



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0138

ENGINEERING SCIENCES

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Ferhat Çıra

Bilal Gümüş

Dicle University
fcira@dicle.edu.tr
Diyarbakir-Turkey

SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORUN KLASİK DENETLEYİCİ (PI) VE BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ KULLANILARAK HIZ KONTROLÜNÜN YAPILMASI VE BİRBİRİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor'un (S.M.S.M.) hız kontrolü için Bulanık Ara Sistem (F.I.S.) denetleyicisi kullanılarak hata ve hatadaki değişimin kullanılması anlatılmaktadır. S.M.S.M.'lerin performansında makinanın parametre yükündeki değişimler çok etkili olmaktadır. Bu çalışmada Bulanık kontrol ile PI kontrol, karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde her iki yöntemin de üstün ve üstün olmayan yönleri irdelenerek hangisinin ne şekilde seçilebileceği gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Kontrol, Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor, Modern Kontrol, Klasik Kontrol, S.M.S.M., PI kontrolör

SPEED CONTROL OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR USING CLASSIC CONTROLLER (PI) AND FUZZY LOGIC CONTROLLER AND COMPARING WITH EACH OTHER

ABSTRACT

In this study, a Fuzzy Inference System (F.I.S.) controller using error and derivative of error inputs is proposed for the speed control of a Permanent Magnet Synchronous Motors (P.M.S.M.). However, the performances of the P.M.S.M. are very sensitive to parameter and load variations. In this study, Fuzzy and PI controls are compared with simulation and experimentally. It is showed that which control method can be chosen at which status by using their advantages and disadvantages.

Keywords: Fuzzy Control, Permanent Magnet Synchronous Motor, Modern Control, Classical Control, P.M.S.M., PI controller

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bulanık mantık her gün kullandığımız ve davranışları yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir çözüm yöntemidir ve temelini doğru ve yanlış değerlerin belirlendiği Bulanık Küme Kuramı (Fuzzy Set Theory) oluşturmaktadır. Yine klasik mantık yönteminde olduğu gibi yapısında "1" ve "0" değerleri vardır [1, 2 ve 3]. Ancak Bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de kullanarak; örneğin uzaklıkla ilgili bir problemde mesafenin yalnızca yakın ya da uzak olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar yakın ya da ne kadar uzak olduğunu da belirtir. Klasik mantık sistemindeki yetersizlik, belirsiz ya da karmaşık bir problemin çözümünde etkili olmamasıdır. Hatta bazen bu yöntemle çözümler imkânsız hale gelmektedir. Gerçek Dünya dilini kullanan Bulanık mantık, dilsel niteleyiciler (Linguistic Variables) yardımıyla biraz sıcak, ılık, uzun, çok uzun, soğuk gibi günlük hayatımızda kullandığımız kelimeler ile insan mantığına en yakın doğrulukta elektronik denetimi sağlayabilmektedir. Bulanık mantık, elektrikli ev aletlerinden oto elektroniğine, is makinalarından üretim mühendisliğine ve endüstride kullanılan kontrol teknolojilerinden otomasyona kadar aklımıza gelebilecek her yerde kendisine uygulama alanı bulabilir. Bu çalışmada, Sürekli Miknatıslı Senkron Motor'un (S.M.S.M.) hız kontrolü için kullanılan Bulanık Mantık Denetleyicisi'nde (Fuzzy Logic Controller) hız için hata ve hatadaki değişim değişkenleri dikkate alınmaktadır. Gerekli olan referans akım üretilebilmekte olup, bu sayede makinaya ait hız değişimi kontrol edilebilmektedir [1, 2, 3 ve 4].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada bir S.M.S.M.'nin hassas hız kontrolü gerektiren uygulamalarda klasik olarak kullanılan PI kontrolör yerine daha hassas hız kontrolü imkanı sağlayan Bulanık kontrolör kullanılması incelenmiştir. S.M.S.M.'ler yüksek verim ve güç faktörü, yüksek güç-ağırlık oranı ve yüksek moment-eylemsizlik oranı gibi üstünlüklerinden dolayı, endüstride, özellikle servo sistemlerde, sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle üzerlerinde en çok araştırma yapılan alanlardan biridir. Birçok endüstriyel değişken hız uygulamalarda hız ve moment kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır.

S.M.S.M.'ler basit yapılarından dolayı çoğunlukla elektrik sürücülerinde kullanılırlar. Her ne kadar S.M.S.M. sürücü sistemleri motor dinamiklerinden ve yük karakteristiklerinden dolayı doğrusal olmayan karakteristiğe sahip olsalar da, endüstri uygulamalarında güvenilir bir hız kontrolüne ihtiyaç duyarlar. Bu tür problemlerin üstesinden gelmek için sürücü sistemlerinde Bulanık kontrol tasarlanmıştır. Simülasyon ve deneysel çalışmalar gösteriyor ki; bulanık denetleyicileri, S.M.S.M.'nin hız kontrolünde daha etkin ve güvenilirlerdir.

