

Sürekli Miknatıslı Doğru Akım Motorunun Hız Denetiminde PI-Bulanık Mantık Tipi Denetim Yönteminin Başarımının İncelenmesi

Hasan Rıza Özçalık¹, Ahmet Gani¹, Hakan Açıköz², Ö. Fatih Keçecioglu¹

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı Bölümü, Kilis, Türkiye

Özet:

Elektrik makinaları çeşitlerinden biri olan doğru akım motorları endüstride konum ve hız denetiminde sıklıkla tercih edilen motorlardandır. Doğru akım motorlarının hız denetiminde bulanık mantık esaslı denetim yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantık esaslı denetimin, geleneksel denetim yöntemleri ile elde edilen sonuçlardan daha üstün olduğunu birçok uygulama göstermektedir. Bu çalışmada, doğru akım motorunun hız denetimi için bir PI-bulanık mantık denetleyici önerilmiştir. PI-bulanık mantık denetleyici ile doğru akım motorunun yük etkisinde ve yüksüz durumda hız denetim performansı sugeno çıkarım yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Benzetim çalışmaları Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Oransal İntegral-Bulanık Mantık Denetim, DC Motor, Sugeno

Abstract:

DC motors which are one of the electrical machines types are commonly preferred speed and position control applications in industry. Fuzzy logic based control are widely used the speed control of DC motors. Many applications show that the fuzzy logic based controllers provide superior results compared to conventional control methods. In this study, a PI-fuzzy logic controller is proposed for DC motor speed control. DC motor speed control performance has been examined in case of load and no load effect by using sugeno inference method. Simulation studies have been done in Matlab/Simulink.

Key words: PI-Fuzzy Logic Control, DC Motor, Sugeno

1. GİRİŞ

Doğru akım motorları endüstride hızlı taşımacılık, elektrik trenleri, elektrikli taşıtlar, elektrikli vinçler, yazıcı, disket sürücü, kağıt endüstrisi gibi yerlerde ayarlanabilir hız ve hassas konumlandırma uygulamalarında kullanılırlar.[1]. Birçok uygulamada doğru akım motorunun tercih edilmesinin nedeni diğer motorlara göre hızlarının farklı yöntemlerle rahatça kontrol edilebilme esnekliğine sahip olmasıdır[2-3]. Doğru akım motorlarının hız denetimlerinin hassas bir şekilde yapılmasında bugüne kadar yapay sinir ağları, bulanık mantık ,PID gibi çeşitli denetim yöntemleri kullanılmıştır.[4] Bu çalışmada doğru akım motorunun hız denetimi PI-

bulanık mantık denetleyici ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantığın temeli insanın herhangi bir işlemi kontrol etmedeki düşünsel ve sezgisel davranışının benzetimine dayanmaktadır. İnsan bir sistemi (işlemi) kontrol ederken kafasında sistemin matematiksel modelini bilmemekte fakat sistemi bulunduğu gerçek durumdan istenilen duruma götürmek için beceri ve deneyimlere dayalı olarak bir kontrol yöntemi izleyerek amaca ulaşmaktadır[5]. Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin denetiminin gerçekleştirilmesiyle olmuştur. Bu tarihten sonra bulanık mantık, su arıtmadan metro denetimine, elektronik pazarından, otomotiv ürünlerine, ısı, sıvı, gaz akımı denetiminden, kimyasal ve fiziksel süreç denetimlerine kadar bir çok alanda kullanılmıştır [6]. Bu çalışmanın ikinci bölümünde doğru akım motorunun modellenmesi, üçüncü bölümünde bulanık mantık denetleyicinin çalışma prensibi, dördüncü bölümünde bulanık mantık çıkarım yöntemleri, beşinci bölümünde yapılan çalışmadan elde edilen benzetim çalışmaları, altıncı bölümde ise sonuçlar tartışılmaktadır.

