Examine of Speed Control Performance of Permanent Magnet DC Motor with PI – Fuzzy Logic Controller by Using Different Membership Functions

Farklı Üyelik Fonksiyonları Kullanarak PI-Bulanık Mantık Denetleyici ile Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motorunun Hız Denetim Performansının İncelenmesi

A.Gani[1] , H.Açıkgöz[2], Ö.F. Keçecioğlu[3], M. Şekkeli [4]

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi , Kahramanmaraş/Turkey, ahmetgani8733@gmail.com
[2]Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis/Turkey, hakanacikgoz@kilis.edu.tr
[3]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi , Kahramanmaraş/Turkey, o.fatihkececioglu@gmail.com
[4]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi , Kahramanmaraş/Turkey, msekkeli@ksu.edu.tr

***Abstract*— DC motors are commonly used speed and position control applications in industry because DC motors are easy to supervise and have high performance features. Fuzzy logic control are widely used the speed control of DC motors.In this study, a PI-fuzzy controller is proposed for permanent magnet DC motor speed control. PI-fuzzy controller that is designed has been compared instead of a single type membership function using by different structures membership functions (Triangle, Bell, Gaussian, Trapezoidal) of performance analysis. Simulation has been realized in Matlab/Simulink because it allows analyzing work and performance enhancing activities.**

***Keywords*—Permanent Magnet DC Motor, PI-Fuzzy Controller, Membership Function**

***Özet*— Doğru akım (DA) motorları kolay denetlenmeleri ve yüksek performans özelliklerinden dolayı, endüstride hız ve konum denetimi uygulamalarında sıkça kullanılmaktadırlar. DA motorlarının hız denetiminde bulanık mantık denetim yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sürekli mıknatıslı doğru akım (SMDA) motorunun hız denetimi için bir PI-bulanık denetleyici önerilmiştir. Tasarlanan PI-bulanık denetleyicide tek bir tür üyelik fonksiyonu yerine değişik yapılardaki (Üçgen, Çan, Gaussian, Yamuk) üyelik fonksiyonları kullanılarak performanslarının karşılaştırması yapılmıştır. Analiz çalışmaları ve performans artırıcı çalışmalara imkân verdiği için benzetim Matlab/Simulink'te gerçekleştirilmiştir.**

***Anahtar Kelimeler*— Sürekli Mıknatıslı DC Motor, PI-Bulanık Denetleyici, Üyelik Fonksiyonu**

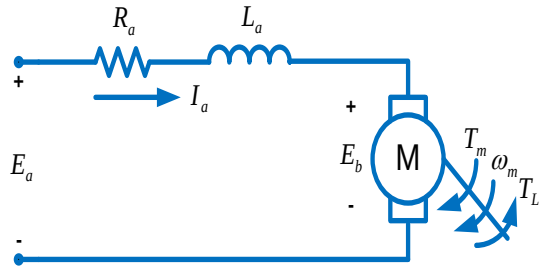
I. GİRİŞ

DA motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Bugün endüstride en yaygın olarak kullanılan elemanlardır. Alternatif akım motorlarının doğrusal olmayan yapılarında dolayı incelenmeleri DA motorlara göre daha zordur [1]. Fakat öte yandan DA motorlarda fırça ve komütatörden dolayı bakımları daha zor ve maliyetlidir. DA motor teknolojisi ve güç elektroniğindeki ilerlemelerle günümüzde motorlarda hacim başına üretilen moment artmış ve kalıcı mıknatıs teknolojisinin ilerlemesiyle fırça-komütatör bakım problemleri en aza indirilmiş ve böylelikle doğru akım motorlarının uygulama alanları daha da genişlemiştir. Birçok uygulamada DA motorunun tercih edilmesinin nedeni diğer motorlara göre hızlarının farklı yöntemlerle rahatça kontrol edilebilme esnekliğine sahip olmasıdır [2,3]. Günümüzde, DA motorlarında genellikle hız veya konum kontrolü yapılmakta, DA motor kontrol yöntemleri çeşitlilik arz etmekte ve klasik denetleyiciler yanında bulanık mantık gibi akıllı yöntemlerde DA motor denetiminde kullanılmaktadır [4-6]. Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanır.

