

KAOTİK ATEŞBÖCEĞİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK TERMİK GÜÇ SANTRALLERİ ETKİSİNDEKİ EKONOMİK YÜK DAĞITIM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Nihat PAMUK

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

Özet

Ateşböceği optimizasyon algoritması birçok bilimsel ve mühendislik alanında kullanılmış etkili bir hesaplama algoritmasıdır. Bu çalışmada, termik güç santralleri etkisindeki ekonomik yük dağıtım problemleri kaos teorisine dayalı “Kaotik Ateşböceği Optimizasyon Algoritması” (KAOA) ile çözülmüştür. Ağırlıklı toplam metodu kullanılarak çok amaçlı optimizasyon problemi olarak tanımlanan termik güç santralleri etkisindeki ekonomik yük dağıtım problemleri, tek amaçlı optimizasyon problemlerine çevrilmiştir. Kayıp matrisi, problemin çözümü için gerekli olan enerji iletim hatlarındaki hat kayıplarını hesaplamak için kullanılmıştır. Elektriksel sınırlamalar dikkate alınarak, toplam yakıt maliyeti minimize edilmiştir. Ekonomik yük dağıtım problemleri IEEE-57 baralı 7 jeneratörlü örnek bir güç sistemi için iletim kayıpları ihmal edilmeden KAOA kullanılarak çözülmüştür. Bu problemler için en iyi çözüm değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu değerler, literatürdeki diğer yaklaşımlar ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kaotik Ateşböceği Optimizasyon Algoritması (KAOA), Hat Kayıpları, Termik Güç Santralleri, Kaos, Ağırlıklı Toplam Metot, Ekonomik Yük Dağıtım Problemleri.

SOLUTION OF ECONOMIC LOAD DISTRIBUTION PROBLEMS IN THE EFFECT OF THERMAL POWER PLANTS USING CHAOTIC FIREFLY OPTIMIZATION ALGORITHM

Abstract

The firefly optimization algorithm is a computationally efficient optimization algorithm which has been used in many science and engineering applications. In this study, economic load distribution problems in the effect of thermal power plants were solved by "Chaotic Firefly Optimization Algorithm" (CFOA) based on chaos theory. An economic load distribution problem in the effect of thermal power plants that is a multi-mission optimization issue has been transformed into a single mission optimization issue using the weighted sum method. Loss matrix has been used for the computation of the energy transmission line losses in the solution of the economic load distribution problem. Total fuel cost has been minimized under electrical contingency conditions. Economic load dispatch problems are solved by using CFOA method for IEEE 57 buses with 7 generators sample power system with including transmission losses. It is tried to get optimum solutions for these problems. When obtained values are compared with the other approaches in the literature, it is seen that the obtained results are better than them.

Keywords: Chaotic Firefly Optimization Algorithm (CFOA), Transmission Losses, Thermal Power Plants, Chaos, Weighted Sum Method, Economic Load Distribution Problems.

Sorumlu Yazar: Nihat PAMUK, e-posta: nihatpamuk@gmail.com

1 GİRİŞ

Güç sisteminin işletilmesindeki en önemli konulardan birisi ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümüdür. Elektrik üretiminde kullanılan yakıt fiyatının üretim maliyetleri üzerinde önemli bir miktara ulaşması sonucunda, üretim santralleri enerji kaynağı olan yakıtı daha verimli kullanmaya yönelmiştir. Böylece elektrik üretim sistemlerinin ekonomik olarak işletilmesi gündeme gelmiştir. Ekonomik yük dağıtım problemleri, sistemde var olan yükün üretim birimleri tarafından belirlenen kısıtlar içerisinde minimum maliyette olacak şekilde çıkış güçlerinin ayarlanması olarak tanımlanır [1-2]. Yük dağıtım problemleri optimal güç akışı verilerini içerecek şekilde gelecek zamanlı yük tahmin metotları kullanılarak çözümlenirse, daha büyük ve daha karmaşık bir yapıya sahip olacaktır [3-4].

Enerji üretim sistemleri büyüdükçe ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü karmaşık bir hal almaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı yakıtları kullanan üretim birimleri atmosfere parçacık ve gazlardan oluşan nitrojen oksit NO_x , sülfür dioksit SO_2 ve karbondioksit CO_2 atıkların ortaya çıkmasına neden olup çevresel kirliliğe neden olmakla birlikte küresel ısınmaya da yol açmaktadır [5-6]. Çevresel etkilerde göz önünde bulundurulduğunda, ekonomik dağıtım problemi emisyon etkilerinin de dahil edildiği çok amaçlı bir optimizasyon problemine dönüşmektedir. Bu problem ağırlıklı toplam metodu [7] kullanılarak hem ekonomik yük dağıtımının hem de emisyon değerinin belirlenebileceği tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülür. Literatür taraması göre birden fazla amaca sahip olan optimizasyon problemleri iki farklı şekilde çözüme kavuşturulur. Bunlardan ilki çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözen yöntemlerin direkt olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bir diğer yöntem ise çok amaçlı optimizasyon problemlerinde indirgeme yaparak problemi tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürüp çözüm yönteminin uygulanması biçimindedir.

