



## Yarasa Algoritması Kullanılarak Tek Makinalı Sonsuz Baralı Güç Sisteminin, Geleneksel ve PID Güç Sistem Dengeleyicisi (GSD) Parametrelerinin Belirlenmesi

### Determination of Traditional and PID Power System Stabilizer (PSS) Parameters of Single Machine Infinite Bus Power System Using Bat Algorithm

Burak Temel<sup>1</sup> , İbrahim Eke<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 30/09/2019

Kabul / Accepted: 03/11/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

#### Öz

Bu makale, tek-makinalı sonsuz-baralı (TMSB) bir güç sisteminin düşük frekanslı salınımlarını söndürmek için bir doğal metasezgisel optimizasyon algoritması olan yarasa algoritmasını kullanarak geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi (PSS) ve PID tabanlı Güç Sistemi Dengeleyicisi (PID-PSS) parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmasını önerir. Güç Sistemi Dengeleyicisi parametrelerinin belirlenmesi, zaman bölgesi tabanlı amaç fonksiyonu ile bir optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Bu problem; yarasa algoritması (YA) optimizasyonu ile belirlenen parametrelerin, Heffron-Phillips modeli temel alınarak oluşturulan tek-makinalı sonsuz-baralı (TMSB) güç sisteminin MATLAB/Simulink uygulaması üzerinde test edilerek rotor hız değişim ( $\Delta\omega$ ) kararsızlığının sönmelenmesinde çözüm olarak kullanılmıştır. Yarasa algoritması optimizasyonu sonucu parametreleri belirlenen geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisinin (PSS) ve PID tabanlı Güç Sistemi Dengeleyicisi (PID-PSS) performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Yarasa algoritması ile hesaplanmış geleneksel PSS'in ve PID-PSS'in rotor hız değişim ( $\Delta\omega$ ) kararsızlığını sönmelendirdiği, fakat geleneksel PSS'in kararlılığının ve performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“MATLAB, Simulink, Güç Sistemi Kararlılığı, Güç Sistemi Dengeleyicisi, Yarasa Algoritması, PSS, TMSB”

#### Abstract

This paper, recommends the determination of the traditional power system stabilizer (PSS) and PID based power system stabilizer (PID-PSS) parameters using the bat algorithm, which is a natural metaheuristic optimization algorithm to suppress the low frequency oscillations of a single-machine endless-busbar (SMIB) power system. The determination of the parameters of the power system stabilizer was converted to an optimization problem by the time domain based objective function. This problem; The parameters determined by bat algorithm (BA) optimization were tested on MATLAB / simulink application of single-machine infinite-busbar (SMIB) power system based on Heffron-Phillips model and used as a solution to dampen rotor speed change ( $\Delta\omega$ ) instability. The results of the bat algorithm optimization were compared the performance results of the traditional power system stabilizer (PSS) and the PID based power system stabilizer (PID-PSS). The traditional PSS and PID-PSS, calculated by the bat algorithm, damped the rotor speed change ( $\Delta\omega$ ) instability. But the stability and performance of the traditional PSS were observed to be better.

#### Key Words

“MATLAB, Simulink, Power System Stabilizer, BA , Bat Algorithm, PSS, SMIB”

## 1. Giriş

Günümüzde her geçen gün artan enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, güç sistemlerinin daha verimli ve tasarruflu olarak kullanılması önem arz etmektedir. Bir güç sisteminin normal çalışması esnasında sistemden yük eksiltilmesi veya sisteme yeni yük eklenmesi, güç sisteminde düşük genlikli ve frekanslı (0.2 – 0.3 Hz) salınımların meydana gelmesine sebep olur. Meydana gelen bu düşük genlikli ve frekanslı salınımların çok uzun sürelerde devam etmesi, üretim noktasından tüketicilere güvenilir ve kaliteli bir enerji aktarmak için kullanılan Enterkonnekte sistemin güç iletimini sınırlayacak duruma gelmesine ve hatta sistemin iletiminin kesilmesine neden olabilir. Güç sisteminin normal çalışmasını etkileyen düşük genlikli ve frekanslı bozucu etkiler sonucu elektriksel ve mekanik güç dengesinin bozulması durumunda sistemin açısız kararlılığını koruyabilmesi için sisteme yeterli senkronizasyon momentinin verilmesi gereklidir. Gerilim regülatörünün oluşturduğu senkronizasyon momentinin katkısıyla salınımlar söndürülürken güç sisteminin senkron bir şekilde çalışması sağlanmış olur. Fakat büyük bir bozucu etkisine maruz kalan güç sisteminin salınımlarının söndürülmesi için senkronizasyon momentini yetersiz kalabilir. Bu yetersizlik durumunun giderilmesi, gerekli miktar sönüm momentinin üretilmesi ve sistemin daha stabil çalışmasını sağlayabilmek için senkron makineye güç sistem dengeleyicisi (Power System Stabilizer, PSS, GSD) eklenir. 1960'lı yıllardan itibaren senkronizasyon momentine ek olarak sönüm momenti sağlamak amacıyla güç sistem denetleyicileriyle, gerilim regülatörlerinin girişlerine ek bir işaret uygulamaktadırlar (Eke, 2011). Güç sistemlerinde oluşan salınımların söndürülmesi ve sürekli hal kararlılığının iyileştirilmesi için bir çok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır.

Larsen, E. V. and Swann D.A.; (1981), tarafından yapılan çalışmaların birincisinde basitleştirilmiş tek makineli sonsuz güçlü bara sistemini kullanmışlar ve GSD girişlerine hız, frekans ve güç parametreleri uygulayarak analizler yapmışlardır. GSD giriş sinyallerinin frekans cevap karakteristiklerini incelemişlerdir (Larsen&Swann, 1981).

Larsen, E. V. and Swann D.A.; (1981), tarafından yapılan ikinci çalışmada ise sürekli ve dinamik hal durumunun sınır değerlerinin belirlenmesi ve salınım tiplerine göre GSD'nin tepkisi incelenmiştir. Ayrıca birinci çalışma sonucunda elde ettikleri durumlara göre GSD parametre ayarlarının geleneksel yöntemler ile nasıl yapıldığı açıklanmıştır (Larsen&Swann, 1981).

Larsen, E. V. and Swann D.A.; (1981), tarafından yapılan son çalışmada ise uygulanan farklı sinyal girişleri ve küçük bozucu giriş etkilerinin analiz edilmesi ile GSD'nin tasarımına yönelik önemli bir katkı sağlamışlardır (Larsen&Swann, 1981).

Chi-Jui, W. and Yuan-Yih, H.:(1988), tarafından yapılan çalışmada kendi kendini ayarlayabilen PID (Proportional – Integral – Derivative) tabanlı GSD ile çok makineli güç sistemin sürekli hal kararlılığını sağlamak amacıyla geniş çalışma bölgesinde farklı sistem parametre değerlerinde çalışmalar yapmış ve değişken parametre değerlerine rağmen sistemin iyi sönümlenme karakteristiği gösterdiğini analiz etmiştir. Wu Chi-Jui ve Hsu Yuan-Yih bu çalışmaları ile çok makineli güç sistemlerinin GSD tasarımına farklı bir bakış açısı sağlamışlardır (Chi-Jui&Yuan-Yih, 1988).

