

# DC ŞÖNT MOTORUN BULANIK MANTIK İLE HIZ KONTROLÜ

Mehmet ZİLE

Teknik Programlar Bölümü  
Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Mersin

e-posta: mehmetzile@yahoo.com

Anahtar sözcükler: Dc Motor Kontrolü, Bulanık-Mantık Kontrolü

## ABSTRACT

The application of fuzzy logic is an effective alternative for any problem where logical inferences can be derived on the basis of causal relationships. In this paper, the application of fuzzy-logic concepts to the speed control of a simple dc motor is illustrated. The paper describes the development of a fuzzy-logic controller to maintain constant speed in a shunt-connected dc motor operating under various shaft-loading conditions.

## 1. GİRİŞ

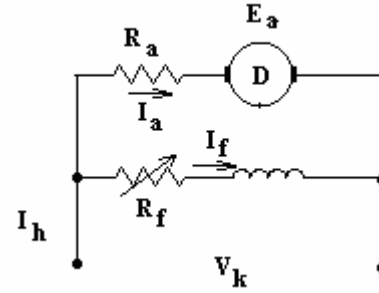
Endüstrinin pek çok alanında hız ve konum kontrolü gereken yerlerde elektrik makinaları, yaygın olarak kullanılmaktadır. Hız ve konum kontrolü için doğru akım makinaları, adım motorları ve fırçasız doğru akım makinaları asenkron makinalara göre daha uygundur. Fakat özellikle doğru akım makinalarındaki kollektör fırça donanımının meydana getirdiği sakıncalardan dolayı, bu motorların kullanım alanını kısıtlamaktadır.

Bu makalede bulanık mantık yöntemi ile basit bir dc motorun hız kontrolü yapılmıştır. Şönt bağlı dc motorun farklı mil yüklerinde, sabit hızı korumak için bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılmıştır. Mevcut bulanık mantık geliştirme düzenekleri kullanılıp, bulanık kümeler ve bulanık 'If-Then' kuralları bu uygulamalarda geliştirilerek hız hataları en küçük değere indirilmiştir.

Uygun üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, kontrol performansını oldukça etkilemektedir. Seçilen üyelik fonksiyonunda kararlılığın sağlanması ve tersleyici frekansının azaltılması bakımından bazı yerlerde iki seviyeli mantığa dönülebilir. Moment ve akıya ilişkin üyelik fonksiyonlarındaki hata aralıklarının farklı olması aynı hata değeri için aynı bulanık alt kümenin belirlenmesini önleyecektir. Bu ise kontrolün daha etkin olmasını sağlayacaktır. Doğrusal olmayan elemanlarda bulanık mantık kontrolcüler doğrusal olmayan girişler üreterek oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir.

## 2. MOTOR MODELİ

Dc şönt motorun prensip şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil-1. Şönt dc motor

Şönt dc motorun çalışma durumundaki temel eşitlikler aşağıdaki gibidir;

$$V_k = V_f = V_a = E_a + I_a \cdot R_a \quad (1)$$

$$I_h = I_a + I_f \quad (2)$$

$$E_a = K \cdot \Phi \cdot n \quad (3)$$

$$n = \frac{E_a}{K \cdot \Phi} = \frac{V_k - I_a \cdot R_a}{K \cdot \Phi} \quad (4)$$

$$n = \frac{V_k - I_h \cdot R_a + I_f \cdot R_a}{K \cdot \Phi} \quad (5)$$

$$\frac{n_{yeni}}{n_{eski}} = \frac{E_{ayeni}}{E_{aeski}} * \frac{\Phi_{eski}}{\Phi_{yeni}} \quad (6)$$

$V_k$  kaynak gerilimi,  $V_f$  alan gerilimi,  $V_a$  endüvi gerilimi,  $E_c$  sayaç elektro motor kuvveti,  $K$  tasarım sabiti,  $\Phi$  kutup başına karşılıklı hava-aralık akısı,  $n$  devir,  $R_a$  endüvi direnci,  $I_h$  hat akımı,  $I_f$  alan akımı ve  $I_a$  endüvi akımını ifade eder. Eşitliklerden,  $I_f$  hat akımında veya endüvi akımındaki bir değişme, yük değişmesine neden olduğu görülmüştür. Hat gerilimi, endüvi akımı ve alan akısı motor hızını hesaplamak için yeterlidir. (2) eşitliğini kullanarak (4) eşitliği alan akımı ifadesinde (5) eşitliği gibi yazılmıştır. Aynı zamanda (4) eşitliğinden, iki farklı çalışma noktasındaki yeni ve eski hızların oranı eşitlik (6) da ifade edilmiştir. Yük ayarsız motorun miline uygulandığında hat akımı ve dolayısıyla endüvi akımı artar. Buna göre elektromotor kuvveti (emk) azalır ve motor yavaşlar. Hız kontrolündeki amaç, herhangi bir

yük değişmesinde, motor hızının kendiliğinden öngörülen bir değere dönmesini sağlamaktır.

