

# DA MOTOR SÜRÜCÜLERİ İÇİN BULANIK MANTIK DENETİMİ

Yusuf SÖNMEZ\*

(\*) Gazi Üniversitesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara  
ysonmez@gazi.edu.tr

## ÖZET

Günümüzde DA (doğru akım) motorlar endüstriyel alanda geniş bir kullanıma sahiptirler. Bu durum DA motorların hız denetiminin hassas bir şekilde yapılmasını gerektirmiştir. Son yıllarda bulanık mantık denetleyicileri, elektrik makinelerinin denetimi alanındaki başarılı uygulamalarıyla dikkat çekmektedir. Bu çalışmada Alçaltıcı-Yükseltici tip çeviriciden beslenen seri bağlı bir DA motorun hassas hız denetimini yapmak ve kalkınma anında düşük akım çekmesini sağlamak amacıyla bulanık mantık tabanlı hız denetimi simülasyonu yapılmıştır. Alınan sonuçlar tasarlanan sistemin klasik denetim yöntemlerinden daha etkili olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DA Motor Sürme, Bulanık Mantık, Hız Denetimi

## ABSTRACT

In days, DC motors have widely used in industrial area. This situation has required sensitive velocity control of DC motors. In recent years, fuzzy logic controllers have attracted attention with successful application in areas including electrical machines drive. In this paper, fuzzy logic based speed control of buck-boost converter-fed serial DC motor simulation is done purpose of sensitive speed control and starting with low current. Responses show that planned system more effective than classical PI control.

**Keywords:** DC Motor Driving, Fuzzy Logic, Speed Control

## 1. GİRİŞ

DA motorları çalışma karakteristiklerinin sağladığı önemli avantajlarından dolayı bir çok endüstriyel uygulamada tercih edilirler. DA motor sistemleri ile geniş devir sayısı aralığında hassas bir denetim kolaylıkla gerçekleştirilebilir [1,2]. Elektrikli tren, elektrikli ev aletleri, vinçler, yük asansörleri gibi uygulamalarda kullanılan DA motorlar, görevlerini yerine getirebilmeleri için hız denetleyicilerini gerektirirler. DA motorların hız denetleyicileri ilk olarak gerilim denetleme yoluyla 1981 yılında Ward Leonard tarafından gerçekleştirilmiştir. Güç elektroniğindeki gelişmelere paralel olarak, anahtarlamalı güç kaynakları gelişim göstermiş ve DA motorlarının hız denetimi için önem kazanmışlardır [3].

Klasik denetim modelleri iyi tanımlanmış sistemlerde sistemin iyi bir şekilde işletilmesi için kullanılabilir. Bir sistemin denetimini yapmak için bütün sistemin tam bir matematiksel modelinin çıkarılması gerekir.

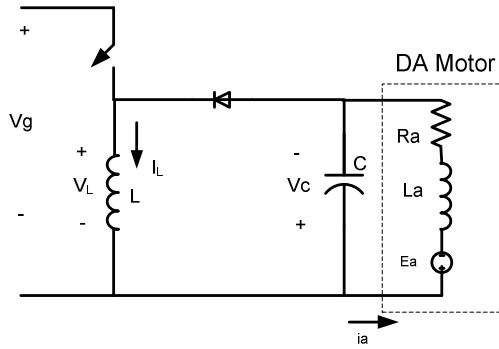
Doğrusal olmayan yapıya sahip sistemler tam olarak modellenemezler. Bulanık mantık denetleyicinin yapısı uyarlanabilir özelliklere sahiptir. Bu yüzden belirsizliklere, değişken parametrelere ve yük dağılımına sahip sistemlerin denetiminde kullanıldığında sistemin güçlü cevaplar vermesini sağlar. Bulanık mantık veya bulanık dizi teorisi ilk kez Zadeh tarafından sunulmuştur. Bulanık mantığın ortaya çıkışından bu yana bir çok araştırmacı iyi tanımlanmamış ve doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Elektrik makinelerinin sürücü sistemleri alanında bulanık mantık denetleyicileri başarılı bir şekilde kullanılmıştır [4,5,6].

