



Harris Şahini Optimizasyon Algoritması ile Aktif Güç Kayıplarının Minimizasyonu

Minimization of Active Power Losses Using Harris Hawks Optimization Algorithm

Ozan Akdağ^{1*}, Abdullah Ateş², Celaleddin Yeroğlu³

^{1,2,3}İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Malatya, TÜRKİYE(**)

Sorumlu Yazar / Corresponding Author*: ozanakdag@live.com(**)

Geliş Tarihi / Received: 02.09.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 18.11.2019

DOI: 10.21205/deufmd.2020226516

Atıf şekli/How to cite: AKDAG, O., ATES, A., YEROGLU, C.(2020). Harris Şahini Optimizasyon Algoritması ile Aktif Güç Kayıplarının Minimizasyonu. DEUFMD, 22(65), 481-490.

Öz

Optimum Yük Akış (OYA) problemi, güç sistemindeki sabit durum değişkenlerinin optimum şekilde belirlenmesini sağlayan doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. OYA problemi jeneratör/baraj gerilimi, baraj şönt akımı, reaktör/kapasitör değeri, jeneratör aktif/reaktif güç, trafo kademe değiştirici ve hat kapasitesi gibi verileri güvenli sınırlar içinde tutarak güç sisteminde üretim maliyeti, aktif/reaktif güç kayıpları, yakıt emisyon miktarı gibi çıktıları minimize etmeyi amaçlar. Bu çalışmada OYA için aktif güç kayıplarının minimizasyonunda yeni bir algoritma olan Harris Şahini Optimizasyon (HŞO) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma 13 baralık Türkiye Doğu Anadolu güç sisteminin bir kesitine uygulanmıştır. Sonrasında elde edilen test sonuçları literatürde bulunan Vektörel Parçacık Sürü Optimizasyonu (VPSO) ve Eşik Değer kısıtlı Kesir Derceci Darwinian Parçacık Sürü Optimizasyonu (ED-KDDPSO) algoritmaları ile karşılaştırılarak, HŞO'nun etkinliği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimum Güç Akışı, Aktif Güç Kayıplarının minimizasyonu, Harris Hawk optimizasyon algoritması

Abstract

Optimum Power Flow (OPF) is a nonlinear optimization problem that allows the optimum determination of steady state variables in the power system. The OPF problem aims to minimize the cost of production, active/reactive power losses and fuel emissions in the power system by keeping the parameters such as generator/bus voltage, busbar shunt current reactor/capacitor value, generator active/reactive power, transformer tap changer and line capacity within safe limits. In this paper, a new algorithm, Harris Hawk Optimization (HHO) algorithm, is used to minimize active power losses for OPF. This algorithm was applied to a section of 13 bar Eastern Anatolia power system of Turkey. Then, the results of the tests were compared with the Vector evaluated Particle Swarm Optimization (VPSO) and Fractional Order Darwinian Particle Swarm Optimization with Constraint Threshold (FODPSO-CT) and the effectiveness of HHO was discussed.

Keywords: Optimum Power Flow, Minimization of Active Power Losses, Harris Hawk optimization algorithm

1. Giriş

Geçmişten günümüze enerjiye talep sürekli artmaktadır. Bu durumun sonucu olarak, güç sistemleri büyüyerek, karmaşık bir yapıya dönüşmüştür. OYA çalışmaları bu karmaşık yapıdaki güç sistemlerinde, toplam enerji üretim maliyeti, aktif güç kayıpları, baralardaki gerilim sınır değerleri gibi parametrelerin optimum sınırlarda tutulmasını sağlayarak elektrik enerjisinin tüketiciye sürekli, güvenilir, kaliteli ve ekonomik olarak ulaştırılmasını sağlar [1-3]. OYA probleminin optimum çözümüyle güç sistemlerinde üretim/tüketim dengesi en iyi şekilde sağlanır ve nominal koşullarda işletilebilir. OYA çalışmaları eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları altında ilgili amaç fonksiyonunun optimizasyonunu yapmayı hedefler [4]. OYA probleminin çözümü uzun yıllardır bilim dünyasının dikkatini çekmiş ve literatürde birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Bara indirgeme [5], lineer programlama [6,7], nonlinear programlama [8-10], quadratik programlama [11-13] ve Newton Raphson tabanlı [1] çözümler gibi klasik yöntemler uzun yıllar kullanılmıştır. Ancak, günümüzde büyüyen şebeke yapıları ile bu yöntemlerin dahada geliştirilmesi gerekir. Bundan dolayı sezgisel algoritmalar OYA problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu algortimalara örnek olarak; güve sürüsü optimizasyonu [1], parçacık sürü optimizasyonu [14, 15], genetik algoritma [16, 17], tabu arama [18, 19], hibrid genetik algoritma [20], evrimsel hesaplama [21], geliştirilmiş çarpışan cisimler optimizasyon algoritması [22] verilebilir.

