

Kıyıcı Beslemeli DA Motorun Oransal İntegral ve Bulanık Mantık Oransal İntegral Denetleyicilerle Hız Kontrolü Karşılaştırılması

Erhan SESLİ¹

Ömür AKYAZI²

Adnan CORA³

^{1,2}Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon/TÜRKİYE

erhansesli@ktu.edu.tr oakyazi@ktu.edu.tr

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon/TÜRKİYE

Özetçe

Bu çalışmada kıyıcı beslemeli Doğru akım (DA) motorlarının hız kontrol yöntemleri olarak oransal integral denetim (OİD) ve bulanık mantık oransal integral denetim (BMOİD) yaklaşımları ele alınarak incelenmiş ve performans karşılaştırılması yapılmıştır. Oransal integral denetim ve bulanık mantık oransal integral denetim yaklaşımları ayrı ayrı incelenirken, analiz çalışmaları ve performans artırıcı çalışmalara imkân vermesi nedeniyle benzetim MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kıyıcı Beslemeli DA Motoru, Oransal İntegral Denetim (OİD), Bulanık Mantık Oransal İntegral Denetim (BMOİD)

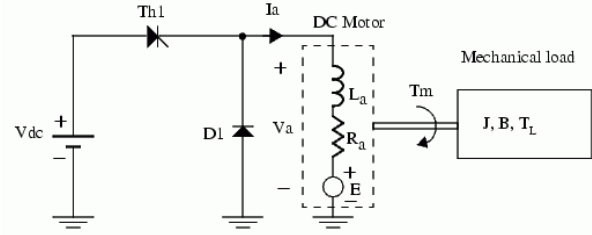
1. Giriş

Doğru Akım (DA) motorları endüstride açık çevrim ve kapalı çevrim uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu uygulamaların birçoğu yüksek performans sağlayacak denetim gerektirir[1]. Bunun nedeni yüksek performansın endüstri için elzem bir unsur olmasından kaynaklanır. Bu çalışmada ele alınan kıyıcı beslemeli doğru akım sürücülerini birçok uygulamada yüksek verim, esnek kontrol imkânı, küçük ve hafif fiziksel yapı özelliklerini içerdiği için kullanılmıştır[2]. OİD gibi geleneksel denetleyicilerin, hız ve yük değişimlerinde aşım ve dalgalanmalara neden olması istenmeyen bir durumdur[3]. Bu durum performans ve verimlilik açısından başka arayışları beraberinde getirmiştir. Bunun yanında analog kontrol tekniklerinin donanım zorluğu ve karmaşık matematiksel modelleme gerekliliği de kontrol tekniklerinde yeni yaklaşımlar aramaya sebebiyet vermiş gelişme gösteren denetim teknikleri arasında bulanık mantık yaklaşımı karmaşık matematiksel modellemeye ihtiyaç duymadığı için sıkça kullanılır hale gelmiştir. Bulanık mantık denetiminin basit matematiksel modelleme avantajının yanında esnek, kavramsal olarak kolay anlaşılabilirlik gibi avantajlarının olması birçok süreç denetim sisteminde ilgi görmesini sağlamıştır[4],[5]. Bu çalışmada endüvi akımı GTO (Gate Turn Off) tristör tarafından kontrol edilen bir sürücü devresi uygulaması MATLAB/Simulink'de ele alınmış elektromekanik sistemin denetim sistemiyle kontrolü

sağlanmıştır. Hız Denetim yaklaşımı olarak OİD ve karma bir yaklaşım olan BMOİD'ler kullanılmış ve hız karakteristikleri MATLAB/Simulink ortamında karşılaştırılmıştır[6].

2. Sistemin Modeli ve Benzetimi

Basit devre şekli Şekil 1'de gösterilen DA motoru DA kaynağına bağlanmış GTO (Gate Turn Off) tristör ve buna bağlı serbest D1 diyodunun oluşturduğu kıyıcı devre tarafından beslenmektedir. Motorun sürdüğü mekanik yükün atalet momenti J, sürtünme momenti B ve tork yükü T_L ile temsil edilmiştir.



Şekil 1. DA Motoru ve Kıyıcı Devre

Şekil 1'de görüldüğü gibi DC motor eşdeğer devre ile temsil edilmiş olup, bu eşdeğer devre bobin endüktansı L_a ve iletken direnci R_a ile temsil edilmektedir bu elemanlara seri gelen zıt elektromotor kuvvet E ile gösterilmiştir.

