



PSO ile Optimize Edilen Bulanık Mantık Kontrolörü ile LabVIEW Platformunda DA Motor Kontrolü

DC Motor Control on LabVIEW Platform with Fuzzy Logic Controller Optimized with PSO

Hasan Güler¹, Hakan Çelik^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, hasanguler@firat.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9368-8902>

² Fırat Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, hakancelik@firat.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2861-3269>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 25 Ocak 2024
Revizyon 24 Mayıs 2024
Kabul 31 Mayıs 2024
Online 30 Haziran 2024

Anahtar Kelimeler:

Bulanık Mantık Kontrolör, DA motor, Parçacık Sürü Optimizasyonu, LabVIEW, PID kontrolör

ÖZ

DA motor geçmişte olduğu gibi günümüzde de sürücü sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. DA motorlu sistemlerde kullanılan kontrolörün performansı sistemin başarısı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada DA motor kontrol performansını arttırmak için kontrolör olarak, üyelik fonksiyonları Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile optimize edilen Bulanık Mantık Kontrolörü (BMK) kullanılmıştır. Önerilen kontrolör performansını incelemek için DA motor geleneksel PID kontrolör ile de kontrol edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. PID kontrolörün parametreleri ve BMK'nın üyelik fonksiyonları PSO ile eşit şartlarda optimize edilmiştir. Çalışma son zamanlarda kontrol sistemlerinde sıkça kullanılmaya başlanan ve geniş donanım uyumluluğuna sahip olan LabVIEW platformunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçları incelendiğinde, özellikle değişken hız ve moment durumlarında PSO optimizasyonlu BMK'nın daha iyi performans gösterdiğini görülmüştür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 January 2024
Received in revised form 24 May 2024
Accepted 31 May 2024
Available online 30 June 2024

Keywords:

Fuzzy Logic Controller, DC Motor, Particle Swarm Optimization, LabVIEW, PID Controller

ABSTRACT

DC motor is widely used in drive systems today as it was in the past. The performance of the controller used in DC motor systems has great importance for the success of the system. Therefore, in this study, Fuzzy Logic Controller (FLC), whose membership functions are optimized with Particle Swarm Optimization (PSO), has been used as the controller to increase DC motor control performance. To examine the performance of the proposed controller, also the DC motor has been controlled with a traditional PID controller and the results were used for comparison. The parameters of the PID controller and the membership functions of FLC are optimized on equal terms with PSO. The study was carried out on the LabVIEW platform, which has recently become frequently used in control systems and has wide hardware compatibility. When the simulation results obtained were examined, it was seen that the PSO-optimized FLC performed better, especially in variable speed and torque situations.

Doi: 10.24012/dumf.1425437

* Sorumlu Yazar

Giriş

DA motorlar; basit yapısı, verimlilikleri ve kolay kontrol edilebilirlikleri nedeniyle, endüstriyel, otomotiv, robotik ve ev uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1], [2], [3], [4]. DA motorların; hassas hız, tork ve konum kontrolü, sistemin karalığını ve verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle DA motorların kontrol yöntemleri ile ilgili literatürde birçok çalışma vardır. Geleneksel PID kontrol yöntemi, DA motor kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kontrol yöntemlerinden biridir [5], [6]. Bu yöntemin çok fazla tercih edilmesinin nedeni basit yapısı ve kontrol esnekliğidir [5]. Bu üstünlüklerinin yanında PID kontrolörlerin birtakım olumsuzlukları da vardır. Sistemin durumu, herhangi bir değişikliğe uğradığında PID kontrolörün parametrelerinin tekrar ayarlanması gerekmektedir [5]. PID kontrolörün parametrelerinin ayarlanması için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerin en bilineni Ziegler-Nichols'dur [7]. Ancak bu yöntem bazı durumlarda iyi bir parametre ayarı sağlayamamakta ve büyük aşma değerlerine yol açmaktadır. Bilgisayarların sayısal gücünün artmasıyla birlikte geleneksel PID kontrolörlerin performansını artırmak için çeşitli ayarlama yöntemleri önerilmiştir. PID parametrelerini ayarlamak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)'dur [8], [9]. DA motor kontrolü için yapay zekâ teknikleri de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Literatürde Bulanık Mantık Kontrolör (BMK) ile DA motor kontrolüne ilişkin bir çok çalışma bulunmaktadır [1], [3], [4], [10], [11].

DA motor kontrol yöntemlerinin performanslarının test edilmesi ve deneysel çalışmaların öncesinde gerekli denemelerin gerçekleştirilmesi amacıyla Matlab, LabVIEW vb. platformlarla benzetim çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Yüksek performanslı sayısal hesaplama, gelişmiş GUI altyapısı, geniş donanım uyumluluğu ve gerçek zamanlı kontrol uygulamalarına imkân sağlaması nedeniyle, LabVIEW platformu son zamanlarda kontrol sistemlerinin benzetiminde ve gerçek zamanlı uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1], [12], [13], [14], [15].

