



Research Article / Araştırma Makalesi
FUZZY CONTROL AND SLIDING MODE FUZZY CONTROL OF DC MOTOR

**Basri YARAŞ^{*1}, Rafael HÜSEYNOV², Manafeddin NAMAZOV³,
İbrahim Emre ÇELİKKALE², Mustafa ŞEKER¹**

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Divriği Nuri Demirağ Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Divriği-SİVAS

²Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, SİVAS

³Yüksek Petrol Okulu, Bakü-AZERBAJCAN

Received/Geliş: 21.02.2013 Revised/Düzeltilme: 01.10.2013 Accepted/Kabul: 24.12.2013

ABSTRACT

Direct current (DC) motors are often used in application that position and speed control require. During operation of DC motors, while parameters such as resistance and inductance varies with time, motors may be exposed to the uncertainties loads. For this reason, especially the control method applied in the high-accuracy systems must be best selected. In this study, a method which more durable based on fuzzy control has been developed synthesizing sliding mode control with fuzzy control methods. Parameter variations and uncertainties is carry out using Matlab/Simulink/Robust Control Toolbox. Resistance and inductance is given tolerance, load is offer uncertainly. By looking at the results of the simulation sliding mode fuzzy control method based on fuzzy control method has been concluded that is more stable against load variations and uncertainties, settling time is shorter than, and the system reaches a faster reference signal.

Keywords: Fuzzy control, sliding mode control, model of DC motor.

DC MOTORUN BULANIK VE KAYMA KİPLİ BULANIK KONTROLÜ

ÖZET

Doğru akım (DC) motorları konum ve hız kontrolü gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılırlar. DC motorların çalışması sırasında direnç ve endüktans gibi parametreler zamanla değişirken, motorun maruz kaldığı yükte ise belirsizlikler olabilir. Bu sebeple özellikle hassasiyeti yüksek sistemlerde uygulanan kontrol yönteminin iyi seçilmesi gerekir. Bu çalışmada, bulanık kontrol ile kayma kipli kontrol yöntemleri sentezlenerek, bulanık kontrole göre daha dayanıklı bir yöntem geliştirilmiştir. Parametre değişimleri ve belirsizlikler, Matlab/Simulink/ Robust Control Toolbox kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Direnç ve endüktansa tolerans, yüke ise belirsizlik verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına bakılarak kayma kipli bulanık kontrol yönteminin, bulanık kontrol yöntemine göre yük değişimlerine ve belirsizliklerine karşı daha dayanıklı olduğu, oturma süresinin daha kısa olduğu ve sistemin daha hızlı referans sinyaline ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Bulanık kontrol, kayma kipli kontrol, DC motor modeli.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: byaras@cumhuriyet.edu.tr, tel: (346) 418 52 71 / 125

1. GİRİŞ

DC motorların kontrolünde sade yapıları sebebiyle, oran, integral ve türevden oluşan PID kontrolör veya kombinasyonları olan PI, PD kontrolörler tercih edilebilir. PID parametrelerinin ayarlanması amacıyla farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler başarılı sonuçlar vermekle birlikte; istenen sistem çıkışını elde edebilmek için gerekli olan optimal PID parametre değerlerini bulmak, zaman alıcı ve zahmetlidir. Ayrıca bu değerlerin farklı koşullarda tekrar optimizasyonunun yapılması gerekir [1-2].

Doğrusal olmayan, matematiksel olarak modellenmesi zor veya imkansız olan, parametreleri kesin olarak bilinmeyen veya zamana ve ortam şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren sistemlerin kontrolünde, PID kontrolörlerin kullanılması, istenen sistem cevabını elde etmek için yetersiz kalır. Lotfi Zadeh' in ortaya attığı bulanık kümeler teorisi [3] ve bu teori ışığında geliştirilen bulanık kontrol yöntemi bu tarz belirsizliklerle başa çıkabilecek bir kontrol yöntemidir. Bulanık kontrol yönteminin en büyük avantajı, sistemlerin matematiksel modellerine ihtiyaç duyulmadan, doğrusal olmayan kompleks yapılı ve belirsizlik içeren sistemlerin kontrolünde dahi başarılı kontrol sistemleri oluşturulabilmesidir [4-5].

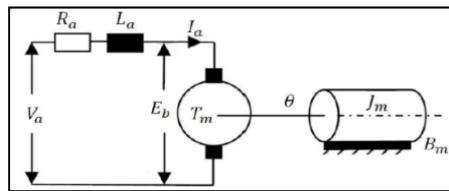
Bulanık kontrolden başka belirsizliklere çözüm getiren yöntemlerden biri de dayanıklı kontrol yöntemidir. Dayanıklı kontrol, kontrol edilen bir sistemdeki parametre değişimlerine, parametrik olmayan belirsizliklere yani modellenmemiş dinamiklere ve harici bozucu girişlere karşı istenen sistem cevabını muhafaza eden veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutan kontrol yöntemidir. Bu yöntemdeki kontrolöre ise dayanıklı kontrolör denir [6-7].

