

İki Bölge Güç Sisteminde Parçacık Sürüsü Algoritması İle Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu

The Optimization Of Load-Frequency Control With Particle Swarm Algorithm In A Two Area Power System

Haluk Gözde¹, İlhan Kocaarslan², M.Cengiz Taplamacıoğlu³, Ertuğrul ÇAM⁴

^{1,3}Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gazi Üniversitesi
halukgozde@yahoo.com, taplam@gazi.edu.tr

^{2,4}Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kırıkkale Üniversitesi
ilhan@kku.edu.tr, cam@kku.edu.tr

Özet

Enterkonnekte güç sistemlerinde yük-frekans kontrolünün, sistemin değişen durumlarına karşı dayanıklılığı, sistemde üretilen enerji kalitesinin sürekliliği için büyük önem taşır. Bu çalışmada; iki bölge güç sisteminde, yük-frekans kontrolünü gerçekleştirmek amacıyla kullanılabilen integral (I) ve oransal-integral (PI) kontrolörlere ait oran ve integral kazançlarının, sisteme adaptif yapı kazandırmak maksadıyla Parçacık Sürüsü Algoritması (Particle Swarm Optimization-PSO) ile ayarlanması sağlanmıştır. Ardından, kendinden ayarlanmalı PSO-PI kontrolöre, aynı yöntemle optimize edilerek eklenen türevsel kontrol elemanının, sistemin performansına olan etkisi incelenmiştir. Önerilen PSO-PID kontrolör ile elde edilen sistem cevabında, PI kontrolöre eklenen türev elemanının, frekans hatasının aşım ve oturma zamanı ile bağlantı hattından akan gücün değişimini azaltıcı etki yaptığı gözlenmiştir.

Abstract

The robustness of Load Frequency Control for state changes of the system in interconnected power systems is vitally important for continuity of quality of energy which is generated in the system. In this study, it is provided that the proportional and integral gains of integral (I) and proportional-integral (PI) controllers which can be used to realizes to load-frequency control in a two area power system are tuned with the Particle Swarm Optimization (PSO) for the purpose of adaptive controlling of the system. Then, the effect of derivative control element which is added to the self-tuning PSO-PI controller with the same optimization method is examined on the system performance. At the response of the system obtained with the proposed PSO-PID controller, it is observed that the derivative control element which is added to the PI controller decreases in settling time and maximum overshoot of the frequency error and deviation of the tie-line power.

1. Giriş

Enterkonnekte güç sistemlerinde, sistemin kontrol edilmesinin öncelikli amacı, güç sistemini normal çalışma durumunda tutmaktır. Normal çalışma durumu; genel olarak, güç sisteminde tüm anlık yük taleplerinin karşılandığı, aktif ve reaktif güç dengesinin korunduğu, frekansın ve bara gerilimlerinin anma değerlerinde sabit tutulduğu ve sistemde aşırı yüklenmiş bir eleman bulunmadığı anlamını taşır [1].

Aslında, enterkonnekte sistemin frekansı büyük oranda, o sistemde üretilen ve tüketilen aktif güçlerin dengesine bağlı iken, bara gerilimleri ise reaktif güç dengesine bağlıdır. Örneğin, sistemin herhangi bir yerinde meydana gelen bir aktif güç dengesizliği, frekansta oluşturacağı değişim yoluyla tüm şebekede fark edilecektir. Bununla beraber, enterkonnekte sisteme bağlı endüstriyel yüklerin doğru çalışmasının büyük oranda kaliteli elektrik enerjisine bağlı olduğu dikkate alındığında; sürekli durumda, sistemdeki gerilim ve frekans hatasını kabul edilebilir değerlerin arasında tutabilmek için bu dengelerin 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 genel olarak bir integral (I) kontrolör kullanılır ve kontrolörün integral kazancı ayarlanarak, frekansın sürekli durum hatası minimize edilir [1]. Literatürde, integral kazancının belirlenmesi için klasik kontrol teorisinde mevcut ayar yöntemlerinin yanı sıra, sistemin yüksek mertebeli, doğrusal olmayan yapısından