Trudnowski, D.J., Smith, J.R.; (1991), tarafından düşük dereceli bir jeneratörü büyük bir sisteme bağlayarak oluşturulan modelinde GSD transfer fonksiyonunu elde etmede yeni bir metot önermişlerdir. Bu metot Prony sinyal analiz olarak tanınır. Yerel ve bölgeler arası elektromekanik salınımların analizini içerir. Benzetim çalışmaları için 16 jeneratöre bağlı 27 baralı bir test sistemi kullanılmıştır. Bölgeler arası salınımların GSD ile söndürülmesini sağlayan yeni bir öneri sunulmuştur (Trudnowski & Smith, 1991).

Chao-Rong Chen and Yuan-Yin Hsu; (1991), tarafından yapılan çalışmada sürekli hal kararlılık analizi için jeneratör çıkışlarını ve güç sistemi dengeleyicisi parametrelerini yapay sinir ağ (YSA) yapısına giriş olarak vermişlerdir. Böylelikle senkron jeneratörün sürekli hal kararlılığı için YSA ile yeni bir yapı tasarlamışlardır. YSA'nın çevrim dışı (offline) ortamda eğitimi yapılarak büyük bir güç sisteminde performansı analiz edilmiştir. Bu çalışmayı önemli kılan geleneksel sistemden ayrı olarak tasarlanan ilk çalışmalardan olması ve çalışmanın tam kararlılık göstermesidir (Chao-Rong & Yuan-Yin, 1991).

Yang, T.C.; (1997), tarafından yapılan çalışmada güç sistem dengeleyicisi tasarımı için  $H_{\infty}$  optimizasyon metodu uygulanmıştır. Çok makineli güç sistemi ve ağırlık fonksiyonu seçimi iki bölümde incelenmiştir. İlk bölümde tek makineli sonsuz baralı sistem için GSD tasarımında  $H_{\infty}$  optimizasyon probleminde uygulanabilirliğinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde ise  $H_{\infty}$  optimizasyonun ağırlık fonksiyonlarının seçimi incelenmiş ve GSD tasarımından detaylıca bahsedilmiştir (Yang, 1997).

Gurralla, G. and Sen; (2008), tarafından düşük genlikli salınımların senkron mekinede incelenmesi ve GSD tasarımı için tek makineli sonsuz güçlü bara (single machine infinite bus bar, SMIB) sistemi önerilmiştir. GSD tasarımı için Heffron-Phillips modelini geliştirmişlerdir (Gurralla & Sen, 2008).

Haluk G.; (2010), tarafından yapılan çalışmada enterkonnekte güç sisteminin yük-frekans kontrolüne ilk kez Yapay Arı Kolonisi optimizasyonu algoritması uygulanmış; algoritmanın sistem dayanıklılığına etkisi ve yük-frekans kontrol performansına etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir (Gözde, 2010).

İbrahim EKE, M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU ve İlhan KOCAARSLAN; (2011), tek makineli sonsuz güçlü baraya (single machine infinite bus bar, SMIB) bağlı senkron jeneratörde oluşan salınımları söndürmek için GSD parametrelerinin ayarlanmasıyla ilgili çalışma yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada GSD parametrelerini yeni bir yöntem ile belirlemişlerdir. Dayanıklı GSD tasarımı çok değişkenli optimizasyon problemi gibi düşünülerek yapay arı koloni (ABC) algoritması ile

çözülmüştür. Önerilen ABC algoritması tabanlı GSD'nin sağlamlığını ölçmek için, tek makineli güç sisteminde küçük bozucu etkiler verilmiş ve simülasyon çalışmaları analiz edilmiştir (Eke vd., 2011).

S. Duman, A. Öztürk ve N. Tutkun; (2011), tarafından yapılan çalışmada tek makineli sonsuz baralı güç sisteminde Güç Sistemi Dengeleyicisi için diferansiyel evrim (DE) algoritması kullanarak PID kontrolör parametrelerini belirlemişlerdir (Duman&Tutkun, 2011).

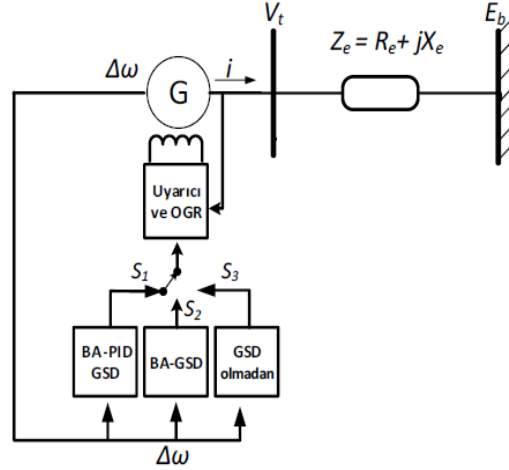
Serdar EKİCİ(2015); tarafından yapılan çalışmada çok makineli güç sisteminde düşük frekanslı salınımları sönmöndürmek için yarasa algoritması optimizasyonu kullanarak Güç Sistemi Dengeleyicisi (GSD) tasarımı gerçekleştirilmiştir(Ekici, 2015).

Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi nominal çalışma şartlarında sistemin sürekliliği ve kararlılığını sağlamak için sabit değerli kazanç parametreleri kullanılarak tasarlanırlar. Fakat çoklu çalışma koşullarında sabit değerli kazanç parametrelerinin kullanılması geleneksel GSD'nin performansını büyük oranda etkileyerek azaltmaktadır. Güç Sistem Dengeleyicileri uzun zamandır güç sistemlerinde meydana gelen salınımların sönmölenmesinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, bulanık mantık temelli algoritmalar ile GSD, uyarlanabilir yapay bulanık mantık temelli GSD, hiyerarşik bulanık mantık temelli GSD ve optimizasyon algoritmaları temelli GSD birçok araştırmacı tarafından güç sistemlerinde oluşan salınımların sönmölenmesi ve kararlılığın sağlanması amacıyla kullanılmıştır (Duman&Tutkun, 2011).

Bu makalenin amacı, MATLAB/Simulink ortamında tek makineli sonsuz baralı (TMSB) bir güç sisteminin yarasa algoritması optimizasyonu ile geleneksel ve PID Güç Sistemi Dengeleyicisinin doğrusallaştırılmış sistem öz-değer analizi ve zaman bölgesi simülasyonlarını yaparak parametre değerlerini belirlemektir.

## 2. Tek Makineli Sonsuz Baralı Güç Sistemi

Şekil 1'de şematik diyagramı gösterilen tek makineli sonsuz baraya bağlı güç sistemi; Sonsuz baraya bir  $X_e$  dış reaktans ve  $R_e$  direnci vasıtasıyla bağlı bir iletim hattı, generatör, otomatik gerilim regülatörü, uyarma sistemi ve üç farklı durum içeren Güç Sistemi Dengeleyicisinden (GSD) meydana gelmektedir.



