Bulanık Mantık ve PI Denetleyici ile Sıvı Sıcaklık Denetimi ve Dinamik Performans Karşılaştırması

A.GANİ[1], H.AÇIKGÖZ[2], Ö.F.KEÇECİOĞLU[1], M.ŞEKKELİ[1]

[1] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş/Türkiye, agani@ksu.edu.tr
1 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş/Türkiye, fkececioglu@ksu.edu.tr
1Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş/Türkiye, msekkeli@ksu.edu.tr
2Kilis 7 Aralık Üniveristesi, Kilis/Türkiye, hakanacikgoz@ksu.edu.tr

***Özet* – Endüstriyel tesislerde su ve benzeri likitlerin doldurulduğu depolarda sıvı sıcaklık denetiminin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Birçok endüstriyel tesiste sıvı sıcaklık denetimi sistem düzeninin en önemli parçasıdır. Bu tesisler için bazı durumlarda sıvı sıcaklığının optimum denetiminin yapılmaması maddi ve manevi zararlara yol açabilir. Bulanık mantık denetim ve geleneksel denetim yöntemleri birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir sıvı tankının içindeki sıvının sıcaklık denetimi bulanık mantık ve PI denetleyici ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve dinamik performans karşılaştırması yapılmıştır. Analiz çalışmaları ve performans artırıcı çalışmalara imkan verdiği için benzetim Matlab/Simulink'te gerçekleştirilmiştir.**

Anahtar Kelimeler- Bulanık Mantık, PI Denetleyici, Sıvı Sıcaklık Denetimi

***Abstract* - In industrial plants, liquid temperature control must be made accurately in warehouses where water and the like which is filled with liquid. Liquid temperature control is the most important part of the system layout in many industrial plants. Failure to make the optimum control of liquid temperature can lead to moral and material damages for these plants in some cases. Fuzzy logic control and traditional control methods are used in many applications. In this study, the temperature control of the liquid in a liquid tank was made separately with fuzzy logic controller and a PI controller and dynamic performance comparison. Simulation has been realized in Matlab/Simulink because it allows analyzing work and performance enhancing activities.**

Keywords – Fuzzy Logic, PI Controller, Liquid Temperature Control

I. GİRİŞ

Günümüz imalat sanayinde kullanılan makinelerin hızlı çalışmaları, üretimin artması bakımından önemlidir. Üretimde insan faktörünün en aza indirilmesi, üretimin kalitesi ve üretimin eşdeğerliği bakımından önem arz etmektedir. Bunu gerçekleştirecek sistemlere otomasyon sistemleri adı verilmektedir [1,3].

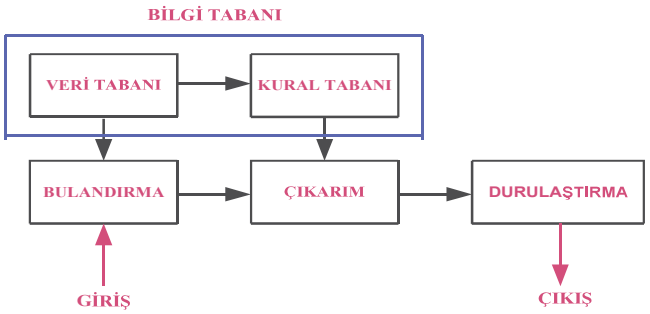
Endüstriyel süreç denetiminde bazı zorluklar vardır. Bu zorluklar sürecin matematiksel modelinin bilinmemesi, denetlenecek sistemin lineer olmaması, ölçme zorlukları, model parametrelerinin zamanla büyük değişiklikler gösterebilmesidir. Ayrıca, istenilen sistem davranışı ve bunun gerçekleştirilmesi için gerekli sınırlamalar nümerik değerlerle ifade edilemeyebilir.

