

Güç Uyartım Sistemlerinin Denetiminde Bulanık Mantık

Doç. Dr. İsmail H. ALTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

61080 – Trabzon

E-POSTA: altas@ktu.edu.tr veya altas@altas.org

URL : www.altas.org

ÖZET

Daha önce bu sayfalardaki bir makalemde akıllı güç sistemlerine değinmiş, bulanık mantık (BM), yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritmalar (GA) ın etkin bir şekilde uygulamaya konulmaları sonucu güç sistemlerinde bilgisayar kullanımının farklı bir boyut kazandığından bahsetmişim. Akıllı elektronik cihazların geliştirilmeye başlanmasıyla, düşünen ve karar veren akıllı koruma röleleri ve güç sistemi işletim ünitelerinin uygulamaya konulması artık araştırmacıları meşgul etmektedir. Bu çalışmalar çerçevesinde, akıllı sistemlerin temelini teşkil eden bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar güç sistemlerinin değişik kademelerinde sıkça kullanılmaya başlamış durumdadır. Belirsizlik içeren verilerin ve insan düşüncesinin temsilinde kullanılan bulanık mantık daha çok kontrol uygulamalarında göze çarparken, öğrenme algoritmaları sayesinde sistemlerin eğitilmesini ve öğrenme yeteneği kazanmasını sağlayan yapay sinir ağları daha çok sistem tanımlama, parametre kestirimi ve görüntü işleme gibi uygulamalarda ve türevsiz bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritmalar ise daha çok güç sistemi işletim planlaması uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Bu makalede bulanık mantığın güç uyartım sistemlerinin kontrolündeki bir uygulaması ele alınıp incelenmekte ve diğer kontrol algoritmaları ile bir karşılaştırması yapılmaktadır.

1. GİRİŞ

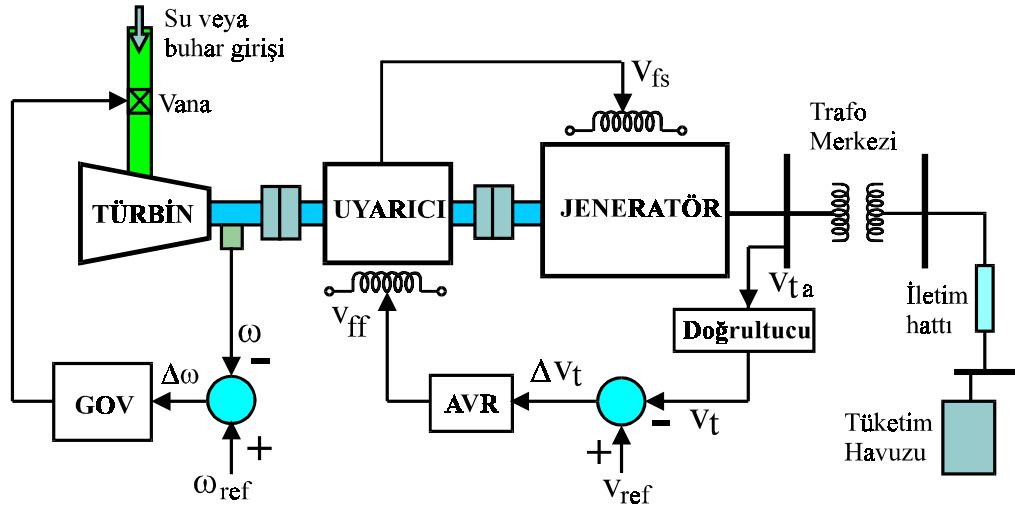
Bulanık küme teorisinin Lotfi A Zadeh tarafından 1965 yılında yayınladığı klasik makalesiyle [1] tanıtılmasının ardından bulanık mantık ve buna bağlı uygulamalar da literatürde yerini almaya başlamıştır. İlk yıllarda fazla rağbet görmemesine rağmen son yıllarda bulanık mantık tabanlı uygulamalar oldukça fazla uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Öyle ki sosyal bilimlerden mühendislik uygulamalarına kadar hemen her alanda bir uygulama örneği bulmak artık mümkündür [2]. Bulanık mantığın en fazla uygulama bulduğu alan kontrol sistemleri olarak görülmektedir. Bunun en büyük nedeni de 1970'li yılların başında Mamdani ve arkadaşlarının bulanık mantık tabanlı bir denetleyici tasarlayarak uygulamaya koymaları olmuştur [3]. Bu uygulama daha sonra oldukça sık başvurulan bir kaynak olarak kullanılmış ve bulanık denetimin diğer bulanık mantık uygulamalarına göre daha hızlı uygulamaya konulmasına neden olmuştur. Özellikle 1990'lı yıllarda bulanık mantık uygulamaları bir patlama kaydetmiş ve artık çalışmalar bulanık mantık tabanlı denetleyici tasarlamaktan çıkıp, bulanık mantık denetleyicilerin performanslarını artırmaya yönelmiştir.