2019 yılında geliştirilen HŞO, sürü tabanlı Harris şahinlerinden ilham alınarak geliştirilmiş bir sezgisel algoritmadır [23]. Bu yayında HŞO algoritması 13 baralık Türkiye Doğu Anadolu güç sisteminin bir kesitine DigSilent modelleme ve simülasyon yazılımı kullanılarak uygulanmıştır. Sonuçlar [24]'de aynı güç sistemine uygulanmış olan ED-KDDPSO ve VPSO algoritmaları ile karşılaştırılarak HŞO 'nun etkinliği tartışılmıştır. Bu yayında optimum güç akışı sağlanarak aktif güç kayıplarının azaltılması ve enerjiden maksimum yararlanılması hedeflenmiştir.

2. Harris şahini optimizasyon algoritması

Bu algoritmada, doğadaki zeki kuşlardan biri olan Harris şahinlerinin avlanma stratejisi taklit edilmiştir. Harris şahinleri özellikle tavşan avlama sürecinde sürü olarak hareket eder. Sürünün bir lideri bulunur. Lider ve sürünün diğer üyeleri öncelikle keşif uçuşları yapar. Avın tespit edilmesinden sonra avlanma sürecine geçilir. Harris şahinlerinin bu özellikleri 2019 yılında Heidari tarafından matematiksel olarak modellenerek sunulmuştur [23]. HŞO popülasyon temelli, gradyansız bir optimizasyon tekniği olup uygun bir formülasyona sahip birçok mühendislik problemlerine uygulanabilir.

2.1. Keşif aşaması

Bu aşamada Harris şahinlerinin keşif stratejisi modellenmiştir. Harris şahinleri çoğunlukla güçlü gözleriyle avını görebilir ancak bazı zamanlarda avını kolayca farkedemeyebilir. Bu durumda Harris Şahinleri zaman zaman çöl bölgesinde bekleyip, gözlem yaparlar. Bu olay bir döngüde devam eder. Bu döngülerde olan Harris Şahinleri aday çözümlerdir. Her bir döngüde ava en iyi pozisyonda olan şahin, optimum çözümü belirtir. Harris şahinleri bir bölgede rastgele dolaşırken iki adet keşif stratejisine sahiptirler. Bu stratejiler eşitlik 1'deki gibidir. Burada q değeri hangi stratejinin devrede olacağını belirten olasılık değeridir [23].

$$x(t+1) = \begin{cases} x_{rand}(t) - r_1|x_{rand}(t) - 2r_2x(t)|, & q \geq 0.5 \\ (x_{rabbit}(t) - x_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)), & q < 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

Burada $x(t+1)$ her iterasyondaki Harris Şahini'nin pozisyon vektörüdür. $x_{rabbit}(t)$ avın pozisyon vektörü, $x(t)$ şahinin güncel pozisyonu, r_1, r_2, r_3, r_4 ve q ise rassal sayılardır (0,1). LB, UB sırasıyla alt değer ve üst değerdir. $x_{rand}(t)$, mevcut popülasyondan rastgele seçilen

bir şahini gösterirken, $x_m(t)$ mevcut şahin popülasyonunun ortalama pozisyonudur. Ortalama pozisyon eşitlik 2 kullanılarak bulunur [23].

$$x_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t) \quad (2)$$

Burada N şahin sayısı, t iterasyon sayısı

2.2. Keşiften saldırıya geçiş safhası

Harris şahinleri keşif işlemini tamamladıktan sonra avın enerjisine göre farklı saldırı biçimleri geliştirebilir. Kaçma esnasında avın enerjisi önemli ölçüde azalır. Bu durumun matematiksel modeli eşitlik 3'de görüldüğü gibidir [23].

$$E = 2E_0(1 - \frac{t}{T}) \quad (3)$$

Burada E kaçan avın enerjisi, E_0 avın ilk enerjisi, T maksimum yineleme sayısıdır.

2.3. Saldırı aşaması

Bu aşamada Harris Şahini avına saldırarak, sürpriz sıçrama hareketini yapar. Avıda bu duruma reaksiyon göstererek, kaçmaya çalışır. Bu reaksiyona karşılık, Harris Şahini farklı stratejiler geliştirir. Algoritmada bu durum 4 farklı strateji olarak kurgulanmıştır.

2.3.1. Yumuşak kuşatma

Bu aşamada Harris şahini avına yanlıtıcı atlamalar yaparak onun enerjisini azaltmaya çalışır ($r \geq 0.5, E \geq 0.5$). Bu yumuşak kuşatma stratejisi algoritmada matematiksel olarak eşitlik 4 ve 5'deki gibidir.

$$x(t+1) = \Delta x(t) - E|Jx_{rabbit}(t) - x(t)| \quad (4)$$

$$\Delta x(t) = x_{rabbit}(t) - x(t) \quad (5)$$

Burada, r kaçan avın avlanma şansı, E ise tavşanın enerjisi ve $\Delta x(t)$ t . iterasyondaki mevcut konum ile avın (tavşanın) mevcut konumu arasındaki farktır. J doğal tavşan hareketini benzetmek için her iterasyonda değişen bir değerdir [23].