Bu çalışmada Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciden (Buck-Boost Converter) beslenen seri bağlı bir DA motorun bulanık mantık hız denetimi bilgisayar simülasyonu yoluyla incelenmiştir. Bulanık mantık denetimin üstünlüğünü görmek amacıyla aynı motora aynı durumlar altında klasik PI denetimi uygulanmış ve bir karşılaştırma yapılmıştır.

Simülasyon için C++ Builder yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre bulanık mantık denetimin klasik PI denetime göre daha güçlü cevap verdiği ve motorun kalkınma anında daha düşük akım çektiği gözlenmiştir.

## 2. ALÇALTICI - YÜKSELTİCİ ÇEVİRİCİDEN BESLENEN DA MOTORUN MODELLENMESİ

Şekil 1’de bir alçaltıcı-yükseltici çeviriciden beslenen DA motor yükü gösterilmiştir. Çevirici devresinde güç anahtarının ideal, bobin ve kondansatör kayıplarının olmadığı ve DA giriş kaynağı  $V_g$ ’nin ideal bir gerilim kaynağı olup iç direncinin sıfır olduğu varsayılmıştır.



Şekil 1. Alçaltıcı-yükseltici çeviriciden beslenen DA motor

Yukarıda bahsedilen varsayımlara göre şekil 1’deki sistemin durum değişkenleri, matris biçiminde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L(t)}{dt} \\ \frac{dv_C(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L}(1-s) \\ \frac{1}{C}(1-s) & \frac{-i_a(t)}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L}s \\ 0 \end{bmatrix} V_g \quad [1]$$

Denklem 1’de,  $i_L(t)$  çevirici bobin akımı,  $v_C(t)$  çevirici kondansatör gerilimi,  $i_a(t)$  DA motor akımı,  $V_g$  çevirici giriş DA gerilimi ve  $s \in \{0,1\}$  güç anahtarının durumunu belirtir.

DA motorun mekanik ve elektriksel bileşenlerinden oluşan denklemi ise aşağıdaki gibidir.

$$L_a \frac{di_a(t)}{dt} = v_C(t) - R_a \cdot i_a - K_e \cdot w_s$$

$$J \frac{dw_s}{dt} = -B \cdot w_s + K_t \cdot i_a - T_L \quad [2]$$

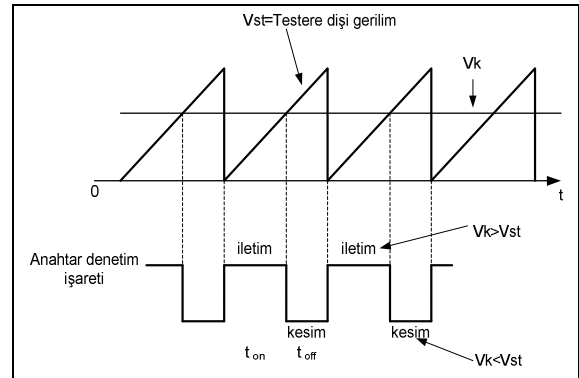
Denklem 2’de  $L_a$  endüvi sargılarının endüktansı,  $R_a$  endüvi sargılarının direnci,  $i_a$  endüvi akımı,  $w_s$  motor milinin açısal hızı,  $J$  atalet momenti,  $B$  viskoz sürtünme katsayısı,  $T_L$  yük torku,  $K_e$  ve  $K_t$  motorun sarımına ve kutup sayısına bağlı olan katsayılarıdır.

Denklem 1 ve 2’deki formüller Euler yöntemi kullanılarak çözülebilir ve çeviricinin bobin akımı  $i_L$ , kondansatör gerilimi  $v_C$ , motor endüvi akımı  $i_a$  ve açısal hızı  $w_s$  kolaylıkla hesaplanabilir. Bu çalışmada denklemler Euler yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

## 3. SİSTEMİN DENETİMİ

DA-DA çeviricilerde güç anahtarlarının durumu genellikle darbe genişlik modülasyonu (DGM) yoluyla belirlenir. Bu çalışmada da DGM yöntemi kullanılmıştır.