Bulanık mantık denetleyiciler, diğer alanlarda olduğu gibi elektrik güç sistemlerinde de hızlı bir şekilde uygulanmaya başlanmış ve özellikle yük-frekans denetimi, bara gerilimi ayarı, kararlılık, yük tahmini, yük akış analizi, parametre kestirimi, koruma sistemleri, ve daha bir çok alanda uygulanmaya başlanmıştır [4-8]. Bulanık mantığın güç sistemlerindeki uygulamaları [9] numaralı kaynakta geniş biçimde incelenmektedir.

Güç sistemlerinin denetimine yönelik oldukça fazla makale ve kitap bulunmaktadır. Bu kitapların hemen tümünde uyartım sistemleri de modellenerek geniş biçimde anlatılmıştır. Bu kitaplardan önemli ikisi kaynaklar listesinde sıralanmıştır [10,11]. Bu kaynaklarda verilen uyarıcı ve güç sistemi modelleri burada açılarak, bilgisayar ortamında benzetimleri elde edilmiş ve bulanık mantık tabanlı denetleyici modeli ile birleştirilerek birlikte simüle edilmişlerdir. Bilindiği gibi güç sistemlerinde şebeke gerilimi ve frekansı ani yük değişimleri ve arızalardan etkilenerek asıl değerleri civarında salınırlar. Bu salınımların genliklerinin büyük, sönüm sürelerinin uzun olması güç sisteminde kararsızlığa da varacak istenmeyen etkilere neden olur. Bu etkileri ortadan kaldırmak için, meydana gelecek en küçük bir gerilim ve/veya frekans değişiminin anında algılanıp sistem hızlı bir şekilde denetlenerek oluşacak salınımlar en küçük hasarla söndürülmelidirler.

Klasik denetim mekanizmalarına göre daha hızlı çalışan bir bulanık mantık denetleyici bu çalışmada tasarlanarak güç sistemlerinin temel elemanı olan senkron jeneratörün uyarma denetiminde kullanılmıştır. Terminal geriliminde meydana gelen değişimler bir doğrultucu üzerinden negatif geri besleme işareti olarak denetleyiciye geri beslenip burada bulanık mantık denetleyici tarafından kullanılmaktadır. Bulanık mantık denetleyici bu salınım işaretini en kısa sürede sıfırlayacak şekilde tasarlanıp, uygulamaya konulmuştur. Simülasyonu yapılan güç sisteminin modeli aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir. Daha sonra da bulanık mantık denetleyici tanıtılacaktır. Son olarak da birleşik sistem ele alınacak ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

