

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) Yönteminin Güç Sistemi Kararlı Kılıcısında (PSS) Uygulanması

Application of Particle Swarm Optimization (PSO) Method on Power System Stabilizer (PSS)

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

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Üniversitesi

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

Özet

Güç sistemlerinin kararlılığı, bir bozucu etkiye maruz kalan sistemin bozucu etki sonrası önceki çalışma koşullarına dönebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Dinamik yük değişimleri ve kontrolör etkilerinden dolayı sistemin enerji üretim kapasitesini etkileyen küçük salınımlar oluşmakta ve bu durum kararsızlığa sebep olmaktadır. Enerji üretim santrallerinde kararlılığı sağlayabilmek için Güç Sistemi Kararlı Kılıcı (Power System Stabilizer-PSS) kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; literatürde son yıllarda yaygınlaşan Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization- PSO) yöntemiyle bir senkron jeneratöre kumanda eden PSS'in parametreleri belirlenerek modern bir Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (PSO-PSS) elde edilmiş ve nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla Geleneksel Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (Conventional Power System Stabilizer-CPSS) ile karşılaştırılmıştır.

Abstract

Stability of power systems can be defined as the ability of regression to previous operation conditions of the system by the wake of exposing a perturbation effect. Small oscillations that affect energy production capacity of system occurs due to dynamical load variations and controller effects, hence instability emerges in system. Therefore, Power System Stabilizers (PSS) are used to ensure stability in power plants.

In this study; the parameters of PSS that control a synchronous generator are determined by Particle Swarm Optimization (PSO) method which popularized in recent years in the literature. Thereby a modern Power System Stabilizer (PSO-PSS) is obtained and compared with a Conventional Power System Stabilizer (CPSS) to make an objective consideration.

1. Giriş

Güç sistemleri doğrusal olmayan ve oldukça karmaşık sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çoğu zaman yetersiz sönümleme nedeniyle düşük frekanslı güç salınımları oluşturlar. Bazen de düşük frekans ve küçük genlikteki bu

salınımlar, uzun bir zaman periyodu için mevcuttur ve güç transfer kapasitesinde azalmaya sebep olurlar[1, 2]. Yüksek kazançlı otomatik gerilim düzenleyiciler, güç sistemi dinamik limitlerindeki artırıcı etkisine rağmen bazen de negatif bir sönümleme etkisi gösterebilirler. Sonuç olarak özellikle büyük birleşik sistemlerde kararsızlığa neden olurlar. Bu problemin üstesinden gelebilmek için, uyarım sistemine yardımcı, kararlı kılıcı bir sinyal ilave edilir. PSS'ler bu ilave sinyali sağlarlar. Bu şekilde aynı zamanda güç üretim sistemlerinin en önemli elemanı olan senkron jeneratörlerin de kararlılığı artırılmaktadır. PSS'lerin tasarımı için belirli bir çalışma noktası civarında doğrusallaştırılmış sistem modeli kullanılır. Basit bir yapıya sahip CPSS'lerde sabit parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin belirlenmesi ve optimize edilmesi büyük önem arz eder. Parametrelerin optimizasyonu konusunda çeşitli yöntemler olmakla birlikte son yıllarda ortaya çıkan ve üzerinde oldukça fazla çalışma yapılan sürü zekasına dayalı yöntemler öne çıkmaktadır[3, 4].

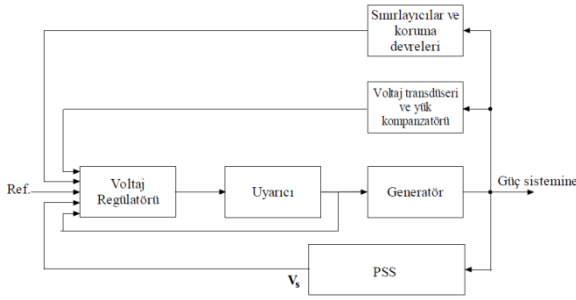
Bu çalışmada, bir yüksek lisans tezindeki verilerden yola çıkılarak bir güç sistemindeki PSS'in parametreleri PSO yöntemi ile optimize edilecektir. Ayrıca optimize edilen PSS ile CPSS karşılaştırılarak modern optimizasyon yöntemlerinden PSO'nun etkileri net olarak izlenebilecektir.

2. Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (PSS)

PSS, güç sistemi salınımlarının sönümlemesi için otomatik gerilim regülatörüne ilave giriş sinyali sağlar. PSS'in giriş sinyali olarak rotor hız değişimi yaygın olarak kullanılır. Ayrıca bara frekansı, hızlandırıcı güç (mekanik giriş gücü ile elektriksel güç arasındaki fark) ve elektriksel güç pratikte kullanılan giriş sinyalleri arasındadır[5].

Dinamik yük değişimleri ve kontrolör etkileriyle sistemin enerji üretim kapasitesini etkileyen küçük salınımlar oluşmaktadır. Enerji üretim birimi kontrollerinden uyarım kontrol sistemlerinin önemli bir parçası olan PSS'ler bu küçük salınımların sönümlemesinde kullanılırlar. Bu şekilde aynı zamanda güç üretim sistemlerinin en önemli elemanı olan senkron jeneratörlerin de kararlılığı artırılmaktadır.

Şekil 1'de bir uyarım sisteminin genel gösterimi yer almaktadır;



Şekil 1: Uyarım kontrol sisteminin fonksiyonel blok diyagramı [6]

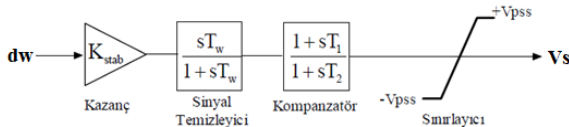
PSS'in temel fonksiyonu jeneratörün rotor salınımlarına sönümleme etkisi ilave etmektir. Bu da uyarıma ilave edilen kararlı kılıcı " V_s " sinyali ile sağlanır. Bu sinyal uyarım kontrol sisteminde gerilim hata sinyaline ilave edilir. PSS, sönümleme sağlamak için rotor hız değişimine karşın bir elektriksel moment bileşeni üretmelidir. Pratikte jeneratör ve uyarıcının transfer fonksiyonlarının kazanç ve faz karakteristikleri frekansa bağlıdır. PSS'in transfer fonksiyonu, uyarım girişi ve elektriksel moment arasındaki faz gecikmesini kompanse edebilecek uygun bir faz kompanzasyon devresini içermelidir. Tam bir kompanzasyon sağlanabilmesi için ideal olarak PSS'in faz karakteristiği, uyarıcı ve jeneratörün faz karakteristiklerinin tam tersi özellikte olmalıdır. Böylece PSS tüm salınım frekanslarında sadece sönümleme momenti üretir[7].

Hızlı uyarım ve yüksek gerilim değişim aralığına sahip modern uyarım sistemlerinde, PSS kullanımıyla senkronlama momenti ve sistem geçici hal cevabı üzerinde negatif sönümleme oluşmaktadır. PSS, hafif sönümleme içeren sisteme, faz-ilerlemeli hız sinyali sayesinde ilave bir sönümleme sağlamaktadır. Böylece uyarım sistemi ve uyarım sistem kontrolünün, rotor aç kararlılığı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu görülmektedir. Modern yaklaşımlarda yüksek kazançlı ve hızlı cevaba sahip bir uyarıcı ve PSS kombinasyonu kullanılır[8]. Bu şekilde hem geçici hal kararlılığının iyileştirilmesi sağlanmakta hem de küçük sinyal kararlılık karakteristikleri iyileştirilmektedir.

3. PSS Parametrelerinin Optimizasyonu

3.1. Geleneksel Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (CPSS)

CPSS, geri besleme üzerinde tasarlanmış faz ileri-faz geri (Lead-Lag) tipi bir kontrolördür. CPSS'in blok diyagramı Şekil 2'de, CPSS parametreleri ise Tablo 1'de verilmiştir;



Şekil 2: CPSS modeli [9]

Tablo 1: CPSS parametreleri

K_{stab}	T_w	T_1	T_2	$+V_{ss}$	$-V_{ss}$
16	2	0.08	0.027	0.25	-0.25

Söz konusu PSS, tek jeneratör için dayanıklılık, hızlı cevap verme ve geri besleme örnekleme ilkelerine göre tasarlanmıştır. Tasarımdan sonra PSS parametreleri farklı koşullar için optimize edilmiştir[9].