Bulanık mantık denetleyicinin temeli sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık denetleyici (BMD) uygulanırken sistemin matematiksel modellenmesi şart değildir [7]. BMD, zamanla değişen, doğrusal olmayan ve özellikle matematiksel modeli tam olarak bilinmeyen sistemlerin denetlenmesinde son yıllarda klasik denetim yöntemlerine bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır[8]. Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin denetiminin gerçekleştirilmesi tarzında olmuştur. Bu tarihten sonra 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 kullanılmıştır [9]. Bulanık mantık temelli çalışmalar hızla artarken diğer taraftan da bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, tasarlanan sistemlerin gerçeğine uygun bir biçimde dijital ortamda gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Nesneye yönelik yazılımdaki ilerlemeler işlemleri daha da kolaylaştırmaktadır. Özellikle Matlab/Simulink programı kullanıcıya etkili grafik-etkileşim ara yüzü sunan yazılımların başında gelmektedir ve bunun yanında kullanıcılarına tasarladığı sistemin çok çabuk ve en az hata ile sonuç vermesi, akademik çevrelerce de kabul edilmesini sağlamıştır [10-12].

II. SMDA MOTORUNUN DİNAMİK MODELİ

SMDA motorunun hızı devreye uygulanan gerilimle orantılıyken momenti motor akımıyla orantılıdır. DA motor modeli şekil 1'de verilmiştir. Endüvi devresi R_a direncine seri bağlı L_a indüktasından ve E_b zıt e.m.k'den oluşmaktadır.



Şekil 1: SMDA motor eşdeğer devresi

Denklem 1'den de görüldüğü gibi moment (T_m), endüvi akımı (I_a) ve moment sabiti (K_i) ile orantılıdır. E_b zıt emk ise açısal hız ile ilişkilidir ve denklem 2'de verilmiştir.

$$T_m = K_i I_a \tag{1}$$

$$E_b = K_b \omega_m = K_b \frac{d\theta}{dt} \tag{2}$$

Şekil 1'den Newton ve kirchoff kanunlarına göre aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

$$L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a = E_a - K_b \frac{d\theta}{dt} \tag{3}$$

$$J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} = K_i I_a \tag{4}$$

DA motor modeli, durum uzay modeli şeklinde oluşturulabilir ve aşağıdaki denklemlerle gösterilebilir.

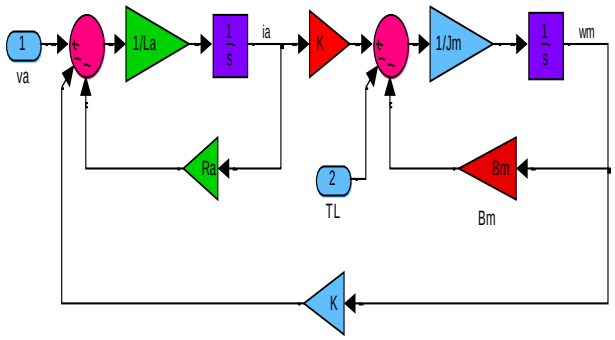
$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{5}$$

$$y = Cx + Du \tag{6}$$

Denklem 2-4'e göre, durum uzay modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{\omega} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_a/L_a & -K_b/L_a & 0 \\ K_i/J_m & -B_m/J_m & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ \omega_m \\ \theta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} E_a \tag{7}$$

$$\omega_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ \omega_m \\ \theta_m \end{bmatrix} \tag{8}$$



Şekil 2: SMDA motorunun Matlab/Simulink Modeli

Tablo 1'de benzetim çalışmalarında kullanılan SMDA motoruna ait parametreler verilmiştir.

Tablo 1: SMDA motorunun parametreleri

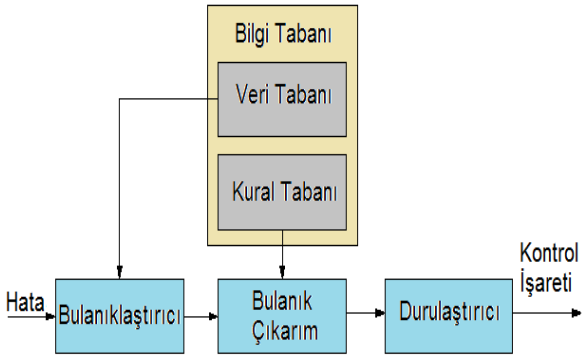
Sembol	Değer
Endüvi Direnci(Ra)	**1.5Ω**
Endüvi İndüktansı (La)	**5e-3 H**
Atalet Momenti(Jm)	**1.5e-4 kgm²**
Motor Sabiti(Ki-Kb)	**0.1**
Sürtünme Katsayısı (Bm)	**1e-3 m/rad/sn**

III. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ

İlk BMD küçük bir buhar makinesinin kontrolü olarak Mamdani ve Assilian tarafından gerçekleştirilmiştir. BMD algoritması, sezgisel denetim kurallar kümesinden oluşmaktadır ve dilsel terimleri ifade etmek için bulanık kümeler ve kuralları değerlendirmek için bulanık mantık kullanılmaktadır [13].

Genel bir BMD blok diyagramı Şekil 3'de verilmiştir. BMD, genel yapısıyla bulandırma birimi, bulanık çıkarım

birimi, durulama birimi ve bilgi tabanı olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur.



Şekil 3: Genel BMD yapısı

Bulandırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeleri ve üyelik derecesi tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişken değerler atanır.

Bulanık çıkarım birimi, bulandırma biriminden gelen bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzerinde 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. Bulanık çıkarım yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılanı ve bu çalışmada da kullanılan yöntem Mamdani yöntemidir.

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.

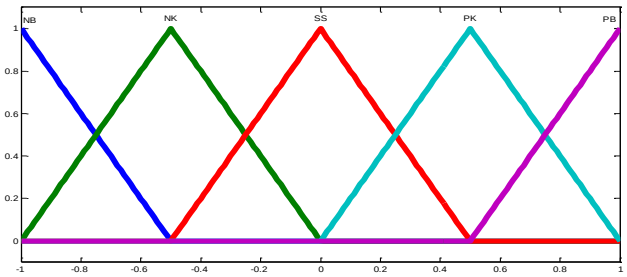
Bilgi tabanı, denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. Bir sistem için kural tabanı geliştirilirken, sistem çıkışını etkileyebilecek giriş değerleri tespit edilmelidir. Bulanık kontrol kuralları genellikle uzman bilgisinden türetilir [14, 15-16].

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 Δe(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 9 ve 10'daki gibi olacaktır.

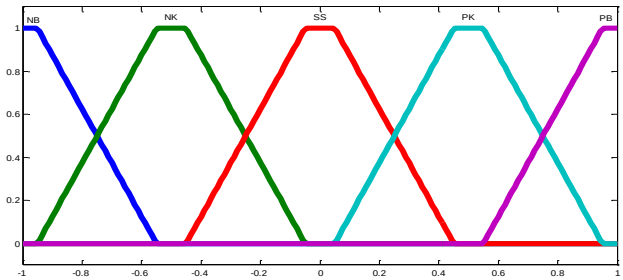
$$e(k)=r(k)-y(k) \quad (9)$$

$$\Delta e(k)= e(k)-e(k-1) \quad (10)$$

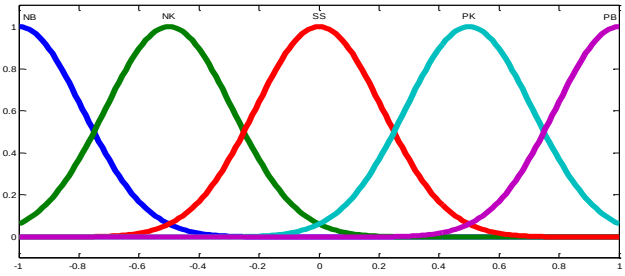
BMD'nin bulandırma işleminde giriş ve çıkış değişkenleri sembolik ifadelere dönüştürülmektedir. BMD'nin dilsel değişkenleri NB (Negatif Büyük), NK (Negatif Küçük), SS (Sıfır), PK (Pozitif Küçük), PB (Pozitif Büyük) şeklinde kullanılmıştır. Sisteme verilen her bir giriş için üyelik fonksiyonlarının seçimi tamamen keyfi olmakla birlikte üçgen, yamuk, sinüsoid, cauchy, çan, sigmoid, gaussian tiplerde olabilmektedir. Sistemdeki BMD'de kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, gaussian ve çan biçimli fonksiyonlardır. Kullanılan bu üyelik fonksiyonları Şekil 3-6'da gösterilmiştir [17-20].



