



THE POSITION CONTROL OF THE DC MACHINE BY PID ALGORITHM AND TRAINING WITH ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM

Ayhan GÜN*

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
agun@ogu.edu.tr - ayhan.gun@gmail.com

ABSTRACT

In this study, the position of DC machines has been controlled by PID (Proportional-Integral-Derivative) algorithm, has been trained by ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) algorithm and output equations for different inputs have been obtained. Control mechanisms have been explained by comparing graphs that are obtained from the two algorithms.

Key Words : *PID, ANFIS, DC machine, PWM (pulse width modulation)*

DOĞRU AKIM MAKİNALARININ PID ALGORİTMASI İLE KONUM DENETİMİ ve UYARLANIR SİNİR BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE EĞİTİMİ

ÖZET

Bu çalışmada, doğru akım (DC) makinelerin konumu PID (Proportional-Integral-Derivative) algoritması kullanılarak denetlenmiş, ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) kullanılarak eğitimi yapılmış ve farklı girdiler için çıktı denklemleri elde edilmiştir. Her iki algoritmadan elde edilen sonuç grafikleri karşılaştırılarak denetim yöntemleri hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *PID, ANFIS, DC motor, PWM (pulse width modulation)*

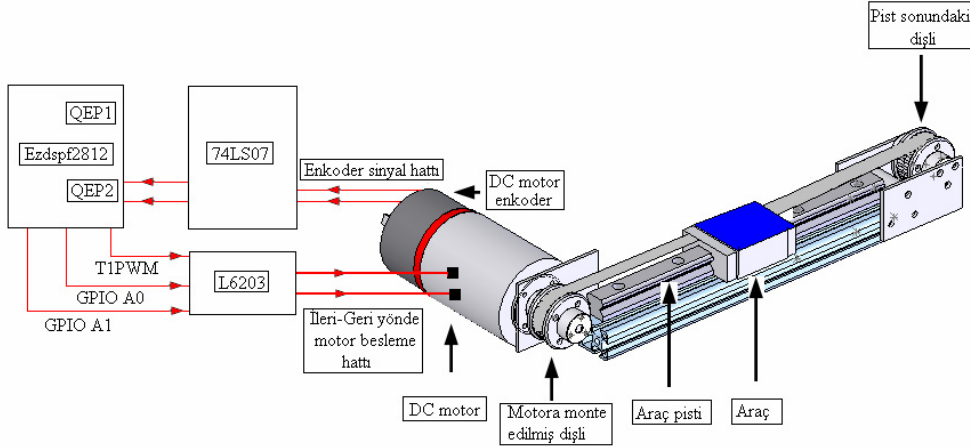
1.GİRİŞ

Günümüzde elektrik makineleri için farklı denetleme yöntemleri ve buna paralel olarak denetleme kartları geliştirilmiştir. Denetleme kartlarındaki yüksek işlem yeteneği elektrik makinelerinin denetlenmesi için yeterli kapasite ve hızlardadır. Çalışmada Texas Instruments'in Ezdspf2812 sayısal işaret işleme kartı kullanılmış 32 bit kapasiteli bellekleriyle ondalıklı hesaplamalarda zorluk yaşanmamıştır. DC motor konum denetimi için durum uzay denklemlerinin çıkartılması matematiksel olarak denetimi kolaylaştırmaktadır. Fakat motorların etiket değerlerinin bilinmediği ve bu değerleri ölçebilecek yeterli teçhizatın bulunmadığı durumlarda DC motor nasıl denetlenebilir sorusunun cevabı aşağıdaki çalışmada anlatılmıştır. Motor deneysel olarak PID algoritması ile denetlenmiş ve PID algoritmasından elde edilen verilerle farklı bir denetim algoritması olan ANFIS (uyarlanırsinir bulanık çıkarım sistemi) ile denetim denklemleri elde edilmiştir.