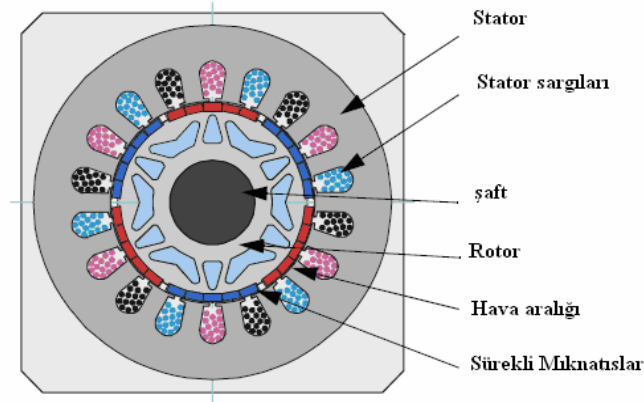
Hassas hız kontrolü gerektiren tıp, uzay ve uçak bilimlerinde, akıllı servo sistemlerde ve endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanılan S.M.S.M. 'nin kontrolünde bulanık mantık hız kontrolörünün kullanılması, hız hatasının minimum seviyede kalması ve belirlenen hız referansına ulaşma süresinin kısalmasını sağlaması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile oluşturulan bulanık kontrolörün üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerinin optimize (en iyileme) edilmesiyle daha iyi sonuçların elde edilebileceği bundan sonraki çalışmalar için yol gösterici olabilmektedir.

3. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORLAR (PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR)

Senkron motorlar, birçok motorda olduğu gibi iki ana kısımdan oluşur. Hareketsiz olan kısım stator, hareketli olan kısım ise rotor olarak isimlendirilir. Bir motoru döndürebilmek için, biri stator da diğeri rotorda olmak üzere, iki akıya ihtiyaç vardır. Bu prensibe göre farklı motor tasarımları yapmak mümkündür [5].

Statorunda üç fazlı sargılar bulunan Senkron motorun rotorunda akı

üretmek için iki yol vardır. Birincisi sargı kullanmak, ikincisi ise sürekli mıknatıs kullanmaktır. Rotorunda sürekli mıknatıs kullanarak rotor akısı oluşturan motorlar SMSM olarak bilinir [6]. SMSM' ye ait motor yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. SMSM yapısal şekli
(Figure 1. Structural Feature of PMSM)

3.1. Sürekli Mıknatıslı Senkron Makinanın Matematiksel Modeli (Mathematical Model Of Permanent Magnet Synchronous Machine)

Sürekli mıknatıslı senkron motor şebekeden aldığı elektrik enerjisini önce magnetik enerjiye ardından da mekanik enerjiye dönüştürür. Motorun üç fazlı stator sargılarına sinüzoidal gerilim uygulanması ile döner magnetik alan elde edilir. Sonuç olarak da sargılarda sinüzoidal akımlar akar ve bu akımlar da statorunda döner akıyı oluştururlar. Rotor milinin dönmesi ise statordaki rotor akısı ile stator akısının bileşkesi sayesinde meydana gelmektedir [7 ve 8]. Elektrik motorlarının kontrolünde motorun matematiksel modelinin bilinmesi gerekir. SMSM' un modellenmesinde makine büyüklüklerinin stator referans çatıda (3-faz model), sabit 2-fazlı referans çatıda (2-faz α - β model) ve rotor referans çatıda (2-faz dq model) ifade edilmesine göre üç farklı matematiksel model kullanılmaktadır [9 ve 10]. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motora uygulanan üç fazlı sinüzoidal gerilim aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} V_a &= V \cdot \cos(\omega_e \cdot t) \\ V_b &= V \cdot \cos(\omega_e \cdot t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_c &= V \cdot \cos(\omega_e \cdot t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \quad (1)$$

Döner stator alanının elde edilmesi için faz gerilimleri arasında 120° 'lik elektriksel açı olmalıdır. Bunun sağlanması için, faz sargıları arasında 120° 'lik mekanik açının bulunması gerekmektedir. Motorun dinamik denklemleri motorun 3 faz modelinden elde edilmektedir. Üç fazlı makina sargı büyüklükleri sabit iki faz referans çatıda α ve β sargıları olmak üzere iki imgesel sargılı bir makinaya dönüştürülür. Bu dönüşümle değişkenler birbirinden 90° faz farklı sabit bir referans düzleme aktarılmaktadır. Sabit iki faz referans düzlemde, gerilim, akım ve akılar basit bir lineer dönüşümle (Clarke dönüşümü) gerçek fiziksel niceliklerle ilişkilendirilir.

$$f_{\alpha,\beta,0} = C f_{a,b,c}; f_{a,b,c} = C^{-1} f_{\alpha,\beta,0} \quad (2)$$

Olup Clarke dönüşümü matrisi;

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ve $C^{-1} = C^T$ (4)

ile tanımlanır. f_α ve f_β 'nin yönü değişkenlerin değişimiyle oluşturulan yeni sargıların manyetik eksenlerinin yönü olduğu kabul edilebilir [8 ve 11].

Stator yüklerini rotor referans çatıya aktarmak suretiyle elde edilen model, serbest uyarımlı D.A. motor modeline benzer. Motorun denetim yapısı bu model kullanılarak oluşturulur. Böylelikle SMSM' da serbest uyarımlı motor gibi denetlenebilir. Rotor çatısının diğer bir avantajı eşitlik derecesi indirildiğinden çözüm daha hızlı olmaktadır [11].

