

# YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI TABANLI KARARLI GÜÇ SİSTEMİ DENGELEYİCİSİ TASARIMI

**İbrahim EKE, M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU ve İlhan KOCAARSLAN\***

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06750, Ankara

\*Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, Avcılar 34320, İstanbul

[ibrahimeke@gazi.edu.tr](mailto:ibrahimeke@gazi.edu.tr), [taplam@gazi.edu.tr](mailto:taplam@gazi.edu.tr), [ilhankocaarslan@gmail.com](mailto:ilhankocaarslan@gmail.com)

(Geliş/Received: 18.01.2011; Kabul/Accepted: 24.03.2011)

## ÖZET

Bu çalışma, klasik güç sistemi dengeleyicisi (PSS) ile parçacık sürüsü optimizasyon tabanlı PSS yerine yapay arı kolonisi (ABC) tabanlı PSS kullanarak geniş alan çalışma bölgesinde güç sistem kararlılığını artırmak için güç sistem sönümleme performansını iyileştiren optimal PSS parametrelerinin elde edilmesini açıklamaktadır. Optimize edilen PSS'in parametreleri, güç sistem kalıcı durum kararlılığını gösteren hatanın mutlak değerinin toplamı olan performans indeksi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada tek makine (jeneratör) sonsuz güçlü bara (TMSGB) sistemi ile iki farklı uyarma sistemi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları tasarlanan ABC tabanlı PSS'in klasik ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritması tabanlı PSS'lere göre daha hızlı cevap ve daha iyi sönümleme verdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güç sistemi dengeleyicisi, yapay arı kolonisi algoritması, tek makine sonsuz güçlü bara sistemi, uyarma sistemi, parçacık sürüsü optimizasyonu.

## DESIGN OF ROBUST POWER SYSTEM STABILIZER BASED ON ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

### ABSTRACT

This paper describes the optimal tuning for the parameters of the power system stabilizer (PSS), which can improve the system damping performance within a wide region of operation conditions to enhance power system stability using artificial bee colony algorithm (ABC) based PSS instead of a conventional PSS and particle swarm optimization (PSO) based PSS. The parameters of the optimized PSS are obtained by minimizing a performance index based on integral of the absolute error (IAE) that shows steady state stability of power system. Single machine infinite bus (SMIB) system and two types of excitation system were used for the present work. The simulation results demonstrate that the proposed ABC based PSS performs well in damping and quicker response when compared with the other two PSSs.

**Keywords:** Power system stabilizer, artificial bee colony algorithm, single machine infinite bus system, excitation system, particle swarm optimization.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeni teknolojilerin kullanımı, güç talebinin kesintisiz ve istenen limitlerde gerilim ve frekans ihtiyacı, güç sistemlerinin kontrolünün karmaşıklığını artırmaktadır. Güç sistemleri elektrik enerjisi üretimi için ağırlıklı olarak senkron jeneratörlere bağlıdır. Sistemdeki jeneratörlerin senkronizasyonda kalması

ve kararlı çalışmaya devam etmesi sistemin düzgün çalışması için gerekli koşullardan biridir. Farklı arıza durumlarında (kısa devreler, üretim birimlerinin veya büyük güçlü tüketicilerin devre dışı kalması vb.) senkron jeneratörlerin senkronizasyondan çıkmalarına ve kararlılık sorunlarına neden olmaktadır [1].

Güç sisteminde meydana gelen, bozucu etkiler sonrasında senkron jeneratörlerin rotor açıları salınım yapar. Rotor açısı salınımının giderek azalarak belirli bir değere oturması kararlı çalışmayı, artması da kararsızlığı ifade eder [2]. Güç sistemlerinde oluşabilecek bozucu etkiler sonucu, mekanik ve elektriksel güç dengesinin bozulması durumunda; sistemin açısal kararlılığını koruyabilmesi için öncelikle yeterli senkronizasyon momentinin üretilmesi gereklidir. Bu sebepten senkron jeneratör uyarma kontrolü, güç sistem kararlılığı ve elektrik gücü kalitesinin sağlanmasında en önemli kriterlerden biridir. Uyarma sistemleri genellikle, yüksek kazançlı ve küçük zaman sabitine sahip sistemlerdir [3]. Bu sebeple sistem işletme koşullarında çabuk kompanzasyon yapabilecek kapasiteye sahiptir. Yüksek kazançlı uyarma kontrolü genellikle geçici kararlılığı sağlar, ancak bu durumda kontrolörün ani cevabında kalıcı düşük frekans salınımları oluşabilir. Bu da sistemde bulunan diğer makinelerle (jeneratörler) arasında dinamik kararsızlık oluşmasına yol açabilir [4].

