

GÜÇ SİSTEMLERİNDE EYPO ALGORİTMASI İLE VOLTAJ KARARLILIĞININ İYİLEŞTİRİLMESİOzan AKDAĞ^{1*}, Celaleddin YEROĞLU²¹ Türkiye Elektrik İletim AŞ., MalatyaORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8163-8898>² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, MalatyaORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6106-2374>

Anahtar Kelimeler	Öz
Voltaj Kararlılığı Optimum Yük Akış Optimizasyon	<i>Güç sistemlerinde voltaj kararlılığı hem güç kalitesine etkisi hem de bölgesel kesintilere neden olmasından dolayı güç sistemlerinin planlanmasında önemli bir problem haline gelmiştir. Bu problem literatürde doğrusal olmayan çoklu kısıt fonksiyonlu bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışmada Optimum Yük Akış (OYA) probleminde voltaj kararlılığının iyileştirilmesi için yeni bir algoritma olan Elektrik Yüklü Parçacık Optimizasyon (EYPO) algoritmasının OYA problemine uyarlanarak kullanılması önerilmiştir. EYPO algoritmasının etkinliği literatürde en çok kullanılan IEEE 30 test bara sisteminde test edilmiştir. Test sonuçları literatürde bildirilen güncel diğer yöntemler ile karşılaştırılmış ve EYPO'nun OYA probleminde voltaj kararlılığı için etkili ve kaliteli çözüm sağladığı gösterilmiştir.</i>

VOLTAGE STABILITY IMPROVEMENT USING ECPO IN POWER SYSTEMS

Keywords	Abstract
Voltage Stability Optimum Power Flow Optimization.	Voltage stability in power systems has become an important problem in planning of power systems due to both power quality and regional black out. This problem is known in the literature as a nonlinear optimization problem with multi-constraint function. In this study, a new algorithm, named as Electrically Charged Particle Optimization (ECPO), is proposed in the problem of improving voltage stability at Optimum Power Flow (OPF) problem. The efficiency of the ECPO algorithm was tested by applying the IEEE 30 test bus system, which is the most used in the literature. The test results were then compared with other methods reported in the literature to show that ECPO provides an effective and high quality solution for OPF problem.
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 05.02.2021	Submission Date : 05.02.2021
Kabul Tarihi : 29.07.2021	Accepted Date : 29.07.2021

* Sorumlu yazar; e-posta : ozanakdag@live.comBu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Güç sistemlerinde artan yük talebi, voltaj kararlılığı sorununu beraberinde getirir. Voltaj kararlılığı güç sistemlerinin planlanmasında önemli bir problemdir. Günümüzde gelişen elektrik piyasasında artan müşteri talebi ve yeni üreticiler ile voltaj kararlılığı daha ciddi bir konu olmuştur (Reis ve Barbosa, 2006). Voltaj kararlılığının sağlanamaması özellikle büyük güç sistemlerinde ciddi arızalara ve bölgesel kesintilere yol açabilir. Bu durum, ilgili güç sisteminin reaktif gücü sağlayamaması veya reaktif gücü güçlü biçimde tüketmesiyle açıklanabilir (Kumaraswamy, Jahnvi, Devaraju ve Ramesh, 2012). Böylece ilgili güç sisteminde voltaj kararlılığının bozulmasıyla voltaj seviyesinde aşamalı ve kontrolü mümkün olmayan bir düşüş oluşur (Öztürk, Bozali ve Tosun, 2016). Bu sorunun önüne geçmek için literatürde güç sistemlerinde voltaj düşüşünün tahmini ve tespitinde çeşitli voltaj kararlılığı indeksi belirleme yöntemleri önerilmiştir (Kumar ve Soni, 2015). Voltaj kararlılığı indeksi ile güç sistemi nominal şartlar altında bir arızaya maruz kaldığında güç sistemdeki tüm baraların kabul edilebilir, voltaj seviyelerini muhafaza etme kabiliyeti önceden belirlenebilir. Böylece ilgili güç sisteminde voltaj sorununa sahip noktalar hakkında önceden bilgi alınarak, gerekli önlemler alınabilir. Güç sistemlerinde voltaj kararlılığı belirleme işlemi güç sisteminin boyutuna bağlı olarak çok hızlı hesaplamalar gerektirebilir (Thukaram ve Parthasarathy, 1996). Literatürde voltaj düşüşünü önceden tahmin etmek için birçok voltaj kararlılığını sağlama yöntemi sunulmuştur. Bunlardan en önemlileri yakın konumlandırılmış güç akışı çiftlerine dayanan voltaj düşüşü, duyarlılık analizine dayanan voltaj düşüşü, normal yük akışına dayalı voltaj düşüşü (Lindeks), optimum empedansa dayalı maksimum güç transfer yöntemidir (Thukaram ve Parthasarathy, 1996). Bu yöntemlerden en çok kullanılan normal yük akışına dayalı voltaj kararlılığı tahmin metodudur. Bu metod yük akışını temel almaktadır. Yük akışı, güç sistemlerinde kullanılan ekipmanların istenilen limitler dâhilinde kalarak jeneratör ve baraların birbirleri arasında güç alışverişini sağlamasıdır (Akdağ, Ates ve Yeroglu, 2021). Güç sistemlerinde, yük akışının optimal olarak sağlanması istenilir. Literatürde yük akışı problemini çözmek için çeşitli geleneksel yöntemler uygulanmıştır (doğrusal olmayan programlama, ikinci dereceden programlama, doğrusal programlama, Newton tabanlı teknikler, vb.). Bu yöntemler güç sistemlerinde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Akdağ ve diğ., 2020). Son yıllarda ise daha karmaşık güç sistemlerini analiz etmek için daha verimli sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde, güç sistemi kontrol değişkenlerinin optimum ayarlanmasıyla voltaj kararlılığı indeksinin optimize edildiği çalışmalar mevcuttur. Böylece güç sistemlerinde hızlı ve etkili biçimde voltaj kararlılığı tahmin edilebilir. Literatürde voltaj kararlılığı