Zıt elektromotor kuvvetin (emk) motor hızıyla orantılı olduğu denklem (1) de gösterilmiştir.

$$E=K_E\omega \quad (1)$$

Burada K_E motor gerilim sabiti ve ω motor hızıdır. Diğer taraftan DA makinesinde K_E alan akımı I_f ile orantılıdır.

$$K_E=L_{af}I_f \quad (2)$$

Burada L_{af} endüvi-alan ortak endüktansdır.

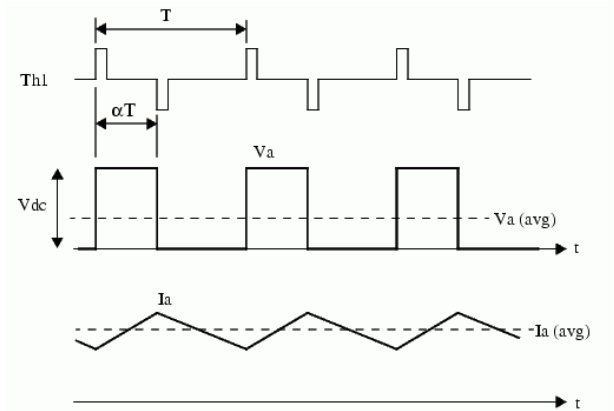
DA motorunda üretilen tork ise endüvi akımı I_a ile orantılı olduğu denklem (3) de görülmektedir.

$$T_m = K_T I_a \quad (3)$$

Burada K_T motor tork sabitidir. DA motoru tork sabiti gerilim sabitine eşittir.

$$K_T = K_E \quad (4)$$

Tristör (Th1) ortalama motor gerilimini kontrol etmek amacıyla PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) ile tetiklenmektedir. Kıyıcı işleminin teorik dalga formları Şekil 2. de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. DA Motorunu Besleyen Kıyıcının Çıkışındaki ve Endüvi Akımındaki Değişimin Dalga Şekilleri

Ortalama endüvi gerilimi, kıyıcı görev süresinin (α) direk fonksiyonudur.

$$V_a(\text{avg}) = \alpha V_{dc} \quad (5)$$

Bu bağıntının endüvi akımının sürekli olduğu koşulda geçerli olduğu unutulmamalıdır. Kararlı durumda endüvi akımı denklem (6) da ki gibidir.

$$I_a(\text{avg}) = (V_a(\text{avg}) - E) / R_a \quad (6)$$

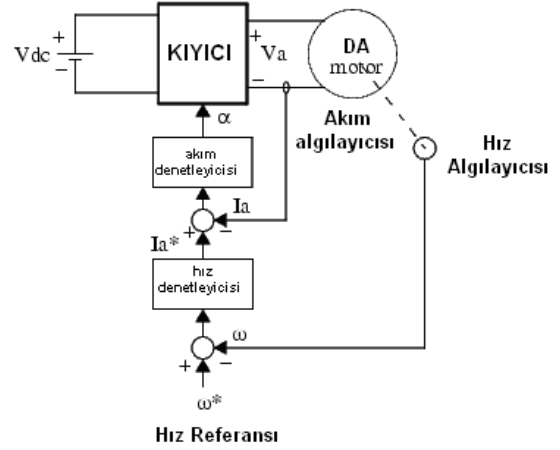
Tepeden tepeye akım dalgalanması ise denklem (7) de ki gibidir.

$$\Delta i = (V_{dc}(1 - e^{-\alpha r} + e^{-r} - e^{-(1-\alpha)r})) / (R_a(1 - e^{-r})) \quad (7)$$

Burada α görev süresi ve r ise kıyıcı periyodu ile DA motor elektriksel zaman sabiti arasındaki oran denklem (8) de verilmiştir.

$$r = T / (L_a / R_a) \quad (8)$$

Bu durumda değişken-hız DA motor sürücüsünün kaskad kontrol blok konfigürasyonu Şekil 3' de görüldüğü gibidir.



Şekil 3. Değişken Hızlı DA Motor Sürücüsünün Blok Şeması

Motor torku akım kontrol çevrimi tarafından düzeltilen endüvi akımı I_a tarafından kontrol edilmektedir. Motor hızı ise akım kontrol çevrimi için gerekli olan referans akımı I_a^* yı tedarik eden harici çevrim tarafından kontrol edilmektedir[6].

