



İKİ BÖLGE Lİ ARA-ISITMALI TERMAL GÜÇ SİSTEMİNİN YÜK-FREKANS KONTROLÜ İÇİN PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU TABANLI PI-KONTROLÖR

Haluk GÖZDE*, M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU*, İlhan KOCAARSLAN** ve M.Akif ŞENOL*

*Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
06570 Maltepe, Ankara

halukgozde@gmail.com, taplam@gazi.edu.tr, makif58@yahoo.com

** İstanbul Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
34320 Avcılar, İstanbul
ikocaarslan@yahoo.com

(Geliş Tarihi: 20. 01. 2009, Kabul Tarihi: 30. 07. 2009)

Özet: Bu çalışmada, ara-ısıtmalı termal türbin içeren iki bölgeli bir güç sisteminde, yük-frekans kontrolü amacıyla kullanılan PI kontrolörün kazançları Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ile ayarlanmıştır. Kontrolör kazançlarının ayarlanması optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve sonuca ulaşmak için yeni bir hedef fonksiyonu türetilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmış, önerilen kendinden ayarlamalı PSO-PI kontrolör ile sistemin dinamik cevabının iyileştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yük-frekans kontrolü, Ara-ısıtmalı termal türbin, PI-kontrol, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu.

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED PI-CONTROLLER DESIGN TO LOAD-FREQUENCY CONTROL OF A TWO AREA REHEAT THERMAL POWER SYSTEM

Abstract: In this study, the gains of PI controller which is used for load-frequency control in a two area reheat thermal power system are tuned with the Particle Swarm Optimization (PSO). Tuning of the controller gains is taken up an optimization problem, and the new cost function is derived to reach to goal. The results which are obtained are compared with the literature, and it is observed that the dynamic response of the system is got better with proposed self-tuning PSO-PI controller.

Keywords: Load-frequency control, Reheat thermal turbine, PI-control, Particle Swarm Optimization

SEMBOLLER

K_h	Regülâtör kazancı	x_i	Parçacık konumu
K_t	Türbin kazancı	v_i	Parçacık hızı
T_h	Regülâtör zaman sabiti	p_i	Parçacığın yerel en iyi konumu
T_t	Türbin zaman sabiti	g_i	Sürünün en iyi konumu
R	Regülasyon katsayısı	c_i	İvmelenme sabiti
T_{12}	Senkronizasyon sabiti	r_i	Normal dağılımlı rastgele sayı
K_g	Generatör/yük kazancı	w	Atalet ağırlığı
T_g	Generatör/yük zaman sabiti	T	İterasyon sayısı
K_r	Ara-ısıtma kazancı	α	Aşım
T_g	Ara-ısıtma zaman sabiti	k_i	Ağırlık katsayısı
B	Frekans kutuplama katsayısı		
K_i	İntegral kazancı		
K_p	Oran kazancı		
Δf	Frekans sapması		
ΔP_{tie}	Ara bağlantı güç değişimi		
ΔP_L	Yük değişimi		
M	Parçacık sayısı		
d	Parametre sayısı		

GİRİŞ

Bir enterkonnekte güç sisteminde anma frekansı büyük oranda, o sistemde üretilen ve tüketilen aktif güçlerin dengesine bağlıdır. Sistemin herhangi bir yerinde meydana gelen bir aktif güç dengesizliği, frekansta oluşturacağı değişim yoluyla tüm şebekede fark edilir. Bununla beraber, enterkonnekte sisteme bağlı endüstriyel yüklerin doğru çalışmasının büyük oranda kaliteli elektrik enerjisine bağlı olduğu dikkate alındığında, sürekli durumda sistemdeki frekans hatasını kabul edilebilir değerlerin arasında tutabilmek için bu dengenin korunması gerekir. Enterkonnekte sistemin aktif güç dengesi; sisteme bağlı senkron generatörlerin üretim miktarlarının, değişen sistem frekansına duyarlı hale getirilmesi ile sağlanır. Normal durumda, sisteme bağlı generatörlerin çıkış güçleri ile anlık yük arasındaki fark, sistemin anma frekansının değişmesine neden olur. Eğer üretim miktarı talep edilen güçten fazla ise generatörlerin hızları ve dolayısı ile frekansları artar, üretim miktarının talep edilen güçten düşük olması durumunda ise frekans düşer. Sapma durumunda frekansın tekrar istenen seviyeye getirilmesi, generatörü çeviren türbinin hızının kontrol edilmesi ile sağlanır. Bu işlem için günümüze kadar çeşitli adaptif ve gürbüz kontrol yöntemlerinin denenmiş olmasıyla birlikte (Unbehauen ve Kocaarslan, 1990 – Al-Hamouz vd., 2007), klasik kontrol teorisinde genel olarak bir oransal-integral (PI) kontrolör kullanılır ve kontrolörün oran ve integral kazançları ayarlanarak, frekansın sürekli durum hatası minimize edilir (Elgerd ve Fosha, 1970 – Elgerd, 1982).