2.3.2. Sert kuşatma

Bu stratejide avın enerjisi oldukça azalmış durumdadır ($r \geq 0.5, |E| \leq 0.5$). Harris şahini avına sürpriz pençesini atmak için neredeyse hiç kuşatmamaktadır. Bu durum matematiksel olarak eşitlik 6'daki gibi modellenmiştir [23].

$$x(t+1) = x_{rabbit}(t) - E|\Delta x(t)|. \quad (6)$$

2.3.3. Aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma

Bu aşamada av kaçmak için yeterli enerjiye sahiptir. Harris şahini ise sürpriz sıçramadan önce hala yumuşak kuşatma yapmaktadır. Bu süreç önceki strateji adımından daha akıllıdır. Şahinler yumuşak kuşatmaya başlamadan önce bir sonraki hamlesine eşitlik 7'ye göre karar verdiği düşünülmektedir.

$$Y = x_{rabbit}(t) - E|Jx_{rabbit}(t) - x(t)| \quad (7)$$

Sonrasında böyle bir hareketin iyi bir dalış olup olmayacağına karar vermek için, bu durum önceki dalış ile karşılaştırılır. Eğer durum uygun değilse şahinler avına ani dalış yaparlar. Buna karar verme esnasında Levy Flight tabanlı bir hareket yapısı kullanılır. Bu durum eşitlik 8'de verilmiştir.

$$Z = Y + SxLF(D) \quad (8)$$

Burada D problem boyutudur. S , $1xD$ boyutunda rastgele bir vektördür. Y , avın azalan enerjisine göre konumunu belirtirken; Z , şahinin avına hamle yapıp yapmayacağına karar veren değişkendir. LF ise levy fonksiyonudur ve eşitlik 9 kullanarak bulunur.

$$LF(x) = 0.01x \left(\frac{\mu x \sigma}{|\mu|^\beta} \right), \sigma = \left[\frac{\Gamma(1+\beta) x \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) x \beta x^2 \left(\frac{\beta-1}{2}\right)} \right] \quad (9)$$

burada u, v (0,1) arası rastgele sayı, β ise 1.5'dir.

Yumuşak kuşatma evresindeki şahinlerin pozisyonlarını güncellemek için denklem 10 kullanılır.

$$x(t+1) = \begin{cases} Y & \text{if } F(Y) < f(x(t)) \\ Z & \text{if } F(Z) < F(x(t)) \end{cases} \quad (10)$$

Burada Y ve Z eşitlik 7 ve 8 kullanılarak bulunur [23].

2.3.4. Aşamalı hızlı dalışlarla sert kuşatma

Bu aşamada av kaçmak için yeterli enerjiye sahip değildir. Harris şahini, avını yakalamak için sürpriz sıçramadan önce sert bir kuşatma yapar. Sert kuşatma durumu denklem 11 kullanılarak bulunur [23].

$$x'(t+1) = \begin{cases} Y' & \text{if } F(Y') < f(x(t)) \\ Z' & \text{if } F(Z') < F(x(t)) \end{cases} \quad (11)$$

burada Y' ve Z' eşitlik 12 ve 13 ile bulunur.

$$Y' = x_{rabbitt}(t) - E|Jx_{rabbitt}(t) - x_m(t)| \quad (12)$$

$$Z' = Y' + SxLF(D) \quad (13)$$

Burada x_m eşitlik 2'de verilmiştir.

3. Optimal Yük Akışı

OYA, normal işletme koşullarında, güç sistemlerinde üretim/tüketim dengesinin en iyi şekilde tutulmasını sağlar. Böylece enerjiden üretim, dağıtım ve tüketim aşamalarında verimli yararlanılır. Ayrıca, güç sistemlerinde yakıt maliyetinin, aktif güç kayıplarının, yakıt emisyon miktarlarının, gerilim çökmesi vb. parametrelerin minimizasyonu da OYA'nın amacı olabilir. Gerilim çökmesi minimizasyonu ile bara gerilimlerinin 1.0 pu değerine yaklaştırılarak, gerilim profili iyileştirilmesi sağlanmasını amaçlamaktadır. Bu çalışmada örnek güç sisteminde amaç fonksiyonu olarak,

aktif güç kayıplarının minimizasyonu temel alınmıştır.

