

## İki Bölge Güç Sisteminin Optikten Esinlenen Optimizasyon Algoritması ile Optimal Yük Frekans Kontrolü

Mahmut Temel ÖZDEMİR<sup>1\*</sup>, Dursun ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi Müh.- Mim. Fak. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bingöl

\*mto@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 23.02.2016; Kabul/Accepted: 01.06.2016)

### Özet

Bu çalışmada, iki bölge bir güç sistemindeki frekansı kontrol eden PID kontrolörü parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi için etkin ve yeni bir optimizasyon yöntemi olan Optikten Esinlenen Optimizasyon (OIO) algoritması önerilmiştir. Yansıma kanunlarına göre; iç bükey aynaya paralel gelen ışınlar, yansdıktan sonra bir noktada toplanırlar. Dış bükey aynaya paralel gelen ışınlar ise, aynanın arkasındaki bir noktadan çıkıyormuş gibi birbirinden uzaklaşarak yansırırlar. Yöntem, bu aynalardaki yansıma ve görüntünün oluşmasındaki farklılıklar esas alınarak geliştirilmiş bir sayısal optimizasyon tekniğidir. Önerilen yönteme göre elde edilen sonuçlar, yaygın olarak bilinen ve kullanılan Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Bakteri Sürü Optimizasyonu yöntemleriyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar hatanın zaman ağırlıklı karelerinin toplamı performans indeksine göre alınmıştır. Elde edilen sonuçlar gözönüne alındığında, önerilen yöntemin diğer yöntemlere göre, maksimum çökme ve yerleşme süresi değerleri için daha bir iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Optikten Esinlenen Optimizasyon, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Bakteri Sürü Optimizasyonu, Otomatik Üretim Kontrolü.

## Optimal Load frequency control in two area power systems with Optics Inspired Optimization

### Abstract

In this study, an effective and newly developed optimization method called Optics Inspired Optimization (OIO) was proposed to determine the optimal values for parameters of PID controller that control the frequency of a two-area power system. According to the laws of reflection; rays travelling exactly parallel to the principal axis of a concave mirror are collected at one point after reflection. On the other hand, rays travelling exactly parallel to the principal axis of a convex mirror are reflected away from each other as they are coming out from a point behind the mirror. This is a numerical optimization technique that has been developed based on these differences in terms of reflection and occurrence of the image in the mirrors. The results obtained by the proposed method are compared with the results of PSO and BSO methods that are widely known and used by the earlier studies in the literature. The results were taken in accordance with performance index of the integral of the time square error (ITSE). Considering the results obtained, the proposed method has a better performance in terms of maximum blackout and settlement time values compared to other methods.

**Key words:** Optics Inspired Optimization, Partical Swarm Optimization, Bacterial Swarm Optimization, Automatic Generation Control.

### 1. Giriş

Kişi başına harcanan elektrik enerjisi miktarı, ülkelerin gelişmişlik düzeyini göstermekle birlikte harcanan bu enerjinin kalitesi de artık önemli bir kriterdir. Sistem frekansı ve gerilimi, güç kalitesini belirleyen en önemli iki parametredir. Frekansın kontrolü

gerilime göre daha uzun süre alır ve güç sisteminde daha baskın bir parametredir. Bu nedenle sistemde öncelikli kontrol edilmesi gereken parametre frekans olarak öne çıkmaktadır [1]. Enterkonnekte güç sistemi birçok alanın birlikte çalışması ile meydana gelir. Bu alanların herhangi birinde meydana gelecek bir güç (arz ya da talep) değişimi,

bağlantı halinde olan diğer alanları da frekans ve güç yönünden etkilemektedir. Ayrıca, güç sistemine bağlı alanlar arasındaki bağlantı hattının karakteristiği, frekans değişimini etkileyen diğer bir unsurdur. Güç sisteminin frekansında meydana gelen değişim belirlenen sınırları aştığında, güç sisteminde ciddi kararsızlık problemlerine, sisteme bağlı santrallerin durmasına ve daha ileri safhada ise sisteminin çökmesine (black-out) neden olabilmektedir. Böyle bir durumda sistemden beslenen bölge enerjisiz kalacak ve çok büyük ekonomik kayıplar oluşacaktır. 2015 yılında Türkiye’de 77 milyon, 2014 yılında Bangladeş’te 150 milyon ve 2012 yılında Hindistan’da 620 milyon kişiyi etkileyen sistem çökmeleri bu duruma örnek olarak gösterilebilir [2]. Dolayısı ile yük-frekans kontrolü, etki alanı ve sebep olduğu ekonomik kayıplar göz önüne alındığında günümüzde çok önemli bir konudur.

1970’lerden günümüze kadar gelen algoritmaların birçoğunun oluşturulmasında doğa, toplum, kültür, politikalar ve insan gibi doğadaki sistemlerin/canlıların davranışlarından ilham alınmıştır. Sezgisel terimi, taklit edilen doğa olaylarının rastgelelik ve kurallarının kombinasyonu için kullanılır. Sezgisel yöntemler son yıllarda, birçok bilim dalındaki araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu ilgi, başta mühendislik uygulamaları olmak üzere iş ve endüstri gibi bir çok alanda gerçek optimizasyon problemlerine uygulanmasıyla daha da artmıştır. Her sezgisel optimizasyon arama işlemleri için farklı metaforlar kullanılır. Örneğin 1995’de sunulan parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSO), kuşların sürü davranışını modeller [3]; 2001’de müzikal işlemin kullanıldığı düşünce olan harmoni arama algoritması (HSA), uyumun mükemmel olduğu durumu arar [4]; 2002’de önerilen bakteri besin arama optimizasyon algoritması (BFOA), bir bakterinin en düşük enerji ile besin arama işlemini modeller [5]. 2002’de tanımlanan Bakteri Kemotaktik algoritması (BC), yoğunlaşma eğiliminde kimyasal olarak çekici olan maddelere bakterinin reaksiyon eğilimini göstermektedir [6]. 2005’de önerilen yapay arı koloni algoritması (ABC) bal arısı sürülerinin besin arama davranışlarını simüle etmektedir [7]. 2007’de önerilen merkezi güç optimizasyon algoritması (CFO) amaç fonksiyonunun maksimumu için karar uzayında