Böyle durumlarda bir uzman kişiden yararlanmak gerekir. Uzman kişi denetiminde kesin matematiksel ilişki yerine "sıcak,"az sıcak","ılık", "soğuk" gibi sözel ifadeler kullanılır. Bulanık denetim bu tür bulanık mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur [4-6]. BMD sistemin herhangi bir matematiksel modeline ihtiyaç duymadan tamamen uzman kişinin bilgi ve becerisine dayandığı için endüstri de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır ve oldukça iyi sonuçlar vermektedir[7]. Bulanık mantık, su arıtma denetimi, metro denetimi, elektronik pazarlar, otomotiv ürünleri, ısı, sıvı, gaz akımı denetimleri, kimyasal ve fiziksel süreç denetimleri gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [8]. Günümüzde sıcak su; sera ve bina ısıtması, kerestecilik, kağıt sanayi, tekstilde dokuma, boyama ve terbiye işletmeleri, dericilik, kimyasal madde üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada silindirik bir tanktaki sıvının sıcaklık denetimi bulanık mantık denetleyici ve PI denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiş ve dinamik performans karşılaştırması yapılmıştır. İkinci bölümde bulanık mantık denetleyicinin çalışma prensibi, üçüncü bölümde PI denetleyicinin çalışma prensibi, dördüncü bölümde sistemin modellenmesi, beşinci bölümde yapılan çalışmadan elde edilen benzetim çalışmaları,altıncı bölümde ise sonuçlar tartışılmaktadır.

II. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ

İlk BMD küçük bir buhar makinesini denetlemek için Mamdani ve Assilian tarafından gerçekleştirilmiştir. BMD algoritması, sezgisel denetim kurallar kümesinden içermektedir ve dilsel terimleri ifade etmek için bulanık kümeler ve kuralları değerlendirmek için bulanık mantık kullanılmaktadır. Genel bir BMD blok diyagramı şekil 1'de verilmiştir. BMD, genel yapısıyla bulandırma birimi, bulanık çıkarım birimi, durulama birimi ve bilgi tabanı olmak üzere

dört temel bileşenden oluşmuştur.



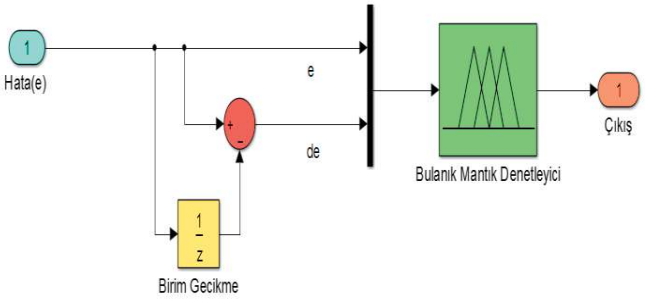
Şekil 1: Genel BMD yapısı

Bulandırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir.Bulanık çıkarım birimi, bulandırma biriminden gelen bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzernde uygulayarak bulanık sonuçlar üretilmektedir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. Bu kurallar If-Then mantıksal ifadeleri kullanılarak oluşturulur. Bu birimde elde edilen değer kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir. Durulama birimi, karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerin elde edilmesini sağlar. Durulama, bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir. Durulama işleminde değişik yöntemler esas alınmaktadır. Ağırlık merkezi yöntemi en yaygın kullanılan durulama yöntemidir.Bilgi tabanı, denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir [9-10]. Bu çalışmada tasarlanan BMD için iki tane giriş seçilmiştir. Bu girişler hata ve hata değişimidir. Hata (e), istenen seviye değeri (r) ile gerçek seviye değeri (y) arasındaki farktır. Hata değişimi $\Delta e(k)$, mevcut hata e(k) ile önceki hata e(k-1) arasındaki farktır. k simülasyon programındaki iterasyon sayısını göstermek üzere hata ve hata değişiminin ifadesi denklem 1 ve 2'deki gibi olacaktır.

