



## Doğru Akım Motoru Kapalı Çevrim Hız Denetim Sistemindeki PI Parametrelerinin Genetik ve Parçacık Sürü Algoritması Kullanarak Optimizasyonu

Seyfettin VADİ<sup>1\*</sup>, Ramazan BAYINDIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakülte, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Ankara

### Özet

Bu çalışmada literatürde DA motoru kapalı çevrim hız denetim sistemindeki PI parametrelerinin optimal ayarı için genetik ve parçacık sürü algoritması kullanılarak benzetim çalışması yapılmıştır. Sistemin dinamik tepkisinde oturma zamanı, yükselme zamanı ve maksimum aşım miktarı gibi performans kriterleri açısından iyileşmeler sağlanarak motor veriminin artırılması sağlanmıştır. Ayrıca, genetik ve parçacık sürü algoritmasının karşılaştırılması yapılarak sistemin performansı değerlendirilmiştir. Böylece kullanılan algoritmalar farklı denetim uygulamalarında da kullanılabilmesine imkân sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** DA Motor, Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu

### Makale Bilgisi

Başvuru:

03/12/2018

Kabul:

03/07/2019

### Optimal Setting Using Genetic and Particle Swarm Algorithm of PI Parameters in the Direct Current Motor Closed-Loop Speed Control System

#### Abstract

In this study, genetic and particle swarm algorithm have made to simulation for the optimal setting of PI parameters in the closed-loop speed control system with direct current motor. At the end of the simulation, motor efficiency is increased by improve dynamic response of the system in terms of performance criteria such as settling time, rise time and maximum overshoot. Thus, proposed approaches can be used easily in different control applications.

**Keywords:** DC Motor, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization

## 1 Giriş

Doğru akım(DA) motorları yüksek seviye hız ve pozisyon performansı ile kararlı moment-hız karakteristiklerinden dolayı hem ev aletlerinde hem de endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[1]. Alternatif akım motorları, gelişen teknoloji sayesinde geniş bir aralıkta hız denetimi sağlamasına nazaran DA motorlarında var olan bu özellik halen elde edilememiştir. Diğer yandan sabit mıknatıslı motorların endüstride kullanımı her geçen gün artmasına rağmen maliyetin yüksek olması fırçalı DA motora olan talebi artırmaktadır[1-2].

Doğru akım motorlarının hız kontrolü ve denetimi için pek çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar, Açık-Kapalı kontrol, Oransal Kontrol (P), Oransal + İntegral Kontrol (PI) Oransal + Türevsel Kontrol (PD) Oransal + İntegral + Türevsel (PID), Bulanık mantıkla kontrol yöntemleridir[3-5]. En çok kullanılan yöntem ise Oransal + İntegral+ Türev (PID) denetleyici ve türevleridir[4]. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan hareketli sistemler için PI/PID denetleyici tipi kullanılmaktadır[4-6]. Bu denetleyici tipinde sistem performansı için PID parametrelerinin sistemin kalıcı durum ve dinamik davranışı arasında bir uyuşma sağlayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir[5,6]. Ayrıca, Kayma kipli, tahmin edici ve uyarlamalı denetim, sinir ağları, bulanık mantık ve sinirsel bulanık tabanlı denetim algoritmaları güncel ve yüksek performanslı olmasına rağmen Oransal+İntegral+Türev (PID) denetleyici ile türevlerinin endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

PID denetleyicinin tasarımı;  $K_p$  oransal,  $K_i$  integral ve  $K_d$  türev kazancından oluşmaktadır ve bu üç parametrenin ayarı ile yüksek performans sağlanmaktadır. Parametre ayarı düzgün ayarlanmayan denetleyicinin performansı düşük olmaktadır. Sistem modeline bağlı olan bu parametreler, kontrol edilecek sistemin

matematiksel modeli ile sistem parametrelerinin bilindiği durumda bu modele göre çıkarılabilmektedir. Ancak, sistem parametrelerinin olmadığı durumda ise PID parametrelerinin ayarlanmasına yarayan Ziegler-Nichols (Z-N) kuralından faydalanılır[7-9].