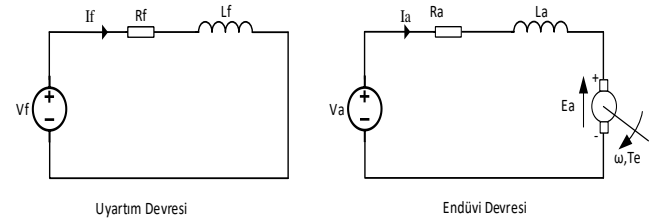
Bu çalışmada DA motor, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları PSO ile optimize edilen BMK ile kontrol edilmiştir. Çalışmanın temel amacı DA motor kontrol performansının artırılmasıdır. Önerilen kontrol yönteminin performansını karşılaştırmak amacıyla parametreleri yine aynı şartlarda PSO ile belirlenen geleneksel PID kontrolör ile de DA motor kontrolü gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları FPGA, DAQ, Arduino, Raspberry Pi vb. kartlarla uyumlu olan LabVIEW ortamında gerçekleştirilmiştir. Böylece DA motor kontrolü için LabVIEW ortamında oluşturulan kontrolör yazılımları deneysel çalışmalarda da kolaylıkla kullanılabilir. Bu durum çalışmanın en önemli özgünlüğüdür. Sonuç olarak, benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bu çalışmada DA motor kontrolü için önerilen PSO ile optimize edilen BMK'nın özellikle değişken hız ve yük durumları için geleneksel PID kontrolöre göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

DA Motor

Endüstride en çok bilinen ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılan tahrik elemanı DA motordur [3], [4]. DA motorların hız ve konum kontrolü, giriş gerilimi ayarlanarak geniş bir aralıkta kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [4], [16]. Bu nedenle yeni motor kontrol yöntemleri genellikle ilk olarak DA motor üzerinde denenmektedir. Elde edilen sonuçlar istenen performans hedeflerini sağlıyorsa, bu kontrol yöntemleri daha sonra diğer motor türlerine de uygulanmaktadır.

DA Motorun Matematiksel Modeli

Bu çalışmada, elektriksel eşdeğer devresi Şekil 1'de verilen Serbest Uyarımlı DA motor kullanılmıştır. Bu bölümde motoru modellemek için kullanılan matematiksel denklemler verilmiştir.



Şekil 1. DA motorun elektriksel eşdeğer devresi

Denklem (1)'de uyarım gerilimi ifadesi verilmiştir.

$$V_f = R_f I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \quad (1)$$

Burada, V_f uyarım gerilimi, I_f uyarım akımı, R_f ise uyarım direncidir. Denklem (2)'de endüvi gerilimi ifadesi verilmiştir.

$$V_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (2)$$

Burada, V_a endüvi gerilimi, I_a endüvi akımı, R_a endüvi direnci, E_a ise zıt EMK gerilimidir. Zıt EMK ifadesi Denklem (3)'de, uyarım akısı ise Denklem (4)'de verildiği gibidir.

$$E_a = k_e \Phi \omega \quad (3)$$

$$\Phi = k_f I_f \quad (4)$$

Burada, k_e ve k_f sırasıyla zıt EMK ve akı sabitleridir. Φ akı, ω ise açısal hızdır. Motorun elektromanyetik momenti (T_e), Denklem (5)'te verilmiştir.

$$T_e = k_e \Phi I_a \quad (5)$$

Motor hızının dinamik analizi için kullanılan hareket denklemi Denklem (6)'da verilmiştir.

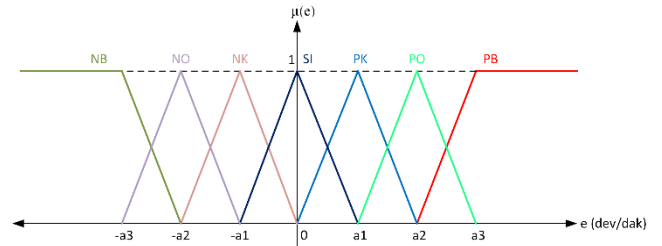
$$T_e = T_y + B\omega + J \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

Burada, T_y yük momenti, B sürtünme katsayısı, J ise atalet momentidir.

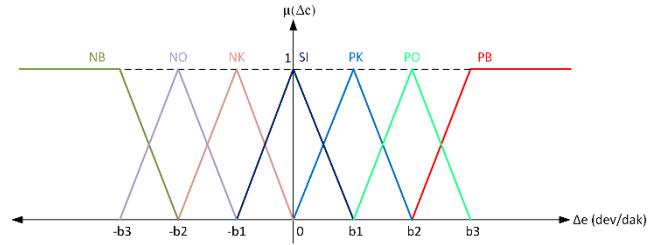
Benzetim çalışmalarında kullanılan DA motor parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. DA motor parametreleri

Parametre	Değer
Güç (P_n)	5 HP
Hız (n)	1220 dev/dak
Endüvi Gerilimi (V_a)	240 V
Uyartım Gerilimi (V_f)	240 V
Endüvi Direnci (R_a)	0.6 Ω
Uyartım Direnci (R_f)	240 Ω
Endüvi İndüktansı (L_a)	0.012 H
Uyartım İndüktansı (L_f)	120 H
Makine Sabiti (k_e, k_f)	1.18 V/(rad/sn)
Sürtünme Katsayısı (B)	0 N.m.s
Atalet Momenti (J)	1 kg.m ²



Şekil 3. Hataya ait üyelik fonksiyonları



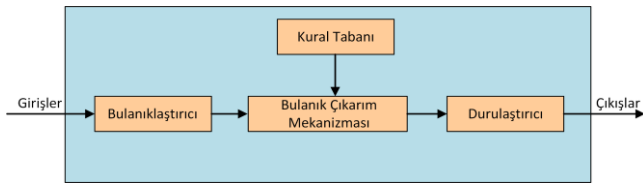
Şekil 4. Hata değişimine ait üyelik fonksiyonları