2. DC MOTOR ve GÜÇ DEVRESİ

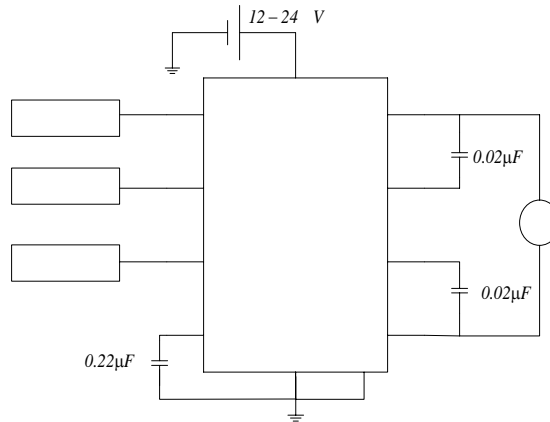
Denetleme deneylerini yapabilmek için tasarlanan ve gerçekleştirilen sistem Şekil 1 de verilmektedir. Bu sistemde DC motor dişli kayış mekanizması ile bir aracı pist üzerinde hareket ettirebilecek şekilde bağlanmıştır. Motorun

saat yönünde ve ters saat yönündeki hareketleri araca ileri-geri yönde hareket sağlamaktadır. Konum denetimini yapacak olan DC motor 12 – 24 Volt gerilim aralığında çalışmakta fakat motorun sürtünme katsayısı, elektrik ve mekanik zaman sabitleri belli değildir.



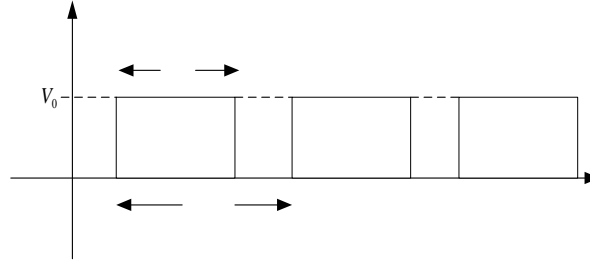
Şekil 1. Araç konumu denetleme yapısı

Araçın konum denetimini yapabilmek için DC motoru sürmeye yarayan en fazla 5 Amper akım çekebilen L6203 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre motor tarafından aşırı akım çekildiğinde iç yapısında bulunan ısı denetim mekanizması ile sistemi kapatmakta böylece DC motora ve güç kartına zarar gelmesi önlenmektedir. DC motoru denetleyen devre Şekil 2 de gösterilmiştir [1].



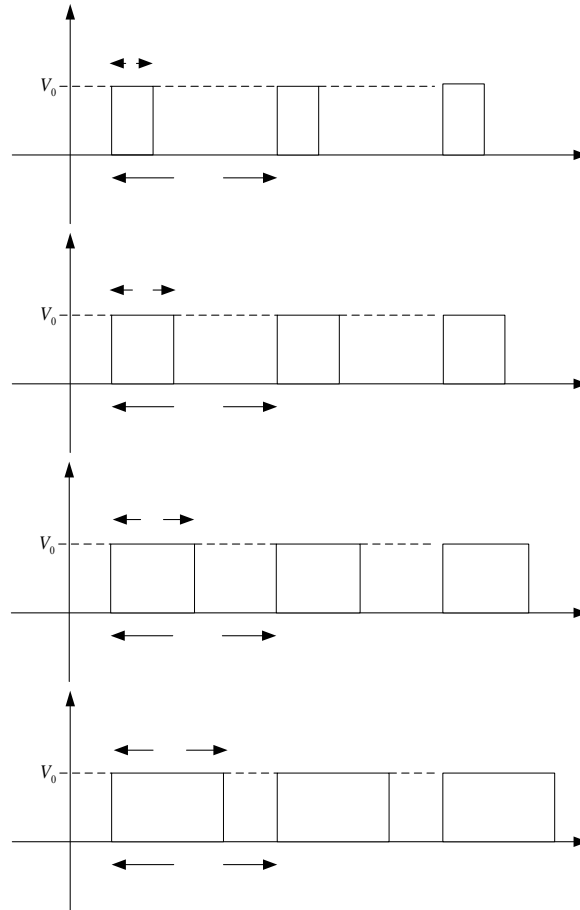
Şekil 2. DC motor denetleme ünitesi

DC motorun yük altında veya boşta hareket edebilmesi için yeterli frekanstaki sinyalin Ezdspf2812 denetim kartı tarafından güç katına gönderilmesi gerekmektedir. Şekil 2 de verilen T1PWM işaret genişliği P ile ifade edilirse Şekil 3 de gösterilen görev çevrim oranı $a = P/T$ olur. Bu oran motor sürtünmesini yenecek seviyede olmak zorundadır. T periyodu 20 KHz seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir [2].