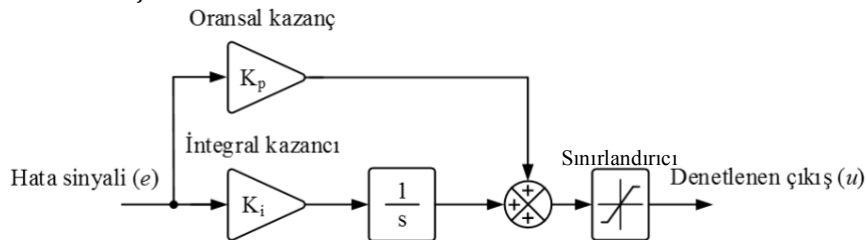
Kural denetimini sağlayacak sistem ile ilgili çok az bilgiye ihtiyaç göstermesine rağmen yöntemin yoğun ve uzun zaman almasının yanı sıra birçok durumda zayıf bastırma değeri verdiği bilinmektedir. Pratikte ise operatör sistem üzerinde çeşitli deneyler yaparak deneme yanılma yöntemi ile PID parametrelerine karar vermektedir. Bu işlem zor olmakla birlikte zaman açısından pahalıdır ve elde edilen parametrelerin optimal olması garanti edilemez[10,11].

Orantı etkiye integral etki ilavesi orantı etkinin tek başına kullanılması halinde sistemde ortaya çıkan kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmaktadır. İntegral etki ise, kazancını artırmak sureti ile cevap hızı artmakla beraber kazanç değerinin çok fazla artırılması sistemi kararsızlığa götürebilmektedir. PD Kontrolde yer alan orantı parametresi, kalıcı -durum hatasını sıfırlayamamakla beraber, bozucu girişten doğan kalıcı durum hatasının fazla önemsenmediği, fakat buna karşılık orantı etkiye göre geçici durum davranışının iyileştirilmesinde daha çok tercih edilmektedir. Kontrole türev etkisi ise, kararsız veya kararsızlığa yakın bir sisteme sönüm ilave ederek sistemi daha kararlı hale getirir. Türev etki ilavesinin en önemli sakıncası kontrol sinyalleri yanında sistemde ortaya çıkan bozucu sinyallerini de kuvvetlendirmesidir. Bunun sonucu olarak son kontrol organı çıkışında salınımlı bir hareket meydana gelmektedir[12].

PID Kontrolün üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir Kontrol etkisidir. İntegral etki sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı durum hatasını sıfırlarken türev etkide yalnızca PI Kontrol etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırmaktadır. Buna göre PID kontrol organı sistemde sıfır kalıcı durum hatası olan hızlı bir cevap sağlamaktadır[12-14].

Asenkron motor sürme devresindeki denetleyici katsayılarının optimal ayarı Parçacık Sürüsü Optimizasyon algoritması kullanılarak yapılmıştır. PI katsayıları optimize edilirken yük momenti ve hız referansı dikkate alınarak motor performansının artırılması amaçlanmıştır. Matlab/Simulink platformunda simülasyonu yapılan çalışmadan elde edilen optimal katsayıların PI ve bulanık mantık denetleyicinin hibrid çalışmasıyla ile karşılaştırılmıştır[13,14].

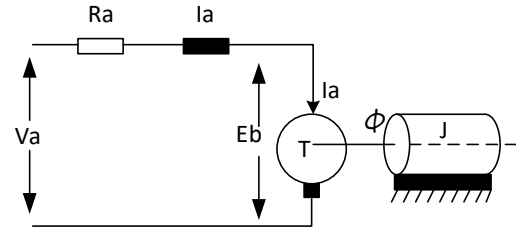
Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, PI denetleyicilerin "integral yığılması" ve "amplifikasyon gürültüsü" diye adlandırılan sakıncaları görülmektedir[15]. Denetleme işlemi yapılmadan önce bu sakıncalar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada yığılma önleyici bir PI denetim kuralı ile amplifikasyon gürültüsünü azaltacak birinci mertebeden alçak geçiren filtreli türev denetleyici (D) oluşturulmuş ve sonrasında uygun şekilde birleştirilmiş olup denetleyicide Kp ve Ki parametrelerinin PSO ve GA algoritmaları kullanılarak ayarlanması sağlanmıştır. Böylece, doğru akım motorunun dinamik tepkisinde yüksek performans sağlanmıştır. Böylece, karşılaştırma amaçlı kullanılan bu çalışmada test edilen DA motoruna ait hız denetim performansının iyileştirilmesi yığılma önleyici PI denetim kuralı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tercih edilen algoritmaların katkısıyla sistem performansında artış meydana getirdiği görülmüştür. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre ortaya konulan yaklaşımları değişik hız referansı ve yük değişimlerine karşı yüksek oranda geçici durum performansına sahip olduğu görülmüş olup yükselme zamanı sabit kalmak koşuluyla sistem tepkisindeki oturma süresi kısaltılmıştır.



