



## Çok Makinalı Test Sisteminin, Kısa Devre Arızası Analizinde Güç Sistem Dengeleyicisi Parametrelerinin Elektrik Balığı Optimizasyonu ile Belirlenmesi

### Determination of Power System Stabilizer Parameters in Short Circuit Fault Analysis of Multi-Machine Test System with Electric Fish Optimization

Burak Kaya<sup>1\*</sup> , İbrahim Eke<sup>1</sup> 

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

Başvuru/Received: 09/11/2023

Kabul / Accepted: 23/01/2024

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2024

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2024

#### Öz

Bu makalede, çok makinalı test sisteminin (MMTS) bir güç sisteminin kısa devre arızası durumlarında salınımlarında kararlılık oluşması için bir sezgisel optimizasyon algoritması olan Elektrik Balığı Optimizasyonu (EFO) kullanarak geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi (PSS) parametrelerinin belirlenmesinde kullanılması önerilmiştir. Hata ve zaman tanım bölgesi tabanlı PSS parametrelerine ait problemin, tasarlanan amaç fonksiyonları EFO tekniği ile minimum hale getirilerek rotor hız değişim ( $\Delta\omega$ ) kararsızlığının MATLAB/Power Pss uygulaması üzerinde sönümlenmesinde optimal parametreleri çözüm olarak kullanılmıştır. EFO optimizasyonu sonucu parametreleri belirlenen geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisinin farklı kısa devre hataları durumlarındaki performans sonuçları incelenmiştir. EFO tekniği ile hesaplanmış PSS'in güç sisteminde rotor hız değişimi kararsızlığını sönümlendirdiği, sistemin performansının Yapay Arı Kolonisi Algoritması (ABC) uygulanan PSS ve sistemde PSS kullanılmayan durumlar dikkate alındığında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

"MATLAB, Power PSS, Güç Sistemi Dengeleyicisi, Rotor Hız Değişimi, Elektrik Balıkları Algoritması, MMTS"

#### Abstract

In this article, the multi-machine testing system (MMTS) is proposed to be used in determining the parameters of conventional Power System Stabilizer (PSS) using Electric Fish Optimization (EFO), which is a maintenance for the stability of oscillations in cases of short circuit faults of a power system. The problem of PSS parameters based on the error and time domain was used as the optimal parameters solution in dampening the rotor speed change ( $\Delta\omega$ ) instability on the MATLAB/Power Pss application by minimizing the intended capacity with the EFO team. The results of the performance results of the conventional Power System Stabilizer in different short circuit fault situations recorded in the EFO solution result record. It has been observed that the PSS calculated with the EFO system dampens the instability of the rotor speed change in power processes, and that the functioning of the system is better in the performance of PSS and system PSS processes applied by the Artificial Bee Colony Algorithm (ABC).

#### Key Words

"MATLAB, Power PSS, Power System Stabilizer, Rotor Speed Variation, Electric Fish Algorithm, MMTS"

## 1. Giriş

Tüketicinin elektrik enerjisi talebini karşılanmak için elektrik enerjisinin senkron generatörler tarafından üretimi sağlanmaktadır. Tüm generatörlerin senkronizmada kalması için güç sistemleri enterkonnekte bir yapıda olması gerekmektedir. Güç sistemlerini, değişken bir yük karakteristiğine sahip sonsuz güçlü baraya bağlı senkron generatörler oluşan bir sistem olarak ifade edilmektedir. Bir güç sisteminde ilave yük girmesi veya sistemden yük çıkması anında, güç sisteminde düşük frekans ve genlikli, (0.2-3.0 Hz), salınımlara neden olur. Düşük frekanstaki ve genlikte güç salınımlarının uzun sürelerde devam etmesi enterkonnekte güç sisteminde iletimini etkileyecek düzeylere varmasına hatta sistemin devre dışı kalmasına neden olur. Bozucu etkiler başlaması sonucu güç sistemlerinde elektriksel ve mekanik güç dengesinin bozulması durumunda, açılabilir kararlılık ile sistemin sürdürülebilmesi için yeterli senkronizasyon momentinin önceden üretilmesi gerekmektedir. Büyük bir bozucu etkiyle güç sistemi karşılaşması durumunda senkronlayıcı moment yeterli cevabı üretemeyebilir. Gerekli sönüm momentinin üretilmesinin sağlanması için güç sistemi dengeleyicisinin (GSD) senkron makineye ilave edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. 1960' lı yıllardan itibaren güç sistemi dengeleyicileri, gerilim regülatörü girişine ek bir gerilim işareti uygulanması ile senkronlayıcı momente ek olarak sönüm momenti sağlamaktadır (Eke ve diğerleri, 2011). Güç sisteminin geçici hal kararlılığının kalıcı olması ve güç sistemlerinde bozucu salınımların sönümlenmesi için araştırmacılar tarafından birtakım analizler yapılmıştır.

Genetik algoritmalar kullanılarak güç sistemi denetleyicisinin çok amaçlı tasarımı analiz edilmiştir (Magid & Abido, 2003). Güç sisteminin kararlılığının bakteri besin arama algoritması ile parametrelerinin kararlılık analizi yapılmıştır (Sukumar ve diğerleri, 2007). Çok makinelik bir güç sistemi için bulanık mantık PSS kullanılarak sistemin kararlılık durumu gözlenmiştir (Elmenfy ve diğerleri, 2007). Genetik algoritma tabanlı bulanık mantıklı güç sisteminin çok makinalı güç sisteminde modellenmesi üzerine analiz yapmışlardır (Dubey, 2008). Yük-frekans kontrolünü Yapay Arı Kolonisi algoritmasını ilk kez enterkonnekte güç sisteminin uygulaması; sistem kararlılığına algoritmanın etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir (Gözde, 2010). GSD parametrelerinin ayarlanmasıyla ilgili çalışmada yeni bir yöntem ile çok değişkenli optimizasyon problemi gibi ele alınarak GSD parametrelerini belirlenmesini yapay arı koloni algoritması ile çözülmesi konusunda çalışma yapmışlardır (Eke ve diğerleri, 2011). Diferansiyel evrim (DE) algoritması uygulanan Güç Sistemi Dengeleyicisi için PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesi için çözüm geliştirmişlerdir (Duman ve diğerleri, 2011). Yarasa algoritması optimizasyonu uygulanan Güç Sistemi Dengeleyicisi ile düşük frekanslı salınımları sönümlendirmek için çözüm önerisi olarak çok makinelik güç sisteminde gerçekleştirilmiştir (Ekinci, 2015). Parçacık Sürü algoritması kullanılarak PSS parametrelerine uygulanması ile güç sistemi kararlılığı analiz edilmiştir (Ekinci & Demirören, 2015). Güç sisteminin modellenmesi, simülasyonu ve optimal tasarımı ile Güç Sistem Dengeleyicisi üzerine çözüm geliştirmişlerdir (Demirören & Ekinci, 2015). Yeni bir meta-sezgisel Bat algoritması kullanılarak yeni oransal PID güç sistemi dengeleyicisinin optimum tasarımı ve ayarlanması (Chaib ve diğerleri, 2017). Geçici kararlılığın analizi için güç sistemi denetleyicisi ve statik var kompanseör kullanımı üzerine çözüm geliştirmişlerdir (Adalqadir, 2018). MATLAB/Simulink ile tek-makinalı sonsuz-baralı bir güç sisteminin kararlılık konusunda çalışma yapılarak analiz gerçekleştirmişlerdir (Ekinci & Hekimoğlu, 2018). Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniğini kullanarak dinamik kararlılığın iyileştirmesi için modifiye edilmiş güç sistemi denetleyicisi tasarımı için analiz edilmiştir (Butti ve diğerleri, 2019). Elektrikli balık optimizasyonu: elektrolokasyondan ilham alan yeni bir sezgisel algoritma tasarımı konusunda çalışma yapmışlardır (Yılmaz & Şen, 2020). Özellikle seçimi için elektrikli balık tabanlı aritmetik optimizasyon algoritması uygulanması konusunda analiz yapmışlardır (İbrahim ve diğerleri, 2021). Yapay balık sürüsü algoritmalarının gözden geçirilmesi, son gelişmeler ve uygulamalar konusunda çalışma yapmışlardır (Pourpanah ve diğerleri, 2022). Çok makinelik güç sistemi için genetik ve bakterilere dayalı hibrit bir algoritma kullanarak bir güç sistemi dengeleyicisinin tasarlanması konusunda çözüm geliştirmişlerdir (Zadehbagheri ve diğerleri, 2023).

Üretim yapan makinelerin normal çalışma şartları altında elektriksel çıkış momenti ve mekanik giriş momenti arasında denge durumu sağlanabilmesi için hızın sabit kalması gerekir. Çok sayıda senkron makinenin stator gerilimleri ve akımları aynı frekansa sahip ve her rotorun mekanik hızı bu frekansa uyumlu olmalıdır. Bozucu bir etki oluştuğunda rotora etki eden mekanik ve elektriksel momentler ile salınımların değişimi başlamaktadır. Bu salınım sonrası enterkonnekte güç sistemindeki jeneratörlerin senkronizmada kalabilme yeteneği olarak tanımlanan rotor açısı kararlılığı, bozucu etkinin büyüklüğüne bağlı olarak; geçici kararlılık ve sürekli hal kararlılığı başlıkları altında iki grupta incelenir. Geçici kararlılık; kısa devreler, üretim birimlerinin veya büyük güçlü tüketicilerin devre dışı kalması gibi bozucu etkilere karşı senkron kalabilme yeteneğidir. Genellikle bozucu etki öncesinde ve sonrasında çalışma değerleri farklıdır. Sürekli hal kararlılığı ise küçük bozucuya maruz kalan güç sisteminin senkronizmayı koruyabilmesi ile ilgilidir. Bu çalışmada rotor açısı kararlılığının alt grubu olan geçici kararlılık üzerinde durulmuş ve analizler yapılmıştır.

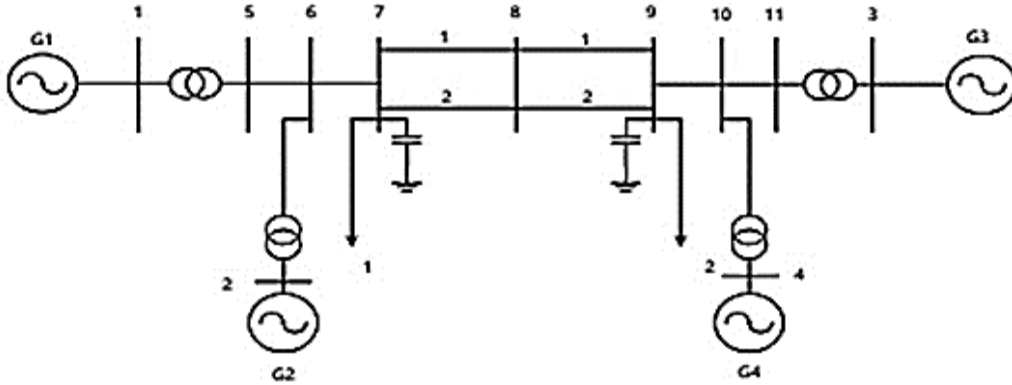
Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi, sabit değerli kazanç parametreleri kullanarak sistemin kararlılığını sağlamak için tasarlanır. Fakat farklı çalışma koşullarında sabit değerli kazanç parametrelerinin uygulanması geleneksel GSD' nin performansını istenilen düzeyde vermemektedir. Günümüze kadar yapılan araştırmalarında güç sistemi denetleyicileri, güç sistemlerinde oluşan bozucu etkilerin sönümlenmesinde ve geçici kararlı halinin kalıcı olması için kullanılmaktadır. Son zamanlarda, hiyerarşik bulanık mantık temelli güç sistemi denetleyicisi, uygulanabilir yapay bulanık mantık, bulanık mantık temelli güç sistemi denetleyicisi birçok araştırmacı tarafından güç sistemlerinde oluşan salınımların sönümlenmesini sağlamak amacıyla çalışmalarında kullanılmaktadır. Elektrik mühendisliğinde, güç sistemlerinin sezgisel metotlarla optimizasyonu popüler konularından biri haline gelmiştir. En iyi sonucu alabilmek için en uygun optimizasyon metodun seçilmesi gerekmektedir.

Bu metotlardan olan, elektrikli balıkların elektrolokasyon ve elektroiletişim yeteneklerinden ilham alan bir buluşsal yöntem olarak ilk çalışma olması, anlaşılması kolay yapısıyla, az parametresi ve iki ana arama çerçevesi (aktif ve pasif arama aşamaları) ile "önce araştır, sonra yararlan" yaklaşımını yerine getirdiği için bu çalışmada, Elektrik Balıkları Algoritması tercih edilmiştir. Ayrıca, EFO'nun gerçek dünya tasarım problemlerinde daha iyi performansla sahip olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Arama yeteneği ve bu bölümde incelenen son derece karmaşık problemde yapay arı kolonisi algoritmasından daha iyi performans göstermektedir.

Güç sistemlerinde meydana gelen bozucu etkiler karşısında sistemin kararlılığını sağlamak için güç sistemi denetleyicisinin parametresinin belirlenmesinde yapay arı kolonisi algoritması, diferansiyel evrim algoritması, genetik algoritması, tavlama benzetimi, tabu arama algoritması, bakteriyel besin arama algoritması, yapay bağışıklık algoritması gibi popülasyona dayalı modern sezgisel yöntemler araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu algoritmalar özellikle sürekli, karmaşık ve yüksek dereceden doğrusal olmayan problemlerin çözümünde doğadaki evrim sürecine dayalı olarak modellenmiş oldukları için önemli bir alternatif oluşturmuşlardır. Bu makalenin amacı, Güç Sistemi Dengeleyicisinin parametrelerinin optimal ayarlanması için MATLAB/Power PSS ortamında sistemde meydana gelen kısa devre hatalarına karşı çok makinelik bir güç sisteminin elektrik balıklar algoritması optimizasyonu ile kararlılık analizlerinin simülasyonlarını yaparak güç sistemi için en iyi sonucu elde edecek GSD parametre değerlerini tespit etmektir.