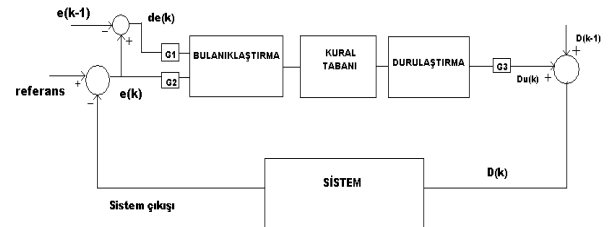
3. Denetleyici Tasarımı

3.1. Tasarım Mantığı

Denetleme sistemleri için tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken unsurlar vardır. Bunlar sistemin kararlılığı, yakalama süresi, kararlı durum hatası ve aşma oranıdır. Kararlı duruma geçme süresinin az olması sistemin performansını arttıracığından bu sürenin daha az olması için uğraşılır, kararlı hal hatasının ve aşma oranının da minimum seviyede olması için çaba gösterilir.

3.2. BM ve BMOİ Denetleyici

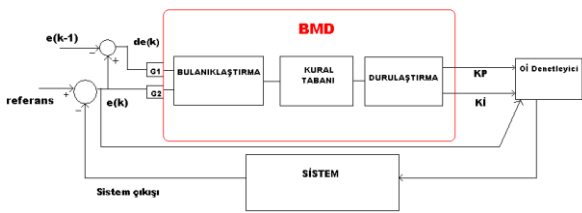
Kontrol sistemi uygulamalarında bulanık mantık denetimi önemli bir alandır. Klasik sayısal [0, 1] mantığının ötesine geçmiş bir yaklaşım olan bulanık mantık bu iki değerler arasında çok seviyeli değerler üretilmesi sonucunda denetimin daha doğru kararlar üretmesini, böylece performansın ve verimin artmasını sağlamaktadır. Şekil 4'de bulanık mantık denetiminin temel blok yapısı görülmektedir.



Şekil 4. Bulanık Mantık Denetiminin Temel Blok Yapısı

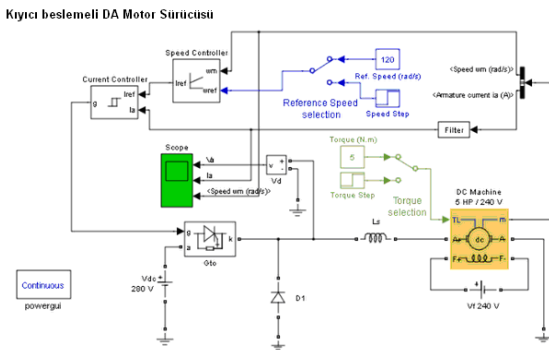
Şekil 4'de görüldüğü gibi bulanık denetim mantığı temel olarak 3 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar bulanıklaştırıcı birim, kural tabanı birimi ve durulaştırıcı birimdir.

Bulanıklaştırıcı birim adından da anlaşılacağı üzere kendine gelen kesin giriş bilgilerini bulanık hale getirme görevini yapmaktadır. Bulanıklaştırılan değerler kural tabanı birimine gönderilir. Kural tabanında veri tabanı ve dilsel denetim öğeleri bulunmaktadır. Kurallar işlendikten sonra bulanık sonuç işareti bir sonraki adımda çıkışa yansıtılabilmek için durulaştırma birimine gönderilir. Burada kesin sonuçlar üretilir. Şekil 4’de $e(k)$ hata işareti, $e(k-1)$ bir örnekleme süresi içinde hatadaki değişimi ifade eder. $G1$, $G2$, $G3$ kazanç değerleridir. $Du(k)$ durulaştırma birimi çıkışıdır ve bir önceki değeri olan $D(k-1)$ ile toplanarak suretiyle $D(k)$ elde edilerek sistemin girişine verilmiştir. Bu değişkenlere göre kural tabanı biriminde kural tablosu oluşturulur. Bulanık denetleyicide üyelik fonksiyonları temel bir yapıdır. Üyelik fonksiyonlarının secimi tamamen keyfi olmakla üçgen, yamuk, sinüsoid, çan, sigmoid, gaussian tiplerde olabilmektedir. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır[7],[8]. BMOİ denetim modelinin blok yapısı Şekil 5’de gösterildiği gibidir. BMOİ denetiminde oransal integral kazançları K_p ve K_i bulanık mantık denetimiyle kontrol edilmektedir. Kazançlar her bir çevrimde hız hatası ve hız hatasındaki değişim değerleri kullanılarak bulanık mantık denetleyicisi tarafından değiştirilir ve keskin sonuçlara kavuşturulur. Böylece sistem kıza zamanda ve kararlı bir şekilde referans değere ulaşır[9].