Şekil 2. PI Kontrol Blok Şeması[16]

## 2 DA motorunun modeli ve PI kontrol

Doğru akım motorları endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığından motor hız denetiminin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan doğru akım motor tipinde hız kontrolü giriş gerilimi değiştirilerek ya da giriş akımı değiştirilerek yapılabilmektedir. Şekil 1'de benzetimi yapılan doğru akım motorunun modeli verilmiştir.



Şekil 1. Doğru Akım Motorunun Modeli[15]

Doğru akım modelinin benzetimi için ihtiyaç duyulan matematiksel denklemlerle ifadesi Deklem 1, 2 ve 3'te verilmiştir. Va, giriş terminal gerilimi, Eb zıt emk, Ra, armatür direnci, La, armatür indüktansı, J atalet momenti, T, motor torku, B viskoz, Nms sürtünme katsayısı, KT tork sabiti, Kb zıt emk cinsinden sabit, w açısal hız olup ia ise endüvi akımıdır[16-18].

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E_b \quad (1)$$

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} K_b w \quad (2)$$

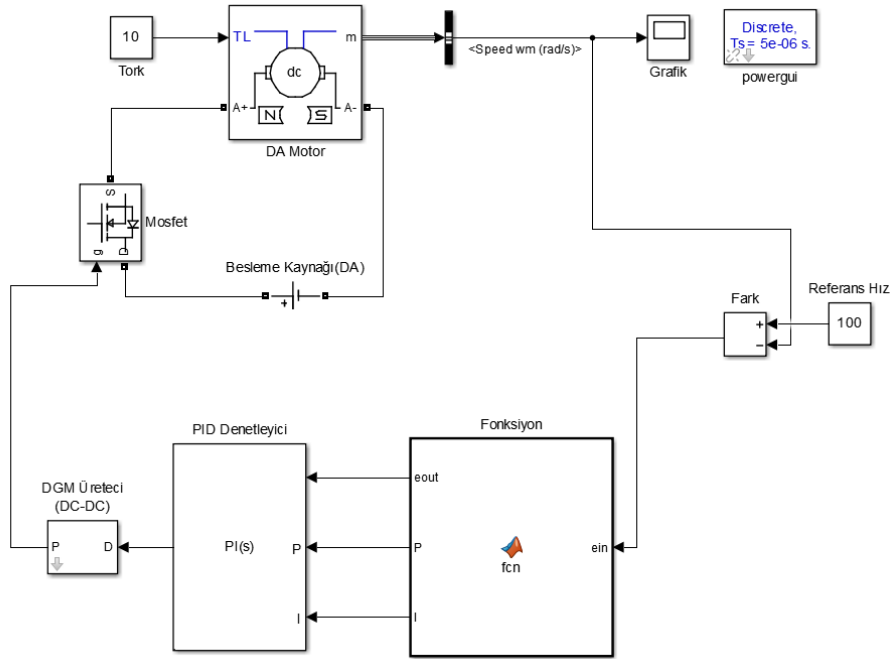
$$T = K_T i_a = J \frac{dw}{dt} + B_w \quad (3)$$

Doğru akım motorunun denetimi için kullanılan PI algoritmasının blok diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Burada u denetlenen çıkış, e ise referans sinyali ile gerçek proses çıkışı arasındaki hata sinyalini göstermektedir.

### 3 Benzetim çalışması

PI kontrollü doğru akım motorunun benzetimi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Benzetime ait model Şekil 3'te verilmiştir. Motor, yarı iletken