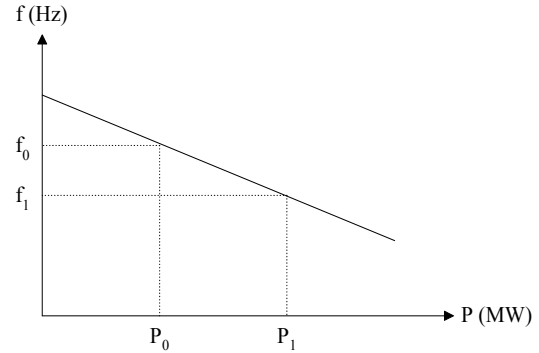
Literatürde, integral kazancının belirlenmesi amacıyla mevcut ayar yöntemlerinin yanı sıra, sistemin yüksek mertebeli, doğrusal olmayan yapısından dolayı yapay zeka tabanlı optimizasyon yöntemleri de ağırlıklı olarak kullanılmıştır (Ogata, 2002). 1997’de Chang (Chang ve Fu, 1997), 2005 yılında ise Çam ve Kocarslan (Kocaarslan ve Çam, 2005 – Çam ve Kocaarslan, 2005) integral kontrol kazancını bulanık mantık kullanarak ayarlamışlar; Çam 2007 yılında bu yöntemi hidroelektrik güç sistemine uygulamıştır (Çam, 2007). Benzer bir yöntemi 2007 yılında Shayeghi, hibrit bir genetik algoritma-bulanık mantık yapısı kullanarak gerçekleştirmiştir (Shayeghi vd., 2007). 2003 yılında, Abdel-Magid ve Abido, ara-ısıtmalı türbin içeren iki bölgeci bir güç sisteminde I ve PI kontrolörlerin KP ve KI kazançları ile frekans kutuplama katsayısının (B) ayarlanmasında PSO kullanmışlardır (Abdel-Magid ve Abido, 2003). 2008 yılında ise Taher, yine iki bölgeci bir sistemde PI ve I kazançlarını genetik operatörler kullanan hibrit bir PSO ile optimize etmiştir (Taher vd., 2008).

Bu çalışmada, frekans kutuplama katsayısı (B) tipik değerinde sabit kabul edilerek, iki bölgeci ara-ısıtmalı termal güç sisteminde ikincil kontrolü gerçekleştiren PI kontrolörün oran ve integral kazançları Parçacık Sürüsü Algoritması ile ayarlanmıştır. Ayar yönteminde, sistemin otomatik kontrol hatası (ACE), hatanın türevi

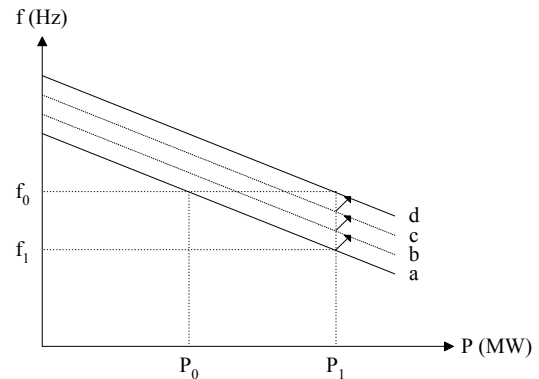
ve frekans sapmasının aşım değeri ile türetilen bir hedef fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Abdel-Magid ve Abido’nun, B katsayısını sabit kabul ederek elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırılmış ve önerilen PSO-PI kontrol ile sistem cevabının iyileştirildiği gözlenmiştir. Parçacık Sürüsü Algoritmasının, genetik algoritmalar gibi diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre basitliği, daha az kod satırına ihtiyaç duyması ve daha az iterasyonla sonuca yakınsaması kontrolör parametrelerinin daha kısa sürede ayarlanmasını sağlamıştır. Makalenin ileriki bölümlerinde, yük-frekans kontrolünün esaslarından söz edilerek, kontrol edilen iki bölgeci ara-ısıtmalı güç sisteminin modeli verilmiştir. İlave olarak, PSO hakkında bilgi verilerek, önerilen PI kontrolör ile kontrol edilen sistem ve sonuçları incelenmiştir. sunulmalıdır.

YÜK-FREKANS KONTROLÜ PROBLEMİ

Enterkonnekte güç sistemi, birbirleri ile uyumlu üretim alanlarından oluşur. Böyle bir sistemde, normal çalışma şartlarında, yük değişimlerine karşı sistem frekansının anma değerinde sabit ve üretim alanları arasında bağlantı hatlarından akan gücün anlaşmalarla belirlenmiş sınırlar arasında tutulması yük-frekans kontrolü olarak tanımlanır. Yük-frekans kontrolü, birincil ve ikincil kontrol olarak adlandırılan iki aşamada gerçekleştirilir.



Şekil 1. Yük-frekans düşüm karakteristiği.



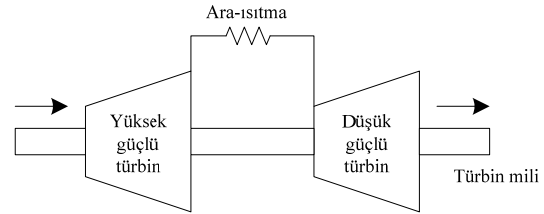
Şekil 2. İkincil kontrolün yük-frekans düşüm karakteristiği üzerine etkisi.