Burada, akım ve gerilimler sabit referans çatıdan 2-faz rotor referans düzleme Park dönüşümü kullanılarak aktarılmaktadır. Şekil 2.10' da gösterilen rotor referans çatı modeline geçiş için Park dönüşümü

$$f_{d,q,0} = P f_{\alpha,\beta,0} \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, Park dönüşüm matrisi P

$$P = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

olarak tanımlanır. Rotor referans çatıda moment ifadesi ise aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$T_s = \frac{P}{2} \begin{bmatrix} i_d & i_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\frac{3}{2}L_\theta \\ -\frac{3}{2}L_\theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \sqrt{\frac{3}{2}}\lambda_m \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (7)$$

3.2. S.M.S.M.'nin Vektör Kontrolü (Vector Control of PMSM)

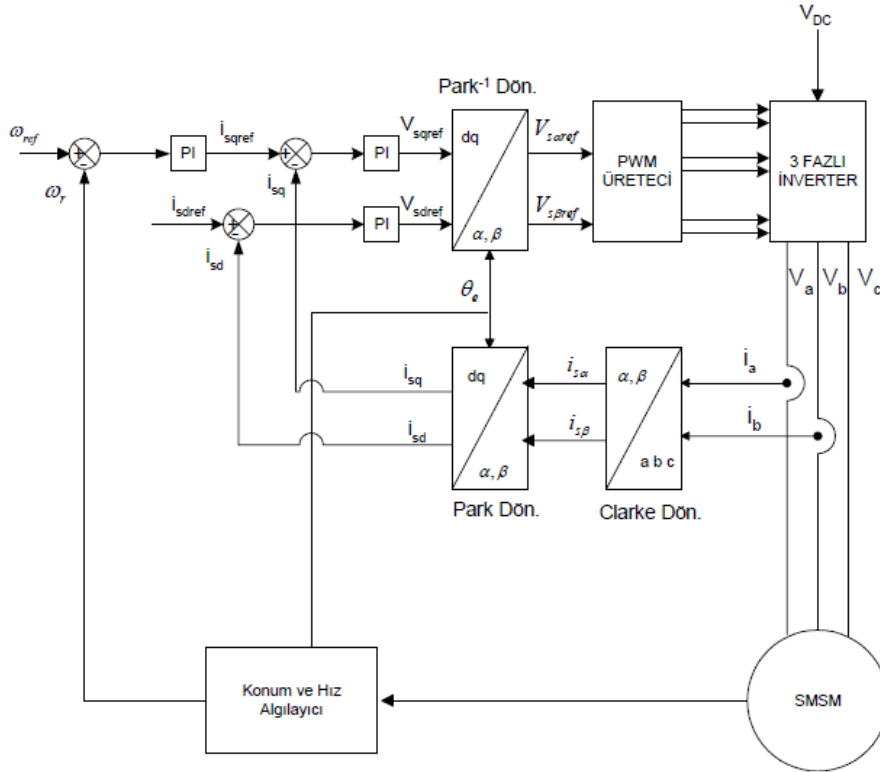
Değişken hızlı ve yüksek dinamikli sistemlerde, geliştirilen denetim yöntemleri ile, bu tür uygulamalarda doğru akım motorlarının yerine, asenkron ve senkron motorların kullanılabilmesi mümkün olmuştur. Bu denetim yöntemlerinin gelişmesinde ana unsur, güç elektroniği elemanları üzerinde yapılan gelişmelerdir. Mikroelektronik alanındaki gelişmeler ise akıllı denetim sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Böylelikle teorisi ortaya konan, ancak pratik olarak gerçekleştirilemeyen denetim sistemleri uygulanabilir hale gelmiştir.

Temel kuramı 1965'lerde geliştirilen vektör kontrol yöntemi, bu gelişmeler ışığında ancak 1980'li yıllarda uygulanmaya başlanmıştır. Bu uygulamanın esası, döner alan temelli elektrik makinalarının, serbest uyarımlı doğru akım motorlara benzer şekilde, ayrışık denetimine olanak vermesidir. Günümüzde vektör kontrol yöntemi, endüstriyel tahrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylelikle klasik olarak sadece doğru akım serbest uyarımlı motorlar ile tasarlanan servo sistemlerde, alternatif akım motorlarından asenkron ve senkron motorlarında kullanılabilmesi mümkün olmuştur [12 ve 13].

Sürekli mıknatıslı senkron motorun alan esaslı kontrolünde kullanılan kontrol yapısı Şekil 2' de gösterilmiştir. Şekilde, yazılım modülleri ile çözüm için gerekli donanımlar gösterilmiştir.

Kontrol yapısında gösterilen i_a ve i_b akımları, akım sensörü ile ölçülen faz akımlarıdır. Bu akımlara Clarke dönüşümü uygulanarak α , β eksen takımı için akımlar elde edilir. Park dönüşümü ile bu akımlar d,q eksen takımına dönüştürülür. d,q eksen takımına dönüştürülmüş stator akımları, bu akımların referans değerleri (i_{sqref} , i_{sdref}) ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucu elde edilen hata değerleri, PI akım kontrolörüne gelir. Akım kontrolörlerinin çıkışı ters Park dönüşümü ile α,β eksen takımına dönüştürülür. Bu dönüşüm sonunda stator gerilim referans değerleri elde edilmiş olur. Uzak vektör modülasyon tekniği veya simetrik darbe genişlik modülasyonu ile stator gerilim vektörü elde edilir. Üç fazlı

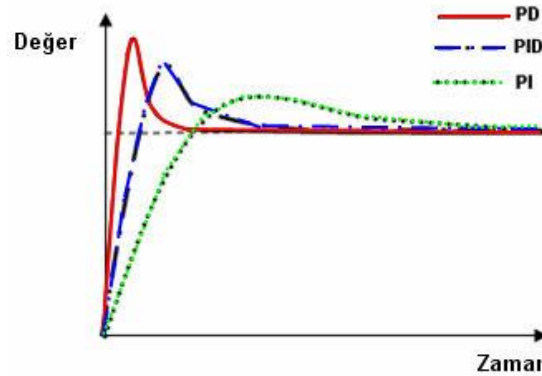
eviriciye gelen bu vektörler ile evirici motor için uygun gerilim ve frekanstaki stator gerilimini üretir. Böylelikle kontrol sağlanmış olur. Kontrol yapısında referans hız ω_{ref} ve mekanik hız da ω_r ile gösterilmektedir [7 ve 8].