Dayanıklı kontrolde kullanılan yaklaşımlardan biri kayma kipli kontrol yöntemidir [8]. Kayma kipli kontrol yöntemi, bozucu girişler ve modellenmemiş dinamiklerin etkilerinin görüldüğü durumlarda belirsizliklerin ve bozucu girişlerin sınırları bilindiği sürece dayanıklı bir kontrol sağlar.

Bu çalışmanın amacı; DC motor modeli üzerinden, Matlab ortamında elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, bulanık kontrol ile bulanık kontrol ve kayma kipli kontrol senteziyle geliştirilen kayma kipli bulanık kontrol performanslarını karşılaştırmak ve hassasiyet gerektiren konum kontrolü uygulamaları için yöntem belirlemektir.

2. DC MOTOR MODELİ

Bu çalışmada, şönt uyarım sargılı DC motorlar ele alınmış ve bu motorları kontrol etme yöntemlerinden biri olan, alan sargılarına sabit gerilim uygulamak suretiyle, armatür (endüvi) gerilimi akort edilerek gerçekleştirilen konum kontrolü yöntemi üzerine kontrolör tasarlanmıştır. Şekil 1' de şönt uyarım sargılı DC motor modeli gösterilmektedir.



Şekil 1. DC motor modeli [9]

DC motorun çalışmasını ifade eden denklemler aşağıdaki gibidir:

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + E_b \quad (1)$$

$$E_b = K_b \cdot \omega \quad (2)$$

$$T_m = K_t \cdot I_a \quad (3)$$

$$T_m = J_m \cdot \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega + T_{yük} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

Burada;

V_a = Armatür gerilimi (V)

R_a = Armatür direnci (Ω)

L_a = Armatür endüktansı (H)

I_a = Armatür akımı (A)

E_b = Zıt EMK (V)

ω = Açısal hız (rad/s)

θ = Konum (rad)

T_m = Motor torku (Nm)

J_m = Rotor eylemsizliği (kgm^2)

B_m = Vizkoz sürtünme katsayısı (Nms/rad)

K_t = Tork sabiti (Nm/A)

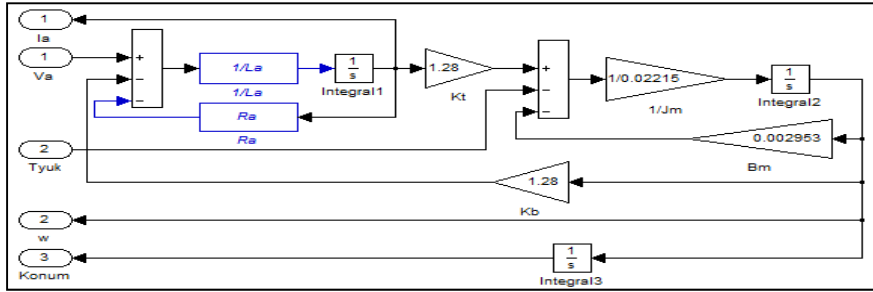
K_b = Zıt EMK sabiti (Vs/rad)

(1) ve (4) numaralı denklemleri yeniden düzenlediğimizde;

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + K_b \cdot \omega \quad (6)$$

$$K_t \cdot I_a = J_m \cdot \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega + T_{yük} \quad (7)$$

şekline gelir. Elde edilen (6) ve (7) numaralı denklemlere göre DC motorun Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 2' deki gibidir:



Şekil 2. DC motor blok diyagramı

Şekil 2' de blok diyagramı verilen DC motorun gücü 5 hp, anma gerilimi 240 V, maksimum devir hızı 1750 rpm olup, parametreleri aşağıdaki gibidir:

$R_a = 11.2 \Omega$

$L_a = 0.1215 \text{ H}$

$J_m = 0.02215 \text{ kgm}^2$

$B_m = 0.002953 \text{ Nms/rad}$

$K_t = 1.28 \text{ Nm/A}$

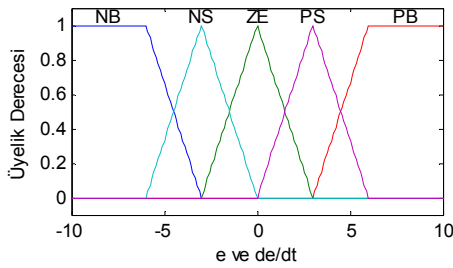
$K_b = 1.28 \text{ Vs/rad}$

3. BULANIK KONTROL

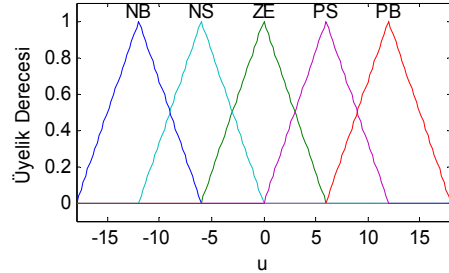
Fiziksel sistemlerin matematiksel modeli oluşturulurken, genellikle sistemlerin doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemler olduğu kabul edilir. Fakat pek çok sistem doğrusal olmayıp,

