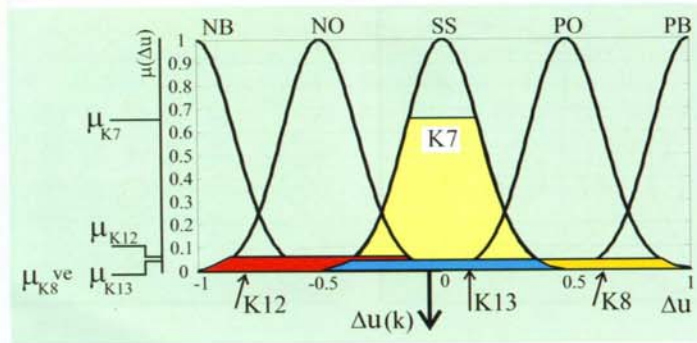
Çizelge IV. Düzenlenmiş Bulanık Karar Verme Çizelgesi

(S) bölgelerine ayrıştırılabilir.

Burada üzerinde durulan ve birazdan yapılandırılması detaylı olarak verilecek olan bulanık karar verme çizelgesi, Şekil 6 a ve 6b de verildiği gibi e ve Δe kesin uzaylarının beşer farklı bulanık bölgeye bölünmesiyle elde edilmiş olan yirmi beş kurallı bir çizelgedir.

Şekil 7b'de görüldüğü gibi, Δu uzayını temsil eden e- Δe düzlemi P, N ve S olmak üzere üç ayrı

bölgeye ayrıştırılmışken, e ve Δe uzayları NB, NO, SS, PO ve PB olarak beşer bölgeye ayrıştırılmıştır. Simülatorde ise bu alt bölge sayısı yedidir. Benzer şekilde Δu düzlemi de beş, simülatorde olduğu gibi yedi veya daha fazla bölgeye ayrıştırılabilir. Bölümlenmiş e ve Δe uzaylarına yakından bakılırsa, bulanık kümelerle temsil edilen komşu bölgeler arasında bir de geçiş bölgesi bulunmaktadır. Ayrıca görüleceği gibi negatif ve pozitif bölgeler arasında geçişi sağlayan bir de sıfır bölgesi



Şekil 8. Δu 'nun bulanık bölgelere ayrıştırılmasında kullanılan Gaussian tipi üyelik fonksiyonlar.

vardır. Bu geçiş bölgesi bulanık kümelerin doğal yapısından (tanımından) kaynaklanan bir bölge olup belirsiz (bulanık) bölge olarak da isimlendirilir. Benzer şekilde bir geçiş bölgesi de Δu düzlemindeki pozitif ve negatif bölgeleri arasında kurulmalıdır.

Şekil 7b'de noktalı çizgi ile ayrıştırıldığı gibi (5) ifadesi gereği pozitif değerler sağ üst tarafta yoğunlaşırken negatif değerler sol alt tarafta yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla pozitif (P) ve negatif (N) bölgeleri birleştiren (veya ayıran) bir bulanık sıfır (S) bölgesi bunların arasına Çizelge III'deki gibi ana köşegen olacak şekilde yerleştirilmelidir.

Eğer çıkış uzayı Δu üçden fazla bölgeye ayrıştırılacaksa e ve Δe eksenlerinde olduğu gibi pozitif ve negatif bölgeler NB, NO, PO ve PB gibi alt bölgelere ayrılmalıdırlar. Çıkış uzayındaki negatif ve pozitif bölgelerin bu şekilde alt bölümlere ayrıştırılması tıpkı giriş uzaylarındaki alt bölgelere benzer sıralamaya sahip olacak şekilde NB bulanık bölgesinden PB bulanık bölgesine doğru sırayla geçiş bölgeleri oluşturacak biçimde yapılmalıdır. Bu şekilde yapılırsa Δu çıkış uzayı da tıpkı e ve Δe giriş uzayları gibi NB, NO, SS, PO ve PB bulanık alt kümeleriyle temsil edilen beş bulanık bölgeye ayrıştırılarak Çizelge III, Çizelge IV'e dönüştürülmüş olur. Çizelge IV de çıkış uzayı için tanımlanan beş alt bölge, Şekil 8 de verilen ve aralarında geçiş bölgeleri bulunan Gaussian tipi beş bulanık küme ile temsil edilmektedir. Çizelge IV de her bulanık kurala bir numara verilmiş ve kurallar 1 den 25'e kadar sıralanmıştır.

(Devam edecek)