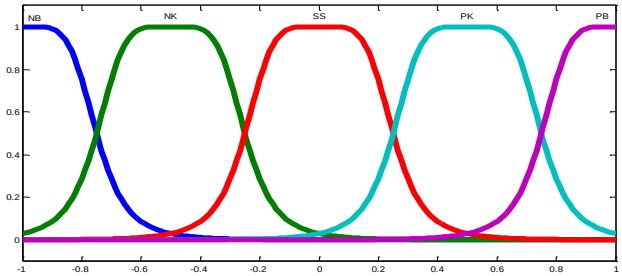
Şekil 4: Beş kurallı üçgen üyelik fonksiyonu



Şekil 5: Beş kurallı yamuk üyelik fonksiyonu



Şekil 6: Beş kurallı gaussian üyelik fonksiyonu



Şekil 7: Beş kurallı çan üyelik fonksiyonu

Yukarıdaki üyelik fonksiyonları için kullanılan bağıntılar denklem(11-14)'de verilmektedir.

$$A_{\text{üçgen}} = \max\left[min\left(\frac{x-x_1}{x_T-x_1}, \frac{x_2-x}{x_2-x_T}\right), 0\right] \quad (11)$$

$$A_{yamuk} = \max\left[min\left(\frac{x-x_1}{x_{T1}-x_1}, 1, \frac{x_2-x}{x_2-x_{T2}}\right), 0\right] \quad (12)$$

$$A_{gaussian} = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_T}{W}\right)^2} \quad (13)$$

$$A_{çan} = \frac{1}{1+\left|\frac{x-x_T}{d}\right|^{2m}} \quad (14)$$

Bulanık çıkarım biriminde girişlerin çıkış ile ilişkisi belirlenen kurallarla sağlanır. Kurallar yazılırken AND (ve) bulanık operatörü kullanılmıştır. Bu çalışmada 25 adet kural yazılmıştır. Kural tablosu Tablo 2'de verilmiştir.

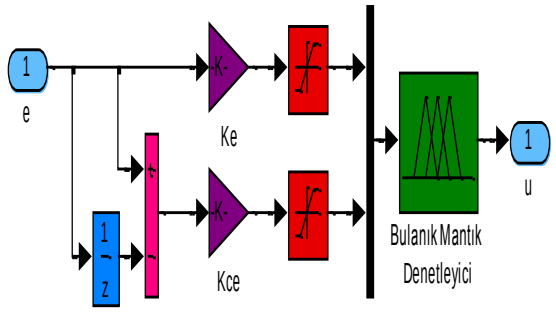
Tablo 2: Bulanık kural tablosu

u		Δe				
		NB	NK	SS	PK	PB
e	NB	NB	NB	NB	NK	SS
	NK	NB	NB	NK	SS	PK
	SS	NB	NK	SS	PK	PB
	PK	NK	SS	PK	PB	PB
	PB	SS	PK	PB	PB	PB

Aşağıda oluşturulan bu kurallardan bazıları verilmiştir.

Kural 5: Eğer e NB ve Δe PB ise u SS
Kural 8: Eğer e NK ve Δe SS ise u NK
Kural 15: Eğer e SS ve Δe PB ise u PB
Kural 22: Eğer e PB ve Δe NK ise u PK

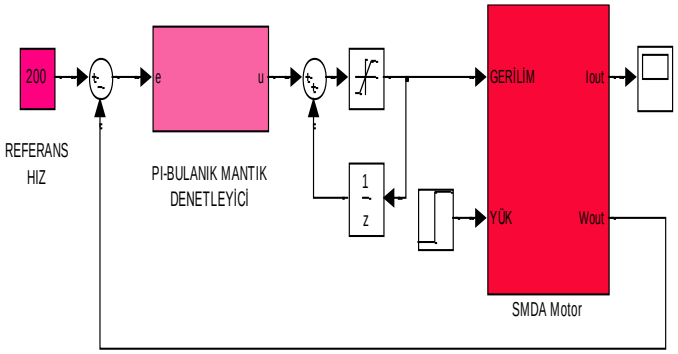
Durulama biriminde, her kural için hata ve hata değişiminin üyelik ağırlık değerleri bulunarak, bu iki değerin en az üyelik ağırlığı ve buna göre çıkış üyelik (u) değerleri tespit edilir. Durulama biriminin çıkışında elde edilen sayısal değer sisteme uygulanır. PI-bulanık mantık denetim modelinin yapısı şekil 7'de gösterilmektedir.