Şekil 1'deki yük-frekans karakteristiğinden de görüldüğü gibi sistem frekansı ile yük arasında ters orantılı bir değişim vardır. Yükteki olası bir artış, sistemin anma frekansını düşürür. Birincil kontrol döngüsü ile frekanstaki bu düşüm bir merkezkaç regülatörü tarafından algılanarak, türbinin dönüş hızı ve dolayısı ile generatörün üretim miktarı artırılır. Bunun sonucunda, üretilen gücün toplam yüke eşitlenmesi ile sistem frekansı, düşüm karakteristiğinin eğimine bağlı belirli bir sürekli durum hatasıyla anma değerine yaklaştırılır. Bununla beraber, birincil kontrol sonucunda; sistemde üretim kontrolü yapılmadığından, toplam yük talebini karşılamak için her üretim alanı, anlaşmalara bağlı kalmaksızın kendi büyüklüğü ile orantılı olarak üretim miktarını artırır. Enterkonnekte sistemlerde her üretim alanının, diğer alanlar ile güç alışverişini yapmaksızın kendi yükünü karşılaması öngörüldüğünden, bu istenmeyen bir durumdur. Frekansta oluşan sürekli durum hatası ise integral (I) ya da oransal-integral (PI) kontrolör içeren ikincil bir kontrol döngüsünün devreye girmesi ile minimize edilir. Bu işlem, integral kontrol sayesinde, yük-frekans karakteristiğinin Şekil 2'de gösterildiği gibi istenen konuma getirilmesi ile elde edilir. Şekilde, P_0 MW yük talebinde sistem frekansı f_0 Hz anma değerinde sabitken, talep P_1 MW'a çıktığında birincil kontrol ile bu yük karşılanmakta ve aktif güç dengesi sağlanarak frekans, anma frekansına göre belli bir hata ile f_1 Hz'de tutulmaktadır. Bir süre sonra ikincil kontrolün devreye girmesi ile karakteristik "a" konumundan "d" konumuna taşınmakta ve sonuç olarak frekans yeniden f_0 anma değerine getirilmektedir. Bununla birlikte, bağlantı hattının da ikincil kontrolöre geri beslenmesi ile üretim kontrolü de yapılarak, enterkonnekte sisteme

bağlı üretim alanları arasındaki anlaşmalara bağlı yük paylaşımı da sağlanmış olmaktadır (Elgerd, 1982).

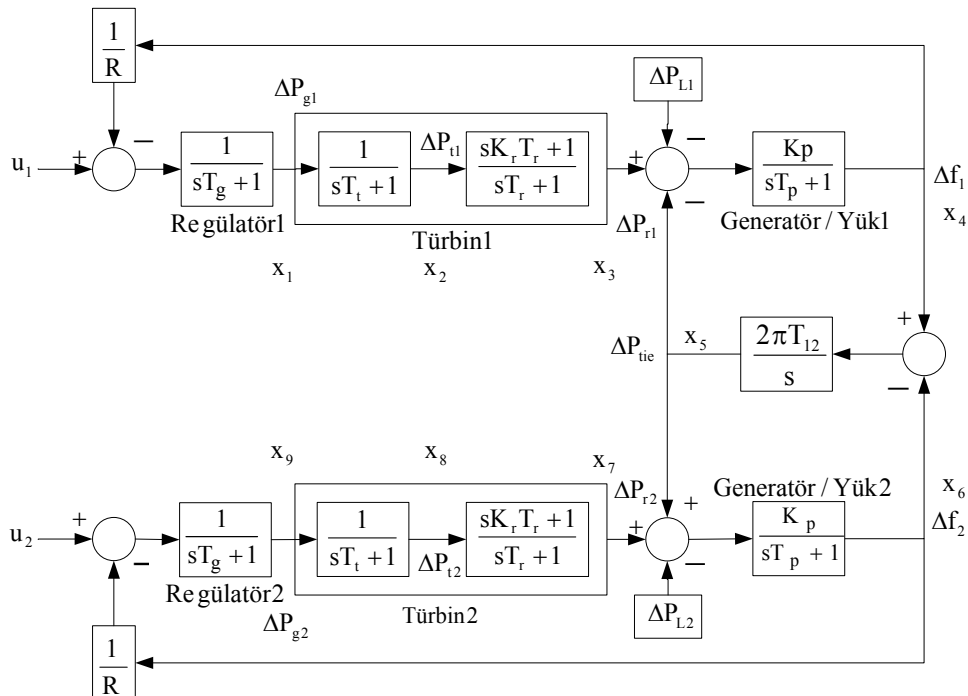
ARA-ISITMALI TERMAL GÜÇ SİSTEMİ MODELİ

Çalışmada, iki bölgeli bir termal güç sistemi modeli üzerinde çalışılmış, modelde generatörleri hareketlendirmek ve kontrol etmek üzere ara-ısıtmalı termal türbinler kullanılmıştır. Bu tip türbinler, buharın iki türbin arasında ara-ısıtıcılarla tekrar ısıtılarak yeniden enerjilendirildiği birkaç türbin katından oluşan ve bu sayede verimi arttırılmış türbinlerdir. Genellikle büyük santrallerde kullanılır.



Şekil 3. Tek ara-ısıtmalı türbin modeli.

Sistem modelinde kullanılan türbin modeli, tipik değeri 4 ile 10 s. arasında T_r zaman sabitine sahip, Şekil 3'de belirtilen tek ara-ısıtmalı türbin modelidir (Elgerd, 1982). Güç sisteminde kullanılan parametreler ve kullanılan değerleri Tablo 1'de belirtilmiştir.



Şekil 4. İki bölgeli ara-ısıtmalı güç sistemi modeli.

Tablo 1. Ara-ısıtmalı türbin içeren iki bölgeli güç sistemine ait parametre değerleri.