indeksinin optimize edildiği çalışmalara örnek olarak Geriye Dönük Arama Optimizasyon Algoritması (GDOA) (Chaib, Boucekara, Mehasni ve Abido, 2016), Geliştirilmiş Çarpışan Gövdeler İyileştirme Algoritması (GÇGI) (Bouchkera, Chaib, Abido ve El-Sehiemy 2016), Adaptif Grup Arama Optimizasyon Algoritması (AGOA) (Daryani, Hagh ve Teimourzadeh, 2016), Yer Çekimi Algoritması (YÇ) (Duman, Güvenç, Sönmez ve Yörükeren, 2012), Güve Sürüsü Algoritması (GSA) (Mohamed, Mohamed, El-Gaafary ve Hemedi, 2017), Kara Delik Optimizasyon Algoritması (KDOA) (Boucekara, 2014), Harmoni Arama Algoritması (HAA) (Reddy, 2019) verilebilir. Bu çalışmada ise normal yük akışına dayalı olarak voltaj kararlılığı indeksini tahmin etmek için, 2020 yılında önerilen fiziksel temelli EYPO algoritmasının probleme uyarlanarak kullanılması (Boucekara, 2020) önerilmiştir. Önerilen EYPO, standart IEEE 30 bara test sistemi üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde son yıllarda yayınlanan diğer algoritmalar ile karşılaştırılarak EYPO algoritmasının etkinliği gösterilmiştir. Bu makalenin geri kalan bölümlerinde sırasıyla Lindeksinin tanıtımı, OYA matematiksel formülasyonu, EYPO algoritması, EYPO algoritmasının OYA problemine uyarlanması, EYPO algoritması ile IEEE 30 bara test sisteminde voltaj kararlılığı indeksi belirlenmesi gösterilmiştir.

2. Lindeks Formülasyonu

Lindeks yöntemi, yüklü ve reaktif güç eksikliği olan güç sistemlerinde voltaj kararlılığının güvenilirliğini test etmede kullanılan yöntemlerden birisidir. Reaktif gücün üretimi, iletimi ve arzı incelenerek voltaj kararlılığı analiz edilebilir. Bir güç sisteminde voltaj kararlılığının iyileştirilmesi, güç sisteminin güvenilirliği için önemli bir parametredir. Voltaj kararlılığı indeksinin optimum olması bir güç sisteminde her bir baranın voltaj kararlılık indeksi olan Lindeksin en aza indirilmesi ile sağlanır (Duman ve diğ., 2012). Bir baranın Lindeksi o baranın voltaj düşüşüne yakınlığını gösterir. j. baranın L_j indeksi Eşitlik 1'de verilmiştir (Duman ve diğ., 2012).

$$L_j = \left| 1 - \sum_{i=1}^{NPV} F_{ji} \frac{V_i}{V_j} \right| \quad j = 1, 2, \dots, NPQ \quad (1)$$

$$F_{ji} = -|Y1|^{-1}|Y2| \quad (2)$$

Burada NPV ve NPQ sırasıyla üretim ve yük baralarının sayısını belirtir (PV =üretim barası, PQ =yük barası). $Y1$ ve $Y2$ eşitlik 3'de açıklandığı gibi PQ ve PV bara parametrelerinin ayırt ettikten sonra elde edilen $YBUS$ sisteminin alt matrisidir.