### 3. BULANIK MANTIK

Bulanık denetleyici dilbilimsel bulanık değişkenler kullanılarak bilginin modellenmesine dayanmasına rağmen bu, sistemde kullanılan elemanların daha düşük hızlı, ucuz algılayıcılar olması anlamına gelmemelidir. Bunun yanısıra kullanılan algılayıcıların da sayısının indirgenmesi beklenmeyebilir. Bulanık mantığın özünde sınıflandırılmış olan nitelikli bilginin kullanılabilir olması yatmaktadır. Bulanık kontrol uygulamasının diğer kontrol yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Detaylı bir matematiksel model gerektirmez, pek çok giriş ve çıkış değişkenleri eş zamanlı olarak ele alınabilir. Bulanık kontroldeki tüm kurallar eş zamanlı olarak uygulanır ve sonuçlandırılır. Uyuşmayan kurallar biçimsel olarak uydurulabilir ve dilbilimsel değişkenlerin küçük değerli rakamlar olması dolayısı ile önemli bir hata indirgenmesi getirilir [1-4]. Giriş-çıkış değerlerinin tüm kombinasyonları için çıkış belirleme zorunluluğu yoktur. Değişkenlerin dikkatli bir seçimi, üyelik fonksiyonlarının uygun belirlenmesi kuralların sayısını önemli ölçüde indirgeyecektir. Bulanık denetleyici içerisine yerleştirilen kontrol kuralları sistem girişlerinin belirli kombinasyonlarında istenilen çıkış elde edilemezse diğer girişlere dokunulmadan kontrol işlevini gerçekleştiren aktif kurallar yeniden belirlenebilir. Bir bulanık kontrolöre kurallar rahatlıkla eklenebilir veya istenen belirli bir özellikteki kontrol kurallarının özelliği rahatlıkla sistem davranışını bozmayacak şekilde etkin hale getirilebilir. Bulanık mantık denetleyicilerle klasik PID denetleyicileri birbirine bağlamak suretiyle kontrol performansını artırmak mümkündür. Çok karmaşık sistemlerde istenen kalite, nitelik ve hıza göre birden fazla bulanık denetleyici kullanılabilir. Gerçek zaman uygulamalarının kontrol altına alınabildiği sistemlerde, yeterli zaman sağlanabiliyorsa donanımdan ziyade yazılımın verdiği esneklikten dolayı bulanık kontrol avantaj sağlamaktadır. [5-7]

Bulanık mantık yöntemi bir ifadeyi tanımlayan, bulanıklık mantığına yönlendiren matematiksel bir kuramdır. Örneğin bir ifadede kesinlik yok, bulanıklık var, uzun veya kısa gibi. Bu ifadelerin kesinlik arzetmediği ve birinin diğeriyle ilişkili olduğu, gözönünde tutulan değişkenlere duru sözcüğünün zıttı bulanık olarak adlandırılır. İlgili tanımlamalar ve esaslar şunlardır.

Tanımlama 1. Bulanık Küme;  $x = \{x\}$  olsun  $x$  ile belirtilen elemanların olduğu klasik bir kümeyi ifade etsin. O zaman,  $x$  deki bulanık küme,  $A$  düzenlenmiş çiftlerin kümesini gösterir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\}$$

$\mu_a$ ,  $A$  daki  $x$  in üyelik derecesi olarak düşünülür. 0 ve 1 değerleri arasında değer alır. 0 ile en düşük, 1 ile en yüksek üyelik derecesini belirtir.  $\mu_{A(x)}=0$  olduğunda  $x$  in  $A$  ya ait olmadığını ve  $\mu_{A(x)}=1$  olduğunda ise  $x$  in  $A$  ya ait olduğu ifade edilir.