Sabit anahtarlama frekansındaki DGM ile anahtarlama, anahtarın iletimde yada kesimde olduğunu belirleyen anahtar denetim işareti, Şekil 2’de gösterilen tekrarlayan dalga ( $V_{st}$ ) ile işaret seviyesindeki denetiminin geriliminin ( $V_k$ ) karşılaştırılmasıyla elde edilir. Testere dişi şeklinde gösterilen ve tepe değeri sabit olan periyodik dalganın ( $V_{st}$ ) frekansı, anahtarlama frekansını oluşturur. PWM ile denetimde bu frekans sabit tutularak birkaç kilohertz ile birkaç yüz kilohertz arasındaki bir değere ayarlanabilir.



Şekil 2. Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM)

Anahtarlama zamanı karşılaştırıldığında oldukça yavaş değişen kuvvetlendirilmiş hata işareti, testere dişi dalga şeklinden büyük olduğu zaman, anahtar denetim işareti üretilerek anahtarı iletme başlatır. Aksi durumda anahtar kesimdedir. Bu prensip göz önünde tutulduğunda aşağıda gösterilen mantık çerçevesinde çeviricinin anahtarlama modellenir.

$$s = \begin{cases} 0 & V_k \leq V_{st} & \text{kesim} \\ 1 & V_k > V_{st} & \text{iletim} \end{cases}$$

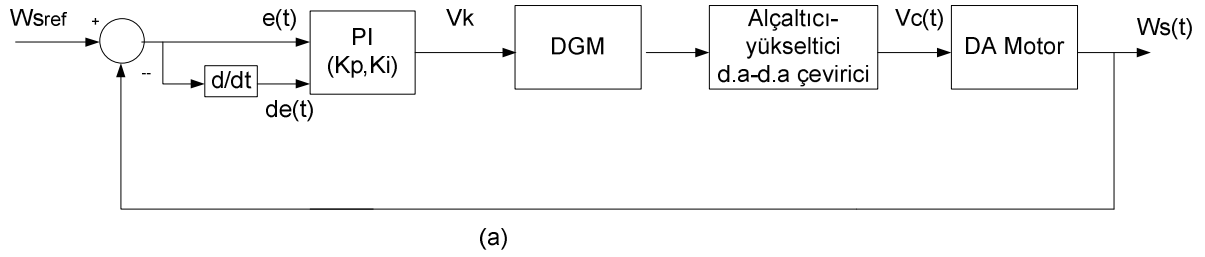
Motorun hız denetimi, motorun DA giriş geriliminin ayarlanmasıyla yapılır. Motorun giriş gerilimi çeviricinin çıkış gerilimidir.

Çeviricinin çıkış gerilimi ise denetim gerilimi  $V_k$  değerinin ayarlanmasıyla yapılır. Bu çalışmada  $V_k$  değerinin ayarlanması için PI ve bulanık mantık denetimleri kullanılmış ve her iki denetim sisteminin ürettiği sonuçlar karşılaştırılmıştır.

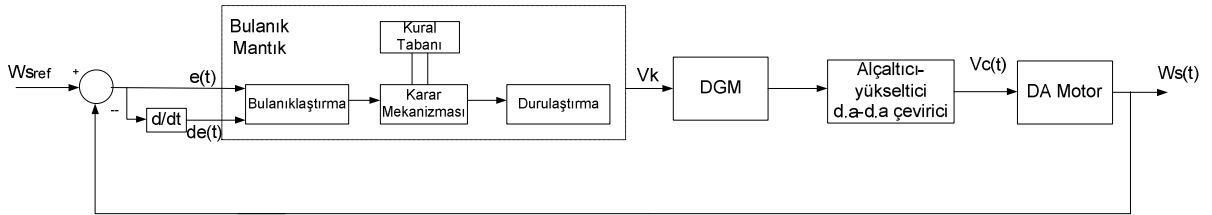
### 3.1. Sistemin PI ile Denetimi

Sistemin PI ile denetim blok diyagramı şekil 3'de gösterilmiştir. PI denetimde motorun açılma hızını arzu edilen değerine ( $w_{sref}$ ) ulaştırmak için hata  $e(t)$  ve hatanın değişimi  $de(t)$  hesaplanır. Bu değişkenler PI denetimin girişleridir. Hata ve hatanın değişimi aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} e(t) &= w_{sref} - w_s(t) \\ de(t) &= e(t) - e_o \\ e_o &= e(t) \end{aligned} \quad [3]$$