## 2. İki Bölge Dört Generatörlü Güç Sistemi

İki bölge dördü generatörlü güç sisteminin şematik diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu iki alanlı test sistemi, birbirine bağlı büyük güçlerin düşük frekanslı elektromekanik salınımlarını incelemek için özel tasarlanmıştır. (Bibaya & Liu, 2015)



Şekil 1. İki Bölge Dört Generatörlü Güç Sistemi Şematik Diyagramı

Güç sistemi birbiri ile bağlantılı 2 adet bölgeden oluşmakta ve her bir alanda 2 adet 900 MVA güce ve 20 kV gerilime sahip generatör bulunmaktadır. Bu generatörlerin nominal gerilim ve güç bazında p.u. cinsinden parametre değerleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 1. Generatör Parametre Değerleri

$X_d = 1.8$	$X_q = 1.7$	$X_l = 0.2$	$X'_d = 0.3$	$X'_q = 0.55$
$X''_d = 0.25$	$X''_q = 0.25$	$R_a = 0.0025$	$T'_{d0} = 8.0$ s	$T'_{q0} = 0.4$ s
$T''_{d0} = 0.03$ s	$T''_{q0} = 0.03$ s	$A_{sat} = 0.015$	$B_{sat} = 9.6$	$\psi_{T1} = 0.9$
$H = 6.5$ (G1 ve G2 için)		$H = 6.175$ (G3 ve G4 için)		$K_D = 0$

1-5, 2-6, 3-11 ve 4-10 numaralı baralar arasında yükseltici transformatörler bulunmakta ve her bir transformatörün 20/230 kV ve 900 MVA güç gerilim bazında empedansı  $0 + j0.15$  p.u'dur. İletim hatlarının nominal gerilimi 230 kV'dur. 230 kV gerilim ve 100 MVA güç bazında hat parametreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2. İletim Hattı Parametreleri

$r = 0.0001$ pu/km	$x_L = 0.001$ pu/km	$b_C = 0.00175$ pu/km
--------------------	---------------------	-----------------------

Güç sistemi iki alan arasında 400 MW aktif güç ileten generatörlerin aşağıdaki tabloda yüklenme değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Generatörler Yüklenme Değerleri

G1	P=700 MW	Q=185 MVar	$E_t = 1.03 \angle 20.2^\circ$
G2	P=700 MW	Q=235 MVar	$E_t = 1.01 \angle 10.5^\circ$
G3	P=719 MW	Q=176 MVar	$E_t = 1.03 \angle -6.8^\circ$
G4	P=700 MW	Q=202 MVar	$E_t = 1.01 \angle -17.0^\circ$

7 ve 9 numaralı baralardaki yükler ve şönt kapasitörler tarafından sağlanan reaktif güç değerleri aşağıdaki tablodaki sunulmuştur.

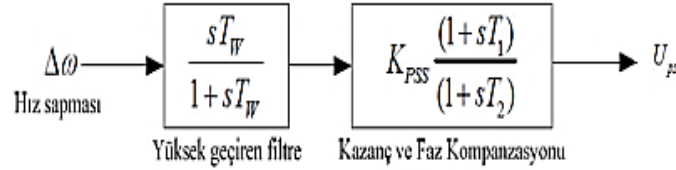
**Tablo 4.** Baralardaki Yük ve Reaktif Güç Değerleri

Bara 7	$P_L = 967 \text{ MW}$	$Q_L = 100 \text{ MVar}$	$Q_C = 200 \text{ MVar}$
Bara 9	$P_L = 1.767 \text{ MW}$	$Q_L = 100 \text{ MVar}$	$Q_C = 350 \text{ MVar}$

Bu çalışmada elektrik balıkları algoritması yöntemiyle Kundur'un 2 Alanlı- 4 Generatörlü parametrelerinin kullanıldığı güç sistemi üzerinde rotor açısı kararlılığı incelenmiştir. Yapay arı kolonisi algoritması uygulanan güç sistemi denetleyicisinin ve güç sisteminde hiçbir denetleyicinin olmadığı durumlarda, 8. baradaki üç faz kısa devre arızasının rotor açısı kararlılığı üzerindeki etkileri Matlab/Simulink ortamında Şekil 1 de gösterilen model kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. Güç Sistemi Dengeleyicisi (PSS)

Düşük-frekanslı salınımlarda gerekli sönülmeyi sağlayarak sistemi kararlı hale getirmek için Güç Sistemi Dengeleyicisi ortaya çıkmıştır. Giriş sinyalinin farklılıklarına göre güç sistemi dengeleyicisi dört farklı grupta değerlendirilir. Bu çalışmada kullanılan  $\Delta\omega$ (Hız Değişimi) tabanlı Güç Sistemi Dengeleyicisinin şematik diyagramı aşağıda gösterilmiştir.



**Şekil 2.** PSS Şematik Diyagramı

Generatörün rotor salınımları yok edilmesi amacıyla PSS minimum ve maksimum elektrik-moment bileşeni sinyalleri için uyarma sinyalinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 2’te gösterilen PSS blok diyagramında ise birim başına kazanç  $K_{PSS}$ , temizleyici filtre zaman sabiti  $T_W$ , faz kompanzasyonu ileleme/gecikme türevi zaman sabitleri  $T_1$  ve  $T_2$ ’ dir. Güç sistemi dengeleyici parametrelerinin ayar problemi, bu parametreleri bulmaktır. PSS iyi bir performans sağlayacağı değerlerin bulunması ile güç sistemini istikrarlı hale getirmektedir (Ekinci & Hekimoğlu, 2018).

### 4. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu (ABC)

Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu, sayısal optimizasyon problemleri için bal arılarının yiyecek arama davranışları nedeniyle bal arısı sürülerinin sağlam ve popülasyona dayalı bir stokastik optimizasyon algoritmasıdır. Toplayıcı arılar üç sınıfa ayrılır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar. İşçi arılar, halihazırda bir besin kaynağından yararlanan arılardır. Besin kaynağını iyi kullanırlar ve besin kaynağına ilişkin bilgiyi kovanda bekleyen gözcü arılara aktarırlar. Yeni yiyecek kaynakları arayan arılara her zaman kaşif arılar denir. İşçi arılar kovan içerisinde belirlenen alanda dans ederek besin kaynaklarının nerede olduğu bilgilerini dağıtırlar. Dansın temeli, dans eden arının kullandığı besin kaynağının nektar içeriğiyle orantılıdır. Gözcü arılar dansı gözlemlemekte ve keşfedilen besin kaynağının kalitesiyle orantılı olasılık doğrultusunda bir yiyecek kaynağı seçerler. Bu nedenle, iyi niteliklere sahip besin kaynakları, kötü besin kaynaklarına kıyasla daha fazla gözcü arı çeker. Bir yiyecek kaynağındaki bütün işçi arılar, yiyecek kaynağı tükendiği herhangi bir zamanda onu terk eder ve kâşif arı olurlar. Kâşif arıların istihdam edildikleri süre boyunca keşif görevini yerine getirmeleri öngörülmektedir. Gözcü arıların ise gözlemleyerek görevini yerine getirmeleri varsayılmaktadır.

ABC algoritmasında her besin kaynağı mevcut soruna olası bir çözüm olarak kabul edilir. Bir besin kaynağının nektar miktarı, uygunluk değeriyle simgelenen çözümün kalitesini belirtir. İşçi arıların sayısı ile besin kaynaklarının sayısı aynıdır ve her işçi arı mutlaka yiyecek kaynağına gelir. Algoritma, tüm işçi arıları keyfi olarak üretilen yiyecek kaynaklarına bağlayarak başlar. Her yinelemede, her görevli arı yakındaki bir yiyecek kaynağını seçer ve ardından nektarını değerlendirir. Besin kaynağının  $i$ 'nci konumu  $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{id})$  olarak tanımlanır ve  $fit_i$ ,  $X_i$ 'de bulunan besin kaynağının nektar miktarı olarak kabul edilir. İşçi arıların dansını gözlemleyen bir gözlemci arı,  $X_i$ 'deki yiyecek kaynağının alanına  $p_i$  olasılığı ile şu şekilde temsil edilir:

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{k=1}^{SN} fit_k} \quad (1)$$

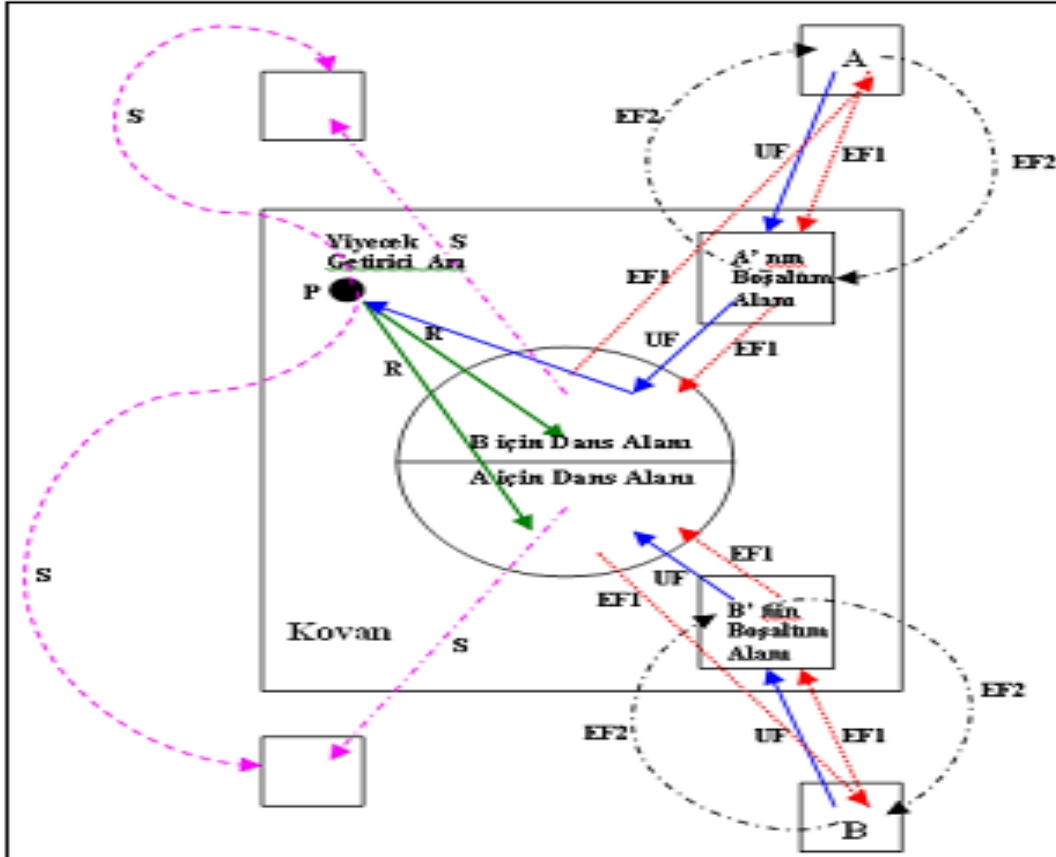
Burada SN, gıda kaynaklarının genel miktarıdır. Gözcü arı  $X_i$ 'nin çevresi kullanarak bir yiyecek kaynağının yakını bulur.

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \delta_{ij} * u \quad (2)$$

Burada  $\delta_{ij}$  formüle edilen  $i$ 'nci besin kaynağının  $j$ 'nci boyutu için yaklaşma boyutudur.

$$\delta_{ij} = X_{ij} - X_{kj} \quad (3)$$

Burada  $k$  rastgele bir sayıdır  $\in (1, 2, \dots, SN)$  ve  $k \neq i$  ve  $u$  rastgele bir değişken  $\in [-1, 1]$ 'dir. Yeni elde edilen uygunluk değeri öncekilerden iyi ise, o zaman arı yeni keşfedilen besin kaynağına eskisini terk ederek yaklaşır; aksi takdirde önceki kaynağa kalacaktır. Tüm işçi arılar bu rutin süreci tamamladıktan sonra uygunluk bilgilerini çalışanlar arasında dağıtırlar. Gözcü arıları her biri olasılık doğrultusunda bir yiyecek kaynağı seçer. Her arı istenilen yiyeceği arayacaktır tekrarlanan sayıda döngü için komşu civarındaki kaynak ve uygunluk değeri yeterli değilse o arı kâşif arıya dönüşecektir. Arıların kendi aralarındaki yiyecek arama davranışlarının gösterim şeması şu şekildedir (Akay, 2010)



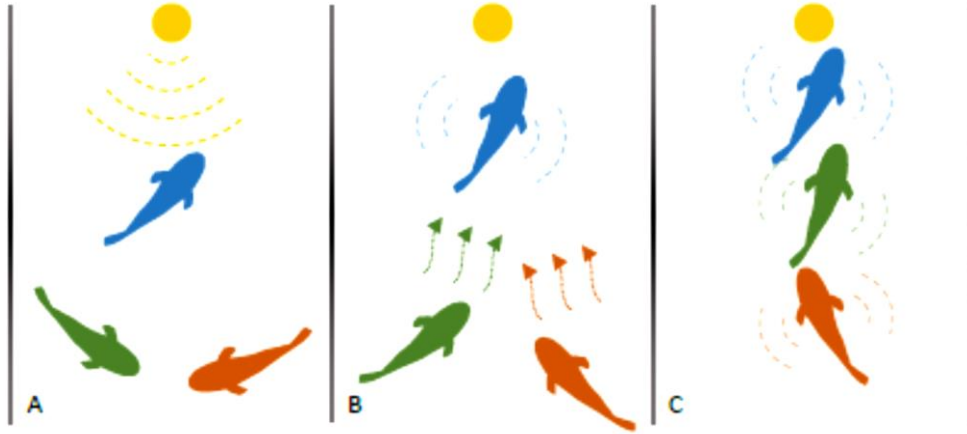
Şekil 3. Arıların Yem Arama Davranışları

## 5. Elektrik Balığı Optimizasyonu (EFO)

Bu algoritma, literatüre 2019 yılında Selim YILMAZ ve Sevil ŞEN tarafından sunulmuştur. Gece elektrikli balıklarının görme yeteneği çok zayıftır, görsel duyuların çok sınırlı olduğu çamurlu suda ve karanlık ortamlarda yaşarlar. Bu nedenle, çevrelerini algılamak için elektrolokasyon adı verilen türe özgü yeteneklerine güvenirlir. Bu tür balıkların aktif ve pasif elektrolokasyon kapasitesinin iyi olduğu

varsayılmaktadır. Elektrikli balıkların elektrolokasyon ve elektrokomünikasyon yeteneklerinden ilham alan Elektrik Balığı Optimizasyonunun gerçek parametre optimizasyon problemlerini çözmek için, etraflarındaki nesnelere ve avı algılamalarını sağlayan yeteneğine elektrolokasyon denir. Elektrikli balıkların elektrolokasyon kapasitesi iki ana dalda incelenir: aktif elektrolokasyon ve pasif elektrolokasyon. Önerilen EFO algoritması, hem aktif hem de pasif elektrolokasyondan doğası gereği sürü tabanlı sezgisel ilk algoritma çalışmasıdır. Arama uzaylarını yerel ve küresel sağlamak için elektrikli balıkların davranışlarına göre hareket edilmiştir. Ayrıca elektrik organ deşarjı faaliyetleri (frekans ve genlik) ilk kez sürü tabanlı sezgisel bir algoritmada modellenmiştir.