Şekil 2. Sürekli mıknatıslı senkron motorun alan esaslı kontrol yapısı
(Figure 2. Structure of field oriented PMSM control)

4. BULANIK/PI HIZ DENETLEYİCİLERİ (FUZZY/PI SPEED CONTROLLERS)

Referans hız seçildikten sonra Bulanık ya da PI denetleyicileri kullanılarak motor bu hıza sabitlenebilir. Bu ayarlama PI katsayılarının (K_p, K_i) değiştirilmesi ile yapılır. Burada tüm katsayıların kullanılması her zaman gerekmez. Az sayıda kullanılan katsayılarla istenilen sonuca ulaşılması yeterlidir. Tablo 1'de bu katsayıların etkileri görülebilir. Şekil 3'te ise PI, PD ve PID denetleyicilerinin çıkışı nasıl etkilendiği gösterilmektedir. Uygulayıcı, sistemde nasıl bir gereksinim duyuyorsa buna göre kolaylıkla seçimini yapabilir [1].



Şekil 3. PD, PID ve PI Denetleyiciler
(Figure 3. PD, PID and PI Controllers)

Şekil 3'ten de anlaşılacağı üzere oransal, türev ya da entegral ifadelerin sisteme sağladığı yararlar kadar bazı kötü yanları da bulunmaktadır. En göze çarpan, birinde yükselme zamanı azalırken asma (tasma) miktarı artmaktadır, benzer şekilde asma miktarı az olan bir sinyalin de yükselme zamanı artmaktadır. Bu nedenle parametrelerin seçiminde istenilen hassasiyet miktarı çok büyük önem taşımaktadır. Tüm parametrelerin kullanılması her zaman gerekmez. Eğer çok hassas bir sistemde (kâğıt sarma makinası, tıp sektörü, vb.) bu kontrol yöntemi kullanılacak ise, küçük değişimler önem taşır. Bunun tersine normal bir sistemde çok fazla hassasiyet istenmeyebilir. Bu durum eğer istenilen sonuçlar sadece bir ya da iki parametrenin kullanılması ile sağlanıyorsa üçüncü parametreyi kullanmak gerekmez. Yapılan bu çalışmada bir motor kontrolü yapılacağından akım değerleri büyük önem taşımaktadır. Akım değerinin çok fazla artması istenen bir durum olmaz. Başka bir deyişle, sistemin yükselme zamanını azaltacak derken kısa süreli yüksek genliklere sahip akım değerlerinin üretilmesine neden olunabilir.

5. UYGULAMA (APPLICATION)

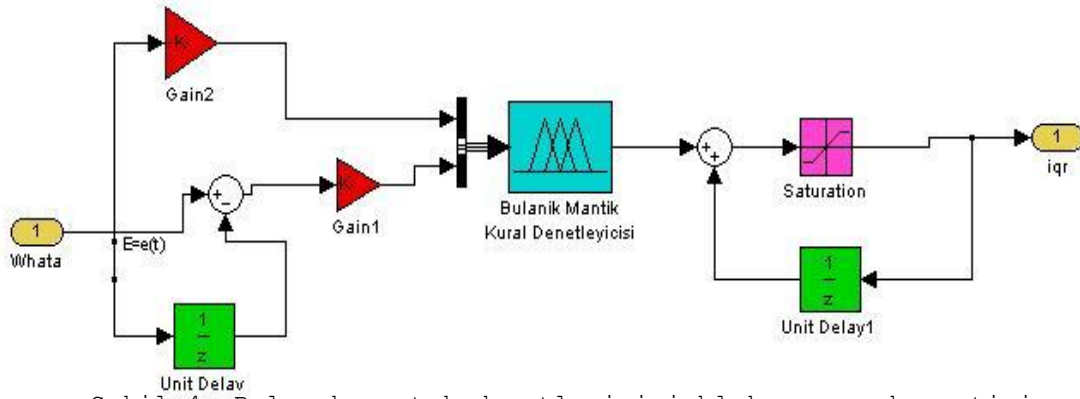
S.M.S.M. nin klasik kontrolör ile yapılan vektör kontrol yöntemi ile hız kontrolünün yapılması ve elde edilen sonuçları bulanık hız kontrolörü kullanılarak uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmektedir. Bunun için oluşturulan bulanık hız kontrolörü Şekil 4 te, üyelik fonksiyonları ve kural editörleri şekil 6-8 de verilmiştir, MATLAB/Simulink araç kutusunda oluşturulan vektör kontrol modelinin blokları Şekil 5 te verilmiştir. Son olarak oluşturulan benzetim modelinin sonuç grafikleri karşılaştırmalı olarak şekil 9-11 de verilmiştir.