Tanımlama 2. İki Bulanık Kümesinin Bileşimi; İki fuzzy kümesinin bileşimi  $A$  ve  $B$  ( $A \cup B$ ),  $A$  da veya  $B$  de veya her ikisinde bütün elemanları kapsayan en küçük bulanıklık kümesidir. Buradan bileşme mantıksal OR operatörü ile ifade edilir.  $A \cup B$  nin üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir. Eğer  $a \geq b$  ise  $\max(a,b)=a$  ve eğer  $a < b$  ise  $\max(a,b)=b$  olduğunda

$$\mu_{A \cup B(x)} = \max(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) , x \in X$$

dir.

Tanımlama 3. İki Bulanık Kümesinin Kesişmesi;  $A$  ve  $B$  ( $A \cap B$ ) nin kesişmesi  $A$ ,  $B$  ve her ikisi içerisinde en geniş bulanık kümesidir. Kesişme mantıksal AND işlemcisi ile ifade edilir. Eğer  $a \leq b$  ise  $\min(a,b)=a$  ve eğer  $a > b$  ise  $\min(a,b)=b$  olduğunda  $A \cap B$  nin üyelik fonksiyonu şu şekildedir.

$$\mu_{A \cap B(x)} = \min(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) , x \in X$$

Bir kez bulanık değişkenler tanımlanır ve üyelik fonksiyonları onlara atanır. Bulanık kümelerinin tanımlanmasında başvurulan bazı kurallar vardır. İlki, her bir değişkeni atan bulanık kümesinin sayısı genellikle tek bir sayıdır. Bu, yan yana değerler arasında nümerik salınımı önlemek için bir merkez noktasının varlığını sağlar. İkinci olarak, bulanık kümesinin sayısı genellikle 3 ve 9 arasındadır. Nedensel ilişkileri tanımlamak için, dilsel değişkenlerin kullanımıyla, diğerinden bir alt kümeyi ayırt edebilmemiz gerekir. Alt kümelerin sayısının büyük olması bunu daha da zorlaştırır. Kısa, orta ve uzun değişken değerlerini ayırt etmek kolaydır. Fakat bir çok dereceli veri olmasıyla bu durum zorlaşır. Alt kümelerin dilsel tanımlamalarına yorum getirilebilir. Aynı zamanda her bir bulanık kümesi bileşik kümeleri üst üste getirmelidir. Bu üst üste getirme, bulanık denetleyici için sürekli kontrol alanını sağlar. Bileşik kümeler arasında, genellikle % 10-50 üst üste gelmesi istenir.

Bulanıklık kümeleri tanımlandıktan ve onların üyelik fonksiyonlarını atadıktan sonra, kurallar kontrol değişkeninin her bir kombinasyonu için yazılmalıdır. Bu kurallar, karar vermede If – Then ifadelerini kullanarak, giriş değişkenleriyle çıkış değişkenleri arasında ilişki kurulacaktır. If şartı her bir kuralın Then sonucuna giden bir öneridir. Genelde her bir kural aşağıdaki tarzda gösterilir.

If (önerti) Then (sonuç)

#### 4. UYGULAMA

Burada tanımlanan örnekte, endüvi direnci  $R_a=0,20 \Omega$ , alan direnci  $R_f=70 \Omega$  ve  $n=1900$  r/min hıza sahip 220 Volt bir motor ele alınmıştır. Hat akımı ve yük artırıldığında, motordaki yük değişimleri hat akımı değiştirilerek düzeltilir. Aynı zamanda endüvi akımı, emk ve motor hızıda değişir. Farklı kaynak gerilimleri için değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Bulanık kontrolün amacı, yük değiştiğinde motor hızını sabit tutmaktır. Bu hız kontrolü alan akımı ayarlanarak yapılmıştır. Bulanık kontrolcünün motor hızı ve alan akımı giriş değişkenleri olurken, alan akımı aynı zamanda çıkış değişkeni olur.

Tablo-1. Hesaplanan motor endüvi akımı, sayaç emk ve devir değerleri

$I_h$ (A)	$I_f$ (A)	$I_a$ (A)	$E_a$ (V)	$n$ (dev/dak.)
82	2	80	199	1725
72	2	70	202	1770
62	2	60	204	1810
52	2	50	207	1855
42	2	40	210	1900
32	2	30	212	1942
22	2	20	215	1985
10	2	8	217	2025
2	2	0	220	2060

Bu problem için bulanık mantık kuralları aşağıda verildiği gibidir.