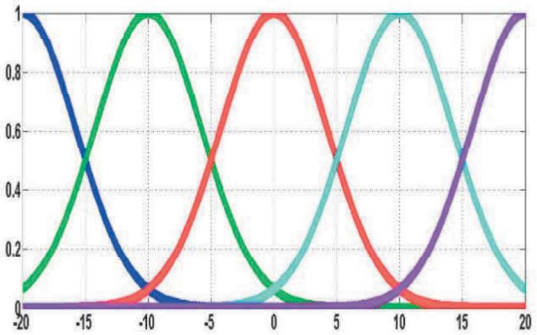
$$e(k)=r(k)-y(k) \quad (1)$$

$$\Delta e(k)= e(k)-e(k-1) \quad (2)$$

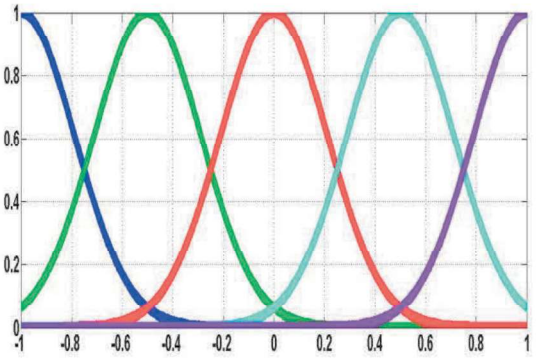
BMD'nin bulandırma işleminde giriş ve çıkış değişkenleri sembolik ifadelere dönüştürülmektedir. BMD'nin dilsel değişkenleri VS (Çok Küçük), S (Küçük), Z (Sıfır), L (Büyük), VL (Çok Büyük),) şeklinde kullanılmıştır. BMD'nin matlab/simulink blok diyagramı şekil 2'de verilmiştir.Sisteme verilen her bir giriş için gauss tipi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan gauss üyelik fonksiyonları ve denetim yüzeyi şekil 3-6'da gösterilmiştir. [11].



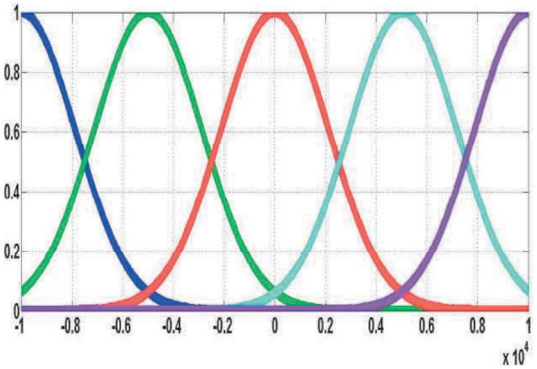
Şekil 2:BMD'nin Matlab/Simulink Blok Diyagramı



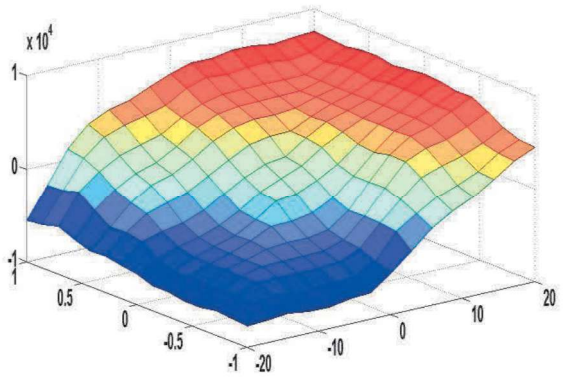
Şekil 3:Hata için 5 Kurallı Gauss Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4:Hata Değişimi için 5 Kurallı Gauss Üyelik Fonksiyonu



Şekil 5:Çıkış için 5 Kurallı Gauss Üyelik Fonksiyonu



Şekil 6: 5 Kurallı BMD'nin Denetim Yüzeyi

Bulanık çıkarım biriminde girişlerin çıkış ile ilişkisi belirlenen kurallarla sağlanır. Kurallar yazılırken AND (ve) bulanık operatörü kullanılmıştır. Oluşturulan kural tablosu tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 5x5 kural tablosu

u		Δe				
		VS	S	Z	L	VL
e	VS	VS	VS	VS	S	Z
	S	VS	VS	S	Z	L
	Z	VS	S	Z	L	VL
	L	S	Z	L	VL	VL
	VL	Z	S	PL	VL	VL

Aşağıda oluşturulan bu kurallardan bazıları verilmiştir.

Kural 5: Eğer *e* VS ve Δ*e* VL ise *u* Z
Kural 8: Eğer *e* S ve Δ*e* Z ise *u* S
Kural 15: Eğer *e* Z ve Δ*e* VL ise *u* VL
Kural 22: Eğer *e* VL ve Δ*e* S ise *u* S

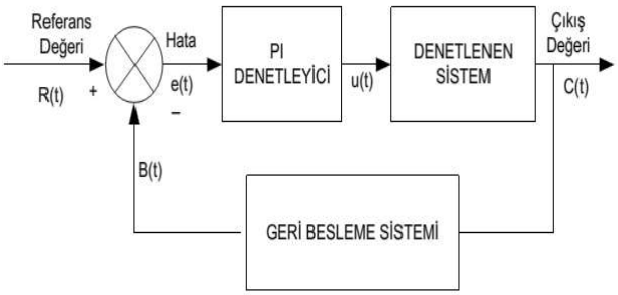
Durulama biriminde, her kural için hata ve hata değişiminin üyelik ağırlık değerleri bulunarak, bu iki değerin en az üyelik ağırlığı ve buna göre çıkış üyelik (u) değerleri tespit edilir. Durulama biriminin çıkışında elde edilen sayısal değer sisteme uygulanır.[12].

