



ISSN:1306-3111  
e-Journal of New World Sciences Academy  
2008, Volume: 3, Number: 1  
Article Number: A0058

**NATURAL AND APPLIED SCIENCES**  
**ELECTRONIC AND COMPUTER ENGINEERING**

Received: September 2007

Accepted: December 2007

© 2008 www.newwsa.com

**Ayhan Altınörs**  
**Z.Hakan Akpolat**  
University of Firat  
aaors@hotmail.com  
Elazığ-Türkiye

---

---

**ELEKTRİK SÜRÜCÜLERİNİN TİP-2 BULANIK MANTIK VE KAYMA KIPLİ KONTROL YÖNTEMLERİ KULLANILARAK DAYANIKLI HIZ KONTROLÜ**

**ÖZET**

Bu makalede, elektriksel sürücülerin dayanıklı hız kontrolü için tip-2 bulanık mantık (T2BM) ve kayma kipli kontrol tekniği (KKK) üzerine kurulmuş yeni bir kontrol tasarımı sunulmaktadır. Önerilen kontrolörün tasarımında bir kayma kipli kontrol tasarım yöntemi olan erişim kuralı kontrol yaklaşımı (EKKY) kullanılmıştır. Kontrol uygulamalarına daha elverişli olması sebebiyle, Takagi-Sugeno-Kang (TSK) bulanık sistemi ve aralık tip-2 bulanık küme tercih edilmiştir. Belirsizlikler üzerindeki etkinliği nedeniyle Non-singleton bulanıklaştırma uygulanmıştır. Kontrol performansı, atalet ve sürtünmeye bağlı değişimler ve harici yük moment bozucuları altında test edilmiştir. Yeni kontrol yaklaşımının etkinliğini göstermek için KKK ve tip-2 bulanık KKK (T2BKKK) sistemlerin deneysel sonuçları beraber sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tip-2 Bulanık Mantık, Kayma Kipli Kontrol, Erişim Kuralı Kontrol Yaklaşımı, Dayanıklı Kontrol, Hız Kontrolü

**ROBUST SPEED CONTROL OF ELECTRICAL DRIVE SYSTEMS USING TYPE-2 FUZZY LOGIC AND SLIDING MODE CONTROL METHODS**

**ABSTRACT**

In this paper, a new control scheme based on Type-2 Fuzzy Logic and Sliding Mode Control (SMC) techniques is presented for the robust speed control of electrical drives. In the design of the proposed controller, Reaching Law Control (RLC) approach which is a SMC design method is used. Takagi-Sugeno-Kang (TSK) fuzzy system and interval type-2 fuzzy sets are preferred due to their suitability for control applications. Non-singleton fuzzification is employed because of its effectiveness on uncertainties. The control performance is tested under inertial-frictional variations and external load torque disturbances. Experimental results of the SMC and Type-2 Fuzzy SMC (T2FSMC) systems are presented together in order to show the effectiveness of the new control approach.

**Keywords:** Type-2 Fuzzy Logic, Sliding Mode Control, Reaching Law Control, Robust Control, Speed Control

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürücü sistemlerinin kontrolünde karşımıza çıkan en önemli problemlerden biri olan belirsizlikler [1], ölçme hatalarından, çözülecek bir problem ile ilgili bilgi yetersizliği veya eksikliğinden, kelimelerin ifade edilmek istenen manadan başka şekilde anlaşılması gibi durumlarda ortaya çıkabilir. Belirsizliklerin etkisini azaltmak için geliştirilen stratejilerden biri de Tip-2 Bulanık Mantık Teorisidir [2]. Kontrol edilen bir sistemdeki parametre değişimlerine, modellenmemiş dinamiklere ve harici bozucu girişlere karşı istenen performansı muhafaza eden veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutan kontrol sistemine dayanıklı kontrol sistemi ve bu sistemdeki kontrolöre de dayanıklı kontrolör denir [3 ve 4].

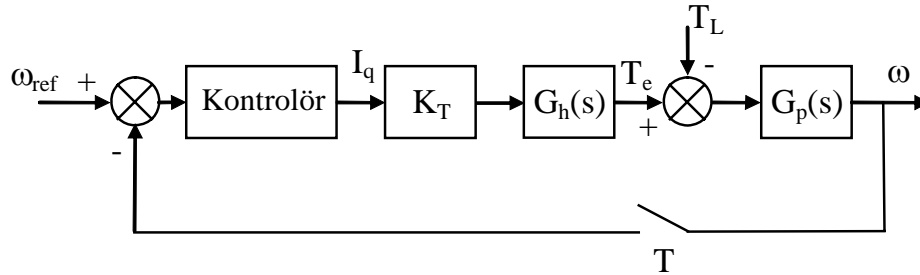
Bu makalede, özellikle belirsizlikler üzerindeki etkinliğinden dolayı Tip-2 Bulanık Mantık ve dayanıklı kontrol yöntemleri arasında en etkili ve uygulanabilir yöntemlerden biri olması açısından Kayma Kipli Kontrol (KKK) tekniğinin bir arada kullanılarak geliştirildiği yeni bir kontrolör yapısı sunulmaktadır. Bir servo sistemde elektrik motorunun dayanıklı hız veya konum kontrolü, mekanik ve elektriksel parametre değişimleri, gürültü ve bozucu girişler karşısında kontrol performansının kabul edilebilir bir düzeyde kalmasını sağlamak demektir.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Tip-2 Bulanık Mantık ve KKK yöntemlerinin birlikte kullanılması sonucunda yeni dayanıklı kontrol yöntemlerinin geliştirilebileceği rahatlıkla söylenebilir. Nitekim son zamanlarda, kontrol alanında performansı artırmak amacıyla, Tip-2 Bulanık Mantık yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Çalışma alanı yeni sayılabileceğinden Tip-2 bulanık mantık tabanlı kontrol uygulamaları ancak son beş yıl içinde yoğun bir şekilde artmıştır. Ayrıca Eylül 2007 itibarıyla yaptığımız son literatür taramalarına göre, bu çalışmanın, Tip-2 bulanık mantığın elektrik sürücü sistemlerinin hız kontrolüne uygulaması konusunda yapılan ilk çalışmalardan biri olduğu rahatlıkla söylenebilir.