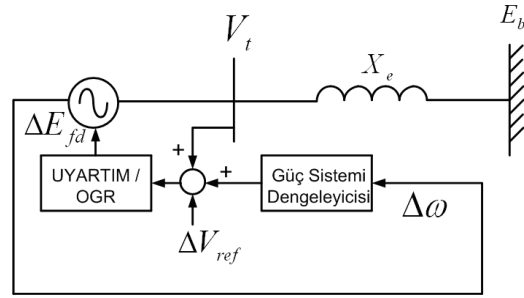
Güç sistemlerinde görülen salınımların sönümlenmesi ve böylece güç sisteminin dinamik kararlılığının iyileştirilmesi için, senkron jeneratör (SG) uyarma sistemine destekleyici bir kontrol işareti üreten ve etkin kontrol mekanizmalarına sahip olan güç sistemi dengeleyicisi (PSS) kullanımı özellikle modern sistemlerde hemen hemen zorunluluk haline gelmiştir. Bu güç sistemi dengeleyicisinin en temel fonksiyonu, jeneratörün rotor salınımlarını sönümlenektir. 1960' lardan sonra kullanılmaya başlayan PSS'ler, giriş işaretlerine göre sınıflandırılabilir. Bu sistemlerde güç sistemi dengeleyicisine giriş işareti olarak rotor hız sapması, rotor açısal değişimi, frekans, güç değişimi ve ivmelendirme gücü gibi işaretler seçilmektedir [5].

PSS tasarımına yönelik yapılan ve literatürde önemli bulunan çalışmalar; doğrusallaştırılmış modele dayalı, doğrusal olmayan modele dayalı ve sezgisel yöntemler olmak üzere 3 ana grupta incelenebilir. Doğrusallaştırılmış modele dayalı yöntemde, DeMello ve Concordia güç sistemlerinde görülen düşük frekanslı ve küçük genlikli salınımların analizinde tek makine sonsuz güçlü bara (TMSGB) sistemini kullanmışlardır [6]. Doğrusal olmayan modele dayalı yöntemde Rajkumar ve Mohler doğrusal olmayan ayrık zaman öngörülü kontrol ve geri beslemeli doğrusallaştırmaya dayalı kontrol olmak üzere 2 farklı kontrol tekniğini uygulamışlardır [7]. Sezgisel yöntemlerde ise yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma, diferansiyel gelişim algoritması ve parçacık sürüsü optimizasyonu gibi yöntemler ile PSS parametrelerinin ayarlanması üzerine çalışılmıştır [8]. Bu çalışmada, doğrusal modele dayalı yöntem olan TMSGB sistemi kullanılarak sezgisel yöntemlerden biri olan yapay arı kolonisi (ABC) Algoritması kullanılarak PSS parametreleri optimize edilmiştir. Tasarlanan ABC tabanlı PSS ile sezgisel

yöntemlerden biri olan parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması tabanlı PSS ve klasik PSS çıktıların karşılaştırılmaları yapılmıştır. İlave olarak doğrusal modele dayalı yöntemde kullanılan TMSGB sistemi ile PSS parametrelerinin ayarlanması, farklı uyarma sistemleri kullanılarak yapılmıştır. Sistemde iki tip uyarıcı (Statik ve AC veya DC Tip Uyarıcı), tüm PSS parametre ayarları için incelenmiş ve çıktılar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

## 2. GÜÇ SİSTEMİ MODELİ (POWER SYSTEM MODEL)

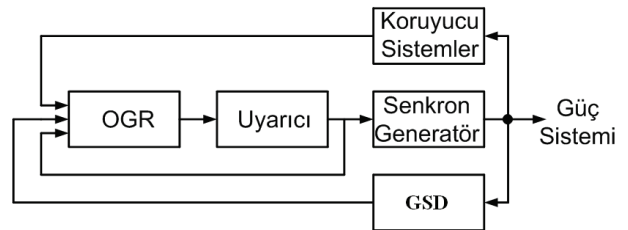
Güç sistemlerinde kararlılık analizi yapılırken genelde senkron jeneratörün bir iletim hattı üzerinden sonsuz güçlü bir şebekeye bağlı olduğu sistem modeli tercih edilir [9]. Tasarlanan ABC tabanlı PSS, kıyaslama yapabilmek amacı ile tasarlanacak olan klasik PSS ve PSO tabanlı PSS yapılarının performansı, Şekil 1'de basitleştirilmiş blok diyagramı ile gösterilen TMSGB sisteminde incelenmiştir.



Şekil 1. TMSGB (SMIB)

### 2.1 Uyarma Sistemi (Excitation System)

Uyarma sistemi, senkron jeneratörde (SG) üretilen çıkış gerilimini kontrol eder. Dolayısı ile SG çıkış geriliminin yanı sıra, güç faktörü, yük açısı ve hat akımı değerleri de uyarma sistemi ile değiştirilebilir [10]. Tipik bir uyarma sistemine ait fonksiyonel blok diyagramı Şekil 2'de görülmektedir.