LabVIEW Platformunda DA Motorun Bulanık Mantık Kontrolü

Bulanık Mantık teorisi ilk olarak 1965 yılında Azeri bilim adamı Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bu teori bir bilgiyi yalnızca doğru ya da yanlış olarak ifade eden Boole Cebiri’nin aksine, 0 ile 1 arasında bir ölçeğe dayalı bulanık değerlerle işlem yapar [1], [12]. Bulanık Mantık, matematiksel modeli yeterince bilinmeyen ve giriş bilgilerinin kesin olmadığı kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [2], [3], [12]. Esnek yapısı nedeniyle Bulanık Mantık, özellikle değişken çalışma şartlarına sahip motor kontrol uygulamalarında başarılı bir kontrol performansı sunmaktadır [4], [10], [12].

Bulanık Mantık Kontrolörü Bileşenleri

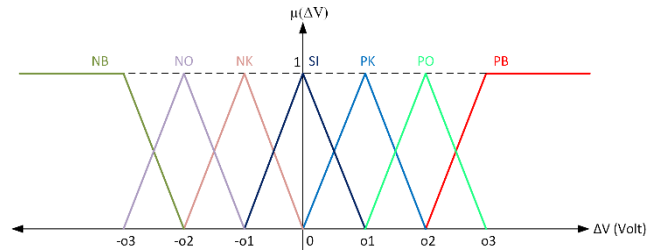
Her bir BMK dört ana bileşenden oluşur. Bu bileşenler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. BMK bileşenleri

Bulanıklaştırıcı, uygulanan girişleri belirli üyelik fonksiyonlarına göre değerlendirerek, her bir girişin aitlik seviyesini 0 ile 1 arasında bulanık bir değer olarak belirler ve bulanık çık arım bloğuna aktarır [5], [11]. Çalışmada kullanılan BMK’nın hata (e) ve hata değişimi (Δe) olmak üzere 2 girişi vardır. Bu keskin girişlerin bulanıklaştırması için Şekil 3 ve 4’te verilen 5 üçgen ve 2 yamuk tipi olmak üzere 7 üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu üyelik fonksiyonlarında a_n ve b_n ($n=1, \dots, 3$) olarak gösterilen parametreler, bu çalışmada PSO ile belirlenecektir.

BMK çıkışı olan gerilim değişimi (ΔV) için oluşturulan 5 üçgen ve 2 yamuk tipi olmak üzere toplam 7 üyelik fonksiyonu Şekil 5’te gösterilmiştir. Giriş üyelik fonksiyonlarına benzer şekilde çıkış üyelik fonksiyonlarında da o_n ($n=1, \dots, 3$) olarak gösterilen parametreler, bu çalışmada PSO ile belirlenecektir.



Şekil 5. Gerilim değişimine ait üyelik fonksiyonları

Kural tabanı, BMK’nın bulanıklaştırılmış verileri yorumlayarak girişe uygun bir tepki göstermesi için oluşturulmaktadır [12]. Kural tabanında, “if (varsayım)-then (sonuç)” ifadeleri kullanılarak giriş ve çıkış arasında bir ilişki kurulmaktadır [12]. Çalışmada kullanılan BMK’da 7 adet üyelik fonksiyonuna sahip 2 giriş bulunduğu için toplamda 49 adet kuralın oluşturulması gerekir. BMK’nın çıkışı olan gerilim değişimi (ΔV) için oluşturulan kurallar Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2’de verilen BMK kurallarının yapısı sembolik olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir.

“if ($e = NB$ and $\Delta e = NB$) then ($\Delta V = NB$)” (Kural 1)

Tablo 2. Gerilim değişimi (ΔV) için BMK kural tablosu

e/\Delta e	NB	NO	NK	SI	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NO	NO	NK	NK	SI
NO	NB	NB	NO	NO	NK	SI	PK
NK	NO	NO	NK	NK	SI	PK	PO
SI	NO	NO	NK	SI	PK	PK	PO
PK	NK	NK	SI	PK	PO	PO	PB
PO	NK	SI	PK	PO	PO	PO	PB
PB	SI	PK	PO	PB	PB	PB	PB

Bulanık çıkarım mekanizması, BMK'nın en önemli bileşenidir. Bu aşamada BMK'nın girişleri ve kural tablosu kullanılarak bulanık değerler üretilmektedir [2], [17]. BMK'larda farklı çıkarım mekanizmaları kullanılmakla birlikte, bu çalışmada en yaygın kullanılan Mamdani çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Bu çalışmada çıkarım mekanizmasında, Kesişim ve İmplikasyon (Implication) işlemi için min operatörü, Toparlama (Aggregation) işlemi için ise max operatörü kullanılmıştır.

Kesişim işlemi için kullanılan ifade Denklem (7)'de verilmiştir.

$$\mu_{ij} = \min\{\mu_i^e(e^*), \mu_j^{\Delta e}(\Delta e^*)\} \quad (i=1, \dots, 7, j=1, \dots, 7) \quad (7)$$

Burada μ_i^e hata, $\mu_j^{\Delta e}$ hata değişimi giriş üyelik fonksiyonlarını ve μ_{ij} ise ilgili kuralın kesişim değerini temsil etmektedir. e^* hatanın, Δe^* ise hata değişiminin keskin değeridir.

