Lineer Kuadratik Regülatör ve Genetik Tabanlı PID Denetleyici ile Doğru Akım Motorunun Hız Denetimi

H.AÇIKGÖZ[1], Ö.F.KEÇECİOĞLU[2], A.GANİ[2], M.ŞEKKELİ[2]

[1]Kilis 7 Aralık Üniveristesi, Kilis/Türkiye, hakanacikgoz@kilis.edu.tr
[2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, K.Maraş/Türkiye, {fkececioglu & agani & msekkeli}@ksu.edu.tr

***Özet* – Doğru akım (DA) makinaları endüstride hız ve konum denetimi gerektiren birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sebeple DA motorlarının hız ve konum denetimi önemli bir konudur. Gelişen teknolojiyle birlikte DA motorlarının performansını arttırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada DA motorlarının hız denetimi için ilk önce genetik algoritma (GA) ile PID denetleyici oluşturulmuştur. Daha sonra ise optimal denetleyicilerden olan lineer kuadratik regülatör (LKR) DA motorunun hız denetim ünitesine uygulanmıştır. Her iki denetleyicide Matlab/simulink paket programında oluşturulmuş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır.**

Anahtar Kelimeler- DA motor, Genetik algoritmalar, Lineer kuadratik regülatör, PID denetleyici

***Abstract* - DC motors are widely used in many applications requiring speed and position control in industry. Therefore, speed and position control of DC motors is an important issue. With the developing technology, many studies have been done in order to improve the performance of DC motors. In this study, firstly, genetic algorithm based PID controller has been establihed to speed control of DC motors. Then, linear quadratic regulator that are one of the optimal controllers has been applied to speed control unit of DC motor. Both controllers has been created using matlab/simulink package program and compared with each other.**

Keywords – DC Motor, Genetic algorithms, Linear quadratic regulator, PID controller

I. GİRİŞ

DA motorları doğru akım enerjisini, mekanik enerjiye çeviren elektrik makinalarıdır [1]. Bilindiği gibi DA motorlarında akı ve moment birbirinden bağımsız bir şekilde denetlenebilmektedir. DA motorlarının hız karakteristiklerinin çok iyi olmasından dolayı elektrikli trenler, sarma makinaları, vinçler ve robot kolları gibi hız ve konum denetimi gerektiren endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılmaktadırlar. DA motorlarının fırça kollektör temasından dolayı belirli periyotlarla bakım gerektirmeleri ve her ortamda kullanılamama gibi bir takım dezavantajları mevcuttur [1-2].

Son yıllarda mikroişlemciler, yarıiletken ve güç elektroniğindeki ilerlemelerle birlikte DA motorlarının fırça kollektör yapısından dolayı meydana gelen dezavantajlarda en aza indirilmiştir. DA motorlarının hız ve konum denetiminde kullanılan sürücü devresinin yanı sıra denetleyicininde önemi oldukça fazladır. DA motorlarının hızı yüke bağlı olarak değiştiğinden, sabit hız uygulamalarında açık çevrim denetiminin yerine DA motorlarının hız denetiminde kapalı çevrim denetimi tercih edilir. Temel olarak, bir kapalı çevrim hız denetiminde motor hızını geribeslemek gerekir. Motordan ölçülen hız bilgisi bir denetleyiciden geçirilerek, motor için gerekli olan gerilim büyüklüğü hesaplanır ve sürücü devre yardımı ile motora uygulanır [3-5].

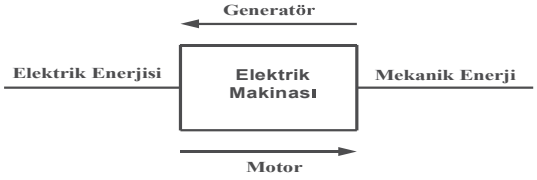
DA motorlarının hız ve konum denetiminde yapılarının basit olmasından dolayı PID denetleyiciler kullanılmaktadır. PID denetleyicilerin P, I, D kazanç paramtrelerinin belirlenmesi sistemi için önemlidir. Bu kazanç parametrelerini belirlemek için klasik yöntemlerden olan Ziegler-Nichols [6] yöntemi sıkça kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemde, verilen denetim sistemi için en büyük kazanç değerinin belirlenmesi veya salınım periyodunun bulunması gibi bazı sorunlar mevcuttur.