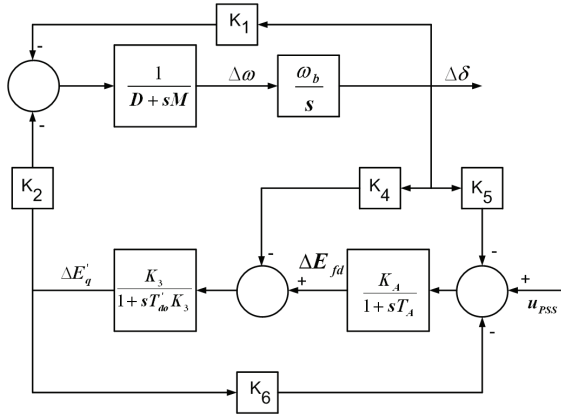
Şekil 2. Uyarma Sistemi (Excitation System)

Uyarma sistemi, uyarıcı ve otomatik gerilim regülatöründen (OGR) oluşmaktadır. Uyarıcı, senkron jeneratörün uyarma sargıları için gerekli olan doğru akımı üreten, uyarma sisteminin güç devresini oluşturan kısımdır [11]. Otomatik gerilim regülatörü, uyarma akımını kontrol ederek jeneratör uç

geriliminin ve reaktif gücün belirlenen değerlerde sabit kalmasını sağlayacaktır [12]. Yüksek kazanç ve küçük zaman sabitine sahip modern OGR sistemleri, güç sisteminin kararlılığı üzerinde birbirine zıt iki etkiye sahiptir. Uyarma sistemlerinde jeneratörü, uyarma sistemini ve sistemdeki diğer cihazları korumak amacı ile uyarma akımı sınırlayıcısı, uç gerilimi sınırlayıcısı vb. koruyucu elemanların bulunması gerekmektedir [13].

Uyarma sistemleri yıllar boyu gelişime uğramış ve son sistemlerde uyarma devresinin birincil kaynağına göre üç grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar DC, AC ve Statik uyarma sistemleridir [14]. DC uyarma sistemleri; uyarma gücü kaynağı olarak komitatörlü bir doğru akım jeneratörü kullanır. AC uyarma sistemleri; senkron jeneratör alan sargısı için gerekli olan DC akımın üretilmesinde duran veya dönen doğrultuculu alternatör kullanırlar. Statik uyarma sistemleri ise uyarma gücü kaynağı olarak transformatörleri veya yardımcı jeneratör sargıları ve doğrultucuları kullanırlar.

Uyarma sistemi ve PSS ilave edilmiş TMSGB sisteminin blok diyagramı Şekil 3'de görülmektedir [15].



**Şekil 3.** Doğrusallaştırılmış TMSGB Modeli (Linearized model of SMIB system)

Bu blok diyagramına ait matematiksel model Denklem 1-4 ile ifade edilmiştir.

$$\dot{\Delta\delta} = \omega_b \Delta\omega \quad (1)$$

$$\dot{\Delta\omega} = -\frac{K_1}{M} \Delta\delta - \frac{D}{M} \Delta\omega - \frac{K_2}{M} \Delta e_q' \quad (2)$$

$$\dot{\Delta e_q'} = -\frac{K_4}{T_{d0}} \Delta\delta - \frac{1}{T_{d0} K_3} \Delta e_q' + \frac{1}{T_{d0}} \Delta E_{FD} \quad (3)$$

$$\dot{\Delta E_{FD}} = \frac{K_A K_5}{T_A} \Delta\delta - \frac{K_A K_6}{T_A} \Delta e_q' - \frac{1}{T_A} \Delta E_{FD} + \frac{K_A}{T_A} U_{PSS} \quad (4)$$

Uyarma sistemi ve PSS ilave edilmiş TMSGB sisteminin durum uzay matrisi Denklem 5'te görüldüğü biçimde olacaktır.

$$\begin{bmatrix} \dot{\Delta\delta} \\ \dot{\Delta\omega} \\ \dot{\Delta e_q'} \\ \dot{\Delta E_{fd}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_b & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ \frac{K_4}{T_{d0}} & 0 & \frac{K_3}{T_{d0}} & \frac{1}{T_{d0}} \\ -\frac{K_A K_5}{T_A} & 0 & -\frac{K_A K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta\omega \\ \Delta e_q' \\ \Delta E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} U_{PSS} \quad (5)$$

### 3. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI (ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM)

Bilim adamları doğada bulunan canlılara ait sürü davranışlarından faydalanılabileceğini ve özellikle sistemlerin analizinde ve kontrolünde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Kuş sürülerinin göçlerindeki uçuş düzenleri, karıncaların yiyecek aramaları, balık sürülerinin birlikte yüzmesi veya kaçışması bu sürü davranışlarından sadece birkaçıdır. Son yıllarda ise biyologlar ile bilgisayar uzmanları "Yapay Yaşam" alanı kapsamı altında bu sürülerin davranışlarının nasıl modellenebileceği ve aralarındaki iletişim mantığı üzerinde ortak birçok çalışmalar yürütmektedirler [16]. Özellikle "Sürü Zekası" (Swarm Intelligence) adı verilen bu yaklaşımların, optimizasyon problemleri, robotbilim ve askeri uygulamalarda da başarılı olması bu konu üzerindeki çalışmaları yoğunlaştırmıştır [17].