Güç sistemlerinde gücün verimli kullanılıp, aktif güç kayıplarının azaltılmasında eşitlik 14 kullanılır.

$$\begin{aligned} ObjF & \quad (14) \\ & = f \sum_{k=1}^{Ni} [g_k (V_i^2 + V_j^2 \\ & - 2V_i \cdot V_j \cdot \cos(\theta_{(i,j)}))] \end{aligned}$$

Eşitlik 14'de verilen amaç fonksiyonunda minimizasyon işlemi yapılırken, eşitlik ve eşitsizlik kısıtları göz önüne alınır.

Eşitlik kısıtları

Eşitlik kısıtları üretilen/tüketilen gücü tanımladığından dolayı güç sisteminin fiziksel yapısını belirtir. Eşitlik kısıtları aktif ve reaktif güç dengesini ifade edecek şekilde 2 adettir [24].

$$\begin{aligned} P_{Gi} - P_{Di} - Vi \sum_{j=1}^{Nb} [Vj(g_{h(i,j)} \cdot \cos(\theta_{(i,j)} \\ + b_{h(i,j)} \cdot \sin(\theta_{(i,j)}))] \\ = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} Q_{Gi} + Q_{Gi} - Q_{Di} \\ - Vi \sum_{j=1}^{Nb} [Vj(g_{h(i,j)} \cdot \sin(\theta_{(i,j)} \\ - b_{h(i,j)} \cdot \cos(\theta_{(i,j)}))] = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Burada v_i, v_j sırasıyla i ve j baraların gerilim değeri, N_b bara sayısı, P_{Gi} aktif güç üretimini, Q_{Gi} reaktif güç üretimini, P_{Di} aktif güç talebini, Q_{Di} reaktif güç talebini temsil eder. $g_{h(i,j)}$, $b_{h(i,j)}$, $\theta_{(i,j)}$ ise sırasıyla kondüktans, süseptans ve baraların gerilim değerleri arasındaki faz farkını belirtir.

Eşitsizlik kısıtları

Eşitsizlik kısıtlamaları güç sisteminin kararlı çalışmasını sağlayarak, ilgili teçhizatın güvenli sınırlarda kalmasını sağlar. Böylece güç sisteminin güvenilir işletilmesi sağlanır. Eşitsizlik kısıtlamaları denklem 17-22'deki gibidir [24].

$$\text{Aktif Güç } P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \quad i = 1,2, \dots Ng \quad (17)$$

$$\text{Reaktif güç } Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} \quad i = 1,2, \dots Ng \quad (18)$$

$$\text{Baravoltajı } V_i^{min} \leq |V_i| \leq V_i^{max} \quad i = 1,2, \dots Nb \quad (19)$$

$$\text{Kademe değiştirici } t_k^{min} \leq |t_k| \leq t_k^{max} \quad k = 1,2, \dots Nt \quad (20)$$

$$\text{Hat taşıma kapasite } S_{Li} \leq S_{Li}^{max} \quad L_i = 1,2, \dots Nb \quad (21)$$

$$\text{Şöntkapasitör } Q_{ci}^{min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci}^{max} \quad i = 1,2, \dots Nc \quad (22)$$

Burada verilen denklemlerde, Ng gerilim kontrollü bara sayısı, Nb bara sayısı, P_{Gi} i. baradaki jeneratörün aktif gücü, Q_{Gi} i. baradaki jeneratöre ait reaktif güç, Q_{ci} yüklerin bulunduğu i. baraya ilave edilecek şönt kapasitör değeri, V_i i. bara gerilimine ait limit gerilim değerleri, S_{Li} hat taşıma kapasitesi, S_{Li}^{max} hat taşıma kapasitesinin maks değeri, Nt transformatör sayısı, Nc reaktif güç eklemesi için eklenmiş bara sayısını vermektedir.

4. HŞO Algoritmasının OYA Problemine Uyarlanması

OYA Probleminin çözümünde HŞO algoritmasının uygulanma aşamaları;

Adım 1: Algoritma, başlangıç parametrelerinin yerleşimi ile başlatılır (Dağılım fonksiyonunda amaç fonksiyonu tanımlarına jeneratör, bara, kapasitör, trafo ve hat verileri girilir)

Adım 2: HŞO'nun parametrelerine göre, popülasyon büyüklüğü (N), maksimum yineleme sayısı (T) ve OYA probleminin üst ve alt limit değerleri tanımlanır.

Adım 3: Her şahinin lokasyonu; burada bir şahine ait lokasyon güç sistemine ait aktif ve reaktif değerlerine karşılık gelir. Böylece problem boyutu kadar sürü matrisi oluşturulur.

$$\text{Sürü Matrisi} = [P_{G1} P_{G2} \dots P_{Gn} Q_{G1} Q_{G2} \dots Q_{Gn}]$$

Adım 4: Sonrasında optimum yük akışı uygulanır. Daha sonra aktif ve reaktif güç değerleri optimize edilerek voltaj değerleri hesaplanır.