parametreleri de zamanla değişir. Örneğin, DC motorun armatür direncinin ve endüktansının sıcaklıkla değişmesi beklenen bir durumdur. Bu sebeplerden dolayı, doğrusal olmayan, parametreleri zamanla değişen sistemlerin kontrolünde bulanık kontrol uygulamaları son yıllarda giderek artmıştır.

Bu çalışmada, benzer uygulamalarda olduğu gibi bulanık kontrolörün giriş değişkenleri hata (e) ve hatanın türevi (de/dt), çıkış değişkeni ise kontrol sinyali (u) [9]. Giriş-çıkış değişkenleri ve üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4' de görüldüğü gibidir:

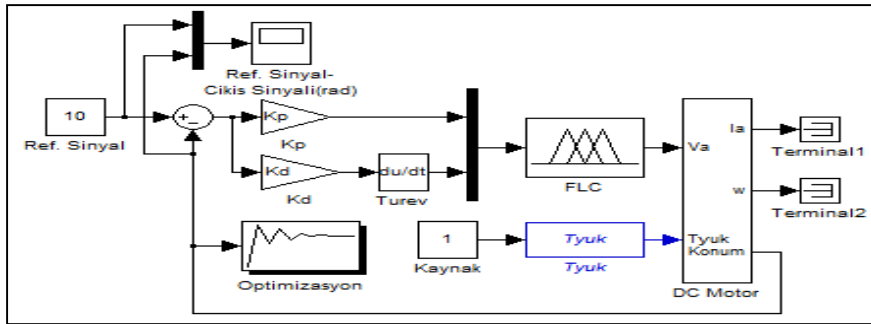


Şekil 3. Giriş değişkenleri hata (e) ve hatanın türevi (de/dt) için üyelik fonksiyonları



Şekil 4. Çıkış değişkeni kontrol sinyali (u) için üyelik fonksiyonları

DC motorun bulanık kontrolüne ait Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 5' de görüldüğü gibidir:



Şekil 5. DC motor bulanık kontrol blok diyagramı

Burada;

K_p : Oransal kazanç katsayısı

K_d : Türevsel kazanç katsayısı

FLC (Fuzzy Logic Controller): Bulanık mantık kontrolörü

$T_{yük}$: Motor miline bağlanan yük

DC Motor: Şekil 2' de blok diyagramı verilen alt sistem bloğu

Optimizasyon: En uygun K_p ve K_d kazanç katsayılarını bulmak amacıyla kullanılan Matlab/Simulink bloğu

Bulanık kontrolör kural tabanında, dilsel yargı cümlelerinden oluşan bulanık kurallar kümesi bulunur. Bulanık kurallar çizelge yardımıyla gösterilir. Çizelgeyi oluştururken amaç, zamanla $e=0$ ve $de/dt=0$ olmasını sağlayacak bulanık kuralları belirlemektir. Bu sebeple, hata ve

hatanın türevi sifira yaklaştışıkça kontrol sinyalinin değerinin de sifira yaklaşması gerekir. Çizelge 1’ den görüldüğü gibi çıkış sinyali çizelgenin sol alt-sağ st köşegenine göre simetrikidir.

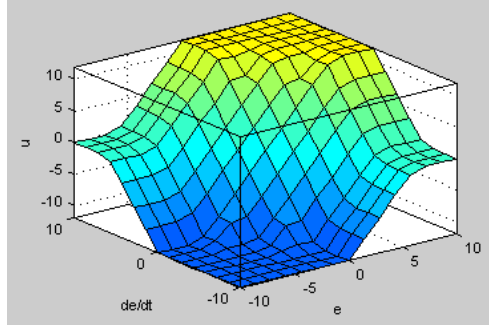
Çizelge 1. Bulanık kontrolör kuralları

e	NB	NS	ZE	PS	PB
de/dt					
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

Burada;

NB: Negatif Büyük, NS: Negatif Küçük, ZE: Sıfır, PS: Pozitif Küçük, PB: Pozitif Büyük anlamlarına gelmektedir.

Bulanık kontrolörün giriş-çıkış değişkenlerini gösteren yüzey diyagramı Şekil 6’ daki gibidir:



Şekil 6. Bulanık kontrolör yüzey diyagramı

4. KAYMA KİPLİ KONTROL

Kayma kipli kontrol yöntemi, doğrusal olmayan, değişen parametrelere sahip veya harici bozucu girişlerin etkisinde bulunan sistemlerin kontrolünde kullanılan etkili bir kontrol yöntemidir [6], [10-12].