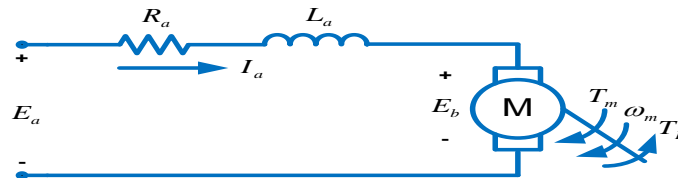
2. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motorunun Modellenmesi

DA motorları bilindiği gibi elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makineleridir. Faraday kanuna göre gerekli şartlar sağlandığında bir elektrik makinesi hem motor hem de generatör olarak çalışabilir [3]. Şekil 1 bir elektrik makinesinin motor ve generatör çalışmasını göstermektedir.



Şekil.1. Elektromekanik Enerji Dönüşümü

Doğru akım motorunun hızı devreye uygulanan gerilimle orantılıyken momenti motor akımıyla orantılıdır. Doğru akım motor modeli şekil 2'de verilmiştir. Endüvi devresi R_a direncine seri bağlı L_a indüktasından ve E_b zıt e.m.k'den oluşmaktadır.



Şekil.2. Doğru akım motoru eşdeğer devresi

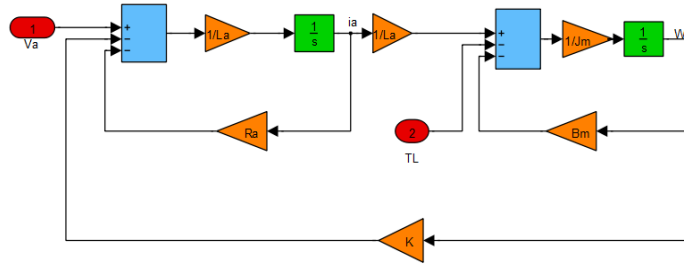
Denklem 1'den de görüldüğü gibi moment (T_m), endüvi akımı (I_a) ve moment sabiti (K_i) ile orantılıdır. E_b zıt emk ise açısal hız ile ilişkilidir ve denklem 2'de verilmiştir. Şekil 2'den newton ve kirchoff kanunlarına göre denklem 3 ve 4 yazılabilir.

$$T_m = K_i I_a \quad (1)$$

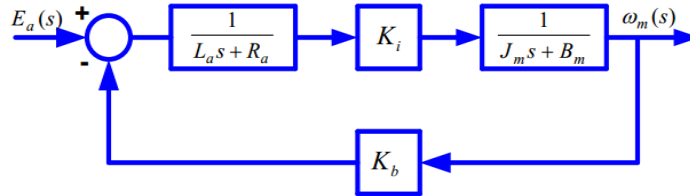
$$E_b = K_b \omega_m = K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

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

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



Şekil.3. Sürekli mıknatıslı doğru akım motorunun matlab/simulink modeli



Şekil.4. Sürekli mıknatıslı doğru akım motorunun blok diyagramı

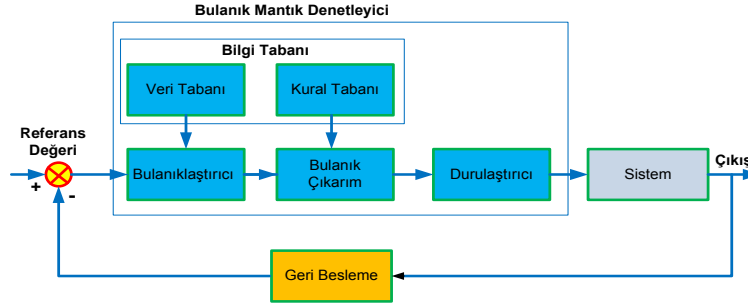
Tablo 1’de benzetim çalışmalarında kullanılan doğru akım motoruna ait parametreler verilmiştir[7].

Tablo.1. Sürekli mıknatıslı doğru akım motorunun parametreleri

Sembol	Değer
Endüvi Direnci(Ra)	4Ω
Endüvi İndüktansı(La)	2.75e-6 H
Atalet Momenti(Jm)	3.23e-6 kgm ²
Motor Sabiti(Ki-Kb)	0.027
Sürtünme Katsayısı(Bm)	3.51e-6 m/rad/sn

3. Bulanık Mantık Denetleyici

Bulanık mantık denetleyici, dinamik bir sistemin matematiksel modeli yerine, dilsel değişkenler içeren, bulanık kurullarla tanımlanan ve uzman deneyimiyle oluşan bir sistemdir. Bulanık mantık denetleyici bulandırma, karar verme, durulama ve bilgi tabanı olmak dört ana birimden oluşur[8-9]. Bulanık mantık esaslı denetim ile bir kapalı döngü kontrol sistemi şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil.5. Bulanık mantık denetleyici temel kontrol yapısı

Bulandırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel nitelendiriciler 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.

