
Makale / Research Paper

Ceza Fonksiyonu ile Kısıtlı Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerinin Ters Yönlü Ateşböceği Arama Algoritması ile Çözümü

Nihat PAMUK

TEİAŞ 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü, Test Grup Başmühendisliği, Sakarya, 54100

Geliş/Received: 11.05.2016

Düzeltilme/Revised: -

Kabul/Accepted: 23.05.2016

Özet: Son yıllarda, enerji iletim sistemleri üzerinde çalışılan problemlerden bir tanesi çevresel ekonomik güç dağıtım problemidir. Bu problemin amacı enerji iletim sistemlerinde, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını sağlayarak enerji sisteminin enerji üretim maliyetini minimum yapan kontrol değişkenlerini hesaplamaktır. Bu çalışmada, en yeni arama algoritmalarından biri olan “Ateşböceği Arama Algoritması” (AAA) çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin modellenmesinde kullanılmıştır. Dağıtım problemlerinde enerji üretim limitleri, ceza fonksiyonu kısıtlamaları ve yasak çalışma bölgeleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, AAA'nın performansını arttırmak için ters yönlü yakınsama özelliği de algoritma yapısına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ters Yönlü Ateşböceği Arama Algoritması (TYAAA), Eşitlik ve Eşitsizlik Kısıtlamaları, Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemleri, Ceza Fonksiyonu.

Restricted with Penalty Function of Environmental Economic Power Distribution Problems Solution by Inversely Firefly Search Algorithm

Abstract: In recent years, one of the problems studied in the energy transmission system is an environmental economic power distribution problem. The purpose of this problem is to calculate control variables that minimize the energy production costs of the energy system and ensuring the equality and inequality restrictions in energy transmission system. In this study, which is one of the novel search algorithms "Firefly Search Algorithm" (FSA) was used for the modelling of environmental economic power distribution problems. Energy production limits, penalty function restrictions and prohibition working regions are taken into account in distribution problems. Furthermore, inversely convergence property is added to the algorithm structure in order to improve the performance of FSA. The obtained results were compared with the literature results.

Keywords: Inversely Firefly Search Algorithm (IFSA), Equality and Inequality Restrictions, Environmental Economic Power Distribution Problems, Penalty Function.

1. Giriş

Güç sistemlerinin işletilmesindeki en önemli konulardan biri olan çevresel ekonomik güç dağıtım problemi, sistemdeki mevcut yükün minimum maliyetle enerji üretim birimleri tarafından karşılanabilmesi olarak tanımlanır [1-3]. Geleneksel ekonomik güç dağıtımıyla elde edilen sonuçlar, çevresel kriterler dikkate alındığında en optimum sonuçlar olarak değerlendirilemezler. Çevrenin temiz tutulabilmesi için enerji üretim birimleri tarafından üretilen emisyon miktarları azaltılmalıdır.

Bu makaleye atıf yapmak için

Pamuk, N., “Ceza Fonksiyonu ile Kısıtlı Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerinin Ters Yönlü Ateşböceği Arama Algoritması ile Çözümü” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2016, 3(2); 304-314.

How to cite this article

Pamuk, N., “Restricted with Penalty Function of Environmental Economic Power Distribution Problems Solution by Inversely Firefly Search Algorithm” El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2016, 3(2); 304-314.

Enerji üretim sistemlerinde emisyon miktarını azaltmak için sisteme gaz temizleyicilerin ilave edilmesi, düşük kükürtlü yakıt kullanılması veya yeni ekonomik güç dağıtım yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu yöntemler arasında yeni güç dağıtım yaklaşımı, küçük bir ek maliyet getirmesi ve uygulamasının kolay olması nedeniyle çok fazla tercih edilmektedir.

Çevresel ekonomik güç dağıtımının yeni ana fikri, toplam emisyonu düşürmek için daha az emisyon üreten birimleri daha fazla kullanmak üzere kurulmuştur. Sistemden hem daha az emisyonlu hem daha ekonomik güç üretilmesi istenildiğinde problem geleneksel güç dağıtım probleminden çevresel ekonomik güç dağıtım problemine dönüşmektedir [4-5]. Bu durum çevresel ekonomik güç dağıtım problemini çok amaçlı bir optimizasyon problemine dönüştürmektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemleri literatürde iki farklı şekilde çözülmektedir. Bunlardan biri çok amaçlı optimizasyon problemlerine doğrudan çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözen metotların uygulanması, diğeri ise çok amaçlı optimizasyon problemlerini tek amaçlı optimizasyon problemlerine dönüştürdükten sonra bu tür problemleri çözen metotların uygulanmasıdır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerini tek amaçlı optimizasyon problemlerine dönüştürmek için kullanılan metotlardan biri Ağırlıklı Toplam Metodu (ATM)'dir [2].

Ceza fonksiyonu ile kısıtlı çevresel ekonomik güç dağıtım problemleri birbirleriyle kıyaslanamayan amaçların aynı anda optimizasyonunu içermektedir. Genellikle bu tür problemlerde bir tek çözüm yoktur, fakat alternatif çözümler kümesi vardır. Bu alternatif çözümler kümesinin elemanları için bütün amaçlar bir arada düşünüldüğünde hiçbirinin diğeri göre daha iyi çözüm olduğu söylenemez. Bu tür çözümlere Pareto-optimal çözümler denir [6]. Çevresel ekonomik güç dağıtım problemleri literatürde farklı optimizasyon algoritmaları ile bir çok araştırmacı tarafından ele alınmış ve hibrit parçacık sürü ve yerçekimsel arama algoritması [7], çok amaçlı diferansiyel gelişim algoritması [8], yapay arı kolonisi [9], çok amaçlı evrim algoritmaları [10], bulanık mantık temelli bakteri yem arama algoritması [11], diferansiyel gelişim algoritması [12], çok amaçlı parçacık sürü optimizasyon algoritması [13], ters yönlü harmoni arama algoritması [14], yerçekimsel arama algoritması [15], benzerlik tabanlı çaprazlama operatörü kullanılarak geliştirilen genetik algoritmaları [16] ile çözülmüştür.