Elektrikli balıklar ürettikleri elektrik alanının gücüne bağlı olarak güçlü ve zayıf elektrik balıkları olarak kategorize edilir. Güçlü elektrikli balık çoğunlukla saldırı amaçları için elektrolokasyon kabiliyetini kullanırlar ve alan yoğunlukları 10 ila 600 V arasında değişen elektrik üretirler ki bu avlarını sersemletmek için yeterlidir. Buna karşılık, zayıf elektrikli balıklar, yalnızca birkaç nokta arasında kullanılan yüz milivolt ve birkaç volt elektrik yoğunluğu alanları üretir ki gezinmek, iletişim kurmak, nesnelere algılamak vb. için gereklidir. Elektrokomünikasyon adı verilen yetenek türe özgü yetenek ile elektrikli balıklar i) kimlikleri, cinsiyetleri, ortamdaki statüleri hakkında; ii) fizyolojik veya motivasyonel durumları; ve iii) çevreleri, yiyeceklerin varlığı hakkında bilgi alışverişinde bulunabilir.



Şekil 4. Bir Balık Sürüsünde Av Tespiti Ve İletişim

Şekil 4 de görüldüğü üzere; A) Balık (mavi renkli) kaynaktan gelen sinyalleri algılar. B) Aktif moda geçerek daha yüksek frekanslı sinyaller üretir ve çevresine iletir. C) Diğer pasif moddaki balıklar (yeşil ve kahverengi renkli) türdeşin sinyalini algılar ve kaynağa doğru hareket eder. (Yılmaz & Şen, 2020)

Elektrikli bir balığın  $t$  zamanındaki frekans değeri, besin kaynağına olan yakınlığıyla ilgili olduğundan, bireyin frekans değeri  $f_i^t$  uygunluk değerinden türetilir:

$$f_i^t = f_{min} + \left( \frac{fit_{worst}^t - fit_i^t}{fit_{worst}^t - fit_{best}^t} \right) (f_{max} - f_{min}) \quad (4)$$

Mevcut durumdaki bireylerden elde edilen sırasıyla en kötü ( $f_{min}$ ) ve en iyi uygunluk ( $f_{max}$ ) değerleridir. Popülasyonun en iyi uygunluk değeri  $t$  iterasyonundaki  $i$ . bireyin uygunluk değeridir. Bu çalışmada  $f_{min}$  ve  $f_{max}$  sırasıyla 0 ve 1 olarak ayarlanır ve frekans olarak bir olasılık hesaplaması için kullanılır. Elektrikli balıkların frekans dışında genlik bilgileri de vardır. Bu, bir balığın aktif aralığını belirler. Aktif olarak elektrolokasyon yaparken ve pasif olarak elektrolokasyonlu diğer balıklar tarafından algılanma olasılığı elektrik alan kuvveti uzaklığın ters küpü ile azalır.

Bir bireyin genliği, bireyin önceki genliklerinin ağırlığına bağlıdır, aşağıda gösterilen değişmeyen.  $i$ . bireyin genlik değeri ( $A_i$ ) şu şekilde hesaplanır:

$$A_i^t = \alpha A_i^{t-1} + (1 - \alpha) f_i^t \quad (5)$$

$\alpha$  |  $\alpha \in [0,1]$  önceki genlik değerinin büyüklüğünü belirleyen sabit bir değerdir. EFO'da,  $i$ . bireyin ilk genlik değeri, kendi başlangıç frekans  $f_i$  değerine ayarlanır. Bir balığın (veya bireyin) frekans ve genlik parametre değerleri yakınlığa göre güncellenir. En iyi seçime kaynağına göre balık algoritmanın her yinelemesinde, popülasyon göre iki gruba ayrılır: Her bireyin frekans değeri: aktif elektrolokasyon (NA) uygulayan bireyler ve pasif performans gösterenler elektrolokasyon (NP) yeni birleşiminde oluşur (NAUNP = N). Çünkü bir bireyin frekansı düzgün dağılmış bir frekansla karşılaştırılır. Rastgele değerde, bir bireyin sahip olduğu frekans değeri ne kadar yüksekse, aktif elektrolokasyon gerçekleştirme olasılığı o kadar yüksektir. Arama daha sonra NA ve NP'deki bireyler tarafından paralel bir şekilde gerçekleştirilir.

### 5.1. Elektrik Balıkları Algoritması Pseudo Kod

```

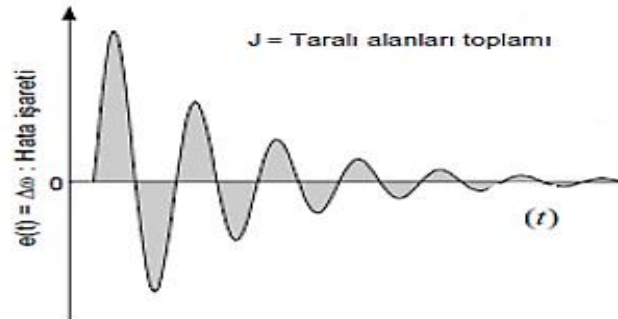
1 Denklem ile N başlangıç popülasyonunu oluşturun. 1;
2 Bireyin uygunluk değerini değerlendirir;
3 Denklem ile her bireyin frekans f ve genlik A değerlerini hesaplayın 2 ve 3;
4 Tekrar
5 Her biri için i ∈ N yap
6 if fi > rand then // aktif elektrolokasyon fazı
7 Değiştirilecek bir j parametresini rastgele seçin;
8 i. bireyin aktif aralığını (ri) hesaplayın;
9 Kendi bireyinin diğer bireylere olan mesafesini hesaplar;
10 Algılama alanındaki komşu bireyleri (S) inceleyin;
11 if S≠0 ise then
12 Aktif alanda rastgele bir k kişi seçin;
13 jth parametresini Eş. 6;
14 else
15 Denklem ile jth parametresini değiştirin. 7;
16 end
17 else // pasif elektrolokasyon aşaması
18 p değerleri göz önüne alındığında (Eq. 8), olasılıksal olarak aktif olarak elektrolokasyon yapan popülasyon NA'dan K adet birey seçin;
19 Denklem ile i. bireyin tüm parametrelerini değiştirin. 9, 10 ve sadece Denklem dikkate alınarak değiştirilecek parametreleri kabul edin. 11;
20 if rand (0;1) ≤ rand (0;1) then
21 Değiştirilecek bir j parametresi daha belirleyin;
22 Denklem ile jth parametresini değiştirin. 12;
23 end
24 end
25 Sınırları kontrol edin ve Eşitliği uygulayın. Arama alanını aşan kişiler için 13;
26 Yeni kaynağın kalitesini değerlendirin ve daha iyi bulunursa kabul edin;
27 end
28 N popülasyonunun frekans ve genlik değerlerini güncelleme;
29 Sonlandırma kriteri sağlanana kadar;

```

### 6. Amaç Fonksiyonu

Güç sistem denetleyicisinin parametre değerleri, amaç fonksiyonunun çözümü için optimizasyon algoritmaları tarafından bulunur. Bu nedenle en uygun optimizasyon çözümünün elde edilmesi için amaç fonksiyonu belirlenmelidir. Algoritmaların optimizasyonu ile güç sistem parametrelerinin belirlenmesinde kullanılması için literatürde hata karelerinin toplamı (Integral Squared Error (ISE)), mutlak hatanın toplamı (Integral Absolute Error (IAE)), zamana bağlı mutlak hatanın toplamı (Integral Time-weighted Absolute Error (ITAE)), zamana bağlı hata karelerinin toplamı (Integral Time-weighted Squared Error (ITSE)) (Yıldırım, 2021) zamana bağlı hata değerinin karesinin toplamı (Integral Time-weighted Squared Error (ITS2E)) (Cengiz & Kaya, 2019) gibi fonksiyonlar önerilmiştir. Bu fonksiyonların denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 IAE &= \int_0^{\infty} |e(t)| dt & ITAE &= \int_0^{\infty} t |e(t)| dt & TSE &= \int_0^{\infty} te^2(t) dt \\
 ISE &= \int_0^{\infty} e^2(t) dt & ITS2E &= \int_0^{\infty} (te(t))^2 dt & & (6)
 \end{aligned}$$



Şekil 5. Amaç Fonksiyonu

Çok farklı biçimlerde tanımlanabilen ve sezgisel algoritmalarında kullanılan amaç fonksiyonları, en iyi sonucu almak için belirlenmesi önemli noktalardan biridir. ABC ve EFO algoritmalarının amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tasarlanmıştır.

$$\text{Minimize } IAE_1 + IAE_2 + IAE_3 + IAE_4 \quad (7)$$

$$\text{Subject to } K_{PSS}^{MIN} \ll K_{PSS} \ll K_{PSS}^{MAX}, T_W^{MIN} \ll T_W \ll T_W^{MAX}, T_1^{MAX} \ll T_1 \ll T_1^{MAX}, T_2^{MIN} \ll T_2 \ll T_2^{MAX} \quad (8)$$

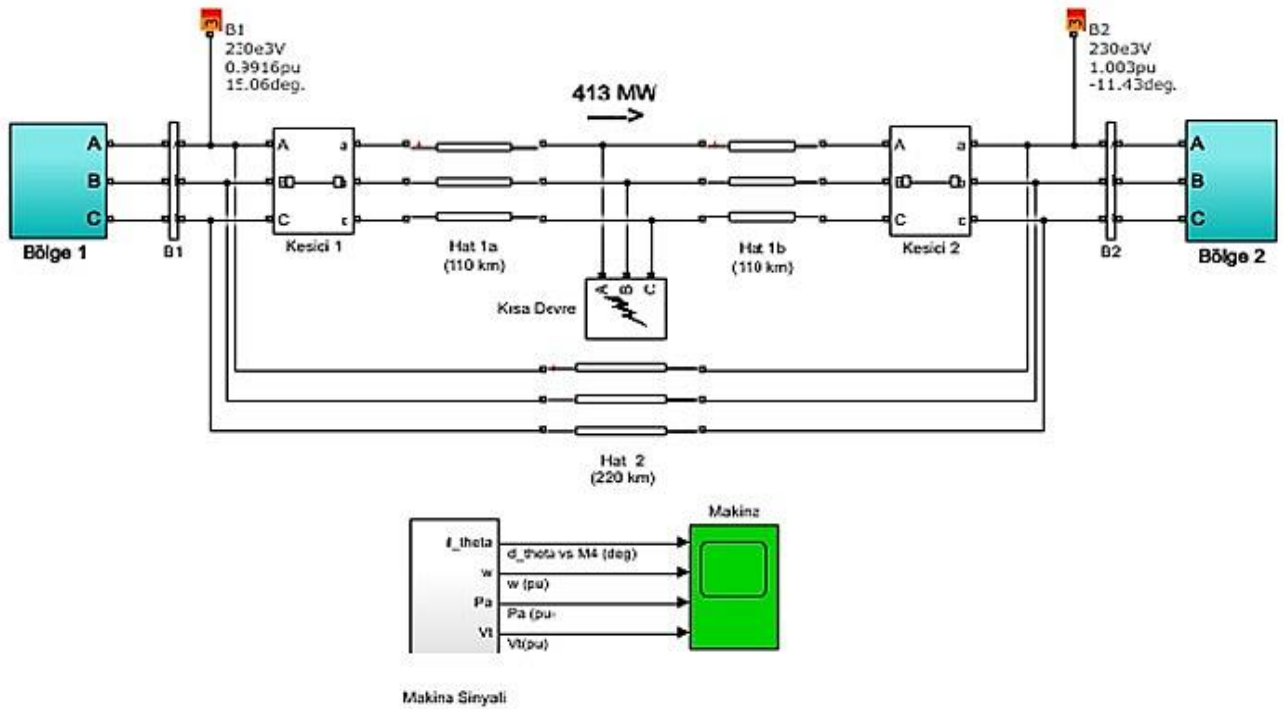
Yukarıda verilen amaç fonksiyonunu güç sistemi dengeleyicisi parametre ayarları için yerine koyulduğunda parametrelerin optimizasyonu için eşitlik aşağıdaki gibi sunulmuştur.

$$\text{MINİMİZE } J_{K_{PSS} T_W T_1 T_2} = \int_0^t \Delta\omega(t) dt \quad (9)$$