Ekonomik yük dağıtım problemlerini çözmek için doğadan ve birçok meta-sezgisel algoritmalarından geliştirilen farklı iki hibrit optimizasyon algoritmalarıyla [8-9], değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak problemlerin deterministik yöntemlerle çözümünü gerçekleştiren diferansiyel gelişim algoritmasıyla [10], veya genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel çözüm sağlayan geliştirilmiş diferansiyel gelişim algoritmalarıyla [11], kuş veya balık

sürülerinin davranışlarını taklit ederek çözüme ulaşan parçacık sürü optimizasyonu algoritmasıyla [12], arıların besin arama davranışlarından esinlenerek geliştirilen yapay arı koloni optimizasyon algoritmasıyla [13], çözüm uzayı hakkında varsayımlar yaparak daha uygun yeni bir nesil oluşturan evrimsel programlama algoritmasıyla [14], evrimsel programlama algoritmasıyla elde edilen sonuçları genetik arama (yeniden yapılanma ve mutasyon) yöntemiyle daha güçlü bireyler oluşturarak çözen geliştirilmiş evrimsel programlama algoritmalarıyla [15], değerlendirme fonksiyonu tarafından kullanılan her iterasyondaki en yüksek değerlendirme değerine sahip hareketin çözüm uzayını oluşturması amacıyla seçilmesine dayanan tabu arama ve geliştirilmiş tabu arama algoritmalarıyla [16-17], insan vücudunun hastalıklara karşı savunma mekanizmasını oluşturan ve vücudun zararlı maddelere karşı savaşmasından esinlenerek geliştirilen yapay bağışıklık sistemi algoritmasıyla [18], grup yaşam teorisi ve canlıların besin arama davranışlarından esinlenerek ortaya çıkan geliştirilmiş grup arama optimizasyon algoritmasıyla [19], ve Escherichia-Coli bakterilerinin yaşam döngüsü modelinin taklit edilmesiyle çözüme ulaşan bakteri yem arama optimizasyon algoritmasıyla [20] çözülmüştür. Bu çalışmada, başlangıç durumuna ve sistem parametrelerine karşı oldukça duyarlı determinist bir sistem olan kaos teorisi [27] tanımlanarak, ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünde “Kaotik Ateşböceği Optimizasyon Algoritması” (KAOA) uygulanmıştır.

2 EKONOMİK YÜK DAĞITIM PROBLEMLERİNİN MATEMATİKSEL OLARAK FORMÜLE EDİLMESİ

Çevresel ekonomik yük dağıtım problemleri ekonomik yük dağıtım problemlerine emisyon parametreleri eklenerek formüle edilir. Ekonomik yük dağıtım problemlerine ait amaç fonksiyonu eşitlik 1’de verilmiştir.

$$F(P_G) = \sum_{i=1}^n (a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i), \quad (\$/h) \quad (1)$$

Eşitlik 1’de;

$F(P_g)$: sistemdeki güç üretiminin toplam yakıt maliyetini,
($\$/h$), a_i , b_i , c_i : i. jeneratörün yakıt maliyet katsayılarını,

P_{gi} : i. jeneratörün ürettiği güç miktarını,
n: toplam jeneratör sayısını göstermektedir.

Ekonomik yük dağıtım problemlerinde talep edilen yükü minimum maliyet ile karşılayabilmek için farklı birimlerin üreteceği aktif güç miktarlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çevresel olmayan ekonomik yük dağıtım problemlerinde emisyon maliyeti dikkate alınmaz. Fosil kaynaklı termal jeneratör birimlerinin neden olacağı emisyon miktarı, bu birim tarafından üretilen güç miktarına bağlıdır. Emisyon miktarı, jeneratörün aktif çıkış gücüne bağlı olarak ikinci dereceden bir denklem ile ifade edilmektedir. Emisyon miktarının değeri eşitlik 2 ile hesaplanır [6-7].

$$E(P_G) = \sum_{i=1}^n (d_i P_{gi}^2 + e_i P_{gi} + f_i), \quad (\text{kg/h}) \quad (2)$$

Eşitlik 2’de;

$E(P_g)$: toplam emisyon miktarını,
(kg / h), d_i , e_i , f_i : i. jeneratörün emisyon katsayılarını göstermektedir.

Ekonomik yük dağıtım problemi yakıt maliyeti ve emisyon miktarı kullanılarak tek optimizasyon problemine dönüştürmektedir. Eşitlik 3’de elektriksel sistemin toplam işletim maliyet fonksiyonu verilmiştir.

$$T = w_1 * F(P_G) + w_2 * h * E(P_G) \quad (3)$$

Eşitlik 3’de;

T: sistemin toplam işletim maliyetini,
 w_1 , w_2 : ağırlık faktörlerini,
h: fiyat ceza faktörünü göstermektedir.