Parametre	Değeri
Regülatör kazancı (Kh)	1
Türbin kazancı (Kt)	1
Regülatör zaman sabiti (Th)	0.08 s.
Türbin zaman sabiti (Tt)	0.3 s.
Regülasyon katsayısı (R)	2.4 Hz/p.u.MW
Senkronizasyon sabiti (T12)	0.086 p.u.MW/rad.
Generatör/Yük kazancı (Kg)	120 Hz/p.u.MW
Generatör/Yük zaman sabiti (Tg)	20 s
Ara-ısıtma kazancı (Kr)	0.5
Ara-ısıtma zaman sabiti (Tr)	10 s
Frekans kutuplama katsayısı (B)	0.425 p.u.MW/Hz

Sistemin, Şekil 4'te belirtilen model üzerinde tespit edilen durumlarını içeren ve Eş. (1)'de belirtilen durum uzayı modeli, aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\dot{X} = A.x + B.u + L.d \quad (1)$$

Eş. (1)'de A sistem matrisi, B giriş matrisi ve L bozucu giriş matrisidir. x(t), u(t) ve d(t) ise sırasıyla durum, kontrol ve yük değişim vektörleridir. Belirtilen vektörleri elde etmek üzere sistemin durum denklemleri aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\dot{x}_1 = -\frac{1}{T_{g1}}x_1 - \frac{1}{R_1 T_{g1}}x_4 + \frac{1}{T_{g1}}u_1 \quad (2)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{T_{t1}}x_1 - \frac{1}{T_{t1}}x_2 \quad (3)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{K_{r1}}{T_{t1}}x_1 + \frac{T_{t1} - K_{r1}}{T_{t1} \cdot T_{r1}}x_2 - \frac{1}{T_{r1}}x_3 \quad (4)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{K_{p1}}{T_{p1}}x_3 - \frac{1}{T_{p1}}x_4 - \frac{K_{p1}}{T_{p1}}x_5 - \frac{K_{p1}}{T_{p1}}\Delta P_{L1} \quad (5)$$

$$\dot{x}_5 = 2\pi T_{12}x_4 - 2\pi T_{12}x_6 \quad (6)$$

$$\dot{x}_6 = \frac{K_{p2}}{T_{p2}}x_5 - \frac{1}{T_{p2}}x_6 + \frac{K_{p2}}{T_{p2}}x_7 - \frac{K_{p2}}{T_{p2}}\Delta P_{L2} \quad (7)$$

$$\dot{x}_7 = +\frac{1}{T_{r2}}x_7 + \frac{T_{t2} - K_{r2}}{T_{t2} \cdot T_{r2}}x_8 + \frac{K_{r2}}{T_{t2}}x_9 \quad (8)$$

$$\dot{x}_8 = -\frac{1}{T_{t2}}x_8 + \frac{1}{T_{t2}}x_9 \quad (9)$$

$$\dot{x}_9 = -\frac{1}{R_2 T_{g2}}x_6 - \frac{1}{T_{g2}}x_9 + \frac{1}{T_{g2}}u_2 \quad (10)$$

Yukarıdaki durum denklemlerine göre modelde belirtilen sistemin durum uzayı matrisleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Modelde, kontrol alanlarında oluşan yük değişimleri bozucu vektörü olarak değerlendirilmiştir.

$$x = [\Delta P_{g1} \quad \Delta P_{t1} \quad \Delta P_{r1} \quad \Delta f_1 \quad \Delta P_{tie} \quad \Delta f_2 \quad \Delta P_{r2} \quad \Delta P_{t2} \quad \Delta P_{g2}]^T \quad (11)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & -\frac{1}{R_1 T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{T_{t1}} & -\frac{1}{T_{t1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{K_{r1}}{T_{t1}} & \frac{T_{t1} - K_{r1}}{T_{t1} T_{r1}} & -\frac{1}{T_{r1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{p1}}{T_{p1}} & -\frac{1}{T_{p1}} & -\frac{K_{p1}}{T_{p1}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\pi T_{12} & 0 & -2\pi T_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{K_{p2}}{T_{p2}} & -\frac{1}{T_{p2}} & \frac{K_{p2}}{T_{p2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{r2}} & \frac{T_{t2} - K_{r2}}{T_{r2} T_{t2}} & \frac{K_{r2}}{T_{t2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{t2}} & \frac{1}{T_{t2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{R_2 T_{g2}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{g2}} \end{bmatrix}^T \quad (13)$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{K_{p1}}{T_{p1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{K_{p2}}{T_{p2}} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (14)$$

$$d = [\Delta P_{L1} \quad \Delta P_{L2}]^T \quad (15)$$

PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık sürüsü optimizasyonu, genetik algoritmalara benzer olarak doğrusal ya da doğrusal olmayan fonksiyonların evrimsel optimizasyonu için türevsel optimizasyon yöntemlerine alternatif, iteratif bir yöntemdir. 1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından uçan kuş sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir (Kennedy ve Eberhart, 1995).

Algoritmada; problemin olası çözümlerini belirten bireyler, boyutu, optimize edilecek parametrelerin sayısı ile belirlenen d-boyutlu arama uzayında dolaşan parçacıklar ile tanımlanır. Her parçacık, arama uzayı içindeki uçuş doğrultusunu, kuş sürülerinde olduğu gibi kendisinin ve tüm sürünün uçuş doğrultusuna göre belirler. Yani, doğal seçim ile sonuca ulaşan evrimsel yöntemlerden farklı olarak parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden faydalanır. M adet parçacığın her biri d-boyutlu arama uzayında yine d-boyutlu birer diziyle gösterilir. Parçacıkların konum değiştirme ivmelenmeleri ise hız olarak tanımlanır ve d-boyutlu arama uzayında yine d-boyutlu birer diziyle belirtilir.

$$x_i = (x_{i1} \quad x_{i2} \quad x_{i3} \quad \dots \quad x_{id}) \quad i=1, 2, 3, \dots, M \quad (16)$$

$$v_i = (v_{i1} \quad v_{i2} \quad v_{i3} \quad \dots \quad v_{id}) \quad i=1, 2, 3, \dots, M \quad (17)$$