## 3. TİP-2 BULANIK KKK'NİN YAPISI (STRUCTURE OF PROPOSED TYPE-2 FUZZY SMC)

Bu bölümde, ilk önce bir elektrik motorunun hız kontrolü için erişim kural yaklaşımı ile ayrık zaman KKK tasarımı yapılacak, daha sonra ise aralık tip-2 non-singleton TSK BMK'nın kullanıldığı EKY temelli önerilen kontrolörün tasarımı anlatılacaktır [5].



Şekil 1. Kapalı çevrim sayısal hız kontrol sistemi  
(Figure 1. The closed loop digital speed control system)

Şekil 1'de görülen hız kontrolörünün çıkışı moment akımı ( $I_q$ ) istemidir ve elektriksel sürücü sistemlerinin, iyi bir moment kontrol performansına sahip olması istenir. Bu çalışma, hız kontrolü üzerinde yoğunlaşmakta olup iyi bir moment ve akı kontrolünün sağlandığı varsayılmaktadır. Bu nedenle hız kontrol çevrimine göre daha yüksek bant genişliğine sahip olan (daha hızlı olan) akım kontrol çevrimi, hız kontrolör tasarımında ihmal edilmiştir. Buna göre, kontrol edilen

sistemde elektriksel dinamikler ihmal edilmiş ve sürücü sistemin sadece mekanik dinamikleri ele alınmıştır ( $T_L=0$  için): Buna göre, kontrol edilen sistemin transfer fonksiyonu;

$$G_p(s) = \frac{\omega(s)}{T_e(s)} = \frac{1}{Js+B} \quad (1)$$

olur. Burada;

$\omega$ : motor milinin açısal hızı (rad/sn),

$T_e$ : elektriksel moment (Nm),

$J$ : atalet momenti ( $\text{kgm}^2$ ),

$B$ : viskoz sürtünmedir (Nms/rad).

Şekil 1'de,  $K_T$  moment sabitini,  $I_q$  moment akımını,  $T_L$  yük momentini,  $T$  örnekleme periyodunu ve  $G_h(s)$  sıfırıncı derece tutmayı (zero order hold) temsil etmektedir [4]. Buradaki kontrol problemi, yük momentini, atalet ve sürtünme değişimleri altında dayanıklı bir hız kontrol performansı sağlamaktır. Ayrık zamanlı sistemlerde, bir  $\text{sgn}(\cdot)$  fonksiyonu içeren erişim kuralının doğrudan uygulanmasının bir çatırtı problemine sebep olduğu bilinmektedir. Bir hız kontrol sisteminde, modellenmemiş mekanik dinamikleri uyararak mekanik titreşimlere neden olacağı için, moment isteminde çatırtı istenmeyen bir şeydir [6]. Çatırtıyı önlemek için  $\text{sgn}(\cdot)$  fonksiyonu yerine bir  $\text{sat}(\cdot)$  fonksiyonu kullanılabilir. Fakat elektrik sürücü sistemlerindeki hız kontrol uygulamalarında bu  $\text{sat}(\cdot)$  fonksiyonunu kullanmak gereksizdir, çünkü zaten kontrolör çıkışında moment istemini sınırlamak için aşırı toplamayı engelleyici yapı (anti-wind up integrator) içinde bir  $\text{sat}(\cdot)$  fonksiyonu kullanılmaktadır [6]. Buna göre,  $\text{sgn}(\cdot)$  fonksiyonsuz bir ayrık zaman erişim kuralı, anahtarlama fonksiyonu  $S$  için aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\Delta S(k+1) = -\alpha S(k) \quad (2)$$

Burada;  $k$ : örnekleme anı (yani  $k=0,1,2,\dots$ )  $\alpha$ : pozitif bir sabit,  $\Delta$  operatörü ise aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\Delta f(k+1) = \frac{f(k+1) - f(k)}{T} \quad (3)$$

{ $\Delta f(0)=0$ } şartı ile  $T$  örnekleme zamanı olmak üzere, anahtarlama fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$S(k) = \lambda e(k) + \Delta e(k) \quad (4)$$

