

Modern Optimizasyon Yöntemleri (ABC, PSO) ile Yük-Frekans Kontrolü Load-Frequency Control with Modern Optimization Methods (ABC, PSO)

İlhan Kocaarslan¹, K. Koray Gümüş¹, Emrah Bal¹, Hasan Tiryaki¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İstanbul Üniversitesi

ikarslan@istanbul.edu.tr, kgumus87@gmail.com, e.emrahbal@gmail.com, hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr

Özet

Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amacıyla çok sayıda elektrik üretim santralından oluşan enterkonnekte güç sistemleri oluşturulmuştur. Bu sistemlerde kontrol edilmesi gereken parametrelerden birisi olan frekansın kararlı bir aralıkta tutulması büyük önem arz etmektedir. Bunun için çeşitli kontrol yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; literatürde son yıllarda yaygınlaşan Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization-PSO) ve Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony- ABC) yöntemleriyle; tek bölgeli yük-frekans sisteminin genel modelini kontrol eden PID kontrolörün parametreleri optimize edilmiştir. Nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla; PSO ile optimize edilen PID kontrolör (PSO-PID), ABC ile optimize edilen PID kontrolör (ABC-PID) ve literatürde yer alan bir PSO-PID (L-PSO-PID) kontrolör birbirleriyle karşılaştırılmışlardır.

Abstract

Nowadays, interconnected power systems consisting of a large number of power plants are established to meet the need of electrical energy. One of the major parameters of these systems is the frequency required to be kept in a stable range. In this respect, various control methods are used in the literature.

In this study, the parameters of PID controller that control the general model of single area load-frequency system are optimized by the methods of Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC) which are popularized in recent years. PID controller which is optimized by PSO (PSO-PID), PID controller which is optimized by ABC (ABC-PID) and another PSO-PID which was in the literature (L-PSO-PID) are compared each other to make an objective consideration.

1. Giriş

Bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için frekansın sabit kalması gerekmektedir. Bu da ancak güç dengesi ile mümkün olmaktadır. Burada bahsedilen güç dengesi üretilen aktif güç ile aktif yükler, kayıplar ve sistemin bağlantı hatları üzerinde akan aktif güçlerin toplamının birbirine eşit olması durumudur. Denge bozulduğu anda frekansta sapmalar oluşmaya başlar [1, 2, 3]. Sistem frekansının istenen değerde tutulabilmesi için jeneratörlerde hız ayarlayıcısı olarak türbinlerin kontrolü yapılmaktadır. Sonuç olarak güç sistemlerinde üretilen elektriğin ve frekansın değişen tüketime göre ayarlanması işlemine *"Yük Frekans Kontrolü" (Load – Frequency Control – LFC)* denir [4].

Bu çalışmada, bir yüksek lisans tezindeki verilerden yola çıkılarak tek bölgeli yük-frekans sisteminin genel modelini kontrol eden PID kontrolörün parametreleri optimize edilerek PSO-PID, ABC-PID ve L-PSO-PID kontrolörler karşılaştırılacaktır.

2. Tek Bölgeli Yük-Frekans Kontrolü

Tek bölgeli bir sistemde bulunan elemanların yük frekans kontrolüne uygun blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir;



Şekil 1: Tek bölgeli güç sistemi blok diyagramı [5]

2.1. Governor (Hız Regülatörü) Matematiksel Modeli

Hız regülatörü çıkışı, hız değiştiricinin pozisyonu ile belirlenen bir hız-yük referansı (ΔP_{ref}) ile karşılaştırılır. Elde edilen hata sinyali (ΔP_h) kontrol valfini kontrol etmek için kullanılır.

$$\begin{split} \Delta P_{h} &= \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta \omega \qquad (1) \\ \text{Hz regulator sabiti } (R_{u}) \text{ şu şekilde yazılabilir.} \\ R_{u} &= \frac{(f_{2} - f_{1})/f_{n}}{P_{Gn}/S_{n}} \qquad (2) \\ f_{2}: \text{Yüksüz durumda frekans (Hz)} \\ f_{i}: \text{Nominal güç çıkışında frekans (Hz)} \\ R &= R_{u} \frac{f_{n}}{S_{n}} = \frac{f_{2} - f_{1}}{P_{Gn}} \left(\frac{\text{Hz}}{\text{MW}}\right) \qquad (3) \\ P_{Gn}: \text{Jenerator ünitesinin nominal çıkış gücü (MW)} \\ S_{n}: \text{Megawatt baz değeri} \\ R: \text{Hz ayar karekteristiğinin eğim genliğidir.} \end{split}$$