dolayı yapay zeka tabanlı optimizasyon yöntemleri de ağırlıklı olarak kullanılmıştır. 1997’de Chang ve arkadaşları integral kontrol kazancını bulanık mantık kullanarak ayarlamış [2], benzer bir yöntemi 2007 yılında Shayeghi ve arkadaşları hibrit bir genetik algoritma-bulanık mantık yapısı kullanarak gerçekleştirmişler [3]. Bununla beraber literatürde, doğrusal olmayan yük ve/veya buna bağlı parametre değişimlerine karşı sistemin dayanıklılığını arttırmak amacıyla çeşitli dayanıklı kontrol yöntemleri de önerilmiştir [4].

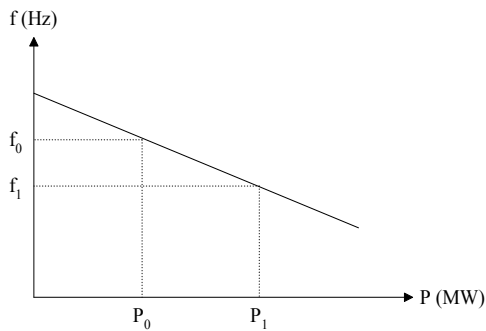
Bu çalışmada, iki bölgeli güç sisteminde yük-frekans kontrolünü sağlayan I ve PI kontrolörlerin oran ve integral kazançları, sistemin değişen durumlara karşı kendi kendine ayarlanabilen adaptif yapı kazanması maksadıyla Parçacık Sürüsü Algoritması kullanılarak ayarlanmış ve ardından, sisteme aynı yöntemle ayarlanarak eklenen türevsel kontrol elemanının sistem performansına etkisi incelenmiştir. 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.

2000’li yılların başından itibaren endüstriyel çalışmalarda kullanılmaya başlanan parçacık sürüsü algoritması; güç elektroniği alanında otomatik gerilim kontrolü (AVR) [6], Gerilim/VAR kontrolü [7] ve güç faktörü düzeltme sistemlerine [8, 9] uygulanmıştır.

Yük-frekans kontrolünde ise 2003 yılında, Abdel-Magid ve Abido tarafından tekrar ısıtmalı termal türbin içeren iki bölgeli bir güç sisteminde I ve PI kontrolörlerin K_p ve K_i kazançları ile frekans katsayısı B ’nin ayarlanmasında [10] ve 2008 yılında Taher ve arkadaşları tarafından yine iki bölgeli bir güç sisteminde PI ve I kontrolörlerin parametrelerinin genetik operatörler kullanan hibrit bir PSO ile optimize edilmesinde [11] kullanılmıştır.

2. Yük-Frekans Kontrolü

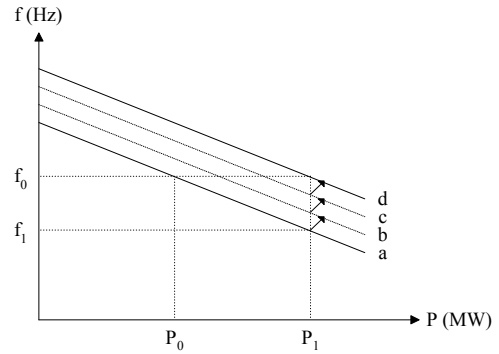
Enterkonnekte güç sistemi, birbirleri ile uyumlu üretim alanlarından oluşur. Böyle bir sistemde, normal çalışma şartlarında, yük değişimlerine karşı sistem frekansının anma değerinde sabit tutulması ve üretim alanları arasında bağlantı hatlarından akan gücün anlaşmalarla belirlenmiş sınırlar arasında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



Şekil 1: Yük-frekans karakteristiği.