Ekonomik yük dağıtım problemleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [7].

- Salt ekonomik yük dağıtım problemleri için; $w_1 = 1$ ve $w_2 = 0$ 'dır.
- Salt ve çevresel ekonomik yük dağıtım problemleri için; $w_1 = 0$ ve $w_2 = 1$ 'dir.
- Çevresel ekonomik yük dağıtım problemleri için; $w_1 = 1$ ve $w_2 = 1$ 'dir.

Fiyat ceza faktörünün değerini hesaplayabilmek için, her bir jeneratörün maksimum güç değerindeki ortalama maliyet değeri eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$\frac{F_i(P_{i,maks})}{(P_{i,maks})} = \frac{a_i P_{i,maks}^2 + b_i P_{i,maks} + c_i}{(P_{i,maks})}, \quad (\$/MWh) \quad (4)$$

Her bir jeneratörün maksimum güç değerindeki ortalama emisyon değeri eşitlik 5 ile hesaplanır.

$$\frac{E_i(P_{i,maks})}{(P_{i,maks})} = \frac{d_i P_{i,maks}^2 + e_i P_{i,maks} + f_i}{(P_{i,maks})}, \quad (kg/MWh) \quad (5)$$

Fiyat ceza faktörünün değeri her bir jeneratörün ortalama maliyetinin ortalama emisyon miktarına bölünmesi ile bulunur. Her bir jeneratöre ait fiyat ceza faktörünün değeri eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$\frac{F_i(P_{i,maks}) / (P_{i,maks})}{E_i(P_{i,maks}) / (P_{i,maks})} = \frac{a_i P_{i,maks}^2 + b_i P_{i,maks} + c_i}{d_i P_{i,maks}^2 + e_i P_{i,maks} + f_i}, \quad (\$/kg) \quad (6)$$

Eşitlik 6 yeniden düzenlenirse eşitlik 7 elde edilir.

$$\frac{F_i(P_{i,maks}) / (P_{i,maks})}{E_i(P_{i,maks}) / (P_{i,maks})} = h_i, \quad i = 1, \dots, n \dots \$/kg \quad (7)$$

Her bir jeneratöre ait h_i değeri (fiyat ceza faktörü) artan bir şekilde sıralanır. Eşitlik 8'de

gösterildiği gibi en küçük h_i değerinden başlanarak jeneratörlerin maksimum güç değerlerinin toplamı talep edilen yüke eşit veya talep edilen yükten büyük olana kadar toplama işlemine devam edilir.

$$\sum_{i=1}^n P_{i,maks} \geq P_D \quad (8)$$

Toplama işlemine dahil edilen en son birimin h_i değeri, yeni fiyat ceza faktörü olarak (h) kabul edilir. Eşitlik 3’de $w_1 = w_2 = 1$ kabul edilerek ve yeni hesaplanan h değeri kullanılarak, çevresel ekonomik yük dağıtım formülü elde edilmektedir.

3 KAOTİK ATEŞBÖCEĞİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

3.1 Ateşböceği Optimizasyon Algoritması

Ateşböcekleri tropikal ve ılıman bölgelerde yaymış oldukları ışık huzmeleri sayesinde muhteşem bir manzara oluşmasına neden olmakta ve doğada yaklaşık 2000 farklı türü bulunmaktadır [21]. Ateşböceklerinin yaymış olduğu ışık kaynağı iki ana fonksiyona sahiptir. Bu fonksiyonlar avlarını cezbederek yakalayabilme durumu ve eşlerine kur yaparak çiftleşebilme durumudur [23]. Ateşböcekleri vücut yüzeyinde bulunan fotojenik hücreler sayesinde ışık üretebilmektedirler [22]. Ateşböceği optimizasyon algoritması 2008 yılında Xin-She Yang [24] tarafından ateşböceklerinin parlaklık ve hareket yönlerini dikkate alarak tasarlanmış bir algoritma çeşididir. Ateşböceği optimizasyon algoritması üç farklı ilkeye dayalı olarak çalışmaktadır. Bu ilkeler aşağıda özetlenmiştir [25]:

- Ateşböcekleri unisex olarak kabul edilmekte ve cinsiyet ayrımı yapılmaksızın birbirini etkilemektedir.
- Ateşböceğinin etkinlik değeri parlaklık derecesine bağlı olarak belirlenmektedir. Ateşböceğinin çekicilik değeri ise etkinlik değerine bağlı olduğundan, en parlak olan ateşböceği diğer ateşböceklerini kendisine doğru çekmektedir. Eğer çevresinde, kendisinden daha parlak bir ateşböceği yoksa rastgele bir şekilde hareket etmektedir.

- Parlaklığı düşük olan ateşböcekleri, parlaklığı daha yüksek olan ateşböceklerine doğru hareket etmektedir. Ateşböceğinin etkinlik faktörü ve parlaklığı, ekonomik yük dağıtım problemlerinin amaç fonksiyonuna ve türüne göre belirlenmektedir.