IF Hız.....AND Alan Akımı (bu hızda).....ise  
THEN Alan Akımı (gerekli hız kontrolü).....dır

Oluşturulan algoritmadan, değişik yükleme seviyeleri, hat gerilimleri ve alan dirençleri için motor hızları hesaplanmıştır. Tablo 1’de verilen benzer hesaplamalar küme sonuçlarına dayandırılmıştır. Makine verileri ve oranları, hız ve alan akımı için bulanık mantık ilişkileri Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo-2. Hızın bulanık değişken ilişkisi

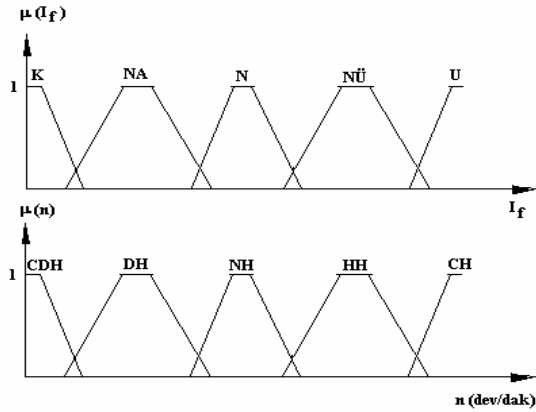
Bulanık İlişki	Tanımlama	Aralık (dev/dak)
CDH	Çok düşük hız	1600-1800
DH	Düşük hız	1785-1885
NH	Normal hız	1885-1925
HH	Hızlı	1915-2015
CH	Çok hızlı	2000-2200

Tablo 2 ve Tablo 3’ ü kullanılarak, kontrolcü için alan akımı ve motor hızı için gerekli bulanık kümeleri Şekil 2’de verilmiştir. Gerçek hız ile referans hız arasındaki farkı gösteren hata sinyali Şekil 3’ün

blok diyagramında gösterildiği gibi ihmal edilir. Bulanık mantık sistemi Tablo 2 ve Tablo 3’ de gösterildiği gibi, Bulanık İlişkili Hafıza (BİH) giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasındaki ilişkinin haritalanmasıyla verilir. Çıkış değişkeni normal aralıkta motor hızını düzeltmek için gerekli olan akımdır. Daha kısa aralık değerinin seçilmesiyle daha büyük olan alan akımı, daha fazla bakır ve demir kayıplarına neden olur ve verimlilik azalır.

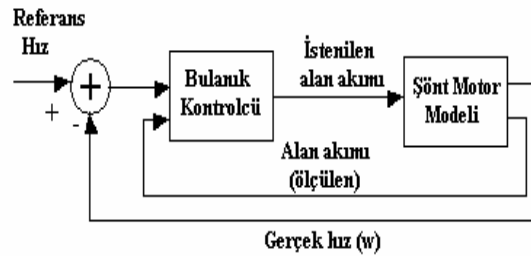
Tablo-3. Alan akımının bulanık değişken ilişkisi

Bulanık İlişki	Tanımlama	Aralık (dev/dak)
K	Kısa	2.5
NA	Normal Altı	2.45-2.93
N	Normal	2.90-3.12
NÜ	Normal Üstü	3.10-3.42
U	Uzun	3.40



Şekil-2. Alan akımı ve motor hızı bulanık kümeleri

Şekil 3’de DC motor hız kontrolü için bir benzetim modeli örneklenir. İstenilen, yük değişimleri boyunca motor anma hızını korumaktadır. Burada hız hata işareti, gerçek motor hızı ile referans hızı karşılaştırılarak bulunur. Bulanık mantık kontrolcü ile bu hata işareti ve ölçülen alan akımı, motor hızını referans hıza getirilir ve uygun alan akımını belirlenir. Bu, belirlenen giriş ve çıkış değişkenleri üzerine belirlenmiş kurallar kümesi ve meydana gelen üyelik fonksiyonları oluşturulur. Giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişki Tablo 3’ de oluşturulmuş, toplam 24 kurala dayandırılmıştır. Dikkat edilmelidir ki, eğer hız çok düşük (CDH) ve alan akımı kısa (K) olursa, hız düzeltilmediğinde alan akımında bir azalma olmaz.



Şekil-3. DC motor hız kontrol benzetim modeli

Tablo-4. Şönt Motor Kontrolü için Bulanık İlişki Hafıza (BİH) Tablosu

Hız	CDH	DH	NH	HH	CH
Alan akımı					
K		NÜ	K	NÜ	U
NA	N	NA	NA	NÜ	NÜ
N	NÜ	NÜ	N	NÜ	NÜ
NÜ	N	N	NÜ	N	N
U	NA	NA	U	NA	NA

Tablo-4' de, Bulanık İlişki Hafıza (BİH) tablosu verilmiştir. Eğer makine aşırı hız modunda (NÜ) ve alan akımı kısa (K) ise o zaman alan akımı makine hızını azaltmak için normalüstü (NÜ) ne resetlenmelidir. Bilinen bu noktada, aşağıdaki iki kural ifade edilmiştir.