Şekil 1. Tek makineli sonsuz baralı sistemin şematik diyagramı

Senkron makineye ait Uyarma ve PSS ilaveli Heffron-Phillips modelini temel alan doğrusallaştırılmış akı-sönümlü modele ilişkin devre eşitlikleri aşağıdaki şekilde tanımlanır. (Sauer vd., 2017; Mondal vd.,2014):

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

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

$$\dot{\Delta e'_q} = -\frac{K_4}{T'_{d0}} \Delta\delta - \frac{1}{T'_{d0} K_3} \Delta e'_q + \frac{1}{T'_{d0}} \Delta E_{FD} \quad (3)$$

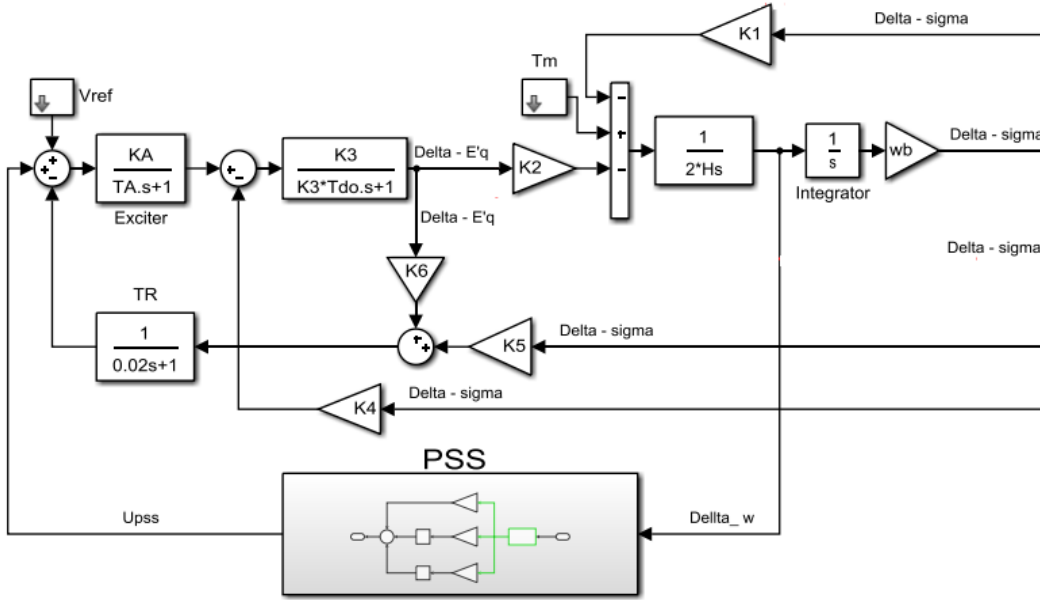
$$\dot{\Delta E_{FD}} = -\frac{K_A K_5}{T_A} \Delta\delta - \frac{K_A K_6}{T_A} \Delta e'_q - \frac{1}{T_A} \Delta E_{FD} + \frac{K_A}{T_A} U_{PSS} \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemlerde  $\Delta\delta$  rotor açısı değişimi,  $\Delta\omega$  rotor hız değişimi,  $K_1$ - $K_6$  doğrusallaştırılmış devre sabitleri,  $K_A$  uyarıcı kazancı,  $T_A$  uyarıcı zaman sabiti,  $\Delta e'_q$  q-ekseni geçici gerilimi,  $\Delta E_{FD}$  uyarma gerilimi,  $M$  atalet sabiti,  $D$  sönüm katsayısı,  $T'_{d0}$

d-ekseni geçici zaman sabiti,  $U_{pss}$  GSD' nin çıkış gerilimleridir. K1-K6'nın hesaplanma formülleri sırasıyla Ek-A'da verilmiştir. Eşitlik (1-4)'ün durum uzay analiz formu Eşitlik 5'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{\Delta\delta} \\ \dot{\Delta\omega} \\ \dot{\Delta e'_q} \\ \dot{\Delta E_{FD}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_b & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ -\frac{K_4}{T'_{d0}} & 0 & -\frac{1}{T'_{d0}K_3} & \frac{1}{T'_{d0}} \\ -\frac{K_A K_5}{T_A} & 0 & -\frac{K_A K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta\omega \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} U_{pss} \quad (5)$$

Doğrusallaştırılmış devre Eşitlikleri (1-4) kullanılarak oluşturulan Tek makineli sonsuz baralı güç sisteminin Phillips – Heffron blok diyagramı Şekil 2'de verilmektedir.



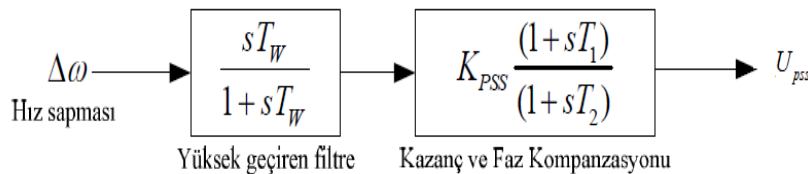
Şekil 2. Phillips – Heffron Tek Makineli Sonsuz Baralı Güç Sisteminin Blok Diyagramı

### 3. Güç Sistemi Dengeleyicisi (PSS)

Güç Sistemi Dengeleyicisi düşük-frekanslı salınımlarda gerekli sönümlenmeyi sağlamak amacı ile ortaya çıkmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kullanılan Güç Sistemi Dengeleyicisi tanıtılacaktır. TMSB güç sisteminde Şekil 2'de PSS eklenmiş hali ile verilmiştir. Küçük işaret salınımlarını daha iyi hale getirebilmek için Geleneksel PSS yerine PID- PSS sisteme eklenecektir. Her iki sistem için sonuçlar karşılaştırılacaktır.

#### 3.1. Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi

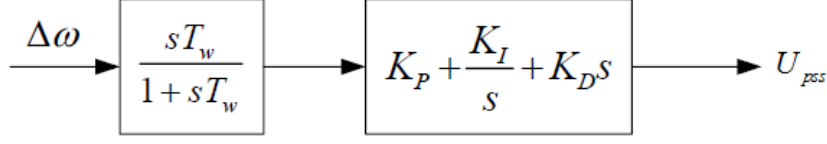
Uyarma sinyali kontrol edilerek generatörün rotor salınımları yok edebilmek için faz ilerlemeli-gerilemeli kompanzator görevi görerek elektrik-moment bileşeni üreten sistem PSS'tir. Yapısı basit olup uygulamadaki kolaylığı sebebi ile güç sistemi şebekelerinde son dönemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki PSS için temel blok diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te gösterilen blok diyagramında kazanç  $K_{PSS}$ , devre zaman sabiti olan  $T_w$  (Kritik bir değer olamamakla beraber 1-20 s aralığındadır) aynı zamanda yüksek geçiren filtre özelliği ve  $T_1$  ve  $T_2$  (faz kompanzasyonu) ise zaman sabitleridir. (Ekinci vd., 2018).