Adım 5: x_{rabbit} tavşan konumu olarak ayarlanır (en iyi konum). x_{rabbit} amaç fonksiyonuna göre hesaplanır. Genellikle OPF problemi için $x_{rabbit} = \min p(x, u)$ ile tanımlanır.

$$x_{rabbit} = \text{ObjF} = f \sum_{k=1}^{Ni} [g_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_{(i,j)}))]$$

Daha sonra HŞO için verilen sözde kod'a uygun aşağıdaki adımlara devam edilir;

Adım 6: Bu adımda, avın ilk enerjisi amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştırılır. Amaç fonksiyonu adım 5'deki gibi hesaplanır. Şayet, amaç fonksiyonu avın ilk enerjisinden daha küçük ise; avın ilk enerjisi amaç fonksiyonu değerine eşitlenir.

Adım 7: Avın enerjisi modellenir; $E = 2E_0(1 - \frac{t}{T})$. (avın ilk enerjisi amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştırılır sonrasında bu değer iterasyon sayısına göre azaltılarak, amaç fonksiyonun minimize edilmesi sağlanır. Daha sonra aşağıdaki adımlarda avın enerjisine göre başlangıç aktif ve reaktif güç değerlerinin (avın konumu) değişimi sağlanır).

Adım 8: Avın enerjisi E 1'e eşit veya daha büyük olduğunda, konum vektörü güncellenir.

$$x(t+1) = \begin{cases} x_{rana}(t) - r_1 |x_{rana}(t) - 2r_2 x(t)|, & q \geq 0.5 \\ (x_{rabbt}(t) - x_m(t)) - r_3 (LB + r_4 (UB - LB)), & q < 0.5 \end{cases}$$

(Keşif aşaması).

Adım 9: Şayet, avın enerjisi 1'den az ise, aşağıdaki koşullardan hangisi sağlanmışsa, o adıma geçilir (Saldırı aşaması)

Adım 9.1: ($|E| \geq 0.5$ and $r \geq 0.5$) olduğunda, eşitlik 4 kullanılarak konum güncellenir (Yumuşak kuşatma).

Adım 9.2: ($|E| \geq 0.5$ and $r < 0.5$) olduğunda eşitlik 6 kullanılarak konum güncellenir (sert kuşatma).

Adım 9.3: ($|E| < 0.5$ and $r \geq 0.5$) olduğunda, eşitlik 10 kullanılarak konum güncellenir (Aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma).

Adım 9.4: ($|E| < 0.5$ and $r < 0.5$) olduğunda, eşitlik 11 kullanılarak konum güncellenir (Aşamalı hızlı dalışlarla sert kuşatma)

Adım 10: Durma kriterlerine ulaşılan kadar 5. adımı tekrarlanır.

Adım 11: Avın yeri bulunur. (OYA sonrası optimum parametreler bulunur)

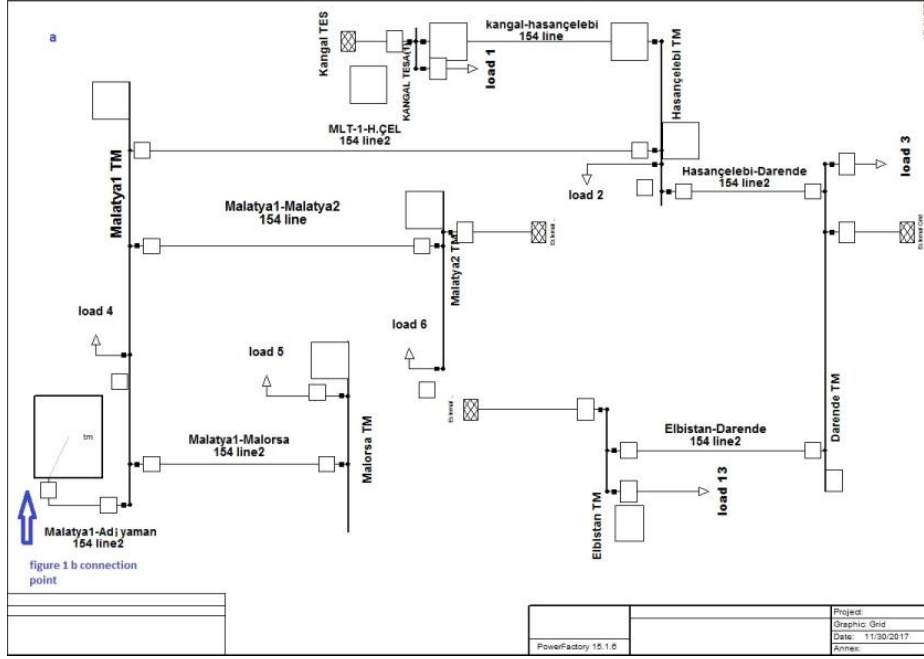
İterasyon sayısı kadar bu işleme devam edilir. Her seferinde en iyi şahin konumları bulunmaya çalışılarak, yani adım 3'de belirtilen jeneratörlere ait aktif ve reaktif güç değerleri bulunarak en iyi değerlere göre aktif güç kayıpları minimize edilir.