III. PI DENETLEYİCİ

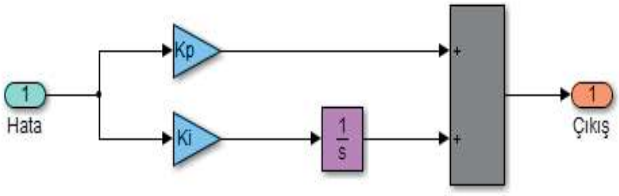
Bir PI doğrusal denetleyici, oransal ve integral alıcı kısımlardan oluşur. PI denetleyici denetim sistemlerinde genellikle kalıcı durum hatalarını en aza indirgemek için kullanılır[13]. PI denetleyicinin çıkışı denklem 3'de verilmiştir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt \qquad (3)$$

PI denetleyici kullanılarak denetlenen sisteme ait blok diyagramlar şekil 7-8'de verilmiştir[14].

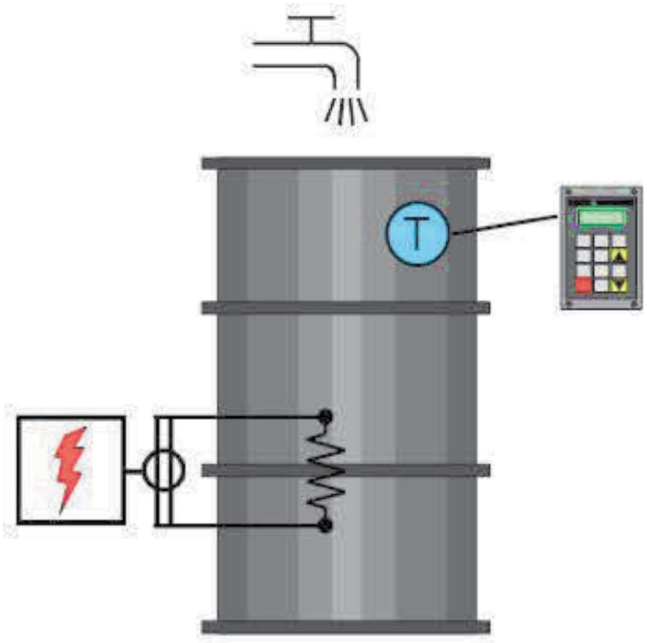


Şekil 7: PI denetleyicili sistemin blok diyagramı



Şekil 8: PI denetleyicinin Matlab/Simulink blok diyagramı

IV. SİSTEMİN MODELİ



Şekil 9: Sıvı Sıcaklık Sistemi

Isı transferi (geçişi), sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan bir fiziksel mekanizmadır. Doğada ısı akışı yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir. Isı bir noktadan diğer bir noktaya üç farklı mekanizma ile transfer edilebilir: iletim, taşınım ve ışınım gibi. Buradaki uygulamada söz konusu ısı geçiş türlerinden iletim ve taşınım bir arada bulunmaktadır. Burada iletim ve taşınım ile çevreye ısı kaybı olmakta ve bir rezistans vasıtasıyla bu kayıp karşılanarak sistemin sıcaklığı sabit tutulmaktadır. Enerjinin korunumu (Termodinamiğin I. Kanunu) gereğince [15];

Sistemin Enerjisindeki Değişim = Giren Enerji – Çıkan Enerji + Üretilen Enerji

$$\Delta E_{sis} = E_g - E_ç + E_ü \quad (4)$$

Sistemin sıcaklığı sabit kabul edildiğinde sistemin enerjisindeki değişim sıfır olacağından ve sistemde enerji üretimi olmadığından enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki şekli alır;

$$E_g = E_ç \quad (5)$$

Bu denklemi sisteme uygularsak;
Sisteme giren Elektrik enerjisi = Sıvının Isıtılması için Gerekli Olan Isı Enerjisi + Sistemden Çevreye Olan Isı enerjisi

$$E_e = Q_s + Q_k \quad (6)$$

Sıvının ısıtılması için gerekli olan ısı enerjisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$Q_s = m \times C \times \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