Bu çalışmada, öncelikli olarak Xin-She Yang [17] tarafından ateşböceklerinin ışıldama davranışına dayalı olarak geliştirilen Ateşböceği Arama Algoritması (AAA) ele alınmıştır. Daha sonra hız sınırlama denklemleri kullanılarak iyileşen Ters Yönlü Öğrenme (TYÖ) işlemi anlatılmıştır. Son olarak iyileştirilmiş Ters Yönlü Ateşböceği Arama Algoritması (TYAAA) çok amaçlı çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanmış olup, benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerini çözmedeki başarısı değerlendirilmiştir.

Çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin tanımlanması

Çevresel ekonomik güç dağıtım problemi, yakıt maliyeti ve NO_x emisyon miktarının dahil edildiği birleştirilmiş amaç fonksiyonun minimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile talep edilen yükü karşılamak için termik santrallerde güç üretiminde kullanılan yakıtların yakılması ile ortaya çıkan zararlı emisyon miktarının ve toplam yakıt maliyetinin minimum olduğu andaki üretim birimlerinin aktif güç değerlerinin belirlenmesidir. Problemin çözümü, sistem kısıtları altında ağırlıklı toplam metodu ile birleştirilmiş amaç fonksiyonunun (toplam termik maliyet ve toplam NO_x emisyon miktarı) minimize edilmesidir. Sistemdeki üretim birimlerinin termik maliyeti her bir birim için aktif güç üretiminin eşitlik 1'de verilen ikinci derece fonksiyondaki toplam yakıt maliyetinin bulunması esasına dayanmaktadır [18].

$$F_s(P_{G,s}) = a_s + b_s \cdot P_{G,s} + c_s \cdot P_{G,s}^2 \quad (1)$$

Eşitlik 1’de $F_s(P_{G,s})$ s. üretim biriminin yakıt maliyeti fonksiyonu, $P_{G,s}$ s. üretim biriminin ürettiği güç değeri, a_s , b_s , c_s s. üretim biriminin yakıt maliyeti katsayılarıdır. Termik santrallerde fosil yakıtların yakılması ile her bir termik ünite tarafından salınan emisyonların toplam miktarı, ikinci dereceden üstel bir fonksiyonun toplamı olarak ifade edilmektedir [19]. Her bir termik birim tarafından üretilen NO_x emisyon miktarı çıkış gücü cinsinden eşitlik 2’deki gibi tanımlanmaktadır [18].

$$E_s(P_{G,s}) = d_s + e_s \cdot P_{G,s} + f_s \cdot P_{G,s}^2 + g_s \cdot \exp(h_s \cdot P_{G,s}) \quad (2)$$

Eşitlik 3’de kayıplı bir sistem için, çevresel ekonomik güç dağıtım problemindeki aktif güç dengesi gösterilmiştir. Eşitlik 4’de ise termik üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri verilmiştir [20].

$$\sum_{s=1}^{S_G} P_{G,s} - P_{Yük} - P_{Kayıp} = 0, \quad (s \in S_G) \quad (3)$$

$$P_{G,s}^{\min} \leq P_{G,s} \leq P_{G,s}^{\max}, \quad (s \in S_G) \quad (4)$$

Minimize edilecek olan çevresel ekonomik güç dağıtımına ait Amaç Fonksiyonu (AF) eşitlik 5’de gösterilmiştir [21].

$$AF = w \sum_{s=1}^{S_G} F_s(P_{G,s}) + (1-w) \gamma \sum_{s=1}^{S_G} E_s(P_{G,s}) \quad (5)$$

Eşitliklerdeki γ ölçekleme faktörünü, w ($0 \leq w \leq 1$) arasındaki ağırlık faktörünü, S_G ise sistemdeki tüm termik üretim birimlerinin kümesini göstermektedir [19]. Eşitlik 5’de $w=1$ değeri sadece yakıt maliyetinin, $w=0$ değeri ise sadece NO_x emisyon miktarının minimum olmasına karşılık gelmektedir. Sistemdeki toplam yakıt maliyeti eşitlik 6’da, toplam NO_x emisyon miktarı ise eşitlik 7’de gösterilmiştir.

$$F_{Toplam}(P_{G,s}) = \sum_{s=1}^{S_G} F_s(P_{G,s}) \quad (6)$$

$$E_{Toplam}(P_{G,s}) = \sum_{s=1}^{S_G} E_s(P_{G,s}) \quad (7)$$

Ateşböceği Arama algoritması

Ateşböceği algoritması 2008 yılında Xin-She Yang [17] tarafından geliştirilmiş, sürü zekası algoritmalarına dayalı bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritmanın temelini ateşböceklerinin tek cins olması ve birbirlerini çekmeleri oluşturmaktadır. Ateşböceği algoritmasına göre her ateşböceğinin parlaklık ve çekicilik olmak üzere iki özelliği bulunmaktadır. Ateşböceği algoritmasında temel üç kural bulunmaktadır:

1. Ateşböcekleri tek cins olup bütün ateş böcekleri birbirinden etkilenebilmektedirler.
2. Her ateşböceğinin çekiciliği sahip olduğu parlaklık ile ilişkilidir. Daha az parlaklığa sahip olan ateş böceği daha fazla parlak olan ateş böceğine doğru hareket etmektedir. Etrafında daha parlak ateş böceği bulunmayan ateşböceklerinin hareketi rastgele seçilmektedir.
3. Bir ateşböceğinin parlaklığı kullanılan amaç fonksiyon değerine göre belirlenmektedir.