$$\begin{bmatrix} IPQ \\ IPV \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y1 & Y2 \\ Y3 & Y4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} VPQ \\ VPV \end{bmatrix} \quad (3)$$

Lindeksi tüm yük baraları için hesaplanır. Lj sırasıyla 0-1 arasında j. baranın yüksüz durumu ve voltaj düşmesi durumunu temsil eder. Tüm güç sistemine ait kararlılık indeksi eşitlik 4'de verilmiştir.

$$L = maks(Lj) \quad j = 1,2, \dots, NPQ \quad (4)$$

Burada voltaj kararlılığı Lmaks'ın en aza indirilmesiyle elde edilir. Güç sisteminde OYA ile Lmaks azaltılıp, voltaj kararlılığı ideal seviyede tutulabilir.

3. OYA probleminin Formülasyonu

OYA problemi, optimal kontrol değişkenlerini belirleyerek eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları altında çözümler arayan bir optimizasyon problemi olarak bilinir. OYA'nın matematiksel karşılığı eşitlik 5, 6 ve 7'de verilmiştir (Abido, 2002):

$$\min f(x, u) \quad (5)$$

$$g(x, u) = 0 \quad (6)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (7)$$

min f(x,u) amaç fonksiyonu, g(x,u) eşitlik kısıtlamaları, h(x, u) eşitsizlik kısıtlamalarıdır. OYA probleminde, u ve x sırasıyla kontrol ve bağımlı değişken vektörleridir. Bu değişkenler eşitlik 8 ve 9'da verilmiştir.

$$u_T = [P_{G2} \dots P_{GNG}, V_{G1} \dots V_{GNG}, T_1 \dots T_{NT}, Q_{C1} \dots Q_{CNC}] \quad (8)$$

Burada NT, NG, NC sırasıyla kademe değiştirici, jeneratör ve şönt kapasitör sayısını belirtir.

$$x_T = [P_{Gx}, V_{L1} \dots V_{LNPQ}, Q_{G1} \dots Q_{QNG}, S_{L1} \dots S_{LNL}] \quad (9)$$

burada Gx salınım barasını ifade eder. NL iletim hattı sayısını belirtir.

Burada,

- Q_C: i. baranın şönt kapasitörü
- T: i. baranın kademe değiştiricisi
- S_L: i. baranın yük akış limitleri,
- V_L: i. baranın voltajı
- P_G: i. jeneratörün aktif güç üretimi
- Q_G: i. jeneratörün reaktif güç üretimi
- V_G: i. jeneratörün voltajı

Eşitlik kısıtları,

OYA probleminde aktif ve reaktif güç dengesi için 2 adet eşitlik kısıtı bulunmaktadır. Bunlar Eşitlik 10 ve 11'de verilmiştir.

$$P_{G,i} - P_{D,i} - V_i \sum_{j=1}^{Nb} [V_j (g_{h(i,j)} \cdot \cos(\theta_{(i,j)}) + b_{h(i,j)} \cdot \sin(\theta_{(i,j)}))] = 0 \quad (10)$$

$$Q_{G,i} + Q_{ci} - Q_{D,i} - V_i \sum_{j=1}^{Nb} [V_j (g_{h(i,j)} \cdot \sin(\theta_{(i,j)}) - b_{h(i,j)} \cdot \cos(\theta_{(i,j)}))] = 0 \quad (11)$$

Burada Nb bara sayısıdır, P_{D,i} aktif güç talebi, Q_{D,i} reaktif güç talebidir. b_{h(i,j)}, θ_(i,j), g_{h(i,j)} sırasıyla süseptans, faz açısı ve kondüktansdır.

Eşitsizlik kısıtları

OYA probleminde güç sisteminde bazı değişkenler belli limit değerleri arasında olması istenilir. Bunlar Eşitlik 12-17 arasında gösterilmiştir,

$$\text{Aktif güç } P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \quad i = 1,2, \dots, Ng \quad (12)$$

$$\text{Reaktif } Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} \quad i = 1,2, \dots, Ng \quad (13)$$

$$\text{Bara voltajı } V_i^{min} \leq |V_i| \leq V_i^{max} \quad i = 1,2, \dots, Nb \quad (14)$$

$$\text{Kademe değiştirici } t_k^{min} \leq |t_k| \leq t_k^{max} \quad k = 1,2, \dots, Nt \quad (15)$$

$$\text{Hat taşıma kapasitesi } S_{Li} \leq S_{Li}^{max} \quad L_i = 1,2, \dots, Nb \quad (16)$$

$$\text{Kapasitör boyutu } Q_{ci}^{min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci}^{max} \quad i = 1,2, \dots, Nc \quad (17)$$

Burada Nc kapasitör sayısı, Nt kademe değiştirici sayısıdır.