If Alan Akımı küçük ve Hız aşırı  
Then Alan akımı normal üstü

If Alan akımı büyük ve hız düşük  
Then Alan akımı normal altı

Yükün değişmesi ile kontrolcü hızı normale getirir. Yeni çıkış, BİH tablosu ile uyumlu ve aşağıda gösterildiği gibidir. Bulanık mantık kontrolü değişken yük şartlarında motor hızını 1900 dev/dak değerine getirir.

IF eğer akım 1.40 A ve hız 1710 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.10 A getir.  
IF eğer akım 1.40 A ve hız 1845 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.33 A getir.  
IF eğer akım 2.40 A ve hız 1910 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.42 A getir.  
IF eğer akım 2.40 A ve hız 1955 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.33 A getir.  
IF eğer akım 2.40 A ve hız 2110 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.56 A getir.  
IF eğer akım 2.70 A ve hız 1710 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.10 A getir.  
IF eğer akım 2.70 A ve hız 1845 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.85 A getir.  
IF eğer akım 2.70 A ve hız 1910 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.85 A getir.  
IF eğer akım 2.70 A ve hız 1955 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.36 A getir.  
IF eğer akım 3.10 A ve hız 1710 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.36 A getir.  
IF eğer akım 3.10 A ve hız 1845 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.36 A getir.  
IF eğer akım 3.10 A ve hız 1910 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.11 A getir.  
IF eğer akım 3.10 A ve hız 1955 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.35 A getir.  
IF eğer akım 3.10 A ve hız 2110 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.36 A getir.  
IF eğer akım 3.25 A ve hız 1710 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.11 A getir.

IF eğer akım 3.25 A ve hız 1845 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.11 A getir.  
IF eğer akım 3.25 A ve hız 1910 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.35 A getir.  
IF eğer akım 3.25 A ve hız 1955 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.11 A getir.  
IF eğer akım 3.25 A ve hız 2110 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.11 A getir.  
IF eğer akım 3.55 A ve hız 1710 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.85 A getir.  
IF eğer akım 3.55 A ve hız 1845 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.84 A getir.  
IF eğer akım 3.55 A ve hız 1910 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 2.56 A getir.  
IF eğer akım 3.55 A ve hız 1955 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.85 A getir.  
IF eğer akım 3.55 A ve hız 2110 dev/dak ise  
THEN hızı normale getirmek için akımı 1.85 A getir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, uygun bulanık değişkenler ve üyelik fonksiyonları belirlenerek bulanık kontrol algoritması geliştirilip, belirlenen kurallar doğrultusunda bulanık mantık denetleyicili doğrudan kendini kontrol yöntemi benzetim sonuçları elde edilmiştir. Bulanık mantık kuramı üzerinde ayrıntılı durularak bulanık küme kuramının klasik mantıktan daha esnek olduğu görülmüştür. Deneyim ve bilgi ile elde edilen veriler doğrultusunda kurallar oluşturulmuştur. Bulanık mantık kontrolde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde 'Yapay Sinir Ağları' kullanılarak daha etkin bir kontrol algoritması geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Klim G.J., Folger T.A., Fuzzy Sets, UNCERTAINTY AND INFORMATION. Second Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New jersey, 1988.
- [2] Tang K.L., Mullholland R.J., Comparing Fuzzy Logic with Classical Controller Design, IEEE TRANSACTION ON SYSTEM, Man and Cybernetics, 1, November 1987.
- [3] Mir S.A., Zinger D. S. Elbuluk M.E., Fuzzy Controler for Inverter Fed Induction Machines, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 30 January 1994, 78-84.
- [4] Mir S.A., Zinger D.S. Elbuluk M.E., Fuzzy implementation of Direct Self Control of Induction Machines, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 30 May 1994, 893-901
- [5] Mendel J.M., Fuzzy Logic systems for engineering, PROCEEDINGS IEEE, vol.83, 345-377, Mar. 1995.
- [6] Terano T., Fuzzy Systems Theory and Its Application, ACADEMIC, 1991.
- [7] Yeager R. R., Fuzzy Sets and, NEWYORK-WILEY, 1987.