Bir sürüde genel olarak kendi başına organize olabilmek ve iş bölümü gibi iki temel işlevi vardır [18]. Kendi başına organize olabilmek; bir sistemdeki temel birimlerin, diğer birimlerle etkileşimden aldıkları bilgileri kullanarak, kendi başlarına işlev görüp sistemin bütünü düzenlemeleridir. İş bölümü ise, topluluktaki bireylerin eş zamanlı olarak farklı işleri gerçekleştiriyor olmasıdır.

Sürü zekasındaki bu özellikleri temel alan ve sürünün davranışını modelleyen çeşitli metotlardan birisi de yapay arı koloni algoritmasıdır. Özellikle bal arısı sürüleri, işlerini doğal olarak dağıtabilen ve çevresel değişimlere karşı topluluk zekalarıyla uyarlanabilir cevaplar verebilen sürülerdir [19]. Koloni halinde yaşayan bu sosyal yaşamda 3 arı çeşidi bulunmaktadır: Bunlar kraliçe arı, erkek arı ve dişi olan işçi arılardır. Bu modelde, arıların yiyecek arama davranışı incelenerek yapay arı kolonisi algoritması geliştirilmiştir [20]. İşçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar olmak üzere, yapay arı kolonisi algoritmasında da, üç grup arı bulunmaktadır.

Algoritmanın temel işleyişi şu şekildedir. Modelde işçi arılar kaynaklara gönderilerek nektar miktarlarını hesaplar. Eş zamanlı olarak gözcü arılar da başka kaynaklara gönderilerek nektar miktarları hesaplanır. Daha sonra rasgele yeni kaynaklar bulmaları için kaşif arılar gönderilir. Durma kriteri sağlanana kadar en iyi

kaynak hafızada tutulur. Yiyecek kaynaklarının belirlenmesi algoritmada kullanılacak her bir parametrenin alt ve üst sınırlarından faydalanılarak rastgele geliştirilir.

$$\chi_{ij} = \chi_j^{\min} + rand(0,1) * (\chi_j^{\max} - \chi_j^{\min}) \quad (6)$$

Denklem 6'da  $\chi_{ij}$ , yiyecek kaynağının yerini ifade ederken; i ve j sırası ile yiyecek kaynağı ve optimize edilecek parametre sayısıdır [20].

$\chi_j^{\min}$  j. parametre alt değeri ve  $\chi_j^{\max}$  j. parametre üst değeridir. Burada işçi arı yeni bir yiyecek kaynağı belirleyerek bunun kalitesini değerlendirir. Yeni kaynağın yeri şu eşitlikle ifade edilir.

$$v_{ij} = \chi_{ij} + \phi_{ij} * (\chi_{ij} - \chi_{kj}) \quad (7)$$

Denklem 7'de  $\phi_{ij}$ , [-1,1] arasında üretilen rastgele bir değerdir. Burada kaynağın miktarı seçilme olasılığını etkiler. Yani  $\chi_{ij}$  pozisyonundaki kaynağın seçilme olasılığı

$$p_i = \frac{uygunluk_i}{\sum_{i=1}^{SN} uygunluk_i} \quad (8)$$

olarak ifade edilir.

Denklem 8'deki uygunluk<sub>i</sub>, nektar miktarına karşılık gelir. Ayrıca  $\chi_{ij}$  konumundaki nektar kaynağı "limit" parametresi sayısınca gelişmemiş ise  $\chi_{ij}$ 'deki kaynak terk edilir ve o kaynağın arısı kaşif arı haline gelerek rasgele araştırma yapar. Yeni bulduğu kaynak  $\chi_{ij}$ 'ye atanır. Algoritmaya ait akış algoritması aşağıdaki gibidir:

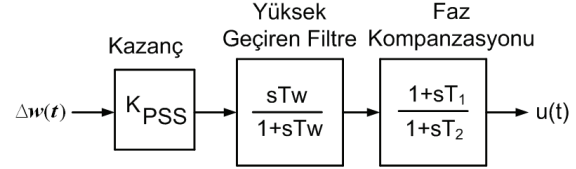
- Rasgele çözümlerle başlangıç arı popülasyonunun oluşturulması
- Tekrar
- İşçi arıların yiyecek kaynağına gönderilmesi
- Gözcü arıların yiyecek kaynaklarına gönderilerek uygunluk değerinin hesaplanması
- Kaşif arıların yiyecek kaynağına gönderilmesi ve limit değerinin belirlenmesi
- En iyi değerin hafızada tutulması
- Durdurma kriteri sağlanana kadar.

#### 4. PSS TASARIMI (PSS DESIGN)

Bu çalışmada klasik PSS, ABC tabanlı PSS ve PSO tabanlı PSS karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, çalışmanın bu kısmında sırasıyla klasik PSS, ABC tabanlı PSS ve PSO tabanlı PSS yapıları kısaca incelenecektir.