Karar verme 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. e ve Δe girişler, y ise çıkış değişkeni olan bir sistem için, “If e is a and Δe is b then y is c” şeklindeki bir kural e ve Δe ’nin aldığı değerlere göre y çıkışının bulanık değerini belirlemektedir.

Durulama birimi, karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgidan bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değer elde edilmesini sağlar. Durulama, bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir. *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 [10,11-13].

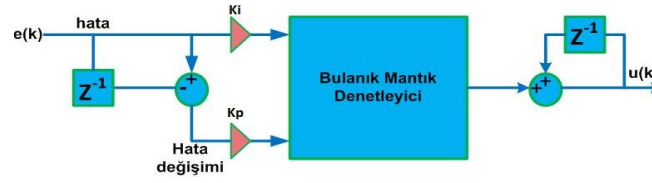
4. PI-Bulanık Mantık Tip Denetleyici

Klasik PI denetleyicide K_p oransal kazanç sabiti, K_i ise integral kazanç sabitidir.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (5)$$

PI-bulanık mantık denetim sistemi klasik PI denetim sistemi referans alınarak oluşturulmuş iki girişli tek çıkışlı bir bulanık denetim sistemidir. Burada K_i hata ile kullanılan kazanç faktörünü, K_p ise hata değişimi ile kullanılan kazanç faktörünü temsil etmektedir. Şekil 6’da PI-bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı verilmiştir [14-15].

$$u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i \cdot T_s \cdot e(k) + u(k-1) \quad (6)$$



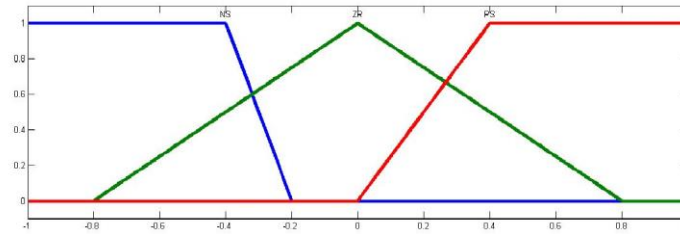
Şekil.6. PI-bulanık mantık denetleyici temel yapısı

Şekil 5'te gösterilen PI-bulanık mantık denetim sisteminin çıkışına anti-windup integrator bağlanarak sürekli durum hatasının oluşması engellenir[16]. Bu çalışmada iki tane giriş seçilmiştir. Bunlar hata (e) ve hata değişimidir (Δe). Hata (e), istenen seviye değeri (r) ile gerçek seviye (y) değeri arasındaki farktır. Hata değişimi $\Delta e(k)$, mevcut hata $e(k)$ ile önceki hata $e(k-1)$ arasındaki farktır. k iterasyon sayısını göstermek üzere hata ve hata değişiminin ifadesi denklem 7 ve 8'deki gibi olacaktır.

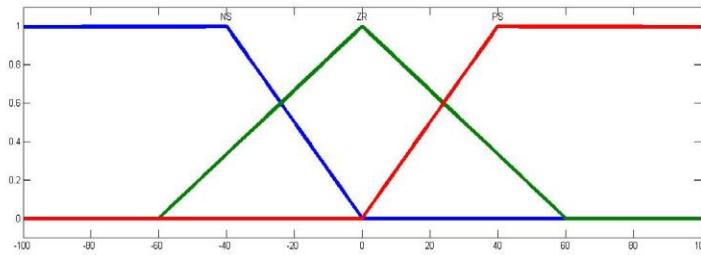
$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (7)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (8)$$