Her bir ateşböceğinin parlaklık değerinin hesabı eşitlik 8’de gösterilmiştir.

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (8)$$

Eşitlik 8’de; “ I_0 ” iki ateşböceği arasındaki uzaklığın sıfır olduğu durumdaki orijinal parlaklık değerini, “ γ ” öğrenme katsayısını ve “ r ” ise iki ateş böceği arasındaki mesafeyi göstermektedir. Ateşböcekleri arasındaki etkilenme değerinin hesabı eşitlik 9’da gösterilmiştir.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (9)$$

Eşitlik 9’da; “ β_0 ” iki ateşböceği arasındaki uzaklığın sıfır olduğu durumdaki etkilenme değerini, “ γ ” öğrenme katsayısını ve “ r ” ise iki ateş böceği arasındaki uzaklığı göstermektedir. Birbirlerinden etkilenen ateşböceklerinin yeni konumları eşitlik 10’da gösterilmiştir. (i. ateşböceği, çekiciliği daha yüksek olan j. ateşböceğinden etkilendiği durumdaki yeni konumu eşitlik 10’da formülize edilmiştir.)

$$\dot{x}_i = x_i + \beta(x_j - x_i) + \alpha(R - \frac{1}{2}) \quad (10)$$

Eşitlik 10’da; “ x_i ” ve “ x_j ”, sırasıyla i. ve j. ateşböceklerinin önceki konumlarını, “ \dot{x}_i ” ise i. ateşböceğinin, j. ateşböceğine doğru hareketi sonucu elde edilen yeni konumunu göstermektedir. “ α ” ve “ R ” sabit olup çözümün yerel optimum noktalarına takılmasını engelleyen rastgele sayılardır ve [0,1] aralığında değer alırlar.

Ters yönlü öğrenme kuramı

Evrimsel algoritmalar, daha iyi çözümler sunmak için hesaplamaya bir başlangıç popülasyonu ile başlarlar. Değişik gelişim metotlarını kullanarak en iyi çözümü elde etmek için popülasyondaki bireylerin gelişimini sağlarlar. Ancak, başlangıç popülasyonu oluşturulurken bireyler arama uzayında genelde rastgele oluşturulurlar. Oysa rastgele sayılar yerine uygunluk değeri daha iyi olan bireylere sahip bir başlangıç popülasyonu ile hesaplamaya başlamak, gelişim işlemini hızlandıracaktır. Bu bağlamda, ters yönlü öğrenme kavramı ortaya atılmıştır [21]. Bu yaklaşıma göre bir sayının ters yönlü durumu bir çözüme rastgele sayıdan muhtemelen daha yakındır. Bundan dolayı, bir sayı ters yönlü değeri ile karşılaştırıldığında, doğru çözüme yakınsamak için daha küçük bir arama uzayına ihtiyaç duyar.

Ters Yönlü Nokta ve Sayının Tanımı

D boyutlu uzayda $P = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_d)$ bir nokta tanımlansın. Burada $x_1, x_2, x_3, \dots, x_d \in \mathbb{R}$ ve $x_i \in [a_i, b_i] \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, d\}$ olsun. Bu noktanın ters yön konumu $\tilde{p} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \dots, \tilde{x}_d)$ ise ters yön bileşenleri eşitlik 11’de gösterilmiştir.

$$\tilde{x}_i = a_i + b_i - x_i \quad (11)$$

x sayısı [a,b] aralığında tanımlı gerçek bir sayı olsun. Bu sayının ters yön teoremine göre hesaplanması eşitlik 12’de gösterilmiştir.