Modern teknoloji ile birlikte PID denetleyicinin en uygun kazanç parametrelerini belirlemek için bir çok optimal denetim yöntemi ortaya atılmıştır. İlk olarak John Holland tarafından ortaya atılan doğal evrim sürecine dayanan stokastik bir arama yöntemi olan genetik algoritmalar (GA) kullanılarak PID denetleyici için en uygun Kp, Ki ve Kd parametreleri bulunmuştur [7]. Daha sonra parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), lineer kuadratik regulatör (LKR) ve yapay arı kolonisi (ABC) ile PID denetleyicinin optimal kazanç parametreleri belirlenmiş ve çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir [8-10].

Bu çalışmada öncelikle PID denetleyici için P,I, D kazanç parametreleri el ile ayarlanarak sisteme uygulanmıştır. Daha sonra GA ve LKR yardımıyla PID denetleyicinin kazanç parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde DA motorunun modeli incelenmiş ve gerekli denklemler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise GA ve LKR hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tartışma ve sonuç kısmı ise son bölümde verilmiştir.

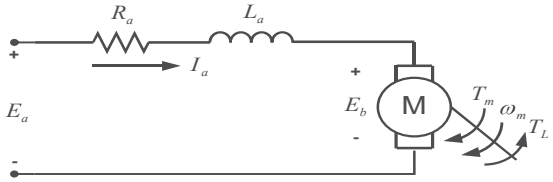
II. DA MOTOR MODELİ

DA motorları bilindiği gibi elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makinalarıdır. Faraday kanuna göre gerekli şartlar sağlandığında bir elektrik makinası hem motor hem de generatör olarak çalışabilir [1-2].



Şekil 1: Elektromekanik enerji dönüşümü

Şekil 1 bir elektrik makinasının motor ve generatör çalışmasını göstermektedir. DA motorunun hızı devreye uygulanan gerilimle orantılıyken momenti motor akımıyla orantılıdır. DA motor modeli şekil 2'de verilmiştir. Endüvi devresi R_a direncine seri bağlı L_a indüktasından ve E_b zıt e.m.k'den oluşmaktadır. Şekil 3'te ise DA motoru blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2: DA motorunun eşdeğer devresi

Denklem 1'den de görüldüğü gibi moment (T_m), endüvi akımı (I_a) ve moment sabiti (K_i) ile orantılıdır. E_b zıt emk ise açısal hız ile ilişkilidir ve denklem 2'de verilmiştir.

$$T_m = K_i I_a \tag{1}$$

$$E_b = K_b \omega_m = K_b \frac{d\theta}{dt} \tag{2}$$

Şekil 2'den Newton ve Kirchhoff kanununa göre aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

$$L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a = E_a - K_b \frac{d\theta}{dt} \tag{3}$$

$$J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} = K_i I_a \tag{4}$$

DA motor modeli, durum uzay modeli şeklinde oluşturulabilir ve aşağıdaki denklemlerle gösterilebilir.

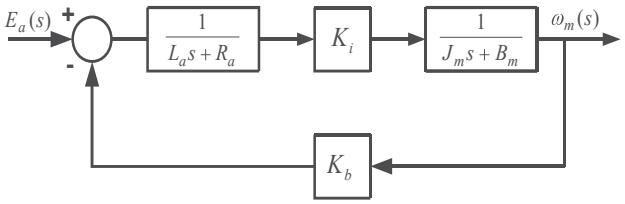
$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{5}$$

$$y = Cx + Du \tag{6}$$

Denklem 2-4'e göre, durum uzay modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{\omega} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_a/L_a & -K_b/L_a & 0 \\ K_i/J_m & -B_m/J_m & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \omega_m \\ \theta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} E_a \tag{7}$$

$$\omega_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \omega_m \\ \theta_m \end{bmatrix} \tag{8}$$