Burada;

$$e(k) = \omega_{ref}(k) - \omega(k) \text{ 'dır.} \quad (5)$$

Denklem (2)'deki erişim kuralı, temel olarak anahtarlama fonksiyonu  $S$ 'nin eksponansiyel olarak  $\alpha$ 'nın belirlediği dinamiklere sifıra doğru azaldığını göstermektedir. Şekil 1'deki kontrolör blokunun çıkışına bir integratör yerleştirilmiş olan kapalı çevrim hız kontrol sistemi düşünelim. Sistemin darbe transfer fonksiyonu (6)'daki gibi olacaktır [4];

$$G_p(z) = Z\{G_h(s)G_p(s)\} = \frac{C_p}{z - P_p} \quad (6)$$

Burada;

$$P_p = \exp(-BT/J) \text{ ve } C_p = (1 - P_p)/B \text{ 'dir.}$$

EKY kullanılarak erişim kuralı denklem (7)'deki gibi türetilebilir [7];

$$u(k) = K_1 S(k) + K_2 \Delta e(k) + \frac{1}{K_T C_p} (\Delta \omega_{ref}(k+1) - P_p \Delta \omega_{ref}(k)) \quad (7)$$

Burada;

$$K_1 = \frac{T\alpha}{(1 + \lambda T)K_T C_p} \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{(1+\lambda T)P_p - 1}{(1+\lambda T)K_T C_p} \quad (9)$$

$\omega_{ref}$ 'yi bir basamak istemi kabul edersek,  $\omega_{ref}$ , sabit olduğu için  $\Delta\omega_{ref}(k+1)$  ve  $\Delta\omega_{ref}(k)$  değerleri sifıra eşit olur ve böylece (7) denkleminin üçüncü terimi ortadan kalkar. Buna göre kontrol kuralı aşağıdaki gibi olur [10];

$$u(k) = K_1 S(k) + K_2 \Delta e(k) \quad (10)$$

(2) ve (3) nolu denklemler kullanılarak,  $S$  için aşağıdaki ifade elde edilir;

$$S(k+1) = (1-\alpha T)S(k) \quad (11)$$

$S$ 'nin çarptırı olmaksızın exponansiyel olarak sifıra yaklaşması için  $0 < \alpha \leq 1/T$  eşitsizliğinin sağlanması gerekir [8].

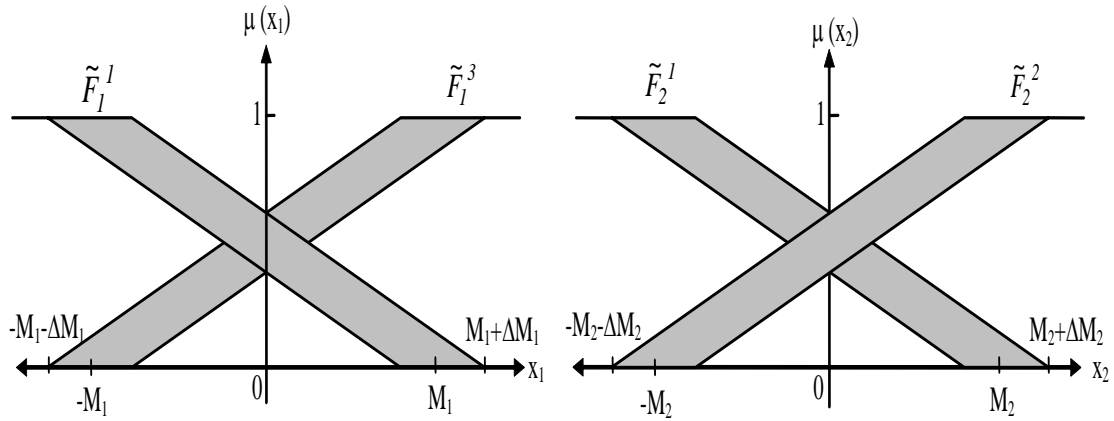
Buna göre, bir elektriksel sürücü sisteminin hız kontrolü için, aralık tip-2 non-singleton TSK BMK'nın kullanıldığı EKY temelli önerilen kontrolörün tasarımı aşağıda anlatılmaktadır:

İki giriş ( $S$  ve  $\Delta e$ )  $x_1 \in X_1$ ,  $x_2 \in X_2$  ve bir çıkışa  $u \in U$  sahip bir tip-2 TSK BMK'ü düşünelim. Kural tabanının  $i$ 'inci kuralı (12)'deki şekilde ifade edilebilir:

$$R^i: \text{IF } x_1 \text{ is } \tilde{F}_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } \tilde{F}_2^i \text{ THEN } u^i = C_1^i x_1 + C_2^i x_2 \quad (12)$$

Burada;  $i = 1, \dots, 4$ ;  $\tilde{F}_1^i$  ve  $\tilde{F}_2^i$  aralık tip-2 varsayım bulanık kümeler;  $C_1^i$  ve  $C_2^i$  aralık tip-1 sonuç bulanık kümeler ve  $u^i$  ise  $i$ 'inci kuralın çıkışı ve aynı zamanda aralık tip-1 bulanık kümedir. Non-singleton bir yapı kullanıldığından  $x_1$  ve  $x_2$  girişleri de aralık tip-1 bulanık kümelerdir. Şekil 2'de, önerilen kontrolörde kullanılan aralık tip-2 varsayım bulanık kümeleri görülmektedir.

$$(\tilde{F}_1^1 \equiv \tilde{F}_1^2, \tilde{F}_1^3 \equiv \tilde{F}_1^4 \text{ ve } \tilde{F}_2^1 \equiv \tilde{F}_2^3, \tilde{F}_2^2 \equiv \tilde{F}_2^4)$$