Şekil 3. Motora uygulanan PWM sinyalleri

Motora uygulanan ortalama gerilim değeri $v(t) = a \cdot V_0$ 'dır. Uygulamada kullanılmak üzere DC motorun yük altında çalışması sırasında mekanik ve elektriksel sürtünmeyi yenebilecek görev çevrim oranı Şekil 4 te verilen testler yardımıyla bulunmuştur. T1PWM işaret genişliği giderek arttırılmış ve motorun hareketi sağlandığı anda ölçüm alınmıştır.



Şekil 4. Görev çevrim oranı test grafikleri.

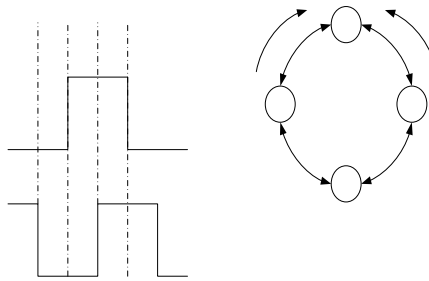
DC motorun 15 Voltluk gerilim ile yük altında çalışması esnasında görev çevrim oranı $\cong \%63$ civarında bulunmuştur. Şekil 3 de verilen 20KHz lik ($T = 7500$) periyoda sahip sinyalin yaklaşık 12 KHz'i motora uygulanırsa motor sürtünmeleri yenecek ortalama gerilimi vermektedir. PID katsayıları deneme yanılma yöntemine göre seçilirken bu değer gözönüne alınmıştır.

3. ELEKTRONİK DONANIM ve DENETİM KARTI

Aracın konum denetimini yapabilmek için konum bilgilerinin, 25 cm için 1500 sinyal sayımını gerçekleştiren DC motor enkoderinden elde edilmesi gerekmektedir. Araç bilgilerinin vereni ifade,

$$x \in \left(-\text{sayaca} \times \frac{25}{1500}, \text{sayaca} \times \frac{25}{1500} \right) \quad (1)$$

şeklinde. Bu eşitlikteki *sayaca* motor enkoderinin ürettiği sinyal sayısıdır ve konum durumu *cm* olarak hesaplanmaktadır. Enkoderin ürettiği sinyal sıralaması ve sinyal durumları Şekil 5 de verilmektedir. Enkoder hareketini ileri yönde gerçekleştirirken iki bitlik bilgiler [(0,0),(0,1),(1,1),(1,0)] şeklinde sinyal çıktısı sıralar ve tekrarlar; geri yönde ise [(1,0),(1,1),(0,1),(0,0)] sinyal çıktılarına sahiptir [3].



Şekil 5. Enkoder devrelerinin ürettiği sinyaller ve sinyal durumlarının gösterimi

Enkoderin ileri veya geri yönde ürettiği sinyaller, Texas Instruments'in Ezdspf2812 dijital sinyal işleme kartına 74LS07 tampon arabirimi kullanılarak gönderilmiş ve böylece enkodere Ezdspf2812 kartından geri yönde sinyal akışı engellenmiştir. Bu kartta mevcut bulunan enkoder devresi tarafından sinyaller alınmakta, artan veya azalan sinyaller sayılarak konum belirlenmektedir. Eşitlik 1 den elde edilen veriler PID denetleme algoritmasında matematiksel işleme tabi tutularak motoru hareket ettirebilecek uygun PWM sinyallerini üretmektedir. Sabit gerilimi değiştiren PWM sinyali, DC motora uygulanan Şekil 3 de gösterilen T1PWM periyodunun genliğidir. Bu sinyalin işareti ise Şekil 2 de gösterilen Ezdspf2812 kartından gönderilen GPIOA0 veya GPIOA1 çıkışlarını aktif hale getirerek L6203 güç entegresinin hangi girişinin aktif olması gerektiğine karar vermektedir. Dolayısıyla bu seçim aracı hareket ettiren DC motorun hareket yönünü belirlemektedir.