HŞO algoritmasının OYA problemine uyarlanması için aşağıda verilen sözde kod kullanılabilir. Bu çalışmadaki minimizasyon probleminde aşağıdaki sözde kod kullanılmıştır.

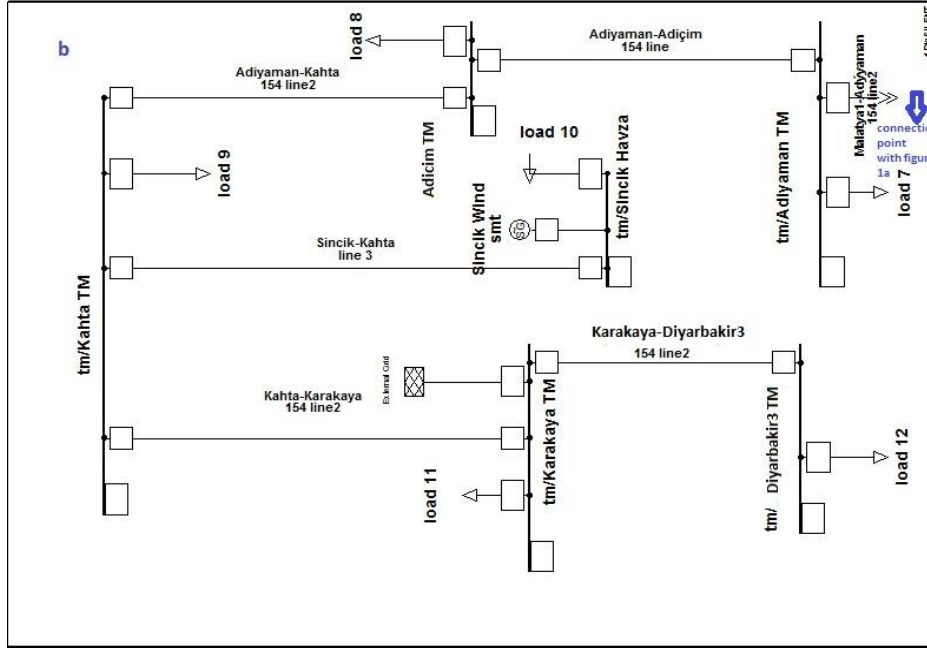
Girişler: N populasyon boyutu, T iterasyon sayısı
Çıktılar: Avın lokasyonuna göre optimum sonuç
Rastgele populasyon başlatılır $X_i (i = 1, 2, \dots, N)$
while (durdurma kriteri) do
her şahinin optimum degerini hesapla
avin lokasyonu icin Xset ayarla (en iyi konum)
for (her şahin icin (X_i)) do
Avın ilk enerjisi E_0 ve atlama gücü $J \triangleright$
 $E_0 = 2rand() - 1, J = 2(1 - rand())$
Es. (3) ile E 'yi guncelle
if ($|E| \geq 1$) then \triangleright Keşif aşaması
Es. (1) kullanarak konum vektörünü güncelle
if ($|E| < 1$) then \triangleright Sömürge aşaması
if ($r \geq 0.5$ and $|E| \geq 0.5$) then Yumuşak kuşatma
Es. (4) kullanarak konum vektörünü güncelle
else if ($r \geq 0.5$ and $|E| < 0.5$) then sert kuşatma
Es. (6) kullanarak konum vektörünü güncelle
else if ($r < 0.5$ and $|E| \geq 0.5$) then
Aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma
Es. (10) kullanarak konum vektörünü güncelle
else if ($r < 0.5$ and $|E| < 0.5$) then \triangleright
Aşamalı hızlı dalışlarla sert kuşatma
Es. (11) kullanarak konum vektörünü güncelle
Return X_{rabbt}

5. 13 Baralılık Türkiye Doğu Anadolu Güç Sistemi Kesitinin Modeli

Kullanılan HŞO yaklaşımının gerçek güç sistemlerine uygunluğunu göstermek için, Şekil 1-a/b'de verilen 13 baralılık Türkiye Doğu Anadolu İletim Sistemi ağının bir parçası üzerinde gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Bu güç sistemi 13 bara, 12 hat, 6 jeneratörler ve 7 yükten oluşmaktadır (361 MW). Güç sistemine ait veriler [24]'ten alınmıştır.