R değeri üretim ünitesinin hız çıkış gücü karekteristiğini belirler. *R*, hız regülasyon sabiti veya kayması olarak tanımlanmaktadır. R hız bozulması ($\Delta \omega_R$) veya frekans bozulması (Δf)'nin, valf pozisyonu (ΔP_{vana}) ve güç değişimi (ΔP_h) oranına eşittir.

$$G_{\rm G}({\rm s}) = \frac{\Delta \dot{\rm P}_{\rm vana}}{\Delta P_{\rm h}} = \frac{1}{1 + {\rm sT}_h} \tag{4}$$

Burada T_h regülatör zaman sabitidir. Genelde 0.1 sn olarak kabul edilmektedir. Sistemin blok diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Hız regülatör sisteminin matematiksel modeli [4]

2.2. Türbin Matematiksel Modeli

Tahrik ünitesi, tüm türbinlerde jeneratörü süren kısımdır. Burada basit bir tahrik ünitesi modeli çıkarılıp, ön ısıtmasız türbinlerde kullanılacaktır. Ön ısıtmasız türbin modeli aşağıdadır;



Şekil 3: Tahrik ünitesi modeli [4]

Burada T_h ünitenin zaman sabitidir. Yüksek basınçlı türbinlerde bulunan ve Şekil 4'de gösterilen buhar haznesi bu zaman gecikmesini sağlamaktadır. Belirlenen vana pozisyonu ile harekete geçen türbin mekaniksel güç üretmektedir.



Sekil 4: Türbin blok diyagramı [4]

Buhar haznesi, valfteki buhar akışı ve yüksek basınçlı türbindeki buhar akışı arasındaki gecikme zamanı ile tanımlanır [4].

2.3. Jeneratör Matematiksel Modeli

Buhar türbini ile harekete geçirilen jeneratör, iki zıt momente sahip büyük bir kütle olarak düşünülebilir.



Sekil 5: Türbin-jeneratör sistemi fiziksel modeli [5]

Buhar enerjisi ile türbinde üretilen mekaniksel moment (T_m) dönüş hızını artıran etki göstermektedir. Buna karşılık yükün oluşturduğu elektriksel moment (T_e) , hızı azaltacak yönde etki etmektedir. Bu iki moment eşit olduğunda sistem sabit hızda $(w=w_0)$ olmaktadır. Elektriksel yük artırıldığında $T_e > T_m$ olmakta ve generatör yavaşlamaktadır. Bu durumda generatör yeniden hızlandırılır, aksi durumda generatör yavaşlatılır. Bütün bu işlemler güç sistemlerinde sürekli olarak tekrarlanır çünkü yük hiçbir zaman sabit değildir.

$$T_{g} = I \cdot \alpha \tag{5}$$

$$P_{g} = \omega \cdot T_{g} = \omega \cdot (I \cdot \alpha) = M \cdot \alpha$$
(0)

Burada T_g , makinenin net ivmelenme momentini, M makinenin açısal momentumunu, I eylemsizlik momentini, α

açısal ivmesini göstermektedir. Başlangıç durumunda bir tek dönen makine olduğu ve hızının w_0 faz açısının δ_0 (döner manyetik alan ile rotor ekseni arasında bulunan açı değeridir) olduğunu kabul edelim. Talep edilen yükün artması veya mekaniksel ve elektriksel bozulmalardan dolayı T_e ve T_m farklılaşacaktır. Bu durum generatör hızının artmasına veya azalmasına neden olacaktır. Hızlanma durumunda makinenin açısal ivmesi (α) ile açısal hızı (ω) arasındaki ilişki; $\omega = \omega_0 + \alpha t$ (8)

ise.

$$\Delta \delta = \int (\omega_0 + \alpha t) dt - \int \omega_0 dt$$

= $\omega_0 t + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha t^2 - \omega_0 t = \left(\frac{1}{2}\right) \alpha t^2$ (9)

olur. Anma açısal hızdan sapma Δw ise,

$$\Delta \omega = \alpha t = \left(\frac{u}{dt}\right) (\Delta \delta) \tag{10}$$

Faz açısı sapması, hız sapması ve net ivmelendirme momenti (T_g) arasındaki ilişki ise,

$$T_{g} = I . \alpha = I . \left(\frac{d}{dt}\right) . (\Delta \omega) = I . \left(\frac{d^{2}}{dt^{2}}\right) . (\Delta \delta)$$
(11) olur.