Şekil 3. Sistemin PI ile denetimi



Şekil 4. Sistemin bulanık mantık ile denetimi

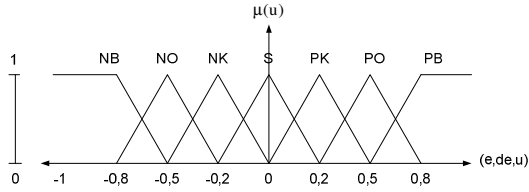
### 3.2. Sistemin Bulanık Mantık ile Denetimi

Sistemin bulanık mantık ile denetim blok diyagramı şekil 4'de gösterilmiştir. Bulanık mantık denetimde, denetim mekanizması girişleri hata  $e(t)$  ve hatanın değişimi  $de(t)$  denklem 3'deki gibi hesaplanır. Bulanık mantık denetimin dört bileşeni vardır. Bunlar; bulanıklaştırma, kural tabanı, karar mekanizması ve durulaştırma. Bu bileşenler sistemde kullanıldığı şekilde aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.2.1.- Bulanıklaştırma

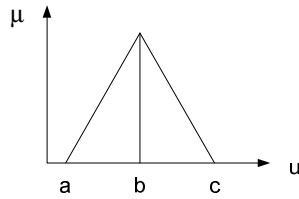
Bulanıklaştırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir [7]. Bulanık mantığın dilsel terimleri genellikle *Eğer-Öyleyse* kuralı gibi mantıksal anlamlandırma formu şeklinde tanımlanır. Bu kurallar bulanık üyelik işlevi olarak bilinen değerlerin bir sınırıyla tanımlanır.

Sistemin verimli çalışması için üçgen, yamuk, çan eğrisi gibi değişik şekillerde üyelik işlevleri seçilebilir. Bu çalışmada deneme yanılma yoluyla en verimli işlev olarak belirlenen üçgen üyelik işlevi seçilmiştir. Sistemde hata, hatanın değişimi ve çıkış (u) için kullanılan 7 bulanık değişkenli üçgen üyelik işlevleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Hata, hatanın değişimi ve çıkış için belirlenen üçgen üyelik işlevleri

Üçgen üyelik işlevinde herhangi bir giriş veya çıkış değerinin (u) bulanık kümeye ne kadar üye olduğu  $\mu(u)$ , şekil 6’daki gibi sınır değerleri olan bir işlev için, aşağıdaki denklem 5 ile bulunur.



Şekil 6. Üçgen üyelik işlevi ve sınırları

$$\mu(u) = \begin{cases} \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u(a \text{ veya } u)c \end{cases} \quad [5]$$

### 3.2.2. Kural tabanı

Kural tabanında denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları bulunur. Denetim sürecinde bu kurallar kullanılarak bulanıklaştırma, bulanık çıkarım ve durulaştırma aşamalarında bu kural tablosundan faydalanılır. Bu çalışmada belirlenen kural tablosu Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kural tablosu

de \ e	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NO	NO	NK	NK	NK	S
NO	NO	NO	NK	NK	NK	S	PK
NK	NO	NK	NK	NK	S	PK	PK
S	NO	NK	NK	S	PK	PK	PK
PK	NK	NK	S	PK	PK	PK	PO
PO	NK	S	PK	PK	PK	PO	PO
PB	S	PK	PK	PK	PO	PO	PB

### 3.2.3. Karar mekanizması

Bulanık mantık denetleyici içerisinde karar mekanizması bulanık içerme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişkidir ve bulanık içerme ile açıklanır. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın bir çok yolu vardır. Bu çalışmada Mamdani’nin *min* bulanık içerme kullanılmıştır. Bu içerme denklem 6’da gösterildiği gibidir. Denklem 6’da, A ve B sırasıyla V ve Y uzaylarında tanımlanmış olan bulanık kümeler olsun.  $\mu_A$  ve  $\mu_B$  ise bu kümelerin üyelik işlevleri olsun. Buna göre bulanık içerme denklem 6’daki gibidir.

$$u = A \times B = \int_{V \times Y}^+ \mu_A(u) \cap \mu_B(u) / (V, Y) \quad [6]$$

Bulanık içerme sonucu elde edilen değer kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir.