Şekil 1’deki karakteristikten 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 arttırılır. Bunun sonucunda, üretilen gücün toplam yüke eşitlenmesi ile sistem frekansı, düşüm karakteristiğinin eğimine bağlı belirli bir sürekli durum hatasıyla anma değerine yaklaştırılır. Sistemde üretim kontrolü yapılmadığından, toplam yükü karşılamak için her üretim alanı, anlaşmalara bağlı kalmaksızın kendi büyüklüğü ile orantılı olarak üretim miktarını arttırır. Bu ise istenmeyen bir durumdur.

Integral kontrolör içeren ikincil kontrol döngüsünün devreye girmesi ile frekansta oluşan sürekli durum hatası, yük-frekans karakteristiğinin, Şekil 2’de gösterildiği gibi aşağı yukarı kaydırılması ile minimize edilir. Sonuç olarak sistem frekansı, anma değerine getirilmiş olur. Bununla birlikte, bağlantı hattının da ikincil kontrolöre geri beslenmesi ile enterkonnekte sisteme bağlı üretim alanları arasındaki anlaşmalara bağlı yük paylaşımı da sağlanmış olur [1].



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

3. Parçacık Sürüsü Algoritması

Parçacık sürüsü algoritması, 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 [5].

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, Genetik Algoritmalar gibi doğal seçim ile sonuca ulaşan evrimsel yöntemlerden farklı olarak parçacıklar, sonuca ulaşmak için kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden faydalanır.

Her bir parçacığın o ana kadar ulaştığı en iyi konum, o parçacığın lokal en iyi konumu (p_i) olarak tanımlanır ve aslında parçacığın önceki deneyimini ifade eder. Tüm parçacıkların o ana kadar elde ettikleri en iyi konum ise global en iyi konum (g_i) olarak tanımlanır ve sürünün önceki deneyimini ifade eder. Optimizasyon, kavramsal olarak,

parçacıkların 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.

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

$$x_{iD}^{t+1} = x_{iD}^t + v_{iD}^{t+1} \quad (2)$$

Burada c_1 ve c_2 sayıları 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 sayıları 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 'nın büyümesi global arama yeteneğini artırırken, küçülmesi lokal arama yeteneğini artırır.

$$w = w_{\text{maks.}} - T \cdot \frac{w_{\text{maks.}} - w_{\text{min.}}}{T_{\text{maks.}}} \quad (3)$$

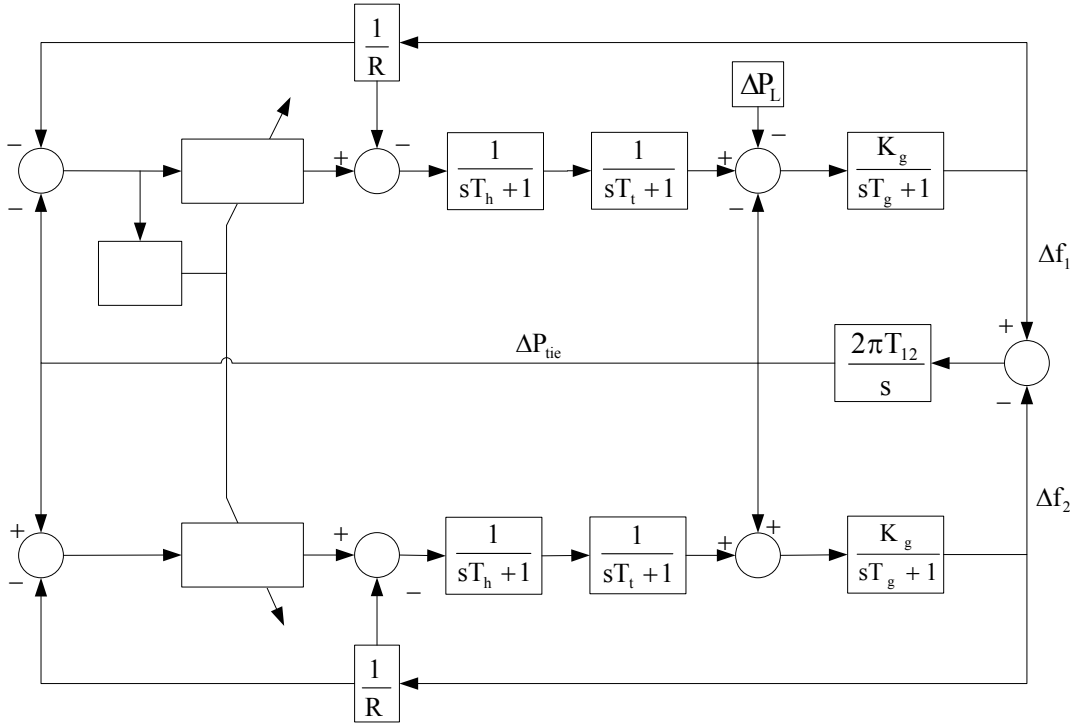
Optimizasyonun performansı açısından, iterasyonun başlangıcında global arama yeteneğinin, sonlarına doğru ise lokal arama yeteneğinin daha yüksek olması istenir. Buna göre w atalet ağırlığının uygun şekilde ayarlanması önem kazanır. w 'nın doğrusal azaltılması Eşitlik 3 ile gerçekleştirilir.