2. GÜÇ SİSTEMİ

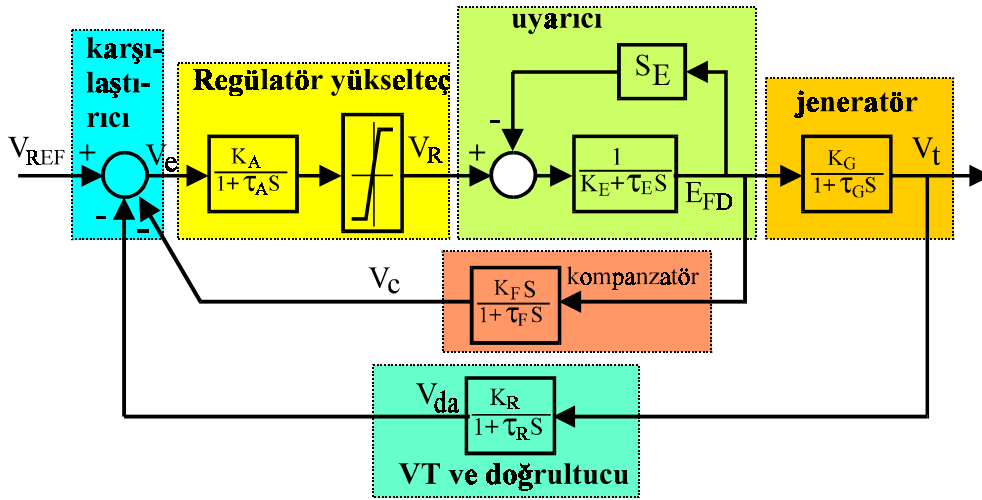


Şekil 1. Güç denetim sisteminin prensip şeması

Bu çalışmada ele alınan güç sisteminin prensip şeması Şekil 1 de verilmektedir. Burada hem uyartım hem de yük-frekans denetimi bulunmaktadır. Ancak bunlardan sadece uyartım sistemine ilişkin denetim bu çalışmada ele alınmaktadır. Bu nedenle aşağıda yapılan model sadece **uyarıcı-jeneratör-doğrultucu-AVR-uyarıcı** çevrimini kapsamaktadır. Tahrik sistemi (governor) ile ilgili bir denetim yapılmadığı için jeneratöre uygulanan mekanik güç sabit kabul edilmektedir. Hidrolik

sistemlerde mekanik giriş gücünün zaman sabiti elektriksel zaman sabitlerine göre büyük olduğu için kısa süreli değişimlerde bu kabul doğru sayılabilir.

Otomatik voltaj regülatörü, uyarma sisteminin beynini oluşturan kısımdır. Çünkü gerilim regülatörü uyarıcının çıkışını ayarlayarak üretilen gerilim ve reaktif güçteki değişimlerin istenilen sınırlar içerisinde kalmasını sağlar. Gerilim regülatörü sistem çıkışındaki gerilimi veya akımı algılayarak gerekli ayarlamaları yapar. Gerilim regülatörünün hızı kararlılık için çok önemlidir. Jeneratör uyarım sargısının yüksek değerli endüktansı nedeniyle uyarım akımının ani olarak değiştirilmesi olanaksızdır. Dolayısıyla denetim işleminde mutlaka bir gecikme meydana gelir. Bu gecikme çözülmesi gereken önemli bir problemdir. Bu problemi çözebilmek için değişik gerilim regülatörleri güç sistemlerinde kullanılmaktadır. Bunların en önemlileri [12]: Elektromekanik, döner yükselteçli, manyetik yükselteçli ve elektronik yükselteçli regülatörler olarak sıralanabilirler. Bunlara ek olarak bu çalışmada bulanık mantık tabanlı bir regülatör önerilmektedir. Şekil 1 de verilen güç sisteminde otomatik voltaj regülatörü ile ilgili denetim çevrimi Şekil 2 de blok diyagramı biçiminde yeniden verilmektedir.

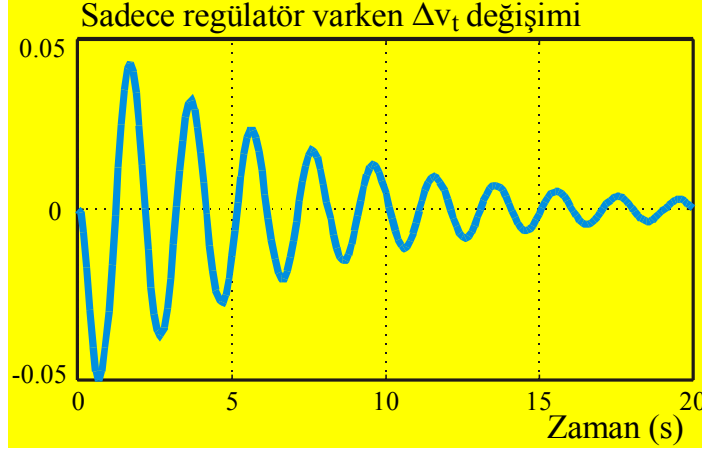


Şekil 2. Uyarıcı denetim sisteminin blok diyagramı.

