Sıvı Sıcaklık Denetiminde PSO Tabanlı PID Denetleyicinin Başarımının İncelenmesi

Hakan Açıkgöz[1], Ahmet Gani[2], Ö. Fatih Keçecioğlu[2], Mustafa Şekkeli[2]

[1]Elektrik ve Enerji Bölümü
Kilis 7 Aralık Üniversitesi
hakanacikgoz@kilis.edu.tr

[2]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
agani@ksu.edu.tr, fkececioglu@ksu.edu.tr, msekkeli@ksu.edu.tr

Özetçe

Endüstriyel tesislerde su ve benzeri likitlerin doldurulduğu depolarda sıvı sıcaklık denetiminin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Birçok endüstriyel tesiste sıvı sıcaklık denetimi sistem düzeninin en önemli parçasıdır. Bu tesisler için bazı durumlarda sıvı sıcaklığının optimum denetiminin yapılmaması maddi ve manevi zararlara yol açabilir. Günümüzde biyolojik sistemlerden esinlenilmiş birçok hesaplama tekniği bulunmaktadır. Bu tekniklerden biri de kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek ortaya çıkarılmış bir yöntem olan Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) algoritmasıdır. Bu çalışmada bir sıvı tankının içindeki sıvının sıcaklık denetimi PSO ve Ziegler-Nichols (ZN) tabanlı PID denetleyici ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve dinamik performans karşılaştırması yapılmıştır.

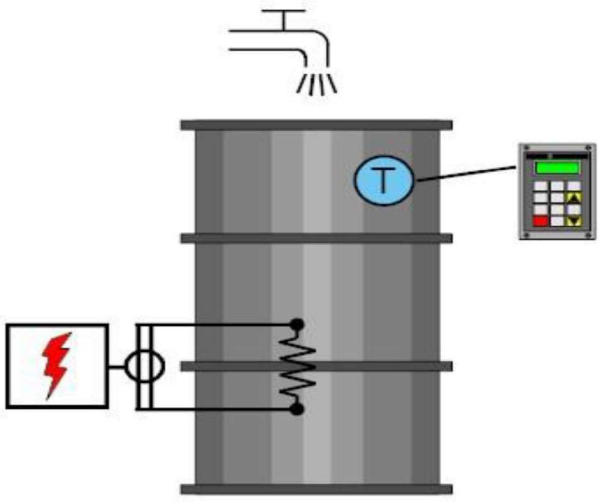
1. Giriş

Günümüz imalat sanayinde kullanılan makinelerin hızlı çalışmaları, üretimin artması bakımından önemlidir. Üretimde insan faktörünün en aza indirilmesi, üretimin kalitesi ve üretimin eşdeğerliği bakımından önem arz etmektedir. Bunu gerçekleştirecek sistemlere otomasyon sistemleri adı verilmektedir [1-2]. Son yıllarda teknolojik ilerlemelerle birlikte endüstride denetim gerektiren her alanda hızlı bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu amaçla birçok araştırmacı tarafından çeşitli uygulama ve denetim teknikleri geliştirilmiştir. Endüstride su ve benzeri likitlerin doldurulduğu tanklarda sıcaklık denetiminin doğru ve etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir [3-4]. Bilindiği gibi PID denetleyici, endüstriyel denetim süreçleri içerisinde yaygın olarak kullanılan denetleyicidir. Bu nedenle bu denetim işlemi sırasında sistem için en uygun kazanç parametrelerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır. Klasik yöntemlerden olan ZN yöntemi bu kazanç parametrelerinin belirlenmesinde oldukça sık olarak kullanılmaktadır [5]. Fakat bu yöntemde, verilen denetim sistemi için en büyük kazanç değerinin belirlenmesi veya salınım periyodunun bulunması gibi bazı sorunlar mevcuttur [5]. Bu nedenle PID denetleyicinin Kp, Ki ve Kd kazanç parametrelerinin daha hızlı ve kolay bir şekilde belirlenmesi için birçok optimal denetim yöntemi geliştirilmiştir [6-10]. Bu yöntemlerden olan genetik algoritmalar (GA), Yapay Arı Kolonisi (ABC), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Doğrusal Karesel Düzenleyici (LQR) gibi çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak en uygun PID denetleyici tasarlanmıştır[6-11].