4. PID DENKLEMLERİNİN SAYISAL ORTAMA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Klasik denetimde kullanılan PID algoritmasının bilgisayar ortamında kolaylıkla gerçekleşmesi için PID denkleminin sayısallaştırılması gerekmektedir. Araç için PID ifadesini sayısallaştıran denklemler aşağıda verilmektedir. Aşağıda verilen denklemlerde $E_A = x - x_{hedef}$ araç konum hatası, olarak tanımlanır. x_{hedef} aracın gitmesi gereken nokta, x motor konum enkoderinden alınan bilgidir. PID denetleyici uygulamasında hata ölçüm tabanlı 3 terim vardır. Bunlar oransal, integral ve türev terimleridir. Bunlardan oransal terim $K_{pa}E_A(t)$ olup K_{pa} oransal sabiti temsil ederek en yüksek aşma oranını etkilemektedir. Integral terimi ise

$K_{ia} \int_0^t E_A(t) dt$ olup, K_{ia} integral sabitini temsil etmektedir. Integral teriminin yatışkın durum hatasını azaltma

etkisi vardır. Diğer bir terim $K_{da} \frac{dE_A(t)}{dt}$ türevsel terim olup burada K_{da} türev sabitini temsil etmektedir, türevsel terim yükselme zamanını etkiler [4].

Motor hızını veren hatanın türevi,

$$\frac{dE_A(t)}{dt} \sim \frac{[E_A[n] - E_A[n-1]]}{T_s} \quad (2)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Burada $E_A(n)$ ölçülen araç konum hatası ve $E_A(n-1)$ ölçülen bir önceki araç konum hatasıdır. T_s ise örnekleme zaman aralığıdır. Motorun ivmelenmesini veren integral terimi

$$\int_0^t E_A(t) dt \sim T_s \sum_0^N E_A[n] \quad (3)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu yaklaşımlardan sonra P + I + D çıkış denklemi aşağıda verilmektedir.

$$u_a(t) = K_{pa}E_A(t) + K_{ia} \int_0^t E_A(t) dt + K_{da} dE_A(t)/dt \quad (4)$$

Eşitlik (4) yeniden düzenlendiğinde motor için PWM çıkışını veren görev çevrim büyüklüğü

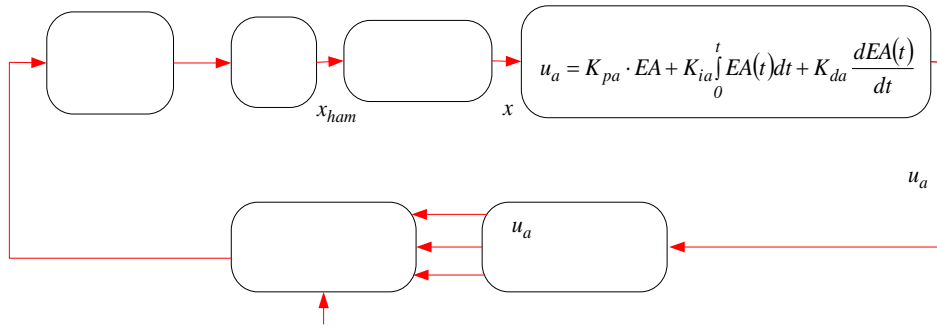
$$u_a[n] = K_{pa}E_A[n] + K_{ia}T_s \sum_0^N E_A[n] + K_{da} \frac{[E_A[n] - E_A[n-1]]}{T_s} \quad (5)$$

denklemleriyle tanımlanır ve denklemlerde kullanılan değişken tanımları Tablo 1 de verilmektedir.