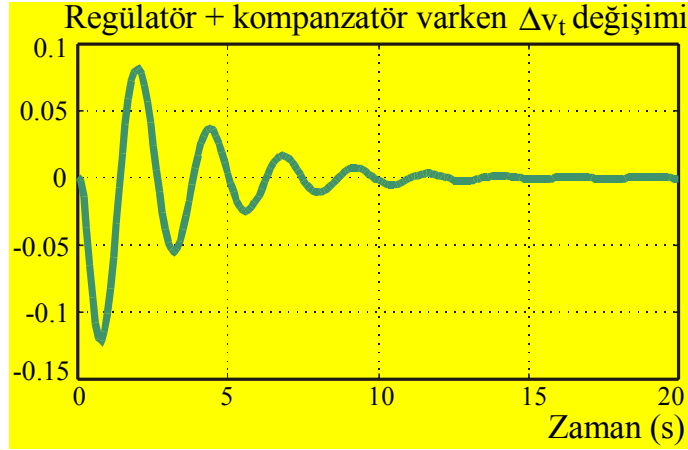
Uyarıcı kontrol blok diyagramının verildiği Şekil 2 de **regülatör yükselteç** olarak tanımlanan kısımda klasik gerilim regülatörünün transfer fonksiyonu verilmiştir. Ayrıca genelde opsiyonel olarak verilen bir **kompanzator** de bu diyagrama eklenmiştir. Türev geribeslemeli bir yapıya sahip olan bu kompanzator elektrik güç sistemlerinde kararlaştırıcı (PSS) olarak kullanılır. Burada amaç, hem gerilim regülatörünü, hem de kararlaştırıcı kompanzatorü bu sistemden çıkarıp, yerlerine her ikisinin görevini yapabilecek bir sistem koymaktır. Bu nedenle Şekil 2 de verilen sistemde kompanzatorü ait bloğun kaldırılıp, regülatörü ait blok yerine de bulanık mantık tabanlı sistemi koymak yeterli olacaktır. Ele alınan güç sisteminde klasik regülatörün, kompanzatorün, ve bulanık mantığın etkilerini gözleyebilmek için üç ayrı denklem takımı elde edilerek sistemin simülasyonu gerçekleştirilebilir. Simülasyon için Şekil 2 de verilen bloklarda doğrultucu zaman sabiti $\tau_R=0.015$, kazancı $K_R=1.0$ olarak, regülatör yükseltecin zaman sabiti ve kazancına ilişkin veriler sırasıyla $\tau_A=0.05$ ve $K_A=5$ olarak, uyarıcı sistemin zaman sabiti, kazancı ve doyma sabiti $\tau_E=0.5$, $K_E=-0.05$ ve $SE=0.4$ olarak, jeneratörün zaman sabiti ve kazancı $\tau_G=1.0$ ve $K_G=1.0$ olarak, kompanzatorün zaman sabit ve kazancı da $\tau_F=0.4$ ve $K_F=0.04$ olarak alınabilir. Bu veriler kullanılarak uyarım sisteminin simülasyonu yapılmış ve girişe uygulanan birim darbe işarete karşı davranışı her üç durum için de incelenmiştir.

Yapılan simülasyon sonuçları Şekil 3-5 de verilmektedir. Sitemin klasik yapısıyla, sadece regülatör varken yapılan çalışmanın sonucu Şekil 3 de görülmektedir. Bu klasik sisteme kompanzator eklendiğinde elde edilen değişim Şekil 4 de, sadece bulanık mantık varken elde edilen sonuç ise Şekil