Şekil 3. Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi

### 3.2. PID Güç Sistemi Dengeleyicisi

PID tipi Güç Sistemi Dengeleyicisinin amacı, uyarma girişi ile makine elektriksel momenti arasında faz gecikmesini kompanze ederek, generatörün rotoru için uygun bir moment oluşturmasını sağlamaktır. PID-PSS için  $K_p$  oransal,  $K_I$  integral,  $K_D$  türevsel kazançları,  $T_w$  yüksek geçiren filtre devre zaman sabitinden oluşur. Burada genellikle 1-20 s arasında olan  $T_w$ 'nin değeri kritik bir değer değildir. PID Güç Sistemi Dengeleyicisi yapısı Şekil 4'de gösterilmiştir (Ekinci vd., 2018).



Şekil 4. PID Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi

### 4. Yarasa Algoritması

Bilim dünyasına 2010 yılında sunulan YA, Xin-She Yang tarafından literatüre sunulmuştur. Bu algoritma doğası gereği ses ile konum belirleme (echolocation) prensibine göre çalışır. Doğal yaşamda birtakım yarasa türleri bir çeşit sonar olan sesle konum belirleme prensibine dayanan bu yöntem ile engellerden kaçınma, karanlıkta tüneme ve hayatta kalabilmek için avlanmalarını bu şekilde yapabilmektedirler. Metasezgisel optimizasyon algoritması olan YA ise yukarıda sayılan doğal süreci taklit ederek optimizasyon problemleri içeren çalışmalara uygulanmak için tasarlanmıştır (Yang, 2010). Burada YA ekolokasyon adı verilen yani sonar radar özelliğini yarasaların avlarının yerlerini tespit etmek ve diğerleri ile iletişim kurmak için kullanır. Algısal bir sistem bir dizi yüksek sesli ultrasonik dalgaların yayılması sonucu meydana gelen yankıdan oluşur. Bu dalgalar ses şiddetleri ile geri döner ve yarasalar belirledikleri avının konumunu bu şekilde tespit ederler. Aşağıda belirtilen bazı temel kurallar YA'nın ekolokasyon özelliğini algoritmaya aktarmak ve çalışma prensibini oluşturmak için uygulanır (Ekici, 2015).

- Yarasalar av/yiyecek ve engelleri ayırt etmek için ekolokasyon özelliğinden yararlanırlar.
- Yarasalar avlarını bulmak için;  $v_i$  hızında,  $x_i$  konumunda, sabit  $f_{\min}$  frekansında,  $r$  değişken dalga boyunda ve  $L_0$  ses şiddeti ile rastgele uçarlar. Hedeflerine olan yakınlığa göre yaydıkları sinyallerin frekanslarını düzenlerler ve  $[0,1]$  aralığındaki  $r$  sinyal yayılım oranlarını ayarlarlar.
- Her yarasanın frekansı, ses şiddeti ve sinyal yayılım oranı değişebilir.
- $L_m^{iter}$  ses şiddeti,  $L_0$  büyük değerden  $L_{\min}$  minimum sabit değere kadar farklılık gösterir.

Optimizasyon süresi boyunca her yarasanın  $x_i$  konumu ve  $v_i$  hızı tanımlanabilir ve güncellenebilir.  $t$  zaman adımında  $x_i^t$  yeni çözüm değerleri ve  $v_i^t$  yeni hızları aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\alpha \quad (6)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^*)f_i \quad (7)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (8)$$

Eşitlik 6'da  $\alpha$   $[0,1]$  aralığında dağılmış rastgele bir vektörü,  $f_i$  yarasanın frekans değerini  $f_{\min}$  ve  $f_{\max}$  sırasıyla minimum ve maksimum frekans değerlerini ve  $x^*$  popülasyondaki mevcut en iyi çözüm değerini ifade etmektedir. Mevcut çözüm değerleri arasından en iyi çözüm değeri seçildikten sonra, yerel rastgele yürüyüş kullanarak yeni bir çözüm değeri üretilir.

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon L^t \quad (9)$$

Eşitlik 9'da  $\varepsilon$   $[-1,1]$  aralığında rastgele üretilen bir değeri ve  $L^t$   $t$  zaman adımındaki bütün yarasaların ortalama ses şiddetini göstermektedir. İterasyon arttıkça ve istenilen hedefin konumuna yaklaştıkça yarasaların ekolokasyon ile ürettikleri sesin şiddeti ve sinyal yayılım oranlarının güncellenmesi gerekmektedir. Yarasa avını bulduğunda genellikle ses şiddeti ( $L$ ) azalmasına rağmen sinyal yayılım oranı ( $r$ ) artmaktadır.

$$A_i^{t+1} = \beta A_i^t, \quad r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (10)$$

Eşitlik 10'da  $\beta$   $[0,1]$  aralığında bir sabit ve  $\gamma$  pozitif sabit değerdir.  $t \rightarrow \infty$  iken ses

şiddeti  $L_i^t \rightarrow 0$  ve  $r_i^t \rightarrow r_i^0$  olmaktadır (Ekici, 2015).

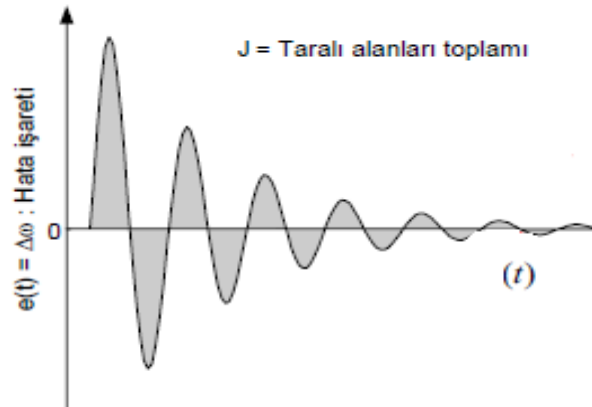
#### 4.1. Yarasa Algoritması Pseudo Kod

Amaç fonksiyonunu oluştur.  $f(x), x = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$   
 Algoritma parametrelerini belirle. (Popülasyon sayısı, boyut, yarasa sayısı, iterasyon sayısı...)  
 Alt ve üst limit değerlerini belirle.  
 Yarasa çözüm popülasyonunu oluştur.  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$   
 Çözüm popülasyonunu Amaç Fonksiyonunda çöz.  
 En iyi çözüm kümesini Best değişkenine ata.  
 İterasyonu başlat.  
 Frekans ( $f_i$ ) ve hız ( $v_i$ ) değerleri ile yeni çözüm ( $x_i^*$ ) değerlerini oluştur.  
 Eğer (rastgele üretilen bir sayı  $> r$ ) ise rastgele yeni çözüm ( $x_i^*$ ) oluştur. (Random walk) End.  
 Limit ayarlaması yap.  
 Limitlendirilmiş çözüm popülasyonunu Amaç Fonksiyonunda çöz.  
 Eğer ( $f(x_i) < f(x_i^*)$  &  $r < Ai$ ) ise yeni üretilen çözümü kabul et Best değişkenini güncelle.  
 İterasyonu bitir.  
 Sonucu göster.