$$\tilde{x} = a + b - x \quad (12)$$

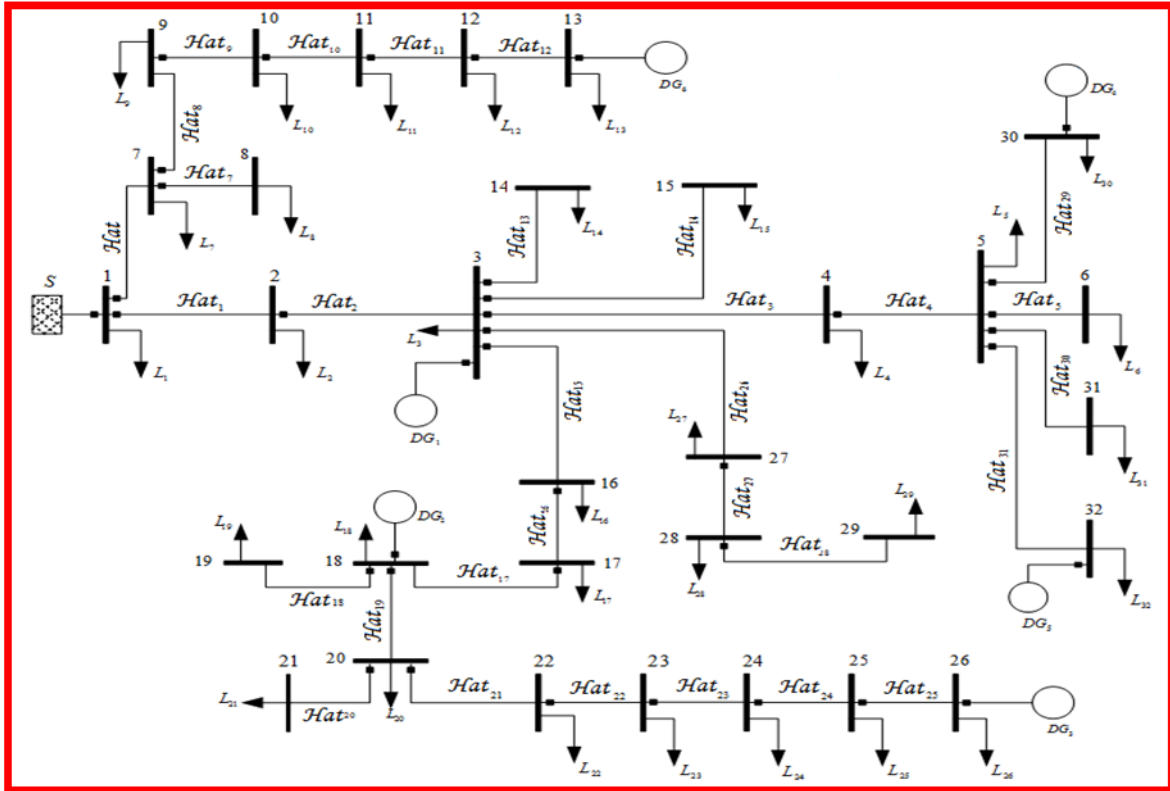
Ters Yönlü Ateşböceği Optimizasyonu

D boyutlu arama uzayında $P = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_d)$ gibi tanımlanmış bir noktayı ele alalım. Bu nokta bir optimizasyon probleminin çözümünde popülasyondaki aday çözümlere benzetilebilir [21]. Ters yönlü nokta tanımına göre bu noktanın ters yön konumu $\tilde{P} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \dots, \tilde{x}_d)$ olur. O zaman her iki bireyde amaç fonksiyonuna göre değerlendirildiğinde, uygunluk fonksiyonları sırasıyla $f(P)$ ve $f(\tilde{P})$ olacaktır. Eğer $f(\tilde{P}) > f(P)$ ise, \tilde{P} bireyi ile P bireyi daha iyi bir çözüm için yer değiştirebilir.

Bu çalışmada da ters yönlü ateşböceği algoritması için başlangıç popülasyonunda rastgele oluşturulan her bireyin ters yön konumu belirlenmiş, uygunluk değeri daha yüksek olan bireyler düşük olanları ile yer değiştirilmiştir. Bu sayede, uygunluk değeri daha yüksek olan bireyler ile arama işlemine başlanarak TYAAA'nın yakınsama hızının artırılması amaçlanmıştır.

Benzetim çalışmaları

Şekil 1'de IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek test sisteminin tek hat şeması gösterilmiştir. Sistemin $P_{güç} = 475.8$ MW değeri için AAA ve TYAAA olmak üzere iki farklı çözümü uygulanmıştır. Yapılan çalışmada ölçekleme faktörü $\gamma = 1000$, ışık kaynağı sayısı (görevli ateşböceği sayısı) (M) 50, parametre sayısı (N) 15, $wf_{max} = 1.0$, $wf_{min} = 0.1$, sınır limit değeri (çözüm geliştirememeye durum değeri) 20, $Toplam_{hata} = 1 \times 10^{-6}$ MW ve iterasyon sayısı 300 olarak alınmıştır.



Şekil 1. IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek sisteme ait tek hat şeması

Örnek test sistemindeki üretim birimlerine ait maliyet fonksiyonu emisyon katsayıları ve aktif güç üretim sınır değerleri tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Üretim Birimlerinin Maliyet Fonksiyonu Emisyon Katsayıları ve Aktif Güç Üretim Sınırları

Parametre	D _{G1}	D _{G2}	D _{G3}	D _{G4}	D _{G5}	D _{G6}
a	30	10	10	20	30	10
b	150	350	200	180	180	150
c	80	100	140	120	140	60
d	4.951	2.338	4.858	5.126	3.958	5.731
e	-5.324	-5.747	-5.574	-4.550	-3.894	-5.145
f	5.178	5.278	4.836	4.038	3.956	5.395
g	1.0E-5	2.0E-4	1.0E-6	1.0E-6	3.0E-5	2.0E-3
h	2.863	3.185	7.453	8.864	2.656	4.556
P _G ^{min}	50	35	60	60	45	15
P _G ^{max}	380	245	120	120	180	100

AAA'nın çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması için Matlab R2015b programlama yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım Intel(R) Core(TM) i5-4570 3.2 GHz işlemcili ve 4 GB RAM bellekli bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Elde edilen B kayıp matrisi değerleri aşağıda verilmiştir.

$$[B] = \begin{bmatrix} 0.03730 & 0.02830 & 0.00270 & -0.0175 & 0.00839 & -0.0217 \\ 0.02830 & 0.02540 & 0.00470 & -0.0234 & 0.00430 & 0.00370 \\ 0.00270 & 0.00470 & 0.05820 & -0.0354 & -0.0120 & -0.0180 \\ -0.0175 & -0.0234 & -0.0354 & 0.27340 & 0.02780 & 0.02380 \\ 0.00839 & 0.00430 & -0.0120 & 0.02780 & 0.01860 & 0.00653 \\ -0.0217 & 0.00370 & -0.0180 & 0.02380 & 0.00653 & 0.34860 \end{bmatrix}$$

$$[B_0] = [-0.0013 \quad 0.00450 \quad -0.0033 \quad 0.00870 \quad 0.00260 \quad 0.00610]$$

$$[B_{00}] = [0.00852]$$

Ağırlık değerleri $w = 1.0$ 'dan başlayarak 0.1 aralıklarla $w = 0.0$ olana kadar 300 iterasyon ile çalıştırılmış ve optimal sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2'de AAA ile elde edilen sonuçlar, tablo 3'de ise TYAAA ile elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 2. IEEE 6 Jeneratörlü 32 Baralı Örnek Güç Sistemi İçin Elde Edilen AAA Değerleri