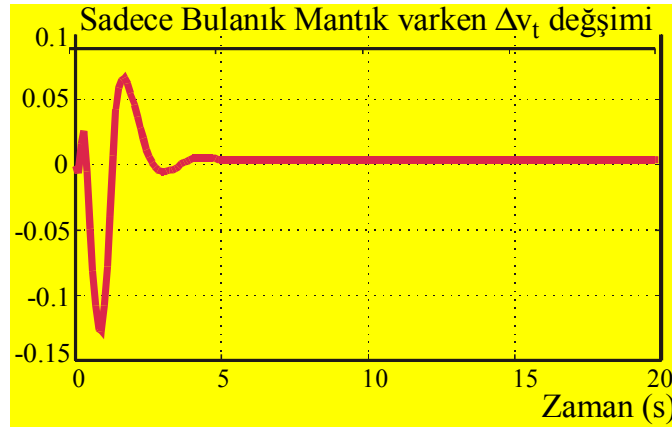
5 de görülmektedir. Bu üç grafik de terminal gerilimindeki değişimin zamana göre çizimidir. Bu aslında gerilim hatasının değişimini de temsil etmektedir. Şekillerdeki değişimin genlik ve sönüm süreleri arasındaki farklar, her üç durumun işlem performansı ve sistem üzerindeki etkisini vermektedir.



Şekil 3. Regülatörlü kompanzatsız sistem.



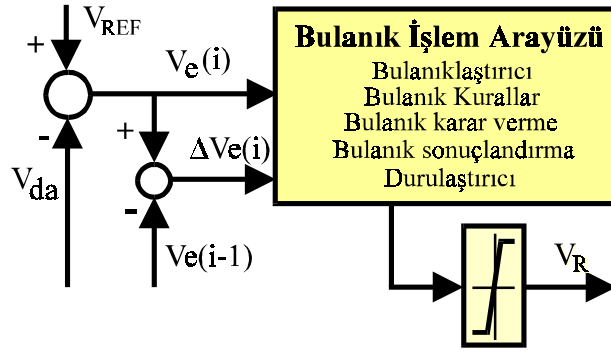
Şekil 4. Regülatör ve kompanzator bulunan sistem.



Şekil 5. Sadece bulanık mantık bulunan sistem.

3. BULANIK MANTIK ARAYÜZÜ

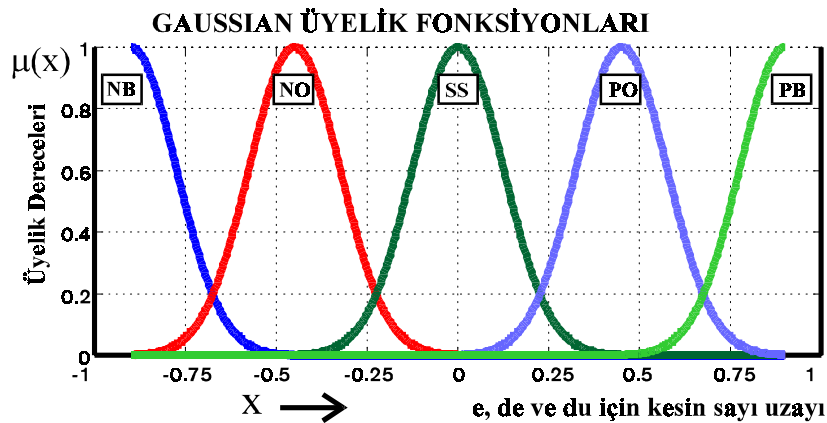
Bulanık mantık denetleyiciler, tıpkı bir insanın makina başında çalışma koşullarını gözlemleyerek o makinaı kullanmasına benzer şekilde çalışırlar. Dolayısıyla, tıpkı usta bir operatör gibi sistem çıkışına bakarak, sistem girişini ayarlar. Burada, terminal geriliminin doğrultulmuş değere ile referans gerilim değeri arasındaki fark olan gerilim hatası ($e=V_e$) ve bu hatadaki değişim ($de=\Delta V_e$) Şekil 6 da gösterildiği gibi elde edilip, giriş işaretleri olarak bulanık denetleyiciye gönderilir.



Şekil 6. Bulanık mantık işlemcinin giriş ve çıkışları.