arama işlemi ve yer çekimi etkisi altındaki fiziksel uzay boyunca hareketli aramalar arasında bir benzeşim yapmaktadır [8]. 2008’de önerilen ateş böceği algoritması (FA) ateş böceklerinin ışık yayma karakteristiklerini idealleştirilmesine dayanarak gerçekleştirilmektedir [9]. 2009’da önerilen lig şampiyonluk algoritması (LCA) teknik direktörlerin tecrübelerinin kullanıldığı maç analiz yöntemlerinin modellenmesi ile lig maçlarının simüle edilmesine dayanır [10]. 2009’da önerilen grup arama optimizasyoncusu (GSO) beslenme, üreme, yumurta yayma ve yuva yapma gibi durumları bulmak için hayvansal arama davranışlarını simüle eder [11]. 2009’da duyurulan yer çekimsel arama algoritması (GSA) kütle etkileşim kavramı ve yerçekimi kanunlarına dayanarak kurulmuştur [12]. 2011’de duyurulan öğretme-öğrenme temelli optimizasyon (TLBO) sınıfta öğretmen ve öğrenci arasındaki öğretme-öğrenme işlemini taklit etmektedir [13]. 2012’de duyurulan Krill Sürü algoritması (KH) özel biyolojik ve çevresel işlemlere yanıt olarak krill sürülerinin toplanmasını benzetimini gerçekleştirerek çalışmaktadır [14].

Güç sistemlerinde Otomatik Üretim Kontrolü için yaygın kontrolör olarak klasik PID’ler kullanılır [2,15]. En uygun PID parametrelerinin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır [16-28]. Literatürdeki yöntemlerin bir çoğu kontrolör kazançlarının belirlenmesinde iyi gibi görülmüş, bir kısmının yakınsamasının yavaş olması, bir kısmının global minimum arama aşamasında yerel minimumlara takılma gibi problemleri vardır. Yeni bir sezgisel yöntem olan Optikten Esinlenen Optimizasyon (OIO) algoritması bu yönleri ile daha iyi performansa sahip olduğu gösterilmiştir [29-31].

Bu çalışmada, iki bölgeli bir güç sisteminde frekans kontrol eden PID kontrolör parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi için etkin ve yeni bir optimizasyon yöntemi olan OIO algoritması önerilmiştir. Çalışmada, PID kontrolör kazançları OIO, PSO ve BSO ile belirlenmiş ve performansları karşılaştırılmıştır.

## 2. Güç Sistem Modeli

Dönen makineli bir enerji üretim santralinde, potansiyel/kinetik enerji, türbinler vasıtası ile mekanik enerjiye ve sonra da mekanik enerji, generatörlerde elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu prensibe ait basitleştirilmiş hareket denklemi:

$$T_m - T_e = J \frac{d\omega}{dt}$$

şeklinde yazılır. Burada  $T_m$ , mekanik momenti,  $T_e$  yük momentini,  $J$  atalet momentini ve  $\omega$  ise açısal hızı ifade eder.

Birbirlerine bağlantı hattı ile bağlı alanlar enterkonnekte güç sistemini meydana getirirler. Her alan kendi kullanıcılarına enerji sağlar ve alanları birbirine bağlayan bağlantı hatları, alanlar arası güç akışına izin verir. Bu nedenle bir alanda ani yük değişimi olduğunda, diğer alanlardaki frekans değerleri ile bağlantı hatlarının güç değişim değerleri etkilenir. Kontrolör, sistemi istenilen sürekli durum değerine geri getirebilmesi için her bir alanın geçici hal durumu hakkında bilgiye ihtiyaç duyar. Böylece sistemin frekans değerini istenilen sürekli durum değerine geri getirebilir. İki ayrı bölgeyi birbirine bağlayan hatlarda meydana gelen

kayıplar ihmal edilirse bağlantı hattındaki güç şu şekilde yazılabilir:

$$P_{line12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \sin(\delta_1 - \delta_2)$$

Burada,  $V_1$  ve  $V_2$  sırası ile 1. ve 2. bölge gerilimlerinin genliğini,  $\delta_1$  ve  $\delta_2$  faz açılarını ve  $X_{12}$  ise bağlantı hattı empedansını ifade eder. Her bir gölge için faz açısı değişimi,

$$\Delta\delta = 2\pi \int \Delta f dt$$

şeklinde yazıldığında bölgeler arasındaki güç değişimi

$$\begin{aligned} \Delta P_{12} &= \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cos(\delta_1 - \delta_2) (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \\ &= T_{12} (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \end{aligned}$$