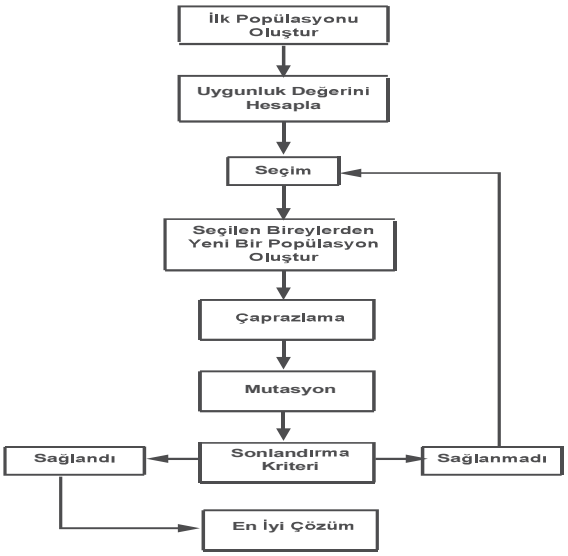


Şekil 3: DA motoru blok diyagramı

III. GA VE LKR TASARIMI

A. Genetik Algoritmalar

İlk olarak John Holland tarafından ortaya atılan GA yöntemi doğal seçim mekanizmanı esas alan stokastik optimizasyon yöntemi olup karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın bir biçimde kullanılır. Klasik optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan GA, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan GA, bir amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar. GA, canlıların en iyi olanı yaşar prensibini örnek alır ve iyi bireylerin kendi yaşamlarını muhafaza edip kötü bireylerin yok olması esasına dayanır [11-13]. GA'da genel olarak kodlama, popülasyon büyüklüğü, seçim, mutasyon ve çaprazlama gibi genetik operatörler kullanılmaktadır. GA ilk önce kullanıcı tarafından rastgele bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Daha sonra popülasyondaki her bir birey için uygunluk değeri hesaplanır ve bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir. Popülasyonda yer alan en iyi uygunluk değerine sahip olan birey, bir sonraki yeni popülasyona doğrudan değiştirilmeden aktarılır.



Şekil 4: GA'ın genel çalışma yapısı

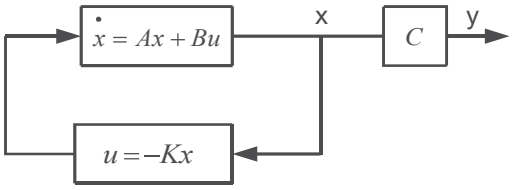
Yeni popülasyon çaprazlama yapıldıktan sonra başlangıç popülasyonundan farklı bireyleri içeren farklı bir popülasyon oluşturulur. Bazı durumlarda erken yakınsama ihtimaline karşı mutasyon işlemi gerekmektedir. Bunun için çaprazlama işleminden sonra düşük olasılıklı mutasyon işlemi gerçekleştirilmiştir [11-16]. Şekil 4'te GA genel çalışma yapısına ait blok diyagramı verilmiştir. GA'larda başlangıçta seçilen popülasyon sayısı en iyi çözüm için en önemli operatördür. Bunun için bu çalışmada popülasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Diğer genetik operatörler ise tablo 1'de verilmiştir. Kp, Ki ve Kd için alt- üst değerler -100 ile 100 olarak belirlenmiştir.

Tablo 1: GA Parametreleri ve Değerleri

Parametre	Değer/Çeşit
Popülasyon Sayısı	100
Popülasyon Tipi	Çift Vektör
Çaprazlama Yöntemi	Tek Noktalı
Mutasyon Olasılığı	0.04
Seçim Stratejisi	Rulet
Çaprazlama Olasılığı	0.08
Mutasyon Tekniği	Üniform

B. Lineer Kuadratik Regülatör

LQR denetimi, optimal denetim sistemleri olarak sınıflandırılmış tasarımlardır. Bu kontrol mühendisliği için önemli bir fonksiyondur. Tasarlanan LKR geri beslemeli durum modeli şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: LKR yapısı

Tasarımın amacı istenilen çalışma performansını sağlayacak olan pratik bileşenler ile bir sistemi gerçekleştirmektir. Sürekli zaman sisteminde fonksiyonel bir denklem eşitlik 9 ve 10'da olduğu gibi tanımlanır [16-19].

$$f(\mathbf{x},t) = \min_{\mathbf{u}} \int_{t_0}^{t_1} h(\mathbf{x},\mathbf{u})dt \quad (9)$$

$$f(\mathbf{x},t_0) = f(\mathbf{x}(0)),\ f(\mathbf{x},t_1) = 0 \quad (10)$$

Hamilton-Jacobi denklemi uygulanırsa;