Optimizasyon işlemi için aşağıdaki adımlar izlenir.

- Belirlenecek parametreler için alt ve üst sınırlar belirlenir.

- Parçacıkların arama uzayındaki başlangıç konumları ve hızları, 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 iyi ise 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 iyi ise o parçacığın konumu ve uygunluk değeri, global en iyi konuma ve uygunluk değerine aktarılır.
- Parçacıkların hızları ve konumları Eşitlik 1 ve 2'ye göre güncellenir.
- Süreç, iterasyon sayısı tamamlanıncaya ya da belirlenen en iyi uygunluk değeri elde edilinceye kadar üçüncü adımdan itibaren tekrarlanır.
- Evrim sonunda elde edilen global en iyi konum, problemin çözümü olarak alınır.

Elde edilen çözüm her zaman en uygun çözüm olmayabilir, ancak kesinlikle optimal bir çözümdür. PSO, diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre yazılımı daha basit, daha az kod satırına ihtiyaç duyan ve daha az iterasyonla yakınsayabilen bir algoritma olması nedeniyle son yıllarda bir çok alanda kullanılan bir yöntem olmuştur.



Şekil 3: İkincil kontrol uygulanmış iki bölgeli güç sistemi modeli.

4. Kontrol Parametrelerinin Optimizasyonu

Önerilen PSO ayarlı I, PI ve PID kontrolörler, Şekil 3'te gösterilen iki bölgeli güç sistemine uygulanmıştır. Parçacık sürüsü algoritmasında, sonuca yakınsamak için kullanılacak minimizasyon fonksiyonu, kontrolör girişinden alınan Alan Kontrol Hatasının karelerinin toplamı (hkt) ile elde edilmiştir. i. alan için Alan Kontrol Hatası (AKH_i), Eşitlik 4 ile tanımlanır.

$$AKH_i = \Delta P_{tiei} + \Delta f_i \quad (4)$$

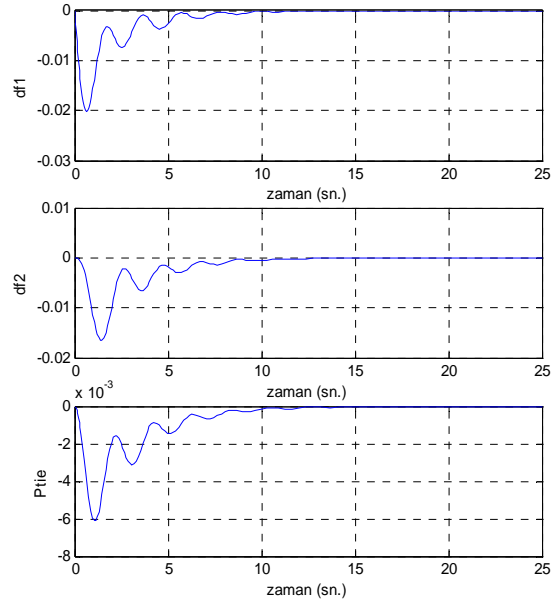
Buna göre, i. alan için alan kontrol hatasının karelerinin toplamı (hkt_i) Eşitlik 5 ile tanımlanır. Eşitliklerde Δf_i ve ΔP_{tie} sırasıyla alanların frekans sapmaları ve bağlantı hattı üzerindeki güç değişimidir.