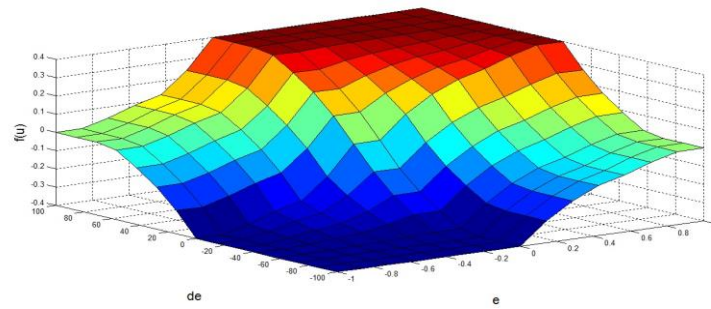
Bu çalışmada NS (Negatif Küçük), ZR (Sıfır), PS (Pozitif Küçük) olmak üzere üç dilsel değişken kullanılmıştır. Bu dilsel değişkenler 3×3 'lük toplam 9 adet kural ile tanımlanmış ve kural tablosu tablo 2'de verilmiştir[16,17].



Şekil.7. Hata için üç kurallı üçgen üyelik fonksiyonu



Şekil.8. Hata değişimi için üç kurallı üçgen üyelik fonksiyonu



Şekil .9. Üç kurallı BMD'nin denetim yüzeyi

Tablo 2. 3x3 kural tablosu

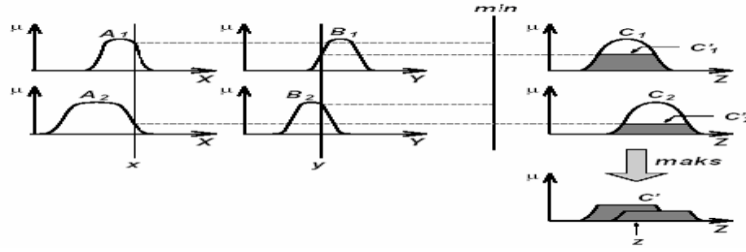
u		Δe		
		NS	ZR	PS
e	NS	NS	NS	ZR
	ZR	NS	ZR	PS
	PS	ZR	PS	PS

5. Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

Bulanık çıkarım, bulanık mantığı kullanarak verilen giriş değerlerinden çıkışı biçimlendirme formüle etme işlemidir. Bulanık çıkarım işlemi, üyelik fonksiyonlarını, mantıksal operatörleri ve eğer-ise kurallarını içermektedir. Bulanık mantık kontrolör elde edilmesinde, genelde Mamdani ve Sugeno tipi olmak üzere iki tip bulanık çıkarım sistemi kullanılmaktadır[18]. Bulanık çıkarım sistemlerinin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin bulanık modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır. Bulanık çıkarım sistemi, bulanık eğer-ise (If-then) kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir. Bulanık çıkarım sisteminin temeli, bulanık eğer-ise kurallarından anlaşılacağı üzere giriş ve sonuç kısımlardan oluşmaktadır. Giriş kısmında sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, sonuç kısmında ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer alır. Bulanık çıkarım sistemi, bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık nedene dayalı etkili hesaplama iskeletidir. Aynı zamanda, bulanık çıkarım sistemi bulanık model olarak da isimlendirilir.

5.1.Mamdani Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

İki girişli,iki kurallı Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile toplam z çıkışının nasıl elde edildiği şekil 5'de gösterilmektedir.Mamdani bulanık çıkarım sisteminde giriş ve çıkış değişkenleri bulanık kümeler ile tanımlanmıştır.