Şekil 5. BMOİD Blok Yapısı

3.3 MATLAB/Simulink Modeli



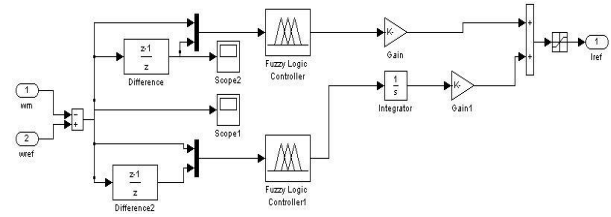
Şekil 6. MATLAB/Simulink Modeli

SimPowerSystem içinde bulunan kıyıcı beslemeli DA motor sürücüsü Şekil 6’da gösterildiği gibidir. DA motoru DA kaynağına bağlanmış GTO (Gate Turn Off) tristör ve buna bağlı serbest D1 diyodunun oluşturduğu kıyıcı devre tarafından beslenmektedir. Motorun sürdüğü mekanik yükün atalet momenti J , sürtünme momenti B ve tork yükü TL ile

temsil edilmiştir. Histerisiz akım denetleyicisi alınan sinyalle referans sinyali karşılaştırır ve GTO tristörüne tetikleme sinyali göndererek motor akımının referansı takip etmesini sağlar. Hız kontrol çevrimi, Oİ ve BMOİ denetleyicileri ayrı ayrı kullanarak akım çevrimi için referans üretir. Akım ve gerilim sinyallerin izlenebilmesi amacıyla scope kullanılmıştır. Bu çalışmada MATLAB/Simulink’te Oİ denetleyicisiyle denetlenen bu sistem BMOİ denetleyicisi ile kontrol edilmiş ve OİD-BMOİD karşılaştırması yapılmıştır. Başlangıç koşulu olarak $w_m=120$ rad/s ve $TL=5$ N.m alınmıştır[6].

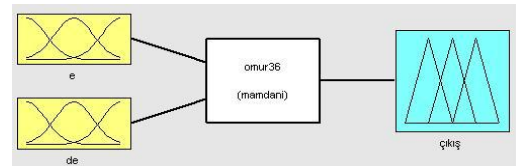
3.3.1. BMOİD Matlab/Simulink Modeli

BMOİD’nin hız kontrolü için oluşturulmuş oransal integral katsayılarını denetleyen simulink modeli Şekil 7’de gösterilmiştir.

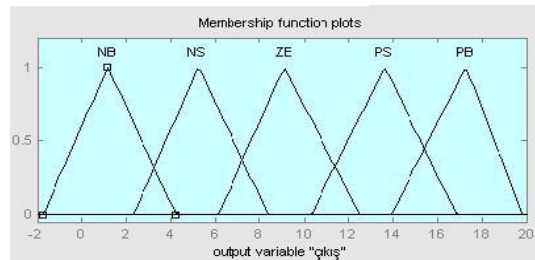


Şekil 7. BMOİD’nin Simulink Modeli

BMOİD’nin hata hızı (e) ve hata hızında oluşan hata değişimi (de) giriş üyelikleri olacak şekilde oluşturulmuştur Şekil 8. Bulanık mantık için oluşturulmuş çıkış üyelik fonksiyonu Şekil 9. da gösterilmiştir.



Şekil 8. BMOİD’nin Blok Yapısı



Şekil 9. BMOİD’nin K_p ve K_i için Çıkış Üyelik Fonksiyonları.

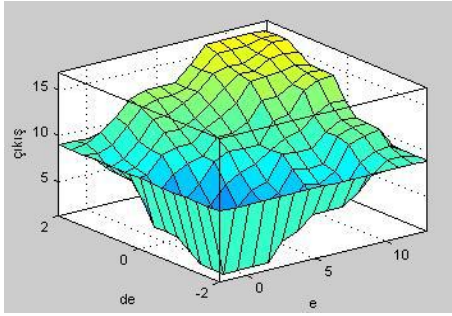
BMOİD’nin kural tabanı biriminde, uygun K_p ve K_i değerlerinin oluşturulması için kullanılan kural tablosu Tablo 1’de gösterilmiştir. BMOİD’nin giriş değişkenleri, hızdaki hata (e) ve hızdaki hatanın bir örnekleme süresindeki değişimi (de) olacak şekilde gösterilmiştir. Bu değişkenlere göre burada

giriş değişkeni için 5 etiketli üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan dilsel etiketler NB(Negative Big), NS(Negative Small), ZE(Zero), PS(Positive Small) ve PB(Positive Big) olarak ifade edilmiştir.