$$hkt_i = \sum_1^q (\Delta P_{tiei} + \Delta f_i)^2 \quad (5)$$

İki bölgeli güç sistemine ait sistem parametreleri EK'te belirtilmiştir. Sistemde, normal durumda, birinci bölgede 0.01 p.u.luk bir yük değişimi olduğu varsayılmıştır. Parçacık sürüsü algoritması yazılımında, üçüncü bölümde belirtilen standart algoritma kullanılmıştır. Boyutu K_p , K_i ve K_D parametreleri ile belirlenen üç boyutlu arama uzayında, sürüyü oluşturan parçacık sayısı 5 alınmış, yakınsamanın 10 iterasyonda gerçekleştiği gözlenmiştir.

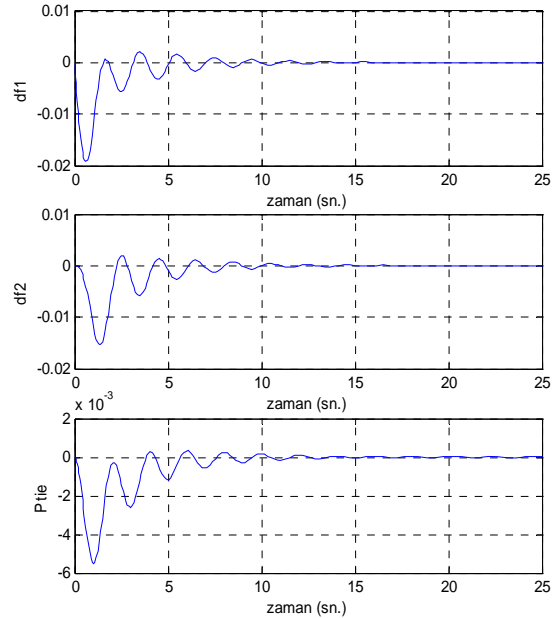
PSO yazılımı MATLAB programlama ortamında yazılmış, simülasyon için 2 GHz hızında çift işlemcili, 1 GB RAM içeren bir bilgisayar kullanılmıştır.

Simülasyonda, öncelikle integral kontrol uygulanmış, elde edilen PSO-I kontrolörün integral kazancı K_i [0, 1] aralığında optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir.



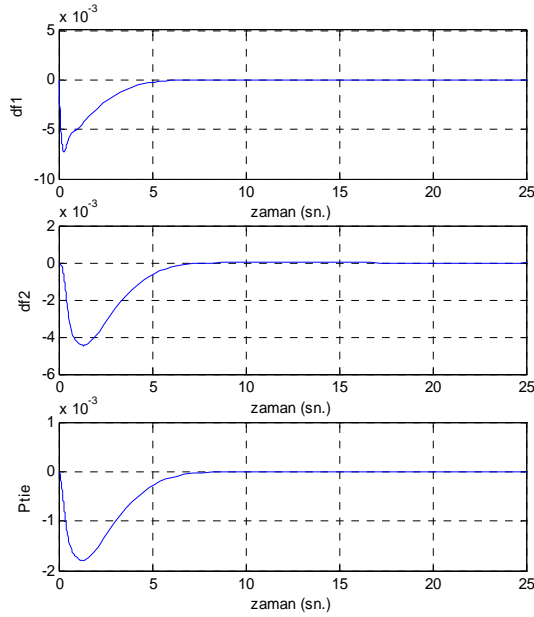
Şekil 4: PSO-I kontrol için frekans hatalarının ve bağlantı hattı gücünün değişim eğrisi.