## 7. Simülasyon

### 7.1. Test Sistemi

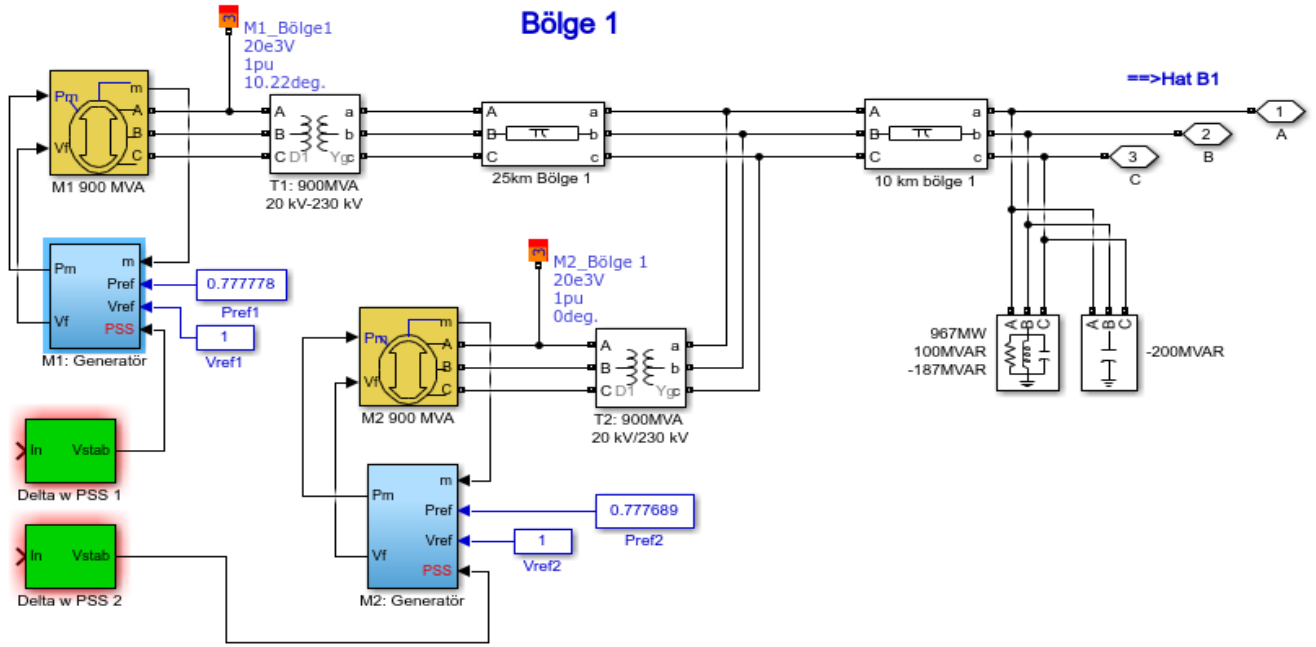
MATLAB Simulink, modelleme ve simülasyon için güçlü ve etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Çok çeşitli dinamik sistemler ve makinelerin özelliklerini inceleyip, sistemimizi oluşturmak ve hızlı bir şekilde sonuca ulaşılmasına yardımcı olan bir programdır. Güç sistemi alanındaki araştırma çalışmaları için Simulink kullanımı hızla artmakta ve doğrusal olmama etkilerini incelemek için kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle Simulink sistemi ideal bir araştırma aracıdır. MATLAB simpower, güç sistemi tasarımı ve kararlılık değerlendirmesi için geliştirilmiş çok özel bir kütüphanedir. Bu çalışmada iki bölge ve dört generatörlü bir iletim sistemi modeli kullanılmıştır. MATLAB/power PSS de geçici kararlılık analizi ve farklı türde bulunan arızaların modeli için aşağıdaki şekildeki model üzerinde çalışma yapılmıştır. (Adalqadir, 2018)



Şekil 6. İki Bölge Bir Güç Sistemi

İki bölge güç sisteminde kısa devre blok diyagramında, kısa devre durumları değiştirilerek makine sinyali blok diyagramının sinyal sonuçları analiz edilmiştir. Ayrıca bölge bir ve iki bloklarında yer alan PSS blok diyagramları algoritmalarından elde edilen en iyi değerler ile generatörlere ek sinyal gönderilerek ile kararlılık süreçleri gözlemlenmiştir. Bir bölgede yer alan iki generator ve bunların PSS diyagramları Şekil 7 de gösterilmiştir. Buradaki PSS blok diyagramı içerisinde yer alan ( $K_{pss}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_w$ ) parametreler için en iyi değerleri algoritmalar ile atanmakta ve rotor hızı ( $\omega$ ) sinyalinin çıkış değeri hata değeri olarak kabul edilmektedir. Şekil 6 da makine blok diyagramı üzerinden alınan rotor hızı sinyali algoritmada matematiksel işleme tabi tutularak algoritmaların temel amacı olan hata değerini minimize etmek için kullanılmaktadır. Söz konusu model Matlabın kendi modeli olmasına rağmen yapılan bu değişiklikler ile çalışmanın en iyi değerler için en iyi sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır. Bir bölgede yer alan iki adet PSS diyagramı olmak üzere iki bölgedeki toplam dört adet PSS parametreleri değiştirilmektedir. Kullanılan güç sistemi parametreleri Kundur iki bölge güç sistemi değişkenleri ile yapılmıştır. (Kundur, 1994)





Şekil 7. Tek Bölge Bir Güç Sistemi Modeli

## 7.2. Güç Sistemi Dengeleyicisi Parametrelerinin Elektrik Balığı Optimizasyonu ile Belirlenmesi

Güç Sistemi Denetleyici parametreleri (Kpss, T1, T2, Tw) Tablo 5’de gösterilen değerler üzerinden bu çalışmada uygulanmıştır. Güç sisteminde dört jeneratör olması nedeniyle dört adet güç sistemi denetleyicisinin parametrelerinin en iyi çözüm değerleri için çalışma yapılmıştır. Sistem kararlılığının sağlanması için kısa devrenin beş farklı durumundaki rotor hız değişiminden alınan sonuçlar hata olarak kabul edilecek olup EFO kullanılarak tasarlanan amaç fonksiyonu için denetleyici parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. MATLAB programında kodlanarak uygulanan EFO, PSS’ten aldığı hata bilgisiyle amaç fonksiyonunu optimize etmek için çalıştırılmıştır.

Tablo 5. Güç Sistemi Denetleyicisi (PSS) Parametreleri

PSS Parametreleri	Kpss	T1	T2	Tw
Alt Limit	1	0.001	1	1
Üst Limit	50	0.01	10	30

Güç sistemlerindeki arıza iki türe ayrılabilir; dengeli arıza ve dengesiz arızalar. Simetrik (dengeli) arıza genellikle üç hat kısa devre veya üç fazlar toprağa kısa devre meydana gelir. Dengeli hata nadiren olmasına rağmen, iletim hatlarında meydana gelebilecek en ciddi arıza türüdür. L-G, L-L-G, L-L kısa devre simetrik olmayan veya dengesiz arıza olarak adlandırılır. Oluşan arızaların sıklığına göre; L-G, L-L, L-L-G ve simetrik hatalar Şekil 5 de gösterilmiştir. İletimde en yaygın arıza türü hattın toprağa arızadır (Machowski ve diğerleri, 1997).

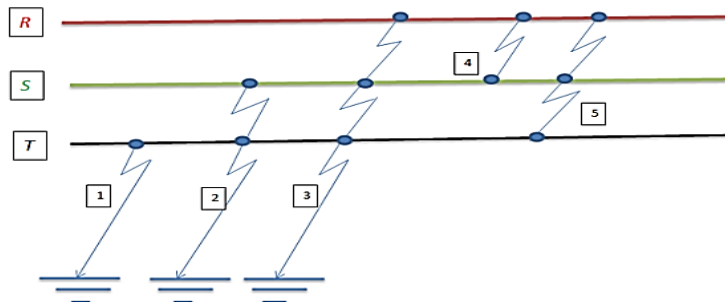
**Durum 1**=Faz Toprak Hatası(L-G)

**Durum 2**=İki Faz Toprak Hatası(L-L-G)

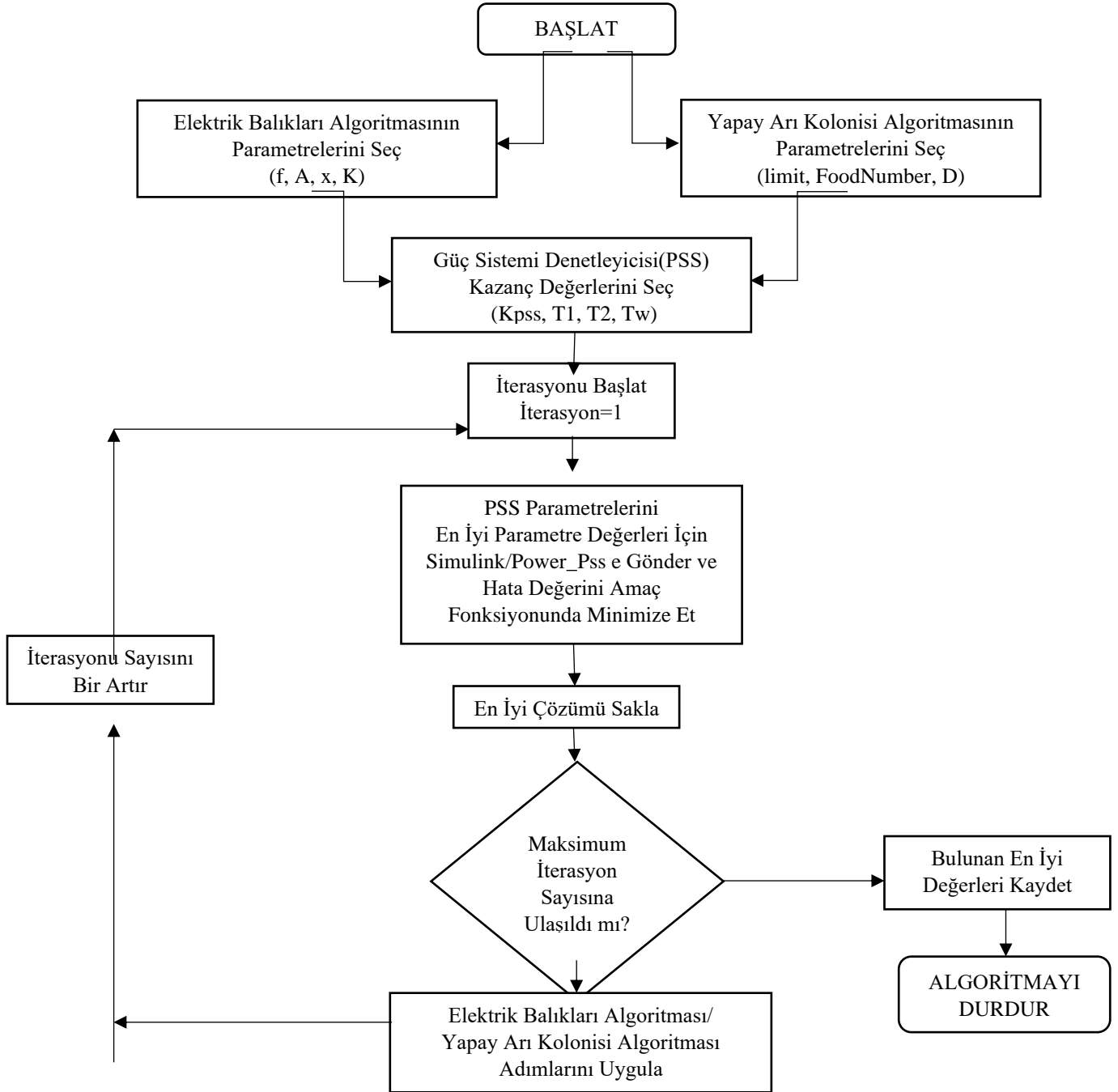
**Durum 3**=Üç Faz ve Toprak Hatası(L-L-L-G)

**Durum 4**=İki Faz Hatası(L-L)

**Durum 5**=Üç Faz Hatası(L-L-L)



Şekil 8. Güç Sisteminin Hata Çeşitlerinin Şematik Gösterimi



Şekil 8. Elektrik Balıkları ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasına Göre Güç Sistem Denetleyicisine Ait Akış Diyagramı

Tablo 6. Elektrik Balıkları ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametreleri

Popülasyon Sayısı	20
Boyut Sayısı	16
EFO Maximum Frekans( max f )	0.989
EFO Genlik Değeri ( A )	0.00001
EFO Alt Popülasyon değeri ( K )	10
ABC Limit	10
ABC Yiyecek Kaynak Sayısı	10
İterasyon Sayısı	10

### 7.3. Simülasyon Grafikleri

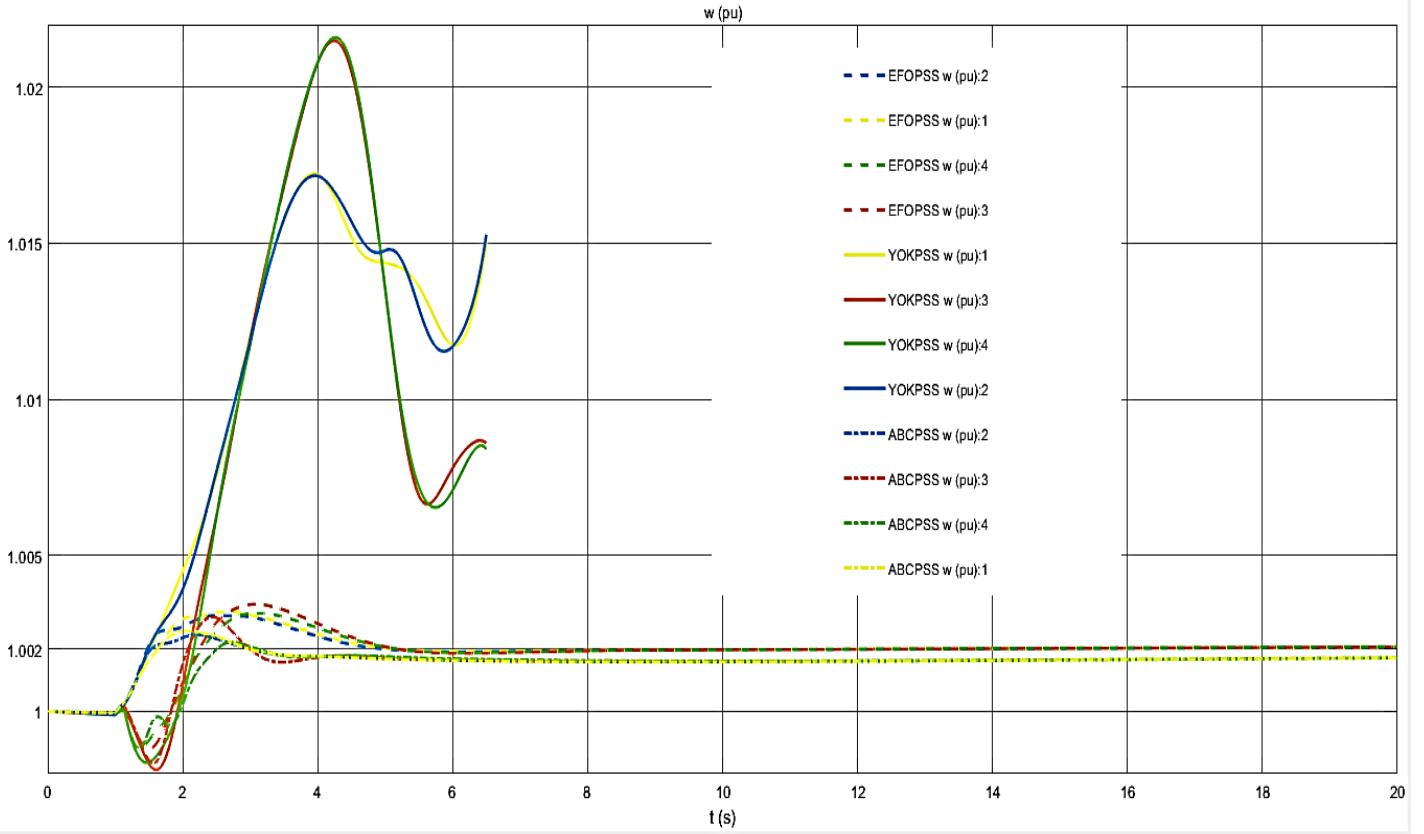
İki bölgeli güç sisteminde denetleyicinin olup olmaması ve denetleyicinin EFO ile belirlenmesini gösteren simülasyona ait rotor hız değişim ve rotor açısı değişim grafikleri aşağıda Şekil 8-17’de verilmiştir. Simülasyonun uygulandığı güç sistemi denetleyicisi parametreleri ve hata sonuçları gösteren değerleri EFO ya ait sonuçlar Tablo 7’de ve ABC ye ait sonuçlar Tablo 8’de sunulmuştur.