4. Elektrik Yüklü Parçacık Optimizasyon Algoritması

Bu yayında yeni bir metasezgisel algoritma olan EYPO ilk kez OYA probleminde voltaj kararlılığı indeksinin tahmini için uygulanmıştır. Bu algoritma elektrik yüklü parçacıkların birbirleri arasındaki etkileşimden ilham alır (Bouchevara, 2020). EYPO popülasyon temelli bir algoritmadır. Bu algoritmada toplam ECP (elektrik yüklü parçacık), ECP sayısı (nECP), maksimum iterasyon sayısı (MAXITER), 3 farklı strateji, etkileşimli ECP sayısı (nECP1), arşiv havuzunun boyutu (naECP) olarak bilinen dahili parametrelerden oluşur. ECP'ler seçilen stratejiye göre birbiriyle etkileşime girer. Bu etkileşim sonucu parçacıkların daha iyi çözüme dönüştüğü varsayılır. EYPO arama uzayında nECP yüklü parçacıkların oluşumu ile başlar. Sonra yüklü parçacıklar iyiden kötüye doğru sıralanır. Orijinal versiyonda yazar parçacıkları normal dağılım

kullanarak oluşturmuştur. Bu çalışmada ise F dağılım fonksiyonu kullanılmıştır (Akdag ve diğ., 2021). İlk popülasyon oluşturma sürecinde belirli bir boyutta arşiv havuzu oluşturulur (*archiveECP*). En iyi parçacıklar bu havuza konulur. Bu arşiv havuzu her iterasyonda güncellenir.

Algoritmada ECP seçimi en önemli aşamadır. Algoritmanın performansı en çok bu aşamada etkilenir. ECP seçiminden sonra belirtilen stratejiye göre etkileşim aşaması başlar. Belirlenen stratejide en iyi parçacık ECP_{Best} olarak adlandırılır.

Strateji 1: örneğin 3 parçacık olsun ($ECP1$, $ECP2$, $ECP3$). İlk stratejide etkileşim, en iyi parçacık ile o sıradaki başka bir ECP ile yapılır. Bu durumda her ECP, ECP_{new1} ve ECP_{new2} diye parçacık üretir. $ECP1$ 'i ECP_{new1} 'e hareket ettirmek için ortaya çıkan kuvvet Eşitlik 18'de verilmiştir.

$$F = F_{Best1} + F_{21} \quad (18)$$

Burada F_{21} $ECP2$ 'nin $ECP1$ üzerindeki kuvvetidir. F_{Best1} , ECP_{Best} 'in $ECP1$ üzerindeki kuvvetidir. Bu 2 kuvvet Eşitlik 19 ve 20 ile ifade edilir.

$$F_{Best1} = \beta \times (ECP_{Best} - ECP1) \quad (19)$$

$$F_{21} = \beta \times (ECP2 - ECP1) \quad (20)$$

Burada β rassal sayıdır. ECP_{Best} , $ECP1$ 'in çektiği kuvvetler cinsinden ifade edilebilir. $ECP1$ 'i ECP_{new1} 'e iten toplam kuvvet eşitlik 21'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} ECP1_{new1} &= ECP1 + F \\ &= ECP1 + F_{Best1} + F_{21} \\ &= ECP1 + \beta \times (ECP_{Best} - ECP1) + \\ &\quad \beta \times (ECP2 - ECP1) \end{aligned} \quad (21)$$

$ECP1$ 'i $ECP1_{new2}$ 'e iten kuvvet eşitlik 22'de verilmiştir.

$$ECP1_{new1} = ECP1 + F \quad (22)$$

$$\begin{aligned} &= ECP1 + F_{Best1} + F_{31} \\ &= ECP1 + \beta \times (ECP_{Best} - ECP1) + \\ &\quad \beta \times (ECP3 - ECP1) \end{aligned}$$

$ECP2$ $ECP2_{new1}$ 'e geçmek için $ECP1$ ve ECP_{Best} tarafından aynı kuvvetle etkilenir. Daha sonra $ECP2$ 'i $ECP2_{new2}$ 'e geçmek için $ECP2$, $ECP3$ ve ECP_{Best} tarafından etkilenir. $ECP2$ 'ye uygulanan toplam kuvvetler eşitlik 21-22 ile hesaplanır. $ECP3$ için $ECP2$ 'deki aynı durum geçerlidir.