Ateş böceği algoritmasının başlangıç aşamasında tüm ateşböcekleri rastgele bir şekilde arama uzayında bulunmaktadır. Amaç fonksiyonuna göre “m” tane ateşböceği sürüsü kullanılmaktadır. Her bir “i” ateşböceğine ait “ x_i ” çözümünün uygunluk değeri tespit edilmektedir. Tespit edilen uygunluk değerleri çözüm uzayının maliyetini (en iyiye olan uzaklığını) belirtmektedir. Tespit edilen optimizasyon fonksiyonu eşitlik 9’da gösterilmiştir.

$$f(x^*) = \min_{x \in S} f(x) \quad (9)$$

Tüm ateşböcekleri için “ x_i ” problem boyutu kadar bireye sahiptir ve rastgele değerlerle oluşturulmaktadır. Her bir birey çözümün oluşturduğu değer “ x_i ” problemini minimize edecek biçimde sıralanmaktadır. Amaç fonksiyonuna uygulanan her bir ateşböceğinin çözümü ilgili ateşböceğinin parlaklığını / ışık yoğunluğunu (I) ifade etmektedir [24]. Işık yoğunluğu fonksiyonu eşitlik 10’da gösterilmiştir.

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (10)$$

Eşitlik 10’da [24];

I_0 : Başlangıç ışık yoğunluğunu,

γ : Işık soğurma katsayısını,

τ : İki ateşböceği arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Ateşböceğinin çekiciliği parlaklığa ve uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Her bir ateşböceğine ait farklı bir çekicilik değeri bulunmaktadır [21]. Çekicilik değeri “ β ” ile gösterilir. Ateşböceklerinin parlaklık değerleri birbirleri ile kıyaslanarak ateşböcekleri arasında etkilenme olup olmadığı tespit edilir. Parlaklığının daha düşük olduğu ateşböceğinin konum durumu, “ x_i ” çözümünün etkilenen konumda olduğunu göstermektedir. Ateşböceğinin çekiciliğini tespit etmek amacıyla üstel bir amaç fonksiyonunun kullanılması gerekir [26].

$$r_{i,j} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (11)$$

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r_{i,j}} \quad (12)$$

Eşitlik 11'deki β_0 parametresi iki ateşböceği arasındaki uzaklığı göstermekte ve $r_{i,j} = 0$ olması durumundaki çekicilik parametresidir. Ateşböceklerinin çekicilik değeri (0-1) arasında bir değer almaktadır [21]. Işığın soğurma katsayısı sıfır ile sonsuz arasında değişmektedir. Soğurma katsayısının sıfır olması sabit bir çekicilik derecesine, sonsuz olması ise çekicilik derecesinin olmamasına (sıfır olması) karşılık gelir. Optimizasyon işlemi yapıldıktan sonra arama uzayındaki γ parametresinin değeri eşitlik 13 ve eşitlik 14 formülü ile bulunur. Söz konusu eşitliklerdeki γ_0 parametresi sıfır ile bir arasında değişen sabit bir değerdir.

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{r_{\max}} \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{r_{\max}^2} \quad (14)$$

$$r_{\max} = \max d(x_i, x_j), \forall x_i, x_j \in S \quad (15)$$

β ifadesindeki değere bağlı olarak az çekici olan “i.” ateşböceği kendisinden daha çekici olan “j.” ateşböceğine doğru hareket eder. Yapılan bu hareket eşitlik 16 ve eşitlik 17 ile gösterilmiştir [26].

$$x_{i,k} = (1 - \beta) \cdot x_{i,k} + \beta \cdot x_{j,k} + u_{i,k} \quad (16)$$

$$x_i^{t+1} = x_i + \beta_0 e^{(-\gamma r_{ij}^2)} (x_j - x_i) + a \varepsilon_i^t \quad (17)$$

Eşitlik 17'de;