Buna göre, d-boyutlu arama uzayında dolaşan M adet parçacığın konumları ve hızları aşağıdaki matrislerle ifade edilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1d} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2d} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2} & x_{M3} & \dots & x_{Md} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1d} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2d} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{M1} & v_{M2} & v_{M3} & \dots & v_{Md} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Parçacıklar, arama uzayında o ana kadar elde ettikleri en iyi konuma doğru giden bir koordinat izleme eğilimi taşırlar. Her bir parçacığın en iyi konum bilgisi, parçacığın lokal en iyi konumu (p_i) adını alır ve aslında

parçacığın önceki deneyimini ifade eder. Lokal en iyi konum, her parçacık için d-boyutlu bir dizi ile belirtilirken, tüm parçacıklar için $M \times d$ boyutlu bir matris ile gösterilir.

$$p_i = (p_{i1} \quad p_{i2} \quad p_{i3} \quad \dots \quad p_{id}) \quad i=1,2,3,\dots,M \quad (20)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1d} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2d} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{M1} & p_{M2} & p_{M3} & \dots & p_{Md} \end{bmatrix} \quad (21)$$

P matrisindeki en iyi konum bilgisi ise tüm sürünün global en iyi konumu (g_i) olarak tanımlanır ve sürünün önceki deneyimini ifade eder. Global en iyi konum d-boyutlu bir dizi ile gösterilir.

$$g_i = (g_1 \quad g_2 \quad g_3 \quad \dots \quad g_d) \quad i=1,2,3,\dots,M \quad (22)$$

Optimizasyon, kavramsal olarak, parçacık hızlarının her bir nesilde kendi lokal en iyi konumlarına ve sürünün global en iyi konumuna göre belirlenmesine dayanır. Evrimsel gelişim sürecinde her bir parçacığın hızı ve konumu aşağıdaki eşitlikler ile güncellenir.

$$v_{iD}^{t+1} = w \cdot v_{iD}^t + c_1 r_1 (p_{iD}^t - x_{iD}^t) + c_2 r_2 (g_i^t - x_{iD}^t) \quad (23)$$

$$x_{iD}^{t+1} = x_{iD}^t + v_{iD}^{t+1} \quad (24)$$

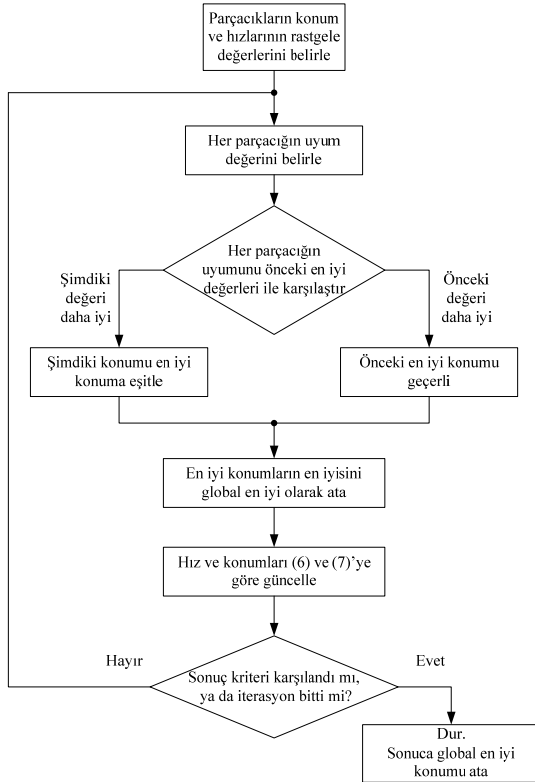
Burada c_1 ve c_2 katsayıları pozitif değerli ivmelenme sabitleridir ve parçacığın, lokal ve global en iyi konuma doğru adım boyunu belirlerler. Değerleri, genel olarak 0.2 ile 2 arasındadır. r_1 ve r_2 katsayıları ise değerleri her iterasyonda yenilenen, $[0, 1]$ aralığında normal dağılımlı rastgele sayılardır.

w, genellikle $[0.9, 1.2]$ aralığında doğrusal olarak azalan atalet ağırlığı terimidir ve hızın, hedefe yaklaştıkça azalmasını sağlamak amacıyla kullanılır. w'nin büyümesi "global arama yeteneğini" artırırken, küçülmesi "lokal arama yeteneğini" artırır.

$$w = w_{\text{maks.}} - T \cdot \frac{w_{\text{maks.}} - w_{\text{min.}}}{T_{\text{maks.}}} \quad (25)$$

Optimizasyonun performansı açısından, iterasyonun başlangıcında "global arama yeteneğinin", sonlarına doğru ise "lokal arama yeteneğinin" daha yüksek olması

istenir. Buna göre w atalet ağırlığının uygun şekilde ayarlanması önem kazanır. w 'nın doğrusal azaltılması Eş. (25) ile gerçekleşir (Eberhard ve Kennedy, 1995). Optimizasyonda Şekil 5'teki akış diyagramına göre aşağıdaki adımlar izlenir. Sonuçta elde edilen çözüm her zaman en uygun çözüm olmayabilir, ancak kesinlikle optimal çözümdür.



Şekil 5. PSO akış diyagramı.

•Belirlenecek parametreler için alt ve üst sınırlar belirlenir.

•Parçacıkların arama uzayındaki başlangıç konumları (x_i) ve hızları (v_i), belirlenen sınırlar içerisinde rastgele atanır.

•Parçacıkların uygunluk değerleri ve lokal en iyi konumları ile tüm sürünün en iyi konumu belirlenir.

•Her parçacığın uygunluk değeri, kendi lokal en iyi konumunun uygunluk değeri ile karşılaştırılır. Eğer parçacığın o anki konumunun uygunluk değeri daha iyiyse parçacığın konumu ve uygunluk değeri, lokal en iyi konumuna ve uygunluk değerine aktarılır.