Strateji 2: ECP_{Best} , kalan ECP 'ler ile etkileşime girmez. Etkileşim, kalan tüm etkileşim halindeki ECP 'ler seçilerek yapılır. 1. Stratejide olduğu gibi 3 ECP olduğunu kabul edelim. $ECP1$, $ECP2$ ve $ECP3$ 'den aynı anda etkilenir. Daha sonra $ECP1$ $ECP1_{new}$ 'e hareket ettirmeye zorlanır. Bu hareket eşitlik 23'de verilmiştir.

$$F = F_{21} + F_{31} \quad (23)$$

Burada F_{31} $ECP3$ 'ün $ECP1$ üzerindeki kuvvetidir. $ECP1$ $ECP1_{new}$ 'e hareket ettirmeye iten toplam kuvvet eşitlik 24'de verilmiştir.

$$ECP1_{new} = ECP1 + F_1 \quad (24)$$

$$= ECP1 + F_{21} + F_{31}$$

$$= ECP1 + \beta \times (ECP1 - ECP2) + \beta \times (ECP1 - ECP3)$$

$ECP2$, $ECP2_{new}$ 'e hareket ederken aynı anda 1. ve 3. parçacıktan etkilenir. Daha sonra $ECP1$ $ECP1_{new}$ 'e hareket ettirmeye zorlanır. Bu hareket eşitlik 25'de verilmiştir.

$$F = F_{12} + F_{32} \quad (25)$$

$ECP2$ yi $ECP2_{new}$ 'e zorlayan kuvvet eşitlik 25 ile hesaplanır. 3. Parçacık 1. ve 2. Parçacıktan etkilenir. Bu etkileşim eşitlik 26'da verildiği gibidir. Parçacıkları hareket ettirmeye zorlayan kuvvet ise Eşitlik 24'deki ile aynıdır.

$$F = F_{13} + F_{23} \quad (26)$$

Strateji 3: Bu stratejide yeni ECP 'ler yapmak için hem strateji 1 hem de 2 uygulanır. Strateji 1 ve 2'de uygulanan tüm eşitlikler bu stratejide geçerlidir.

Sınır kontrolü; Önceki aşamada üretilen yeni ECP'ler arama uzayının dışında üretilebilir. Bu aşamada tüm yeni ECP'ler kontrol edilir. Arama uzayının dışındaki ECP'ler arama uzayına getirilir. Çeşitlendirme: Yeni ECP popülasyonunun bir bölümü farklılaşma olasılığı adındaki bir olasılığa dayalı olarak çeşitlendirilir. Çeşitlendirme sürecinde ECP popülasyonundan ve önceden üretilmiş arşiv havuzundan yararlanır. Popülasyon güncelleme: Bu aşamada yeni popülasyon daha önce oluşturulan arşiv havuzundaki popülasyon ile değiştirilir. Bitirme kriteri: EYPO önerilen mevcut sürümünde algoritma MAXITER kadar çalıştırılarak, sonlandırılır.

5. EYPO Algoritmasının OYA Problemine Uyarlanması

OYA probleminin ilgili amaç fonksiyonundaki tüm değişkenler $x_i(t)$ ile tanımlanır. EYPO yönteminin OYA problemine uyarlama aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

Adım 1: Algoritma, Amaç fonksiyonunda, jeneratör, bara, kondansatör, trafo ve hat verilerinin başlangıç değerleri girilerek başlatılır.

Adım 2: Algoritmadaki amaç fonksiyonunda , problemin boyutu, nECP (ECP sayısı), nECP1 (etkileşim halindeki ECP sayısı), Strateji, naECP (arşiv havuzunun

boyutu) ve MaxITER (maksimum yineleme sayısı), OYA problemi için tanımlanır.

Adım 3: Optimizasyon probleminde aktif ve reaktif güç değerleri optimize edilir ve bu optimize edilmiş parametrelere göre voltaj değerleri hesaplanır. OYA probleminde EYPO, arama uzayında nECP yüklü parçacıkların oluşmasıyla başlar.

$$ECP = \text{repmat}(lb, ECPSize, 1) \\ + \text{rand}(ECPSize, ProblemSize). \\ * \text{repmat}((ub - lb), ECPSize, 1)$$

Adım 4: EYPO yöntemi ile bulunan giriş verilerine göre Newton-Raphson yöntemi ile yük akışı yapılarak, yük / jeneratör voltajları, salınım barası / PV (üretim) baralarının aktif gücü, jeneratörlerin reaktif gücü vb. Tüm bağımlı değişkenler belirlenir.