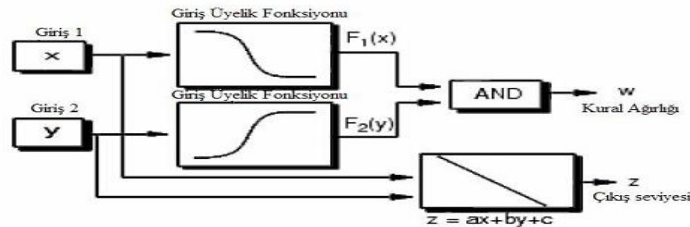


Şekil 10. Mamdani bulanık mantık çıkarım sistemi çıkışı

Mamdani bulanık çıkarım sisteminde, küçük kontrol uygulamalarında maksimum operatör olarak VEYA(OR), minimum operatör olarak da VE(AND) bulanıklaştırıcı operatörler kullanıldığı halde, diğer bulanık operatör türlerine şartlı cümlenin farklı bölümleri arasında ilişki kurmak amacıyla gerek duyulur. Bulanık kontrol kuralında kullanılan maksimum bulanıklaştırma operatörü VEYA(OR) ise kontrol çıkışı girişin maksimum üyelik derecesine göre ölçeklendirilir. Eğer kontrolde minimum bulanıklaştırma operatörü VE(AND) kullanıldıysa kontrol çıkışı bu sefer girişin minimum üyelik derecesine göre derecelendirilir. Standart MAX-MIN/MAX-PROD metodlarının kullanılmasıyla kural tabanı optimizasyonu keyfi kural ekleme ve silmeden oluşur.

4.2. Sugeno Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

Sugeno metodu verilen giriş ve çıkış kümesinden sistematik bir yolla bulanık kuralları planlama girişimi olarak ifade edilir. Sugeno M., bir çok yönü ile Mamdani bulanık çıkarım sistemine benzeyen Sugeno veya Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemini tanımlamıştır[19-20]. Bulanık çıkarım işleminin ilk iki kısmı, girişlerin bulanıklaştırılması ve bulanık operatörler Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile birebir aynıdır. Mamdani ve sugeno bulanık çıkarım sistemindeki tek fark, şekil 6'da görüldüğü gibi Sugeno bulanık çıkarım sistemindeki çıkış üyelik fonksiyonlarının lineer ve sabit olmasıdır[20].



Şekil 11. Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemi çıkışı

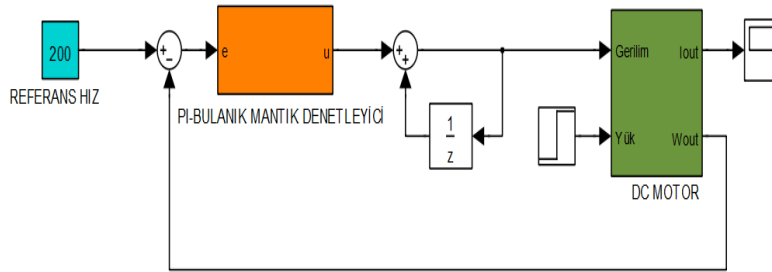
5. Benzetim Çalışmaları

Tasarlanan bu sistemde, doğru akım motorunun hız denetimi PI-bulanık mantık denetleyici ile Matlab/Simulink ortamında sugeno çıkarım yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink ortamında hazırlanan hız denetim sistemi şekil 12'de verilmiştir. Şekil 13'de 200 rad/sn basamak hızda yüksüz durumda sistem cevabı verilmiştir. 200 rad/sn basamak hız için sisteme ait kontrol parametreleri tablo 3'de verilmiştir. Şekil 14'de 200 rad/sn basamak hızda yüklü durumda sistem cevabı verilmiştir. Şekil 15'de 100 rad/sn ve 200 rad/sn farklı basamak

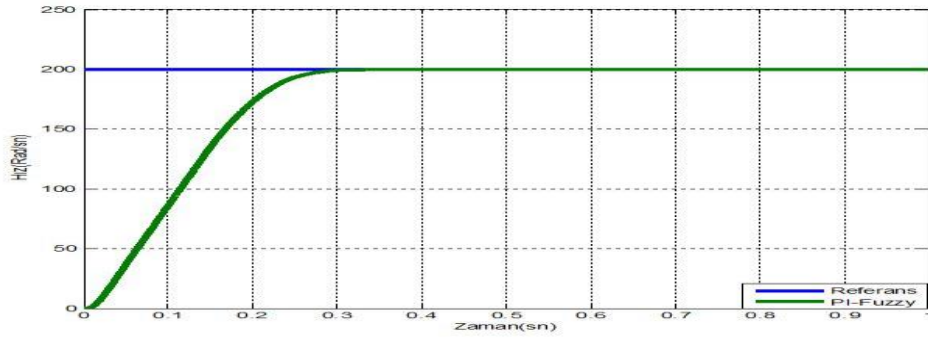
hızlarda sistem cevabı verilmiştir. Şekil 16'da 200 rad/sn basamak hızda yüklü durumda hata verilmiştir.