Kayma kipli kontrolde önemli olan model belirsizlikleri ve bozucu girişler altında sistem çıkış sinyalinin (θ) istenen referans sinyalini (θ_{ref}) takip etmesini sağlayacak kontrol sinyalini üretebilmektir.

Hata sinyali (e),

$$e = \theta_{ref} - \theta \tag{8}$$

şeklinde tanımlanır. Kayma kipli kontrolün en önemli parametresi anahtarlama fonksiyonudur. Anahtarlama fonksiyonu bu çalışmada PD kontrolör ile üretilmiş olup,

$$S = K_p \cdot e + K_D \cdot \frac{de}{dt} \tag{9}$$

şeklinde tanımlanmıştır. İzleme hatasının $S=0$ doğrusu üzerinden kayarak orjine ulaşması ile referans sinyaline ulaşılmış olur. Bu durumu sağlayacak kontrol sinyalini bulmak için Lyapunov fonksiyonu kullanılır.

$$V = \frac{1}{2}S^2 \quad (V(0) = 0) \quad (10)$$

İstenen kontrolün sağlanması için gerek ve yeter şart;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dS^2}{dt} \leq -\eta \cdot |S| \quad (\eta \geq 0) \quad (11)$$

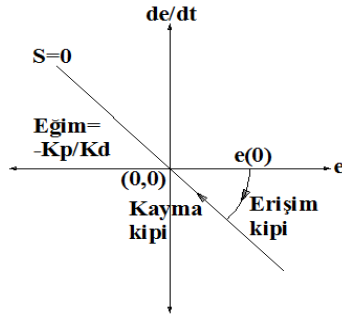
şeklindedir. Bu durumda;

$$\frac{dS}{dt} \cdot \text{sgn}(S) \leq -\eta \quad (12)$$

olur. Burada;

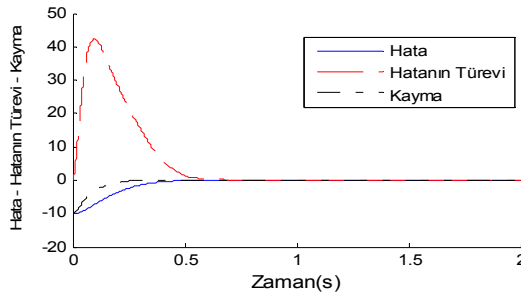
$$\text{sgn}(S) = \begin{cases} +1, & S > 0 \\ -1, & S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

(12) nolu eşitlik erişim şartı olarak tanımlanır. Bu eşitlik sağlanacak şekilde bir kontrol sinyali seçilirse sistem kayma kipine ulaşır. İzleme hatası (e), $S=0$ doğrusuna eriştikten sonra sistem parametre değişiklikleri ve bozucu girişlerden etkilenmeksizin $S=0$ doğrusu üzerinden kayarak orjine ulaşır. Bu olaya kayma kipi, $S=0$ doğrusuna erişme durumuna ise erişim kipi adı verilir [13]. Şekil 7’ de erişim ve kayma kipleri gösterilmektedir.



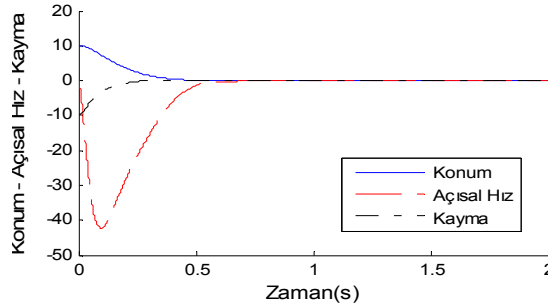
Şekil 7. Erişim ve kayma kipleri

Şekil 8 ve 9, bu çalışmada gerçekleştirilen kayma kipli bulanık kontrol uygulamasında, erişim ve kayma kipinin daha iyi anlaşılması amacıyla DC motora $\theta(0)=10$ rad başlangıç konumu, $\theta_{ref}=0$ rad referans sinyali verilerek, alınan sonuçları göstermektedir. $t=0$ anında $e(0)=-10$ rad, $de/dt(0)=0$ rad/s ve $S(0)=-10$ olur.



Şekil 8. $e(0)=-10$ rad için hata (e), hatanın türevi (de/dt) ve kaymanın (S) zamanla değişimi

Şekil 8’ den görüldüğü gibi, S=0 olduktan sonra; hata sinyali kayma sinyaline erişip, kayma sinyali üzerinden kaymaktadır. Bu durumda hata ve dolayısıyla; hatanın türevi de sıfır olmaktadır.