Adım 5: Daha sonra belirlenen stratejiye göre yeni parçacıklar üretilir. Strateji 1 seçilirse, eşitlik 21-22'e göre yeni parçacıklar üretilir. Strateji 2 seçilirse, Eşitlik 24-25'e göre parçacıklar üretilir. Strateji 3 seçilirse, strateji 1 ve 2'deki tüm eşitliklere göre yeni parçacıklar üretilir.

Adım 6: Yeni ECP popülasyonunun bir kısmı, Pd parametresi ile belirli bir olasılığa göre çeşitlendirilir.

For i = 1 : newECP

For j = 1 : ProblemSize

If rand < Pd

select a random ECP from the archive pool (k)

newECP(i, j) = archiveECP(k, j)

End If

End For

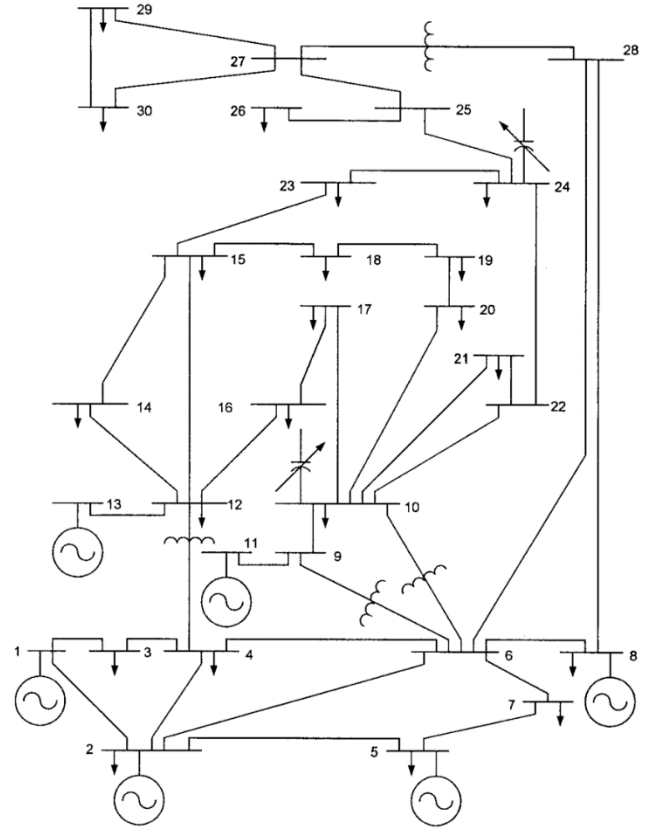
Adım 7: Popülasyon güncellenir. algoritma MAXIter kez yineler ve sonra durur.

Adım 8: Her yeni parçacık için amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır ve amaç fonksiyon değeri en iyi değerlerle güncellenir.

6. IEEE 30 Test bara sisteminde voltaj kararlılığının belirlenmesi

Bu çalışmada EYPO algoritması ile OYA probleminde voltaj kararlılığı indeksinin bulunması işlemi IEEE 30 bara test sistemine uygulanmıştır. Bu test sisteminin tek hat şeması Şekil 1'de verilmiştir (IEEE 30, 2021). Bu test sistemine ait hat verileri, jeneratör / trafo ve bara verileri, IEEE 30 bara test sisteminin veri sayfasından alınmıştır (IEEE 30, 2021). EYPO

algoritmasında maksimum yineleme sayısı 400, ECP sayısı 30 (popülasyon boyutu) alınmıştır.



Şekil 1. IEEE 30 Test Bara Sistemi (IEEE 30, 2021)

6.1. Durum 1: Voltaj kararlılık indeksinin belirlenmesi

IEEE 30 bara test sisteminde voltaj kararlılığı indeksinin belirlenmesinde literatüre uygun olarak çoklu amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Literatürde voltaj kararlılığı indeksi, yakıt maliyetinin minimizasyonu ile ele alınır. Güç sisteminde Lindeksinin (Eşitlik 4) en aza indirilmesi yoluyla voltaj kararlılığının iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu durumda çoklu amaç fonksiyonu şöyledir (Duman ve diğ., 2012):

$$J = \sum_{i=1}^{NG} a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + \epsilon (\text{maks}(L_j)) \quad (27)$$