Şekil 2. Aralık Tip-2 varsayım bulanık kümeler  
 (Figure 2. The interval type-2 antecedent fuzzy sets)

Bir aralık kümesi sadece kendi domain aralığında gösterilebilir. Bu domain aralığı da kendi sol ve sağ son-noktalarıyla,  $[L, R]$  şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca, aralık küme, kendi merkeziyle ve  $c = (L+R)/2$  ve  $s = (R-L)/2$  olmak üzere,  $[c-s, c+s]$  şeklinde yayılarak da ifade edilebilir. Aralık kümelerde, domainin her bir noktasındaki üyelik derecesi 1'e eşittir. Varsayımlar için aralık tip-2 bulanık kümeler ve bir tip-2 TSK kuralının sonuç kümeleri için ise aralık tip-1  $C_j^i$



bulanık kümeler kullanıldığında, üyelik derecesi  $\mu_{\tilde{F}_k^i}(x_k)$  ve ateşleme kümesi (çarpım veya minimum t-norm altında)  $F^i(x)$  aralık kümeler olur. Yani;

$$C_j^i = [c_j^i - s_{jL}^i, c_j^i + s_{jR}^i] \quad i=1, \dots, 4 \text{ ve } j=1, 2 \quad (13)$$

Burada;  $c_j^i$ ,  $C_j^i$ 'nin merkezini ve  $s_{jL}^i$  ve  $s_{jR}^i$  ise  $C_j^i$ 'nin sağa ve sola yayılmasını göstermektedir.

$$\mu_{\tilde{F}_k^i}(x_k) = [\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^i}(x_k), \overline{\mu}_{\tilde{F}_k^i}(x_k)] \quad k = 1, 2 \quad (14)$$

Burada;  $\underline{\mu}_{\tilde{F}_k^i}(x_k)$  ve  $\overline{\mu}_{\tilde{F}_k^i}(x_k)$  alt ve üst üyelik dereceleri ve

$$F^i(x) = [\underline{f}^i(x), \overline{f}^i(x)] \quad (15)$$

dir. Burada;

$$\underline{f}^i(x) = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x_1) * \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^i}(x_2) \quad (16)$$

$$\overline{f}^i(x) = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x_1) * \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^i}(x_2) \quad (17)$$

$R^i$ , kuralının sonucu  $u^i$ , da aynı zamanda bir aralık kümedir. Yani,

$$u^i = [u_L^i, u_R^i] \quad (18)$$

Burada;

$$u_L^i = \sum_{j=1}^2 c_j^i x_{jL} - \sum_{j=1}^2 |x_{jL}| s_{jL}^i \quad (19)$$

$$u_R^i = \sum_{j=1}^2 c_j^i x_{jR} + \sum_{j=1}^2 |x_{jR}| s_{jR}^i \quad i = 1, \dots, 4 \quad (20)$$

Burada  $i=1, \dots, 4$  için sabitler  $c_1^i = K_1$  ve  $c_2^i = K_2$ 'dir. Diğer sabitler,  $s_{jL}^i$  ve  $s_{jR}^i$  uyarılama işlemi sırasında belirlenmektedir.

Non-singleton bulanıklaştırma kullanıldığından, girişler  $x_1 = [x_{1L}, x_{1R}]$  ve  $x_2 = [x_{2L}, x_{2R}]$  veya  $x_1 = [S - S_s, S + S_s]$  ve  $x_2 = [\Delta e - \Delta e_s, \Delta e + \Delta e_s]$  şeklinde aralık kümeler olarak tanımlanır. Burada  $S$ , anahtarlama fonksiyonu,  $\Delta e$  hatadaki değişim,  $S_s$  ve  $\Delta e_s$  ise  $S$  ve  $\Delta e$ 'nin yayılmalarıdır.

Normalize edilmemiş bir aralık tip-2 TSK BMK için çıkış aşağıdaki gibidir;

$$u = \frac{u_L + u_R}{2} \quad (21)$$

Burada;

$$u_L = \sum_{i=1}^4 \underline{f}^i(x) u_L^i \quad (22)$$

$$u_R = \sum_{i=1}^4 \overline{f}^i(x) u_R^i \quad (23)$$

Kontrolörün çıkışı moment akımı  $I_q$ , sürekli durum hatasını azaltmak için BMS'nin çıkışı entegre edilerek elde edilir. Ayrık zamanda ki fark denklemi aşağıdaki şekildedir:

$$I_q(k) = I_q(k-1) + Tu(k) \quad (24)$$

### 3.1. Kontrol Parametrelerinin Uyarlanması (Tuning of the Control Parameters)

Yapılan çalışmada, sürücü sistemin ataleti ( $J$ ), sürtünme katsayısı ( $B$ ) ve yük momenti ( $T_L$ ) değerlerinin net olarak bilinmediği fakat  $J_n \leq J \leq 10 \times J_n$  ve  $B_n \leq B \leq 10 \times B_n$  sınırları arasında değişebileceği varsayılmıştır. Önerilen T2BKKK'ün bilinmeyen kontrol parametrelerini ( $s_{jL}^i$  ve  $s_{jR}^i$ ,  $i=1, \dots, 4$ ,  $j=1, 2$ ) belirlemek için nominal parametreleri  $J_n$ , ve  $B_n$  kullanılan (kullanılan asenkron motorun nominal parametreleri  $J_n=0,0019$  Kgm<sup>2</sup>,  $B_n=0,000263$  Nms/rad) bir referans kapalı çevrim hız



kontrol modeli ve önceki kısımda parametreleri verilmiş olan bir KKK kullanılmıştır. Böylece, tasarımın ilk bölümünde referans model ile sistem çıkışı arasındaki hata kullanılarak bilinmeyen kontrol parametreleri belirlenmiştir.