3.2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonlu PSS (PSO-PSS)

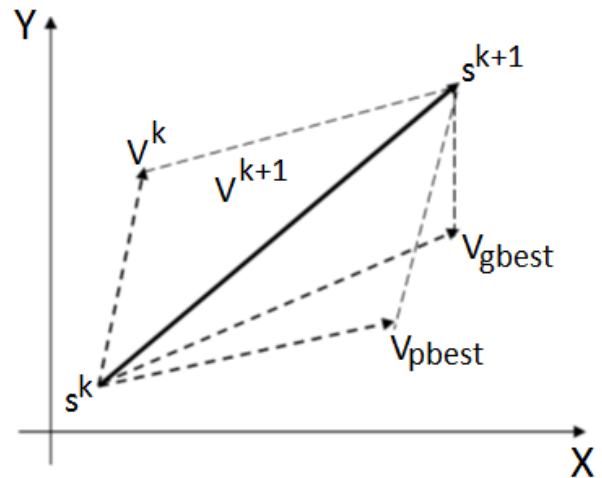
PSO kullanarak sayısal problemlerin optimizasyonu, kuş sürülerinin sosyal davranışlarını esas alarak oluşturulmuştur. PSO'da, sürünün herbir bireyi (parçacık veya zeki birey denilebilir) çözüm uzayında dolaşmaktadır. Herbir parçacık optimizasyon probleminin birer aday çözümünü göstermektedir. Herhangi 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 hafızasında tutmaktadır. Bu durumda herbir parçacık: kendi geçerli konumu (x, y), kendi geçerli hızı (v_x, v_y), kendi geçerli konumları ve p_{best} ile g_{best} konumları arasında olan mesafeyi kullanarak yeni konumunu belirlemektedir. Herbir bireyin pozisyon ve hızları aşağıda verilen denklem (1) ve denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır[10].

$$\theta_i^{k+1} = \theta_i^k + c_1 \text{rand}_1 \cdot (p_{best_i} - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \cdot (g_{best} - s_i^k) \quad (1)$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + \theta_i^{k+1} \quad (2)$$

Şekil 3, parçacık sürüsü optimizasyonu süresince arama noktasının hareketini göstermektedir[10]. Şekil 3'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;



Şekil 3: Arama noktasının hareket prensibi [10]

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

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{min.}) (\%10 \sim \%20) \quad (3)$$

$$v^{min.} = -v^{maks.} \quad (4)$$

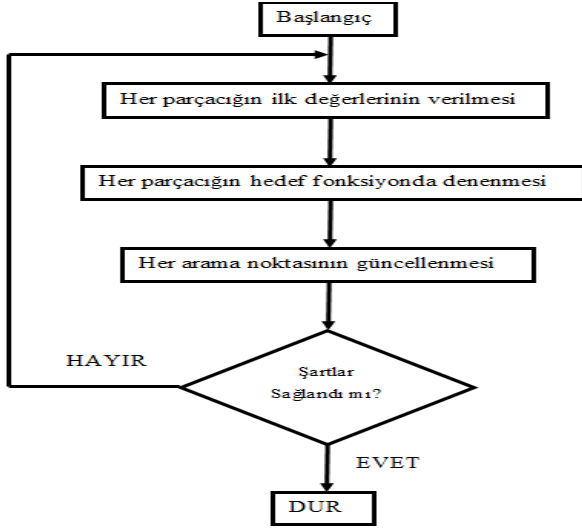
Aşağıdaki denklemde Clerc'in [11] yayınladığı metot ile parçacıklar *kısıtlama katsayıları* kullanılarak belli değerler arasında tutulmaktadır.

$$\theta_i^{k+1} = X[\theta_i^k + c_1 \text{rand}_1 \cdot (p_{best_i} - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \cdot (g_{best} - s_i^k)] \quad (5)$$

X, kısıtlama katsayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır (c_1 kavramsal katsayı, c_2 sosyal katsayı):

$$X = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}, \varphi = c_1 + c_2, \varphi > 4 \quad (6)$$