**Tablo 7. EFO Uygulanan Güç Sistemi Denetleyicisi Parametreleri ve Hata Sonuçları**

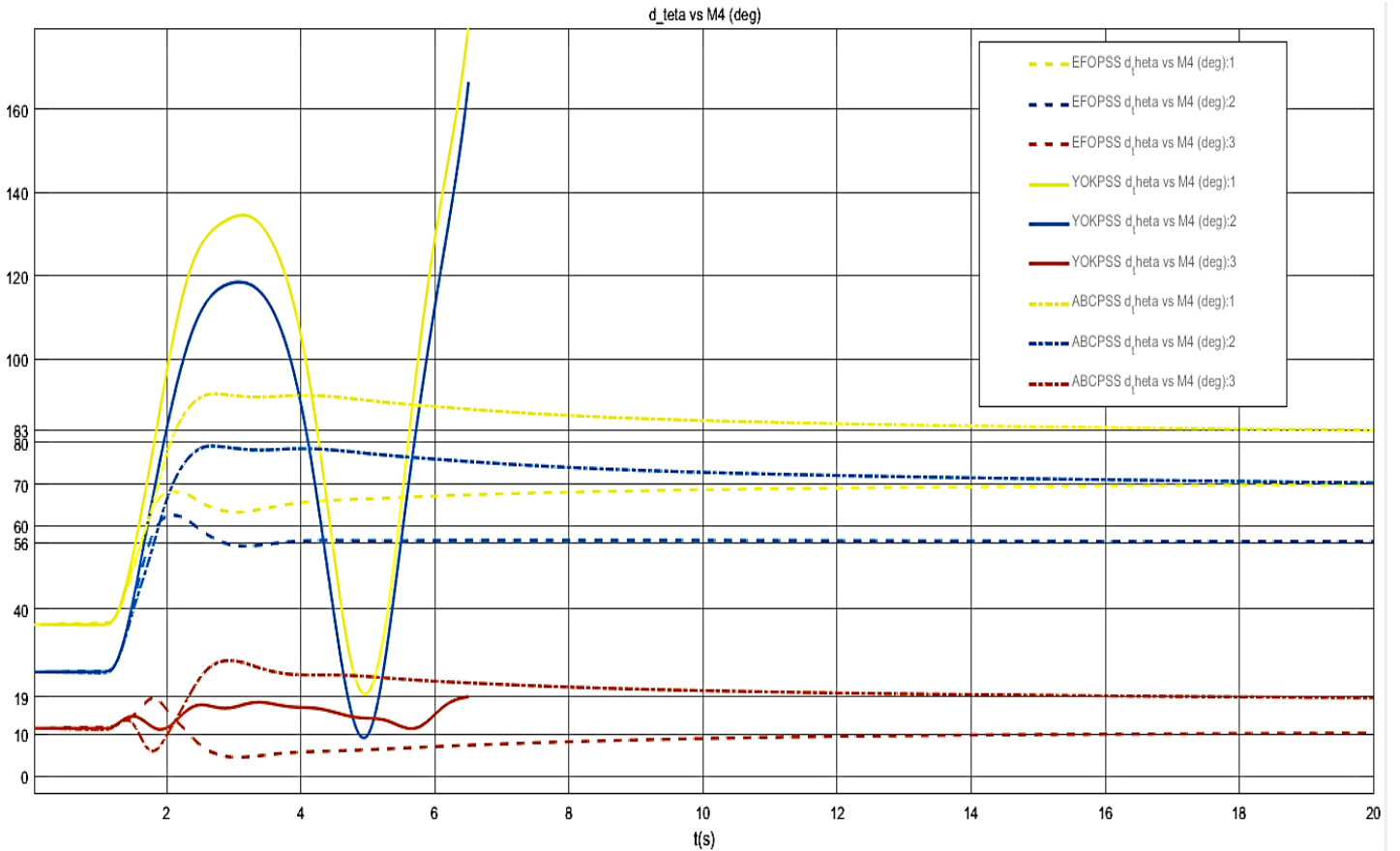
EFOPSS	PSS	KPSS	T1	T2	TW	IAE	ITAE	ISE	ITSE	ITS2E
<b>DURUM 1</b> (L-G)	1	1,0000	0,0001	3,3458	11,6734	2,9168	4,2491	2,9249	4,2679	8,2936
	2	1,7417	0,0074	2,9672	20,9728	2,9166	4,2488	2,9245	4,2672	8,2922
	3	13,0544	0,0100	2,1886	1,0000	2,9113	4,2373	2,9138	4,2441	8,2391
	4	37,9651	0,0100	7,3939	25,5926	2,9101	4,2345	2,9115	4,2384	8,2253
<b>DURUM 2</b> (L-L-G)	1	35,3347	0,0078	1,5370	30,0000	2,9953	4,4814	3,0023	4,4978	8,9757
	2	6,0316	0,0066	6,0536	26,5073	2,9954	4,4818	3,0026	4,4987	8,9782
	3	25,3927	0,0100	8,8865	19,2624	2,9890	4,4680	2,9898	4,4711	8,9146
	4	37,3751	0,0001	7,1858	20,9341	2,9887	4,4672	2,9890	4,4695	8,9110
<b>DURUM 3</b> (L-L-L-G)	1	13,0736	0,0052	1,0000	3,7037	2,9237	4,2701	2,9301	4,2849	8,3482
	2	13,6981	0,0001	4,3760	5,2415	2,9245	4,2720	2,9318	4,2887	8,3570
	3	16,5217	0,0100	10,0000	10,9206	2,9179	4,2583	2,9185	4,2612	8,2963
	4	50,0000	0,0034	7,9789	18,6671	2,9173	4,2570	2,9174	4,2587	8,2901
<b>DURUM 4</b> (L-L)	1	1,0000	0,0001	2,8143	4,9076	2,7823	3,8674	2,7878	3,8796	7,1928
	2	16,8657	0,0096	5,7892	8,1829	2,7825	3,8679	2,7882	3,8805	7,1952
	3	22,4265	0,0100	5,9293	18,6626	2,7758	3,8544	2,7748	3,8536	7,1376
	4	50,0000	0,0044	7,8438	5,5442	2,7756	3,8541	2,7745	3,8530	7,1361
<b>DURUM 5</b> (L-L-L)	1	20,1962	0,0035	4,1155	11,9327	2,9265	4,2767	2,9356	4,2976	8,3780
	2	7,3411	0,0024	7,3664	8,7646	2,9263	4,2765	2,9352	4,2972	8,3776
	3	50,0000	0,0025	7,0938	8,0482	2,9199	4,2625	2,9223	4,2691	8,3131
	4	36,3565	0,0040	10,0000	21,4890	2,9199	4,2626	2,9222	4,2693	8,3137

**Tablo 8.** ABC Uygulanan Güç Sistemi Denetleyicisi Parametreleri ve Hata Sonuçları

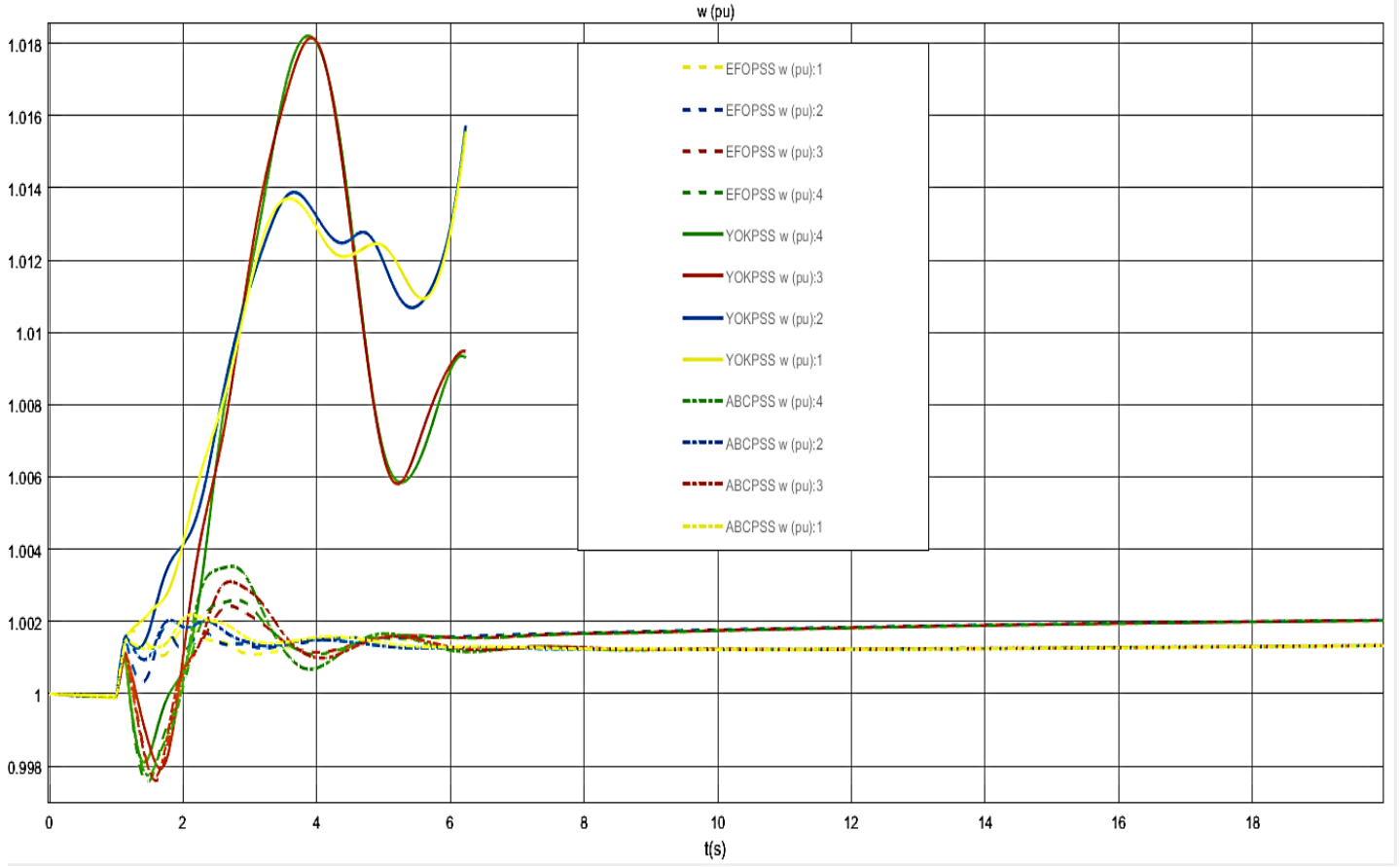
ABCPSS	PSS	KPSS	T1	T2	TW	IAE	ITAE	ISE	ITSE	ITS2E
<b>DURUM 1</b> (L-G)	1	27,7992	0,0092	4,5300	10,1959	20,0282	200,3057	20,0565	200,6120	2675,0548
	2	32,6693	0,0041	2,2476	8,2814	20,0281	200,3050	20,0562	200,6105	2675,0459
	3	37,9327	0,0052	6,8867	29,8879	20,0260	200,3000	20,0521	200,6005	2674,9764
	4	20,5893	0,0062	2,1099	27,1016	20,0261	200,2988	20,0522	200,5981	2674,9427
<b>DURUM 2</b> (L-L-G)	1	27,2425	0,0090	4,1901	9,5697	20,0399	200,4108	20,0798	200,8225	2677,6047
	2	5,0470	0,0021	4,4037	25,0597	20,0398	200,4088	20,0796	200,8184	2677,5556
	3	3,1641	0,0019	4,5100	25,1614	20,0381	200,4069	20,0763	200,8148	2677,5563
	4	18,6712	0,0013	4,1391	18,0581	20,0379	200,4078	20,0758	200,8164	2677,5882
<b>DURUM 3</b> (L-L-L-G)	1	6,5826	0,0064	7,3077	22,4863	20,0233	200,2461	20,0467	200,4926	2673,3313
	2	31,7030	0,0016	5,8895	28,4577	20,0231	200,2464	20,0462	200,4931	2673,3469
	3	42,5476	0,0073	3,3446	27,8499	20,0215	200,2440	20,0430	200,4884	2673,3272
	4	18,8866	0,0073	1,4301	4,9442	20,0217	200,2444	20,0434	200,4892	2673,3286
<b>DURUM 4</b> (L-L)	1	2,9121	0,0032	9,9364	18,6599	20,0196	200,2188	20,0391	200,4379	2672,7391
	2	37,7983	0,0058	8,9733	25,0957	20,0192	200,2194	20,0385	200,4390	2672,7649
	3	23,1565	0,0044	4,0116	15,5410	20,0178	200,2157	20,0357	200,4316	2672,7155
	4	18,5704	0,0039	5,6088	20,2251	20,0178	200,2156	20,0355	200,4315	2672,7139
<b>DURUM 5</b> (L-L-L)	1	22,5122	0,0070	1,5433	10,8640	20,0328	200,3592	20,0657	200,7190	2676,5303
	2	38,5353	0,0073	4,3818	5,3344	20,0327	200,3603	20,0656	200,7212	2676,5496
	3	31,7515	0,0058	2,1813	15,4469	20,0310	200,3555	20,0621	200,7116	2676,4788
	4	1,1742	0,0086	9,2433	24,5216	20,0311	200,3554	20,0623	200,7115	2676,4605