Ağırlık Değeri	Üretim birimlerinin per-unit cinsinden çıkış güçleri (pu)					
	D _{G1}	D _{G2}	D _{G3}	D _{G4}	D _{G5}	D _{G6}
1.0	0.18534	0.34557	0.85345	0.62457	0.75674	0.23544
0.9	0.22350	0.31652	0.88670	0.61562	0.74653	0.25312
0.8	0.23840	0.35455	0.87656	0.63613	0.74565	0.26464
0.7	0.24185	0.36145	0.88940	0.62462	0.73452	0.28469
0.6	0.26545	0.38621	0.85246	0.64637	0.76435	0.29451
0.5	0.29322	0.39136	0.86244	0.64165	0.75152	0.31252
0.4	0.30540	0.40364	0.83160	0.62461	0.72460	0.31954
0.3	0.32546	0.41165	0.80914	0.60014	0.70048	0.34998
0.2	0.35531	0.43942	0.79646	0.59810	0.69943	0.37753
0.1	0.34227	0.44448	0.80974	0.59378	0.69076	0.37951
0.0	0.36132	0.45889	0.79932	0.60033	0.68572	0.38836

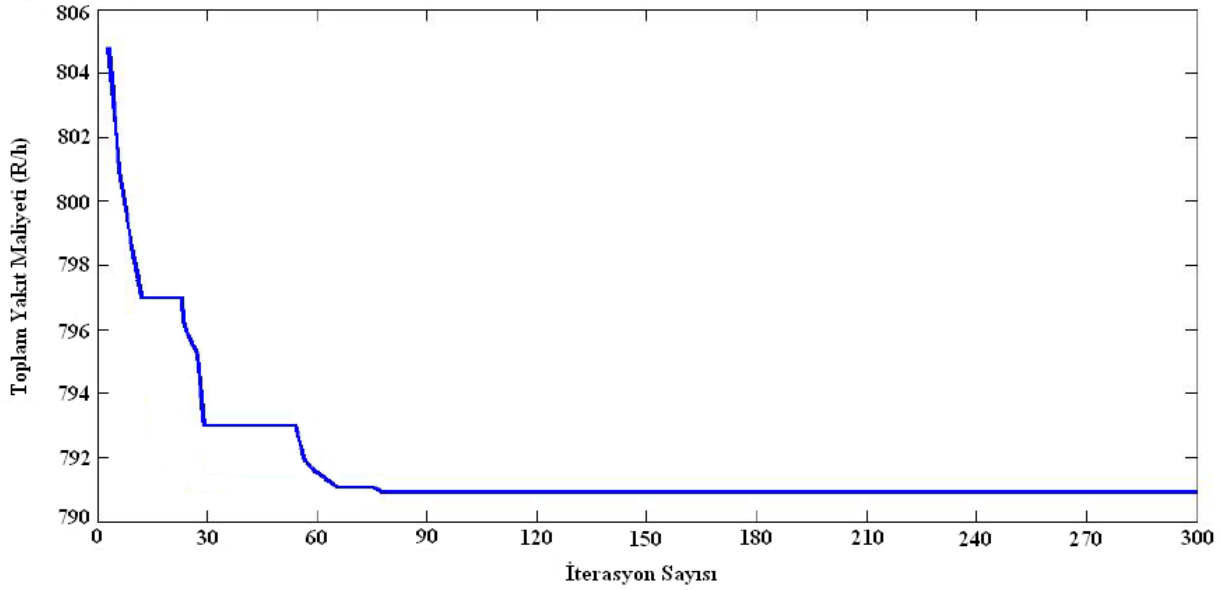
Tablo 3. IEEE 6 Jeneratörlü 32 Baralı Örnek Güç Sistemi İçin Elde Edilen TYAAA Değerleri

Ağırlık Değeri	Üretim birimlerinin per-unit cinsinden çıkış güçleri (pu)					
	D _{G1}	D _{G2}	D _{G3}	D _{G4}	D _{G5}	D _{G6}
1.0	0.17561	0.31563	0.86313	0.63731	0.84250	0.22743
0.9	0.21488	0.28452	0.88462	0.62697	0.83641	0.23789
0.8	0.22284	0.32006	0.85510	0.61292	0.83744	0.25592
0.7	0.23389	0.32245	0.83431	0.60983	0.81720	0.25981
0.6	0.24594	0.34489	0.80060	0.61616	0.80069	0.27630
0.5	0.27648	0.35107	0.81564	0.62871	0.78653	0.28887
0.4	0.29012	0.35863	0.79916	0.62140	0.77732	0.29123
0.3	0.30121	0.36646	0.80015	0.61088	0.75928	0.30436
0.2	0.32874	0.37991	0.79163	0.60553	0.74446	0.33894
0.1	0.32433	0.38611	0.79550	0.62981	0.73555	0.34989
0.0	0.33001	0.39640	0.79610	0.61652	0.72489	0.35571