Bu çalışmada optimal denetim yöntemlerinden olan PSO, geliştirilen sistem için en uygun PID kazanç parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Öncelikle PID denetleyicinin kazanç parametreleri klasik metot olan ZN metodu ile ayarlanarak sisteme uygulanmıştır. Daha sonra PSO ile en uygun PID kazanç parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde sıvı sıcaklık denetim sisteminin modeli incelenmiş ve gerekli denklemler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise ZN ve PSO yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde her iki yöntemden elde edilen benzetim sonuçları verilmiştir. Sonuçlar kısmı ise son bölümde verilmiştir.

2. Sıvı Sıcaklık Denetim Sistemi

Isı transferi (geçişi), sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan bir fiziksel mekanizmadır. Doğada ısı akışı yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir. Isı bir noktadan diğer bir noktaya üç farklı mekanizma ile transfer edilebilir: iletim, taşınım ve ışınım gibi. Buradaki uygulamada söz konusu ısı geçiş türlerinden iletim ve taşınım bir arada bulunmaktadır. Burada iletim ve taşınım ile çevreye ısı kaybı olmakta ve bir rezistans vasıtasıyla bu kayıp karşılanarak sistemin sıcaklığı sabit tutulmaktadır[12-13]. Şekil 1'de bu sisteme ait mekanizma verilmiştir:



Şekil 1: Sıvı sıcaklık sistemi

Enerjinin korunumu (Termodinamiğin I. Kanunu) gereğince [8];

Sistemin Enerjisindeki Değişim = Giren Enerji – Çıkan Enerji + Üretilen Enerji

$$\Delta E_{sis} = E_g - E_ç + E_ü \quad (1)$$

Sistemin sıcaklığı sabit kabul edildiğinde sistemin enerjisindeki değişim sıfır olacağından ve sistemde enerji üretimi olmadığından enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki şekli alır;

$$E_g = E_ç \quad (2)$$

Bu denklemi sisteme uygularsak Sisteme Giren Elektrik Enerjisi = Sıvının Isıtılması İçin Gerekli Olan Isı Enerjisi + Sistemden Çevreye Olan Isı Enerjisi

$$E_e = Q_s + Q_k \quad (3)$$

Sıvının ısıtılması için gerekli olan ısı enerjisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$Q_s = m \times C \times \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

Burada *m* sıvının kütlesi, *C* sıvının özgül ısısı ve Dt/dt zamana bağlı sıcaklık farkını göstermektedir. Sistemden çevreye olan ısı enerjisi iletim ve taşınım toplamı olarak şu şekilde hesaplanır [12-15];

$$Q_k = U \times \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

Burada *U* karma ısı transfer katsayısı, DT/dt zamana bağlı sıcaklık farkını göstermektedir.*U* karma ısı transfer katsayısı takip eden denklemle hesaplanır;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{(2\pi r_1 H)h_i} + \frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{(2\pi H)k} + \frac{1}{(2\pi r_2 H)h_d}} \quad (6)$$

Burada h_i ve h_d sırasıyla iç ve dış ısı taşınım katsayısı, k ısı iletim katsayısı, r_1 ve r_2 sırasıyla tankın iç ve dış yarı çapı, ve H ise tankın boyunu göstermektedir. Sonuç olarak enerjinin korunumu denklemi yazarsak;

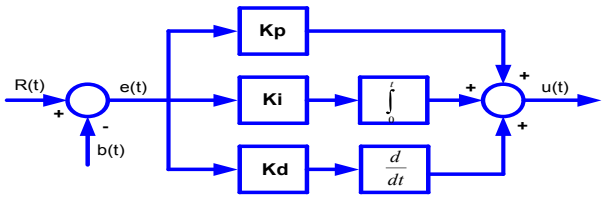
$$E_e = (m \times C)\frac{dT}{dt} + \left(\frac{1}{\frac{1}{(2\pi r_1 H)h_i} + \frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{(2\pi H)k} + \frac{1}{(2\pi r_2 H)h_d}} \right) \frac{dT}{dt} \quad (7)$$

bağıntısı elde edilmiş olur [12-15]. Burada tankın boyutları r_1=0.5m, r_2=0.5m ve tankın boyu H=2 metre, tankın cidar kalınlığı L=10mm, iç ve dış ısı taşınım katsayısı h_i=2800W/m^{2}K, h_d=2800W/m^{2}K, ısı iletim katsayısı k=50W/mK alınmıştır.