Tablo 1: BMOİD'nin K_p ve K_i için Kural Tablosu

de \ e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZE
NS	NB	NS	NS	ZE	PS
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NS	ZE	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PS	PB	PB

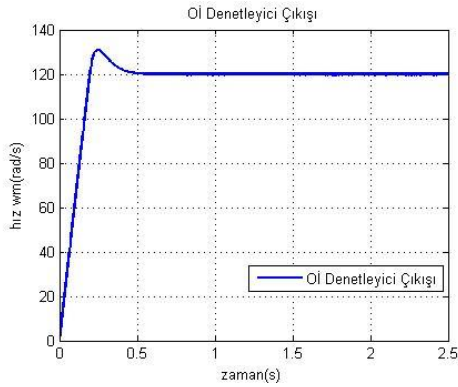
BMOİD'nin 3-Boyutlu gösterimi Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. BMOİD'nin 3-Boyutlu Gösterimi

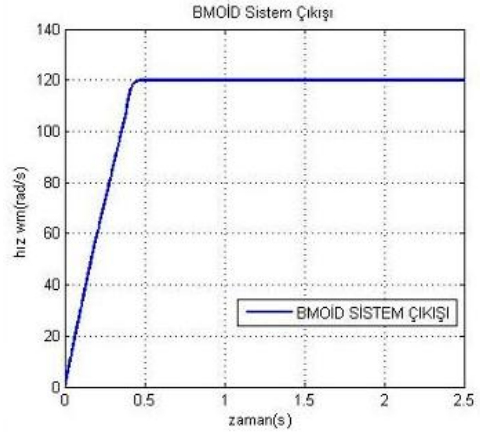
4. Benzetim Sonuçları

OİD'li sistemin çıkışında alınan hız değerinin zamanla değişim grafiği Şekil 11. deki gibidir. MATLAB SimPowerSystem de önerilen OİD sistemin referans 120 rad/s hız değerine ulaşma süresi 0,53 ile 0,54 s arasında gerçekleşmektedir yine grafiğe dikkat edilirse 0-0,5 s aralığında istenmeyen bir aşma meydana gelmiştir.



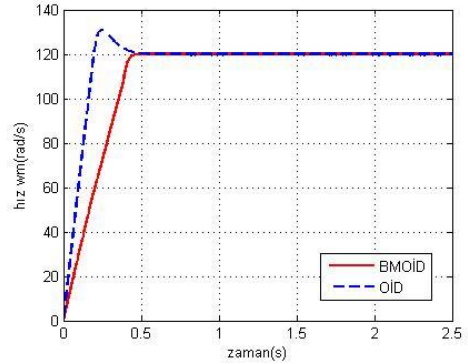
Şekil 11. OİD'nin Çıkışı

BMOİD'li sistemin çıkışından elde edilen hızın zamanla değişim grafiği Şekil 12'de gösterildiği gibidir. Grafiğe bakıldığında BMOİD'li sistemin referans hız değerine 0,44-0,45 s aralığında ulaştığı görülmektedir bunun yanında referans değeri aşma gibi bir olay görülmemiştir.



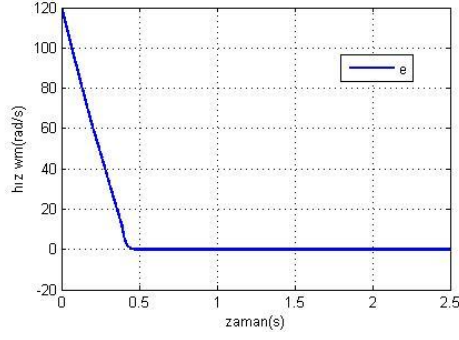
Şekil 12. BMOİD Çıkışı

Şekil 13'de OİD ve BMOİD sistem çıkışları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Sonuçlara aynı grafik üzerinde bakıldığında da BMOİD'li sistemin OİD li sisteme göre daha kısa sürede ve aşma olmaksızın referans değere ulaştığı açıkça görülmektedir.