Tablo 1 Denklemlerdeki değişkenler ve açıklamaları

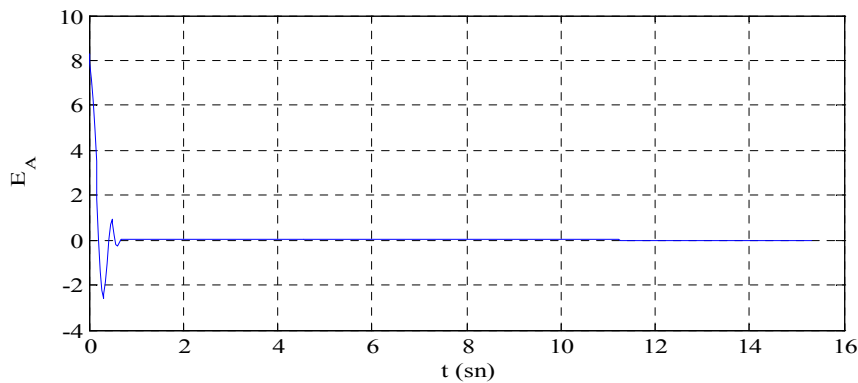
Değişken	Açıklama
K_{pa}	Motorun oransal katsayısı
K_{ia}	Motorun integral katsayısı
K_{da}	Motorun türev katsayısı
x	Motorun konumu
x_{hedef}	Motorun hedef noktası
T_s	Örnekleme zaman aralığı

Motor konum denetimi için Şekil 6 da verilen yapıya göre PID programı yazılmıştır. Motor konum enkoderinden alınan ikili sayı sistemindeki x_{ham} sıralı bilgileri konum ölçeklemesinde değerlendirilerek x bilgisi olarak PID programına gönderilmiş programda kullanılan katsayılar deneme-yanılma yöntemiyle bulunarak denetim sağlanmıştır.

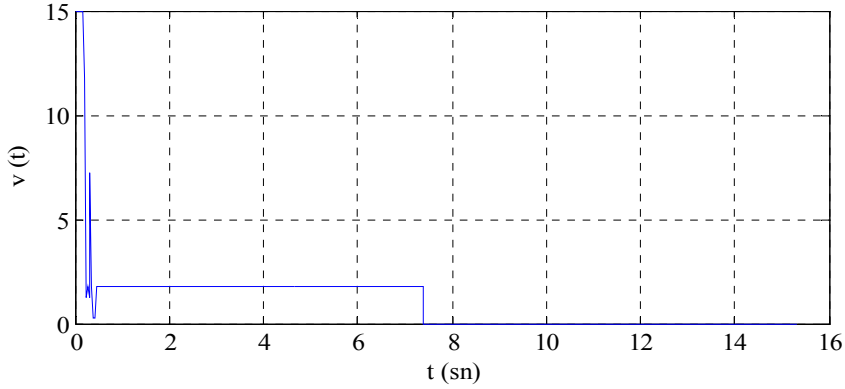


Şekil 6. PID denetim algoritması yapısı

PID programında motorun hareketini sağlayan uygun periyot genişliğinde sinyal üretimi hesabı yapılmaktadır. Araç hedef noktaya götürebilmek ve bu noktada tutabilmek için, PID algoritmasından elde edilen u_a (PWM) sinyal genişliği güç devresine gönderilmekte ve bu büyüklüğün işaretine göre de motorun hareket yönü belirlenmektedir. PID algoritmasından elde edilen gerilim büyüklükleri motorun hareketi esnasında artabilmekte bu artış sonucunda öngörülenden (20 kHz) daha büyük görev çevrim zamanı oluşabilmektedir. Bu durumu önlemek için, motora uygulanabilecek PWM sinyal periyodu hem pozitif hemde negatif yönde büyük değerler ile sınırlandırılmıştır. Yani motorun denetimi için verilebilecek en büyük PWM genişliği belirlenmiştir. Bu çalışmada PWM sınır frekansı 20 kHz seçilmiştir. Motor istenen konuma getirilene kadar güç devresine uygulanan en yüksek PWM frekansı 20 kHz'dir. Şekil 7 de görüldüğü gibi araç bulunduğu konumdan doğrusal harekette $x_{hedef} = -8 \text{ cm}$ 'ye götürülmüş ve bu konumda tutulmuştur. Pist sürtünmesini yenebilecek PID katsayılarının seçiminden dolayı, araç hedeflenen noktadan bir miktar geçmektedir. Araç hedef noktayı geçtikten sonra yapılan PID hesapları bir öncekine göre ters işaretli olacağından, motora uygulanan gerilim bir öncekinin ters yönünde olacaktır. Dolayısıyla araç ters istikamette hareket ederek kendisini istenen konuma çekmiştir. Şekil 8 de görüldüğü gibi motor hedef noktaya ulaştığında bu noktada uygun gerilimlerle hedef nokta üzerinde tutulmuştur. Grafik üzerindeki dikey eksen, örnekleme değerleri 30 ms 'de alınmış motor konumunun hata değerleridir.