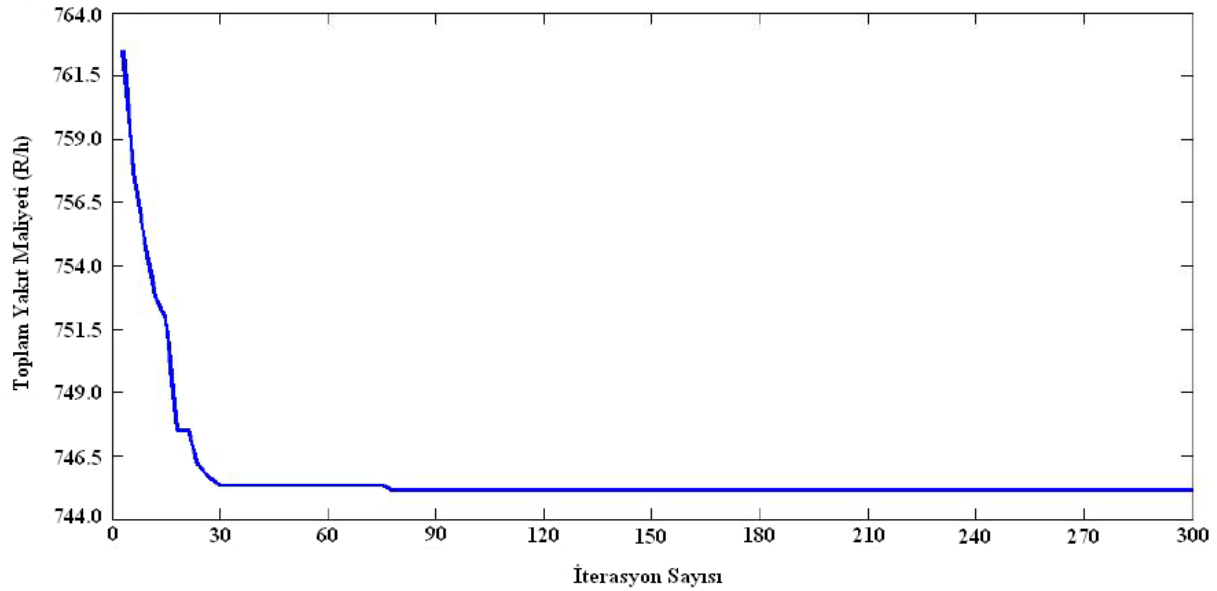
Tablo 4’de iki farklı algoritma için (AAA ve TYAAA), IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek güç sistemine ait maliyet, emisyon, hat kayıpları ve algoritmaların optimal çözümleri için harcanan süreler gösterilmiştir. Şekil 2’de AAA’nın IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek güç sistemine uygulanmasından elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin değişim grafiği gösterilmiştir. Şekil 3’de ise TYAAA’nın IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek güç sistemine uygulanmasından elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin değişim grafiği gösterilmiştir.

Tablo 4. Maliyet, Emisyon, Hat Kayıpları ve Algoritmaların Optimal Çözümleri İçin Harcanan Süreler

Algoritma Türü	Ağırlık Değeri (w)	Maliyet Değeri F _{Toplam} (R/h)	Emisyon Değeri E _{Toplam} (ton/h)	Hat Kayıpları (pu cinsinden)	Süre (sn)
AAA	1.0	789.054	0.2783	0.1053	0.274
	0.9	789.176	0.2770	0.1059	0.263
	0.8	789.952	0.2753	0.1076	0.278
	0.7	790.763	0.2704	0.1091	0.257
	0.6	792.008	0.2697	0.1098	0.231
	0.5	797.651	0.2681	0.1107	0.262
	0.4	798.635	0.2644	0.1189	0.270
	0.3	800.003	0.2606	0.1197	0.288
	0.2	801.430	0.2599	0.1201	0.291
	0.1	803.769	0.2587	0.1210	0.285
	0.0	804.410	0.2563	0.1214	0.251
TYAAA	1.0	746.452	0.3008	0.1029	0.293
	0.9	746.998	0.2991	0.1033	0.281
	0.8	747.103	0.2986	0.1041	0.301
	0.7	748.647	0.2929	0.1044	0.286
	0.6	751.105	0.2895	0.1052	0.268
	0.5	754.379	0.2780	0.1083	0.280
	0.4	756.624	0.2763	0.1096	0.275
	0.3	759.013	0.2692	0.1100	0.298
	0.2	760.003	0.2637	0.1117	0.307
	0.1	760.869	0.2598	0.1126	0.297
	0.0	762.412	0.2566	0.1142	0.284

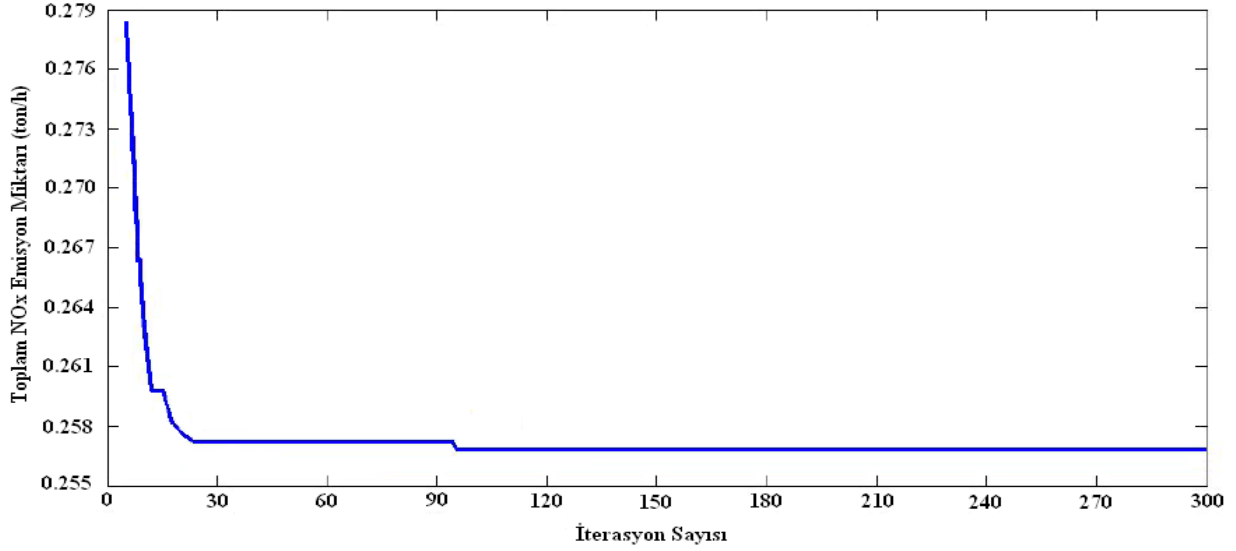


Şekil 2. İterasyon sayısına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim (AAA'ya göre)