3. PID Denetleyici

PID denetleyiciler dayanıklı performans ve basit yapıları nedeniyle denetim sistemlerinde en sık kullanılan denetleyicilerdir. PID denetleyiciyi oluşturan oransal (P), integral (I), türev (D) kazançlarının her biri sistemin çalışmasına çeşitli şekillerde etki etmektedir. PID denetleyiciyi oluşturan kısımların her biri birer katsayı ile yönetilirler. Bu katsayılar her sistem için ayrı değerler almaktadırlar. Şekil 2'de PID denetleyicinin içyapısına ait blok diyagramı verilmiştir. PID denetleyicinin çıkışı ise denklem 8'deki gibi ifade edilebilir [5,15].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (8)$$



Şekil 2: PID denetleyici blok diyagramı

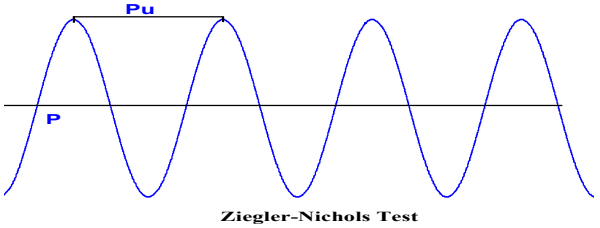
Tablo 1'de ise PID kazanç değerlerinin sistemi nasıl etkilediği görülmektedir.

Tablo 1: P.I ve D ayarlarının bağımsız olarak etkileri

	Yükselme Zamanı	Aşım	Yerleşme zamanı	Sürekli durum hatası
Kp	Azalır	Artar	Az artar	Azalır
Ki	Az artar	Artar	Artar	Çok azalır
Kd	Az değişir	Azalır	Azalır	Önemsiz

3.1. Ziegler-Nichols Yöntemi

Kapalı çevrimli bir sistemin PID kazanç parametreleri ZN yöntemiyle belirlenirken PID denetleyicinin I ve D katsayıları 0 yapılır. P sistem osilasyona gidene kadar yavaş yavaş arttırılır. Elde edilen kazanç değeri Ku olarak ifade edilir. Bu durumda iki tepe arasındaki değer ise Pu değerini ifade etmektedir. Ku ve Pu değerlerini şekil 3'te gösterilen osilasyon dalgası üzerinde belirtilmiştir [5]. PID katsayılarının belirlenmesi tablo 2'ye göre gerçekleştirilir.



Şekil 3: Sistemin osilasyona girdiği andaki cevabı

Tablo 2: ZN metodu için P, I ve D parametrelerinin hesaplanması

Denetleyici	Kp	Ki	Kd
P	Ku/2	-	-
PI	Ku/2.2	Pu/1.2	-
PID	Ku/1.7	Pu/2	Pu/8

3.2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)