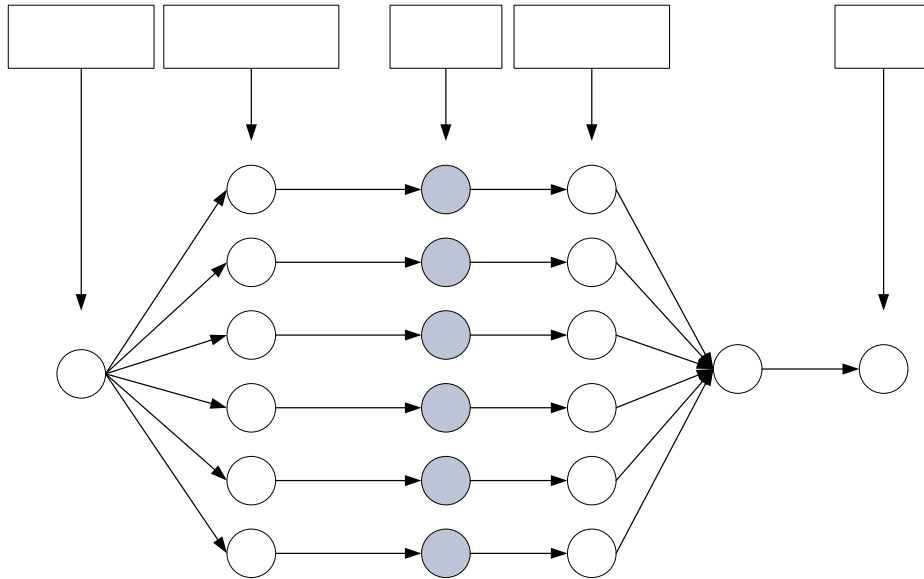
Şekil 7. PID algoritmasına göre motorun hata – zaman grafiği



Şekil 8. PID algoritmasıyla motora uygulanan ortalama gerilim

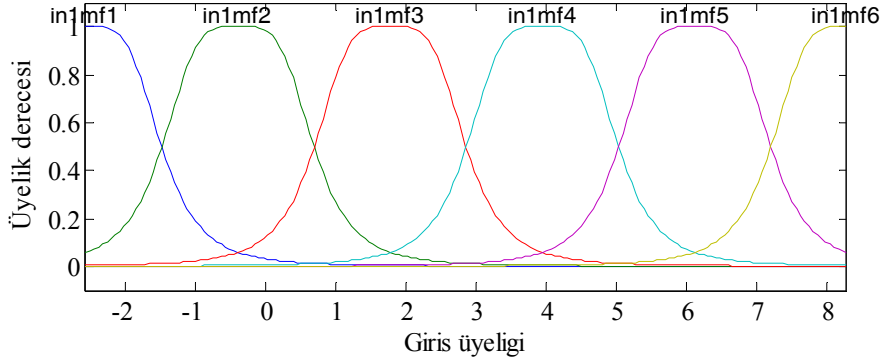
5. UYARLANIR SINIR BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE EĞİTİM