Şekil 5'te, PSO-PI kontrolör ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Optimizasyonda K_p ve K_i kazançları [0, 1] aralığında ayarlanmıştır. Eğrilerden de izlendiği gibi frekansta birincil kontrol sonucunda oluşan sürekli durum hatası sıfıra çekilmiş ve maksimum aşım azaltılmıştır. Ancak pozitif aşım değerlerinde integral kontrolörle elde edilen sonuçlara göre artış olmuştur.



Şekil 5: PSO-PI kontrol için frekans hatalarının ve bağlantı hattı gücünün değişim eğrisi.

Son uygulamada sistemin kontrolü, türev elemanının eklenmesiyle elde edilen PSO-PID kontrolör ile yapılmış ve Şekil 6'daki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6: PSO-PID kontrol için frekans hatalarının ve bağlantı hattı gücünün değişim eğrisi.

Önerilen kontrolörde integral, orantı ve türev kazançları $[0, 1]$ aralığında ayarlanmış, eğrilerden de görüldüğü gibi maksimum aşım değerleri önemli oranda azaltılmıştır. Tablo 1'de uygulamaların sonunda elde edilen aşım değerleri ile Tablo 2'de bağlantı hattından akan güçlerin aşım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 1: Birinci kontrol alanında oluşan frekans sapması aşım değerleri

	Negatif (Maksimum) aşım	Pozitif aşım
PSO-I	-0.02015	0
PSO-PI	-0.01915	0.002069
PSO-PID	-0.007249	0.00002516

Tablo 2: Bağlantı hattından akan gücün aşım değerleri

	Negatif (Maksimum) aşım	Pozitif aşım
PSO-I	-0.006103	0
PSO-PI	-0.005523	0.0003236
PSO-PID	-0.001801	0.000004417

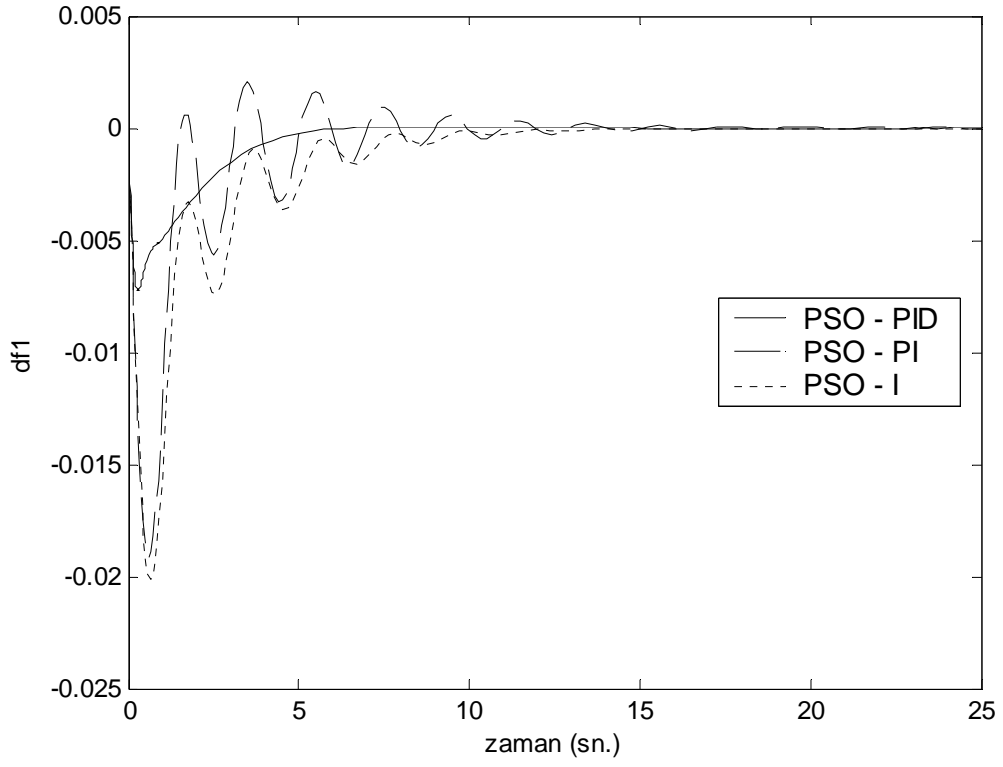
Şekil.7 ve Şekil.8 ile Tablo.1 ve Tablo.2'den görüldüğü gibi kontrole türev elemanının eklenmesi, sistem cevabında, yükselme zamanının artmasına sebep olmakla birlikte, maksimum aşımı ve oturma zamanını azaltarak sistem performansı üzerinde iyileştirici etki yapmıştır. Özellikle, bağlantı hattından akan gücün aşım değeri, PSO-I ve PSO-PI kontrolörlere göre yaklaşık %70 azaltılmıştır. Bunu anlamı, iki bölge arasındaki 0.01 p.u.'luk bir yük dengesizliğinde, önerilen PSO-PID kontrolör kullanıldığı takdirde, geçici durumda bağlantı hattı üzerinde yapılacak istenmeyen güç alış verişinin yaklaşık %70 oranında azaltılabileceğidir. Bu sayede, alanlar arasındaki üretim kontrolünün etkinliği artırılmaktadır. Bununla beraber, frekans sapması ve bağlantı hattından akan güç eğrilerinde, sönümleme sırasında oluşan osilasyonların da azaltıldığı gözlenmiştir.