Doğadaki sistemlerin ve canlıların davranışlarından esinlenerek ortaya konulmuş olan PSO 1995 yılında kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek J. Kennedy ve R.C. Ebarhart tarafından geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon tekniğidir [11]. PSO birçok mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [11,16-17]. PSO algoritması genetik algoritmada olduğu gibi rastgele çözümlerle başlar ve fonksiyon sürekli güncellenerek optimum değer bulunmaya çalışır. Ancak PSO'nun yapısında çaprazlama ve mutasyon işlemleri bulunmamaktadır. Bundan dolayı uygulaması daha kolay ve pratiktir. PSO yapısında birer pozisyon ve hız vektörüne sahip parçacık denilen olası çözümler yer almaktadır. Parçacıklar geçen sürede en iyi sonucu elde eden parçacığın bilgilerinden faydalanarak çözüm uzayında dolaşırlar [17-20]. PSO algoritmasında parçacık olarak adlandırılan her bir kuş arama uzayında bir çözümü ifade eder. Bir parçacığın bulunduğu koordinatlara ve hızına göre kuşun yiyeceğe olan uzaklığını belirten bir fonksiyon belirlenir ve bu fonksiyon çözüme olan yakınlığı ifade eder [20-27]. PSO algoritması arama uzayında tüm parçacıkların rastgele bir konum almasıyla başlar ve her adımda komşularının en iyi koordinatlarına ve kendi en iyi koordinatlarına göre parçacıkların pozisyonları güncellenir. En iyi sonucu bulmak için arama işlemi bu şekilde devam eder. Bunun için parçacıkların geçen sürede elde ettikleri en iyi sonuçlar ve bu sonuçların koordinatları saklanmalıdır [17,19]. Parçacıklar reel değerli rastgele olarak üretilmiş n boyutlu arama uzayında hareket ederler. Durum uzayında her bir parçacığın V_{ij}, hız vektörü ve X_{ij}, pozisyon vektörlerine sahiptirler. Burada i parçacığı j ise boyutu belirtmektedir. Ayrıca parçacıklar o zamana kadar elde edilen kendi en iyi pozisyonu (P_{best}) ile tüm parçacıklar tarafından elde edilen global en iyi pozisyon (G_{best}) vektörlerini bir sonraki durum için saklarlar. Herhangi bir durumda i. Parçacığa ait P_{best} vektörü denklem (9)'da gösterilmiştir[19-27]:

$$P_{best} =[P_{i1},P_{i2},\ldots\ldots,P_{in}] \quad (9)$$

G_{best} vektörü tüm parçacıklar için aynıdır ve denklem (10)'da gösterilmiştir.

$$G_{best}=[G_1,G_2,\ldots\ldots\ldots\ldots,G_n] \quad (10)$$

Sürüdeki parçacıklara ait hız (V_{ij}) ve konum matrisleri de (X_{ij}) denklem (11) ve (12)'de gösterilmiştir.

$$X_{ij}=[X_{i1},X_{i2},\ldots\ldots\ldots X_{in}] \quad (11)$$

$$Vij=[Vi1,Vi2,\ldots\ldots.Vin] \quad (12)$$

Parçacıkların V(t) hız değerleri her adımda denklem (13)'deki formül ile $V_{(t+1)}$'i elde etmek için güncellenir.

$$V_{i,j(t+1)}=w*V_{ij(t)}+c_1r_1*[P_{besti,j}(t)-x_{ij}(t)]+c_2r_2*[G_{best}(t)-x_{ij}(t)] \quad (13)$$

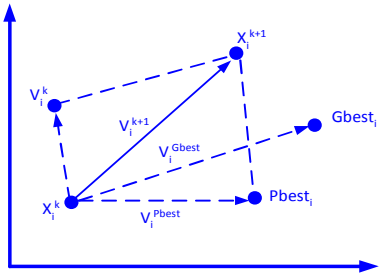
Denklem (13)'deki c_1 ve c_2 genellikle [0-2] aralığında seçilen hızlandırma katsayılarıdır. Aynı şekilde r_1 ve r_2'de [0-1] aralığında rastgele üretilen düzgün dağıtılmış sayılardır. w ise atalet ağırlığını göstermektedir[17-25].

$$W=W_1 - W_2.(\text{Maxiter} - \text{İter})/\text{Maxiter} + W_2 \quad (14)$$

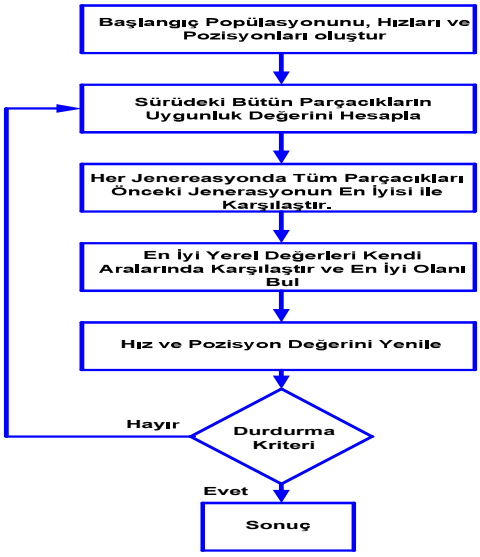
Burada, W_1 sabit başlangıç W_2 ise bitiş değerleridir. Aynı şekilde denklem (14) eşitliğinden yararlanarak parçacığın önceki pozisyon değerine yeni hız değeri eklenerek parçacığın yeni konumu belirlenir.