#### 5. Amaç Fonksiyonu

Bir arızanın veya büyük yük değişikliklerinin ardından güç sistemi kararlılığının iyileştirilmesi ve düşük frekanslı salınımların minimize edilmesi için Güç Sistemi Dengeleyicisi tasarlanır. Salınım bilgileri  $\Delta\delta$  rotor açısı değişimi,  $\Delta\omega$  rotor hız değişiminden gözlemlenebilmektedir. Bu çalışmada sistemin tekrar kararl hale getirilebilmesi için  $\Delta\omega$  rotor hız değişiminin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda  $\Delta\omega$  rotor hız değişimi bilgisi hata olarak kabul edilmiş olup, hatanın karesinin integrali amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonun matematiksel ifadesi Eşitlik 11'de, grafiksel gösterimi Şekil 5'de verilmiştir.

$$J_{Amaç} = \int_0^{t_{sim}} (\Delta\omega)^2 dt \quad (11)$$



Şekil 5. Amaç fonksiyonu

#### 6. Simülasyon

##### 6.1. Test Sistemi

Simülasyonda kullanılan tek makineli sonsuz baral güç sisteminin hat, generatör ve uyarma sistemi parametreleri Tablo 1'de verilmiştir (Farhad vd., 2018).

**Tablo 1.** Generatör ve Uyarma Sistemi Parametreleri

<b>Hat</b>	$R_e = 0,0 \text{ pu}; X_e = 0,2 \text{ pu}; V_\infty = 1,05 \text{ pu};$
<b>Generatör</b>	$D = 0,0; H = 5,0; x_d = 1,97;$ $x'_d = 0,3; x_q = 1,9; M = 2 * H;$ $T'_{d0} = 6,84; f = 50 \text{ Hz}; w_b = 2\pi f \text{ rad/s};$ $P = 1.0 \text{ pu}; Q = 0.015 \text{ pu};$
<b>Uyarma</b>	$K_A = 100; T_A = 0,02;$

### 6.2. PID-Güç Sistemi Dengeleyicisi ve Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi Parametrelerinin Yarasa Algoritması İle Belirlenmesi

Bu çalışmada PID - Güç Sistemi Dengeleyicisi optimizasyonu için kullanılacak PID - Güç Sistemi Dengeleyicisi parametre (  $T_w$ ,  $K_P$ ,  $K_D$ ,  $K_I$  ) limitleri Tablo 2'de, Güç Sistemi Dengeleyicisi parametreleri (  $T_w$ ,  $K_{PSS}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  ) Tablo 3'de verilmiştir (Farhad vd., 2018). Sistem kararlılığının sağlanması için  $\Delta\omega$  rotor hız değişiminden alınan bilgi hata olarak kabul edilecek olup hatanın karesinin integrali amaç fonksiyonu kabul edilmiştir. Yarasa algoritması kullanılarak amaç fonksiyonunun minimize edilmesi amaçlanmıştır. MATLAB programında kodlanarak çalıştırılan Yarasa algoritması, Simulink'ten aldığı hata bilgisiyle amaç fonksiyonunu minimize etmektedir. Optimizasyonda uygulanan yarasa algoritması parametreleri Tablo 5'de verilmiştir. Yaraların ortamla ses şiddeti (  $L$  ) ve sinyal emisyon hızı (  $r$  ) sabit değerler olarak alınmıştır.

**Tablo 2.** PID- Güç Sistemi Dengeleyicisi Limitleri

GSD Parametreleri	$T_w$	$K_P$	$K_D$	$K_I$
Alt Limit	1	0	0	0
Üst Limit	20	50	50	50

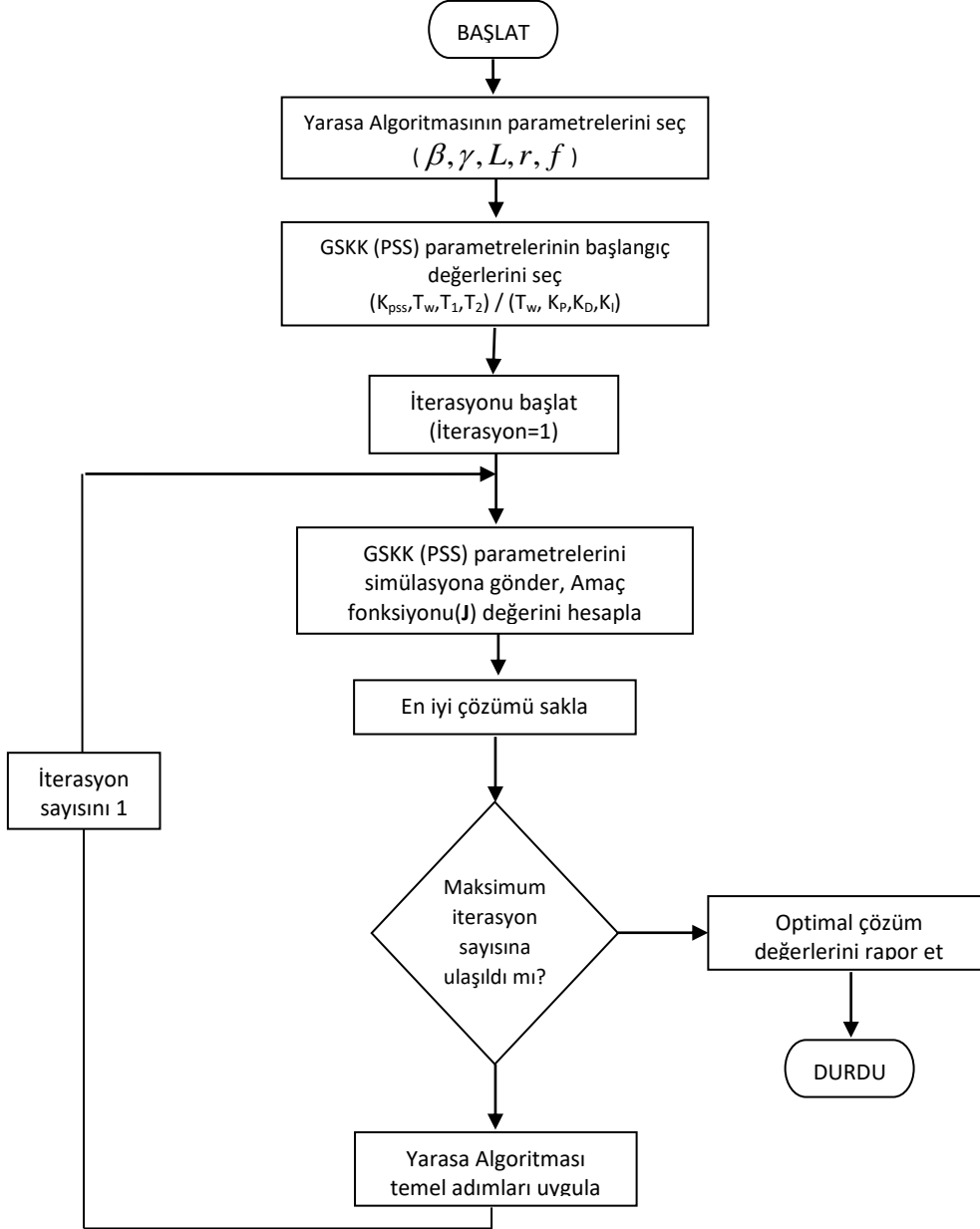
**Tablo 3.** Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi Limitleri

GSD Parametreleri	$K_{PSS}$	$T_w$	$T_1$	$T_2$
Alt Limit	1	1	0.2	0.02
Üst Limit	50	50	1.5	0.15

Güç sistemine  $t=0$  anında mekanik güç girişine ve referans voltaj girişine Tablo 4'de verilen arıza durumları ayrı ayrı uygulanmıştır. Sistem Yarasa algoritması tabanlı Güç sistem kararlı kılıcısına ait akış diyagramı Şekil-5 uyarınca optimize edilmiştir.