x_i : i. ateşböceğinin aday çözümünü,

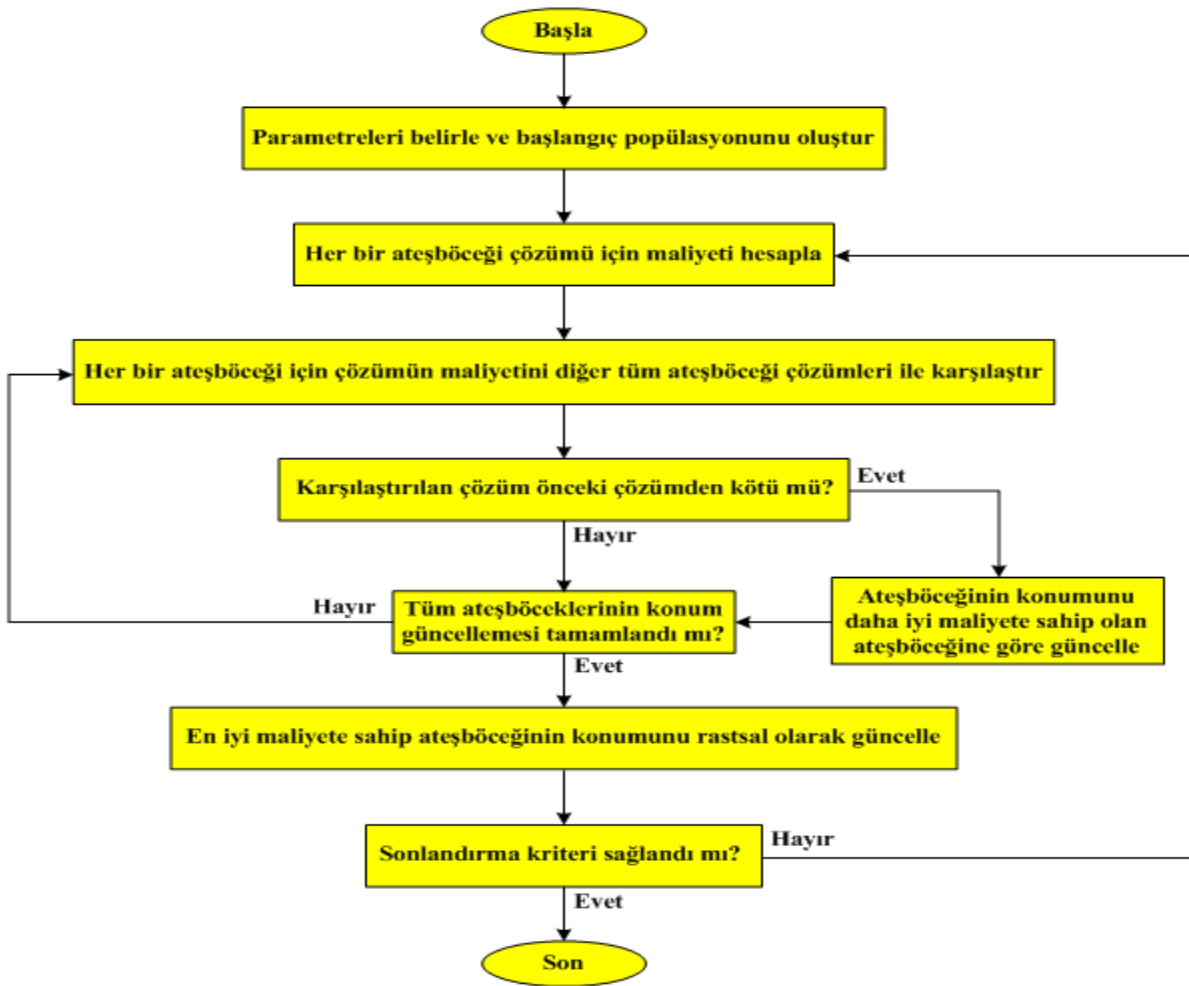
x_j : j. ateşböceğinin aday çözümünü,

ε_i : gauss dağılımını göstermektedir.

Eşitlik 18' e göre en parlak olan ateşböceği arama uzayında rastgele bir şekilde hareketine devam edecektir.

$$x_{i, k}^{\max} = x_{i, k}^{\max} + u_{i, k}^{\max} \quad k = 1, 2, \dots, d$$
$$u_{i, k}^{\max} = \alpha \cdot \left(\text{rand} \cdot \frac{1}{2} \right)$$
(18)

Ateşböceği optimizasyon algoritmasına ait akış şeması şekil 1'de gösterilmiştir.