Tablo.3.200 rad/sn için PI-bulanık mantık denetleyicinin sistem üzerindeki performansı

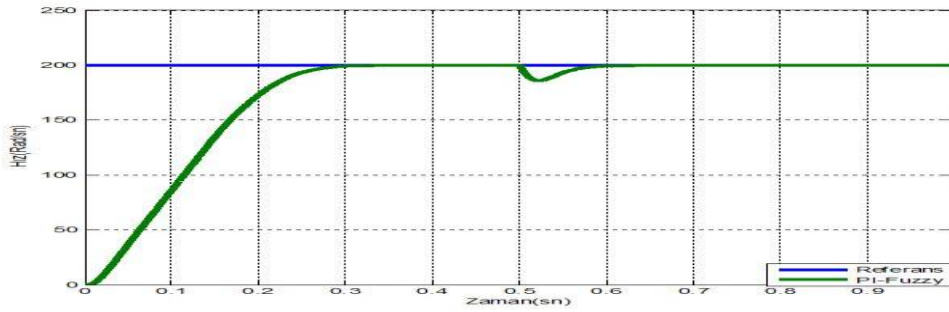
Parametreler	PI-Bulanık Mantık Denetleyici
Yükselme Zamanı(s)	0.112
Yerleşme Zamanı(s)	0.165
Aşma(%)	0.1



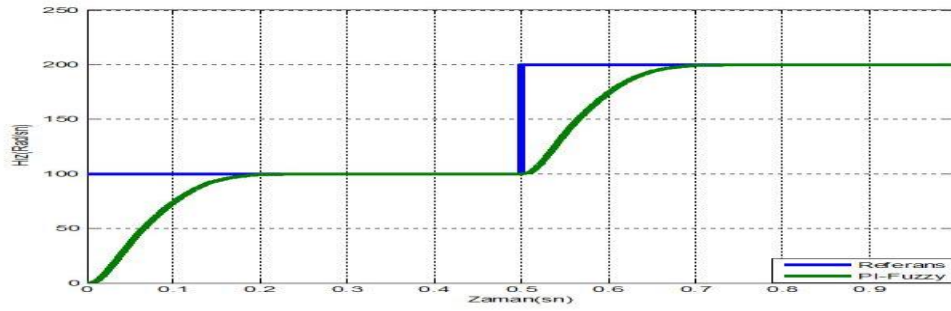
Şekil 12.Hız denetim sisteminin matlab/simulink modeli



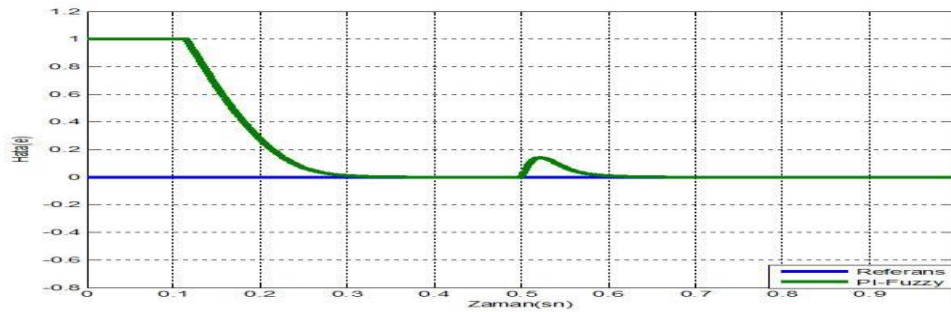
Şekil 13. 200 rad/sn basamak hızda ve yüksüz durumda elde edilen hız cevabı