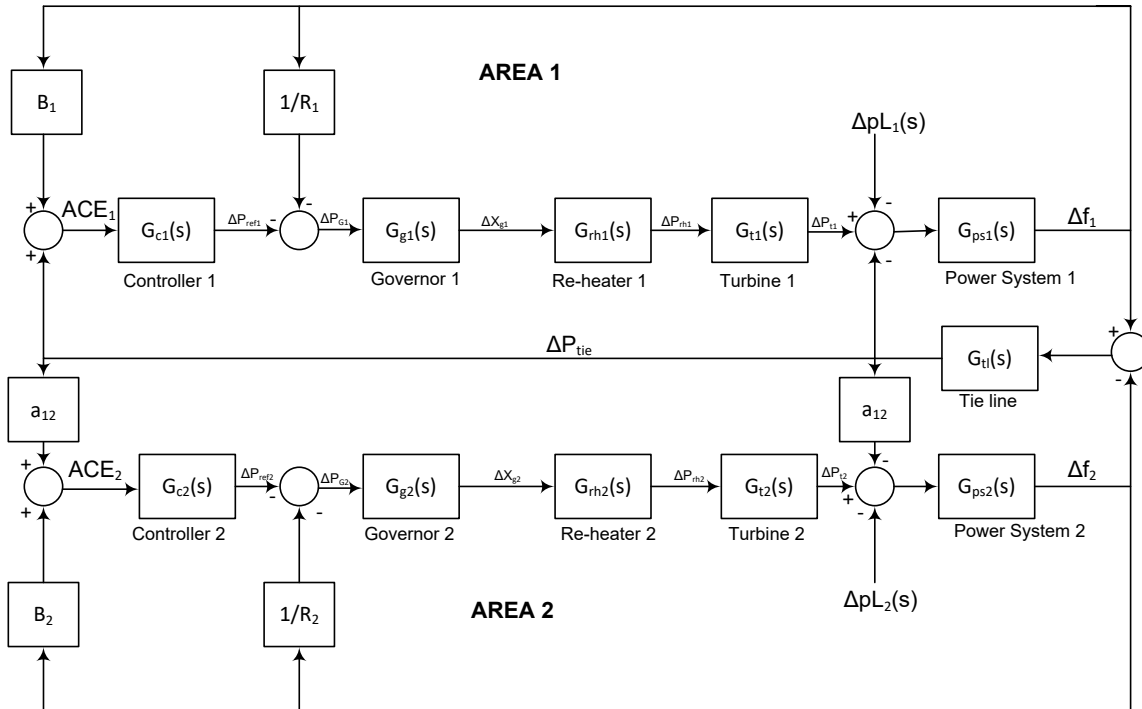
olacaktır. Hattın senkronize edici moment katsayısı;

$$T_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cos(\delta_1 - \delta_2)$$

şeklinde ifade edilir. Moment katsayısı, denklem 4'te yerine yazıldığında bağlantı hattı güç değişimi,

$$\Delta P_{tie} = T_{12} (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2)$$

olacaktır.



Şekil 1. İki bölgeyi güç sistem modeli

Sistemdeki  $\Delta P_L$  'lik bir güç değişimi sonucunda frekans sapması ile buna bağlı güç değişimi ve alan kontrol hatası (Area Control Error - ACE) sırası ile aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2}$$

$$\Delta P_{tie} = \frac{-\Delta P_{L1} \left( \frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2}$$

$$ACE_1 = \Delta P_{tie} + B_1 \cdot \Delta f_1$$

$$ACE_2 = B_2 \cdot \Delta f_2 + a_{12} \cdot \Delta P_{tie}$$

İki bölge güç sistemi modelindeki her bir bloğun transfer fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

*Regülatör*

$$G_{g1}(s) = G_{g2}(s) = \frac{K_h}{T_h \cdot s + 1}$$

*Türbin*

$$G_{t1}(s) = G_{t2}(s) = \frac{K_t}{T_t \cdot s + 1}$$

*Bağlantı Hattı*

$$G_{il}(s) = \frac{2\pi \cdot T_{12}}{s}$$

*Ara Isıtıcı*

$$G_{rh1}(s) = G_{rh2}(s) = \frac{(K_{r12} \cdot T_{r11}) \cdot s + 1}{T_{r1} \cdot s + 1}$$

*Güç Sistemi*

$$G_{ps1}(s) = G_{ps2}(s) = \frac{K_g}{T_g \cdot s + 1}$$

Modeli kullanılan sistem literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır [32, 33] ve bu çalışmalarda parametreler ile aynı alınmıştır. Elde edilen bu denklemlere göre, kontrolü yapılacak iki bölge güç sisteminin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.

### 3. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Teknolojinin gelişimi ile kullanılan bilgi miktarının artması, sorunları çok boyutlu bir hale

getirmiştir. Buna bağlı olarak problemlere getirilen çözümün hızı ve kalitesi önem kazanmıştır. Bu problemlerin optimum ve olabildiğince hızlı çözümü bilim adamlarının üzerinde çalıştığı bir durumdur. Bu noktada optimizasyon kavramı ortaya çıkmıştır. (7)

Klasik optimizasyon algoritmalarının çok boyutlu ve karmaşık problemlerin çözümünde yetersiz kalması sezgisel algoritmaların geliştirilmesine neden olmuştur. Sezgisel algoritmaları sınıflandırmanın birkaç yolu vardır. Birinci yol algoritma geliştirmek için kullanılan metaforların tiplerine dayanmaktadır. Bu metaforlara; doğadan ilham alan algoritmalar (parçacık sürü optimizasyonu, karınca koloni optimizasyonu), sosyal esinlenilmiş algoritmalar (tabu arama, lig şampiyonluğu) veya politik olarak esinlenen algoritmalar (yayımcı rekabet) örnek olarak verilebilir. Doğadan esinlenen algoritmalarda genel yakınsama, doğadaki fiziksel ve ekolojik işlemler ve algoritmanın kendi optimizasyon mekanizmalarının simülasyonu ile gerçekleştirilir ve etkin sonuçlar elde edilir. (8)