Şekil 9. $\theta(0)=10$ rad için konum (θ), açısal hız (ω) ve kaymanın (S) zamanla değişimi

Şekil 9 ise konum, açısal hız ve kaymanın zamanla değişimini göstermektedir. Benzer şekilde $S=0$ olduktan sonra, konum ve konumun türevi olan açısal hız sıfır olarak sistem, parametre değişiklikleri ve bozucu girişlerden etkilenmeksizin referans sinyaline ulaşır ve tutunur. Kayma kipinde eşdeğer kontrol yaklaşımı, $dS/dt=0$ olmaktadır. Bu eşitlikten elde edilen kontrol sinyali, eşdeğer kontrol sinyali olarak adlandırılır ve u_{eq} şeklinde gösterilir.

Kayma kipli kontrolde kontrol sinyali, eşdeğer kontrol sinyaline ilaveten parametre değişiklikleri ve bozucu girişlerin etkisini bastıracak u_s kayma sinyalinden oluşur. Bu durumda kontrol sinyali,

$$u = u_{eq} - u_s \quad (14)$$

olarak tanımlanabilir [13].

5. KAYMA KİPLİ BULANIK KONTROL

Eşdeğer kontrol sinyali u_{eq} ve u_s kayma sinyali,

$$u_{eq} = K_1 \cdot S \quad (15)$$

$$u_s = -K_2 \cdot \text{sgn}(S) \quad (16)$$

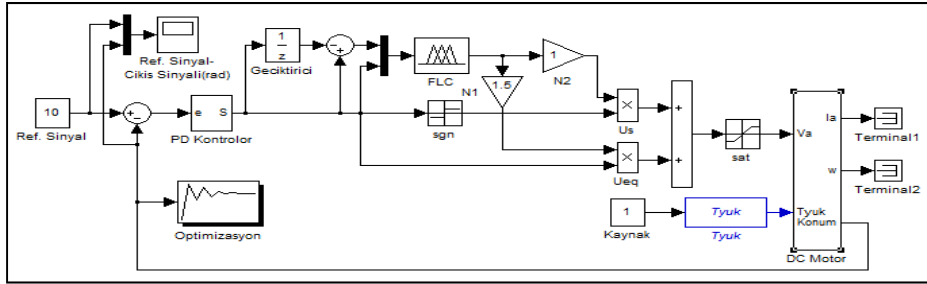
şeklinde tanımlanabilir [14]. Bu çalışmada, uygun K_1 ve K_2 değişkenlerinin bulunması amacıyla bir bulanık kontrolör tasarlanmış ve kontrolörün çıkışına eşdeğer kontrol ve kayma sinyallerinin etkilerinin ayarlanabilmesi amacıyla N_1 ve N_2 kazanç blokları ilave edilmiştir.

$$K_1 = N_1 \cdot K_{\text{bulanık}} \quad (17)$$

$$K_2 = N_2 \cdot K_{\text{bulanık}} \quad (18)$$

Bu durumda kontrol sinyalinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi olup, bu formül ışığında elde edilen DC motorun kayma kipli bulanık kontrolüne ait Matlab/Simulink modeli Şekil 10’ da verilmiştir.

$$u = N_1 \cdot K_{\text{bulanık}} \cdot S + N_2 \cdot K_{\text{bulanık}} \cdot \text{sgn}(S) \quad (19)$$



Şekil 10. DC motor kayma kipli bulanık kontrol blok diyagramı

Burada Şekil 5' den farklı olarak kullanılan bloklar aşağıdaki gibi tanımlanır:

PD Kontrolör: Anahtarlama fonksiyonunu üretmek amacıyla oransal ve türevsel kazançtan oluşan sistem bloğu

Unit Delay (Birim Gecikme): Sistemin cevabını bir simülasyon süresi kadar geciktirerek, parametrelerdeki belirsizliklerden kaynaklanan farklı sonuçların aynı grafik üzerinde gösterilmesini sağlayan blok

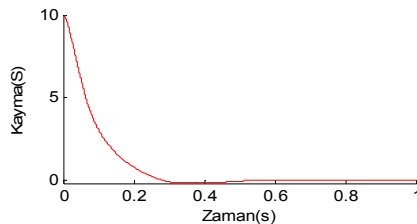
Signum (sgn): Signum fonksiyonunu ifade eden blok (röle etkisi)

N_1 : Eşdeğer kontrol sinyalinin etkisini belirlemek amacıyla kullanılan kazanç katsayısı olup, bu çalışmada, motora uygulanacak kontrol sinyalinin, motorun nominal gerilimini ($V_N=240$ V) geçmeyecek şekilde; $u(0)=V_N$ ve $-V_N \leq u \leq +V_N$ olacak şekilde seçilmiştir. Motorun ilk kalkınma anında kayma (S) ve $K_{\text{bulanık}}$ maksimum (XL) değerinde olup, $\text{sgn}(S)=+1$ olacaktır. N_2 kazanç katsayısı belirlendikten sonra (19) nolu denklemden hesaplanmıştır. ($N_2=1$ için $N_1=1.5$ ve $N_2=10$ için $N_1=0.6$ değerini almaktadır.)