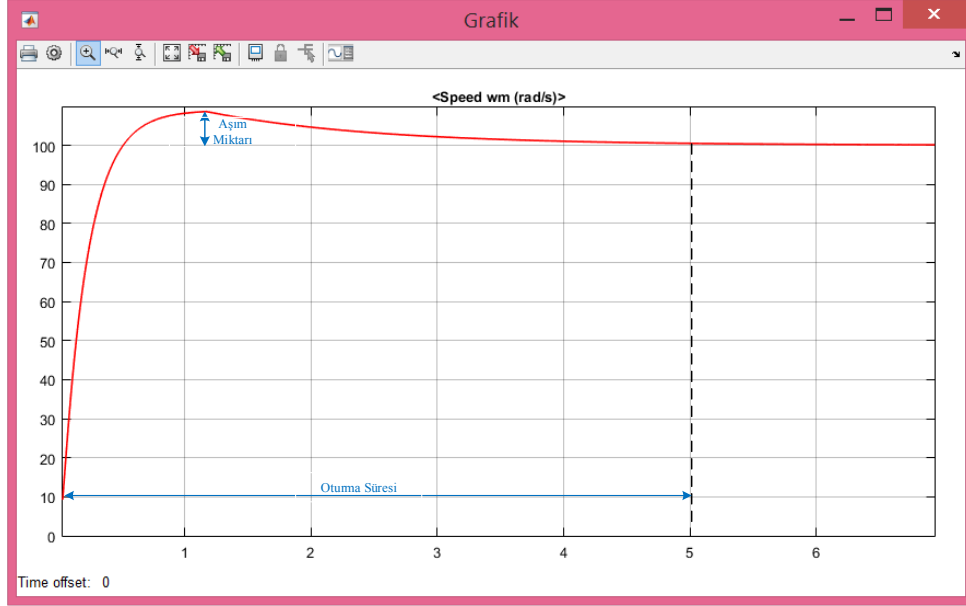
malzeme olan mosfet ile DGM anahtarlama sinyali oluşturularak sürülmüştür. Anahtarlama sinyali ise referans hız ile motorun gerçek hızı arasındaki fark dikkate alınarak PI kontrol aracılığıyla oluşturulmuştur.



Şekil 3. PI kontrollü DA motor modeli

Doğru akım motorunu 100 d/d hızında çalıştırmak istediğimizde, motor hızı PI kontrol aracılığıyla yaklaşık 5 saniyede istenilen referans hıza aşım yaparak ulaşabilmektedir. Aşım miktarı motorun daha yüksek devirde dönerek istenilen devire oturması ve ulaşma süresinin uzun olması motor kontrolünün dinamik yapısının zayıf olduğunu göstermektedir. Bu olumsuz durumlar Şekil 4'te benzetimi yapılan

modelin çıktısı olarak verilmiştir. Bu şekilde çalışan sistemler, motor miline bağlanan yüke zarar verirken aynı zamanda da enerjinin verimsiz kullanılmasına ve hantal bir yapının oluşmasına neden olmaktadır. Geliştirilen algoritmalar sayesinde bu olumsuz durumları ortadan kaldırmayı ya da aşım miktarı ya da oturma süresinin minimize etmeyi hedeflemektedirler.

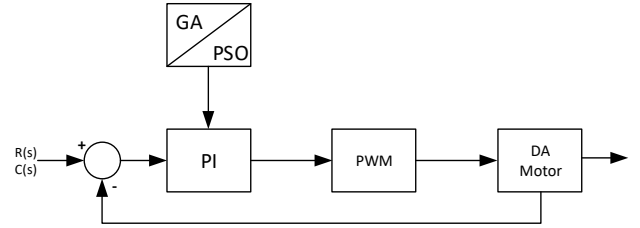


Şekil 4. PI kontrollü DA motorunun hız kontrol eğrisi

Benzetim çalışmasındaki amaç aşım yapmadan sistemin geçici durum tepkisini hızlı şekilde kalıcı durum değerine oturtmaktır. Eşitlik 4'te verilen denklem ile amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

$$J = \alpha \cdot ISE + \beta \cdot IAE = \alpha \int_0^{t_{sim}} e^2(t) \cdot dt + \beta \int_0^{t_{sim}} |e(t)| \cdot dt \quad (4)$$