5.1. PI ve Bulanık Denetleyiciler için Simülasyon Sonuçları (Simulation Results of PI and Fuzzy Controllers)

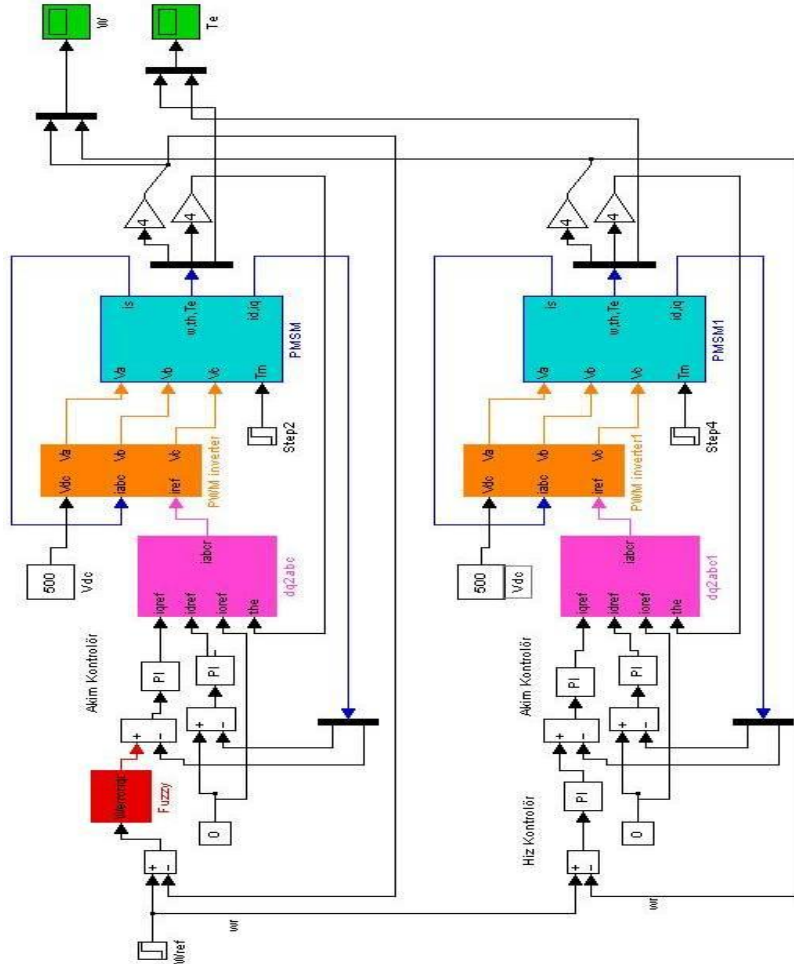
Yapılan bu çalışma sayesinde tasarlanmış olan Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor'un matematiksel modeli kullanılarak, iki farklı denetim yöntemiyle hız kontrolü yapılmıştır. Bu bölümde, makineye ait matematiksel model yardımıyla önce klasik denetim yöntemleri içinde yer alan PI ve daha sonra da modern denetim yöntemleri içinde yer alan Bulanık Denetleyici yardımıyla bilgisayar ortamında belirlenen referans hız için hız değişimleri incelenmiştir. Referans hız değeri olarak ilk basta 50 rad/sn seçilmiş daha sonra da farklı referans hız değerleri için benzetimler tekrar denenmiştir. Referans hız değeri değişse bile çıkış için elde edilen sonuçlar birbirine yakın olmaktadır. Tek bir fark, referans hız değeri çok büyük seçildiğinde yükselme zamanının da buna bağlı olarak artmasıdır. Bu durum beklenen bir özelliktir. Ancak yine de gerçek zaman ile karşılaştırıldığında bu sürenin 1 saniyeden daha kısa süreli olması yapılan benzetim denemelerinin doğru olduğunu göstermektedir. Elde edilen benzetim sonuçlarından hız değişimi incelendiği gibi buna ilave olarak da makineye ait moment değişiminin de değerleri gözlemlenmektedir. Bu şekilde iki farklı denetim için sonuçlar karşılaştırılarak hangi yöntemin daha üstün olduğu genel anlamda görülebilmektedir. Benzetim çalışmasında S.M.S.M.' nin hızı, q-ekseni stator akımı i_q ile denetlenebilir. Bu çalışmada, moment denetimi yapılmadığı için d-ekseni stator akımı i_d sıfır alınmaktadır. Ayrıca S.M.S.M.' nin mekanik açısal hızı ile referans hız karşılaştırılarak elde edilen hata ve hata değişimi bulanık mantık hız denetleyicisine uygulanmaktadır. Bulanık mantık hız denetleyici ile gerekli i_q^* akımı elde edildikten sonra dq-abc dönüşüm bloğu ile abc eksenlerine geçiş sağlanmaktadır.

Tablo 1. P, I ve D parametrelerinin etkisi
(Table 1. Effects of P, I and D Parameters)

	Yükselme Zamanı	Taşma	Oturma Zamanı	Oturma Hatası	Kararlılık
Artan K_p	Azalır	Artar	Az Artar	Azalır	Kötülebilir
Artan K_i	Az Azalır	Artar	Artar	Aşırı Azalır	Kötülebilir
Artan K_d	Az Azalır	Azalır	Azalır	Az Değişir	İyileşir



Şekil 4. Bulanik mantık denetleyicisi blok şeması benzetimi
(Figure 4. Block diagram of fuzzy logic controller)