$$X_{i,j(t+1)}=X_{i,j(t)} + V_{i,j(t+1)} \quad (15)$$

Denklem (15)'deki formül içeriğinde bir önceki adımın hız bilgisini, parçacığın en iyi pozisyonu ile bir önceki adımın konumu arasındaki farktan oluşan idrak kısmı ve bütün parçacıkların elde ettiği en iyi konum ile parçacığın bir önceki adımdaki konumu arasındaki farktan oluşan sosyal kısımları içerir [19-27]. PSO'da parçacıklar çoklu arama uzayında iterasyon tamamlanana kadar pozisyonlarını değiştirirler. PSO'da arama uzayındaki değişimler şekil 4'te gösterilmiştir. Geliştirilen PSO akış diyagramı ise şekil 5'te verilmiştir. Bu



Şekil 4: PSO parametrelerinin vektör olarak gösterilmesi



Şekil 5: PSO akış şeması

Denetleyicinin performansını belirleyebilmek için hatanın mutlak değerlerinin toplamı (IAE), hatanın zaman ağırlıklı mutlak değerleri toplamı (ITAE), hatanın karelerinin toplamı

(ISE) ve hatanın zaman ağırlıklı karelerinin toplamı (ITSE) gibi birçok değerlendirme kriteri mevcuttur [12-17]. Bu performans kriterleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$IAE = \int_0^\infty |e(t)|dt \quad (16)$$

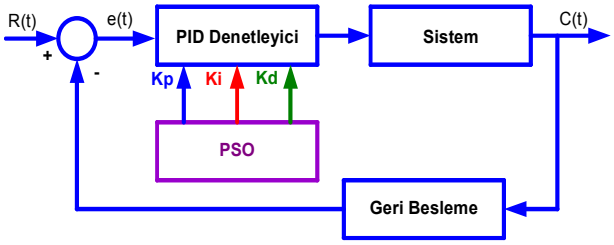
$$ISE = \int_0^\infty e^2(t)dt \quad (17)$$

$$ITAE = \int_0^\infty t|e(t)|dt \quad (18)$$

$$ITSE = \int_0^\infty te^2(t)dt \quad (19)$$

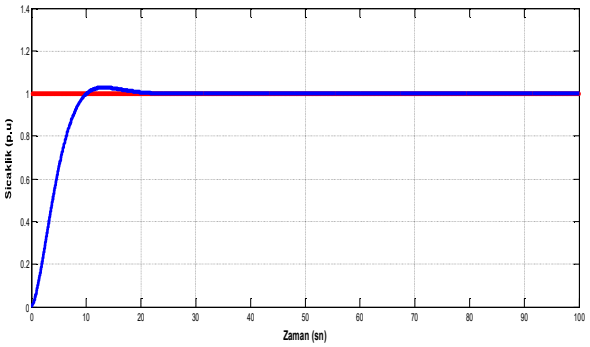
4. Benzetim Çalışması Sonuçları

Şekil 6'da PSO temelli PID denetleyici kullanılarak denetlenen sıvı sıcaklık sistemine ait blok diyagramı verilmiştir.



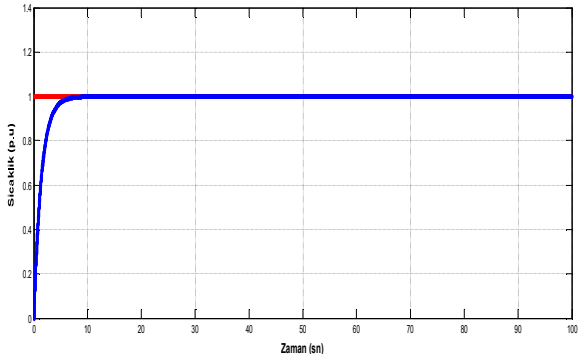
Şekil 6: PSO-PID denetimli sıvı sıcaklık denetimi blok diyagramı

Oluşturulan bu sistem için ilk olarak ZN yöntemi ile PID denetleyicinin kazanç parametreleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler daha sonra el ile ayarlanarak daha etkin sonuç verecek kazanç değerleri belirlenmiştir. PSO yöntemi kullanılarak optimal PID kazanç parametreleri belirlenmiş ve sıvı sıcaklık denetim sitemine uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan PSO parametreleri ise; Popülasyon boyutu: 100, $W_{maksimum} - W_{minimum}$: [0.9 – 0.3], $C_{1\text{-}2}$: 2, K_p [-100 100], K_i [-100 100], K_D [-100 100] olarak alınmıştır. ZN yöntemi ile sistemin PID katsayılarının belirlenmesinden sonra bu değerler kullanılarak yapılan PID denetim çalışması neticesinde birim basamak giriş için elde edilen çıkış cevabı şekil 7'de verilmiştir.