Temeli bulanık mantığa dayanan bu yapı tek girdi ve tek çıktı olarak uygulanmaktadır. Şekil 9 da gösterilen girdi motor hatası ve çıktı ise motor hatasının büyüklüğüne göre elde edilen, motora uygulanacak olan gerilim değeridir. Giriş üyelik fonksiyonları ise PID algoritması ile elde edilen hata değerleridir. Kurallar bloğu giriş üyelik derecelerine ve girdiler tarafından üretilen çıkış değerlerine göre oluşturulmaktadır. Tek girdili ve tek çıktılı bir sistemde en verimli algoritma PID algoritması olmasına karşın, yetersiz uyarımlı çok girdili ve tek çıktılı sistemlerde ise farklı algoritmalarla farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışmada karşılaştırma amaçlı tek girdili ve tek çıktılı bir ANFIS yapısı kurulmuştur. Bu yapıdaki giriş üyelik fonksiyonları Şekil 9 da gösterildiği gibi 6 kümeye bölünmüştür. DC motorun istenen konuma gelmesi 0-7. sn de gerçekleşmiş ve uygulanan gerilim bu aralıkta sıfır konumuna çekilememiştir, bunun nedeni ise görev çevrim oranının sürdünmeyi yenebilecek büyüklükte olmayışıdır [5].



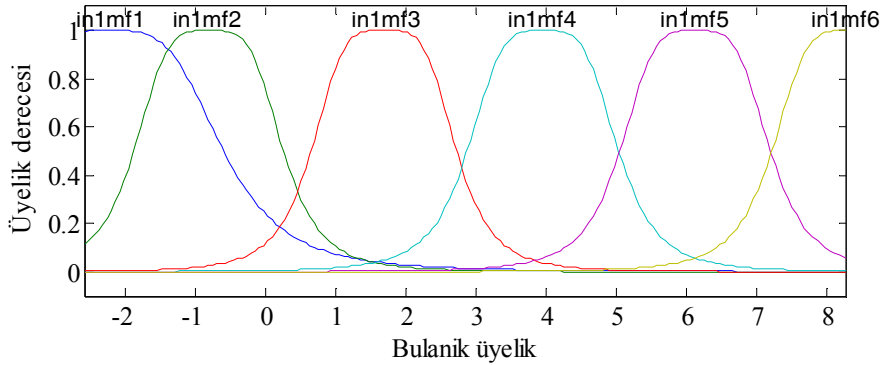
Şekil 9. Tek girdi ve tek çıktılı ANFIS yapısı

PID algoritmasından elde edilen gauss dağılımlı üyelik dereceleri Şekil 10 da verilmektedir. ANFIS'in öngördüğü gauss dağılımlı üyelik dereceleri ise Şekil 11 de gösterilmektedir

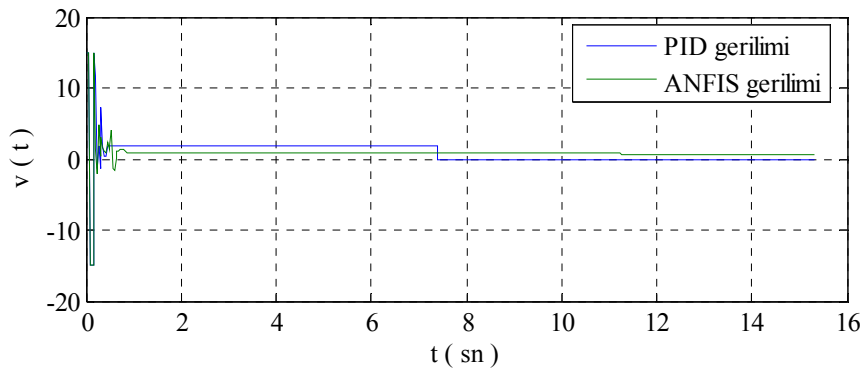


Şekil 10. Test 1 için oluşturulan Gauss dağılımlı giriş üyelik fonksiyonları

Şekil 9 da PID algoritmasından elde edilen verilerden Gauss dağılımlı 6 adet giriş üyelik fonksiyonu oluşturulmaktadır. Bu girdilere ve elde edilen gerilim değerlerine göre ANFIS yapısı geri yayımlı öğrenmeyle [7] Şekil 11 deki üyelikleri önermekte ve Şekil 12 deki gerilim çıktısını ve Tablo 2 de verilen fonksiyonları üretmektedir.