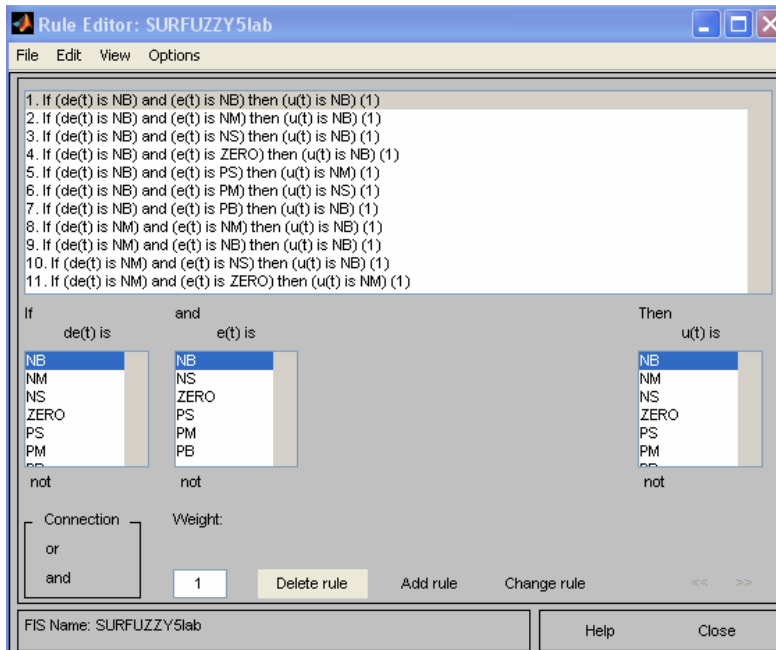


Şekil 5. SSM' nin PI ve Bulanık Denetleyiciler ile hız kontrolü
(Figure 5. Speed control with PI and fuzzy controllers of PMSM)

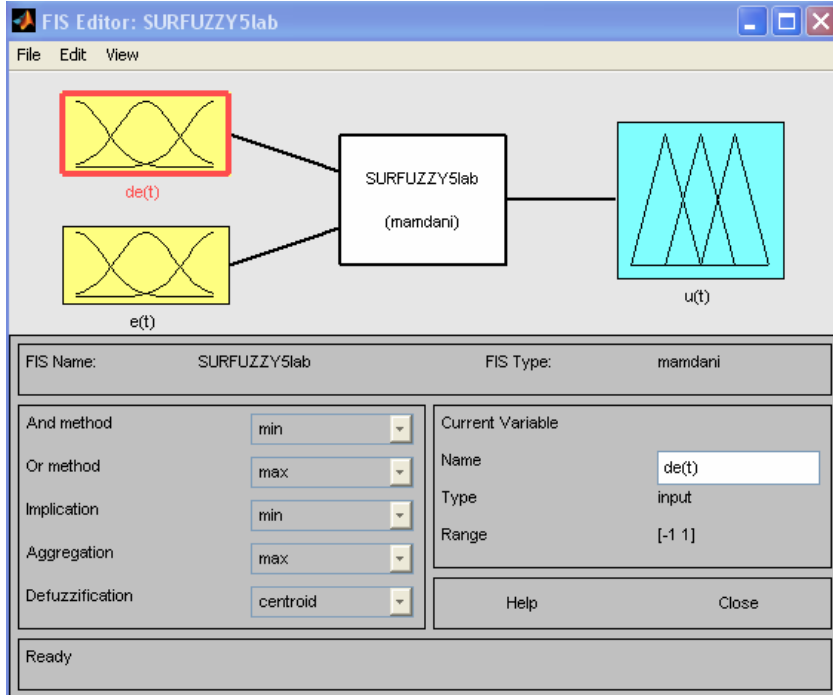
Tablo 2. Bulanık denetleyici için kural tablosu
(Table 2. Rules table for fuzzy controller)

de(t) → e(t) ↓	NB	NO	NK	SIFIR	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	NO	NS	PO	PS
NO	NB	NB	NB	NB	NO	NO	PB
NK	NB	NB	NO	NS	PS	PS	PO
SIFIR	NB	NO	NS	SIFIR	PS	PO	PB
PK	NO	NS	NS	PS	PO	PO	PB
PO	NS	NO	PS	PO	PB	PB	PB
PB	NB	PS	PO	PB	PB	PB	PB