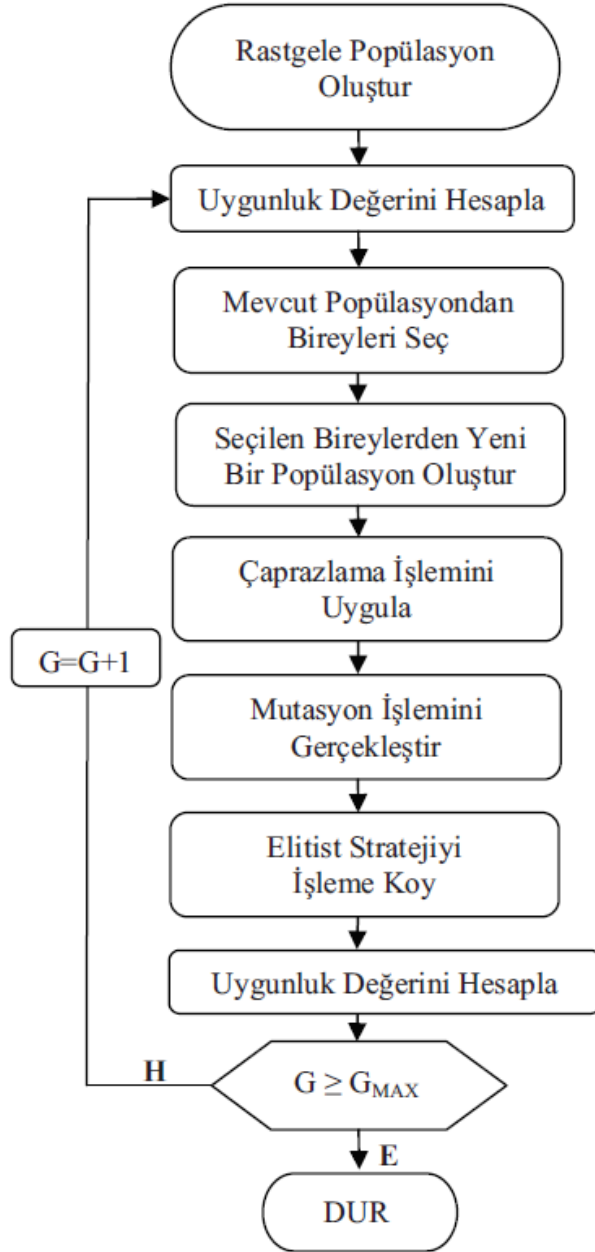
Şekil 5'te verilen kontrol blok şemasından da anlaşıldığı üzere, hem genetik algoritması hem de parçacık sürü algoritması bu amaç fonksiyonuna göre başlangıç değerleri ile çalışmaya başlayacak olup daha sonra referans değere doğru hızlı bir şekilde yönelim olacaktır. Denklemde  $\alpha$  ve  $\beta$  ağırlık katsayıları olup bu değerler literatürde yapılan çalışmalarda da olduğu gibi 0,65 ve 0,35 olarak seçilmiştir[4]. Genetik ve parçacık sürü algoritmasında kullanılan  $K_p$  ve  $K_i$  değerleri için 0.0 ile 20.0 aralığı belirlenmiştir. Algoritma bu aralıkta çalışarak aşım miktarı ve oturma süresini minimize etmektedir.



Şekil 5. Sistemin genel kontrol blok şeması

### 3.1. Genetik Algoritma ile Optimizasyon

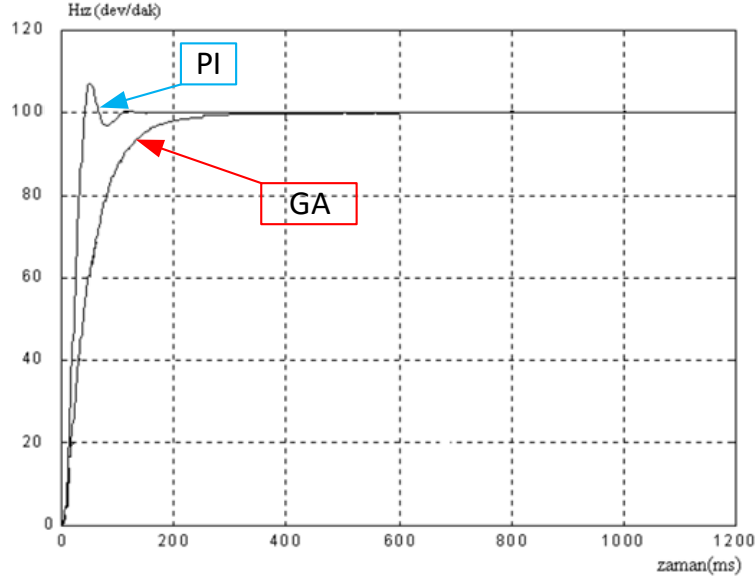
Genetik algoritma, Darwin'in evrim teorisi ile kabul edilen en iyinin hayatta kalması ve zayıf olanın yok olması kuralına bağlı olarak sürekli iyileşen çözümler üretmekte olup kötü olan çözümleri de elemektedir. Diğer optimizasyon metodlarına göre çok değişkenli yapıya sahip olduğundan zor bir metod olarak görülmektedir. Algoritmanın işlem basamaklarını gösteren akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir. Akış diyagramına göre algoritma her bir iterasyon için uygunluk değeri hesaplayıp, bu değerler arasında en iyi değeri seçmeye çalışmaktadır.