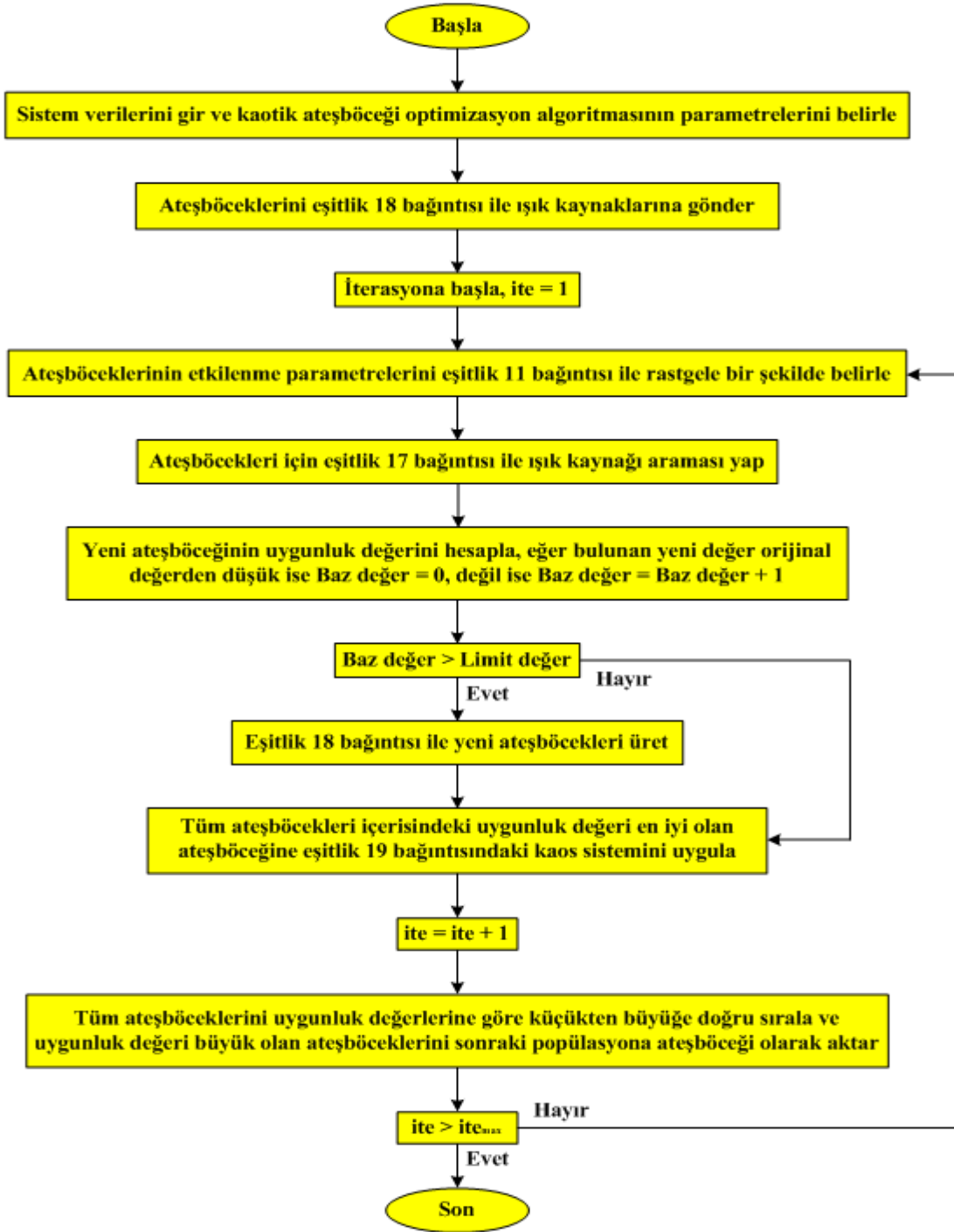
Şekil 1: Ateşböceği optimizasyon algoritması akış şeması

3.2 Kaotik Ateşböceği Optimizasyon Algoritması

Kaos, son yıllarda ortaya konulan sistem parametrelerine karşı oldukça hassas, güçlü rastsal bir arama optimizasyon algoritmasıdır. Kaos teorisi günlük yaşamda rastgelelilik ve tahmin edilemezlik olarak düşünülse de bu görüşün aksine olaylar belirli bir düzen içerisinde gerçekleşmektedir. Kaos teorisi bilimin birçok dalında meta sezgisel yöntemlerin değişik kısımlarında başarı ile uygulanmıştır. Bu çalışmada kaos teorisi, her iterasyon sonunda en iyi ışık yayan ateşböceğine uygulanmıştır. Teori sonucunda elde edilen en iyi ateşböceklerinin değişken değerleri (0-1) arasında ayarlanır. Kaos teorisinde ateşböceklerinin değişken değerleri ile bir önceki ateşböceğinin değişken değerleri arasındaki bağıntı eşitlik 19 ile bulunur. Bu işlem hedeflenen kaotik ateşböceği birey sayısına ulaşıncaya kadar devam etmektedir.

$$x_{n+1} = 4x_n(1 - x_n) \quad (19)$$

Kaos teorisinden elde edilen ateşböceklerinin değişken değerleri modellenmesi yapılan sistem değerlerine çevrildikten sonra ateşböceklerinin yeni uygunluk değerleri hesaplanır ve ateşböceği popülasyonuna eklenir. En uygun çözümü veren ateşböcekleri bir sonraki döngüye konum güncellemesinden sonra aktarılmaktadır. Şekil 2'de kaotik ateşböceği optimizasyon algoritmasının akış şeması gösterilmiştir.