•Lokal en iyi konum vektörünün en iyi uygunluk değeri, global en iyi konumun uygunluk değeri ile karşılaştırılır. Eğer lokal en iyi konum vektörünün en iyi uygunluk değeri daha iyiyse o parçacığın konumu ve uygunluk değeri, global en iyi konuma ve uygunluk değerine aktarılır.

•Parçacıkların hızları ve konumları Eş. (23) ve (24)'ye göre güncellenir.

•Süreç, iterasyon sayısı tamamlanincaya ya da belirlenen en iyi uygunluk değeri elde edilinceye kadar üçüncü adımdan itibaren tekrarlanır.

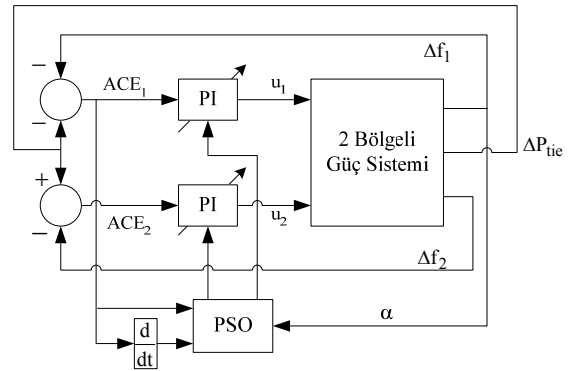
•Evrin sonunda elde edilen global en iyi konum,

problemin çözümü olarak alınır.

Parçacık sürüsü optimizasyonu, diğer evrimsel algoritmalara göre basit algoritması, yazılımının kolayca gerçekleştirilebilir olması, az iterasyonla sonuca kısa sürede yakınsaması gibi üstünlükleri ile 2000'li yılların başından itibaren elektrik güç sistemlerinde, birçok farklı konuya uygulanmıştır (Yang vd., 2007).

PSO TABANLI PI-KONTROLÖR

Çalışmada, daha önce modeli verilen iki bölgeli arasımalı termal güç sisteminde oran ve integral kazançlarının, PSO ile ayarlanan bir PI kontrolör ile kontrol edilmesi sağlanmıştır. Ayar işlemi bir optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve optimal sonuca ulaşmak için yeni bir hedef fonksiyonu türetilmiştir. Önerilen PSO-PI kontrolör içeren sistem Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Önerilen PSO ayarlı PI kontrol sistemi.

Türetilen hedef fonksiyonu, sistemin Eş. (26) ile belirtilen otomatik kontrol hatası ($ACE = e$), hatanın türevi (de/dt) ve frekans sapmasının aşım değerinin (α) sırasıyla k_1 , k_2 ve k_3 ağırlık katsayıları ile çarpımlarının toplamı kullanılarak elde edilmiştir. Türetilen hedef fonksiyonu Eş. (27)'de gösterilmiştir.

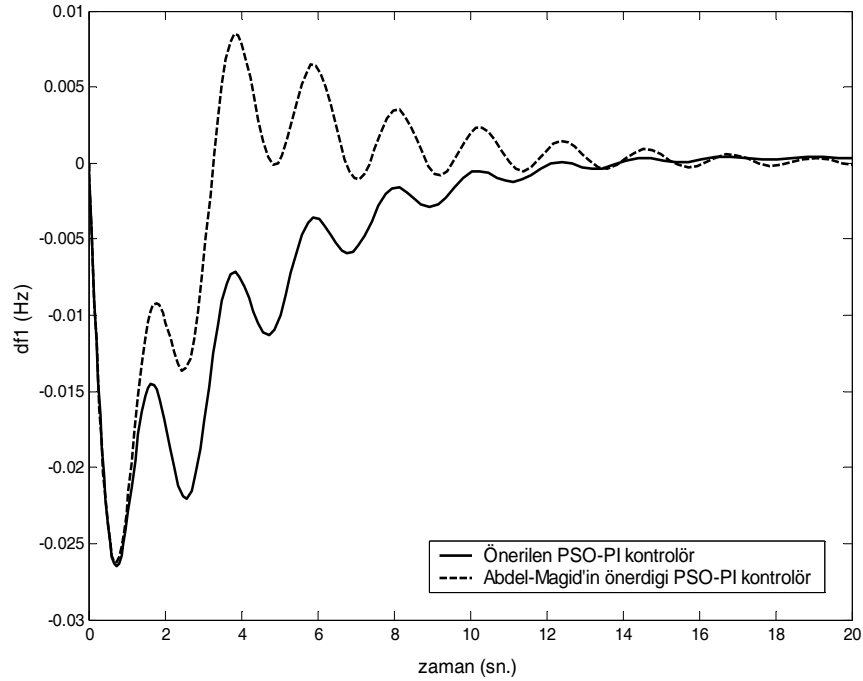
$$ACE_i = e_i = \Delta P_{tiei} + \Delta f_i \quad (26)$$

$$f = \sum_1^q \left(k_1 |e_i| + k_2 \left| \frac{de_i}{dt} \right| + k_3 |\alpha| \right) \quad (27)$$