Kısıtlama katsayısı sayesinde optimizasyonun ilerleyen zamanlarında parçacıklar tek bir noktaya yaklaşmaya başlayacaktır. Aşağıdaki şekilde PSO adımlarının akış şeması verilmektedir;



Şekil 4: PSO adımlarının akış şeması [10]

PSO adımları aşağıdaki gibi açıklanabilir;

- Adım 1: Her parçacığın ilk değerlerinin verilmesi

Her parçacığın s_i^0 konumu ve θ_i^0 konumları belirlenen aralıkta rastgele verilir. Her parçacık için o anki p_{best} değeri geçerli konumları olarak atanır. En uygun değeri veren p_{best} değeri ise g_{best} değeri olarak atanır.

- Adım 2: Her parçacığın hedef fonksiyonda denenmesi,

Hedef fonksiyonu her parçacık için hesaplanır. Eğer, yeni hesaplanan değer p_{best} değerinin vermiş olduğu değerden daha iyi ise, p_{best} değeri ile değiştirilir. Eğer, p_{best} lerin en iyisi g_{best} değerinden daha iyi ise, g_{best} değeri yeni değer ile değiştirilir.

- Adım 3: Her arama noktasının güncellenmesi

Bütün parçacıkların konumları denklem (1) ve denklem (2) kullanılarak değiştirilir. Atalet katsayısının veya kısıtlama

faktörünün kullanılması durumunda ise; denklem (6) veya denklem (7) kullanılabilir.

- Adım 4: Sonlandırma şartlarının kontrol edilmesi

Sonlandırma şartlarına ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Sonlandırma şartlarının karşılanamaması durumunda optimizasyon işlemi Adım 1'den devam eder, şartlar sağlanmış ise, optimizasyon durdurulur.

Parçacık sürüşü optimizasyonu yöntemini kullanmak amacıyla Matlab R2011b programında [12] bir yazılım geliştirilmiş ve PSS 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. Aşağıda mutlak hata değerinin genel formülü verilmiştir;

$$IAE(t) = \int |e(t)| dt \quad (7)$$

Benzetim aşamasında parçacıkların hız aralıkları, denklem (3) ve denklem (4)'deki gibi belirlenmiştir.[13] Konum ve hız aralıklarının uygun seçilmesinin, yakınsama süresini büyük ölçüde kısalttığı görülmüştür. Lokal ve global arama performanslarının dengelenmesi için Clerc'in denklem (5) ve denklem (6)'da belirtilen X katsayısı kullanılmıştır. Buna göre c_1 ve c_2 katsayıları 2.05 alınmıştır. Simülasyon için parçacık sayısı 5, iterasyon sayısı ise 30 olarak belirlenmiştir. Hedef fonksiyon olarak ise "hatanın mutlak değerleri toplamı" fonksiyonu kullanılmıştır. [14]

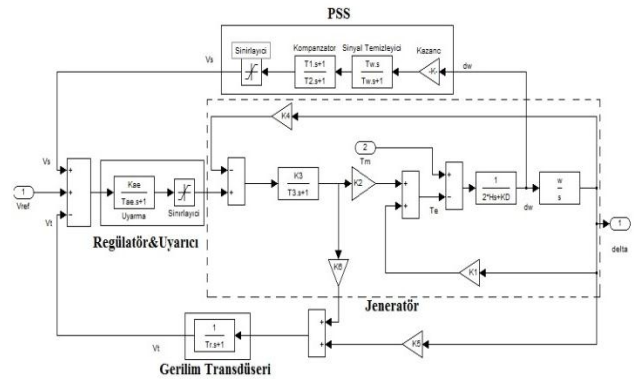
Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak belirlenmiştir;

Tablo 2: PSO-PSS Parametreleri

K_{stab}	T_w	T_1	T_2	$+V_{ss}$	$-V_{ss}$
21,8383	7,3406	0,0501	0,0054	0,25	-0,25

4. Sonuçlar

Tasarımı yapılan PSS'lerin güç sistemine uygulanabilmesi için Şekil 5'de görülen blok diyagram kullanılmıştır. Benzetim aşamasında buradaki PSS'lerin yerine sırasıyla CPSS ve PSO-PSS kullanılmıştır. Tüm benzetimler, MATLAB R2011b-mFile & Simulink yazılımları ile yapılmıştır.