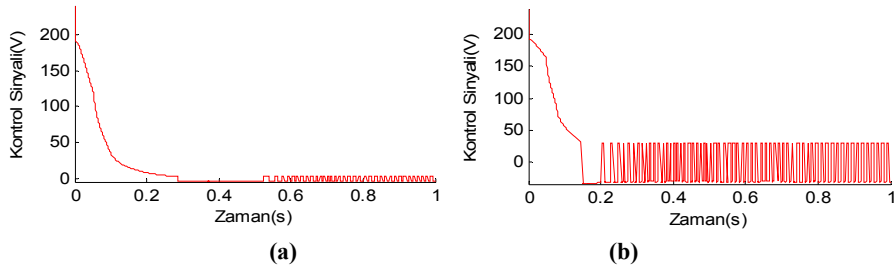
N_2 : Kayma sinyalinin etkisini belirlemek amacıyla kullanılan kazanç katsayısı olup, kalıcı durumda konum ve hızda sınımlara neden olmayacak ve motora zarar vermeyecek kadar küçük, yük altında dahi çıkış sinyalinin referans sinyaline tutunabilmesini sağlayacak kadar büyük seçilmiştir. Kalıcı durumda eşdeğer kontrol sinyali $u_{\text{eq}}=0$ V ve $K_{\text{bulanık}}$ değeri minimum (XS) değerini almaktadır. (Şekil 12' den görüldüğü gibi kalıcı durumda kayma sinyali $N_2=1$ için ± 3 V ve $N_2=10$ için ± 30 V olmaktadır.)

Satürasyon (sat): Referans sinyalinin ani artışlarında kayma fonksiyonu türevden dolayı artmaktadır. Eşdeğer kontrol sinyali direkt olarak kayma fonksiyonu ile orantılı olduğundan artarak, kontrol sinyalinin artışına neden olur. Bu sebeple DC motorun zarar görmemesi amacıyla, kontrol sinyalinin belirli değerler arasında ($-V_N \leq u \leq +V_N$) kalmasını sağlayan satürasyon bloğu (sınırlayıcı)

Bulanık kontrolde kontrol sinyali, yalnızca bulanık kontrolörün çıkış aralığı kadar olabilir. Kayma kipli bulanık kontrolde ise kontrol sinyali eşdeğer kontrol sinyali ve kayma sinyalinden oluşmaktadır. Şekil 11 ve 12' de sırasıyla kayma fonksiyonu ve kontrol sinyalinin bileşenleri görülmektedir.



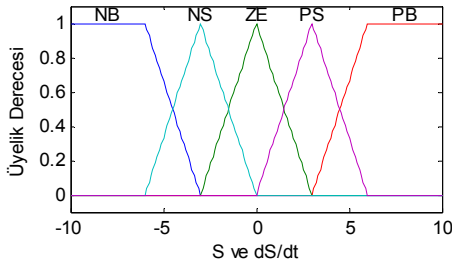
Şekil 11. Kayma kipli bulanık kontrolde kayma fonksiyonu



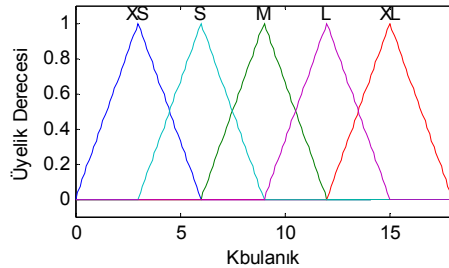
Şekil 12. Kayma kipli bulanık kontrolde kontrol sinyali (a) $N_1=1.5$ ve $N_2=1$ için $u_s=\pm 3$ V (b) $N_1=0.6$ ve $N_2=10$ için $u_s=\pm 30$ V

Eşdeğer kontrol sinyali direkt olarak Şekil 11 ve 12’ den de görüldüğü gibi kaymayla orantılı olup, özellikle referans sinyaline ulaşmada etkilidir. Kayma fonksiyonu hata ve hatanın türevinin bir fonksiyonu olup yük ve referans sinyali değişimlerinde eşdeğer kontrol sinyalinin değerini belirler. Bu nedenle, sistem istenen referans sinyaline daha hızlı ulaştığı gibi, yük değişimlerine karşı da oldukça dayanıklıdır. Kayma sinyali ise özellikle referans sinyaline ulaştıktan sonra etkilidir. Kayma sinyali $sgn(S)$ fonksiyonuna bağlı olup, referans sinyaline ulaştıktan sonra yüke bağlı olarak farklı zaman aralıklarında anahtarlama yapmak suretiyle, çıkış sinyalinin, referans sinyaline dayanıklı bir şekilde tutunmasını sağlar.