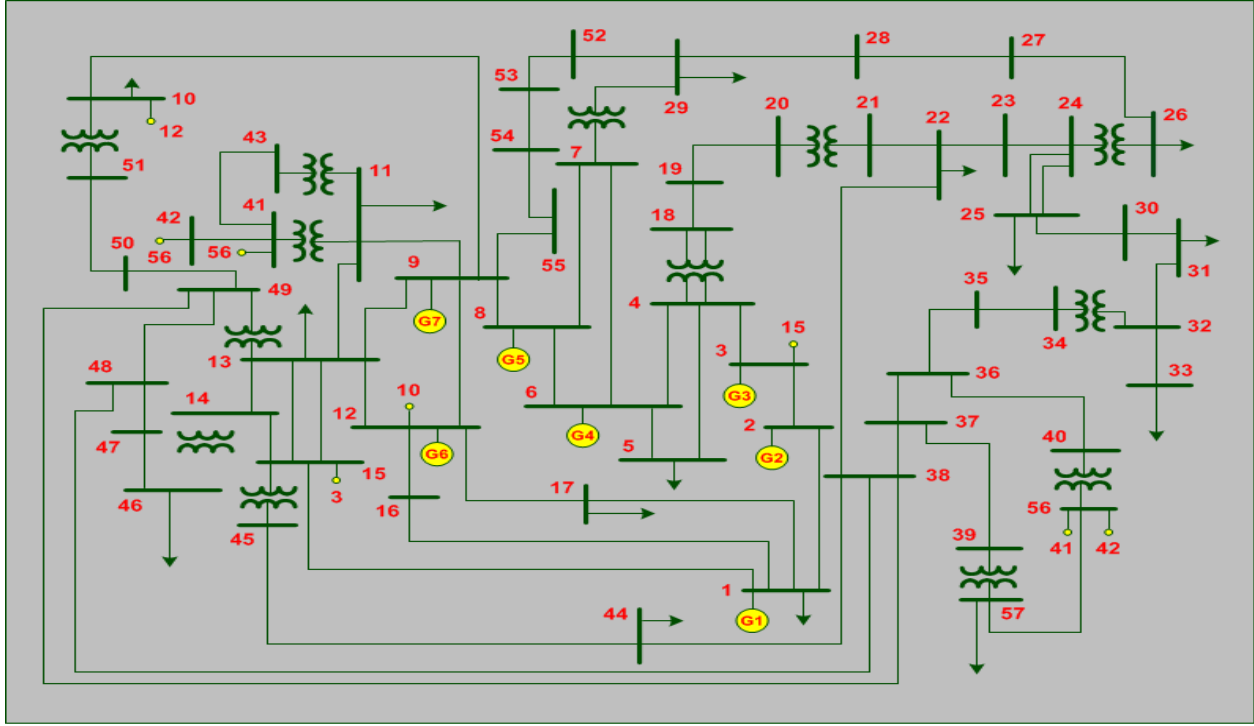
Şekil 2: Kaotik ateşböceği optimizasyon algoritması akış şeması

Termik güç santralleri etkisindeki ekonomik yük dağıtım problemlerinde uygulanan kaotik ateşböceği optimizasyon algoritmasının işlem basamakları aşağıda gösterilmiştir.

- 1. Adım:** Sistem verilerini ve kaotik ateşböceği optimizasyon algoritmasının değerlerini gir.
- 2. Adım:** Eşitlik 18 bağıntısı ile ateşböceklerini ışık kaynaklarına gönder.
- 3. Adım:** İterasyona başla, ite=1.
- 4. Adım:** Eşitlik 11 bağıntısı ile ateşböceklerinin etkilenme parametrelerini rastgele bir şekilde belirle.
- 5. Adım:** Eşitlik 17 bağıntısı ile ateşböcekleri için ışık kaynağı araması yap.
- 6. Adım:** Yeni ateşböceğinin ışık kaynağına göre olan uygunluk değeri, diğer ateşböceklerinin ışık kaynağına göre olan uygunluk değerlerinden iyi ise (Baz değer = 0) yeni ateşböceğinin konumunu güncelle. (Daha iyi değil ise, Baz değer = Baz değer + 1)
- 7. Adım:** Baz değer limit değerden büyük ise 8. Adıma, değil ise 9. Adıma git.
- 8. Adım:** Elde edilen baz değer sınır değerden büyük ise, eşitlik 18 bağıntısı yardımıyla yeni ateşböcekleri üret.
- 9. Adım:** Ateşböceği popülasyonundaki en iyi uygunluk değerine sahip bireye eşitlik 19 bağıntısına göre kaos teorisini uygula.
- 10. Adım:** Bir sonraki iterasyon için gerekli olan ateşböceklerini uygunluk değerlerine göre belirle.
- 11. Adım:** ite = ite + 1.
- 12. Adım:** Sonlandırma kriteri sağlanmış ise algoritmayı durdur, aksi takdirde 4. Adıma git.

4 BENZETİM ÇALIŞMALARI

Şekil 3’de IEEE 7 jeneratörlü 57 baralı test sisteminin tek hat şeması gösterilmiştir. Sistemin $P_{güç}=1263$ MW değeri için KAOA çözümü uygulanmıştır. Yapılan çalışmada ölçekleme faktörü $\gamma = 500$, ışık kaynağı sayısı (görevli ateşböceği sayısı) (M) 25, parametre sayısı (N) 15, $wf_{max} = 0.9$, $wf_{min} = 0.4$, sınır limit değeri (çözüm geliştiremememe durum değeri) 20, $Toplam_{hata} = 1 \times 10^{-6}$ MW ve iterasyon sayısı 100 olarak alınmıştır.