Şekil 5: PSS'li güç sistem modeli

Benzetim aşamasında Matlab R2011b-Simulink [12] yazılımında sabit zaman adımı (*fixed step-0.01 sn*) ve çözümleyici olarak “ode14x (extrapolation)” yöntemi kullanılmıştır. Tüm benzetim uygulamaları için bozucu etki uygulama yeri olarak mekanik güç (T_m) girişi seçilmiştir. Bozucu etki, 1. saniyeden itibaren 0.5 saniyelik bir zaman dilimi (1-1.5 saniyeler arası) içerisinde ve 0.5 pu genlik ile sisteme uygulanmıştır[14].

Benzetimde kullanılan parametreler Tablo 3’de verilmiştir. Çalışma durumları ise Tablo 4’de verilmiştir;

Tablo 3: Benzetim parametreleri [9]

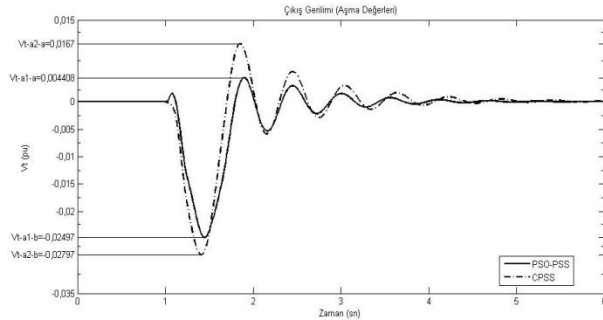
Vref	K _{ae}	T _{ae}	V _{rmax}	V _{rmin}	X _e	H	T _{do}	KD	f	T _r
0	100	0.02	6 p.u.	-6 p.u.	0.2 p.u.	5	6 sn	0	60 Hz	0.02

Tablo 4: Çalışma durumları [9]

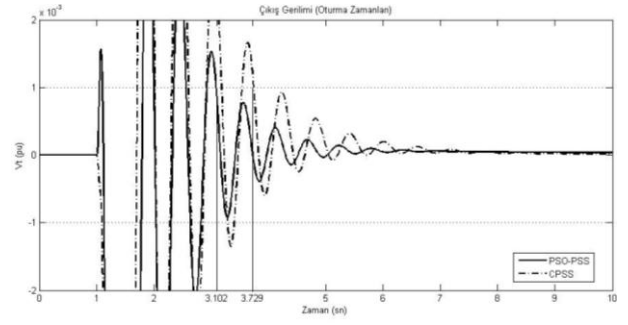
No	P	Q	X _e	K1	K2	K3	K4	K5	K6
1	0,600	0,0361	X _e	1,4336	1,5855	0,2889	2,0294	0,0194	0,2628
2	1,500	0,2303	X _e	1,6117	1,8883	0,2889	2,4170	-0,1524	0,1898
3	1,800	0,3352	X _e	1,5911	1,8987	0,2889	2,4303	-0,1717	0,1866
4	1,000	0,3333	3* X _e	0,7430	1,0776	0,4180	1,3794	-0,1739	0,4561

Senkron jeneratörlerin sistem modelleri yükleme koşullarına göre farklı çalışma durumu parametreleri içermektedir. Bu çalışma durumlarından 1 nolu çalışma durumu hafif yük koşulunu, 2 nolu çalışma durumu orta yük koşulunu, 3 nolu çalışma durumu ağır yük koşulunu, 4 nolu çalışma durumu ise reaktif yüklü koşulu temsil etmektedir [9].