### 3.2.4. Durulama

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işleme durulama denir. Durulama işleminde maksimum üyelik, ağırlık merkezi, ağırlık ortalaması gibi değişik yöntemler kullanılır. Bu çalışmada deneme yanılma yoluyla en çok verim alacak şekilde belirlenen ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem denklem 7’de verildiği gibidir.

$$du = \frac{\sum \mu(u).u}{\sum \mu(u)} \quad [7]$$

durulama işleminden sonra sistemin çıkışı (Vk) denklem 8 ile bulunur.

$$V_k = V_k + du \quad [8]$$

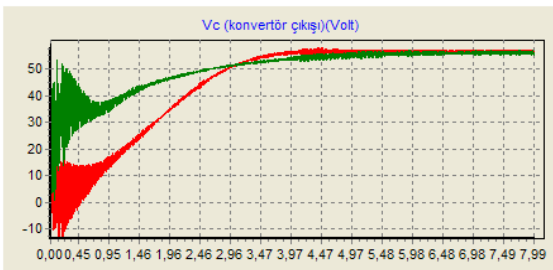
#### 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Simülasyonda kullanılan motor parametreleri Çizelge 2' gösterilmiştir.

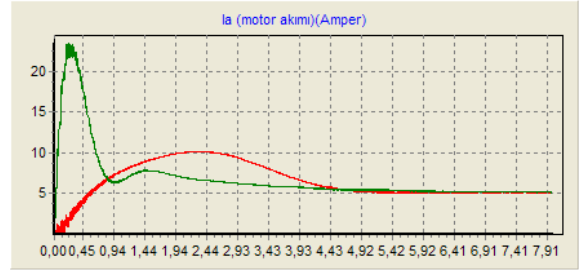
Çizelge 2. Motor parametreleri

Endüvi direnci (Ra)	1.1Ω
Endüvi endüktansı (La)	0.09 H
Atalet momenti (J)	0.053 kg.m <sup>2</sup>
Sürtünme katsayısı (B)	0.01 N.m/rad/s
Motor katsayıları (Ke,Kt)	Ke=0.97 Kt=1.4
Yük torku (TL)	5 N.m

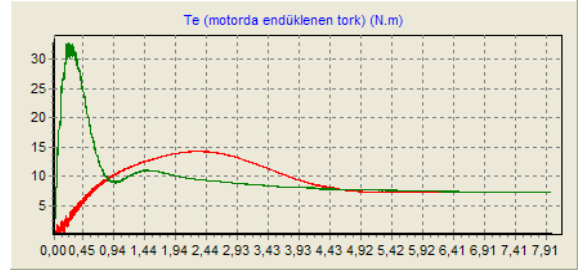
Çizelge 2'de belirtilen motor parametrelerine göre simülasyondan elde edilen PI ve Bulanık mantık denetim sonuçları Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11'de gösterilmiştir. Her bir grafikte yeşil renkli çizgiler PI denetimli sistem çıkışlarını, kırmızı renkli çizgiler ise bulanık mantık denetimli sistem çıkışlarını gösterir. Şekil 7'de alçaltıcı-yükseltici çeviricinin çıkış gerilimi Vc, Şekil 8'de motor akımı Ia, Şekil 9'da motorda endüklenen tork Te, Şekil 10'da motorun devir/dakika cinsinden hızı N ve Şekil 11'de çeviricinin denetim gerilimi Vk gösterilmiştir. Simülasyon motorun 500 devir/dakika referans hızı için 8 saniye süreyle yapılmıştır.