Şekil 6. Genetik Algoritma Akış Şeması

Simülasyonda kullanılan genetik algoritma için popülasyon boyutu 30 olarak ayarlanmıştır. Dışlanma oranı ile mutasyon oranı ise sırasıyla 0,42 ve 0,31'dir. Doğal seçim mekanizması sıraya dayalı rulet tekerleğine dayalı olup, çaprazlama tekniği olarak üniform yöntemi kullanılmıştır. GA'da popülasyondaki elit birey sonraki nesillere

aynen aktarılmıştır. Simülasyon sonucunda genetik algoritmanın benzetim modeline uygulanmasıyla elde edilen PI parametreleri  $K_p$  ve  $K_i$  ise sırasıyla 0,178 ve 16,358'dir. PI-tipi ile Genetik algoritma kullanarak motorun 100 d/d referans hız girişi için motorun hız tepkisi Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. PI-tipi ile Genetik algoritma kullanarak motorun 100 d/d hız girişi için hız tepkisi

Tablo 1'de verilen Genetik+PI ve PI kontrol algoritmalarına ait parametreler verilmiştir. Buna göre, PI kontrolde aşım miktarı ve dalgalanma çok fazla iken genetik algoritma da ise hızlanma eğrisi doğrusal olarak değişmekte ve aşım ve dalgalanma oluşmamaktadır. Ayrıca PI kontrol ile motorun oturma süresi 0,4ms iken genetik

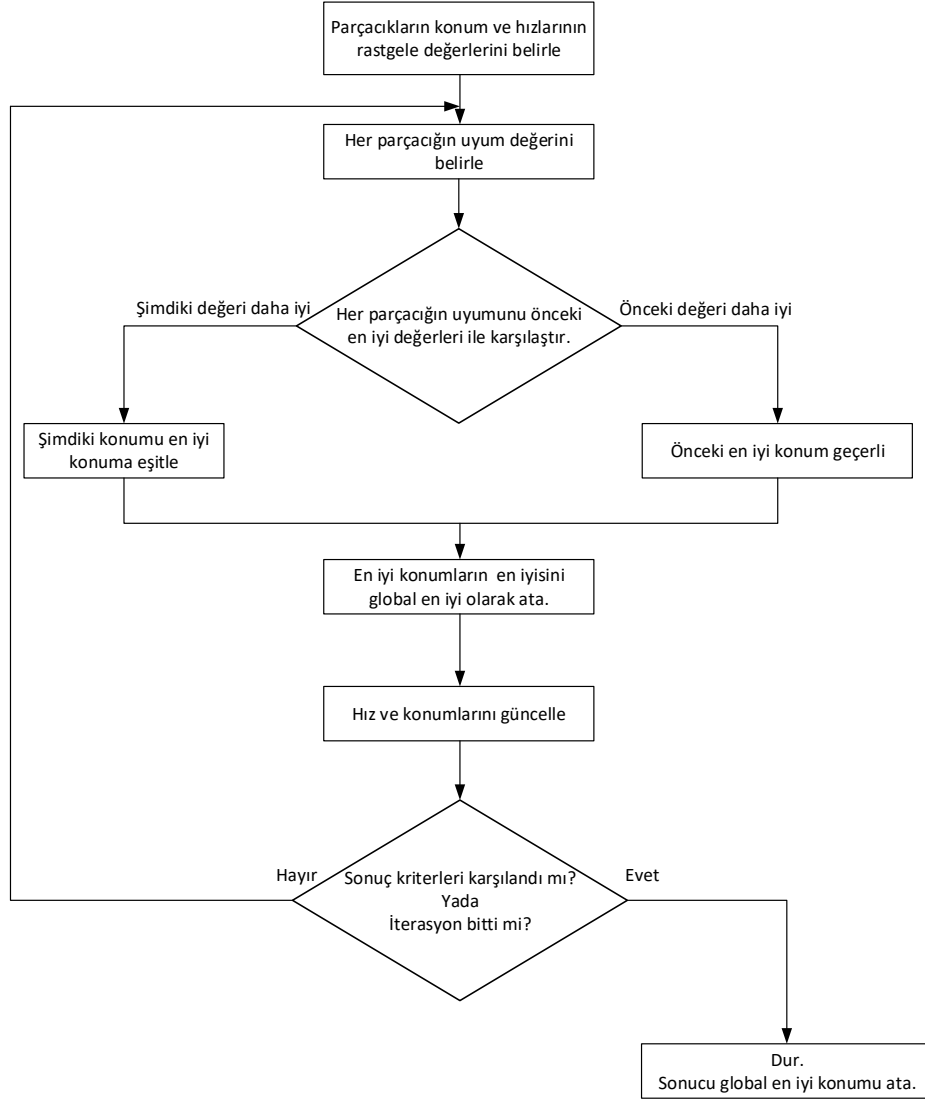
algoritma kullanıldığında ise bu süre 0,275 ms'dir. Ayrıca, PI kontrol algoritması kullanılarak yapılan simülasyonda genetik algoritmaya göre aşım miktarının daha fazla olduğu Tablo 1'de görülmektedir. Genetik algoritmada iterasyon adedi artıçça çözüm süresi uzun olacağından hız tepkisinin yükselme süresi de daha uzun olmaktadır.