5. Sonuçlar

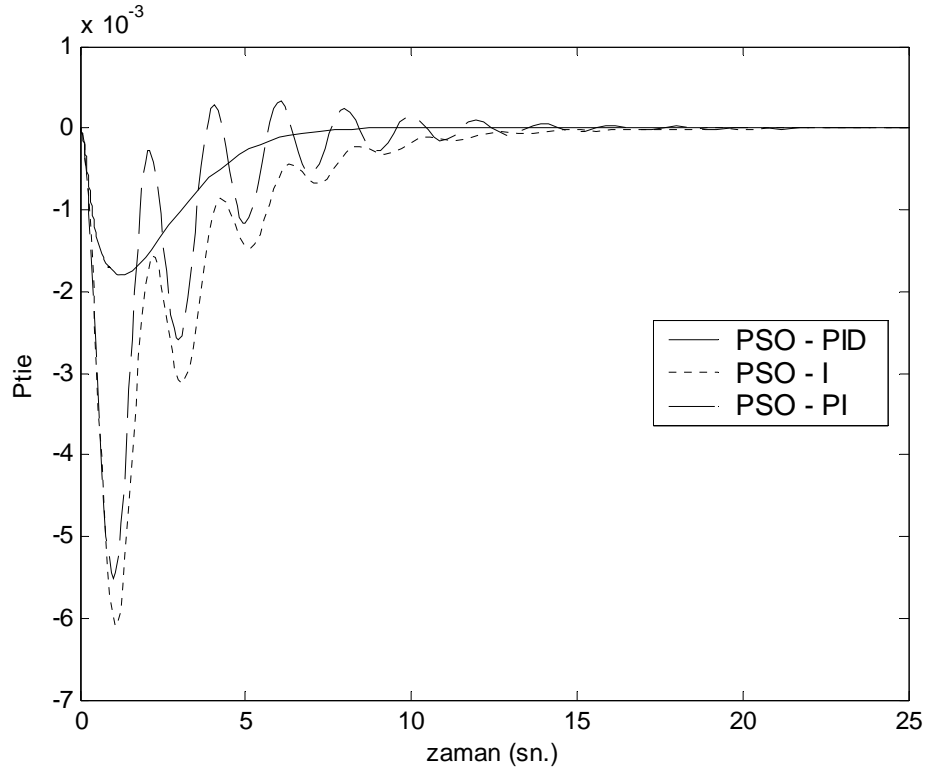
Çalışmada; iki bölgeli bir güç sisteminin doğrusallaştırılmış modeli kullanılarak, enterkonnekte güç sisteminin yük-frekans kontrolünde ikincil kontrol işlemini gerçekleştirmek için kullanılan integral (I), oransal-integral (PI) ve oransal-integral-türev (PID) kontrolörlerin kazançları, son yıllarda farklı disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanan ve iteratif bir optimizasyon yöntemi olan Parçacık Sürüsü Algoritması ile ayarlanarak optimize edilmiştir. Bu sayede kontrolöre, yük ve parametre değişimlerine karşı ayar yeteneği kazandırılarak adaptif çalışması sağlanmıştır.