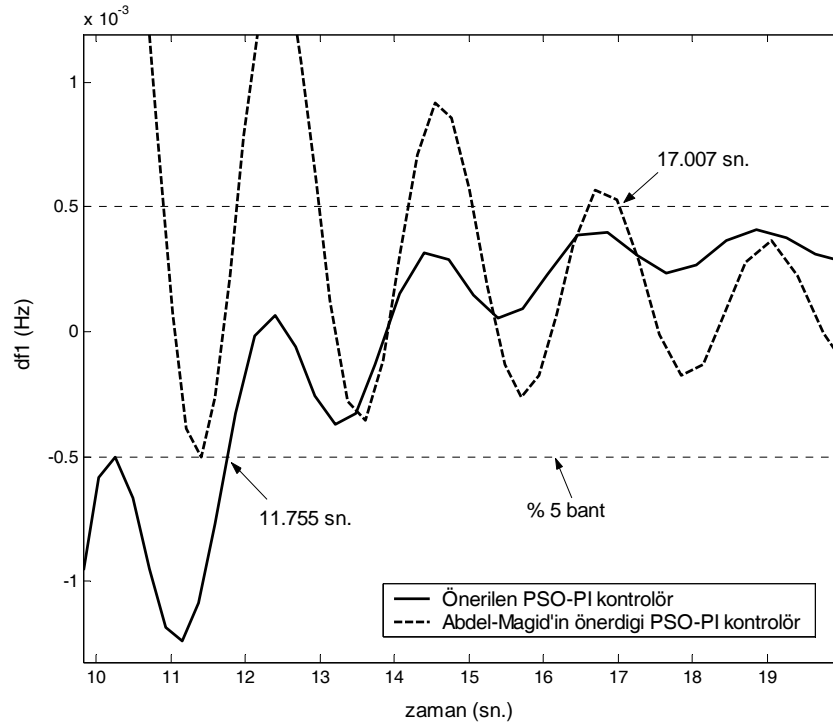
Hedef fonksiyonunda k_1 , k_2 ve k_3 ağırlık katsayıları deneme yoluyla, sırasıyla 4, 1 ve 10 olarak seçilmiştir. Sistemde, normal durumda, birinci bölgede 0.01 p.u.luk bir yük değişimi olduğu varsayılmıştır. Parçacık sürüsü algoritması yazılımında, üçüncü bölümde belirtilen standart algoritma kullanılmış, simülasyonlar MATLAB 6.5 yazılım ortamında, 1 GB RAM içeren 2 GHz Core2 işlemcili bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda, PSO-PI kontrolörün kazançları $[0, 1]$ aralığında optimize edilmiştir. İki boyutlu arama uzayında, sürüyü oluşturan parçacık sayısı 10 alınmış, yakınsamanın 50 iterasyonda gerçekleştiği gözlenmiştir.

Optimizasyon sonucunda elde edilen kontrolör kazançları Tablo 2’de, kontrol sonuçları ise Tablo 3’de, Tablo 4’te, Şekil 7’de ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Elde edilen geçiş cevabı incelendiğinde; negatif aşımın yaklaşık olarak aynı kalmasına karşılık, Tablo 3’de ve Şekil 7’de görüldüğü gibi birinci kontrol alanına ait frekans sapmasının oturma zamanında yaklaşık %30

oranında iyileşme sağlandığı; bununla birlikte, Tablo 4’ten de görüldüğü gibi frekans sapmasının pozitif aşım değerinde de yaklaşık %95 oranında azalma sağlandığı gözlenmiştir. Oturma zamanlarının belirlenmesinde, adım yük değişim miktarına göre %5’lik bant aralığı kullanılmıştır.



Şekil 7. Birinci kontrol alanı frekans sapması eğrileri.



Şekil 8. Birinci kontrol alanı frekans sapması oturma zamanı için yakın görüntüsü.

Tablo 2. Optimal PSO-PI kontrolör kazançları.

	Önerilen PSO-PI kontrolör	Abdel-Magid'in önerdiği PSO-PI kontrolör
K_P	0.0007	-0.036
K_I	0.1268	0.49

Tablo 3. Birinci kontrol alanına ait frekans saptması eğrilerinin oturma zamanları.

	Önerilen PSO-PI kontrolör	Abdel-Magid'in önerdiği PSO-PI kontrolör
Oturma zamanı (sn.)	11.755	17.007

Tablo 4. Birinci kontrol alanına ait frekans saptması eğrilerinin aşım değerleri.

	Önerilen PSO-PI kontrolör	Abdel-Magid'in önerdiği PSO-PI kontrolör
Pozitif aşım	0.0004123	0.00846
Negatif aşım	-0.2647	-0.2620

SONUÇ

Çalışmada; iki bölgeyi ara-ısıtmalı bir termal güç sisteminin yük-frekans kontrolünde, ikincil kontrolü gerçekleştiren oransal-integral (PI) kontrolörün kazançları, frekans kutuplama katsayısının (B) tipik değerinde sabit olduğu varsayılarak, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile ayarlanmış; sonuçlar, literatürde Abdel-Magid ve Abido'nun aynı model kullanılarak yaptıkları çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Abdel-Magid ve Abido'nun çalışmalarında da PSO kullanılmış olmasına rağmen; yapılan çalışmada, optimizasyon problemlerinde belirleyici faktör olan hedef fonksiyonunun uygun seçilmesi ile daha optimum sonuçlara ulaşılabilirliği göz önüne alınmıştır. Bu nedenle ayar işleminde, en uygun sonuca ulaşabilmek için otomatik kontrol hatası (ACE), hatanın türevi ve frekans saptmasının aşım değeri kullanılarak yeni bir hedef fonksiyonu türetilmiştir. Yeni hedef fonksiyonunun kullanılması ile optimizasyon sonucunda sistemin dinamik cevabı iyileştirilerek sistem kontrolüne optimal özellik kazandırılmış ve yük-frekans kontrolünün etkinliği artırılmıştır. Bununla beraber, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu kullanılması ile ayar işlemi, algoritmanın diğer evrimsel optimizasyon algoritmalarına göre basitliği, daha az kod satırına ihtiyaç duyması ve daha az iterasyonla sonuca yakınsayabilmesi nedeniyle daha kısa sürede gerçekleştirilebilmiştir.