**Tablo 4.** Arıza Durumları

DURUM	$V_{ref}$	$T_m$
1	%10	%10
2	%10	%5
3	%5	%10
4	%5	%5



Şekil 6. Yarasa algoritması tabanlı Güç sistem kararlı kılıcısına ait akış diyagramı

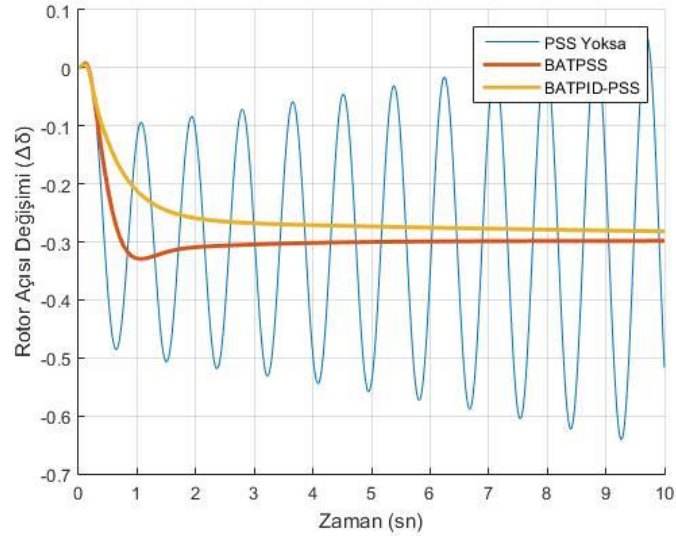
Tablo 5. Yarasa Algoritması Parametreleri

Boyut Sayısı	4
Popülasyon Sayısı	10
Maximum Frekans ( $f_{max}$ )	4
Ortalama Ses şiddeti ( $L$ )	0.25
Sinyal emisyon Hızı ( $r$ )	0.6
İterasyon Sayısı	5

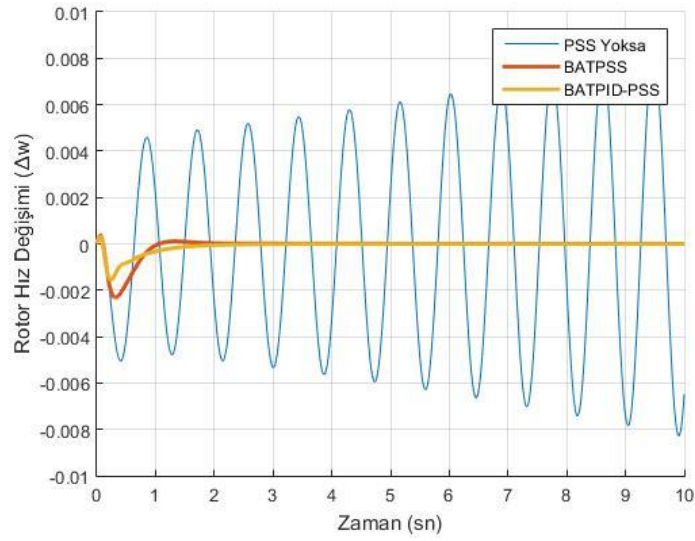


### 6.3. Simülasyon Grafikleri

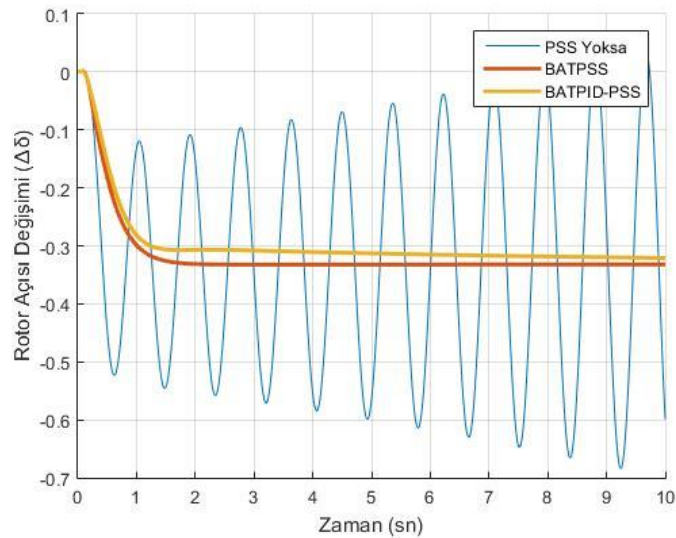
Simülasyona ait Rotor açısı değışı grafikleri ve Rotor hız değışim grafikleri aşağıda Şekil 7-14'de verilmiştir. Simülasyona ait Geleneksel GSD Parametre değeri Tablo 6'da ve PID-PSS Parametre değeri Tablo 7'de verilmiştir.



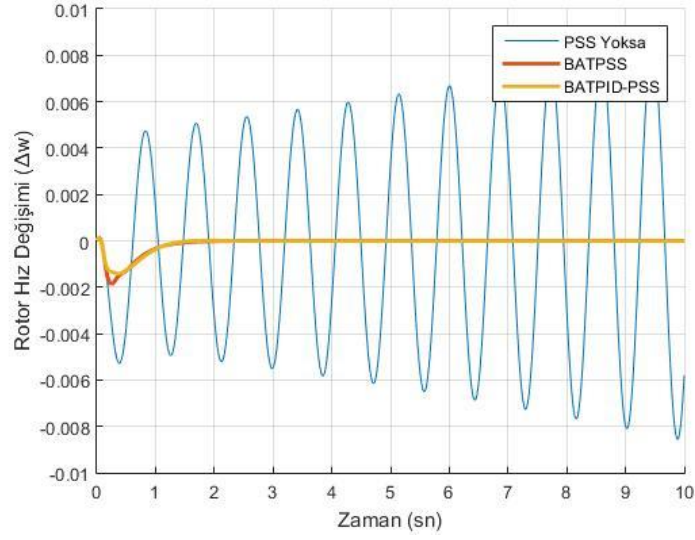
Şekil 7. Durum 1 Rotor açısı değışim grafiği (Δδ)