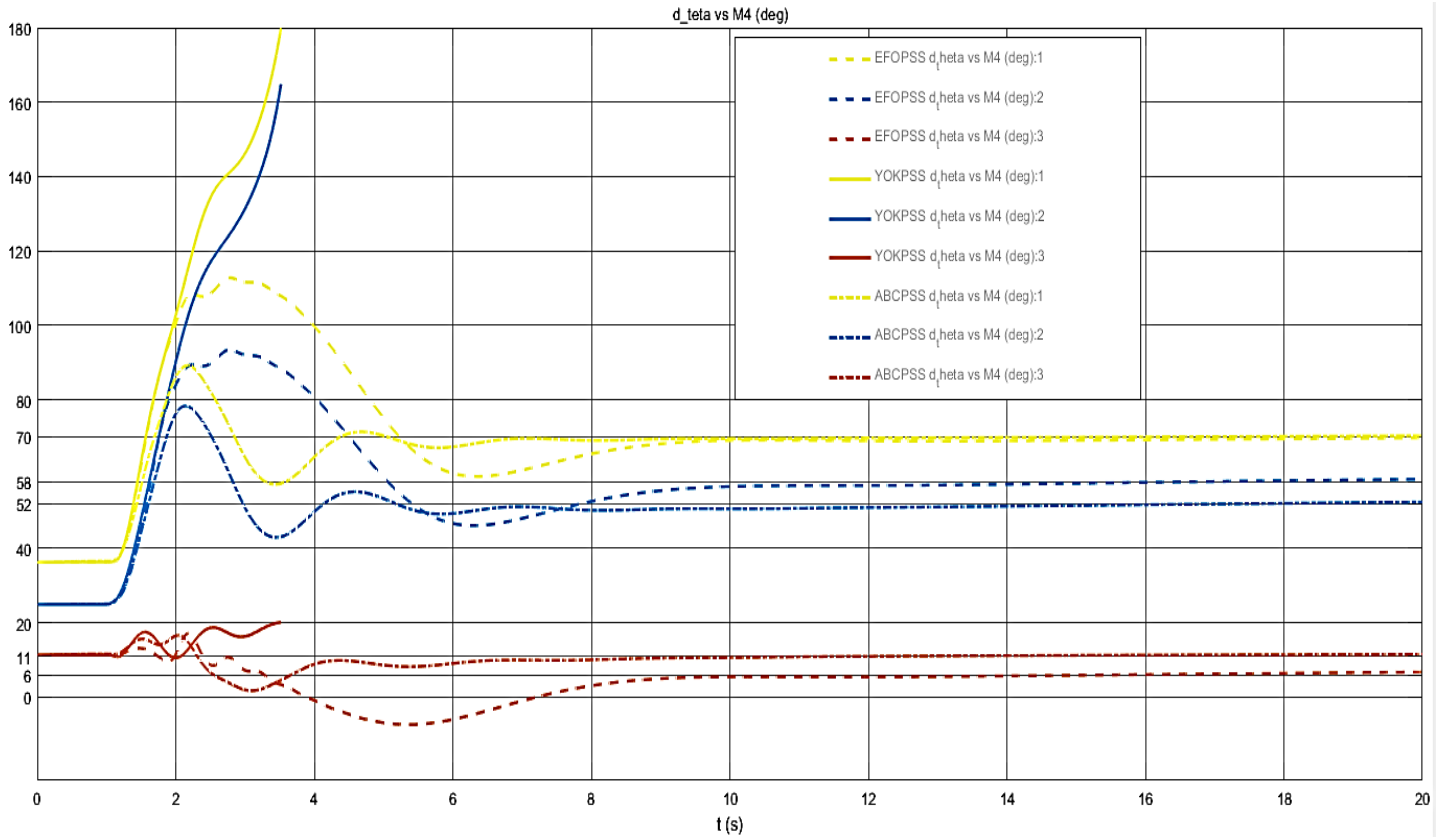
Şekil 9. Durum 1 Rotor Hız Değişim Grafiği



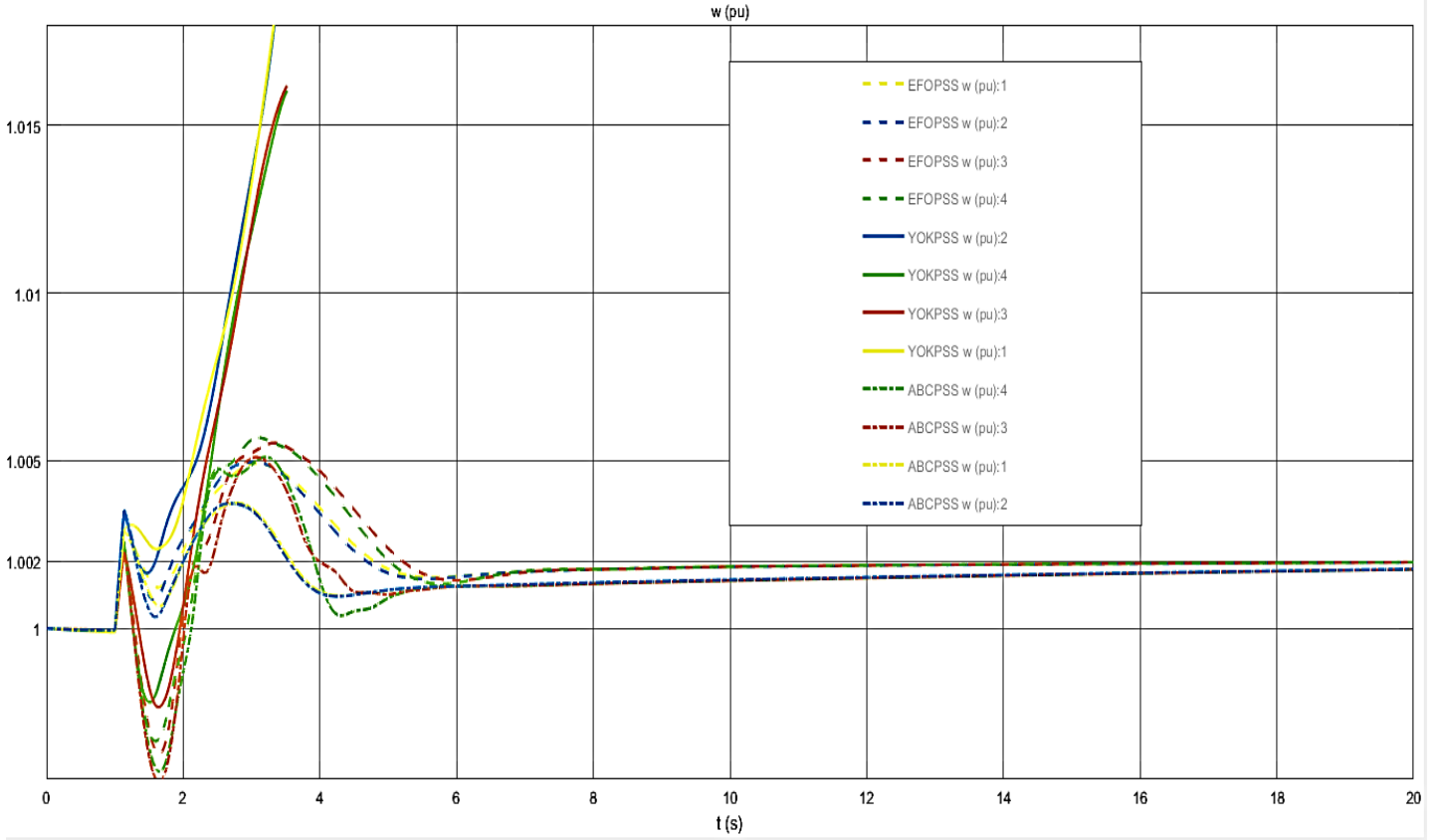
Şekil 10. Durum 1 Rotor Açısı Değişim Grafiği



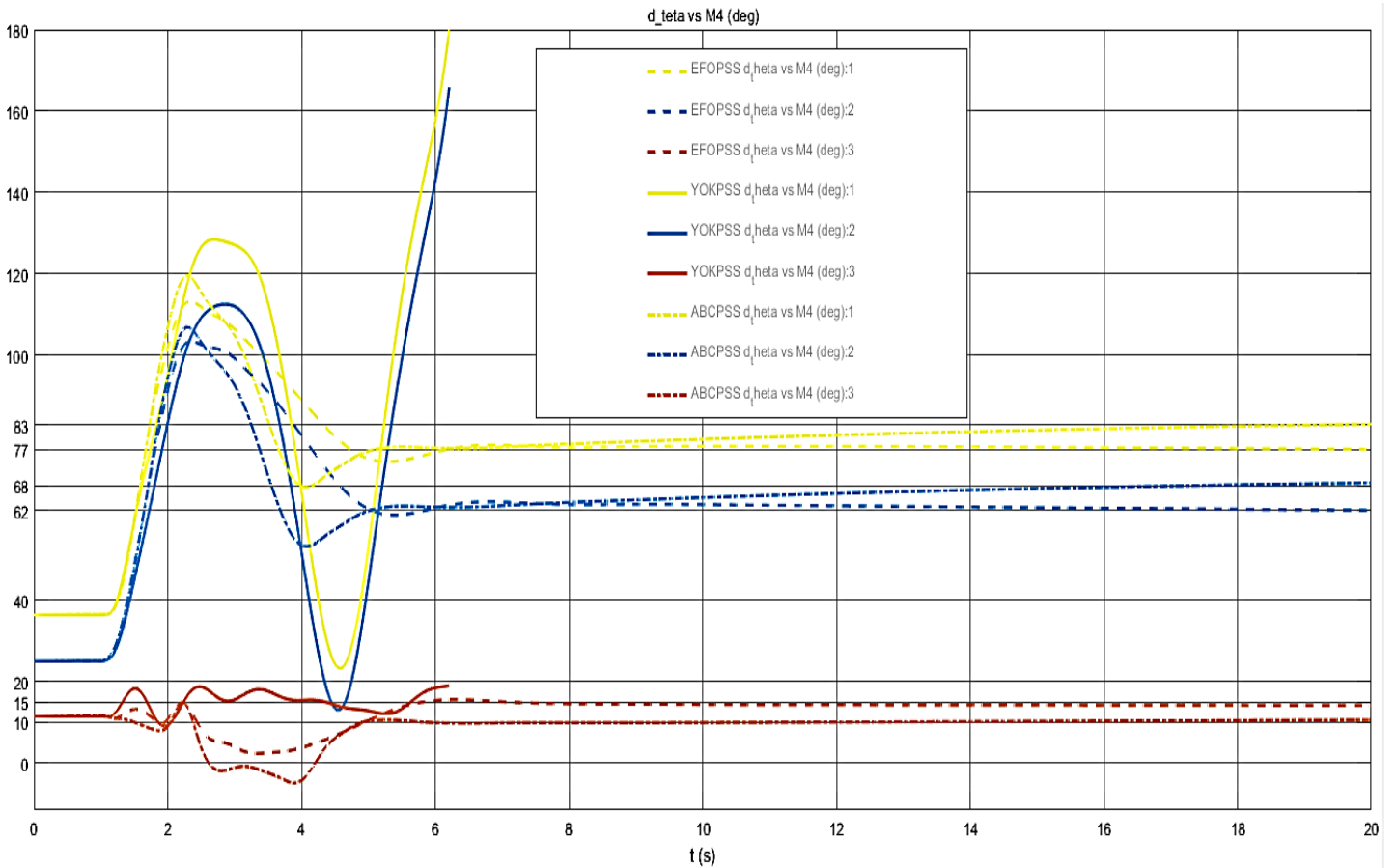
Şekil 11. Durum 2 Rotor Hız Değişim Grafiği