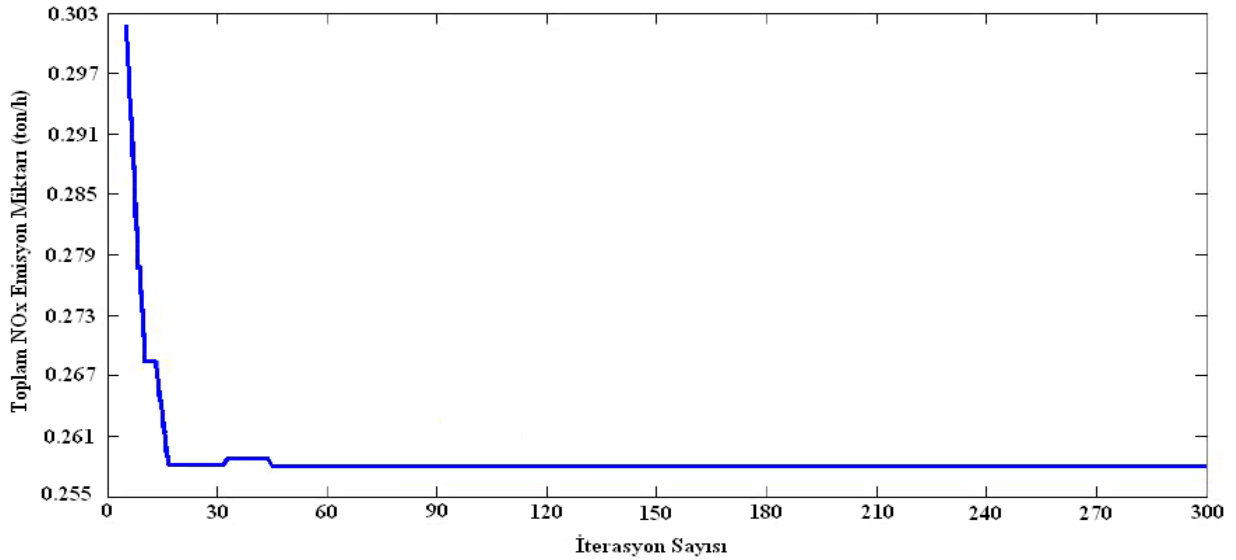


Şekil 3. İterasyon sayısına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim (TYAAA'ya göre)

Şekil 2'de toplam yakıt maliyetinin yaklaşık olarak 75. iterasyondan sonra çok az değiştiği hatta 80. iterasyondan sonra neredeyse değişmediği görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde ise, toplam yakıt maliyetinin yaklaşık olarak 30. iterasyondan sonra çok az değiştiği 80. iterasyondan sonra ise hiç değişmediği görülmektedir. Bu durum toplam yakıt maliyeti değişimi için AAA'nın 75. iterasyonda problemin optimal çözümüne yakınsadığını, TYAAA'nın ise 30. iterasyonda problemin optimal çözümüne yakınsadığını göstermiştir. Buna göre TYAAA optimal çözümü elde etme açısından AAA'ya göre daha hızlıdır. Şekil 2 ve şekil 3'deki değişimlerin eşzamanlı olarak azalması yapılan işlemlerin doğruluğunu göstermektedir. Şekil 4'de AAA'nın IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek güç sistemine uygulanmasından elde edilen NO_x emisyon miktarındaki değişim grafiği, şekil 5'de ise TYAAA'nın IEEE 6 jeneratörlü 32 baralı örnek güç sistemine uygulanmasından elde edilen NO_x emisyon miktarındaki değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4. İterasyon sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarındaki değişim (AAA'ya göre)



Şekil 5. İterasyon sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarındaki değişim (TYAAA'ya göre)

Şekil 4'de toplam NO_x emisyon miktarının yaklaşık olarak 30. iterasyondan sonra çok az değiştiği hatta 90. iterasyondan sonra neredeyse değişmediği görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde ise, toplam NO_x emisyon miktarının yaklaşık olarak 15. iterasyondan sonra çok az değiştiği 45. iterasyondan sonra ise hiç değişmediği görülmektedir. Bu durum toplam NO_x emisyon miktarı değişimi için AAA'nın 95. iterasyonda problemin optimal çözümüne yakınsadığını, TYAAA'nın ise 45. iterasyonda problemin optimal çözümüne yakınsadığını göstermiştir. Buna göre TYAAA optimal çözümü elde etme açısından AAA'ya göre daha hızlıdır. Şekil 4 ve şekil 5'deki değişimlerin eşzamanlı olarak azalması yapılan işlemlerin doğruluğunu göstermektedir. AAA ve TYAAA ile elde edilen en iyi, en kötü ve ortalama optimal sonuçlar literatürdeki [7, 8, 9, 12, 13 ve 15] optimal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan optimal çözüm sonuçları tablo 5'de gösterilmiştir. Tablo 5'de koyu olarak belirtilen, TYAAA ile elde edilen minimum toplam yakıt maliyeti değerlerinin literatürdeki diğer yöntemlerden daha iyi değerler verdiği görülmüştür.