Minimize edilecek toplam karesel hata [13],

$$E(k) = \frac{1}{2} e_1^2(k) = \frac{1}{2} (\omega_m(k) - \omega(k))^2 \quad (26)$$

olarak ifade edilebilir. Burada;  $\omega_m(k)$  referans modelin çıkışıdır. Eğim düşme yöntemi (Gradient Descent Method), kullanılarak kontrol parametreleri için güncelleştirme kuralları aşağıdaki gibi verilebilir [9];

$$s_{jL}^i(k+1) = s_{jL}^i(k) - \eta \frac{\partial E(k)}{\partial s_{jL}^i(k)} \quad (27)$$

$$s_{jR}^i(k+1) = s_{jR}^i(k) - \eta \frac{\partial E(k)}{\partial s_{jR}^i(k)} \quad (28)$$

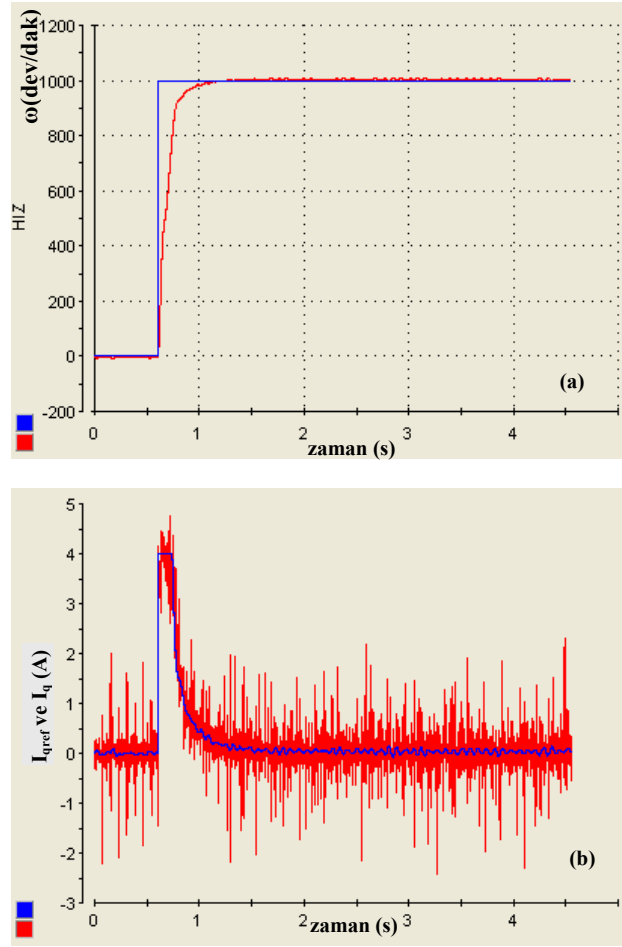
burada  $\eta$ , öğrenme oranıdır ve 0.1 seçilmiştir. Zincir kuralı kullanılarak yukarıdaki denklemlerin türevleri bulunabilir. Örneğin,

$$\frac{\partial E(k)}{\partial s_{jL}^i(k)} = \frac{\partial E}{\partial e_1} \frac{\partial e_1}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial u_L} \frac{\partial u_L}{\partial s_{jL}^i(k)} \quad (29)$$

Kontrol parametrelerinin uyarılma işlemi süresince, uygun referans giriş sinyali sayesinde, kontrolör çıkışının doyuma gitmesi engellenmiştir.