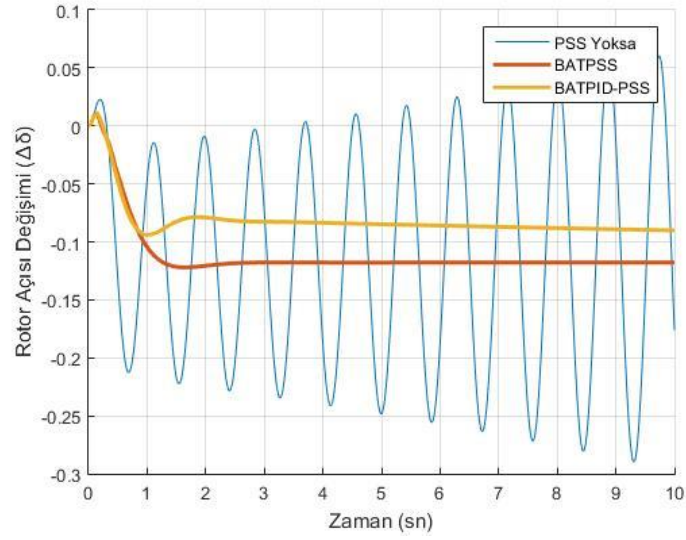
Şekil 8. Durum 1 Rotor hız değışim grafiği (Δω)



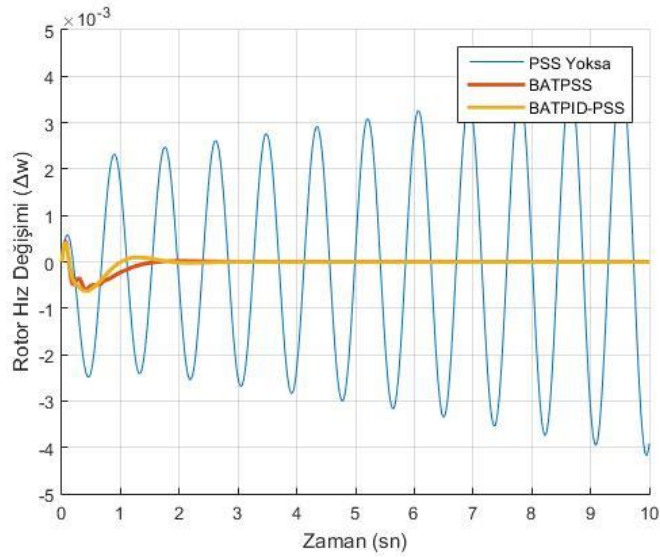
Şekil 9. Durum 2 Rotor açısı değışim grafiği (Δδ)



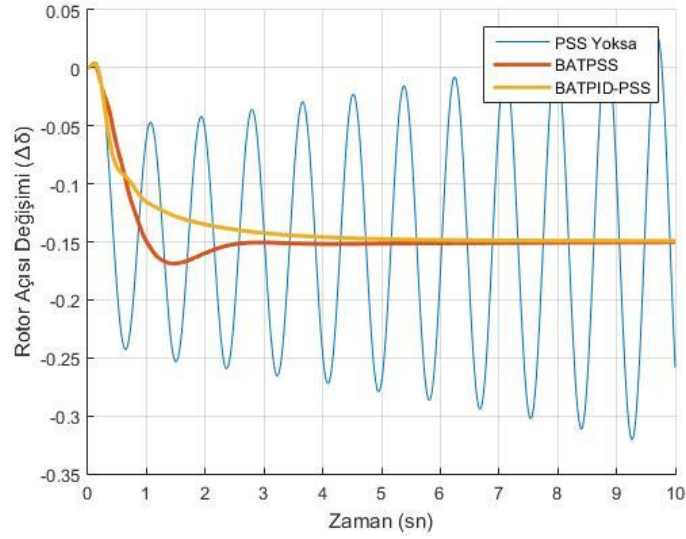
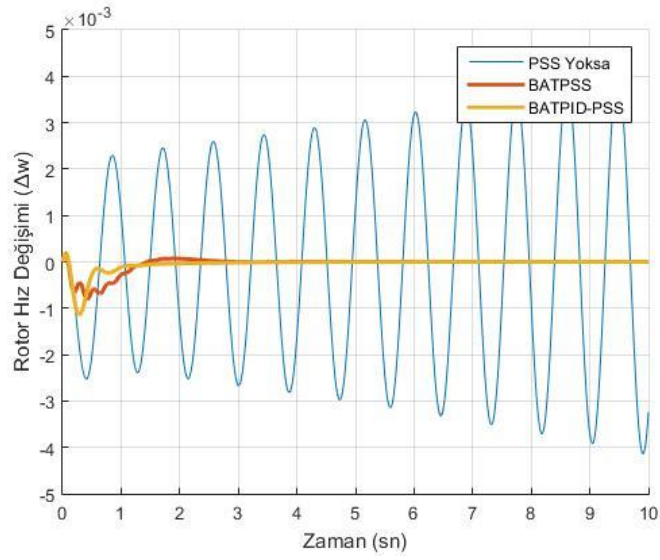
Şekil 10. Durum 2 Rotor hız değişim grafiği ( $\Delta\omega$ )



Şekil 11. Durum 3 Rotor açısı değişim grafiği ( $\Delta\delta$ )



Şekil 12. Durum 3 Rotor hız değişim grafiği ( $\Delta\omega$ )

Şekil 13. Durum 4 Rotor açısı değişim grafiği ( $\Delta\delta$ )Şekil 14. Durum 4 rotor hız değişim grafiği ( $\Delta\omega$ )

Tablo 6. Geleneksel GSD Parametre değerleri

DURUM	$K_{PSS}$	$T_w$	$T_1$	$T_2$
1	13,1992	1,8818	0,2824	0,02
2	25,9908	45,1140	0,2	0,02
3	24,6441	42,7346	0,3549	0,02
4	18,6620	7,8725	0,5382	0,0313

Tablo 7. PID-PSS Parametre değerleri

DURUM	$T_w$	$K_P$	$K_D$	$K_I$
1	10,6781	43,3883	4,4981	14,9976
2	7,2867	29,4865	7,2347	12,0649
3	18,6910	17,5385	6,8880	42,1725
4	1	30,5910	2,3377	49,0856

Durum 1 için Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde Rotor hız değişiminin ( $\Delta\omega$ ) geleneksel PSS ve PID-PSS için aynı sürede sönümlendirildiği fakat Rotor açısı değişiminin ( $\Delta\delta$ ) geleneksel PSS ile daha erken ve kararlı olarak değiştiği görülmektedir. Durum 2 için Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde Rotor açısı değişiminin ( $\Delta\delta$ ) PID-PSS ile daha düşük açıda olduğu fakat grafik kararlılığının olmadığı, grafik eğiminin aşağı yönlü olduğu görülmektedir. Rotor hız değişiminin ( $\Delta\omega$ ) ise geleneksel PSS ve PID-PSS için aynı süre ve kararlılıkta sönümlendiği görülmüştür.

Durum 3 için Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiğinde Rotor hız değişiminin ( $\Delta\omega$ ) geleneksel PSS ve PID-PSS için aynı sürede sönümlendiği, Rotor açısı değişiminin ( $\Delta\delta$ ) geleneksel PSS ile daha erken ve kararlı olarak değiştiği görülmektedir.