#### 3.1. Parçacık sürü optimizasyonu

PSO, 1995 yılında sosyolog-psikolog James Kennedy ve elektrik mühendisi Russel Eberhart tarafından, kuş ve balık sürülerinin besin bulma davranışlarından esinlenerek geliştirdikleri sürü zekasına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [3]. PSO'da, sürünün her bir bireyi çözüm uzayında dolaşmaktadır. Herbir parçacık optimizasyon probleminin birer aday çözümünü göstermektedir. PSO algoritması, arama uzayında tüm parçacıkların rastgele bir konum almasıyla başlar. Devam eden adımlarda komşularının en iyi koordinatlarına ve kendi en iyi koordinatlarına göre parçacıkların pozisyonları güncellenir. En iyi sonucu bulmak için arama işlemi bu şekilde devam eder. (9)

#### 3.2. Bakteri sürü algoritması

Bakterinin bahsedilen besin arama prensiplerini taklit etmek amacıyla Passino tarafından dağıtık optimizasyon ve kontrol için bakteri besin arama optimizasyon algoritması (BBAOA) geliştirilmiştir [5]. Birçok sürü zekasına bağlı rastsal arama algoritmasında

olduğu gibi, BBAOA'da da ilk adım, problemi algoritmaya uygun şekilde kodlamaktır. Sonrasında sürü bilgilerine göre bireyleri ayarlamak ve son olarak optimal çözümü aramaktır. Önceki bölümde anlatılan PSO'nun sosyal bilgileri aktarma özelliğini bakteri besin aramanın eleme ve dağılma sürecinde yeni yön belirlemede kullanmaktır. Hibrit yöntemde PSO ile bakterinin yön hareketi rastgelelikten kurtulur. Böylelikle BBAO'nun rastgele belirlediği hareket yönü nedeni ile ortaya çıkan çözüme ulaşma süresi kısalmaktadır [34].

### 3.3. Optikten esinlenen optimizasyon

OIO algoritması, 2013 yılında Ali Husseinzadeh Kashan tarafından sunulan fizik tabanlı bir sezgisel algoritma türüdür [29]. Fizik kanunlarından biri olan optikten esinlenerek ortaya koyulmuştur. OIO, görüntüleri yansıtan yapay bir aynanın (fonksiyon yüzeyinin) önüne oturtulmuş bir dizi yapay ışık noktası ( $R^n$ 'de eşleşen  $R^{n+1}$ 'deki noktalar, problemin potansiyel çözümleridir) olduğunu varsayan bir algoritmadır. Her tümsek, bir dışbükey (tümsek) yansıtan yüzey olarak ve her çukur, bir içbükey (çukur) yansıtan yüzey olarak kabul edilir. Bu şekilde, yapay bir ışık noktasından parlayan yapay ışın, tümsek veya çukurun bir parçasından kısmen yansıtan yüzeyi veren fonksiyon yüzeyi ile geri yansır. Yapay görüntü noktası ( $R^n$ 'de eşleşen  $R^{n+1}$ 'deki yeni bir nokta arama alanındaki yeni bir çözüm gibi) düz (arama uzayında ışık noktasının konumu doğrultusunda) veya ters (arama uzayında ışık noktasının konumundan dışa doğru) şekildedir.

- $f(\vec{X}) = [x_1 x_2 \dots x_n]$ ,  $l_d \leq x_d \leq u_d$ ,  $d = 1, \dots, n$  ile tanımlanan  $n$ -boyutlu karar uzayı üzerinde küçültülebilecek  $n$  değişkenli bir sayısal fonksiyon olsun.  $f: R^n \rightarrow R$  olduğunu hatırlayalım ve biz  $\forall \vec{X} \in R^n$  için  $f(\vec{X}^*) \leq f(\vec{X})$  olduğu  $\vec{X}^* \in R^n$ 'i bulan  $f$ 'nin genel minimumunu arıyoruz. Ortak arama ve amaç uzayın bu altküme içerisinde  $[x_1 x_2 \dots x_n f(\vec{X})]_{1 \times (n+1)}$ 'nin bir vektör olduğu  $R^{n+1}$ 'nin bir altkümüsi olduğuna dikkat etmek gerekir.
- $\vec{O}_j^t = [o_{j1}^t o_{j2}^t \dots o_{jn}^t]_{1 \times n}$   $t$  iterasyonunda  $n$ -