İmplikasyon işlemi için kullanılan ifade Denklem (8)'de verilmiştir.

$$\mu_{ij}(\Delta V) = \min\{\mu_{ij}, \mu_{ij}^{\Delta V}(\Delta V)\} \quad (8)$$

Burada $\mu_{ij}^{\Delta V}$ ilgili kurala ait çıkış üyelik fonksiyonunu, $\mu_{ij}(\Delta V)$ ise ima edilen çıkış bulanık kümelerini temsil etmektedir.

Sonuç bulanık çıkış kümesi $\mu_{out}(\Delta V)$ 'nin belirlenmesi için kullanılan Toparlama işlemi ifadesi Denklem (9)'da verilmiştir.

$$\mu_{out}(\Delta V) = \max\{\mu_{11}(\Delta V), \mu_{12}(\Delta V), \dots, \mu_{77}(\Delta V)\} \quad (9)$$

Durulaştırıcı, bulanık çıkarım mekanizmasından elde edilen bulanık ifadeleri sayısal bir değere dönüştürür [2], [17]. Bu çalışmada durulaştırma yöntemi olarak Denklem (10)'da matematiksel ifadesi verilen "Ağırlık Merkezi (Center of Gravity)" yöntemi kullanılmıştır.

$$\Delta V^* = \frac{\int \mu_{out}(\Delta V) \cdot \Delta V \cdot d(\Delta V)}{\int \mu_{out}(\Delta V) \cdot d(\Delta V)} \quad (10)$$

Burada ΔV^* , BMK'nin keskin çıkışını temsil etmektedir.

PSO ile BMK Parametrelerinin Belirlenmesi

PSO, sürü halinde yaşayan kuş ve balıkların davranışlarından esinlenerek geliştirilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algortmada her bir birey parçacık olarak ifade edilir ve bu parçacıkların oluşturduğu topluluğa da sürü adı verilir. PSO'da parçacıklar arasında sosyal bilgi paylaşımı vardır ve bu bilgi paylaşımı ile parçacıklar konumlarını en iyi konuma sahip parçacığa yaklaştırmaya çalışırlar [8], [18]. Bu nedenle her bir iterasyonda mevcut iterasyonun en iyi çözümü ($pbest$) ve tüm iterasyonların en iyi çözümü ($gbest$)'e göre parçacıkların yeni hız ve konumu hesaplanmaktadır [9]. Sonuç olarak iterasyon işlemi tamamlandığında, belirli bir çözüm uzayı içerisinde en iyi uygunluk değerine sahip olan parçacık çözüm olarak belirlenmiş olur. PSO yöntemi günümüzde doğrusal olmayan problemlerin çözümü, parametre tahmini, kontrolör tasarımı başta olmak üzere birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [8], [9], [18].

PSO'da parçacıkların yeni hızlarını belirlemek için kullanılan ifade Denklem (11)'de verilmiştir.

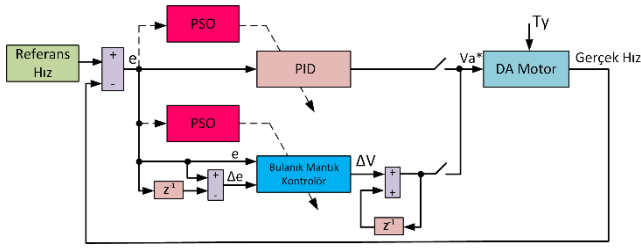
$$v_{n+1} = w \cdot v_n + c_1 \cdot rand_1 \cdot (pbest_n - x_n) + c_2 \cdot rand_2 \cdot (gbest_n - x_n) \quad (11)$$

Burada v_n , v_{n+1} sırasıyla parçacıkların şu anki ve bir sonraki hızını, x_n ise parçacıkların şu anki konumunu temsil etmektedir. c_1 , c_2 öğrenme katsayıları, $rand_1$, $rand_2$ 0-1 aralığında rastgele sayılar ve w ise atalet katsayısıdır. $pbest_n$, n . iterasyondaki, $gbest_n$ ise tüm iterasyonlardaki en iyi çözümü temsil etmektedir. Bu hesaplamalar her bir parçacık için her iterasyonda tekrarlanmaktadır.

Parçacıkların yeni konumu olan x_{n+1} 'i hesaplamak için Denklem (12)'de verilen ifade kullanılmaktadır.

$$x_{n+1} = x_n + v_{n+1} \quad (12)$$

BMK'nın esnek yapısı ve basit matematiğinin yanında birtakım olumsuzlukları da vardır. Bunlardan en önemli olanları kural tabanın oluşturulması ve üyelik fonksiyonu değerlerinin belirlenmesidir. Çoğu durumda bu iki önemli bileşenin belirlenmesi için deneme yanılma ve tecrübeye dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu olumsuzlukların çözümü ve dolayısıyla DA motor kontrolünde kullanılan BMK'nın performansını arttırmak için kullanılan üyelik fonksiyonlarının parametreleri PSO ile belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde kolaylık sağlaması bakımından hem giriş hem de çıkış üyelik fonksiyonları simetrik olarak seçilmiştir. Böylece PSO tarafından belirlenen parametre sayısı azaltılarak daha hızlı sonuç alınmasına imkân sağlanmıştır. Çalışmaya ait blok diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.