#### 4.1. Klasik PSS (Conventional PSS)

Basit yapısı ve uygulama kolaylığından dolayı en çok tercih edilen PSS yapısı olan klasik PSS'ye ait fonksiyonel blok diyagramı [21] Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Klasik Güç Sistemi Dengeleyicisi (Conventional PSS)

Şekil 4'de gösterilen klasik PSS yapısında güç sistemi dengeleyicisi kazancı  $K_{PSS}$ , PSS tarafından ortaya konan sönüm miktarını belirler. İdeal olarak kazanç en büyük sönüme gelen değere ayarlanmalıdır. Bununla beraber kazanç değeri çoğunlukla başka kavramlarla sınırlıdır [22]. Yüksek geçiren filtre devre zaman sabiti ( $T_w$ ) kritik bir değer değildir ve 1-20 sn aralığında olabilmektedir [23]. Faz kompanzasyonu zaman sabitleri ise  $T_1$  ve  $T_2$ 'dir [24].

#### 4.2 ABC Tabanlı PSS (ABC based PSS)

Modern kontrol teorisi, sistem mühendisinin gerekli sistem performansını nicel olarak belirleyebileceğini kabul etmektedir. Performans indeksi hesaplanabilmekte, ölçülebilmekte ve sistem performansını değerlendirmek için kullanılabilir.

Performans indeksi, Denklem 9 ile ifade edilen hatanın mutlak değerinin toplamıdır. Bu indeks, özellikle benzetim çalışmaları için yararlıdır [25].

$$J = \int_0^T |e(t)|.dt \quad (9)$$

ABC Tabanlı PSS, klasik PSS sistem parametrelerinin ABC algoritması ile optimize edilmesi prensibine dayanmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak

$$J = \int_0^T |\Delta\omega(t)|.dt \quad (10)$$

kullanılacaktır. Burada  $\Delta\omega$  rotor hız değişimini, T ise simülasyon zamanını göstermektedir.

#### 4.3 PSO Tabanlı PSS (PSO based PSS)

Canlılar (hayvanlar) arasındaki sosyal etkileşimden esinlenen parçacık sürüsü optimizasyonu kuş sürülerinin davranışlarından esinlenilerek ortaya çıkmış olup, ilk olarak James Kennedy ve Russel

Eberhart tarafından geliştirilmiştir [25]. Bu algoritma zor ve karmaşık problemlerin çözümünde etkili bir teknik olarak kullanılmaktadır. PSO'yu uygulamak, algoritmasında ayarlanması gereken parametre sayısının az olması sebebiyle oldukça basittir. Algoritma rasgele çözümler içeren bir popülasyonla başlar ve nesilleri güncelleyerek en optimum çözümü araştırır. Daha sonra bazı güncelleme denklemlerine göre arama uzayı üzerinde hareket eder.  $\chi_k^i$  pozisyon vektörü,  $v_k^i$  hız vektörü,  $p^i$  lokal en iyi ve  $p^g$  global en iyiyi göstermek üzere klasik PSO denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\chi_{k+1}^i = \chi_k^i + v_{k+1}^i \quad (11)$$

$$v_{k+1}^i = wv_k^i + c_1r_1(p_k^i - \chi_k^i) + c_2r_2(p_k^g - \chi_k^i) \quad (12)$$

Denklem 12'de  $w$  atalet sabiti,  $c_1$ - $c_2$  parçacığı sürünün bulunduğu en iyi noktalara doğru göreceli çekimi belirleyen faktörler olup  $r_1$  ve  $r_2$  ise  $[0,1]$  arasında rasgele sayılar üreten değerlerdir.

Algoritmanın sonlandırılması çeşitli kriterlere bağlıdır. Bu kriterler; referans, tükenme tabanlı, iyileşme tabanlı, dağılım tabanlı ve birleşik kriterlerdir. Algoritmaya ait akış algoritması aşağıdaki gibidir:

- Parçacıkların arama uzayındaki başlangıç konumları ve hızlarının belirlenmesi
- Tekrar
- Parçacıkların uygunluk değerlerinin hesaplanması
- Her parçacığın uygunluk değerinin, kendi lokal en iyi konumunun uygunluk değeri ile karşılaştırılması.
- Parçacıkların hızları ve konumları güncellenmesi
- Durdurma kriteri sağlanana kadar.

PSO tabanlı PSS, klasik PSS sistem parametrelerinin PSO algoritması ile optimize edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak

$$J = \int_0^T |\Delta\omega(t)|.dt \quad (13)$$

kullanılacaktır [27-29]. Burada  $\Delta\omega$  rotor hız değişimini,  $T$  ise simülasyon zamanını göstermektedir.

## 5. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

PSS'nin parametre ayarlanmasında 3 farklı PSS yapısı (Klasik PSS, ABC ve PSO tabanlı PSS) ile beraber 2 farklı uyarma sisteminin ( Statik ve AC veya DC Tip Uyarıcı) benzetim çalışmaları MATLAB programında

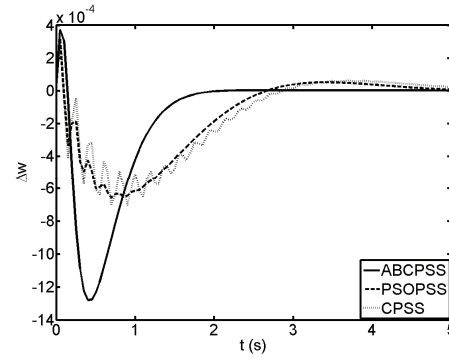
yapılmış olup, karşılıklı olarak 2 durum kıyaslanmıştır. Birinci durumda uyarma sistemi statiktir, ikinci durumda uyarma sisteminin DC veya AC olarak farklı bozucu girişlerine göre benzetim çalışmaları yapılmıştır. Burada bozucu girişler, mekanik bozucu giriş ( $T_m$ ) ve referans gerilim ( $V_{ref}$ ) girişidir.