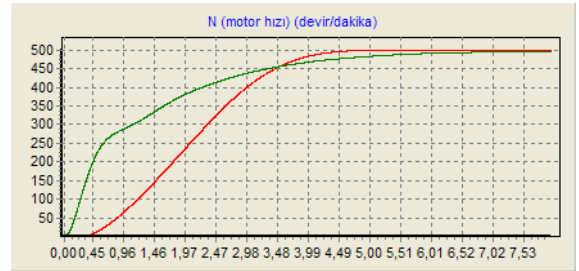
Şekil 7. Alçaltıcı-yükseltici çeviricinin çıkış gerilimi Vc



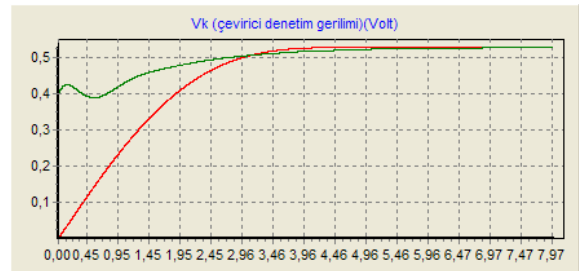
Şekil 8. Motor akımı Ia



Şekil 9. Motorda endüklenen tork Te



Şekil 10. Motorun devir/dakika cinsinden hızı N



Şekil 11. Çeviricinin denetim gerilimi Vk

Grafiklere göre, bulanık mantık denetimli sistemde PI denetime göre, motor çalışmasına başlarken daha düşük akım çekmektedir, motorda endüklenen torkdaki dalgalanmalar daha düşüktür, motor hızı tam olarak referans hızında çalışmaktadır ve referans hızına daha kısa sürede ulaşmıştır. Bu yüzden, bulanık mantık denetimi klasik PI denetime göre sistemin daha verimli sonuçlar üretmesini sağlamıştır.

## 5. SONUÇ

DA motorların endüstriyel alanda geniş bir kullanım alanına sahip olması, DA motorların verimli bir şekilde denetlenmesini gerektirmiştir. Bulanık mantık denetimli sistemler elektrik motorlarının denetimi alanında başarılı uygulamalarıyla dikkat çekmektedir. Bu çalışmada Alçaltıcı-Yükseltici tip çeviriciden beslenen seri bağlı bir DA motorun bulanık mantık denetiminin simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı sistemin PI denetim ile çalıştırılmasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, bulanık mantık denetiminin klasik PI denetime göre sistemin daha verimli sonuçlar üretmesini sağladığı gözlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

[1] Linares-Flores, J., Sira-Ramirez, H., “DC motor velocity control through a DC-to-DC power converter”, *Decision and Control, 2004. CDC. 43rd IEEE Conference on*, Volume 5, 14-17 Dec.2004 Page(s):5297 – 5302.

[2] Bal, G., “*Doğru akım makinaları ve sürücükleri*”, Seçkin yayıncılık, Ankara, 2001.

[3] Aydemir, S., Sezen, S., Ertunc, H.M., “Fuzzy logic speed control of a DC motor”, *Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. The 4th International Volume 2*, 14-16 Aug. 2004 Page(s):766 – 771.

[4] Akcayol, M.A., Cetin, A., Elmas, C., “An educational tool for fuzzy logic-controlled BDCM” *Education, IEEE Transactions on*, Volume 45, Issue 1, Feb. 2002 Page(s):33 – 42.

[5] Khoei, A., Hadidi, Kh., Yuvarajan, S., “Fuzzy-logic DC-motor controller with improved performance”, *Industry Applications Conference, 1998. Thirty-Third IAS Annual Meeting. The 1998 IEEE*, Volume 3, 12-15 Oct. 1998 Page(s):1652 – 1656.

[6] Paul-I-Hai Lin, Sentai Hwang, Chou, J., “Comparison on fuzzy logic and PID

controls for a DC motor position controller”, *Industry Applications Society Annual Meeting, 1994., Conference Record of the 1994 IEEE*, 2-6 Oct. 1994 Page(s):1930 – 1935.

[7] Elmas, C., “Bulanık mantık denetleyiciler”, Seçkin yayıncılık, Ankara, 2003.