Şekil 11. ANFIS'in öngördüğü bulanık kurallar



Şekil 12. PID ve ANFIS algoritmasından elde edilen gerilimler

Şekil 12 deki gerilim çıktısını oluşturan Sugeno modelindeki ANFIS'in öngördüğü üyelik fonksiyonlarına göre çıkışları veren kurallar kümesi

1. If (input1 is in1mf1) then (output is out1mf1)
2. If (input1 is in1mf2) then (output is out1mf2)
3. If (input1 is in1mf3) then (output is out1mf3)
4. If (input1 is in1mf4) then (output is out1mf4)
5. If (input1 is in1mf5) then (output is out1mf5)
6. If (input1 is in1mf6) then (output is out1mf6)

koşullarıyla sağlanır. ANFIS'in Şekil 11 ile gösterilen grafikte öngördüğü denklem takımı Tablo 2 de verilmektedir. Üyelik derecelerinden elde edilen sonuçları hesaplayabilmek için kullanılan gbell fonksiyonu

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2 \cdot b}} \quad (6)$$

şeklinde tanımlanır ve bu denklem bulanık üyelik fonksiyonlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır [6].

Tablo 2. Şekil 11 de gösterilen ANFIS'in öngördüğü gbell (genelleştirilmiş çan eğrisi) üyeliklerinin lineer denklemleri

Girdi değişkeni	Katsayıları	Çıkış	Çıkış denklemi
x	[a b c]		Y
in1mf1	[1.628 1.856 -2.226]	out1mf1	$y = 48.44 \times x + 137.8$
in1mf2	[1.069 2.039 -0.8152]	out1mf2	$y = 27.19 \times x - 35.05$
in1mf3	[1.04 2.079 1.683]	out1mf3	$y = 29.91 \times x - 40.18$
in1mf4	[1.08 2.005 3.95]	out1mf4	$y = 31.25 \times x - 131.8$
in1mf5	[1.074 2.001 6.119]	out1mf5	$y = 40.720 \times x - 274$
in1mf6	[1.079 2.001 8.288]	out1mf6	$y = 3.451 \times x - 17.41$

6. SONUÇ

Bir aracın konum denetimi etiket değerleri belli olmayan bir DC motor ile PID algoritması kullanılarak yapılmıştır. PID denklemi içerisindeki katsayılar görev çevrim oranını karşılayabilecek büyüklükte seçilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar ANFIS eğitime tabi tutularak kurallar kümesi elde edilmiş ve bu kurallar kümesinin herbiri farklı girdiler için farklı çıkış denklemleri oluşturmuştur. Karşılaştırma grafiklerine bakıldığında her iki algoritmanın da iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. ANFIS eğitiminde küme sayısı en iyi sonuca ulaşana kadar arttırılmalıdır. İlgili üyelik fonksiyonlarının çok fazla olması en iyi sonucu vereceği anlamını taşımamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ST, AN280. Application note controlling voltage transients in full bridge driver applications.
- [2] Klee Andrew, "Development of a speed control system using matlab and simulink, implemented with a digital signal processor", Master of Science in the Department of Electrical and Computer Engineering - In the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida, Orlando, Florida, Spring Term, 2005
- [3] TMS320F2810, TMS320F2811, TMS320F2812, TMS320C2810, TMS320C2811, TMS320C2812, Digital signal processors, data manual. literature number: SPRS174L. April 2001 – Revised December 2004
- [4] Maas, J., "Industrial Electronics", Prentice-Hall, New Jersey, 844-860 (1995)
- [5] MATLAB Fuzzy Logic Toolbox-2 User's Guide, COPYRIGHT 1995–2007 The MathWorks, Inc.
- [6] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun ve E. Mizutani, Neuro-fuzzy and soft computing, Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [7] Elmas,Ç., "Bulanık Mantık denetleyiciler", Seçkin yayınları, Ankara, 188-197 (2003)