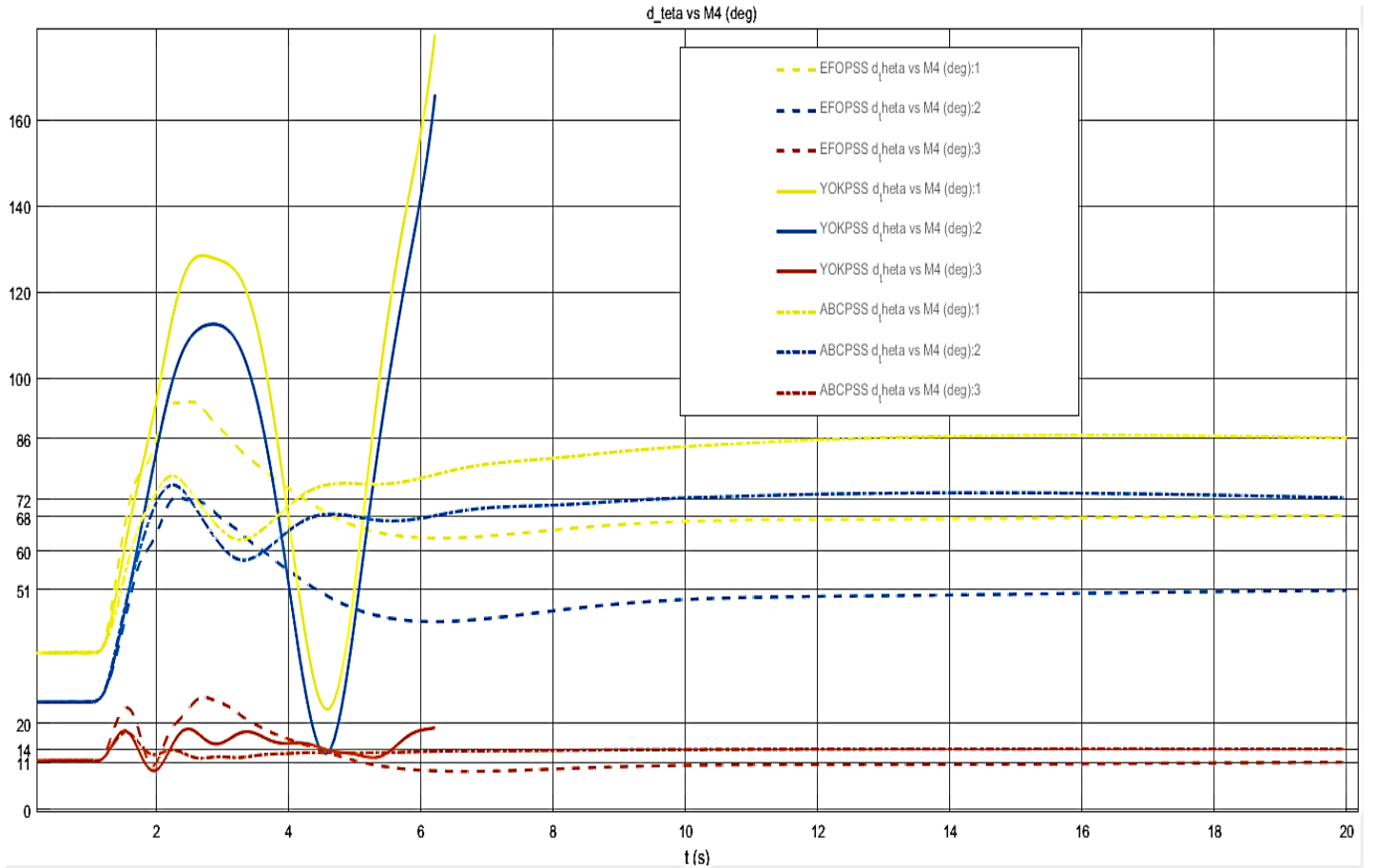
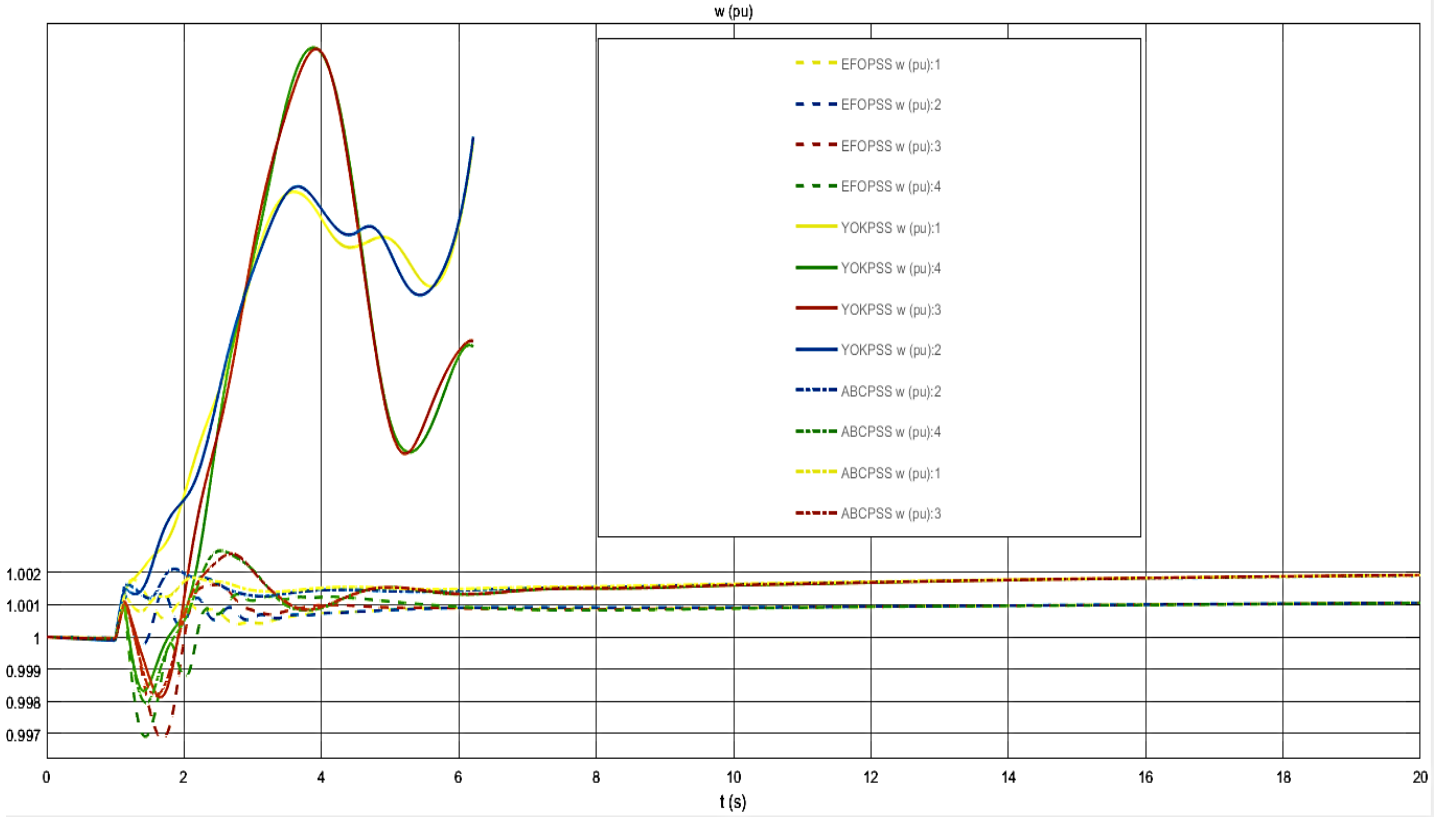
Şekil 12. Durum 2 Rotor Açısı Değişim Grafiği



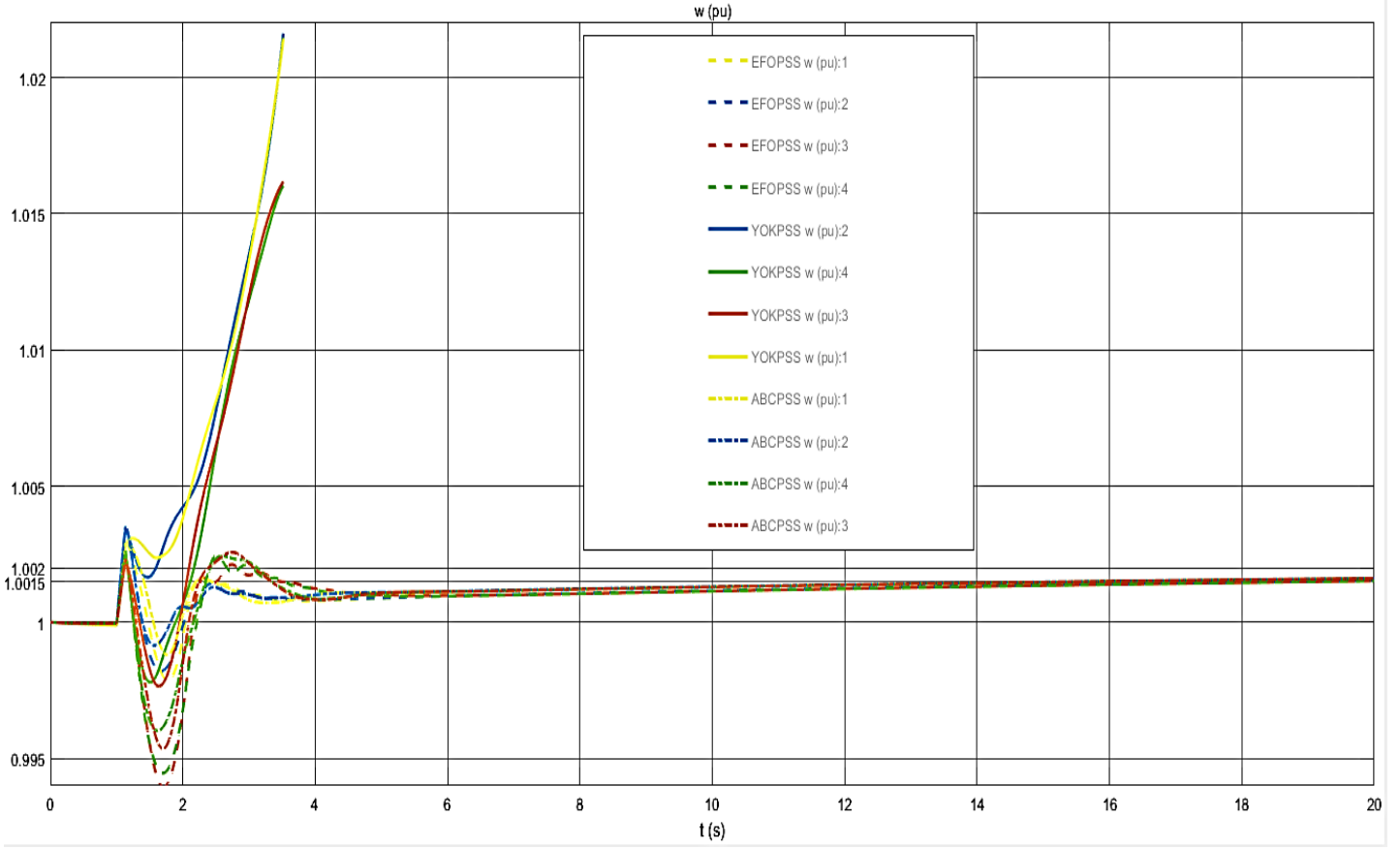
Şekil 13. Durum 3 Rotor Hız Değişim Grafiği



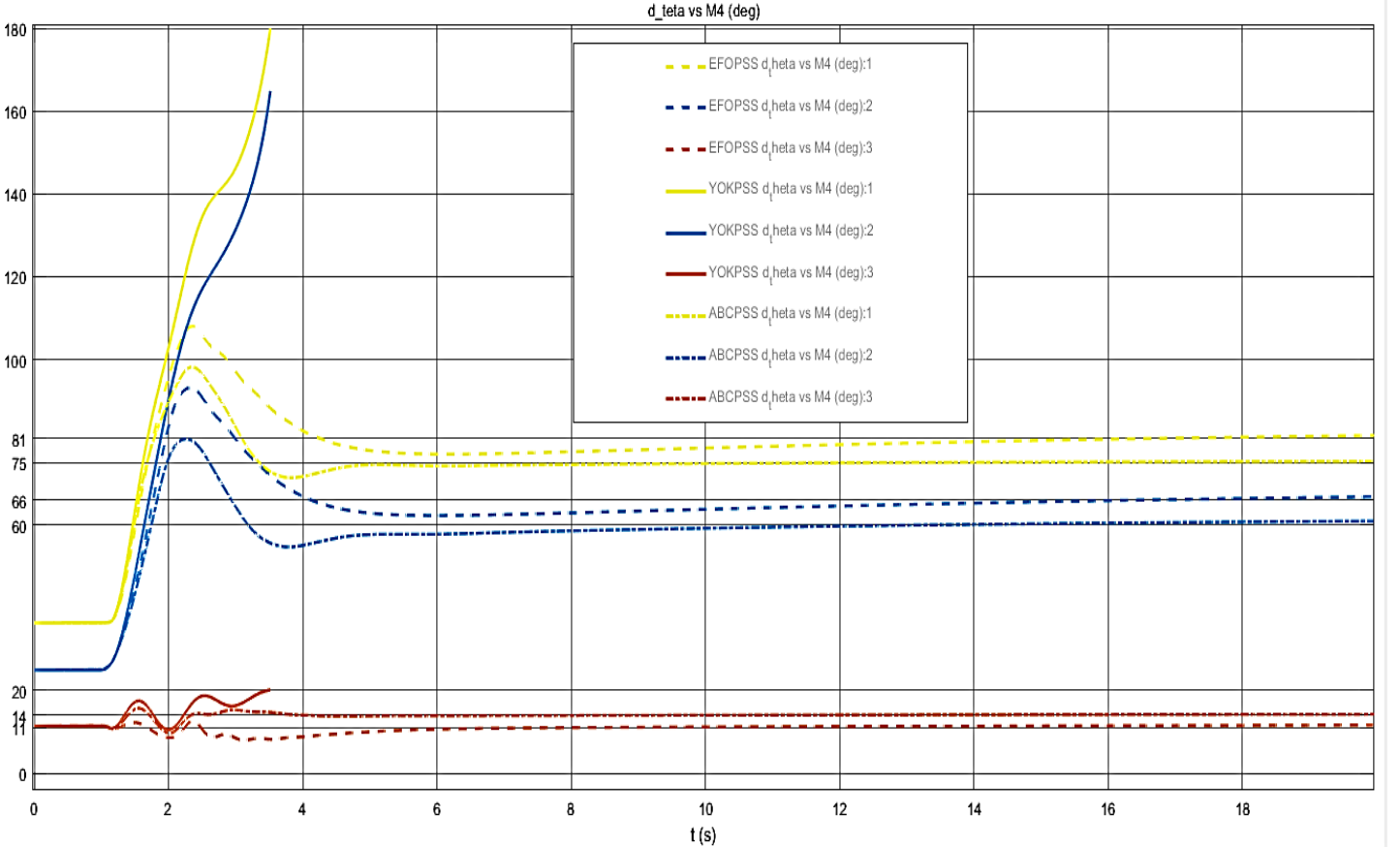
Şekil 14. Durum 3 Rotor Açısı Değişim Grafiği







Şekil 17. Durum 5 Rotor Hız Değişim Grafiği



Şekil 18. Durum 5 Rotor Açısı Değişim Grafiği

**Tablo 9.** Rotor Hızı Grafik Sonuçları

w(pu)	EFO	ABC
<b>L-G</b>	1.002	1.0019
<b>L-L-G</b>	1.002	1.0016
<b>L-L-L-G</b>	1.002	1.0018
<b>L-L</b>	1.001	1.0017
<b>L-L-L</b>	1.0015	1.0015

Beş farklı hata durumu için Tablo 9 da gösterilen güç sisteminin tepkisini incelediğimizde; Durum 1 için Şekil 9, Durum 2 için Şekil 11, Durum 3 için Şekil 13 de rotor hız değişimi grafiğinde w nın 1.002 değerinde EFOPSS in kararlılık sağladığı ancak ABCPSS in bu değere yakınsamasına rağmen kararlılığa farklı bir değerde ulaşmıştır. Durum 4 için Şekil 15 rotor hız değişimi grafiğinde w nın 1.001 değerinde EFOPSS in kararlılık sağladığı ancak ABCPSS in bu değer üzerinde bir kararlılığa ulaşmıştır. Durum 5 için ise Şekil 17 rotor hız değişimi grafiğinde w nın 1.0015 değerinde EFOPSS ile ABCPSS aynı performansı göstermiştir. Güç sisteminde bozucu etki sonrası sistemin kararlılık için yeni rotor hızı(w) değerlerini başlangıç değerinden farklı bir şekilde belirlediği dikkate alındığında, grafikler üzerinde tabloda belirtilen değerlerde zamana(t) karşı değişim oluşmaması kararlılık için belirleyici bir faktör olarak ele alınmaktadır. EFO nun sonuçlarında rotor hızının farklı kısa devre durumlarında daha kararlı tepki verdiği analiz edilmiştir.