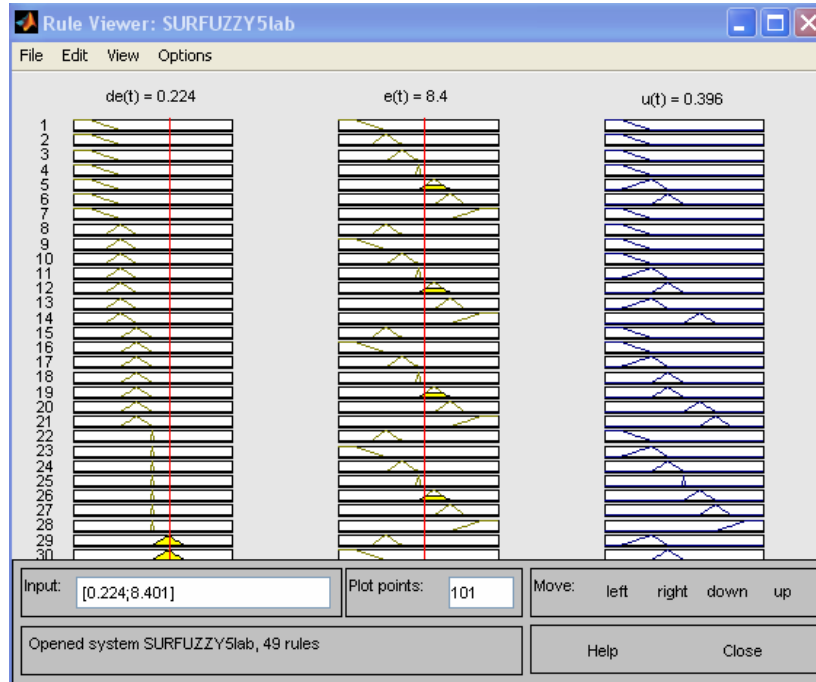
Matlab içinde yer alan Bulanık Mantık editöründe (Fis Editör) hem giriş hem de çıkış değişkenleri için isimleri ve bulanıklaştırmada uygulanacak yöntem olarak Matlab içinde hazır olarak bulunan Mamdani yöntemi seçilmektedir. Şekil 6'da kural tablosu editörü gösterilmektedir. Oluşturulmuş kurallar bu editör içerisinde yazılarak sistem için gerekli olan kural tablosu elde edilir. Kural tablosunda üyelik fonksiyonlarının seçimi önem kazanmaktadır. Bunun nedeni ise, seçilen üyelik fonksiyonun şekline göre kurallar farklı olabilmesidir. Mamdani yöntemi için Tablo 2'de de gösterilen çok basit bir matematik denklemden yararlanılmaktadır. Şekil 7'de bu editör görülmektedir. Burada üyelik fonksiyonlarında sayılar yerine dilsel ifadeler kullanılmaktadır. Çeşitli yöntemlerle (max, min, vb) durulaştırma yapılır. Bu şekilde gerçek sayılardan bulanık ifadelere geçilip daha sonra durulaştırma ile de tam tersine dönülmektedir. Giriş ve çıkış değişkenleri daha hassas bir seviye vermek için negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NK), sıfır (SIFIR, ZERO), pozitif küçük (PK), pozitif orta (PO), pozitif büyük (PB) olmak üzere 7 bulanık kümeye ayrılmaktadır. Matlab Bulanık Mantık Araç Kutusu (Matlab Fuzzy Logic Toolbox) simülasyon programı kullanılarak S.M.S.M. hız denetimi için oluşturulmaktadır. Bulanık mantık denetleyici yapısında Mamdani min-max çıkartım yöntemi ve ağırlık merkezi durulama yöntemi kullanılmaktadır. Hata, hata değişimi ve bulanık mantık çıkısına ait üyelik fonksiyonları aşağıda verilmektedir.



Şekil 6. Bulanık kontrol için kural editörü
(Figure 6. Rules editor for fuzzy control)



Şekil 7. Bulanık için fis editör
(Figure 7. FIS editor for fuzzy)



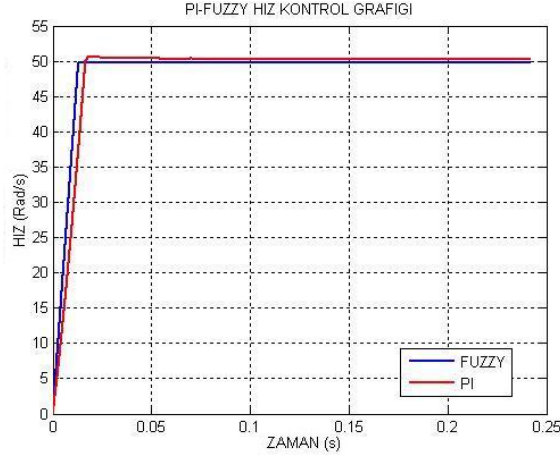
Şekil 8. Bulanık mantık için kuralların çalışmasını gösteren editör
(Figure 8. Running of rules editor for fuzzy logic)

5.2. Benzetim Sonuçları (Results of Simulation)

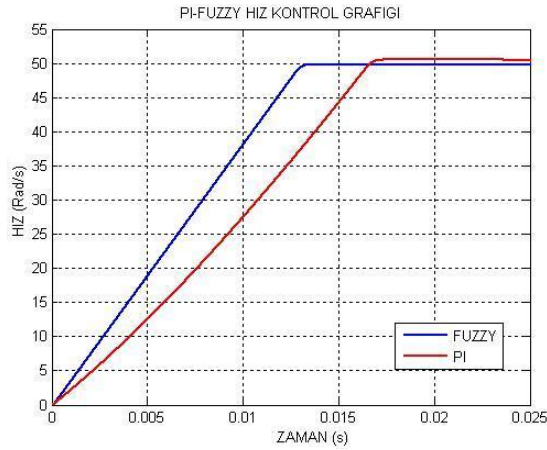
Makina 50 rad/s lik referans hıza PI denetleyicisi sayesinde yaklaşık olarak 0.0017. saniyede ulaşmaktadır (Şekil 9-10). Bulanık denetleyici kullanıldığında ise, bu süre daha da azalıp 0.0012 saniye gibi çok kısa bir sürede istenilen hıza ulaştığı görülmektedir. Buna ilave olarak da tasma (overshoot) miktarların bulanık denetleyicide daha az olduğu, PI kontrolde ise hem sistemin cevap hızınının daha yavaş olduğu hem de tasma miktarının

daha fazla olduğu görülmektedir. Yapılan karşılaştırmada en iyi PI kontrol yapılarak Bulanık kontrol ile karşılaştırıldığından karşılaştırma sonuçları daha doğru sonuç vermektedir.