Şekil 14. 200 rad/sn basamak hızda ve yüklü durumda elde edilen hız cevabı



Şekil 15. 100 rad/sn ve 200 rad/sn basamak hızda elde edilen hız cevabı



Şekil 16. Yüklü durumda elde edilen hata

4. Sonuçlar

Sugeno tipi bulanık çıkarım sisteminin temel amacı bulanık sistemlerdeki uzun ve karmaşık işlem yapma gereksinimini ortadan kaldırmasıdır. Doğru akım motorunun sugeno çıkarım yöntemi kullanılarak PI-bulanık mantık denetleyici ile gerçekleştirilen hız denetim çalışması ile bu alanda yapılacak olan gerçek zamanlı uygulamalara bir temel oluşturmak amaçlanmıştır. Benzetim çalışmalarına göre; tablo 3'te verildiği gibi bütün referans hızları izleme başarımında yüklü ve yüksüz durumda sugeno tipi bulanık çıkarım sistemine sahip PI-bulanık mantık denetleyicinin çıkış üyelik fonksiyonları lineer ve sabit olduğu için daha hızlı ve tatmin edici sonuçlar verdiği kanısına varılmıştır. Ayrıca daha sonraki çalışmalarda kural tabanı ve üyelik fonksiyonu tipi değiştirilerek daha iyi neticeler alınabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Coşkun, İ., Terzioğlu, H., "Gerçek Zamanda Değişken Parametrelili PID Hız Kontrolü", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- [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 makineleri ve Sürücülerini," Seçkin Yayıncılık, 2001.
- [4] Coşkun, İ., Terzioğlu, H., "Hız performans eğrisi kullanılarak kazanç (PID) parametrelerinin belirlenmesi", Journal of Technical-Online, 180-205, 2007.

- [5] Oğuz, Y.: “Senkron Generatörlerin Uyarım Devresinin Bulanık Mantıkla Kontrolü”, Y.Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.İstanbul,(2000).
- [6] 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.
- [7] Açıkgöz, H., Keçecioglu, Ö.F., Şekkeli, M., “Genetik-PID Denetleyici Kullanarak Sürekli Miknatıslı Doğru Akım Motorunun Hız Denetimi”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), 26-28 Eylül 2013, Malatya.
- [8] L. A. Zadeh, “fuzzy sets,” Inform, Control, Vol.8, 1965, pp.338-353
- [9] Ross, T. J., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., ISBN 0-07-053917-0.
- [10] Elmas, Ç., “Yapay Zeka Uygulamaları”, Seçkin yayıncılık, Ankara, 2011.
- [11] Özkop, E., Altaş, İ.H., “Bulanık Mantık Denetleyici ile Aktif Otomobil Süspansiyon Denetimi” XII. EEBB Mühendisliği Ulusal Kongresi Ve Fuarı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. Kasım 14–18, 2007.
- [12] Özek, A., Sincen, M., “Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık ile Modellenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:10,Sayı:3, Sayfa: 353-358, Yıl:2004.
- [13] Reznik, L., “Fuzzy Controllers”, Newnes, 1997.
- [14] Açıkgöz, H., Şekkeli, M., “Bulanık Mantık Denetleyici ile Doğrudan Moment Denetim Yöntemi Uygulanan Asenkron Motorun Hız Denetim Performansının İncelenmesi”, Akademik Platform Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (APJES), Cilt 1, Sayı 2 , Mayıs - 2013.
- [15] Açıkgöz, H., Keçecioglu, Ö.F., Şekkeli, M., “Vektör Denetim Yöntemi Uygulanan Sürekli Miknatıslı Senkron Motorun Bulanık Mantık Denetleyici ile Hız Denetimi”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), 26-28 Eylül 2013, Malatya.
- [16] Berk, P., Stajanko, 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] 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.
- [18] Gani, A., Özçalık, H.R., Açıkgöz, H., Keçecioglu, Ö.Fatih., 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 , Mart - 2014.
- [19] Sugeno, M.: “Industrial Applications of Fuzzy Control”, Elsevier Science Pub.Co.(1985)
- [20] Gani, A., Kılıç, E., Yılmaz, Ş., “Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetimi İçin Sugeno Çıkarım Yönteminin Performansının İncelenmesi”, İlk Bildiriler Konferansı (İBK 2013),14-16 Haziran 2013, Ankara.