Bu çalışmada, bulanık kontrolörün giriş değişkenleri kayma (S) ve kaymanın türevi (dS/dt), çıkış değişkeni ise $K_{\text{bulanık}}$ değişkenidir. Giriş-çıkış değişkenleri ve üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14’ de görüldüğü gibidir:



Şekil 13. Giriş değişkenleri kayma (S) ve kaymanın türevi (dS/dt) için üyelik fonksiyonları



Şekil 14. Çıkış değişkeni $K_{\text{bulanık}}$ için üyelik fonksiyonları

Çalışmaya ait bulanık kurallar Çizelge 2’ de verilmiştir. Çizelgeyi oluştururken amaç, zamanla $S=0$ ve $dS/dt=0$ olmasını sağlayacak bulanık kuralları belirlemektir. Bu sebeple, kayma ve kaymanın türevi küçüldükçe kontrol sinyalinin değerini belirleyen $K_{\text{bulanık}}$ değişkenini azaltmak gerekir. Çizelge 2’ den görüldüğü gibi çıkış sinyali çizelgenin orta yatay ve dikey eksenine göre simetriktr.

Çizelge 2. Kayma kipli bulanık kontrolör kuralları

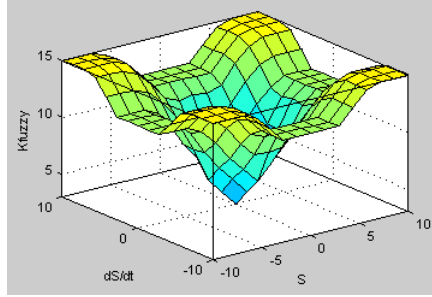
S	NB	NS	ZE	PS	PB
dS/dt					
NB	XL	L	M	L	XL
NS	L	M	S	M	L
ZE	M	S	XS	S	M
PS	L	M	S	M	L
PB	XL	L	M	L	XL

Burada;

XL: Çok Büyük, L: Büyük, M: Orta, S: Küçük, XS: Çok Küçük

anlamlarına gelmektedir.

Kayma kipli bulanık kontrolörün giriş-çıkış değişkenlerini gösteren yüzey diyagramı Şekil 15’ deki gibidir:

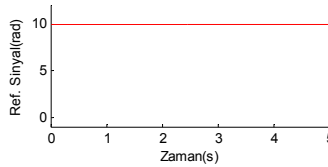


Şekil 15. Kayma kipli bulanık kontrolör yüzey diyagramı

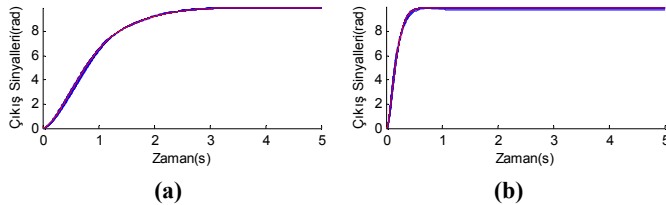
Bulanık kontrol yüzey diyagramı ile kayma kipli bulanık kontrol yüzey diyagramı karşılaştırıldığında; kayma kipli bulanık kontrol yüzey diyagramının, ters duran bir koniye benzediği görülmektedir. Kayma fonksiyonu ve türevi, konik yüzey diyagramı üzerinde hareket ederek tepe noktasında sifira ulaşır.

6. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Şekil 16’ dan görüldüğü gibi referans sinyali $\theta_{ref}=10$ rad olarak uygulanmış, kazanç katsayıları $N_1=1.5$ ve $N_2=1$ olarak alınmıştır. Şekil 17 a ve b’ de onar adet simülasyon sonucu bulunmakta olup, sonuçlar direnç ve endüktansa $\pm \%20$ tolerans verilerek elde edilmiştir.



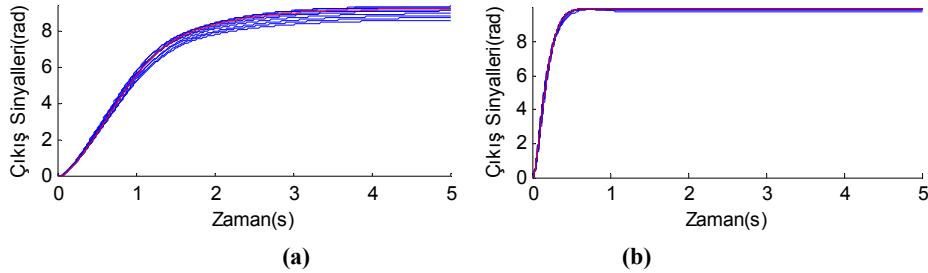
Şekil 16. Referans sinyali (θ_{ref})



Şekil 17. $R_a=11.2 \Omega \pm \%20$, $L_a=0.1215 H \pm \%20$ belirsizlik sınırları içerisinde (a) bulanık kontrol çıkış sinyalleri (b) kayma kipli bulanık kontrol çıkış sinyalleri

Aynı şartlar altında her iki yöntem için de optimizasyon yapılmasına rağmen Şekil 17 a ve b' den görüldüğü gibi kayma kipli bulanık kontrolde, bulanık kontrole göre oturma zamanı daha kısa olup, sistem daha hızlı referans sinyaline ulaşır. Bu kayma kipli bulanık kontrolün önemli bir üstünlüğüdür. Direnç ve endüktans parametrelerinin değişimi ise her iki yöntemi de çok fazla etkilememektedir.