Bununla beraber, PI kontrolöre türev elemanının eklenmesinin, sistem cevabında aşım ve oturma zamanı ile bağlantı hattında alanlar arasında yapılan istenmeyen güç değişimini büyük oranda azalttığı gözlenmiştir. Bu sayede, alanlar arasındaki üretim kontrolünün etkinliği artırılmıştır.

Ayrıca, kontrolör parametrelerinin Parçacık Sürüsü Algoritması ile ayarlanması sonucunda 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.



Şekil 8: Birinci kontrol bölgesi için frekans sapması eğrileri.



Şekil 9: Bağlantı hattıdan akan güçlerin değişim eğrileri.

6. Kaynaklar

- [1] Elgard O.I., Electric Energy Systems Theory., Mc Graw-Hill, New York, 1982.
- [2] C.S., Chang, Weihui Fu, Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers, Electric Power systems Research, 42, pp. 145-152, 1997.
- [3] Shayeghi, H., Jalili, A., Shayanfar, H.A., Robust Modified GA Based Multi-Stage Fuzzy LFC, Elsevier Energy Conversion and Management 48, 1656–1670, 2007.
- [4] 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, Vol. 58, No. 5, 264–270, 2007.
- [5] 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.
- [6] Gaing, Z-L., A Particle Swarm Optimization Approach For Optimum Design Of PID Controller In AVR System, IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol.19, No.2, June 2004.
- [7] Miranda, V. and N. Fonseca, New Evolutionary Particle Swarm Algorithm (EPSO) Applied to Voltage/VAR Control. The 14th PSCC Conf., Seville, Spain, 2002.
- [8] Al-Awami, A.T., A Particle-Swarmbased Approach Of Power System Stability Enhancement With UPFC. Elec. Power and Energy Syst., (29): 251-259, 2007.
- [9] Taher, S.A. and S.M.H. Tabei, A Multiobjective HPSO Algorithm Approach for Optimally Location of UPFC in Deregulated Power Systems. Am. J. Applied Sci., 5 (7): 835-843, 2008.
- [10] Abdel-Magid, Y.L., Abide, M.A., AGC Tuning Of Interconnected Reheat Thermal Systems With Particle Swarm Optimization, IEEE, ICECS, 2003.
- [11] Taher, S.A., Hemati, R., Abdolalipour, A., Tabei, S.H., Optimal Decentralized Load Frequency Control Using HPSO Algorithms in Deregulated Power Systems, American Journal of Applied Sciences 5 (9): 1167-1174, 2008.

Ek A

Regülator kazancı (K_h)	: 1
Türbin kazancı (K_t)	: 1
Regülator zaman sabiti (T_h)	: 0.08
Türbin zaman sabiti (T_t)	: 0.3
Regülasyon katsayısı (R)	: 2.4
Senkronizasyon sabiti (T_{12})	: 0.086
Generatör/Yük kazancı (K_g)	: 120
Generatör/Yük zaman sabiti (T_g)	: 20