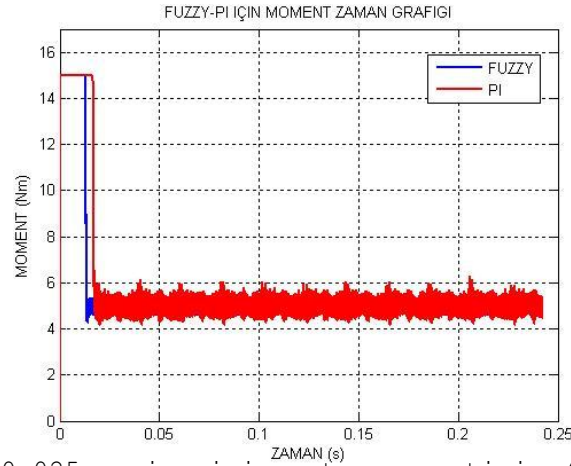
Ayrıca ilk 0.03 saniye süresince sisteme yük ilave edilmemiş bu süreden sonra ise yük eklenmektedir ve makinaya $T_y=5$ Nm'lik bir yük momenti eklenmiştir. Bu durumda ilk anda yüksüz çalışan motor geçici durum rejimi boyunca elektriksel moment yüksek değerlere ulaşmış ancak sürekli duruma geçişte yük momenti kadar bir elektriksel moment meydana gelmiştir (Şekil 11). Yapılan bu benzetim sayesinde farklı yüklenme durumlarında makinanın nasıl çalıştığı ve çıkış değerlerine nasıl etki ettiği kolaylıkla görülebilir.



Şekil 9. $T=0.25$ saniye için referans ve gerçek hızların (w_e , w_r) Bulanık kontrol ile PI kontrol için değişimleri
(Figure 9. Changing Reference and Reel Speed (w_e , w_r) for Fuzzy and PI Control in $T=0.25$ seconds)



Şekil 10. $T=0.025$ saniye için referans ve gerçek hızların (w_e , w_r) bulanık kontrol ile PI kontrol için değişimleri
(Figure 10. Changing referance and reel speed (w_e , w_r) for fuzzy and PI control in $T=0.25$ seconds)



Şekil 11. T=0.025 saniye için motor momentinin (T_e) Bulanık kontrol ile PI kontrol için değişimleri
(Figure 11. Changing motor torque (T_e) for Fuzzy and PI control in T=0.25 seconds)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Klasik mantığın temelinde ihtimal hesapları yatar. Sonuç evet ya da hayır kelimeleri ile sınırlıdır. Ancak bulanık mantık cevap olarak olabirliği değil, ne kadar olduğunu verir. Dolayısıyla, alınan cevap "evet" ya da "hayır" kelimelerinden başka bunların ara değerleri de olabilir. Bulanık kontrol yönteminin sağladığı en büyük fayda 'insana özgü tecrübe ile öğrenme' olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu sayede, özellikle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek uygun olmaktadır. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle bulanık mantık denetimi alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmakta ve modern denetim alanında geniş uygulama alanları bulmaktadır. Örneğin, sesle kumanda edilebilen sistemlerin (makine, tesisat, otomobil telefonu, ev cihazları, bilgisayar) çalışmasını sağlamak amacıyla bulanık denetleyiciler uygulanabilir. Bu çalışmada amaç, Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor'un hız kontrolünün önce PI denetleyiciyle, daha sonra da bulanık denetleyici ile benzetimi yapılarak, karşılaştırılmasıdır.

Hız kontrolör ve akım kontrolör olarak kullanılan PI denetleyicilerinin K_p ve K_i değerleri elle girilmiş olup deneme yanılma yöntemi ile sistem için en uygun parametreler seçilmiştir. Bu yöntem dışında PI parametrelerinin hesaplama yöntemi ile tespit edilip sistemde denenmesi durumunda buradaki sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edebilme ihtimali vardır ancak hesaplanan parametre değerleri sadece sınır değerler olacağından en uygun parametre değerleri yine deneme yanılma ile bulunması gerekmektedir.

Bulanık mantık denetleyicide 7x7 olmak üzere toplam 49 kurallı kural tablosu oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonlarını azaltmak suretiyle kural sayısının azaltılması durumunda işlem süresi kısılacak, dolayısıyla daha hızlı sonuç elde etme imkânı doğacaktır, ancak üyelik fonksiyonlarının azaltılması işlem hassasiyetini düşüreceği için bu çalışmada tercih edilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Teker, A., (2008). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Bulanık Mantık ile Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
2. Harris, J., (2002). Fuzzy Logic Applications in Engineering Science', National University of Science and Technology, Zimbabwe, Published by Springer, ISBN-13978-1-4020-4078-8).

3. Mcneill, F.M. and Thro, E., (1999). Fuzzy Logic A Practical Approach', Published by AP Professional, ISBN: 0-12-485965-8,.
4. Rasmussen, H., Vadstrup, P., and Borsting, H., (2006). Adaptive observer for speed sensorless P.M. motor control, Aalborg University, DENMARK, .
5. Krishnan, R.M., (2001). Elektrik Motor Drives, Modeling, Analysis and Control, pentice hall.
6. TI, (1997), Digital signal processing solution for permanet magnet synchronous motor' Application Note BPRA044, Texas Instruments.
7. Gümüş, B., (2004). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Bulanık Mantık Gözlemleyicisi Kullanarak Vektör Kontrolü, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
8. Çıra, F., (2010). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Histerezis Akım Denetimli Vektör Kontrolünün Benzetimi ve Sürücü Devresinin Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. Demirbaş, Ş., (2001). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Konum Algılayıcısız Denetimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Batzel, T.D., (1999). Sensorless Electric Drive for Permanent Magnet Synchronous Motors, The Pennsylvania State University, Applied Research Laboratory, 67p.
11. Ünal, S., (2009). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlarda Yapay Sinir Ağı Kullanarak Algılayıcısız Konum Tahmini, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Luukko, J., (2000). Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Machines- Analysis and Implementation, PhD Thesis, Lappeenranta University of Technology, Finland.
13. Ong, C.M., (1997). Dynamic Simulation Of Electronic Machinery Using Matlab/Simulink, Prentice Hall Press, New Jersey, USA.