Tablo 5. Literatürdeki Çalışmalarla Karşılaştırılan Optimal Çözüm Değerleri

Yöntem	En İyi Maliyet (\$/h)	En Kötü Maliyet (\$/h)	Ortalama Maliyet (\$/h)
DE [8]	963.0010	-	-
ABC [9]	928.4370	-	-
GA [12]	996.0369	1117.1285	-
GA-APO [12]	996.0369	1101.4910	-
PSO [7]	925.7581	928.4270	926.3880
TS [13]	956.4980	960.2610	958.4560
TS-SA [13]	959.5630	966.0230	962.8890
ITS [13]	969.1090	985.5330	977.1700
GSA [15]	925.4170	930.8847	925.9729
SADE-ALM [8]	944.0310	964.7940	954.8000
EP [7]	955.5080	959.3790	957.7090
IEP [7]	953.5730	958.2630	956.4600
AAA	949.5654	962.4896	951.7498
TYAAA	925.3973	937.6540	926.1105

Sonuçlar

Bu çalışmada termik birimlerden oluşan kayıplı bir güç sistemindeki çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü için “Ateşböceği Arama Algoritması” ve “Ters Yönlü Ateşböceği Arama Algoritması” uygulanmıştır. Çözüm işleminde ağırlık faktörü 0,0’den başlayarak 0,1’lik artımlarla 1,0’a kadar değiştirilmiştir. TYAAA algoritması ağırlık katsayısının her bir değeri için en iyi sonuca ulaşmaya çalışmıştır. Elde edilen bütün sonuçların, literatürde verilen sonuçlara yakınsadığı ve kısmen daha iyi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yerel optimumlara takılmadan global optimumu hızlı bir şekilde yakalayan, çok az miktarda parametre içeren, kolay kodlanabilir bir algoritma olan TYAAA’nın ağırlıklı toplam metodu ile birleştirilmiş çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir. Sonraki çalışmalarda TYAAA algoritması daha fazla geliştirilerek çözüm uzayının çok büyük olduğu ve çok fazla matematiksel metodun kullanıldığı kısa ve uzun dönem hidrotermal çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanacaktır.

Kaynaklar

- [1] Palanichamy C., and Babu N.S., “Analytical solution for combined economic and emissions dispatch”, Electric Power Systems Research, 2008, 78(7): 1129-1137.
- [2] Das D.B., and Patvardhan C., “New multi-objective stochastic search technique for economic load dispatch”, IEEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution, 1998, 145(6), 747-752.
- [3] Yalcinoz T., and Köksoy O., “A multiobjective optimization method to environmental economic dispatch”, Electric Power and Energy Systems, 2007, 29(1), 42-50.
- [4] Yaşar C., Temurtaş H., Özyön S., “Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Termik Birimlerden Oluşan Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması”, 6. Ulusal Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Elektrik-Kontrol Kitapçığı, (ELECO’10), Bursa, Turkey, pp. 26-30, (2010).
- [5] Yaşar C., Özyön S., Temurtaş H., “Termik Üretim Birimlerinden Oluşan Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Genetik Algoritma Yöntemiyle Çözümü”, 5. Ulusal Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Elektrik-Kontrol Kitapçığı, (ELECO’08), Bursa, Turkey, pp. 105-109, (2008).

- [6] Karaboğa D. "Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları", Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul, Türkiye, (2014), pp. 32-37.
- [7] Duman S., Altaş İ.H., Yörükeren N., "Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin İyileştirilmiş Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözümü", Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, (ASYU 2014), İzmir, Turkey, pp. 176-181, (2014).
- [8] Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., "Differential Evolution Algorithm Approach to Nonconvex Economic Power Dispatch Problems with Valve Point Effect", 6th International Advanced Technologies Symposium, (IATS'11), Elazığ, Turkey, pp. 181-186, (2011).
- [9] Özyön S., Yaşar C., Özcan G., Temurtaş H. "An Artificial Bee Colony Algorithm (ABC) Approach to Nonconvex Economic Power Dispatch Problems with Valve Point Effect", National Conference on Electrical Electronics and Computer, (FEEB'11), Elazığ, Turkey, pp. 294-299, (2011).
- [10] Yuan X., Wang L., Zhang Y., and Yuan Y., "A hybrid differential evolution method for dynamic economic dispatch with valve-point effects", Expert Systems with Applications, 2009, 36(2), 4042-4048.
- [11] Hota P.K., Barisal A.K., and Chakrabarti R., "Economic emission load dispatch through fuzzy based bacterial foraging algorithm", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2010, 32(1), 794-803.
- [12] Noman N., Iba H., "Differential evolution for economic load dispatch problems", Electric Power Systems Research, 2008, 78(8), 1322-1331.
- [13] Wang L., and Singh C., "Environmental / economic power dispatch using a fuzzified multi-objective particle swarm optimization algorithm", Electric Power Systems Research, 2007, 77(12), 1654-1664.
- [14] Chatterjee A., Ghoshal S.P., and Mukherjee V., "Solution of combined economic and emission dispatch problems of power systems by an opposition-based harmony search algorithm", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2012, 39(1), 9-20.
- [15] Khajehzadeh M., Taha M.R., El-Shafie A., and Eslami M., "A modified gravitational search algorithm for slope stability analysis", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012, 25(1), 1589-1597.
- [16] Güvenç U., "Combined economic emission dispatch solution using genetic algorithm based on similarity crossover", Scientific Research and Essays, 2010, 5(17), 2451-2456.
- [17] Apostolopoulos T., and Vlachos A., "Application of the firefly algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem", Hindawi Publishing Corporation International Conference Journal of Combinatorics, 2011, Vol. 2011, 1-23.
- [18] Güvenç U., Sönmez Y., Duman S., and Yörükeren N., "Combined economic and emission dispatch solution using gravitational search algorithm", Scientia Iranica, 2012, 19(6), 1754-1762.
- [19] Malik T.N., Asar A., Wyne M.F., and Akhtar S., "A new hybrid approach for the solution of nonconvex economic dispatch problem with valve-point effects", Electric Power Systems Research, 2010, 80(9), 1128-1136.
- [20] Labbi Y., and Attous D., "Big bang - big crunch optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2010, 16(1), 48-56.
- [21] Ergezer M., and Simon D., "Oppositional Biogeography-based Optimization for Combinatorial Problems", 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation, (CEC'11), New Orleans, USA, pp. 1496-1503, (2011).