### 5.1 Benzetim Çalışma Durumları (Simulation Operating Conditions)

Farklı durumlarda yapılan benzetim çalışmalarında; ABC tabanlı PSS'nin oturma zamanının, her iki PSS yapısına göre daha az olduğu görülmüş olup, geniş bölge çalışmaları için güç sistem kararlılığına ideal çözümler ürettiği anlaşılmıştır. Aşağıda güç sisteminin farklı durumları için benzetim çalışmalarının sonuçları verilmiştir.

#### Durum 1a:

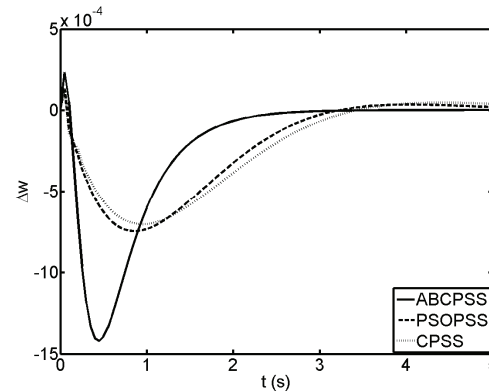
Normal yük ( $P=1$  ve  $Q=0,01$ ) durumunda, statik uyarıcı ( $K_A=50$  ve  $T_A=0$ ) için %10  $V_{ref}$  ve  $T_m$  bozucu girişin uygulanması Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Durum 1a (Case 1a)

#### Durum 1b:

Şekil 6, normal yük ( $P=1$  ve  $Q=0,01$ ) durumunda, AC veya DC uyarıcı ( $K_A=50$  ve  $T_A=0,02$ ) için %10  $V_{ref}$  ve  $T_m$  bozucu girişin uygulanması ile elde edilmiştir.

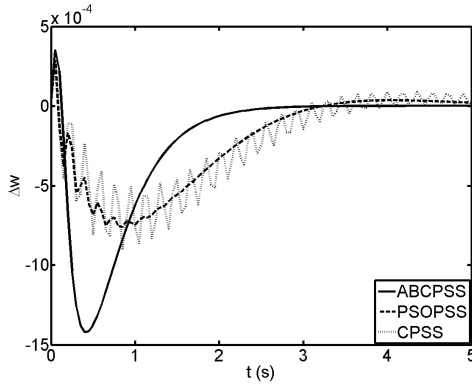


Şekil 6. Durum 1b (Case 1b)

#### Durum 2a:

Şekil 7'de hafif yük ( $P=0,7$  ve  $Q=0,01$ ) durumunda, statik uyarıcı ( $K_A=50$  ve  $T_A=0$ ) için %10  $V_{ref}$  ve  $T_m$

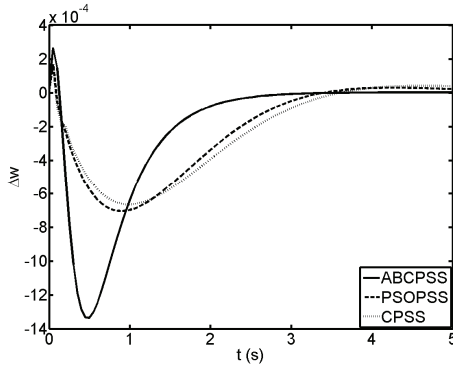
bozucu girişin uygulanması sonucunda elde edilen sonuç görülmektedir.



Şekil 7. Durum 2a (Case 2a)

#### Durum 2b:

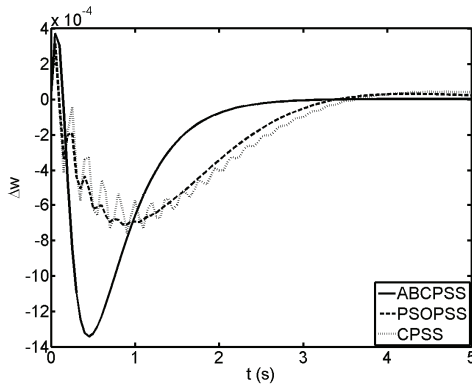
Hafif yük (P=0,7 ve Q=0,01) durumunda, AC veya DC uyarıcı ( $K_A=50$  ve  $T_A=0,02$ ) için %10  $V_{ref}$  ve  $T_m$  bozucu girişin uygulanması durumunda elde edilen sonuç Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Durum 2b (Case 2b)