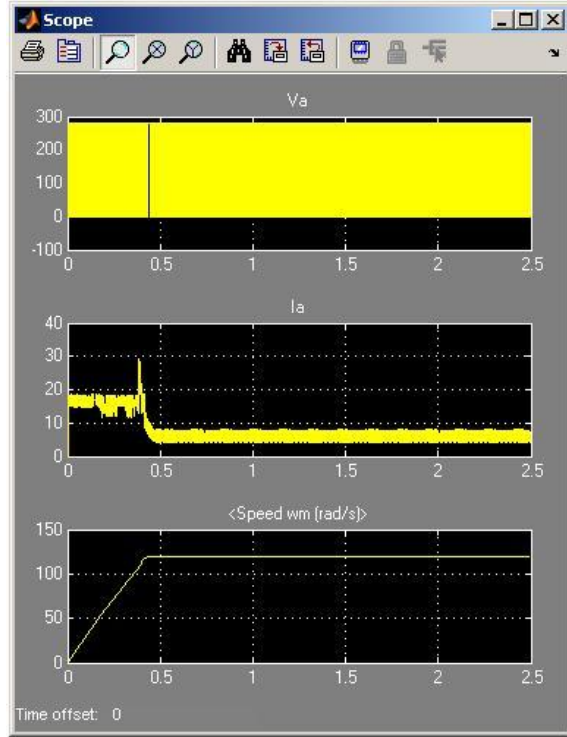
Şekil 13. OİD ve BMOİD'li Sistem Çıkışları

Şekil 14'de BMOİD'li sistemdeki hatanın zamanla değişimi görülmektedir. Grafiğe dikkat edildiğinde BMOİD'nin 0,5 s den daha kısa sürede hatayı sıfıra indirdiği görülmüştür.



Şekil 14. BMOİD’li Sistemde Hatanın Zamanla Değişimi

MATLAB/Simulink ortamında BMOİD’nin V_a , I_a ve motor hızının değişimine ait işaretlerin zamanla değişimi Şekil 15’de ki gibidir. Burada V_a kıyıcı çıkış gerilimi, I_a endüvi akımı ve Speed wm motor hızının zamanla değişim grafikleridir.



Şekil 15. BMOİD’li Sistemde V_a , I_a ve Motor Hızının Zamanla Değişimi

5. Sonuçlar

Benzetim sonuçlarına bakıldığında oransal integral denetim modelinin referans hız olan 120 rad/s değerini 0,53-0,54 saniyede ve aşma yaparak yakaladığı Şekil 11’den de görülmektedir. Önerilen bulanık mantık oransal integral denetleme modelinin ise 0,44-0,45 saniyede ve aşma olmaksızın aynı referans değerini yakaladığı Şekil 12’den görülmektedir. İki model karşılaştırıldığında BMOİD nin daha kısa sürede ve aşma olmadan referans hızı yakaladığı görülmüş ve OİD yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

6. Kaynakça

- [1] T.M. George, C.M. Bhatia, S.I. Ahson, *Implementation of Sliding Mode Control for Chopper Fed Separately Excited DC Motor Using a Personal Computer*, IECON’88 714–719
- [2] D.D. Parakash, G.K. Dubey, *Analysis of Chopper-fed DC Series Motor*, IEEE Transaction on Industrial Electronics Control Instrumentation, Vol. IECI–23 No. 1, 92–97, Feb 1976
- [3] C. Elmas, M.A. Akcayol, T. Yigit, *Fuzzy PI Controller For Speed Control of Switched Reluctance Motor* J.Fac.Eng. Arch. Gazi Univercity, Vol 22, No 1, 65–72, 2007
- [4] G.C.D. Sousa, B.K. Bose, *A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase-Controlled Converter DC Machine Drive*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No. 1, pp. 34–44, 1994.
- [5] G. Feng, *A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 14, No. 5, pp. 676–697, 2006.
- [6] SimPowerSystem User’s Guide *Chopper-fed Drivers*, Page 133
- [7] K. Yanmaz, İ.H. Atlas, *STATCOM için Bulanık Mantık Denetleyici*, ELECO’2008 5. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 51–54, 2008
- [8] D. Ramot, M. Friedman, G. Langholz, A. Kandel, *Complex Fuzzy Logic*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 450–461, 2003.
- [9] C. Elmas, M.A. Akcayol, T. Yigit, “ Fuzzy PI Controller For Speed Control of Switched Reluctance Motor “ J.Fac.Eng. Arch. Gazi Univercity, Vol 22, No 1, 65-72, 2007