Burada m sıvının kütlesi, C sıvının özgül ısısı ve Dt/dt zamana bağlı sıcaklık farkını göstermektedir. Sistemden çevreye olan ısı enerjisi iletim ve taşınım toplamı olarak şu şekilde hesaplanır [16];

$$Q_k = U \times \frac{dT}{dt} \quad (7)$$

Burada U karma ısı transfer katsayısı, Dt/dt zamana bağlı sıcaklık farkını göstermektedir.U karma ısı transfer katsayısı takip eden denklemle hesaplanır;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{(2\pi r_1 H)h_i} + \frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{(2\pi H)k} + \frac{1}{(2\pi r_2 H)h_d}} \quad (8)$$

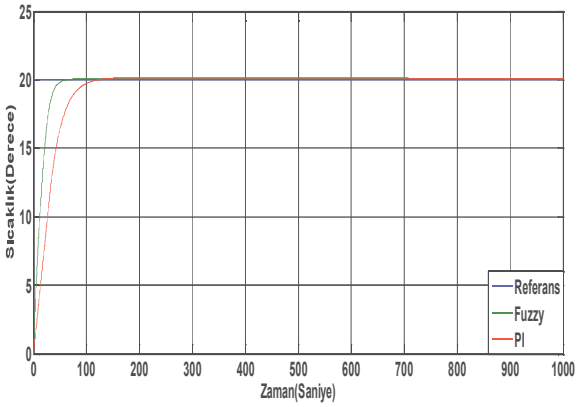
Burada h_i ve h_d sırasıyla iç ve dış ısı taşınım katsayısı, k ısı iletim katsayısı, r_1 ve r_2 sırasıyla tankın iç ve dış yarı çapı, ve H ise tankın boyunu göstermektedir. Sonuç olarak enerjinin korunumu denklemi yazarsak;

$$E_e = (m \times C)\frac{dT}{dt} + \left(\frac{1}{\frac{1}{(2\pi r_1 H)h_i} + \frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{(2\pi H)k} + \frac{1}{(2\pi r_2 H)h_d}} \right) \frac{dT}{dt} \quad (9)$$

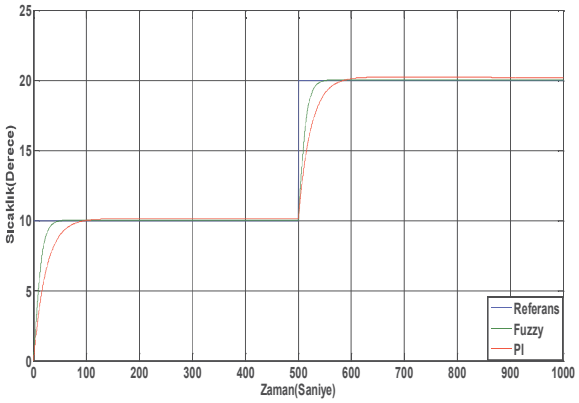
bağıntısı elde edilmiş olur. Burada tankın boyutları r_1=0.5m, r_2=0.5m ve tankın boyu H=2 metre, tankın cidar kalınlığı L=10mm, iç ve dış ısı taşınım katsayısı h_i=2800W/m^{2}K, h_d=2800W/m^{2}K, ısı iletim katsayısı k=50W/mK alınmıştır.

V.BENZETİM ÇALIŞMALARI

Kapalı-döngü sistemlerde kararlı hale ulaşma sürecinde; P(oransal) denetleyici sistemin yükselme zamanının azalmasını sağlar, I (integral) denetleyici sistemi aşmaya ve kararsızlığa yönlendirir, D(türevsel) denetleyici sistemin aşma ve kararsızlığını azaltır[17-19].Bulanık mantık denetimde kontrol stratejisi kural tabanına ve uzman kişinin öngörülerine bağlıdır[20]. Şekil 10'da 20^{0}C için bulanık mantık denetleyici ve PI denetleyicinin sistem cevabı verilmiştir. Şekil 11'de ise 35^{0}C için bulanık mantık denetleyicinin sistem cevabı verilmiştir.