KAYNAKLAR

Abdel-Magid, Y.L., Abido, M.A., AGC Tuning Of Interconnected Reheat Thermal Systems With Particle Swarm Optimization, *IEEE, ICECS*, 2003.

Al-Hamouz, Z., Al-Musabi, N., Al-Duwaish, H., A Tabu Search Approach For The Design of Variable Structure Load Frequency Controller Incorporating Model Nonlinearities, *Journal of Electrical Engineering*, 58, 5, 264-270, 2007.

Al-Hamouz, Z. M., Abdel-Magid, Y.L., Variable-structure load frequency controllers for multi area power systems, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 15 (5), 23-29, 1993.

Chang, C.S., Fu, W., "Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers", *Electric Power Systems Research*, 42, 145-152, 1997.

Çam, E., Application of fuzzy logic for load frequency control of hydroelectrical power plants., *Energy Conversion and Management*, 48, 1281-1288, 2007.

Çam, E., Kocaarslan, İ., "A Fuzzy Gain Scheduling PI Controller Application for an Interconnected Electrical Power System", *Electric Power Systems Research*, 73(3), 267-274, 2005.

Çam, E., Kocaarslan, İ., "Load Frequency Control in Two Area Power Systems Using Fuzzy Logic Controller", *Energy Conversion and Management*, 46(2), 233-243, 2005.

Demirören, A., Yeşil, E., Automatic generation control with fuzzy logic controllers in the power system including SMES units, *Electrical Power and Energy Systems*, 26, 291-305, 2004.

Eberhart, R.C., Kennedy, J., A New Optimizer Using Particles Swarm Theory, *Proc. Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya-Japan, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 39-43, 1995.

Elgard O.I., "Electric Energy Systems Theory", *Mc Graw-Hill*, New York, 1982.

Elgerd O.I., Foshia C.E., Optimum Megawatt-Frequency Control Of Multiarea Electric Energy Systems, *Transactions On Power Apparatus And Systems*, 89, 4, IEEE, April 1970.

Kennedy, J., Eberhart, R.C., Particles Swarm Optimization, *Proc. IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, IV:1942-1948, 1995.

Kocaarslan, İ., Çam, E., " Fuzzy logic controller in interconnected electrical power systems for load-frequency control", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 27(8), 542-549, 2005.

Kumar, A., Malik, O.P., Hope, G.S., Variable-structure-system control applied to AGC of an interconnected power system, *IEE Proceedings*, Vol. 132, Pt. C, No. 1,

23-29, January 1985.

Ogata K., Modern Control Engineering, *Pearson Education International*, Prentice Hall, 2002.

Shayeghi, H., Jalili, A., Shayanfar, H.A., Robust Modified GA Based Multi-Stage Fuzzy LFC, *Energy Conversion and Management*, 48, 1656–1670, 2007.

Taher, S.A., Hemati, R., Abdolalipour, A., Tabie, S.H., Optimal Decentralized Load Frequency Control Using HPSO Algorithms in Deregulated Power Systems, *American Journal of Applied Sciences*, 5 (9): 1167-1174, 2008.

Unbehauen, H., Keuchel, U., Kocaarslan, I., Real-Time Adaptive Control of Electrical Power and Enthalpy for a 750 MW Once-Through Boiler, *Proceedings of IEE*

International Control Conference 91, Edinburg, Scotland, Vol.1, 42-47, 25-28 March 1991.

Unbehauen, H., Kocaarslan, I., Experimental Modelling and Adaptive Power Control of a 750 MW Once-Through Boiler, *Proceedings of 11th IFAC World Congress, Tallin, SU*, 4, 226-231, 13-17 August 1990.

Unbehauen, H., Kocaarslan, I., Experimental Modelling and Simulation of a Power Plant, *Proceedings of European Simulation Multi Conference*, Nürnberg, Germany, 474 - 478, 10-13 June 1990.

Yang B., Chen Y., Zhao Z., Survey On Applications On Particle Swarm Optimization In Electric Power Systems, *International Conference On Control And Automation*, IEEE, Guangzhou-China, May 30 to June 1, 2007.



Haluk GÖZDE, 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. Halen, Gazi Üniversitesinde aynı dalda doktora öğrenimine devam etmektedir.



M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU, Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yaptı. Wales Collage Of Cardiff Üniversitesi Elektrik Elektronik ve Sistem Mühendisliği Anabilim Dalında doktora derecesini aldı. Prof.Dr. M.Cengiz Taplamacıoğlu, halen Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yürütmektedir.



İlhan KOCAARSLAN, 1983 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1985 yılında aynı üniversitede yüksek lisansını tamamladı. Bochum Ruhr Üniversitesinde 1986 yılında yüksek lisans, 1991 yılında doktora derecelerini aldı. Kırıkkale Üniversitesinde 1993 yılında doçent, 1999 yılında profesör oldu. 1999-2004 ve 2006-2008 yıllarında Kırıkkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı yaptı.



Mehmet Akif ŞENOL, 1981 İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi mezunudur. İTÜ'de Yüksek lisans eğitimini Enerji İletim Sistemleri üzerine yapmış olup Doktora eğitimi ise Yüksek Gerilim Tekniği üzerinedir. Halen Gazi Üniversitesinde Enerji Dağıtım, Elektrik Malzeme Bilgisi, Elektrik Mühendisliğinin Prensipleri derslerini vermektedir. Ayrıca Kırıkkale Üniversitesinde de Yüksek Gerilim Tekniği, Enerji İletim Sistemleri derslerini vermektedir.