Şekil 1a. Güç sistemine ait tek hat şeması [24]



Şekil 1b. Güç sistemine ait tek hat şeması[24]

6. Test Sonuçları

HŞO algoritması, bu test sisteminde, aktif güç kayıplarının minimizasyonu problemini çözmek için uygulanmıştır. Bu algoritma kullanılarak 13 baralı Doğu Anadolu güç sisteminin bir kesiti Matlab ortamında optimize edilerek bulunan sonuçlar DigSilent yazılımında test edilmiştir. Böylece gerçek zamanlı çalışan bu güç sistemi için bir sanal model oluşturulmuştur. Tablo 1 incelendiğinde, [24]'deki sonuçlara göre daha

optimum aktif güç kaybı elde edildiği görülebilir. Toplam aktif güç kayıpları ED-KDDPSO için 23.33 MW 'den, HŞO'da 22.68 MW' a düşürülmüştür. Ayrıca, Tablo 1'de HŞO ile yapılan yük akış sonuçlarına ait bara gerilimleri incelendiğinde tüm değerlerin güç sisteminde çeşitli güvenlik nedenlerinden (sistemin kararlılığı) dolayı istenilen bara gerilim sınırlarında çalıştığı görülmektedir. Böylece ilgili güç sisteminde gerilim kararlılığı sağlanmıştır.

Tablo1. OYA problemi için bulunan sonuçlar

Kontrol değişkenleri	Min	Max	HŞO	ED-KDDPSO [24]	VPSO[24]
PG1(MW)	0	20	15	16.862	14.98
PG3(MW)	0	20	16.5683	17	17
PG6(MW)	0	17	40	40	39.99
PG10(MW)	10	40	30	30	30
PG11(MW)	100	140	140	117.39	135.33
PG13(MW)	65	200	142.1181	163.068	148.08
V1(PU)	0.95	1.05	1	0.98909	1
V2(PU)	0.95	1.05	0.9892	0.99073	0.9833
V3(PU)	0.95	1.05	0.99	0.95363	0.98
V4(PU)	0.95	1.05	0.9906	0.9823	0.98
V5(PU)	0.9	1.05	0.9837	1.0294	0.973
V6(PU)	0.95	1.05	1	0.99504	0.99
V7(PU)	0.95	1.05	0.9767	1.0055	0.9839
V8(PU)	0.95	1.05	0.9863	0.99744	0.9834
V9(PU)	0.95	1.05	0.996	0.99294	0.9926
V10(PU)	0.95	1.05	1	0.9935	1
V11(PU)	0.95	1.05	1	0.99001	1
V12(PU)	0.95	1.05	0.95	1.0144	0.948
V13(PU)	0.95	1.05	1.01	0.95449	1.01
Pdemand(MW)			361	361	361
Ploss(MW)			22.68	23.33	24.39

7. Tartışma ve Sonuç

Bu yayında, populasyon temelli, doğadan ilham alan, son zamanlarda yayınlanmış HŞO algoritması OYA problemine uygulanmış ve örnek güç sisteminde aktif güç kayıplarının minimizasyonu yapılmıştır. Sonuçlar, literatürdeki sonuçlar ile kıyaslanmıştır. ED-KDDPSO ile bulunan 23.33 MW'lık aktif güç kaybı bu çalışmada sunulan algoritma ile 22.68 MW'a düşürülmüştür. Ayrıca Tablo 1 incelendiğinde HŞO algoritmasında bulunan baralara ait gerilim değerleri diğer 2 tekniğe göre 1 pu değerine daha yakın kalmıştır. Böylece HŞO'da elde edilen gerilim değerleri, diğer 2 tekniğe göre daha iyi seviyede tutularak sistem daha kararlı işletilmiştir. Bu çalışmadaki simülasyon sonuçları önerilen HŞO yaklaşımının diğer sezgisel teknikler üzerindeki çözüm kalitesi açısından etkinliğini ve üstünlüğünü teyit etmektedir.