Durum 4 için Şekil 13 ve Şekil 14 incelendiğinde Rotor hız değişiminin ( $\Delta\omega$ ) PID-PSS ile daha erken sönümlendiği, Rotor açısı değişiminin ( $\Delta\delta$ ) geleneksel PSS ile daha kararlı sönümlendiği görülmektedir. Grafiklerin genel durumu incelendiğinde yarasa algoritması kullanılarak parametreleri belirlenmiş geleneksel PSS'in kararlılığının ve performansının yarasa algoritması kullanılarak parametreleri belirlenmiş PID-PSS'e göre daha kararlı olduğu görülmektedir.

## 7. Sonuçlar

Bu çalışmada tek makineli sonsuz baralı güç sisteminin rotor açısal kararlılığı sağlamak için metasezgisel bir algoritma olan yarasa algoritmasının doğru sonuca en yakın çözümü bulma prensibinden yararlanılmıştır. Güç sistem dengeleyicisi olarak geleneksel PSS ve PID-PSS aynı parametrelerdeki tek makineli sonsuz baralı güç sistemine farklı arıza durumlar için yarasa algoritması ile uygulanmıştır. Rotor açısı değişim ( $\Delta\delta$ ) grafikleri ve Rotor hız değişim ( $\Delta\omega$ ) grafikleri incelendiğinde yarasa algoritması kullanılarak parametreleri belirlenmiş geleneksel PSS'in ve PID-PSS'in rotor hız değişim ( $\Delta\omega$ ) kararsızlığını sönümlendirdiği, fakat PID-PSS'in rotor açısı değişim ( $\Delta\delta$ ) grafiklerinin kararlı olmadığı, geleneksel PSS'in kararlılığının ve performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

## Teşekkürler

Bu çalışma yazar İbrahim EKE adına "2219 Yurtdışı Doktora Sonrası Araştırma Bursu Programı" kapsamında TÜBİTAK tarafından (Başvuru Numarası: 1059B191300593) ve "Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince" (Proje Numarası: 2012 / 112) desteklenmiştir

**Ek Bölüm: Ek-A**

Devre sabitleri K1-K6 elde edildiği formüller aşağıda verilmiştir (Demello&Concordia, 1969).

$$i_{qo} = \frac{P_o V_{to}}{\sqrt{(P_o x_q)^2 + (V_{to}^2 + Q_o x_q)^2}} \quad (\text{B-1})$$

$$v_{do} = i_{qo} x_q \quad (\text{B-2})$$

$$v_{qo} = \sqrt{V_{to}^2 - v_{do}^2} \quad (\text{B-3})$$

$$i_{do} = \frac{Q_o + x_q i_{qo}^2}{v_{qo}} \quad (\text{B-4})$$

$$E_{qo} = v_{qo} + i_{qo} x_q \quad (\text{B-5})$$

$$E_o = \sqrt{(v_{qo} + x_e i_{qo})^2 - (v_{qo} - x_e i_{do})^2} \quad (\text{B-6})$$

$$\delta_o = \tan^{-1} \left( \frac{v_{do} + x_e i_{qo}}{v_{qo} - x_e i_{do}} \right) \quad (\text{B-7})$$

$$K_1 = \frac{x_q - x_d}{x_e + x_d} i_{qo} E_o \sin \delta_o + \frac{1}{x_e + x_q} E_{qo} E_o \cos \delta_o \quad (\text{B-8})$$

$$K_2 = \frac{E_o \sin \delta_o}{x_e + x_d} \quad (\text{B-9})$$

$$K_3 = \frac{x_e + x_d}{x_e + x_d} \quad (\text{B-10})$$

$$K_4 = \frac{x_d - x_d}{x_e + x_d} E_o \sin \delta_o \quad (\text{B-11})$$

$$K_5 = \frac{x_q}{x_e + x_q} \frac{v_{do}}{V_{to}} E_o \cos \delta_o - \frac{x_d}{x_e + x_d} \frac{v_{qo}}{V_{to}} E_o \sin \delta_o \quad (\text{B-12})$$

$$K_6 = \frac{x_e}{x_e + x_d} \frac{v_{qo}}{V_{to}} \quad (\text{B-13})$$

**Referanslar**

- Eke, İ. (2011). Yapay Arı Kolonisi Algoritması Tabanlı Kararlı Güç Sistemi Dengeleyicisi Tasarımı. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Larsen, E. V., & Swann, D.A. (1981). Applying Power System Stabilizers Part I: General Concepts. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-100 (6): 3017-3024.
- Larsen, E. V., & Swann, D.A. (1981). Applying Power System Stabilizers Part II: Performance Objectives and Tuning Concepts. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-100 (6): 3025-3033.
- Larsen, E. V., & Swann, D.A. (1981). Applying Power System Stabilizers Part III: Practical Considerations. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-100 (6): 3017-3024.
- Chi-Jui, W., & Yuan-Yih, H. (1988). Design of self-tuning PID power system stabilizer for multimachine power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 3(1): 1059-1064.
- Trudnowski, D. J., Smith, J. R., Short, T. A. & Pierre, D. A. (1991). An application of Prony methods in PSS design for multimachine systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 6(1): 118-126.
- Chao-Rong, Chen., & Yuan-Yin, Hsu. (1991). Synchronous machine steady-state stability analysis using an artificial neural network. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 6(1): 12-20.
- Yang, T.C., (1997). Applying  $H_{\infty}$  Optimisation Method to Power System Stabiliser Design part 1: Single-Machine Infinite-Bus Systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 19(1): 31-35.
- Gurralla, G., & Sen, I. (2008). A modified Heffron-Phillip's model for the design of power system stabilizers, *International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference*, New Delhi, 1-6.
- Gözde, H. (2010). Güç Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması Yöntemi ile Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Eke, İ., Taplamacıoğlu, M. C., & Kocaarslan, İ. (2011). Power System Stabilizer Design for Rotor angle stability. *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3, No.2.
- Duman S., Öztürk A., & Tutkun N., (2011). Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı için Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanarak PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi. 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 269-274.
- Ekinci S., (2015). Power system stabilizer design for multi-machine power system using bat search algorithm. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33(4): 627-637.
- Farhad Z., Eke İ., Tezcan S., & Safi S.J., (2018). A Robust PID Power System Stabilizer Design of Single Machine Infinite Bus System using Firefly Algorithm. *Gazi University Journal of Science*, 31(1): 155-172.
- Sauer P.W., Pai M.A., & Chow, J.H., (2017). *Power System Dynamics and Stability: With Synchrophasor Measurement and Power System Toolbox*. Hoboken, NJ, USA: IEEE Press, Wiley.
- Mondal D., Chakrabarti A., & Sengupta A., (2014). *Power System Small Signal Stability Analysis and Control*. Academic Press, London.
- Ekinci S., Hekimoğlu B., & Uysal E., (2018). MATLAB/Simulink ile tek-makinalı sonsuz-baralı bir güç sisteminin kararlılık analizi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20 (1): 450-470.
- Ekinci S., Hekimoğlu B., & Uysal E., (2018). PID güç sistemi kararlı kılıcısı Parametrelerinin belirlenmesi için böbrek-ilhamlı algoritma. *Politeknik Dergisi*, 33(\*): \*.
- Yang, X.S., (2010). A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*, 284, 65-74.0
- Demello F.P., & Concordia C., (1969). Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS 88(4), 316-329.