Şekil 10: 20^{0}C için bulanık mantık ve PI denetleyicinin cevabı



Şekil 11: 10-20^{0}C için bulanık mantık ve PI denetleyicinin cevabı

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada kapalı bir ortamdaki sıvının sıcaklık denetimi bulanık mantık ve PI denetleyici ile aynı şartlar altında gerçekleştirilmiş ve dinamik performans karşılaştırması yapılmıştır. Matlab/Simulink benzetim programından elde edilen grafiklerden de görüldüğü gibi, farklı referans sıcaklıkları izleme başarımında bulanık mantık denetiminin, kontrol stratejisinin kural tabanına dayalı olması ve karar verme yeteneğine sahip olmasından dolayı PI denetime göre, çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bulanık mantık denetim PI denetime göre daha iyi bir dinamik performans sağlamıştır.

VII. KAYNAKLAR

[1] Mergen Faik, "Elektrik Makineleri (Doğru Akım Makineleri) " ,Birsen Yayınevi 2006.

[2] Kuo Benjamin C., "Otomatik Kontrol Sistemleri",Yedinci Baskı, Prentice Hall 1995.

[3] J.G. Zigeler, N.B. Nichols, "Optimization Setting for Automatic Controller", Trans. ASME, Vol. 64, pp. 756- 769, 1942.

[4] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Inform, Control, Vol.8, 1965, pp.338-353

[5] Cheung, J.Y.M, Cheng, K.W.E, Kamal, A.S., "Motor Speed Control by Using a Fuzzy Logic Model Reference Adaptive Controller", 6th International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, pp.430-435,1996.

[6] Akar, M., "Bulanık Mantık Yöntemiyle Bir Servo Motorun Kontrolü Ve Geleneksel Yöntemlerle Karşılaştırılması",Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.

[7] Özçalık, H.R., Türk, A., Yıldız, C., Koca, Z., "Katı Yakıtlı Buhar Kazanında Yakma Fanının Bulanık Mantık Denetleyici ile Kontrolü", KSÜ Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 2008.

[8] Aslam, F., Haider, M.Z., "An Implementation and Comparative Analysis of PID Controller and their Auto Tuning Method for Three Tank Liquid Level Control" International Journal of Computer Applications , Volume 21– No.8, May 2011.

[9] Jiang, W., "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank", Journal of Software, Vol. 6,, No. 6, June 2011.

[10] Jiang, W., "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank", Journal of Software, Vol. 6,, No. 6, June 2011.

[11] Özçalık, H.R., Kılıç, E., Yılmaz, Ş., Gani, A.,"Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetiminde Farklı Üyelik Fonksiyonlarının Denetim Performansına Etkisinin İncelenmesi", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), 26-28 Eylül 2013, Malatya.

[12] Gani, A., Özçalık, H.R., Açıkgöz, H., Keçecioğlu, Ö.F., Kılıç, E.,"Farklı Kural Tabanları Kullanarak PI-Bulanık Mantık Denetleyici ile Doğru Akım Motorunun Hız Denetim Performansının İncelenmesi", Akademik Platform Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (APJES), Cilt 2, Sayı 1 , 2014.

[13] Kuo, B.C., Çeviri:Bir, A., 1999, Otomatik Kontrol Sistemleri, Literatür Yayınları:35,s.186-187.

[14] Özlük, F. M., Sayan, H. H., "Matlab GUI ile DA Motor için PID Denetleyicili Arayüz Tasarımı", İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 3 ,10-18, 2013.

[15] Michael J. M., Howard N. S., Daisie D. B., Margaret B. B. 2011. Principles of Engineering Thermodynamics. 7th edition. John Wiley & Sons Ltd,

[16] Çengel Y. A. 2007. Heat and mass transfer: a practical approach.3rd edition. McGraw-Hill.

[17] Dumanay, A.B., "PID, Bulanık Mantık Ve Kayan Kip Kontrol Yöntemleri İle İnternet Üzerinden DC Motor Hız Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir,15-25 (2009).

[18] Açıkgöz, H., Keçecioğlu, Ö.F., Şekkeli, M., "Genetik-PID Denetleyici Kullanarak Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motorunun Hız Denetimi.",Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), 26-28 Eylül 2013, Malatya.

[19] Coşkun, İ., Terzioglu, H., "Gerçek Zamanda Değişken Parametreli PID Hız Kontrolü", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu(IATS'09),13-15 Mayıs 2009,Karabük,Türkiye.

[20] Şekkeli, M., Yıldız, C.,Özçalık H.R., "Bulanık Mantık ve PI Denetimli DC-DC Konvertör Modellenmesi ve Dinamik Performans Karşılaştırması",4. Otomasyon Sempozyumu, 23-25 Mayıs 2007,Samsun,Türkiye.