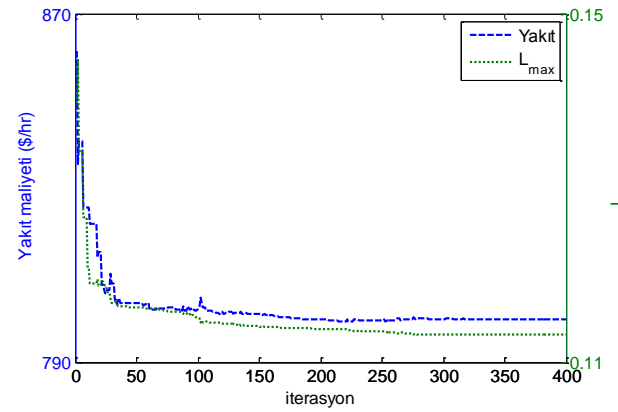
Burada a_i , b_i and c_i i. termal ünitenin yakıt maliyeti katsayılarıdır. Burada ϵ , kullanıcı tarafından seçilecek bir ağırlık faktörüdür. Bu değer literatürde 6000 alındığı için bu çalışmada aynı değer alınmıştır (Daryani ve diğ., 2016) (IEEE 30 bara test sistemi için). EYPO, OYA problemine eşitlik 27'yi minimize etmek için uygulandığında L_{maks} 0.1131 olarak hesaplanmıştır. Şekil 2, EYPO algoritmasının hem yakıt maliyeti hem de L_{maks} iterasyonlarının yakınsama eğrisini göstermektedir. EYPO, Durum 1 için iyi yakınsama özelliklerine sahiptir. Kontrol

değişkenlerine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. İlk durumda 0.1723 olarak bulunan L_{maks} değeri Durum 1'de 0.1131 bulunarak, önemli bir iyileşme sağlanmıştır. EYPO ile literatürde bildirilen diğer algoritmaların karşılaştırması Tablo 2'de verilmiştir. EYPO ile elde edilen 0.1131 L_{maks} değeri, son yıllarda yayınlanan ve Tablo 2'deki en iyi teknik olan YA (0.1162) algoritmasından iyi sonuç üretmiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tablo 1
EYPO ile Hesaplanan Kontrol Değişkenleri

Kontrol değişkenleri	Min	Maks	İlk durum	Durum 1
P_{G1} (MW)	50	200	99.22	175.6772
P_{G2} (MW)	20	80	80	48.8782
P_{G5} (MW)	15	50	50	21.2953
P_{G8} (MW)	10	35	20	21.8829
P_{G11} (MW)	10	30	20	12.4232
P_{G13} (MW)	12	40	20	12
V_1 (PU)	0.95	1.1	1.05	1.1
V_2 (PU)	0.95	1.1	1.04	1.087
V_5 (PU)	0.95	1.1	1.01	1.0816
V_8 (PU)	0.95	1.1	1.01	1.0939
V_{11} (PU)	0.95	1.1	1.05	1.1
V_{13} (PU)	0.95	1.1	1.05	1.1
T_{11} (PU)	0.9	1.1	1.078	1.0327
T_{12} (PU)	0.9	1.1	1.069	0.9
T_{15} (PU)	0.9	1.1	1.033	0.9821
T_{36} (PU)	0.9	1.1	1.0681	0.9811
Q_{C10} (MVAR)	0	5	0	4.9987
Q_{C12} (MVAR)	0	5	0	5
Q_{C15} (MVAR)	0	5	0	4.998
Q_{C17} (MVAR)	0	5	0	4.999
Q_{C20} (MVAR)	0	5	0	5
Q_{C21} (MVAR)	0	5	0	4.99
Q_{C23} (MVAR)	0	5	0	5
Q_{C24} (MVAR)	0	5	0	5
Q_{C29} (MVAR)	0	5	0	4.9973
Pyakıt			901.951	799.914
L_{maks}			0.1723	0.1131