(12)

(13)

$$P_g = P_m - P_e$$

olarak sürekli durumdaki toplam net güç bulunur. $P_g = \omega_0. I. \frac{d\Delta\omega_0}{dt} = M. \frac{d\Delta\omega_0}{dt}$



Şekil 6: Türbin-Jeneratör sisteminin basite indirgenmiş blok diyagramı [4]

Frekans değişikliğine bağlı olarak yükün değişmesi aşağıdaki gibi modellenir:

$$\Delta P_{e} = \Delta P_{L} + \Delta P_{D}, \ \Delta P_{D} = D\Delta \omega, \ D = \Delta P_{D} / \Delta \omega$$
(14)

 ΔP_e : elektriksel güç çıkışı değişimi

 ΔP_L : frekansa duyarsız yük değişimi

 ΔP_D : frekansa duyarlı yük değişimi

D: yük sönümlenme sabiti

Sönüm sabiti, verilen yüzde yük değişimi için frekansta oluşan yüzde değişimdir. Tipik değeri %1-2 civarındadır. Örneğin %1.5'lik bir yük değişiminde %1'lik bir frekans değişimi varsa D=1.5/1=1.5 olur. Yük sönüm etkisi ile sistemin yeni hali Şekil 7'de gösterilmektedir;

$$\xrightarrow{\Delta_{\mathsf{Pm}}} \underbrace{1}_{\mathsf{M},\mathsf{s}*\mathsf{D}} \xrightarrow{\Delta_{\mathsf{W}}}$$

Şekil 7: Dönen kütle ve yükün indirgenmiş blok diyagramı

3. PID Parametrelerinin Optimizasyonu

3.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Yöntemi ile Optimize Edilen PID Kontrolör (PSO-PID)

PSO kullanarak sayısal problemlerin optimizasyonu, kuş sürülerinin sosyal davranışlarını esas alarak oluşturulmuştur. PSO'da, sürünün her bir bireyi (parçacık veya zeki birey denilebilir) çözüm uzayında dolaşmaktadır. Herbir parçacık optimizasyon probleminin birer aday çözümünü göstermektedir. Herhangi bir parçacığın pozisyonu, kendisinin daha önce ziyaret ettiği en iyi çözüm (kendi deneyimi) ve bütün sürüde ziyaret edilen en iyi konumdan etkilenmektedir. Burada bahsedilen en iyi pozisyon, bundan sonra isim olarak *global en iyi* olarak adlandırılacaktır. Herbir parçacığın performansı (global en iyi değere ne kadar yakın olduğu) uyumluluk (fitness) fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır.

İki boyutlu çözüm uzayında her parçacık XY koordinat düzleminde çözüm aramaktadır. Parçacığın hızı v_x ve v_y (X ve Y eksenleri boyunca hareket) ile tanımlanmaktadır. Her birey kendi en iyi değerini " p_{best} " değişkeni ile tanımlamaktadır. Bu parametre herbir bireyin kendi geçmişinin analojisidir. Her parçacık grubun en iyi değeri olan g_{best} bilgisini ve p_{best} bilgisini hafizasında tutmaktadır. Herbir bireyin pozisyon ve hızları aşağıda verilen denklem (15) ve denklem (16) kullanılarak hesaplanmaktadır [6].

$$\vartheta_{i}^{k+1} = \vartheta_{i}^{k} + c_{1} \operatorname{rand}_{1} \left(p_{\text{best}_{i}} - s_{i}^{k} \right) + c_{2} \operatorname{rand}_{2} \left(g_{\text{best}} - s_{i}^{k} \right)$$
(15)
$$s_{i}^{k+1} = s_{i}^{k} + \vartheta_{i}^{k+1}$$
(16)