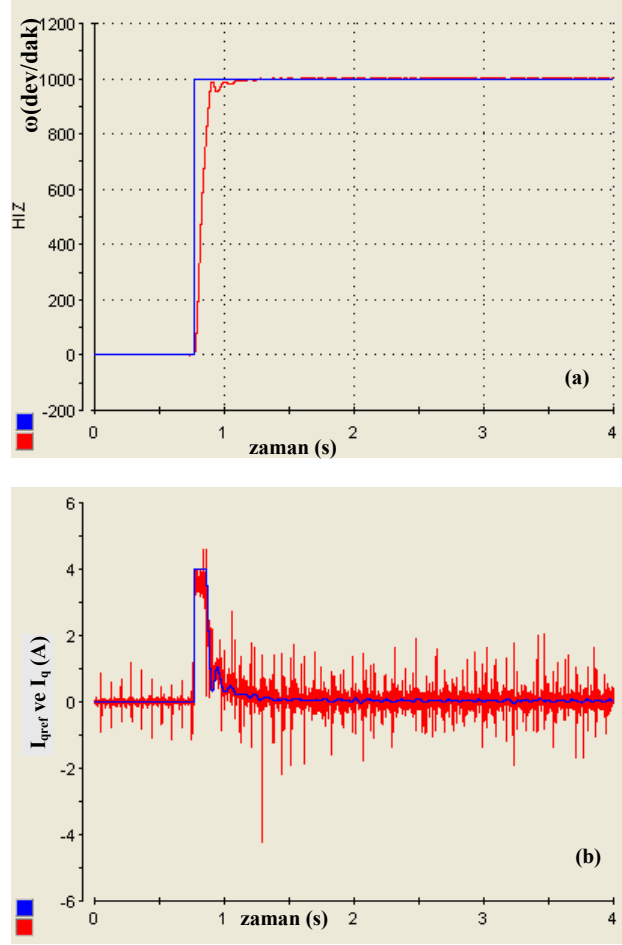
#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Geliştirilen T2BKKK ve EYK Yaklaşımına göre tasarlanan KKK yöntemleri, ayrıntıları [10] nolu referansta verilen deneysel düzenek kullanılarak gerçekleştirilmiş ve önerilen T2BKKK yönteminin etkinliğini gösteren başarılı sonuçlar alınmıştır. Şekil 3'de deneysel düzeneğin nominal parametreleri için EKY ile tasarlanan KKK yöntemiyle, Şekil 4'de ise geliştirilen T2BKKK yöntemiyle kontrol edilen sistemin bir basamak girişine verdiği hız ve moment akımı cevabı görülmektedir. Geliştirilen kontrol yönteminin belirgin üstünlüğünü görmek amacıyla kontrol performansları özellikle atalet momenti gibi etkili parametre değişimlerinde ve bozucu yük momenti altında incelenmelidir. Bu anlamda, Şekil 5 ve 6 deneysel düzeneğin toplam atalet momenti motor miline disk eklenerek nominal değer yaklaşık 4 katına çıkarıldığı durum için sırasıyla KKK ve T2BKKK yöntemleriyle elde edilen hız ve moment akımı cevaplarını göstermektedir. Yine, kontrol yöntemlerinin performansı basamak şeklinde bir yük momenti uygulanarak test edilmiştir. Şekil 7 ve 8 sırasıyla KKK ve T2BKKK yöntemlerinin basamak yük momentine karşı hız ve moment akımı tepkilerini göstermektedir ve karşılaştırıldıklarında, T2BKKK yönteminin KKK yöntemine göre daha iyi bir performans sağladığı rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 3. Deneysel sistemin nominal parametreleri için KKK yöntemi ile elde edilen (a)Hız cevabı (b)Moment akım cevabı (Basamak referans giriş  $\omega_{ref} = 1000$  dev/dak)

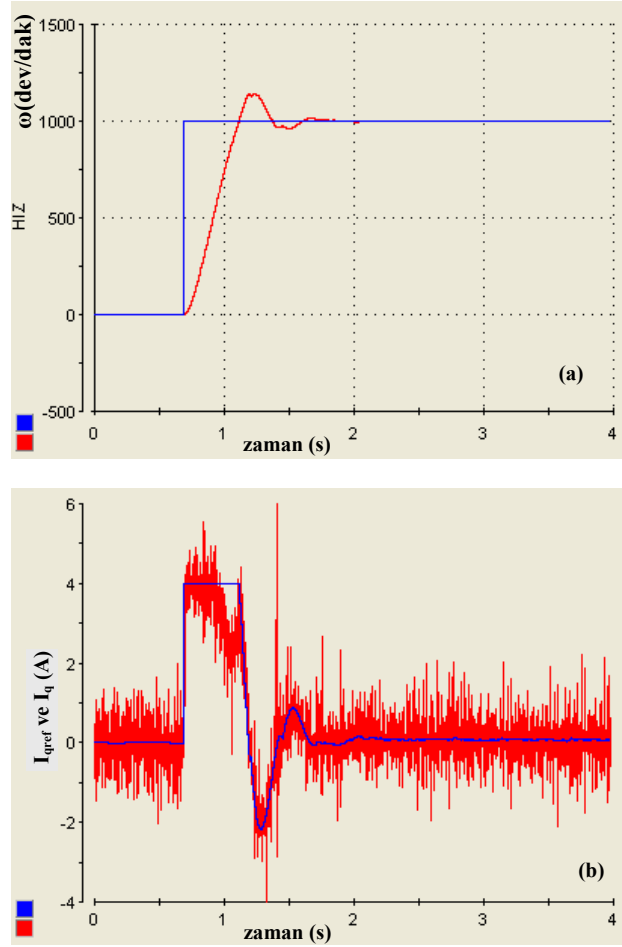
(Figure 3. The output responses of the SMC system for nominal parameters of the experimental system (a) Speed response (b) The electrical torque response (Step reference input  $\omega_{ref} = 1000$  rev/min))