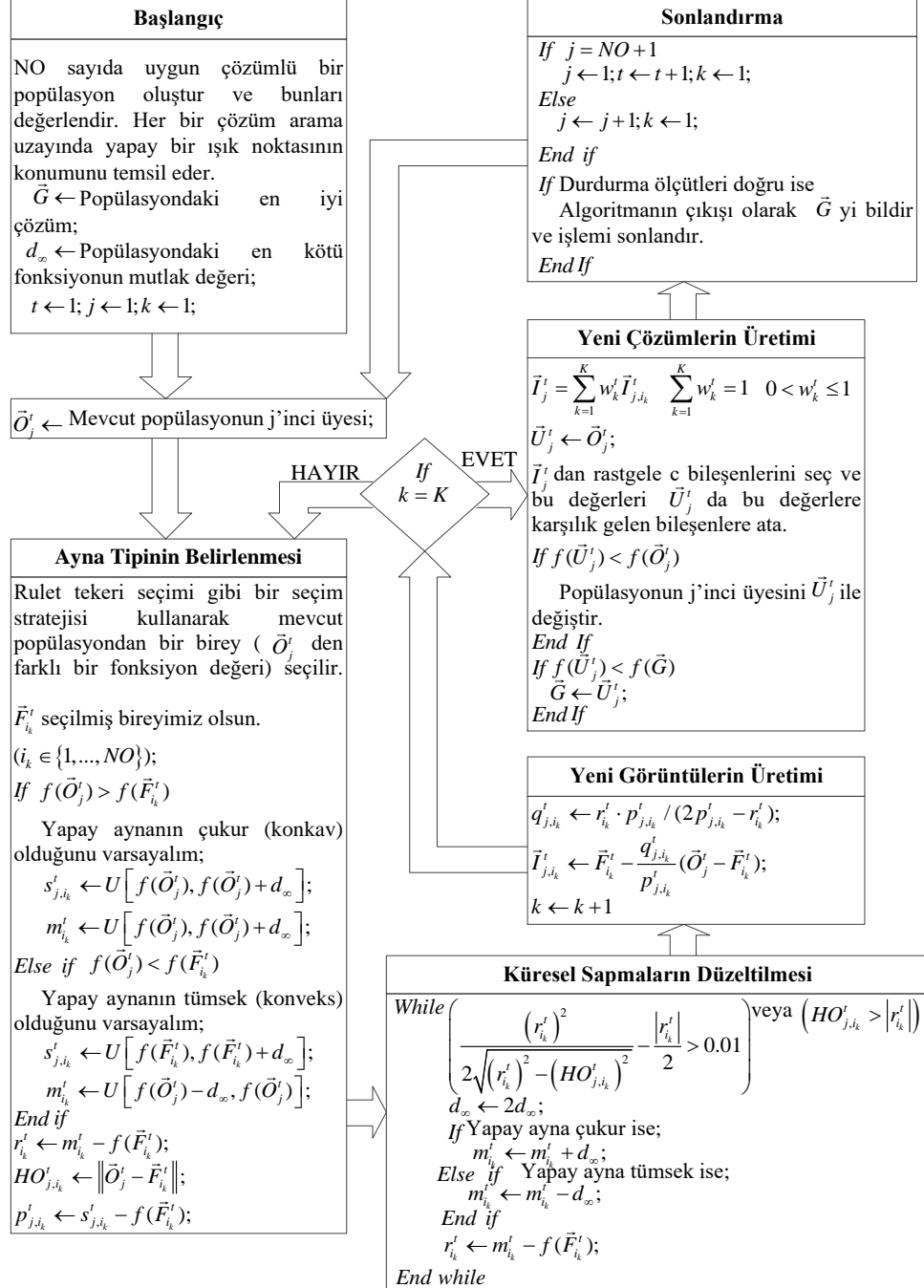
boyutlu arama uzayındaki  $j$  yapay ışık noktasının konumunu belirtir (yani, popülasyondaki  $j$  ninci çözüm).

- $\vec{F}_k^t = [f_{k1}^t f_{k2}^t \dots f_{kn}^t]_{1 \times n}$  kendi başına yapay ana eksenini geçen arama uzayındaki (yani, popülasyondaki bir bireyi) farklı bir noktayı belirtir. Yapay ayna tepe konumu böylece  $[f_{k1}^t f_{k2}^t \dots f_{kn}^t f(\vec{F}_k^t)]_{1 \times (n+1)}$  vektörü ile belirlenir.  $i_k$  indeksi  $\{1, \dots, NO\}$ 'dan rasgele çekilir.  $NO$ , yapay ışık noktalarının sayısıdır (yani, popülasyonun boyutu).
- $\vec{I}_{j,i_k}^t = [i_{j1}^t i_{j2}^t \dots i_{jn}^t]_{1 \times n}$   $t$  iterasyonunda arama uzayındaki  $j$  yapay ışık noktasının bir görüntüsünün konumunu belirtir. Yapay görüntü,  $\vec{F}_k^t$  vasıtasıyla ana eksenini geçen yapay ayna ile oluşturulur.
- $s_{j,i_k}^t$   $t$  iterasyonunda fonksiyon/amaç eksenini (amaç uzayı) üzerindeki  $j$  yapay ışık noktasının (görüntüsünün yapay ayna tarafından oluşturulduğu) konumunu belirtir. Ortak arama ve amaç uzayındaki  $j$  yapay ışık noktasının konumu böylelikle  $[o_{j1}^t o_{j2}^t \dots o_{jn}^t s_{j,i_k}^t]_{1 \times (n+1)}$  vektörü ile verilir.
- $p_{j,i_k}^t$   $t$  iterasyonunda fonksiyon/amaç eksenini üzerindeki  $j$  yapay ışık noktasının konumu ve fonksiyon/amaç eksenini üzerindeki yapay ayna tepesinin konumu ( $f(\vec{F}_k^t)$ ) arasındaki mesafedir.
- $q_{j,i_k}^t$ ,  $t$  iterasyonunda fonksiyon/amaç eksenini üzerindeki  $j$  yapay ışık noktasının görüntüsünün konumu ve fonksiyon/amaç eksenini üzerindeki yapay ayna tepesinin konumu ( $f(\vec{F}_k^t)$ ) arasındaki mesafedir.
- $r_{i_k}^t$ ,  $\vec{F}_k^t$  vasıtasıyla ana eksen üzerinde yapay aynanın eğrilik merkezini geçebilen yapay aynanın eğrilik yarıçapıdır.
- $m_{i_k}^t$ , fonksiyon/amaç eksenindeki (amaç uzayındaki) eğrilik merkezinin konumudur.
- $HO_{j,i_k}^t$ ,  $t$  iterasyonunda yapay ana eksenden,  $j$  yapay ışık noktasının yüksekliğidir.
- $HI_{j,i_k}^t$ ,  $t$  iterasyonunda yapay ana eksenden,

$j$  yapay ışık noktasının görüntüsünün yüksekliğidir.

görüntüsünü yansıtan yapay ayna ile ilgili yanal sapmaların değeridir.