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \min_{\mathbf{u}} \left[h(\mathbf{x},\mathbf{u}) + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^{\mathrm{T}} \mathrm{g}(\mathbf{x},\mathbf{u}) \right] \quad (11)$$

Performans kriteri kuadratik olarak denklem 12'de gösterilen şekilde tanımlanır.

$$J = \int_{t_0}^{t_1} h(\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}\mathbf{x}+\mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\mathbf{u})dt \quad (12)$$

Bu ifadeler sonucunda H-J eşitliği:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\min_{\mathbf{u}} \left[\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}\mathbf{x} + \mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\mathbf{u} + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^{\mathrm{T}} (\mathbf{A}\mathbf{x}+\mathbf{B}\mathbf{u}) \right] \quad (13)$$

P matrisi simetrik ve kare matrisi olmak üzere:

$$\mathrm{f}(\mathbf{x},\mathrm{t}) = \mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{x} \quad (14)$$

şeklinde tanımlanırsa,

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \mathbf{x}^{\mathrm{T}} \frac{\partial}{\partial t}\mathbf{P}\mathbf{x},\ \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}} = 2\mathbf{P}\mathbf{x} \text{ ve } \left[\frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}}\right]^{\mathrm{T}} = 2\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{P} \quad (15)$$

ifadeleri sonucunda H-J eşitliği denklem 16'da gösterilmiştir.

$$\mathbf{x}^{\mathrm{T}} \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{x} = -\min_{\mathbf{u}} \left[\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}\mathbf{x} + \mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\mathbf{u} + 2\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}(\mathbf{A}\mathbf{x}+\mathbf{B}\mathbf{u}) \right] \quad (16)$$

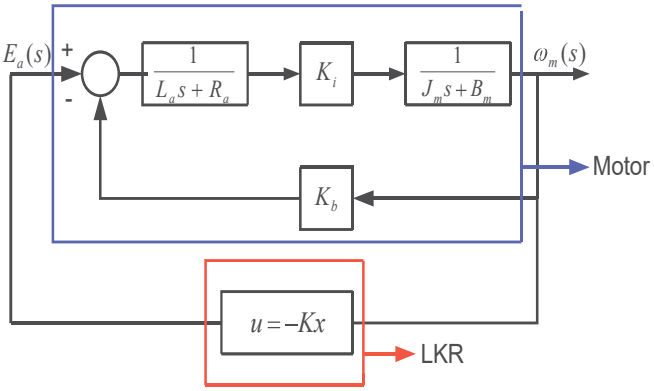
Burada u ifadesini minimize etmek için eşitlik 17 yazılır.

$$\frac{\partial[\partial f / \partial t]}{\partial \mathbf{u}} = 2\mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}+2\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{B}=\mathbf{0} \quad (17)$$

Optimal denetim yasasına göre $\mathbf{u}_{opt} = -\mathbf{Kx}$ şeklinde yazılır ve K ifadesinin değeri: $\mathbf{K}=\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^{T}\mathbf{P}$ olur. U_{opt} değeri H-J denkleminde yerine yazılırsa P matrisinin bulunması için aşağıdaki Ricatti denklemi matrisi bulunur.

$$\mathbf{PA}+\mathbf{A}^{T}\mathbf{P}+\mathbf{Q}-\mathbf{PBR}^{-1}\mathbf{B}^{T}\mathbf{P}=0 \qquad (18)$$

Denklem 18 Riccati eşitliği olarak isimlendirilir [16-17]. LKR olarak adlandırılan bu optimal denetim, şekil 5'te durum uzay modelinde gösterilmiştir. Şekil 3 ve 5 birleştirilirse şekil 6 oluşturulabilir ve bu şekilde DA motorunun LKR denetleyici ile kullanımı gösterilebilir.