Şekil 8, parçacık sürüsü optimizasyonu süresince arama noktasının hareketini göstermektedir [6]. Şekil 8'de s^k ve s^{k+1} sırasıyla geçerli ve yeni parçacık konumlarını göstermektedir. Aynı şekilde ϑ^k ve ϑ^{k+1} sırasıyla geçerli ve yeni hızlarını göstermektedir. ϑ_{pbest} ve ϑ_{gbest} , p_{best} ve g_{best} konumlarına göre hızları göstermektedir. Bu vektörlerin parçacığın konumunu değiştirmeleri aşağıda gösterilmiştir;



Sekil 8: Arama noktasının hareket prensibi [6]

Hızı belli bir oranda sönümlemek ve kontrol edilemeyen osilasyonların belli bir limit dahilinde tutulmasını sağlayabilmek için aşağıdaki denklemler kullanılır;

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{mn.})(\%10 \sim \%20)$$
(17)
$$v^{min.} = -v^{maks.}$$
(18)

v = -v (18) Aşağıdaki denklemde Clerc'in [7] yayınladığı metot ile parçacıklar *kısıtlama katsayıları* kullanılarak belli değerler arasında tutulmaktadır.

$$\vartheta_{i}^{k+1} = X[\vartheta_{i}^{k} + c_{1} \operatorname{rand}_{1} (p_{\operatorname{best}_{i}} - s_{i}^{k}) + c_{2} \operatorname{rand}_{2} (g_{\operatorname{best}} - s_{i}^{k})]$$
(19)

X, kısıtlama katsayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X = \frac{2}{\left|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}\right|}, \, \varphi = c_1 + c_2 \,, \varphi > 4 \tag{20}$$

Kısıtlama katsayısı sayesinde optimizasyonun ilerleyen zamanlarında parçacıklar tek bir noktaya yakınlaşmaya başlayacaktır. Şekil 9'da PSO adımlarının akış şeması verilmektedir;



Şekil 9: PSO adımlarının akış şeması [6]

Parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemini kullanmak amacıyla Matlab R2011b programında [8] bir yazılım geliştirilmiş ve tek bölgeli güç sistem modeli üzerinde optimizasyon yapılmıştır. Simulink modeli üzerinden e hata değerleri, her iterasyonda "hata.mat" dosyasına kaydedilerek optimizasyon yazılımına girdi yapılmıştır. Yazılımın asıl amacı; uyumluluk fonksiyonu olarak seçilen hatanın mutlak değerleri toplamını (Integral of Absolute Error-IAE) sıfıra yaklaştırmaktır.

Benzetim aşamasında parçacıkların hız aralıkları, denklem (17) ve denklem (18)'deki gibi belirlenmiştir.[9] Lokal ve global arama performanslarının dengelenmesi için Clerc'in denklem (19) ve denklem (20)'de belirtilen X katsayısı kullanılmıştır. Buna göre c_1 ve c_2 katsayıları 2.05 alınmıştır. Benzetim için parçacık sayısı 5, iterasyon sayısı ise 200 olarak belirlenmiştir. Hedef fonksiyon olarak ise "hatanın mutlak değerleri toplamı" fonksiyonu kullanılmıştır [5].

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak Tablo 1'de görüldüğü gibi belirlenmiştir;

Tablo 1: PSO-PID Parametreleri

КР	KI	KD	
50,5588	34,1966	16,0313	

Gözde ve diğ. [10] PSO algoritmasını kullanarak buldukları PID parametreleri Tablo 2' de verilmiştir;

Tablo 2: L-PSO-PID Parametreleri

КР	KI	KD
4,6977	4,2232	2,6212

3.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC) Yöntemi ile Optimize Edilen PID Kontrolör (ABC-PID)

Tipik bir bal arısı sürüsünün zeki davranışları, yiyecek arama stratejileri incelenmiş ve ABC algoritması çok boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümüne uyarlanmıştır. ABC algoritmasında gözcü ve işçi arılar besin kaynaklarının kullanılması işlemini, kaşif arılar ise yeni besin kaynaklarının bulunması işleminde görev almaktadırlar [11]. Algoritmanın ana adımları Tablo 3'de verilmiştir;

Tablo 3: ABC algoritmasının temel adımları [11]

1:	Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi	
2:	repeat	
3:	İşçi arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi	
4:	Olasılıksal seleksiyonda kullanılacak olasılık	
	değerlerinin görevli arılardan gelen bilgiye göre	
	hesaplanması	
5:	Gözcü arıların olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı	
	bölgesi seçmesi	
6:	Kaynağı bırakma kriteri: limit ve kaşif arı üretimi	
7: until çevrim sayısı = Maksimum çevrim sayısı		