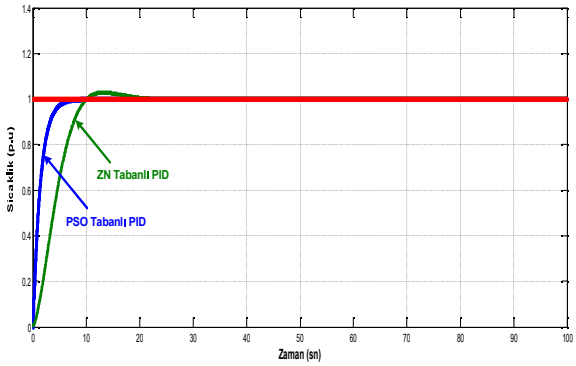
Şekil 7: ZN-PID birim basamak cevabı

PSO yöntemi ile optimal PID denetleyicinin birim basamak giriş için elde edilen çıkış cevabı şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: PSO-PID birim basamak cevabı

Her iki denetleyicinin birim basamak cevapları karşılaştırmalı olarak şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: PSO-PID ve ZN-PID denetleyicinin birim basamak cevaplarının karşılaştırılması

Şekil 9'dan görüldüğü gibi ZN temelli PID denetleyici %3.05'lik bir aşma yapmış ve 24.07 sn sonra referansa ulaşarak kararlı duruma geçmiştir. PSO temelli PID denetleyici ise aşma yapmadan ve 9.77 sn'lik yerleşme süresiyle referansı başarı ile yakalamıştır. Ayrıca her iki yöntemden elde edilen yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşma cevapları tablo 3'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3: ZN- PID ve PSO-PID tabanlı denetim performans parametreleri

Denetleyici	Yükselme Zamanı	Yerleşme Zamanı	Aşma	Kalıcı Durum Hatası
PSO-PID	3.039 sn	9.77 sn	%0	0
ZN-PID	6.51 sn	24.07 sn	%3.05	0

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, PID denetleyicinin parametreleri son yıllarda farklı disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanan ve iteratif bir optimizasyon yöntemi olan PSO ve klasik yöntem olan ZN yöntemi ile ayarlanarak denetlenen sisteme uygulanmıştır. PSO ve ZN yöntemi ile PID kazanç parametreleri Kp, Ki, Kd değerleri hesaplanıp bir tanktaki

sıvının sıcaklığı denetlenerek sistemin birim basamak cevabı incelenmiştir. Denetleyici parametrelerinin PSO ile ayarlanması sonucunda ayar işlemi, algoritmanın diğer evrimsel optimizasyon algoritmalarına göre basitliği, daha az kod satırına ihtiyaç duyması ve daha az iterasyonla sonuca ulaşabilmesi nedeniyle daha kısa sürede gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca bu çalışmada denetleyici performans kriterlerinden ISE kullanılmıştır. Diğer kriterlerde kullanılarak farklı PID kazanç parametreleri belirlenip sisteme uygulanabilir. Sonuç olarak sistemin yükselme zamanı, yerleşme zamanı, aşma ve kalıcı durum hatası gibi değişkenler açısından incelendiğinde PSO temelli PID denetleyicinin daha etkin sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Kaynakça

[1] Mergen Faik, "Elektrik Makineleri Doğru Akım Makineleri " ,Birsen Yayınevi 2006Çolak, İ., "Asenkron Motorlar", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 141-159 (2001).

[2] Kuo Benjamin C., "Otomatik Denetim Sistemleri", Yedinci Baskı, Prentice Hall 1995.