Bulanık mantık tabanlı bir denetleyici genel olarak üç kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla, *bulanıklaştırıcı*, *kural atama tablosu*, ve *durulaştırıcı* dir. Bulanık denetleyiciye gönderilen ve gerçek değerlere sahip olan iki giriş işareti (V_e ve ΔV_e), ilk aşamada *bulanıklaştırıcı* tarafından bulanık sayılara dönüştürülür. Daha sonra bu bulanık sayılar *kural atama tablosu* tarafından denetim işaretindeki değişimi temsil eden bulanık sayıyı belirlemek amacıyla kullanılırlar ve *bulanık karar verme* işlemi sonucunda bu sayı elde edilir. Son aşamada ise, denetim işaretindeki değişimi temsil eden bulanık sayı, *durulaştırıcı* tarafından gerçel sayıya ($u=V_R$) dönüştürülür ve denetim işaretinin bir önceki değerine eklenerek yeni denetim işareti belirlenir.

Durulaştırma ve kuralların uygulanması sırasında her bir bulanık sayı grubunda beşer adet bulanık küme kullanılarak bulanık değişkenler sözel olarak temsil edilmişlerdir. Bu sözel değişkenler sırasıyla *negatif büyük* (NB), *negatif orta* (NO), *sıfır* (SS), *pozitif orta* (PO) ve *pozitif büyük* (PB) olarak tanımlanmıştır. Kullanılan bu sözel değişkenler için Şekil 7 de verilen gaussian biçimli üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.



Şekil 7. Kullanılan üyelik fonksiyonları.

Bulanık işlemlerin yapılıp bulanık kararların verildiği birimin temel elemanları bulanık kurallardır. Bu bulanık kurallar, eldeki bulanık verilerden yeni bulanık sonuçlara varılmasını sağlarlar. Kullanılan bulanık kurallar Tablo I de verilmektedir.

Tablo 1. Kural atama tablosu.

	NB _{de}	NO _{de}	SS _{de}	PO _{de}	PB _{de}
NB _e	NB _{du} ₁	NB _{du} ₂	NO _{du} ₃	NO _{du} ₄	SS _{du} ₅
NO _e	NB _{du} ₆	NO _{du} ₇	NO _{du} ₈	SS _{du} ₉	PO _{du} ₁₀
SS _e	NO _{du} ₁₁	NO _{du} ₁₂	SS _{du} ₁₃	PO _{du} ₁₄	PO _{du} ₁₅
PO _e	NO _{du} ₁₆	SS _{du} ₁₇	PO _{du} ₁₈	PO _{du} ₁₉	PB _{du} ₂₀
PB _e	SS _{du} ₂₁	PO _{du} ₂₂	PO _{du} ₂₃	PB _{du} ₂₄	PB _{du} ₂₅

Herhangi bir örnekleme anında elde edilen hata (e) ve hatadaki değişim (de) in gerçek değerleri, bulanık kümelerde sahip oldukları üyelik derecelerine bağlı olarak bulanık sayılara dönüştürülürler. Dönüştürme işlemi *bulanıklaştırıcı* tarafından yapılır. *e* ve *de* hangi bulanık kümede sıfırdan farklı üyelik derecesine sahipse o kümenin yada kümelerin temsil ettiği sözel terimlerle ifade edilirler. Örneğin, eğer *e* *negatif orta* (NO) kümesinde sıfırdan farklı bir üyelik derecesine sahipse, *e* için, *e* *negatif ortadır* = *e* NO *dir*.

ifadesi kullanılır. Benzer ifadeler *de* için de geçerlidir. Toplam beş adet bulanık küme kullanıldığı için, *e* ve *de* nin bu kümelerde üyelik derecesine sahip olma durumları göz önüne alınarak Tablo 1 de verilen kurallar elde edilmiştir. Bu kurallar aslında *e* ve *de* nin bulanık kümelerdeki üyelik durumlarına göre *du* nun hangi bulanık kümede üyeliğe sahip olması gerektiğini göstermektedir.

Kural tablosunda verilen kurallar, sözel olarak

$$\text{IF } e \equiv \text{NB} \text{ AND } de \equiv \text{NO} \text{ THEN } du \equiv \text{NB}$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki *e*, *de* ve *du* terimleri kaldırılıp indis olarak kullanılırlarsa, sözel ifade:

$$\text{IF } \text{NB}_e \text{ AND } \text{NO}_{de} \text{ THEN } \text{NB}_{du}$$

biçiminde yazılır. Bu sadece bir tek kuraldır. Eğer birden fazla kural söz konusu ise bunlar birbirlerine ELSE veya ELSE IF terimi ile bağlanırlar. Bulanık mantık denetleyicinin tasarlanıp uygulanmasına yönelik geniş açıklamalar [5] de bulunabilir.