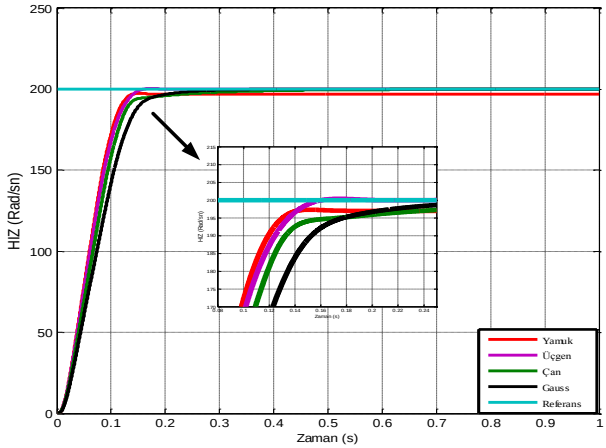
Şekil 8: PI-Bulanık Mantık Denetim Sistemi

IV. BENZETİM ÇALIŞMALARI

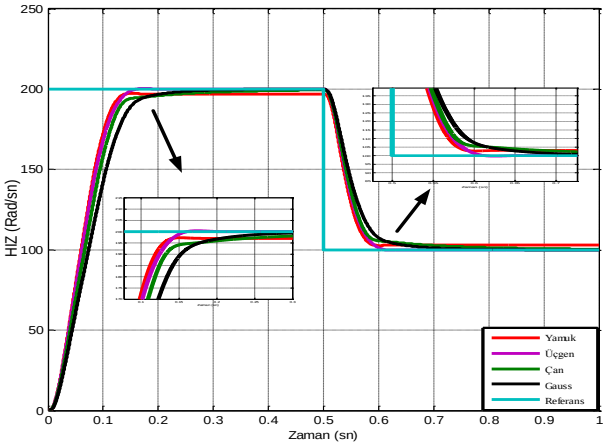
Tasarlanan bu sistemde, SMDA motorunun hız denetim ünitesine farklı üyelik fonksiyonlarıyla oluşturulan PI tip BMD uygulanmıştır. Matlab/simulink ortamında hazırlanan SMDA motor sistemi şekil 8'de verilmiştir. Farklı üyelik fonksiyonları ile oluşturulan denetleyiciler için aynı şartlar altında hız denetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Denetim sisteminin başarısı referans seviye değerlerine kısa sürede oldukça küçük hata değerleriyle ulaşılmasıyla kendini göstermektedir.



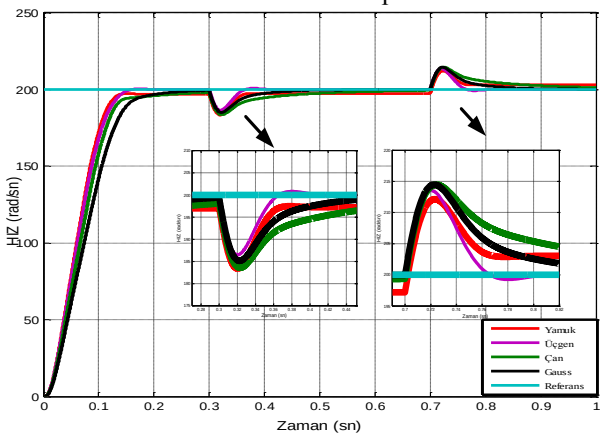
Şekil 9: SMDA motorunun Matlab/Simulink Modeli



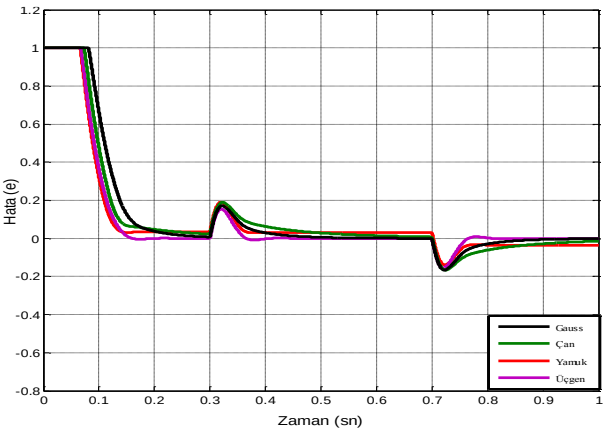
Şekil 10: 200 rad/sn basamak hızda ve yüksüz durumda elde edilen hız cevapları