**Tablo 10.** Rotor Açısı Grafik Sonuçları

$\delta$ (derece)		EFO_dteta_1	ABC_dteta_1	EFO_dteta_2	ABC_dteta_2	EFO_dteta_3	ABC_dteta_3
<b>Durum 1</b>	L-G	70	83	56	70	10	19
<b>Durum 2</b>	L-L-G	70	70	58	52	6	11
<b>Durum 3</b>	L-L-L-G	77	83	62	68	15	10
<b>Durum 4</b>	L-L	68	86	51	72	11	14
<b>Durum 5</b>	L-L-L	81	75	66	60	11	14

Durum 1 için Şekil 10 da rotor açısı değişimi analiz edildiğinde M4 olarak tanımlanan 4 no lu generatörün zamana(t) karşı diğer üç generatörlerle (M1, M2, M3) açısal değişimleri incelendiğinde 3 farklı dteta (rotor açısı) değerinde kararlılık yönüyle EFOPSS in ABCPSS e göre daha küçük açılara sahip olduğu görülmüştür. Durum 2 için Şekil 12 de rotor açısı değişimi analiz edildiğinde dteta\_1 açısında kararlılık yönüyle eşit sonuç olduğu, dteta\_2 de ABCPSS in ve dteta\_3 de ise EFOPSS in daha küçük açılarla kararlılık sağladığı görülmüştür. Durum 3 için Şekil 14 de rotor açısı değişimi analiz edildiğinde dteta\_3 değeri haricinde EFOPSS in daha küçük açılarla kararlılık sağladığı görülmüştür. Durum 4 için Şekil 16 de rotor açısı değişimi analiz edildiğinde üç dteta değerinde EFOPSS in daha küçük açılarla kararlılık sağladığı görülmüştür. Durum 5 için Şekil 18 de rotor açısı değişimi analiz edildiğinde dteta\_1 ve dteta\_2 de ABCPSS in, dteta\_3 de ise EFOPSS daha küçük açılarla kararlılık sağladığı görülmüştür. Rotor açısının artması kararsızlığa sebep olduğu için tabloda belirtilen beş farklı kısa devre durumu için üç adet açı durumu göz önüne alındığında, 15 farklı rotor açısı karşılaştırmasında 10 açı değerinde EFOPSS in küçük açı değerine ulaştığı, bir açı değerinde eşitlik olduğu kalan 4 açı değerinde ise ABCPSS in küçük açılara sahip olduğu tespit edilmiştir. Rotor açısının kıyaslanmasında EFOPSS ile daha iyi sonuçlar ele edilmiştir.

Rotor hız değişimi ve rotor açısı değişimi grafikleri PSS in olmadığı hata durumları analiz edildiğinde sistemin kararsız bir hal aldığı ve bir değere yakınsama olmadığı grafikler üzerinden görülmüştür.

**Tablo 11.** Kısa Devre Durumlarının Zamana Göre Sönümlenme Sonuçları

Durum	EFO_t(s)	ABC_t(s)
<b>L-L</b>	1247,83	1494,65
<b>L-L-G</b>	1326,84	1514,58
<b>L-G</b>	1399,73	1542,66
<b>L-L-L-G</b>	3645,40	4166,99
<b>L-L-L</b>	3671,01	4731,33

Güç sistemindeki bozucu durumunun en kısa sürede giderilmesi amaçlanıldığı için, L-L durumunda algoritmaların en kısa zamanda diğer durumlara göre gerçekleştirildiği, bu sürece L-L-G ve L-G durumlarının yaklaştığı ancak L-L-L-G ve L-L-L durumlarında ise yaklaşık olarak üç kat daha geç zamanda kararlılıkların oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca yapılan analizde L-L-L durumunda PSS lerin en geç zamana göre kararlılık oluşturduğu tespit edilmiştir.

Durum	EFO_ IAE	ABC_ IAE	EFO_ ITAE	ABC_ ITAE	EFO_ ISE	ABC_ ISE	EFO_ ITSE	ABC_ ITSE	EFO_ ITS2E	ABC_ ITS2E
L-L	2,77	20,03	3,86	200,22	2,78	20,04	3,87	200,44	7,17	2672,74
L-L-G	2,99	20,04	4,47	200,41	3,00	20,08	4,48	200,82	8,94	2677,58
L-G	2,91	20,03	4,24	200,30	2,92	20,05	4,25	200,61	8,26	2675,01
L-L-L-G	2,92	20,02	4,26	200,25	2,92	20,08	4,27	200,49	8,32	2673,34
L-L-L	2,92	20,02	4,27	200,36	2,93	20,06	4,28	200,72	8,35	2676,51

**Tablo 12.** Kısa Devre Durumlarının Hata Değerlerine Göre Sönümlenme Sonuçları

Kısa devre durumlarının algoritmaların en iyi PSS parametrelerini belirleyerek dört pss in hata sonuçlarının ortalaması alınarak kıyaslandığında, en düşük hata değerine EFO\_I AE de L-L kısa devre durumunda 2,77 değeri ile elde edildiği görülmüştür. En yüksek hata değerine ise ABC\_ITS2E de L-L-G kısa devre durumunda 2677,58 hata sonucuna ulaşılmıştır. Genel olarak Tablo 12 de sonuçlara bakıldığında, EFO nun ABC ye göre PSS değerlerini en iyi şekilde belirleyerek en düşük hata değerlerine ulaştığı görülmüştür. En düşük hata değerlerinin L-L de elde edildiği, L-L-G durumunda ise en yüksek hata değerleri elde edilmiştir. L-G, L-L-L-G ve L-L-L kısa devre durumlarında yakın hata değerlerine ulaştığı analiz edilmiştir. Farklı hata değerleri ve kısa devre durumlarındaki en düşük hata değeri elde edilmeye çalışılarak en iyi sonuçlar tespit edilmiştir. Algoritmaların farklı kısa devre durumlarında aynı performansı göstermesi beklenildiği için beş farklı kısa devre durumunun analiz edilmesi güç sistemin tüm kısa devre durumlarında en kısa sürede en iyi sonuç değeri ile kararlılığı elde etmesi yönüyle önem arz etmektedir.

**Tablo 13.** Hata Değerlerinin Algoritmalarla Göre Sonuçları

e(t)	EFO	ABC	% e(t)
IAE	2,90	20,03	14,5
ITAE	4,22	200,31	2,1
ISE	2,91	20,05	14,5
ITSE	4,23	200,62	2,1
ITS2E	8,21	2675,04	0,3

Tablo 13 de EFO ve ABC nin hata değerlerinde sıralamasında en düşük hata değerine IAE tercih edilirse elde edileceği görülmüştür. Bu doğrultuda amaç fonksiyonunda hata değeri belirlenirken en düşük hata değerine ulaştıran yöntem olan IAE tercih edilerek en iyi sonuçlar gözlenmiştir. Hata değerlerini oran olarak ele aldığımızda EFO nun ABC ye göre IAE ve ISE değerlerinde %14,5 daha düşük değerlere gittiği tespit edilmiştir. Ayrıca ITAE ve ITSE de ise % 2,1 oranında küçük değerlere EFO ile ulaşılrken, ITS2E de % 0,3 hata oranında ABC ye göre çok iyi performans gösterdiği analiz edilmiştir.

## 8. Sonuçlar

Bu çalışmada iki makineli dört generatörlü güç sisteminin rotor açısı kararlılığı sağlanmak için elektrik balığı optimizasyonunun en iyi değerler için en yakın çözümü bulma prensibinden faydalanılmıştır. İki bölge güc sistemine farklı arıza durumları için elektrik balıkları algoritması uygulanan PSS ile sonuçlar gözlenmiştir. Rotor hız değişim( $\Delta\omega$ ) ve Rotor açısı değişim( $\Delta\delta$ ) grafikleri analiz edildiğinde EFO kullanılarak parametreleri belirlenmiş PSS'in rotor açısı değişimi kararsızlığını sönümlendirdiği, EFO-PSS'in rotor hız değişim grafiklerinin kararlı olduğu ve EFO uygulanan PSS'in güç sisteminde performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Güç sistemi denetleyicisinin parametreleri elektrik balığı optimizasyonu uygulanması sonucu yapay arı kolonisi algoritması ile belirlenen denetleyiciye göre daha erken ve kararlı olarak değiştiği görülmektedir.

## Referanslar

- Adalqadir, H. (2018). Analysis of transient stability by using power system stabilizer and static var compensator. Yüksek Lisans Tezi Siirt Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Akay, B. (2010). Nümerik optimizasyon problemlerinde yapay arı kolonisi (artificial bee colony) algoritmasının performans analizi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Bibaya, L., & Liu, C. (2015). Optimal Tuning and Placement of Power System Stabilizers Based Eigenvalue. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 3(2), 273-281.
- Butti, D., Mangipudi, S. K., & Rayapudi, S. R. (2019). Design of robust modified power system stabilizer for dynamic stability improvement using Particle Swarm Optimization technique. Ain Shams Engineering Journal, 10(4), 769-783.

- Cengiz, H., & Kaya, İ. (2019). Kararlı ters cevaplı artı zaman gecikmeli sistemler için optimal PI denetleyici tasarımı. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10(2), 537 - 547.
- Chaib, L., Choucha, A., & Arif, S. (2017). Optimal design and tuning of novel fractional order PID power system stabilizer using a new metaheuristic Bat algorithm. Ain Shams Engineering Journal, 8(2), 113-125.
- Demirören, A., & Ekinci, S. (2015). Transient stability simulation of multi-machine power systems using simulink. Istanbul University-Journal of Electrical and Electronics Engineering, 15(2), 1937 - 1944.
- Dubey, M. (2008). Design of Genetic Algorithm Based Fuzzy Logic Power System Stabilizers in Multimachine Power System. Power System Technology and IEEE Power India Conference (s. 1-6). Joint International Conference on.
- Duman, S., Öztürk, A., & Tutkun, N. (2011). Güç Sistemi Kararlı Kılıcı için Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanarak PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), (s. 269-274).
- Eke, İ., Taplamicoğlu, C., & Kocarslan, İ. (2011). Power system stabilizer design for rotor angle stability. International Journal of Engineering Research and Development, 3(2), 1011.
- 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.
- Ekinci, S., & Demirören, A. (2015). Power system stability was analyzed by applying the Particle Swarm algorithm to PSS parameters. Istanbul University-Journal of Electrical and Electronics Engineering, 15(1), 1855-1862.
- Ekinci, S., & Hekimoğlu, B. (2018). MATLAB/Simulink ile tek-makinalı sonsuz-baralı bir güç sisteminin kararlılık analizi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1), 450-470.
- Elmenfy, T. H., Elshafei, A. L., & Bahgat, A. (2007). Design of a hierarchical fuzzy logic PSS for a multi-machine power system. Mediterranean Conference on Control & Automation, (s. 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.
- Ibrahim, R. A., Abualigah, L., Ewees, A. A., Al-qaness, M., Yousri, D., Alshathri, S., & Elaziz, M. A. (2021). An Electric Fish-Based Arithmetic Optimization Algorithm for Feature Selection. Entropy, 23(9), 1189.
- Kundur, P. (1994). Power system stability analysis. Electric Power Research Institute.
- Machowski, J., Bialek, J., & Bumby, J. (1997). Power system dynamics and stability. London: John Wiley & Sons Ltd. .
- Magid, Y. A., & Abido, M. (2003). Optimal multiobjective design of robust power system stabilizers using genetic algorithms. IEEE Transactions on power systems, 18(3), 1125-1132.
- Pourpanah, F., Wang, R., Lim, C. P., & Wang, X.-Z. (2022). A Review of Artificial Fish Swarm Algorithms: Recent Advances and Applications. Artificial Intelligence Review, 56(6), 1867-1903.
- Sukumar, M., Manish, T., & Nanda, J. (2007). Multi-machine power system stabilizer design by rule based bacteria foraging. Electric Power Systems Research, 77(12), 1595-1607.
- Yıldırım, B. (2021). Bir Mikro Şebekenin Yük Frekans Kontrolü için Tamsayı Derece Yaklaşımlı Kesir Dereceli PID Kontrolörün Optimizasyonu. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(1), 79-87.
- Yılmaz, S., & Şen, S. (2020). Electric fish optimization a new heuristic algorithm inspired by electrolocation. Neural Computing and Applications, 32(4), 11543-11578.
- Zadehbagheri, M., Sutikno, T., Kiani, M. J., & Yousef, M. (2023). Designing a power system stabilizer using a hybrid algorithm by genetics and bacteria for the multi-machine power system. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 12(3), 1318-1331.