3.2.1. Başlangıç Yiyecek Kaynağı Bölgelerinin Üretilmesi

Rastgele yer üretme süreci her bir parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üreterek denklem (21)'deki gibi gerçeklenir;

 $x_{i,j} = x_j^{min} + rand[0,1](x_j^{max} - x_j^{min})$ (21) Burada i=1...SN, j=1...D ve SN yiyecek kaynağı ve D ise optimize edilecek parametre sayısıdır. Aynı zamanda başlangıç aşamasında her kaynağın geliştirilmeme sayısını ifade eden *failure_i* değeri de sıfırlanmaktadır [11].

3.2.2. İsçi Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgelerine Gönderilmesi

Yeni kaynağın mevcut kaynak komşuluğunda belirlenmesinin benzetimi denklem (22) ifadesiyle tanılanmaktadır.

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j})$$
(22)

 x_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi (rastgele seçilen parametresi, *j*) değiştirilerek x_i komşuluğunda v_i kaynağı bulunur. $\varphi_{i,j}$ [-1,1] aralığında rastgele seçilen ağırlık faktörüdür.

Bu işlem sonucunda üretilen $v_{i,j}$ 'nin daha önceden belli olan parametre sınırlarını aşması durumunda *j*. parametreye ait olan alt veya üst sınır değerlerine ötelenmektedir.

$$v_{i,j} = \begin{cases} x_j^{\min} , & v_{i,j} < x_j^{\min} \\ v_{i,j} , & x_j^{\min} \le v_{i,j} \le x_j^{\max} \\ x_j^{\max} , & v_{i,j} > x_j^{\max} \end{cases}$$
(23)

Sınırlar dahilinde üretilen v_i parametre vektörü yeni bir kaynağı temsil etmektedir.

$$fitness_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & f_i \ge 0\\ 1+abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases}$$
(24)

Burada f_i , v_i kaynağının yani çözümün maliyet değeridir. x_i ile v_i arasında uygunluk değerlerine göre bir aç gözlü seçme işlemi uygulanır. Yeni bulunan v_i kaynağının yerini hafizaya alınır. x_i değeri geliştirilemezse *failure*_i bir artırılır [11]. 3.2.3. Gözcü Arıların Seleksiyonda Kullanacakları Olasılık Değerlerinin Hesaplanması (Dans Benzetimi)

$$p_{i} = \frac{fitness_{i}}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_{i}}$$
(25)

Burada *fitness_i*, *i*. kaynağın kalitesini, *SN* görevli arı sayısını göstermektedir[11].

3.2.4. Gözcü Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgesi Seçmeleri

Her bir kaynak için [0,1] aralığında rastgele sayı üretilir ve p_i değeri bu üretilen sayıdan büyükse görevli arılar gibi gözcü arı da (22) denklemi kullanarak bu kaynak bölgesinde yeni bir çözüm üretir. Sonra, yeni çözümle eski çözümün uygunluklarının karşılaştırılır. Yeni çözüm daha iyi ise bu çözüm alınır ve *failure_i* sıfırlanır. Eski çözümün uygunluğu daha iyi ise bu çözüm muhafaza edilir ve *failure_i* bir artırılır. Bu süreç tüm gözcü arılar için gerçekleştirilir [11].

3.2.5. Kaynağı Bırakma Kriteri: Limit ve Kaşif Arı Üretimi

Bir çevrim sonunda *failure*_i kontrol edilir. *failure*_i belli bir eşik değerinin üzerindeyse, artık bu kaynağın görevli arısının tükenmiş olan o çözümü bırakıp kendisi için başka bir çözüm araması gerekmektedir. Bu arı bir kaşif arıdır ve rastgele çözüm arama süreci başlar (denklem (21)). Temel ABC algoritmasında her çevrimde sadece bir kaşif arının çıkmasına izin verilir [11].