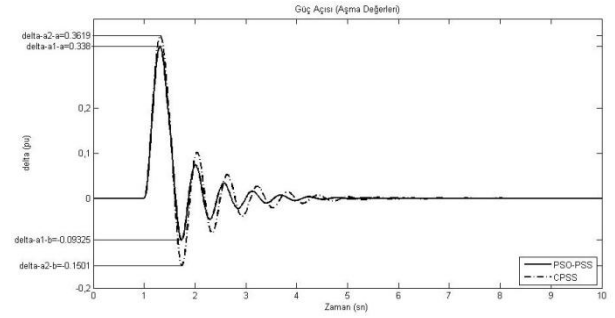
Bu çalışmada kullanılan sistem modeli benzetiminde 3. çalışma durumu üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Eğrilerde gösterilen çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız değerleri per unit (pu) cinsindendir. Her bir çıkış için “aşma değerleri” ve “oturma zamanları” olmak üzere ikişer adet eğri bulunmaktadır. CPSS’e ve PSO-PSS’e ait sonuçlar, kıyaslama için aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Oturma zamanlarına ait eğrilerde daha nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla % 0.1’lik bir bant kullanılmıştır.



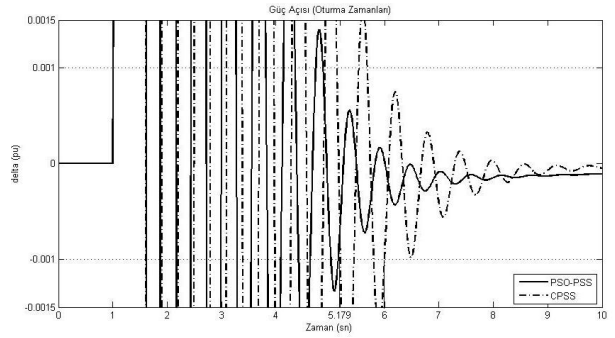
Şekil 6: Çıkış geriliminin aşma değerleri



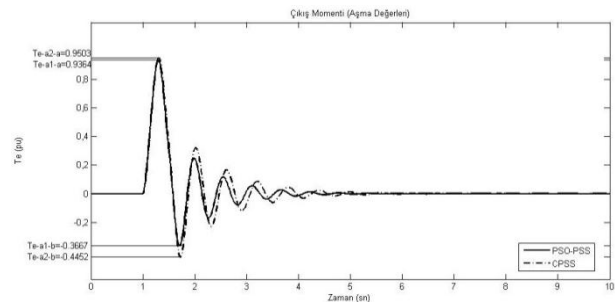
Şekil 7: Çıkış geriliminin oturma zamanları



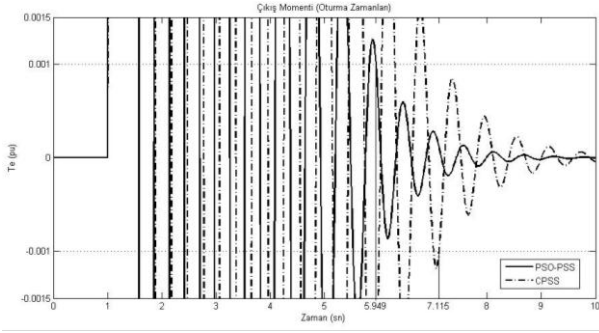
Şekil 8: Güç açısının aşma değerleri



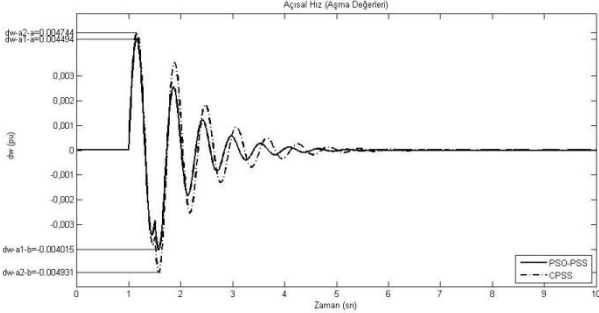
Şekil 9: Güç açısının oturma zamanları



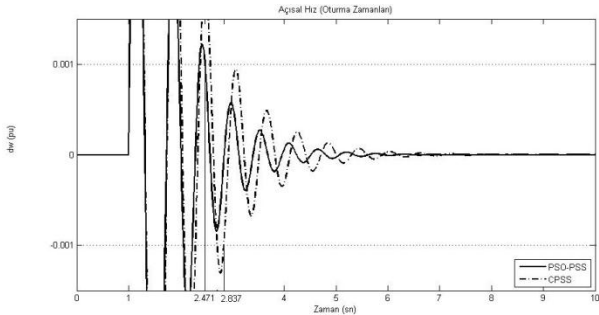
Şekil 10: Elektriksel çıkış momentinin aşma değerleri