Yukarıdaki sözel ifadelerden anlaşılacağı gibi, her bir kural, *e* ve *de* yi temsil eden bulanık küme kesişimleri ile *du*'yu temsil eden bulanık küme arasındaki bulanık ilişkiyi tanımlamaktadır

Bütün kurallar işlenip, her bir kurala ilişkin bulanık sonuç elde edildikten sonra, bu sonuçlar durulaştırılarak istenilen gerçek sonuç belirlenir. Durulaştırma işlemi, ise bulanık denetleyicinin *Durulaştırma* biriminde gerçekleştirilir. Bulanık denetim algoritmasının son aşaması olan *durulaştırıcıda* bilinen durulaştırma yöntemlerinden uygun olan biri kullanılarak bu işlem yapılır. Bu makalede **alanların merkezi** yöntemi kullanılarak çıkış işaretindeki değişim elde edilmiştir.

4. DEĞERLENDİRMELER

Bulanık mantık tabanlı denetleyici ile yapılan uyartım denetiminde sistem diğerlerine göre daha basite indirgenmiş olup, elde edilen tepke de daha az genlikli ve daha kısa sürede sönen bir yapıya

sahiptir. Regülatör yükselteç tarafından eklenen zaman gecikmesi kaldırıldığından tepke süresi kısalmıştır. Yalnız bu defa da bulanık denetim algoritmasının hızı gündeme gelmektedir. Eğer yavaş işleyen bir algoritma ve yavaş bir bilgisayar kullanılırsa bu tepke süresi uzayabilir. Bulanık mantık dnetiminin kullanılması sistemi basitleştirdiği için maliyetini de düşürecektir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Zadeh, L.A. "Fuzzy sets", *Information and Control* 8, 338-353, 1965.
- [2] Maiers, J. and Sherif, Y.S. "Applications of fuzzy set theory", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-15, No. 1, 175-189, January/February 1985.
- [3] Mamdani, E.H. and Assilian, S. "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", *Int. J. Man-Machine Studies* 7, 1-13, 1975.
- [4] Hiyama, T., K. Miyazaki and H. Satoh. "A fuzzy logic excitation system for stability enhancement of power systems with multi-mode oscillations.", *IEEE Transactions on Energy Conversion* Vol. 11, No. 2, pp. 449-454, June 1996.
- [5] Altaş, İ. H., "A Fuzzy Logic Controlled Static Phase Shifter for Bus Voltage Regulation of Interconnected Power Systems", *ICEM'98 - International Conference on Electrical Machines*, İstanbul, Turkey, pp.66-71, 2-4 September 1998.
- [6] Xiaohong Guan, P.B. Luh and B. Prasannan."Power system scheduling with fuzzy reserve requirements.", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, No. 2, pp. 864-869, 1996.
- [7] Liu, W.-H.E. and X. Guan. "Fuzzy constraint enforcement and control action curtailment in an optimal power flow.", *EEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, No.2,pp. 639-645, 1996
- [8] Mori, H. and H. Kobayashi. "Optimal fuzzy inference for short-term load forecasting.", *IEEE Transactions on Power Systems* Vol. 11, No. 1, pp. 390-396, February, 1996.
- [9] El-Hawary, M. E., *Electric power applications of fuzzy systems*, IEEE Press, 1998.
- [10] Sauer, P.W. and Pai, M.A., *Power Systems Dynamics and Stability*, Prentice-Hall, Inc., 1998.
- [11] Anderson, P.M. and Fouad, A.A., *Power system control and stability*, IEEE Press, 1993.
- [12] Crenshaw, M.L., et al, "Excitation system models for power system stability studies", IEEE Committee Report, *IEEE Trans. On Power Apparatus and and Systems*, Vol. PAS-100, No. 2, pp. 494-509, February 1981.