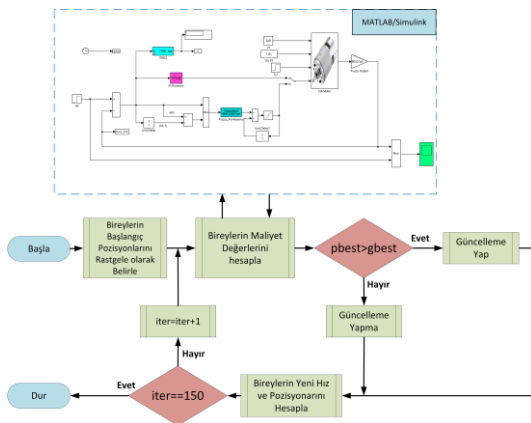


Şekil 6. PSO ile BMK parametrelerinin belirlenmesine ilişkin blok diyagramı

PSO ile BMK üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin belirlenmesi için ilk olarak DA motor modeli daha önce verilen denklemler kullanılarak Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Daha sonra bu modele, Matlab'da m-function ile oluşturulan BMK yapısı eklenerek DA motorun BMK ile kapalı çevrim hız kontrol modeli elde edilmiştir. Bu Matlab/Simulink modeli sayesinde her iterasyonda BMK üyelik fonksiyonlarının parametreleri PSO ile güncellenebilmektedir. Aynı Matlab/Simulink modelinde BMK yerine PID kontrolör bloğu seçilerek, DA motorun PID kontrolör ile kapalı çevrim hız kontrol modeli de elde edilebilmektedir. Şekil 7'de verilen akış diyagramında görüldüğü gibi PSO algoritması ile Matlab/Simulink modeli iç içe çalıştırılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Optimizasyon çalışmalarında amaç fonksiyonu olarak, matematiksel ifadesi Denklem (13)'de verilen ITAE (Zaman Ağırlıklı Mutlak Hatanın İntegrali) kullanılmıştır. Bu ifade t zamanı $e(t)$ ise zamana bağlı olarak hatayı temsil etmektedir. ITAE değerinin minimizasyonu ile geçici durum performansının iyileştirilmesi yanında sürekli durum hatası da azaltılabilmektedir.

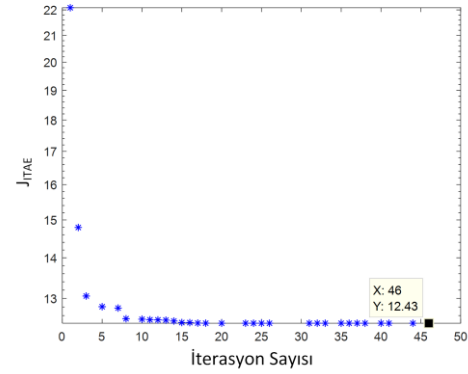
$$J_{ITAE} = \int_0^{inf} t|e(t)| \cdot dt \quad (13)$$

Optimizasyon çalışmaları, 500 dev/dak referans hız, 10 Nm yük momenti, 150 birey sayısı ve 50 iterasyon sayısı için gerçekleştirilmiştir. PSO algoritmasında $c_1=0.12$, $c_2=1.2$ ve $w=0.9$ alınmıştır. Hem BMK hem de PID kontrolör için optimizasyon yapılarak, çalışmada DA motor kontrolü için önerilen BMK'nın performansı ile geleneksel PID kontrolörün performansı karşılaştırılmıştır.

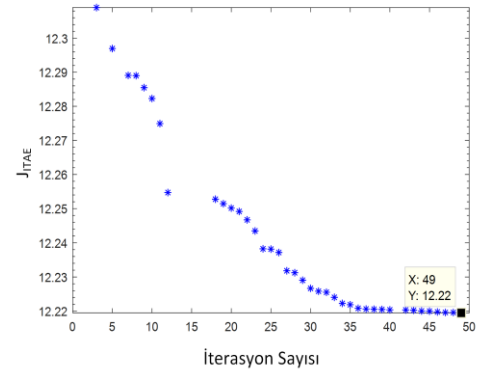


Şekil 7. BMK parametrelerinin belirlenmesine ilişkin PSO algoritması akış diyagramı

PID kontrolör optimizasyon sürecine ilişkin iterasyon eğrisi Şekil 8'de, BMK optimizasyon sürecine ilişkin iterasyon eğrisi ise Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. PID kontrolör optimizasyonu için iterasyon eğrisi



Şekil 9. BMK optimizasyonu için iterasyon eğrisi

Optimizasyon sonucu elde edilen BMK üyelik fonksiyonlarının parametreleri Tablo 3'de, PID kontrolör parametreleri ise Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. PSO ile belirlenen BMK Parametreleri