[3] Gültekin, S.S., "Seviye ve Sıcaklık Denetim Sistem Tasarımı", Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi, Cilt 6, Sayı 3 ,2007.

[4] Gani A., Keçecioğlu Ö.F., Açıkgöz H., Kuyumcu M.E., "Kapalı Bir Ortamdaki Sıvının Sıcaklık Denetiminde PID Denetleyicinin Performans Analizi", Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi, 15-16 Mayıs 2014.

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

[6] C. Li, J. Lian, "The Application on Immune Genetic Algorithm in PID Parameter Optimization for Level Control System", IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan, China, pp. 782-786, 2007.

[7] Aydoğdu Ö., "Optimal-Tuning of PID Controller Gains Using Genetic Algorithms", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 131-135, 2005.

[8] Karaboga, D., Akay B., "Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks", Signal Processing and Communications Applications, 2007. SIU 2007. IEEE 15th.

[9] Gao, W., "Immunized Continuous Ant Colony Algorithm", Control Conference, 2007. CCC 2007. Chinese.

[10] 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.

[11] Kennedy, J., Eberhart, R." Particle Swarm Optimization", IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, IEEE Servive Center, Piscataway, NJ, 1942-1948, 1995.

[12] Michael J. M., Howard N. S., Daisie D. B., Margaret B. B. 2011 "Principles of Engineering Thermodynamics", 7th edition, John Wiley & Sons Ltd.

[13] Michael J. M., Howard N. S., Daisie D. B., Margaret B. B. 2011. "Principles of Engineering Thermodynamics", 7th edition, John Wiley & Sons Ltd.

[14] Çengel Y. A. 2007 "Heat and mass transfer: a practical approach", 3rd edition. McGraw-Hill.

[15] Çelikel, H. K., "Taşıt Süspansiyon Sistemlerinin Bulanık Mantık Ayarlı PID Denetimi" İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Haziran, 2006 (15-28).

[16] Savaşçı Habeş A., "Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak PID Denetleyici Parametrelerinin Belirlenmesi", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2008 Kayseri (35-42).

[17] Erdogan, M.E., 2006, "Bir Sistemin Öz Uyarlamalı Bulanık PID Denetleyici İle Denetimi" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. F.B.E., 4-11.

[18] Delice, Y., "Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Yapay Sinir Ağlarından Sınıflandırma Kuralı Çıkarımı", Yüksek lisans tezi Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü Kayseri (74-80).

[19] Arumugam, M. S., Chandramohan, A.," A New and Improved Version of Particle Swarm Optimization Algorithm with Global-Local Best Parameters," Knowl Inf Syst, DOI 10.1007/s10115-007-0109-z, 2007

[20] Zhang, J. R., Zhang, J., Lok, T. M., Lyu, M. R.," A Hybrid Particle Swarm Optimization Back-Propagation Algorithm for Feedforward Neural Network Training", Applied Mathematics and Computation, 185, 1026-1037, 2007.

[21] Fan, S. K. S. and Chiu, Y. Y.," A Decreasing Inertia Weight Particle Swarm Optimizer, Engineering Optimization", 39:2, 203 – 228, 2007.

[22] Chen J., Ren Z., Fan X., (2006) Particle Swarm Optimization with Adaptive Mutation and Its Application Research in Tuning of PID Parameters, Systems and Control in Aerospace and Astronautics, ISSCAA 2006 1st International Symposium, Changzhou, China .

[23] Gözde H., Kocaarslan İ., Taplamacıoğlu M.C., Çam E., (2008) İki Bölgeli Güç Sisteminde Parçacık Sürüsü Algoritması İle Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu, ELECO'08 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, (212-216), Bursa, Türkiye.

[24] Kennedy, J., Eberhart, R., (1995) Particle Swarm Optimization, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, (pp. 1942-1948), WA, USA.

[25] Kim D. H., Hirota K., (2008) Vector control for loss minimization of induction motor using GA-PSO, Applied Soft Computing, Volume 8, Issue 4.

[26] Tamer S, Karakuzu C, (2006) Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri, ELECO 2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, Elektronik Bildirileri Kitabı, (302-306), Bursa, Türkiye.

[27] A. Öztürk, S. Alkan, "Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan Dc-Dc Dönüştürücünün Kontrolü", İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 2, Sayı 3, 110-120, 2013.