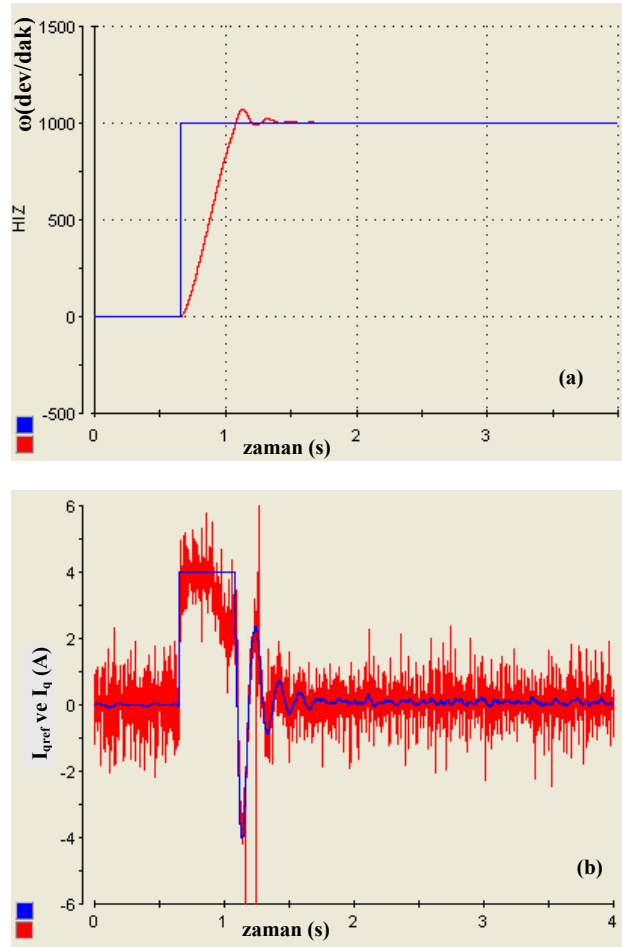
Şekil 4. Deneysel sistemin nominal parametreleri için T2BKKK yöntemi ile elde edilen (a)Hız cevabı (b)Moment akım cevabı ( $\omega_{\text{ref}} = 1000$  dev/dak)

(Figure 4. The output responses of the T2FSMC system for nominal parameters of the experimental system (a) Speed response (b) The electrical torque response (Step reference input  $\omega_{\text{ref}} = 1000$  rev/min))

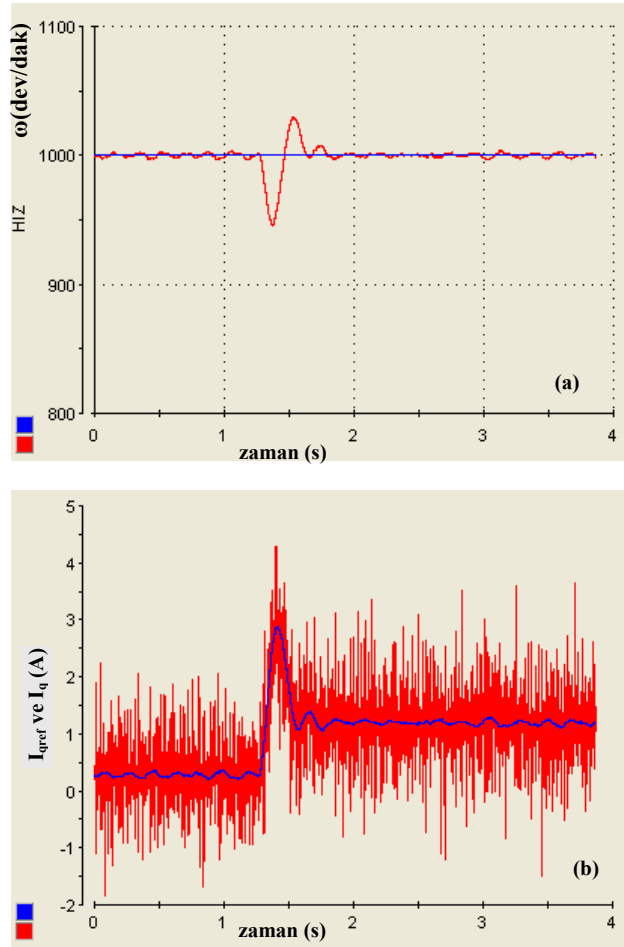




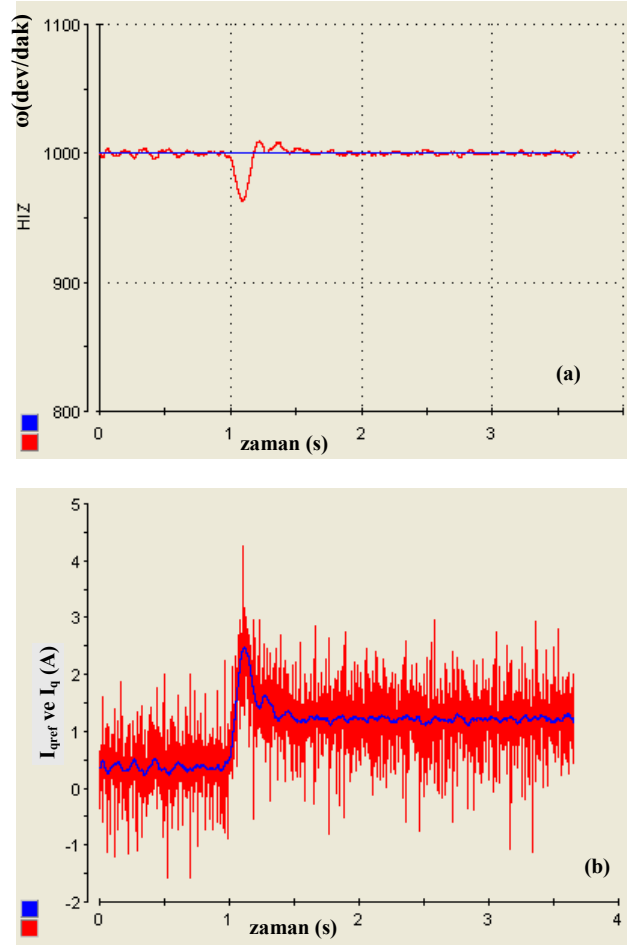
Şekil 5. Deneysel sistemin atalet momenti eklenen disk ile nominal değerlerin yaklaşık 4 katına çıkarıldığında KKK yöntemi ile elde edilen (a) Hız cevabı (b) Moment akım cevabı ( $\omega_{ref}=1000$  dev/dak)  
(Figure 5. The output responses of the SMC system for approximately  $J=4 \times J_n$ ,  $B=4 \times B_n$  of the experimental system by adding a disc (a) Speed response (b) The electrical torque response ( $\omega_{ref} = 1000$  rev/min))