	e	Δe	ΔV
a ₁	20.6	b ₁ 0.5	o ₁ 50
a ₂	251	b ₂ 10	o ₂ 99
a ₃	606	b ₃ 15.3	o ₃ 199

Tablo 4. PSO ile belirlenen PID Kontrolör Parametreleri

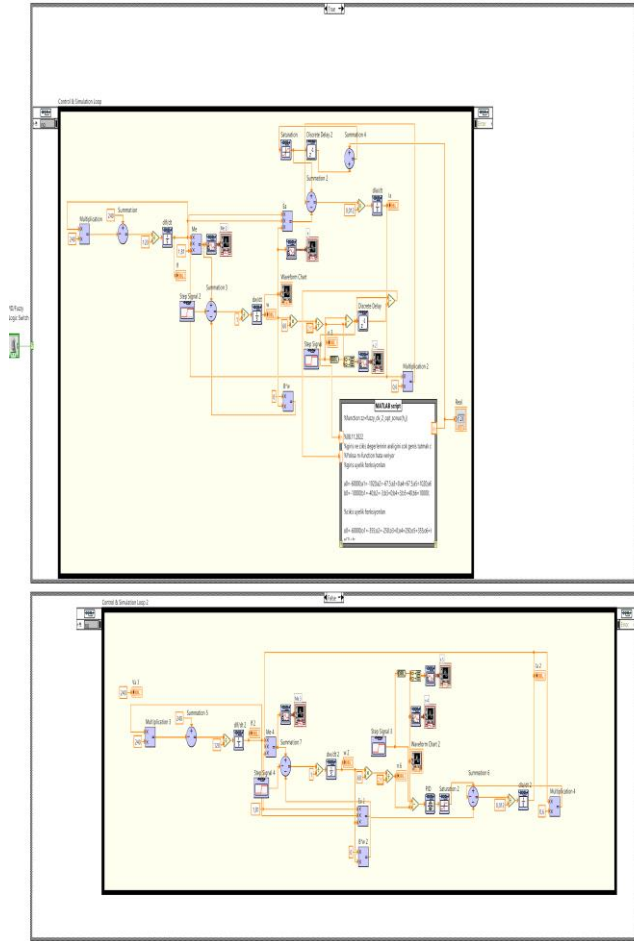
K _p	K _i	K _d
50	0.93683	0.2638

LabVIEW Platformunda DA Motor Kontrolü

LabVIEW grafik tabanlı bir programlama dili ve mühendislik geliştirme ortamıdır. Hızlı sayısal hesaplama ve görüntüleme yanında, geniş donanım uyumluluğu sayesinde gerçek zamanlı uygulamalarda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1], [14], [19]. Bu programın en önemli özelliklerinden biri C++, Matlab ve Python gibi diğer

program dilleri ile entegrasyon sağlayabilmesidir. Böylece diğer programlama dillerinin sağlayabileceği imkân ve kütüphanelerden de faydalanılabilmektedir. LabVIEW, Blok Diyagramı ve Ön Panel olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Blok Diyagramı bölümünde grafiksel programlama işlemleri gerçekleştirilirken, Ön Panel bölümü kullanıcılara sonuçları analiz etme, kaydetme ve dışardan değer girişi yapabileme imkânı sunmaktadır. LabVIEW'in FPGA, DAQ, Arduino, Raspberry Pi vb. kartlarla uyumluluğu sayesinde gerçek zamanlı kontrol uygulamaları başarı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [12], [15], [16]. LabVIEW günümüzde sinyal işleme, robotik, sağlık, güç kalitesi analizi alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanında son zamanlarda motor kontrol uygulamalarında da sıkça kullanılmaktadır [1], [13], [14], [15], [20].

Bu çalışmada ilk olarak daha önce verilen denklemler kullanılarak DA motor modeli LabVIEW blok diyagramında modellenmiş ve bu modele Matlab m-function ile oluşturulan BMK yapısı ilave edilerek DA motorun BMK ile kapalı çevrim hız kontrol modeli elde edilmiştir. Aynı modelde BMK yerine PID kontrolör bloğu seçilerek DA motorun PID kontrollü kapalı çevrim hız kontrol modeli elde edilmiştir. Hem BMK hem de PID kontrolörde daha önce PSO ile belirlenen parametreler kullanılmıştır. Şekil 10'da LabVIEW platformunda oluşturulan DA motor kontrol blok diyagramı verilmiştir.



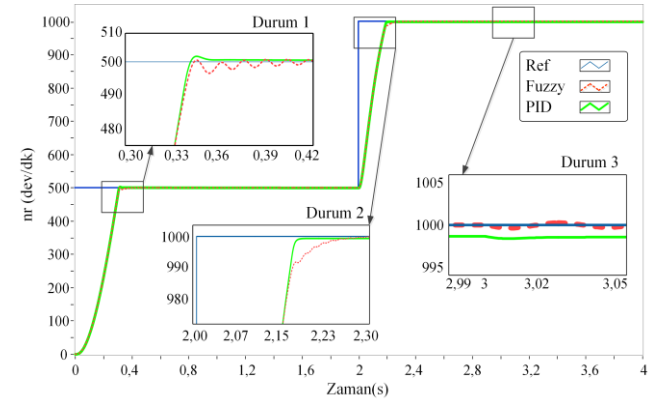
Şekil 10. LabVIEW platformunda oluşturulan DA motor kontrol blok diyagramı

Şekil 10'da görüldüğü gibi LabVIEW blok diyagramına bağlanan bir anahtar yardımıyla DA motor kontrolü BMK ve PID kontrolör ile gerçekleştirilebilmektedir. Böylece önerilen BMK ile geleneksel PID kontrolörün motor kontrol performansları karşılaştırılabilmektedir. LabVIEW blok diyagramında görüldüğü gibi BMK'nın girişleri hata (e) ve hatanın değişimi (Δe), çıkışı ise gerilim değişimi (ΔV)'dir. Bu gerilim değişimi bir önceki gerilim değeri olan $V_a(k-1)$ ile toplanarak motora uygulanan V_a gerilim değeri hesaplanmaktadır. DA motorun hızı ve yük momenti LabVIEW platformunda oluşturulan Ön Panel aracılığıyla dinamik olarak değiştirilebilmekte ve sonuçlar analiz edilebilmektedir.