#### Durum 3a:

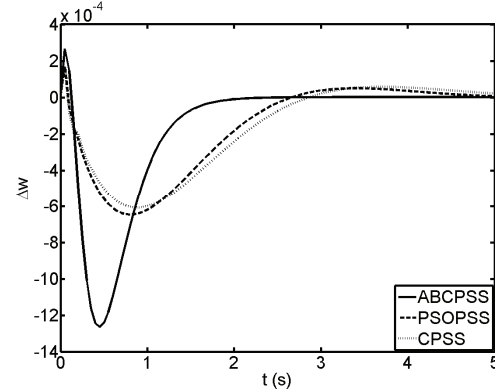
Ağır yük (P=1 ve Q=0,3) durumunda, statik uyarıcı ( $K_A=50$  ve  $T_A=0$ ) için %10  $V_{ref}$  ve  $T_m$  bozucu girişin uygulanması durumunda çıkış sinyalleri Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Durum 3a (Case 3a)

#### Durum 3b:

Ağır yük (P=1 ve Q=0,3) durumunda, AC veya DC uyarıcı ( $K_A=50$  ve  $T_A=0,02$ ) için %10  $V_r$  ve  $T_m$  bozucu girişin uygulanması durumu Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Durum 3b (Case 3b)

Farklı yük durumlarında ve uyarma bloğunun değişiminde ABCPSS yapısının her iki PSS yapısına nazaran aşma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Fakat aşma miktarının çok küçük değerler olduğunu göz önüne alırsa tüm PSS yapıları için bu değerlerin sistem kararlılığı için çok etkin olmadığı gözlemlenmiştir. Güç sisteminin kararlı hale gelmesinde en etkili olan süre oturma zamanıdır. Benzetim çalışmalarında ABCPSS yapısının tüm durumlar için oturma zamanı süresinin en kısa olduğu ve PSOPSS ve CPSS yapılarına göre daha etkin ve başarılı bir sönümle sağladığı görülmektedir.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, klasik, ABC ve PSO tabanlı PSS yapıları için farklı uyarma sistemleri (Statik ve AC veya DC Tip Uyarıcı) ve geniş alan çalışma bölgeleri (P=0,1-1 pu ve Q=0,01-1 pu) için PSS parametre ayarları yapılmıştır. Öncelikli olarak tek makine sonsuz güçlü bara (TMSGB) sistemine uyarma sistemi ve PSS eklenerek model oluşturulmuştur. Tasarlanan ABC ve PSO tabanlı PSS'in parametre ayarları için hatanın mutlak değerinin integrali (IAE) olan performans indeksi ile optimal sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, Şekil 5-10'dan da görüldüğü gibi, PSS yapılarını karşılaştırdığımızda, tasarlanan ABC tabanlı PSS'nin sistemi kararlı hale getirme zamanı, hem klasik PSS hem de PSO tabanlı PSS'e göre daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Böylelikle güç sisteminin bozucu girişlerine karşı daha az zamanda kararlı hale gelmesini sağlayan, geniş alanlı çalışma bölgeleri için farklı bir PSS tasarımı ortaya konulmuştur.

## SİMGELER VE SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

**P** Aktif güç

<b>Q</b>	Reaktif güç
<b>E<sub>b</sub></b>	Sonsuz bara gerilimi
<b>V<sub>t</sub></b>	Jeneratör uç gerilimi
<b>Δ</b>	Küçük değişimler
<b>ω</b>	Rotor açılma hızı
<b>δ</b>	Güç (Rotor) açısı
<b>E<sub>fd</sub></b>	Uyarma gerilimi
<b>x<sub>e</sub></b>	İletim hattı empedansı
<b>K<sub>1</sub>-K<sub>6</sub></b>	Senkron jeneratör dinamik model katsayıları
<b>u<sub>PSS</sub></b>	Destekleyici kontrol işareti
<b>H</b>	Senkron jeneratör atalet sabiti
<b>K<sub>A</sub></b>	Uyarıcı kazancı
<b>T<sub>A</sub></b>	Uyarıcı zaman sabiti
<b>x<sub>d</sub></b>	d-ekseni geçici reaktansı
<b>T<sub>do</sub>'</b>	d -ekseni geçici zaman sabiti