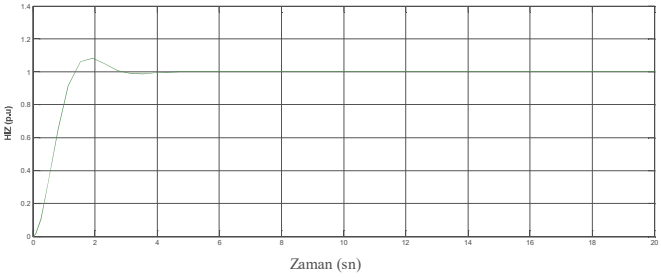
Şekil 6: LKR ile DA motor sistemi

IV. BENZETİM ÇALIŞMALARI

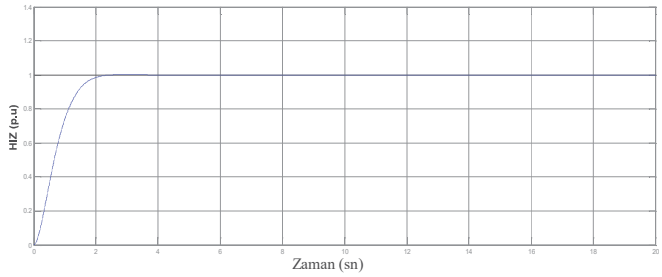
Bu çalışmada GA temelli PID denetleyici ve LKR denetleyici ile DA motorunun hız denetimi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan DA motorunun parametreleri tablo 2'de verilmiştir. PID denetleyicinin Kp, Ki, Kd kazanç parametreleri ilk olarak GA metodu ile belirlenmiş ve DA motoru hız denetimi için oluşturulmuştur. Daha sonra LKR tasarlanarak DA motorunun hız denetimine uygulanmıştır. Oluşturulan GA tabanlı PID denetleyicinin kazanç parametreleri şöyle bulunmuştur: Kp= 1.5704, Ki= 2.3046, Kd= 0.3603. LKR denetleyicinin Q ve R matrisleri ise Q=[0.25 0; 0 0.027], R= [0.25] olarak ayarlanmıştır. Şekil 7'de klasik PID denetleyicinin birim basamak cevabı görülmektedir. Bu çalışmada PID denetleyicinin kazanç parametreleri el ile ayarlanmıştır. Şekil 8 ve 9'da ise LKR ve GA tabanlı PID denetleyicinin birim basamak cevabına verdiği performans görülmektedir. Her iki denetleyicide hızlı bir sürede referans hızı yakalamış ve aşmada yapmadan sürekli durum hatası olmaksızın referans hızı takip etmiştir. Çalışmada oluşturulan PID, LKR ve GA tabanlı PID denetleyicinin yerleşme zamanı, yükselme zamanı ve aşım performansları tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2: DA motorunun parametreleri

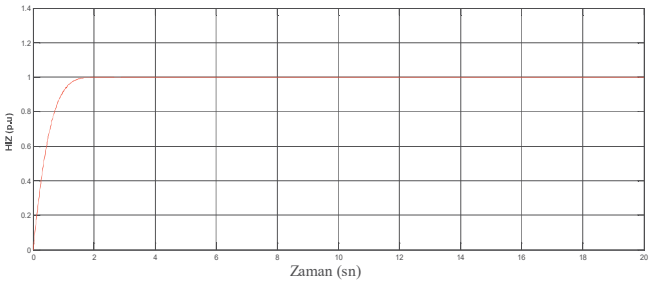
Sembol	Değer
Endüvi Direnci(Ra)	2 Ω
Endüvi İndüktansı(La)	0.4 H
Atalet Momenti(Jm)	0.01kgm2
Motor Sabiti(Ki-Kb)	0.023 Vs/rad
Sürtünme Katsayısı(Bm)	3.5e-5 Nms/rad



Şekil 7: PID denetleyicinin birim basamak cevabı



Şekil 8: LKR denetleyicinin birim basamak cevabı



Şekil 9: GA tabanlı PID denetleyicinin birim basamak cevabı

Tablo 3: Denetleyicilerin performanslarının karşılaştırılması

	GA-PID	LKR	PID
Yükselme Zamanı	0.873sn	1.19sn	0.92sn
Yerleşme Zamanı	1.36sn	1.93sn	2.58sn
Aşma	% 0	% 0	% 8

V. SONUÇLAR

DA motorların hız ve konum denetimleri önemli bir konudur ve bu konu üzerinde bir çok çalışma yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmada GA tabanlı PID denetleyici ve LKR denetleyici kullanılarak DA motorunun optimal hız denetimi anlatılmıştır. GA tabanlı PID denetleyici ile en iyi performans sağlanmıştır. Fakat GA tabanlı PID denetleyicide başlangıçta oluşturulan popülasyon sayısı sistemin performansını etkilemektedir. Bu yüzden popülasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir ve birçok deneme yapıldığı için süreç uzamıştır. GA için PID denetleyicinin kazanç parametrelerinin aralıklarının çok iyi bilinmesi de gerekmektedir. Çalışmada