Benzetim Sonuçları

Benzetim sonuçları, LabVIEW platformunda oluşturulan blok diyagramından $1e-3$ sn çalışma adımı için elde edilmiştir. Benzetim çalışmalarında motor farklı hız ve yük momentlerinde çalıştırılarak, BMK ve geleneksel PID kontrolörün performansları karşılaştırılmıştır.

Benzetim çalışmalarında DA motor, 0-2 sn aralığında 500 dev/dak referans hızda ve yüksüz, 2-3 sn aralığında 1000 dev/dak referans hızda ve yüksüz, 3-4 sn aralığında ise 1000 dev/dak referans hızda ve 10 Nm yük momentinde çalıştırılmıştır.



Şekil 11. Değişken hız ve yük momentini için motor hızının değişimi

Şekil 11'de değişken referans hız ve yük momentini için motor hızının değişimi verilmiştir. Verilen hız değişimi incelendiğinde her iki kontrolörlü durumda da motorun referans hızı kısa bir sürede yakaladığı ve kararlı bir şekilde takip ettiği görülmektedir. Tablo 4'de farklı çalışma durumları için BMK ve PID kontrolör performansları karşılaştırılmıştır. Hem Şekil 11 hem de Tablo 4 birlikte incelendiğinde BMK ve PID kontrolör performanslarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni PID kontrolörün parametrelerinin de BMK ile aynı şartlarda PSO ile belirlenmiş olmasıdır. Ancak özellikle değişken hız ve yük momentini değerleri için bu çalışmada DA motor kontrolü için önerilen BMK'nın PID kontrolöre göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Bu durum Tablo 4'de verilen J_{ITAE} değerlerinden de görülmektedir. Özellikle motorun 1000 dev/dak hızla yüksüz çalışırken 10 Nm ile

yüklenmesi durumunu içeren Durum 3’de BMK’lı durumda motor hızında çok kısa süreli bir salınım olmasına rağmen hızın düşmediği, PID kontrolörlü durumda ise zaten mevcut olan sürekli durum hatasının daha da artarak, motor hızının yüklenme ile düştüğü görülmektedir. Şekil 11’de görüldüğü gibi BMK’lı durumda, referans hıza erişilirken ve yüklenme durumunda motor hızında kısa süreli bir salınım olduğu görülmektedir. Genel olarak motor kontrol sistemlerinde hız salınımı durumunda mekanik titreşim meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak motorun ömrü azalmaktadır. Bu durum çalışmada DA motor kontrolü için önerilen BMK’nın en önemli dezavantajıdır. Ancak bu çalışmada hız salınımı çok kısa süre sürdüğünden motor üzerindeki olumsuz etkilerin de sınırlı olacağı öngörülmektedir.

Tablo 4. BMK ve PID kontrolör performanslarının karşılaştırılması

Durum	Performans Kriteri	BMK	PID
Durum 1	Yükselme Zamanı (tr)	0.1971	0.1969
	Yerleşme Zamanı (ts)	0.3063	0.3040
	Aşma (%)	0.2267	0.6733
	Sürekli Durum Hatası	0	0.5
Durum 2	Yükselme Zamanı (tr)	2.0135	2.0137
	Yerleşme Zamanı (ts)	2.1841	2.1814
	Aşma (%)	0	0
	Sürekli Durum Hatası	0	1
J _{ITAE}		12.23	12.45

Sonuçlar

DA motor basit yapısı ve kolay kontrol edilebilirliği nedeniyle kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada üyelik fonksiyonlarının parametreleri PSO ile belirlenen BMK ile DA motorun kontrolü gerçekleştirilmiştir. Önerilen kontrolörün performansını karşılaştırmak için aynı şartlarda PID kontrolör parametreleri de PSO ile belirlenerek geleneksel PID ile DA motor kontrolü de gerçekleştirilmiştir. Parametreleri PSO ile belirlenen BMK ve PID kontrolör ile DA motor kontrolüne ilişkin benzetim çalışmaları geniş donanım uyumluluğu nedeniyle son zamanlarda motor kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılan LabVIEW platformunda gerçekleştirilmiştir. Böylece benzetim çalışmaları için LabVIEW ortamında oluşturulan kontrolör yazılımları ilerleyen dönemlerde gerçekleştirilecek olan deneysel çalışmalarda da kullanılabilir olacaktır. Bu durum çalışmanın en önemli özgülüğüdür. Benzetim çalışmalarında motor farklı referans hız ve yük momenti için çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre BMK ve PID kontrolör karşılaştırılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarının verildiği Şekil 11 ve Tablo 4 incelendiğinde, özellikle değişken hız ve yük şartlarında önerilen BMK’nın

geleneksel PID kontrolörden daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda BMK üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin PSO ile belirlenmesinin yanında kural tablosu da PSO ile belirlenerek BMK’nın performansı arttırılmaya çalışılacaktır. Optimizasyon çalışmalarında PSO yerine diğer yeni optimizasyon yöntemleri (MSA, BOA, KKO vb.) kullanılarak elde edilen sonuçlar irdelenecektir. Ayrıca LabVIEW uyumlu FPGA, DAQ, Arduino, Raspberry Pi vb. kartlarla, önerilen kontrol yapısının gerçek zamanlı uygulamasına yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilecektir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi biri kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkıları

Yazar 1 ve Yazar 2

-Çalışma konsepti ve tasarım

-Veri toplama, verilerin analizi ve yorumlanması

-Taslağın oluşturulması

Kaynaklar

- [1] J. O. Salim, “Fuzzy Based PID Controller for Speed Control of DC Motor Using Labview”, *WSEAS Trans. Syst. Control*, c. 10, ss. 154-159, 2015.
- [2] M. Tuna, “Kararsız Koşullarda SMDA Motorun Dayanıklı Hız Kontrolü için Bulanık-Tabanlı Akıllı Denetleyici Tasarımı”, *Acad. Platf. J. Eng. Sci.*, c. 8, sy 2, ss. 237-248, 2020.
- [3] H. Ahmed ve A. Rajoriya, “A Hybrid of Sliding Mode Control and Fuzzy Logic Control Using a Fuzzy Supervisory Switched System for DC Motor Speed Control”, *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, c. 25, sy 3, ss. 1993-2004, 2017.
- [4] Z. Has, A. H. Muslim, ve N. A. Mardiyah, “Adaptive-Fuzzy-PID Controller Based Disturbance Observer for DC motor Speed Control”, *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, IEEE, 2017, ss. 1-6.
- [5] K. Kaplan, M. Kuncan, H. Polat, B. Tepe, ve H. M. Ertunç, “PID ve Bulanık Mantık Tabanlı DC Motorun Gerçek Zamanlı Konum Kontrolü”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 10, sy 2, ss. 900-916, 2020.
- [6] M. F. Özlük ve H. H. Sayan, “Matlab GUI ile DA Motor için PID Denetleyicili Arayüz Tasarımı”, *İleri Teknol. Bilim. Derg.*, c. 2, sy 3, ss. 10-18, 2013.
- [7] A. EmiRoğlu, T. Yaren, ve S. Kizir, “Kendinden Ayarlanabilir Denetleyici ile DA Motor Hız Kontrolü”, *Politek. Derg.*, c. 25, sy 2, ss. 757-765, 2022.
- [8] H. Celik ve T. Yigit, “Field-oriented control of the PMSM with 2-DOF PI controller tuned by using PSO”,

- 2018 International conference on artificial intelligence and data processing (IDAP), IEEE, 2018, ss. 1-4.
- [9] M. Nasri, H. Nezamabadi-Pour, ve M. Maghfoori, "A PSO-Based Optimum Design of PID Controller for a Linear Brushless DC Motor", *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, c. 26, sy 40, ss. 211-215, 2007.
- [10] R. Li ve P. Gong, "Fuzzy PID Speed Controller of DC Motor Based on MATLAB", *J. Phys. Conf. Ser.*, c. 2417, sy 1, ss. 1-6, 2022.
- [11] M. Bulut, M. B. Kurt, ve M. Dem, "Genetik-Bulanık Kontrolörün DC Motora Uygulanması", *Politek. Derg.*, c. 7, sy 4, ss. 277-283, 2004.
- [12] P. Thepsatorn, A. Numsomran, V. Tipsuwanporn, ve T. Teanthong, "DC motor speed control using fuzzy logic based on LabVIEW", *2006 SICE-ICASE International Joint Conference*, IEEE, 2006, ss. 3617-3620.
- [13] D. Somwanshi, M. Bunde, G. Kumar, ve G. Parashar, "Comparison of Fuzzy-PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW", *Procedia Comput. Sci.*, c. 152, ss. 252-260, 2019.
- [14] N. Patrascoiu, "Modeling and Simulation of the DC Motor Using Matlab and LabVIEW", *Int. J. Eng. Educ.*, c. 21, sy 1, ss. 49-54, 2005.
- [15] F. H. Ali, M. M. Hussein, ve S. M. B. Ismael, "LabVIEW FPGA Implementation of a PID Controller For D.C. Motor Speed Control", *Iraq J Electr. Electron. Eng.*, c. 6, sy 2, ss. 139-144, 2010.
- [16] S. Reza, A. A. Mamun, A. Rahman, ve M. Begum, "Design and Development of LabVIEW Based DC Motor Speed and Direction Control System", *Int. J. Eng. Res.*, c. 4, sy 5, ss. 96-99, 2015.
- [17] İ. Alışkan ve S. Ünsal, "Farklı Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicileri Kullanarak Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorun Hız denetimi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendis. Bilim. Derg.*, c. 24, sy 2, ss. 185-191, 2018.
- [18] E. S. Rahayu, A. Ma'arif, ve A. Çakan, "Particle Swarm Optimization (PSO) Tuning of PID Control on DC Motor.", *Int. J. Robot. Control Syst.*, c. 2, sy 2, ss. 435-447, 2022.
- [19] D. Handaya ve R. Fauziah, "Proportional-Integral-Derivative and Linear Quadratic Regulator Control of Direct Current Motor Position using Multi-Turn Based on LabView", *J. Robot. Control JRC*, c. 2, sy 4, ss. 332-336, 2021.
- [20] P. Vikhe, N. Punjabi, ve C. Kadu, "Real Time DC Motor Speed Control using PID Controller in LabVIEW", *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, c. 3, sy 9, ss. 12162-12167, 2014.