## 7. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Leonard Lee G., **Power System Stability and Control**, CRC Press, 2007.
- Akhrif, O., Okou, F.A., Dessaint, L.A. ve Champagne, R., "Application of a Multivariable Feedback Linearization Scheme for Rotor Angle Stability and Voltage Regulation of Power Systems", **IEEE Transactions on Power Systems**, Cilt 14, No 2, 620-628, 1999.
- Shouzhen, Z., Shande, S., Houlian C. ve Jianmin J., "Effects of the Excitation System Parameters on Power System Transient Stability Studies", **2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management**, Hong Kong, 532-535, 7-10 Aralık 1993.
- Paulus, M., "Fuzzy System PSS", **Control of Power & Heating Systems, 5 th International Conference**, Zlin, Czech Republic, 21-22 Mayıs, 2002.
- Larsen, E.V. ve SWANN D.A., "Applying Power System Stabilizers Part I: General Concepts", **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, Cilt 100, No 6, 3017-3024, 1981.
- Demello, F.P., ve Concordia, C.: "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control", **IEEE Transactions**, Cilt 88, 316-329, 1969.
- Rajkumar, V., Zhu, W., Mohler, R.R., Spee, R., Mittelstadt, W.A. ve Maratukulam, D., "A Bilinear Self-Tuning Controller for Multimachine Transient Stability", **IEEE Transactions on Power Systems**, Cilt 9, No 3, 1379-1384, 1994.
- Hassan, L.H., Moghavvemi, M. ve Mohamed, H.A.F., "Power System Stabilization Based on Artificial Intelligent Techniques; A Review", **2009 International Conference for Technical Postgraduates (TECHPOS)**, Kuala Lumpur, 1-6, 14-15 Aralık 2009.
- Shahgholian Ghfarokhi, G., Arezoomand, M. ve Mahmoodian, H., "Analysis and Simulation of the Single-Machine Infinite-Bus with Power System Stabilizer and Parameters Variation Effects", **ICIAS 2007. International Conference on Intelligent and Advanced Systems**, 167-171, 25-28 Eylül 2007.
- Bhattacharya S.K., **Electrical Machines**, Tata McGraw Hill, New Delhi, 2008.
- Suzuki, K., Sumida, T., Uda, S., Shimomura, M. ve Tanaka, S., "The Characteristics of Excitation System", **International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management**, Hong Kong, 479-484, 5-8 Eylül 1991.
- Machowski J., Bialek J.W. ve Bumby J.R., **Power System Dynamics and Stability** John Wiley & Sons Ltd., İngiltere, 1997.
- Pal, B. ve Chaudhuri B., **Robust Control in Power Systems**, Springer, ABD, 2005.
- Klempner, G., ve Kerszenbaum, I., Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators, **John Wiley & Sons Ltd.**, İngiltere, 2004.
- W. G. Heffron, R. A. Phillips, "Effect of a modern voltage regulator on underexcited operation of large turbine generators," **AIEE Trans.** 71:692-97, 1952.
- Korb, K., Randall, M. ve Hendtlass T., **Artificial Life: Borrowing from Biology**, Springer, 2009.
- Viani, F., Lizzi, L., Rocca, P., Benedetti, M., Donelli, M. ve Massa, A., "Object Tracking Through RSSI Measurements in Wireless Sensor Networks", **Electronics Letters**, Cilt 44, No 10, 653-654, 2008.
- Bonabeau, E., Dorigo, M. ve Theraulaz, G., **Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems**, New York, NY: Oxford University Press, 1999.
- Karaboğa, D. ve Akay B., "A Survey: Algorithms Simulating Bee Swarm Intelligence", **Springer**, Cilt 31, No 1-4, 61-85, 2010,
- Karaboğa, D. ve Akay B., "Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks", **Signal Processing and Communications Applications**, 1-4, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Haziran 2007.
- Sheetekela, S. ve Folly F.A., "Breeder Genetic Algorithm for Power System Stabilizer Design", **IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)**, Barselona, İspanya, 1-7, 18-23 Temmuz 2010,
- Gupta N. Ve Jain S.K., "Comparative Analysis of Fuzzy Power System Stabilizer Using Different Membership Functions", **International Journal of Computer and Electrical Engineering**, Cilt 2, No 2, 1793-8163, 2010,
- Sauer, P.W. ve Pai, M.A., **Power System Dynamics and Stability**, Prentice Hall, New Jersey, A.B.D., 1998.
- El-Zonkoly, A.M., Khalil, A.A. ve Ahmied, N.M., "Optimal Tuning of Lead-Lag and Fuzzy Logic Power System Stabilizers Using Particle Swarm Optimization", **Expert Systems with Applications**, Cilt 36, 2097-2106, 2009.

25. Dorf, R.C. ve Bishop R.H., **Modern Control Systems**, Pearson Prentice Hall, ABD, 2008.
26. Kennedy, J.ve Eberhart, R., "Particle swarm optimization", **IEEE International Conference on Neural Networks**, Cilt 4, 1942 – 1948, 1995.
27. Gözde, H., Taplamacıoğlu, M.C., Kocaarslan, İ., ve Şenol, M.A., "Particle swarm optimization based pi-controller design to load-frequency control of a two area reheat thermal power system", **Journal of Thermal Science and Technology**, Cilt 30, No 1, 13-21, 2010,
28. Gözde H., Taplamacıoğlu M. C., Kocaarslan İ., Çam E., "İki Bölgeli Güç Sisteminde Parçacık Sürüsü Algoritması İle Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu", **ELECO 2008, Elektrik - Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu**, Bursa, 26-30 Kasım 2008.
29. Gözde H., Taplamacıoğlu M. C., Kocaarslan İ., Çam E., Particle Swarm Optimization Based Load Frequency Control In A Single Area Power System, **TPE-2008 Conference Proceedings Forth International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering**, Pitesti , Romanya, 106-110, 4 - 6 Eylül 2008