- $K_{j,i_k}^t$ ,  $t$  iterasyonunda  $j$  yapay ışık noktasının



Şekil 2. OIO'nun Akış Şeması [30]

OIO'nun genel mekanizması şöyle ifade edebilmek mümkündür. İlk olarak NO sayıda birey, arama uzayında yapay ışık noktalarının başlangıç konumlarını oluşturmak için rasgele

üretilir. Sonrasında,  $t$  iterasyonunda arama uzayındaki her bir  $j$  yapay ışık noktası ile  $\vec{O}_j = [o_{j1}^t o_{j2}^t \dots o_{jn}^t]$  ( $j = 1, \dots, NO$ ) konumu

aynının köşesinden  $p_{j,i_k}^t$  mesafesinde yapay aynanın (fonksiyon yüzeyinin) önüne konular (  $[o_{j1}^t o_{j2}^t \cdots o_{jn}^t s_{j,i_k}^t]$  konumundaki ortak arama ve amaç uzayında) ve onun yapay görüntüsü arama uzayında  $\vec{F}_{i_k}^t$  noktası ( $\vec{F}_{i_k}^t$ , mevcut popülasyondan  $f(\vec{F}_{i_k}^t)$ 'nin mutlaka  $f(\vec{O}_j^t)$ 'dan farklı olması durumuna göre rasgele seçilir) vasıtasıyla ana eksenine geçtiği bilinen köşeden  $q_{j,i_k}^t$  mesafede (fonksiyon/amaç eksenindeki) ortak arama ve amaç uzayında oluşturulur.

Yapay aynanın eğrilik yarıçapı  $r_{i_k}^t$ 'dir. Yapay görüntünün konumu, çözüm uzayı ile eşleştirilerek arama uzayında probleme yeni bir çözüm olabilecek bir yapay görüntü konumu  $\vec{I}_{j,i_k}^t$  üretilir. OIO'ya ilişkin algoritma akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.

#### 4. Benzetim Sonuçları

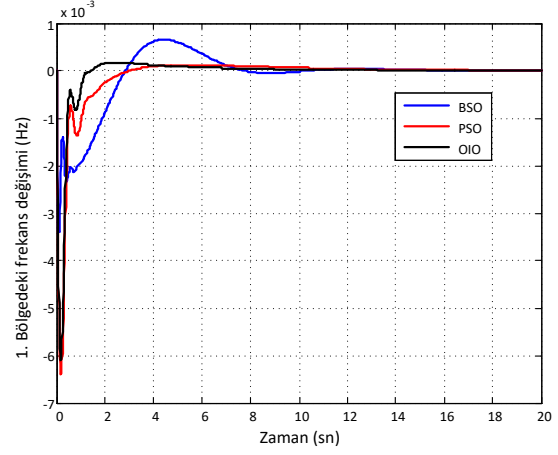
Yapılan benzetimlerde  $t=0$  anında sadece 1. bölgede  $\Delta P_{L1} = 0.01$  pu kadar bir değişime karşılık iki bölgede meydana gelen frekans değişimi ile bağlantı hattında meydana gelen güç değişimi, hatanın zaman ağırlıklı karelerinin toplamı performans indeksi kullanılarak maliyetlendirilmiştir. Kontrolör kazançları, bu maliyet fonksiyonuna göre OIO, PSO ve BSO'ya için belirlenmiştir. Optimizasyon yapılırken kontrolör kazançları olan  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerinin alt ve üst limitleri sırası ile 0 ve 10 olarak belirlenmiştir. Yukarıda verilen sınırlamalar ile optimize edilen kontrolör parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Belirlenen Optimim PID kazançları

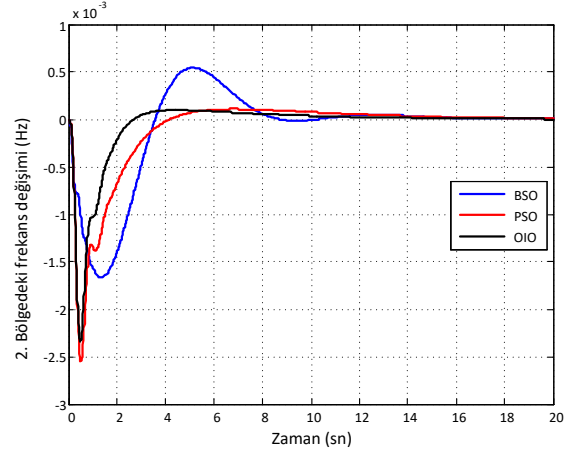
	$K_p$	$K_i$	$K_d$
<b>OIO</b>	9.997	9.999	2.524
<b>PSO</b>	9.505	5.680	2.305
<b>BSO</b>	5.856	6.457	7.826