Şekil 11: Elektriksel çıkış momentinin oturma zamanları



Şekil 12: Açışal hızın aşma değerleri



Şekil 13: Açışal hızın oturma zamanları

Tablo 5: Benzetim sonuçları

			PSO-PSS	CPSS
Çıkış Gerilimi (Vt)	Aşma Değerleri (pu)	Pozitif Bölge	Vt-a1-a = 0.004408	Vt-a2-a = 0.0167
		Negatif Bölge	Vt-a1-b = -0.02497	Vt-a2-b = -0.02797
	Oturma Zamanları (sn)		2.102	2.729
IAE		1.389	1.716	
Güç Açısı (delta)	Aşma Değerleri (pu)	Pozitif Bölge	delta-a1-a = 0.338	delta-a2-a = 0.3619
		Negatif Bölge	delta-a1-b = -0.09325	delta-a2-b = -0.1501
	Oturma Zamanları (sn)		4.179	5
IAE		16.958	21.856	
Elektriksel Çıkış Momenti (Te)	Aşma Değerleri (pu)	Pozitif Bölge	Te-a1-a = 0.9364	Te-a2-a = 0.9503
		Negatif Bölge	Te-a1-b = -0.3667	Te-a2-b = -0.4452
	Oturma Zamanları (sn)		4.949	6.115
IAE		49.593	59.997	
Açıl Hız (dw)	Aşma Değerleri (pu)	Pozitif Bölge	dw-a1-a = 0.004494	dw-a2-a = 0.004744
		Negatif Bölge	dw-a1-b = -0.004015	dw-a2-b = -0.004931
	Oturma Zamanları (sn)		1.471	1.837
IAE		0.3498	0.469	

Sonuçların tümünü bir arada görebilmek amacıyla elde edilen değerler Tablo 5'de gösterilmiştir. Bu veriler ışığında PSO-PSS, tüm durumlar için CPSS'e nazaran daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Bu tür sistemlerin kontrolü için; Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony-ABC) Optimizasyon yöntemiyle PSS'in parametrelerinin belirlenmesi veya PSS yerine FGPI (Fuzzy Gain Scheduled PI), FGPID (Fuzzy Gain Scheduled PID) ve ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) kontrolörler ilerde çalışılmak üzere düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Kocaarslan, İ. ve Çam, E., 2005, Fuzzy logic controller in interconnected electrical power systems for load-frequency control, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 27(8), 542-549
- [2] Çam, E. ve Kocaarslan, İ., 2005, A fuzzy gain scheduling PI controller application for an interconnected electrical power system, *Electric Power Systems Research*, 73(3), 267-274
- [3] Demirören, A. ve Zeynelgil, H. L., 2004, *Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 975-511-305-3.
- [4] Caner, M., 2006, *Hiyerarşik Fuzzy Yöntemiyle Senkron Generatörlerde Uyarım Kontrolü*, Doktora, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Padiyar K.R., 2004, *Power System Dynamics Stability and Control*, Anshan Limited, Yeni Delhi, 1-904798-01-2.
- [6] Kundur, P., 1994, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, New York, 0-07-035958.
- [7] Rogers, G., 1999, *Power System Oscillations*, Kluwer Academic Publishers, Springer; 1 edition.
- [8] Bourles H., Peres S., Margotin T., ve Houry M.P., 1998, Analysis and Design of A Robust Coordinated AVR/PSS, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.13, No.2, pp.568-573.
- [9] Gupta R., Bandyopadhyay B., Kulkarni A.M., 2003, Design Of Power System Stabilizer For Single Machine System Using Robust Fast Output Sampling Feedback Technique , *Electric Power Systems Research*, 65, 247-257.
- [10] Shi, Y., Eberhart, R.C., 1998, A modified particle swarm optimizer, *Proceeding of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 69-73.
- [11] 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.
- [12] Matlab R2011b, Reference Manual, 2011.
- [13] 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.
- [14] Bal, E., 2012, *Gerilim Kontrolünde Güç Sistemleri Kararlı Kılıcısı (GSKK) Uygulamaları ve Alternatifleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.