Tablo 1. Genetik+PI ve PI kontrol parametreleri

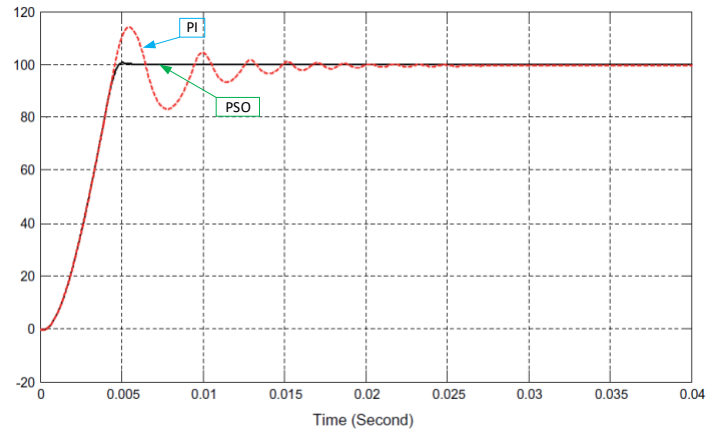
Algoritma	$K_p$	$K_i$	Maksimum aşım(ms)	Yükselme Zamanı(ms)	Yerleşme Zamanı(ms)
Genetik+PI	0.178	16.358	0	300	0.275
PI	1	0	0.086	100	0.4

Kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışları gözlemlenerek geliştirilmiş bir algoritma olan parçacık sürüsü optimizasyonu PI parametrelerin iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Şekil 8'de görüldüğü gibi, algoritma rastgele çözümler içeren bir popülasyonla başlamakta olup her bir iterasyonda güncelleme yaparak optimum yanıtı vermeye çalışmaktadır. PSO algoritması için iterasyon sayısı 100, sürü miktarı 50, düzeltme faktörü 2, atalet momenti 1 olarak seçilmiştir. Bu parametrelere göre, PSO'da parçacıklar iterasyon sayısı tamamlanana kadar pozisyonlarını değiştirirler. Böylece, her bir parçacık sürüdeki sadece en iyi parçacığın değil sürüdeki diğer tüm parçacıkların

tecrübelerinden de yararlanmaktadır. PI-tipi ile PSO algoritma kullanarak motorun 100 d/d hız girişi için hız tepkisi Şekil 9'da verilmiştir. PSO+PI algoritması aşma yapmazken PI kontrolün aşma ve salınım yaparak referans değere oturmaktadır.



Şekil 8. PSO Algoritmasının Akış Şeması



Şekil 9. PI-tipi ile PSO algoritma kullanarak motorun 100 d/d hız girişi için hız tepkisi



PI ve PSO+PI algoritmalarının  $K_p$ ,  $K_i$ , maksimum aşma, yükselme zamanı, yerleşme zamanı Tablo 2'de verilmiştir. Doğru akım motorunun PI algoritması kullanılarak referans hız değerine oturma süresi, PSO+PI kontrole göre yaklaşık 3 kat

daha fazla olup, algoritmaların hız tepkilerinin yükselme süreleri eşit olmasına rağmen aşma miktarı PSO+PI algoritmasında daha düşük seviyede olduğu görülmektedir.

Tablo 2. PI ve PSO+PI kontrol parametreleri

Algoritma	$K_p$	$K_i$	Maksimum aşma(s)	Yükselme Zamanı(s)	Yerleşme Zamanı(s)
PSO+PI	6,5843	1	0.0052	0.0032	0.0049
PI	1	0	0.0056	0.0032	0.0169