Üç algoritmaya göre elde edilen optimum kazançlar kullanılarak zaman domaini benzetimleri yapılmıştır. Sırası ile 1. ve 2. bölgeden frekanslarındaki değişimler, Şekil 3 ve Şekil 4'te, alan kontrol hata değişimleri Şekil

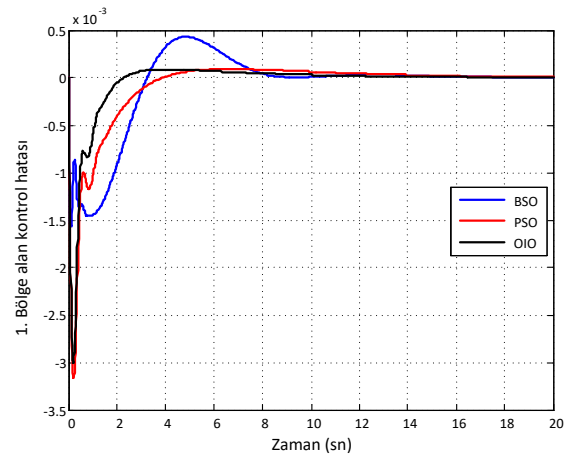
5 ve Şekil 6'da, bağlantı hattı güç değişimi ise Şekil 7'de verilmiştir.



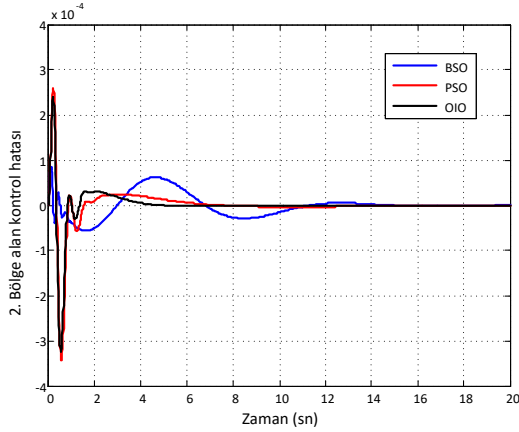
**Şekil 3.** 1. Bölgedeki frekans değişimi



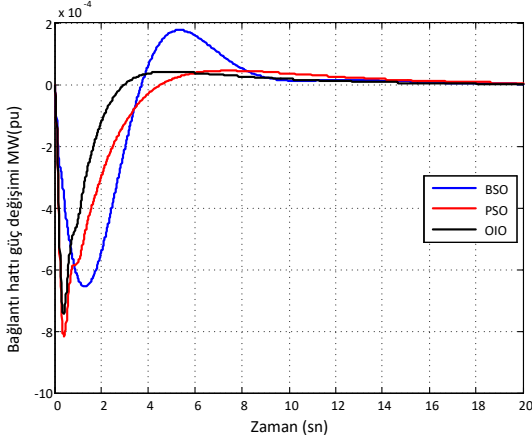
**Şekil 4.** 2. Bölgedeki frekans değişimi



**Şekil 5.** 1. Bölgedeki ACE değişimi



Şekil 6. 2. Bölge ACE değişimi



Şekil 7. Bağlantı hattı güç değişimi

Yapılan zaman domain benzetimlerine göre her iki bölge için hesaplanan maksimum aşma, yerleşme zamanları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 4'te ise yöntemlerin bulabildiği en düşük maliyet değerleri verilmiştir. Veriler dikkate alındığında OIO algoritmasının bulduğu değer diğer yöntemlerin değerlerinden çok daha küçüktür. Bu da OIO'nun bu problem için daha iyi arama yaptığını göstermektedir.

**Tablo 3.** Bölge-1 ve 2 için yerleşme zamanı ve maksimum aşma değerleri

Bölge	1. Bölge		2. Bölge	
	Maks. Aşma (mHz)	Yerleş. zaman	Maks. Aşma (m Hz)	Yerleş. zaman
<b>OIO</b>	6,108	8,027	2,335	8,933
<b>PSO</b>	6,405	11,740	2,554	12,635
<b>BSO</b>	3,394	12,552	1,662	12,736

**Tablo 4.** Maliyet değerleri

	Maliyetx10 <sup>-6</sup>
<b>OIO</b>	1,05
<b>PSO</b>	2,29
<b>BSO</b>	6,08

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, iki bölge bir güç sisteminde yük frekans kontrolör kazançları optimize etmek için OIO algoritması önerilmiş ve literatürde yaygın olarak bilinen PSO ve BSO ile performansları karşılaştırılmıştır.

Optimizasyonlarda, performans indeksi olarak ITSE fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir performans indeksi için iki bölgedeki frekans değişimleri ve bağlantı hattına ait güç değişiminin simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar OIO algoritmasının incelenen diğer algoritmalarla göre çok daha üstün olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma ile OIO'nun performansının iki yönetime göre daha iyi olduğu ortaya konulmuş ve çalışmanın devamında ise OIO algoritması kullanılarak optimal self-tuning PID yapılabilir. Böylelikle bu yöntemin kullanıldığı pratik çalışmaların önü açılmış olur.

## 6. Kaynaklar

1. Kundur, P. (1994). Power system stability and control (Vol. 7). N. J. Balu, & M. G. Lauby (Eds.). New York: McGraw-hill.
2. Özdemir, M.T., Öztürk, D., Eke, İ., Çelik, V., Lee, K.Y. (2015). Tuning of Optimal Classical and Fractional Order PID Parameters for Automatic Generation Control Based on the Bacterial Swarm Optimization. IFAC-PapersOnLine, 48(30), 501-506.
3. Kennedy, J., Eberhard, R.C. (1995). Particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE international conference on neural networks, Piscataway, NJ, USA, 1942-1948.
4. Geem, Z.W., Kim J.H., Loganathan, G.V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. Simulation;76:60-8.
5. Passino, K.M. (2002). Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. IEEE Control Syst Mag ; 22:52-67.
6. Muller, S.D., Marchetto, J., Airaghi, S., Koumoutsakos. P. (2002). Optimization based on bacterial chemotaxis, IEEE transactions on evolutionary computation, 6, 16-29.



7. Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
8. Formato, R.A. (2007). Central force optimization: a new metaheuristic with applications in applied electromagnetics. *Prog Electromagn Res PIER*;77:425–91.
9. Yang, X.S. (2008). Firefly algorithm. In: *Nature-inspired metaheuristic algorithms* (chapter 8), Luniver Press.
10. Husseinzadeh, K.A. (2009). League championship algorithm: a new algorithm for numerical function optimization. In: *Proceedings of SoCPaR 2009 IEEE international conference of soft computing and pattern recognition*, 43-48.
11. He, S., Wu, Q.H., Saunders, J.R. (2009). Group search optimizer: an optimization algorithm inspired by animal searching behavior. *IEEE Trans Evol Comput*;13:973–90.
12. Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm. *Information sciences*, 179(13), 2232-2248.
13. Rao, R. V., Savsani, V. J., Vakharia, D. P. (2012). Teaching–learning-based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problems. *Information Sciences*, 183(1), 1-15.
14. Gandomi, A. H., & Alavi, A. H. (2012). Krill herd: a new bio-inspired optimization algorithm. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 17(12), 4831-4845.
15. Öztürk, D., Özdemir, M.T., Cebeci, M. (2004). Çok Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde PLC ile Gerilim ve Frekans Kontrolü, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Mayıs.
16. Mohanty, B. (2015). TLBO optimized sliding mode controller for multi-area multi-source nonlinear interconnected AGC system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73: 872-881.
17. Shiva, C.K., Mukherjee, V. (2015). Automatic generation control of interconnected power system for robust decentralized random load disturbances using a novel quasi-oppositional harmony search algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73: 991-1001.
18. Ali, E.S., Abd-Elazim, S.M. (2010). Optimal PID tuning for load frequency control using bacteria foraging optimization algorithm. *IEEE 14th international middle east power systems conference*, Cairo University, Giza, Egypt, December 19–21; 2010. p. 410–5.
19. Saikia, L.C., Nanda, J., Mishra, S. (2011). Performance comparison of several classical controllers in AGC for multi-area interconnected thermal system. *Int J Electr Power Energy Syst*;33:394–401.
20. Saini, R., Gupta, R., Parmar, G. (2013). Optimization of LFC using bacteria foraging optimization algorithm. *Int J Emerg Technol Comput Appl Sci*;3(2):133–8.
21. Ali, E., Abd-Elazim, S. (2011). Bacteria foraging optimization algorithm based load frequency controller for interconnected power system. *Int J Electr Power Energy Syst*;33(3):633–638.
22. Yousuf, M. S., Al-Duwaish, H. N., Al-Hamouz, Z. M. (2010). PSO based single and two interconnected area predictive automatic generation control. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, Kingdom of Saudi Arabia.
23. Gozde, H, Taplamacioglu, M. (2011). Automatic generation control application with craziness based particle swarm optimization in a thermal power system. *Int J Electr Power Energy Syst*;33:8–16.
24. Panda, S., Mohanty, B., Hota, P. (2013). Hybrid BFOA-PSO algorithm for automatic generation control of linear and nonlinear interconnected power systems. *Int J Appl Soft Comput*;13:4718–30.
25. Sudha, K., Vakula, V., Shanthi, R. (2010). PSO based design of robust controller for two area load frequency control with nonlinearities. *Int J Eng Sci Technol*;2(5):1311–1324.
26. Omar, M., Soliman, M., Ghany, A. A., Bendary, F. (2013). Optimal tuning of PID controllers for hydrothermal load frequency control using ant colony optimization. *International journal on electrical engineering and informatics*, 5(3), 348.
27. Shayeghi, H., Shayanfar, H. A., Jalili, A., & Ghasemi, A. (2010). LFC design using HBMO technique in interconnected power system. *International Journal on “Int J Technical Physical Prob Engineering*, 2(4), 41-48.
28. Naidu, K., Mokhlis, H., & Bakar, A. H. A. (2014). Multiobjective optimization using weighted sum artificial bee colony algorithm for load frequency control. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 657-667.
29. Kashan, A.H. (2013). A new metaheuristic for optimization: optics inspired optimization (OIO). Technical Report, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University
30. Kashan, A.H. (2015). A new metaheuristic for optimization: optics inspired optimization (OIO). *Computers & Operations Research*, 55, 99-125.
31. Kashan, A. H. (2015). An effective algorithm for constrained optimization based on optics inspired optimization (OIO). *Computer-Aided Design*, 63, 52-71.
32. Yalçın, E., Cam, E., Lüy, M. (2010). Load frequency control in four-area power systems using PID controller, *Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO)*, 2010 National Conference, page: 72-77

**33.** Sathya, M.R., Ansari, M.M.T. (2015). Load frequency control using Bat inspired algorithm based dual mode gain scheduling of PI controllers for interconnected power system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 365-374.

**34.** Korani, W.M., Dorrah, H.T., Emara, H.M. (2009). Bacterial foraging oriented by particle swarm optimization strategy for PID tuning. *IEEE International Symposium in Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA)*,( pp. 445-450).