Şekil 11: 200/100 rad/sn basamak hızlarda ve yüksüz durumda elde edilen hız cevapları



Şekil 12: 200 rad/sn basamak hızda ve yüklü durumda elde edilen hız cevapları



Şekil 13: Yüklü durumda elde edilen hata

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada PI-BMD ile SMDA motorunun hız denetim performansı Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. SMDA motorunun hız denetiminde, farklı üyelik fonksiyonlarına sahip olan (üçgen, yamuk, gauss ve çan) PI-bulanık tip denetleyici kullanılmıştır. Bütün üyelik fonksiyonları için aynı koşullar altında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sistem çıkışı incelenmiştir.

Benzetim çalışmalarına göre bütün referans hızları izleme başarımında en az hata ve en iyi hız cevabını, üçgen üyelik fonksiyonuna sahip olan PI-bulanık tip denetleyici vermektedir.

VI. KAYNAKLAR

[1] Flores,J.L. ve Ramirez, H.S., DC Motor Velocity Control Through a DC-to-DC Power Converter, 43rd IEEE Conference on Decision and Control,Bahamas,pp.5297-5302,2004.

[2] Awad, A.S., Mohamed, E.A., Negm,M.M., Said, A.I., Speed Control of DC motor Drives Based on Efficient Utilization of Energy and Optimal Performance, CIRED 97 Conference Publication No. 438, IEE, pp. 5.22.1-5.22.5, 1997

[3] G. Bal, " *Doğru akım makinaları ve Sürücüleri,* " Seçkin Yayıncılık, 2001.

[4] El-Samahy, A.A., Speed Control of Using Adaptive Variable Structure Control, Power Electronics Specialist Conference, Vol.3, pp.1118-1123, 2000.

[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] Taheri, A., Tarihi, M.R, Adaptive Position Control of Three Degrees Freedom Platform, 2006 1st IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 1-5, 2006.

[7] Elmas, Ç., "Yapay Zeka Uygulamaları", Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2011.

[8] Passino,K., and Yurkovich S., Fuzzy Control, Addison-Wesley Publishing Company, 1998.

[9] 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.

[10] İ.H. Altaş, "Bulanık Mantık: Bulanık Denetim", Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e,Sayı 64, s:76-81,1999.

[11] İ.H. Altaş, "Bulanık Mantık Denetleyici: Matlab/Simulink Ortamı için Bir Modelleme", *Otomasyon Dergisi*, Bileşim Yayınları, Mart 2007, Sayfalar: 58-62.

[12] Hilmi Zenk, İsmail H. Altaş, Farklı Kural Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyicilerle DA Motorunu Denetlerken Performanslarının Kıyaslanması, TOK'10 Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 21-23 Eylül 2010, Gebze, Türkiye.

[13] 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.

[14] S.N.Engin, J.Kuvulmaz, V.E.Ömürlü "Fuzzy Control of an ANFIS Model Representing A Nonlinear Liquid-Level System" Neural Comput & Applic (2004) 13:202-210.

[15] 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.

[16] Berk, P., Stajnko, D., Vindis, P., Mursec, B., Lakota, M., "Synthesis Water Level Control by Fuzzy Logic", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 45, Issue 2, April 2011.

[17] Berk, P., Stajnko, D., Vindis, P., Mursec, B., Lakota, M., "Synthesis Water Level Control by Fuzzy Logic", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 45, Issue 2, April 2011.

[18] Akyazı, Ö., Usta, M.A., Akpınar, A.S., "Kapalı Ortam Sıcaklık ve Nem Denetiminin Farklı Üyelik Fonksiyonları Kullanılarak Gerçekleştirilmesi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

[19] Acıkgoz, H., Sekkeli M., "Examine of Speed Control Performance of Direct Torque Controlled Induction Motor using Fuzzy Logic Controller", Academic Platform Journal of Engineering and Science, Vol.1 pp.50-57, 2013.

[20] Gani, A., Kılıç, E., Yılmaz, Ş., "Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetimi İçin Sugeno Çıkarım Yönteminin Performansının İncelenmesi", İBK 2013.