LKR denetleyicinin Q ve R matrisleri birçok deneme yapılarak bulunmuştur. Her iki denetleyici birbiriyle karşılaştırıldığında GA tabanlı PID denetleyici yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşma bakımından daha iyi performansa sahip olduğu görülmektedir

VI. KAYNAKLAR

[1] Mergen Faik, "Elektrik Makineleri (Doğru Akım Makineleri)", Birsen Yayınevi 2006.

[2] G. Bal, "Doğru akım makinaları ve Sürücüleri", Seçkin Yayıncılık, 2001.

[3] Attaianese, C., Locci, N., Marongiu, I. and Perfetto, A. (1994). A Digitally Controlled DC Drive, IEEE Electrotechnical Conference, 3, 1271–1274.

[4] Altun H., Aydoğmuş Ö., Sunter S., "Gerçek Dört-Bölgeli Bir DC Motor Sürücüsünün Modellenmesi ve Tasarımı", Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (2), 295-303, 2008

[5] Kuo Benjamin C., "Otomatik Kontrol Sistemleri",Yedinci Baskı, Prentice Hall 1995.

[6] J.G. Ziegler, N.B. Nichols, "Optimization Setting for Automatic Controller", Trans. ASME, Vol. 64,pp. 756-769, 1942

[7] I.Sekaj: "Application of genetic algorithms for control system design", Int. Conf. SCANN'98, 10.-12.11.1998, Smolenice, Slovakia, pp.77-82.

[8] J. Kennedy, "The Particle Swarm: Social Adaptation of Knowledge", Proceeding of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, ICEC1997, Indianapolis, pp. 303-308, 1997.

[9] Akhilesh K. Mishra, Anirudha Narain, "Speed Control of Dc Motor Using Particle Swarm Optimization", International Journal of Engineering Research and Technology Vol. 1 (02), 2012, ISSN 2278 – 0181.

[10] Ozden Ercin and Ramazan Coban, "Comparison of the Artificial Bee Colony and the Bees Algorithm for PID Controller Tuning", Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) IEEE conference, pp. 595-598, 2011.

[11] Juang J., Huang M. and Liu W. (2008), "PID control using prescribed genetic algorithms for MIMO system", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, vol. 38, no.5, pp. 716–727.

[12] J.S. Yang, "PID Control for a Binary Distillation Column Using a Genetic Searching Algorithm", WSEAS Trans. Syst., Vol. 5, pp. 720-726, 2006.

[13] Açıkgöz, H., Keçecioğlu, Ö.F., Şekkeli, M., " Genetik-PID Denetleyici Kullanarak Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motorunun Hız Denetimi", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), 26-28 Eylül 2013, Malatya.

[14] R.A. Krohling, J.P. Rey, "Design of Optimal Disturbance Rejection PID Controllers Using Genetic Algorithm",IEEE Trans. Evol. Comput., Vol.5, pp. 78-82, 2001.

[15] Nitish K., Sanjay Kr. S., Manmohan A., "Optimizing Response of PID Controller for Servo DC Motor by Genetic Algorithm" International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 Vol. 7 No.11,2012

[16] Ö. Oral, L. Çetin ve E. Uyar, "A Novel Method on Selection of Q And R Matrices In The Theory Of Optimal Control" International Journal of Systems Control, Cilt.1, No:2, s: 84-92, 2010.

[17] Nasir A., Ahmad M. and Rahmat M.,"Performance Comparison between LQR and PID Controller for an Inverted Pendulum System", International Conference on Power Control and Optimization, Chiang May, Thailand, July 2008.

[18] R. Yu, R. Hwang 'Optimal PID Speed Control of Brushless DC Motors using LQR Approach', In Proc. IEEE International Conference on Man and Cybernetics, Hague, Netherlands, 2004.

[19] Keçecioğlu Ö.F., Güneş M., Şekkeli, M., "Lineer Kuadratik Regülatör (LKR) ile Hidrolik Türbinin Optimal Kontrolü", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), 26-28 Eylül 2013, Malatya

.