Kaynakça

- [1] Mohamed, A.A.A., Mohamed, Y.S., El-Gaafary, A.A., Hemeida, A.M., 2017. Optimal power flow using moth swarm algorithm Electric Power Systems Research, 142,s.190-206. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.09.025.
- [2] Singh, R.P., Mukherjee, V., Ghoshal, S.P. 2016. Particle swarm optimization with an aging leader and challengers algorithm for the solution of optimal power flow problem: Applied Soft Computing, Cilt. 40, s. 161-177. DOI: 10.1016/j.asoc.2015.11.027.
- [3] Chen, G., Liu, L., Zhang, Z., Huang, S. 2017. Optimal reactive power dispatch by improved GSA-based algorithm with the novel strategies to handle constraints. Applied Soft Computing, 50, s. 58-70.
- [4] Sulaiman, M. H., Mustafa, Z., Mohamed, M. R., & Aliman, O., 2015. Using the gray wolf optimizer for solving optimal reactive power dispatch problem: Applied Soft Computing, 32, 286-292.
- [5] Kirchmayer, L.K., Stagg, G.W., 1951. Analysis of total and incremental losses in transmission systems: Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Cilt. 70(2), s. 1197-1205.DOI: 10.1109/T-AIEE.1951.5060547.
- [6] Mota-Palomino, R., Quintana, V.H., 1986. Sparse reactive power scheduling by a penalty function-linear programming technique: IEEE Transactions on Power Systems, Cilt. 1(3), s. 31-39. DOI: 10.1109/TPWRS.1986.4334951.
- [7] Momoh, J.A., El-Hawary, M.E., Adapa, R.A., 1993. review of selected optimal power flow literature to 1993, II. Newton, linear programming and interior point methods: IEEE Transactions on Power Systems, Cilt. 14(1), s. 105-111. DOI: 10.1109/59.744495.
- [8] Wei, H., Sasaki, H., Kubokawa, J., Yokoyama, R., 1998. An interior point nonlinear programming for optimal power flow problems with a novel data structure: IEEE Transactions on Power Systems, Cilt. 13(3), s. 870-877.
- [9] Wu, Y.C., Debs, A.S., Marsten, R.E., 1994. A direct nonlinear predictor-corrector primal-dual interior point algorithm for optimal power flows: IEEE Transactions on power systems, Cilt. 9(2), s. 876-883. DOI: 10.1109/59.317660
- [10] Habibollahzadeh, H., Luo, G.X., Semlyen, A., 1989. Hydrothermal optimal power flow based on a combined linear and nonlinear programming methodology: IEEE Transactions on Power Systems, Cilt. 4(2), s. 530-537. DOI: 10.1109/59.193826
- [11] Burchett, R.C., Happ, H.H., Vierath, D.R., 1984. Quadratically convergent optimal power flow: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Cilt. (1) s. 3267-3275.
- [12] Momoh, J.A., Guo, S.X., Ogbuobiri, E.C., Adapa, R., 1994. The quadratic interior point method solving power system optimization problems: IEEE Transactions on Power Systems, Cilt. 9(3), s. 1327-1336.
- [13] Fan, J.Y., Zhang, L., 1998. Real-time economic dispatch with line flow and emission constraints using quadratic programming, IEEE Transactions on Power Systems, Cilt. 13(2), s. 320-325.
- [14] Tuzikova, V., Tlustý, J., Müller, Z., 2018. A novel power losses reduction method based on a particle swarm optimization algorithm using STATCOM. Energies, 11(10), s. 2851.
- [15] Reddy, M.L., Reddy, M.R., Reddy, V.V., 2012. Optimal Power flow using particle swarm optimization. Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, Cilt. 4(1), s. 116-124.
- [16] Kahourzade, S., Mahmoudi, A., Mokhlis, H.B. 2015. A comparative study of multi-objective optimal power flow based on particle swarm, evolutionary programming, and genetic algorithm: Electrical Engineering, Cilt. 97(1), s. 1-12.
- [17] Ganguly, S., Samajpati, D., 2015. Distributed generation allocation on radial distribution networks under uncertainties of load and generation using genetic algorithm. IEEE Transactions on Sustainable Energy, Cilt. 6(3), s. 688-697.
- [18] Lenin, K., Reddy, B. R., & Suryakalavathi, M., 2016. Hybrid Tabu search-simulated annealing method to

- solve optimal reactive power problem: *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 82, s. 87-91.
- [19] Abdelaziz, A.Y., Mohamed, F.M., Mekhamer, S.F., Badr, M.A.L., 2010. Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm. *Electric Power Systems Research*, 80(8): 943-953.
- [20] Awasthi, A., Venkitesamy, K., Padmanaban, S., Selvamuthukumar, R., Blaabjerg, F., Singh, A.K., 2017. Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm: *Energy, Cilt. 133*, s. 70-78. DOI: 10.1016/j.energy.2017.05.094
- [21] Baydar, B., Gozde, H., Taplamacioglu, M.C., Kucuk, A.O., 2019. Resilient Optimal Power Flow with Evolutionary Computation Methods: Short Survey. In *Power Systems Resilience Springer, Cham*, s. 163-189.
- [22] Boucekara, H.R.E.H., Chaib, A.E., Abido, M.A., El-Sehiemy, R.A., 2016. Optimal powerflow using an improved colliding bodies optimization algorithm: *Appl. SoftComput. Cilt. 42*, s. 119-131. DOI: 10.1016/j.asoc.2016.01.041.
- [23] Heidari, A.A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., Chen, H., 2019. Harris Hawks optimization: Algorithm and applications: *Future Generation Computer Systems, Cilt. 97*, s. 849-872. DOI: 10.1016/j.future.2019.02.028.
- [24] Akdağ, O., Okumuş, F., Kocamaz, A.F., Yeroğlu, C., 2018. Fractional Order Darwinian PSO with Constraint Threshold for Load Flow Optimization of Energy Transmission System: *Gazi University journal of Science*, vol. 31(3), pp. 831-844, 2018.