Şekil 18 a ve b ise direnç ve endüktanstaki toleransa ek olarak yüke 0-20J_m aralığında sınırlı belirsizlik eklenerek yapılan onar adet simülasyon sonucunu göstermektedir.



Şekil 18. Ra=11.2 Ω ± %20, La=0.1215 H ± %20, Tyük=0-20J_m belirsizlik sınırları içerisinde (a) bulanık kontrol çıkış sinyalleri (b) kayma kipli bulanık kontrol sinyalleri

Şekil 18 a ve b' deki sonuçlara bakıldığında açıkça görülmektedir ki kayma kipli bulanık kontrol, yük değişimlerine ve belirsizliklerine karşı oldukça dayanıklıdır. Bu kayma kipli bulanık kontrolün en önemli üstünlüğüdür. Bulanık kontrol uygulamasında çıkış sinyalleri arasında belirgin farklar olup, çıkış sinyallerinin bir kısmında kalıcı durum hatası gözlenmektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Kayma kipli bulanık kontrol ile yapılan uygulamalarda, bulanık kontrol ile yapılanlara göre oturma zamanı daha kısa olup, sistem daha hızlı referans sinyaline ulaşır.
- Direnç ve endüktans parametrelerinin değişimi ve verilen toleranslar her iki yöntemi de çok fazla etkilememektedir.
- DC motorlara uygulanan yükün belirsizliği durumlarında, bulanık kontrol ile yapılan uygulamalarda, çıkış sinyalleri arasında belirgin farklar olup, çıkış sinyallerinin bir kısmında kalıcı durum hatası gözlenmektedir. Kayma kipli bulanık kontrolde ise bu durum ihmal edilebilecek seviyededir. Kayma kipli bulanık kontrol, bulanık kontrole göre yük değişimlerine ve belirsizliklerine karşı daha dayanıklıdır.

Bulunan sonuçlara bakılarak, yüksek hassasiyet gerektiren konum kontrolü uygulamalarında, bulanık kontrol yerine kayma kipli bulanık kontrol yöntemini kullanmak daha iyi sonuçlar vermektedir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] İ. Yüksel, Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Matlab ile Genişletilmiş 6. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2009.
- [2] B.C. Kuo, Otomatik kontrol Sistemleri, 7. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1999.
- [3] L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets, Information and Control", 8, 1965, s. 338-353.
- [4] S. Assilian and E.H. Mamdani, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", Int. J. Man-Machine Studies, 7(1), 1974, s. 1-13.

- [5] W.J.M. Kickert and H.R. van Nauta Lemke, “Application of a Fuzzy Controller in a Warm Water Plant”, *Automatica*, 12(4), 1976, s. 301-308.
- [6] Z.H. Akpolat, Application of Fuzzy Sliding Mode Control and Electronic Load Emulation to the Robust Control of Motor Drives, Ph.D.Thesis, University of Nottingham, 1999.
- [7] G.F. Franklin, J.D. Powell and M.L. Workman, *Digital Control of Dynamic Systems*, 3rd edn., Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1998.
- [8] V. Utkin, J. Guldner and J. Shi, *Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems*, 2nd edn., Crc Press, Taylor and Francis Group, 2009.
- [9] M. Namazov, O. Baştürk, “DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers with Different Defuzzification Methods”, *Turkish J. of Fuzzy Syst.*, Vol. 1, 2010, s. 36-54.
- [10] J.Y. Hung, W.B. Gao and J.C. Hung, “Variable Structure Control”, A survey, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 40, no.1, 1993, s. 2-22.
- [11] J.J.E. Slotine and W. Li, *Applied Nonlinear Control*, Prentice-Hall, 1991.
- [12] G. Rustamov, M. Namazov, R. Samet, “Sliding Modes in Finite-Time Control Systems with Variable Structure”, *Proc. of 9th WSEAS Int. Conf. on Automatic Control, Modeling and Simulation*, İstanbul, 2007, s. 118-122.
- [13] A. Altınörs, *Tip-II Bulanık Mantık ve Kayma Kipli Kontrol Yöntemleri ile Servo Sistemlerin Dayanımlı Kontrolü*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [14] M. Fallahi and S. Azadi, “Fuzzy PID Sliding Mode Controller Design for the Position Control of a DC Motor”, *International Conference on Education Technology and Computer*, 2009, s. 73-77.