#### 4 Sonuçlar

Karşılaştırma amaçlı kullanılan çalışmada test edilen sisteminin hız denetim performansının iyileştirilmesi amacıyla PI denetim kuralı kullanılmıştır. Denetleyicinin parametreleri sırasıyla parçacık sürüsü optimizasyon (PSO) algoritması ve genetik algoritma(GA) yöntemi ile ayarlanarak ayarlanmış, elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanarak en iyi sonucun elde edilmesi sağlanmış olup tercih edilen algoritmalar sayesinde sistem tepkisinin oturma süresi kısaltılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarından, hedeflenen ve gerçekleştirilen PI, genetik+PI ve PSO+PI algoritmaları ile DA motora uygulanabilir, performansı yüksek, esnek bir yapı ortaya çıkarmıştır. Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi ürettiğinden arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Ancak, genetik algoritmada arama uzayının büyük ve karmaşık olması ve algoritmanın rastlantısal geçiş kurallarına göre çalışmasından dolayı, PSO+PI vasıtasıyla otomatik olarak tasarlanan kontrolörün performansının, Genetik+PI kontrolörünki ile maksimum aşma, yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve dinamik performans bakımından karşılaştırıldığında daha iyi olduğu ortaya konulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Bal G, 2001 Doğru Akım Makinaları ve Sürücülerini Seçkin Yayıncılık.
- [2] Singh V, Garg VK, "Tuning of PID controller for speed control of DC motor using soft computing techniques - A Review", International Journal of Applied Engineering Research 9(9) pp1141-1148, 2016.
- [3] Erkol HO, "GA ve PSO ile Kontrol Parametrelerinin Optimizasyonu", Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 7(1) pp 179-185, 2017.

- [4] Bandaghi PS, Moradi N, Tehrani SS, 2016 "Optimal tuning of PID controller parameters for speed control of DC motor based on world cup optimization algorithm", Tech J Engin & App Sci, 6(2), 106-111.
- [5] Bulut M, "Doğru akım motorunun genetik algoritmalar yardımıyla bilgisayar temelli PI-tip bulanık mantık kontrolü", Yıldız Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2001.
- [6] Kanojiya RG, Meshram PM, 2012 "Optimal tuning of PI controller for speed control of DC motor drive using particle swarm optimization", IEEE International Conference on Advances in Power Conversion and Energy Technologies Mylavaram, Andhra Pradesh, India, 2012.
- [7] Thangaraj R, Chelliah TR, Pant M, Abraham A, Grosan C, "Optimal gain tuning of PI speed controller in induction motor drives using particle swarm optimization" Logic Journal of IGPL 19(2), 343 - 356, 2010.
- [8] Ibrahim HEA, Hassan FN, Shomer A, "Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques Ain Shams Engineering Journal 5, pp 391-398, 2014.
- [9] Ayala H V H, Coelho LS, "Tuning of PID controller based on a multi objective genetic algorithm applied to a robotic manipulator" Expert Syst Appl (39)10 pp 8968 - 8974, 2012.
- [10] Chen J, Omidvar MN, Azad M, Yao X, "Knowledge-based particle swarm optimization for PID controller tuning", IEEE Congress on Evolutionary Computation Spain, 2017.
- [11] Kanojiya RG, Meshram PM, "Optimal tuning of PI controller for speed control of DC motor drive using particle swarm optimization", IEEE International Conference on Advances in Power Conversion and Energy Technologies pp 1-6, 2012.
- [12] Thangaraj R, Chelliah TR, Pant M, Abraham A, Grosan C, "Optimal gain tuning of PI speed controller in induction motor drives using particle swarm optimization", Logic Journal of IGPL 19(2) 343-356, 2010.
- [13] Aggrawal A, Kumar MA, Zeeshan A, "Speed Control of DC Motor Using Particle Swarm Optimization Technique by PSO Tuned PID and FOPID", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) Vol 16(2) pp:72-79, 2014.
- [14] Akhilesh K, Narain MA, "Speed Control of Dc Motor Using Particle Swarm Optimization" International Journal of Engineering Research and Technology Vol. 1 (02), 2012.
- [15] Altun M, Çelik Y, Güneş M, "Investigation of The Success of Particle Swarm Optimization Based PID Classic PID and Fuzzy Type Inspection Methods in Speed Control of DC Motor", Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences KSU. Journal of Engineering Sciences 20(4) pp:158-167, 2017.

- [15] Kaushal A, Thakur N, Nagaria D, "Comparison of Speed Control of DC Motor Using Fuzzy- PID and PSO-PID Technique International Journal of Information & Computation Technology Vol. 4 No 6 pp. 553-558, 2014.
- [16] Ghareaghaji A, "A Comparison between Fuzzy-PSO Controller and PID-PSO Controller for Controlling a DC Motor", Bulletin of Electrical Engineering and Informatics Vol 4 No 2 pp 130-135, 2015.
- [17] El-Gammal A, Adel SA, "A Modified Design of PID Controller for DC Motor Drives Using Particle Swarm Optimization(PSO)", International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives p 419-424 Lisbon, 2009.