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak belirlenmiştir;

Tablo 4: ABC-PID Parametreleri

КР	KI	KD	
25	40.7511	8.6155	

4. Sonuçlar

Tasarımı yapılan PID'lerin güç sistemine uygulanabilmesi için Şekil 10'da görülen blok diyagram kullanılmıştır;



Şekil 10: Tek bölgeli güç sistem modeli

Benzetim aşamasında Matlab R2011b-Simulink [8] yazılımında sabit zaman adımı (*fixed step-0.01 sn*) ve çözümleyici olarak "*ode14x* (extrapolation)" yöntemi kullanılmıştır. Sistemde ayrıca bir basamak cevap girişi bulunmaktadır. ΔP_L ile gösterilen bu sabit giriş ile güç sisteminin gerçek sisteme uygunluk göstermesi sağlanmıştır [5]. PSO ve ABC Algoritmalarının, verilmiş olan sonuçlara ulaşılabilmesi için aşağıdaki uyumluluk fonksiyonu (IAE) kullanılmıştır.

 $F = 0.5x \int |e(t)| dt$ (26)

Benzetimde kullanılan sistem parametreleri Tablo 5'de verilmiştir;

Tablo 5: Tek bölgeli güç sistemi parametreleri [5]

Kazançlar		Zaman Sabitleri (sn)		
Kh	0,5	Th	0,04	
Kt	0,5	Tt	0,15	
Kg	60	Tg	10	

Bu çalışmada kullanılan tek bölgeli güç sistemi modeli ile elde edilen benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. L-PSO-PID, PSO-PID ve ABC-PID ait sonuçlar, kıyaslama için aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 11: Tek bölgeli güç sistemi modelinin frekans değişimi



Şekil 12: Aşma değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 13: Oturma zamanlarının karşılaştırılması

Oturma zamanlarına ait eğrilerde daha nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla % 0.005'lik bir bant kullanılmıştır. Sonuçların tümünü bir arada görebilmek amacıyla elde edilen değerler Tablo 6'da gösterilmiştir;

Tablo 6: Benzetim sonuçları

	L-PSO-PID	PSO-PID	ABC-PID
КР	4,6977	50,5588	25
KI	4,2232	34,1966	40,7511
KD	2,6212	16,0313	8,6155
Aşma Değeri (pu)	4,116 e-4	0,7993 e-4	0,7466 e-4
Oturma Zamanı (sn)	6,351	3,6274	2,793
IAE	2.2106	0.2339	0.2284

Sonuçlar ve Tablo 6'da görülen değerlerden de anlaşılabileceği gibi ABC-PID, tüm durumlar için söz konusu diğer iki kontrolöre nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bu tür sistemlerin kontrolü için; FGPI (Fuzzy Gain Scheduled PI), FGPID (Fuzzy Gain Scheduled PID) ve ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) kontrolörler ileride çalışılmak üzere düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Kocaarslan, İ. ve Çam, E., 2005, Fuzzy logic controller in interconnected electrical power systems for loadfrequency control, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 27(8), 542-549
- [2] Yalçın, E., Çam, E. Vardar, T., Lüy, M., 2010, PID Kontrolör ile İki Bölgeli Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün İncelenmesi, *Int.J.Eng.Research & Development*, 1 (2), 67-71.
- [3] Çam, E., 2004, Güç Sistemlerinde Yeni Kontrol Sistemlerinin Uygulanması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi.
- [4] Darçın, O., 2004, Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolü ve Sinir Ağlı Kontrol Uygulaması, Tez (Yüksek Lisans). Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi.
- [5] Gümüş, K., 2012, Güç Santrallerinde Primer Frekans, Yük Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Kennedy, J., Eberhart, R., 1995, Particle swarm optimization. 9. Neural Networks, 1995. Proceeding IEEE Conference on Nov/Dec, 1942-1948.
- [7] Clerck, M., 1999, The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization, *Proceedings of the Conference on Evolutionary Computation*, 1951-1957.
- [8] Matlab R2011b, Reference Manual, 2011.
- [9] Xu-zhou, L., Fei, Y., You-bo, W., "PSO Algorithm Based Online Self Tuning Of PID Controller", International Conference On Computational Intelligence and Security, 2007.
- [10] Gözde, H., Taplamacıoğlu, M.C., Kocaarslan, İ., Çam, E., 2008, Particle swarm optimization based load frequency control in a single area power system, University of Pitesti, Electronics and Computers Science, Scientific Bulletin, 2(8), 106-110.
- [11] Akay, B., 2009, Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Koloisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.