Şekil 6. Deneysel Sistemin Atalet Momenti eklenen disk ile nominal değerini yaklaşık 4 katına çıkarıldığında T2BKKK yöntemi ile elde edilen (a) Hız cevabı (b) Moment akım cevabı ( $\omega_{ref}=1000$  dev/dak) (Figure 6. The output responses of the T2FSMC system for approximately  $J=4 \times J_n$ ,  $B=4 \times B_n$  of the experimental system by adding a disc (a) Speed response (b) The electrical torque response ( $\omega_{ref} = 1000$  rev/min )



Şekil 7. Basamak yük momentini uygulandığında KKK yöntemi ile elde edilen (a) Hız cevabı (b) Moment akım cevabı  
(Figure 7. The output responses of the SMC system to a step load torque is applied (a) Speed response (b) The electrical torque response)



Şekil 8. Basamak yük momenti uygulandığında T2BKKK yöntemi ile elde edilen (a)Hız cevabı (b)Moment akım cevabı  
(Figure 8. The output responses of the T2FSMC system to a step load torque is applied (a)Speed response (b)The electrical torque response)

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makalede, Erişim Kuralı Yaklaşımına göre tasarlanan KKK yöntemi ve tip-2 bulanık mantık kullanılarak, parametre değişimleri ve yük momenti etkisi altındaki elektriksel sürücülerinin dayanıklı hız kontrolü için yeni bir kontrolör yapısı önerilmiştir. KKK tekniği, her ne kadar teorik olarak mükemmel sonuç sağlasa da ayrık zaman gerçeklemede mükemmel bir dayanıklı kontrol sağlayamamaktadır [3, 6 ve 11]. Çatırtı problemi, KKK yönteminin ayrık zaman gerçeklemede ana sorundur. Bu çalışmadaki KKK, Erişim Kuralı Kontrolü yaklaşımıyla tasarlanmıştır ve bu kontrolör yapısına literatürde "Eşdeğer kontrol" yapısı da denilmektedir [12].

Kontrol uygulamalarında TSK BMK yapısı, Mamdani BMK yapısına göre daha elverişli olduğundan, önerilen kontrol yönteminde TSK BMK yapısı tercih edilmiştir. Yine önerilen kontrolörde, belirsizliklere karşı etkinliği ve hesaplama basitliği sebebiyle, aralık tip-2 kümeler ve non-singleton bulanıklaştırma kullanılmıştır. Önerilen T2BKKK ve KKK yöntemleri deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve alınan sonuçlar makalede sunulmuştur. Deneysel sonuçlar, parametre değişimleri ve yük momenti etkisi altında, önerilen T2BKKK'ün KKK'ya göre daha iyi bir kontrol performansı sağladığını açıkça göstermektedir.



#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Utkin, V.I., (1993). Sliding Mode Control Design Principles and Applications to Electric Drives, IEEE Trans.Ind.Electron., 40, no.1, pp:23-36.
2. Mendel, J.M., (2001). Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems:Introduction and New Directions, Prentice-Hall PTR.
3. Akpolat, Z.H., (1999). Application of Fuzzy-Sliding Mode Control and Electronic Load Emulation to the Robust Control of Motor Drives, Ph.D.Thesis, University of Nottingham.
4. Franklin, G.F., Powell, J.D., and M.L.Workman, 1998, Digital Control of Dynamic Systems, 3<sup>rd</sup> edn., Menlo Park, CA: Addison-Wesley.
5. Akpolat, Z.H. and Altinors, A., (2007). Type-2 fuzzy reaching law speed control of an electric drive, International Journal of Modeling and Simulation, 27(3).
6. Akpolat, Z.H., Asher, G.M., and Clare, J.C., (2000). A practical approach to the design of robust speed controllers for machine drives, IEEE Trans.Ind.Electron., 47(2), pp:315-324.
7. Karnik, N.N., Mendel, J.M., and Liang, Q., (1999). Type-2 fuzzy logic systems, IEEE Trans on Fuzzy Systems, 7(6), pp:643-658.
8. Akpolat, Z.H. and Gokbulut, M., (2003). Discrete time adaptive reaching law speed control of electrical drives, Electr Eng., 85(1), pp:53-58.
9. Astrom, K.J. and Wittenmark, B., (1995). Adaptive Control, 2<sup>nd</sup> edn., Mass.: Addison-Wesley.
10. Altınörs, A., (2007). Tip-2 Bulanık Mantık ve Kayma Kipli Kontrol Yöntemleri İle Servo Sistemlerin Dayanıklı Kontrolü, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
11. Bayındır, M.İ., (2003). Ayrık Zaman Kayma Kipli Kontrol Yönteminin Servo Sistemlere Uygulanması, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
12. Slotine, J.J.E. and Li, W., (1991). Applied Nonlinear Control. Prentice-Hall.