Şekil 2. Durum 1 İçin Yakınsama Eğrisi

Tablo 2
EYPO ile Bulunan Sonuçların Literatür İle Karşılaştırması

Metot	Algoritma adı	Durum 1
EYPO		0.1131
GDAO (Chaib ve diğ., 2016)	Geriye dönük arama optimizasyon algoritması	0.1259
GÇGİ (Boucekara ve diğ., 2016)	Geliştirilmiş Çarpışan gövdeler iyileştirme.	0.1252
AGAO (Daryani ve diğ., 2016)	Adaptif grup arama optimizasyon algoritması	0.1381
YA (Duman ve diğ., 2012)	Yerçekimi arama algoritması	0.1162
PSO (Abido, 2002)	Parçacık sürü optimizasyon algoritması	0.1246
GSO (Mohamed ve diğ., 2017)	Güve sürüsü algoritması	0.13713
MPSO (Mohamed ve diğ., 2017)	Modifiye parçacık sürü optimizasyon a.	0.13748
KOA (Boucekara, 2014)	Karadelik Optimizasyon algoritması	0.11671
HA (Reddy, 2019)	Harmoni Arama optimizasyon algoritması	0.1218

7. Sonuçlar

Güç sistemleri oldukça karmaşık ve zorlu işletme koşulları altında çalışır. Bu nedenle voltaj kararlılığı, güç sistemi planlamasında, işletiminde ve kontrolünde önemli konulardan biri olmuştur. Bu makalede, güç sistemlerinde OYA problemine bağlı olarak voltaj kararlılığı indeksinin belirlenmesinde yeni bir metazsezgisel algoritma olan EYPO kullanılarak test edilmiştir. EYPO algoritmasının, IEEE 30-bara test

sisteminde voltaj kararlılığının iyileştirilmesinde etkin olduğu gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde bildirilen bazı yöntemler ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin daha iyi sonuç üretebildiği gösterilmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ozan Akdağ, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, modelleme, optimizasyon, kodlama; Celaleddin Yeroğlu, optimizasyon, modelleme hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abido, M. A. (2002). Optimal power flow using particle swarm optimization. *Electric Power Energy Syst*, 24(7), 563-571. doi: [https://doi.org/10.1016/S0142-0615\(01\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0142-0615(01)00067-9).

Akdag, O., Ates, A., ve Yeroglu, C. (2021). Modification of Harris hawks optimization algorithm with random distribution functions for optimum power flow problem. *Neural Computing and Applications*, 33, 1959-1985.

Boucekara, H. R. E. H. (2014). Optimal power flow using black-hole-based optimization approach. *Applied Soft Computing*, 24, 879-888. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.056>

Boucekara, H. R. E. H. (2020). Electric Charged Particles Optimization and its application to the optimal design of a circular antenna array. *Artificial Intelligence Review*, 54, 1767-1802.

Boucekara, H. R., Chaib, A. E., Abido, M. A., ve El-Sehiemy, R. A. (2016). Optimal power flow using an Improved Colliding Bodies Optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 42, 119-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.041>

Chaib, A. E., Boucekara, H. R. E. H., Mehasni, R., ve Abido, M. A. (2016). Optimal power flow with emission and non-smooth cost functions using backtracking search optimization algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 81, 64-77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.02.004>.

Daryani, N., Hagh, M. T., ve Teimourzadeh, S. (2016). Adaptive group search optimization algorithm for multi-objective optimal power flow

problem. *Applied Soft Computing*, 38, 1012-1024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.10.057>

Duman, S., Güvenç, U., Sönmez, Y., ve Yörükeren, N. (2012). Optimal power flow using gravitational search algorithm. *Energy conversion and management*, 59, 86-95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.02.024>

Kumar, D., ve Soni, N. (2015). Voltage Stability Estimation of Electric Power System Using L-Index. *International Journal of Engineering Technology & Management Research*, 3(2), 42-45.

Kumaraswamy, I., Jahnvi, W. V., Devaraju, T., ve Ramesh, P. (2012). An optimal power flow (OPF) method with improved voltage stability analysis. In Proceedings of the World Congress on Engineering.

Mohamed, A. A. A., Mohamed, Y. S., El-Gaafary, A. A., ve Hemeida, A.M. (2017). Optimal power flow using moth swarm algorithm. *Electric Power Systems Research*, 142, 190-206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.09.025>.

Öztürk, A., Bozali, B., ve Tosun, S. (2016). Güç Sistemi Kararlılığını İyileştirecek Facts Cihazlarının Bağlantı Noktasının Belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 812-825.

Reddy, S. S. (2019). Optimal power flow using hybrid differential evolution and harmony search algorithm. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 10(5), 1077-1091.

Reis, C., ve Barbosa, F. M. (2006). A comparison of voltage stability indices. In MELECON 2006-2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference.

Thukaram, B. D., ve Parthasarathy, K. (1996). Optimal reactive power dispatch algorithm for voltage stability improvement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 18(7), 461-468. doi: [https://doi.org/10.1016/0142-0615\(96\)00004-X](https://doi.org/10.1016/0142-0615(96)00004-X)