Şekil 3: IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sistemine ait tek hat şeması

Problemde kullanılan üretim birimlerine ait yakıt maliyet fonksiyonu katsayıları, 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	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇
a	100	120	40	60	40	100	90
b	200	150	180	100	180	150	150
c	10	10	20	10	20	10	20
d	4.091	2.543	4.258	5.326	4.258	6.131	4.965
e	-5.554	-6.047	-5.094	-3.550	-5.094	-5.555	-5.546
f	6.490	5.638	4.586	3.380	4.586	5.151	5.346
g	2.0E-4	5.0E-4	1.0E-6	2.0E-3	1.0E-6	1.0E-5	2.0E-3
h	2.857	3.333	8.003	2.086	8.065	6.667	3.659
P _G ^{min}	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
P _G ^{max}	0.5	0.6	1.0	1.2	1.0	0.6	1.2

KAOA'nın çevresel ekonomik yük 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.

$$[B] = \begin{bmatrix} 0.05265 & 0.06543 & 0.00356 & -0.02440 & 0.00863 & -0.03560 & 0.01715 \\ 0.06543 & 0.02569 & 0.00467 & -0.01650 & 0.00436 & 0.00298 & 0.00231 \\ 0.00356 & 0.00467 & 0.05873 & -0.01560 & -0.05340 & -0.0481 & -0.0198 \\ -0.0244 & -0.0165 & -0.0156 & 0.28751 & 0.29826 & 0.28165 & 0.19374 \\ 0.00863 & 0.00436 & -0.0534 & 0.29826 & 0.33386 & -0.0785 & -0.0198 \\ -0.0356 & 0.00298 & -0.0481 & 0.28165 & -0.0785 & 0.03214 & 0.02497 \\ 0.01715 & 0.00231 & -0.0198 & 0.19374 & -0.0198 & 0.02497 & 0.03418 \end{bmatrix}$$
$$[B_0] = [-0.0324 \quad 0.02145 \quad -0.0193 \quad 0.00538 \quad 0.00612 \quad 0.00861 \quad 0.01061]$$
$$[B_{00}] = [0.01085]$$

Ağırlık değerleri $w = 1.0$ 'dan başlayarak 0.1 aralıklarla $w = 0.0$ olana kadar 100 iterasyon ile çalıştırılmış ve optimal sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2'de KAOA ile elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 2. IEEE 57 Baralı 7 Jeneratörlü Test Sistemi İçin Elde Edilen KAOA Değerleri

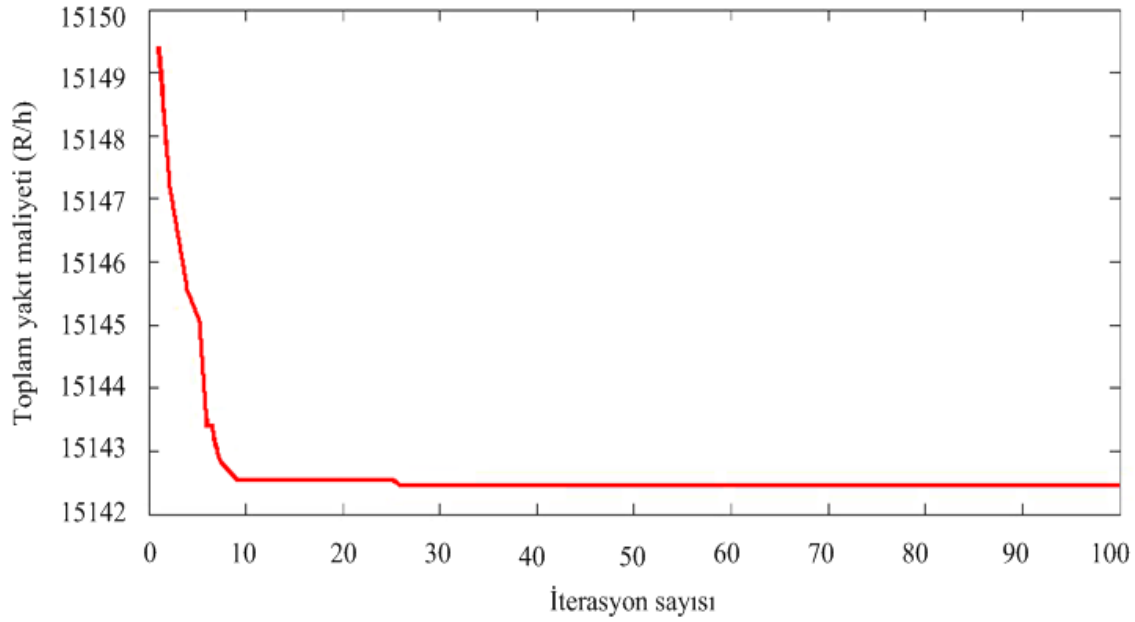
Ağırlık Değeri	Üretim birimlerinin per-unit cinsinden çıkış güçleri (pu)						
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇
1.0	3.88134	1.64557	2.35345	1.22457	1.65674	0.83544	0.73544
0.9	3.81390	1.61652	2.38670	1.46562	1.64653	0.85312	0.75636
0.8	3.81038	1.75455	2.37656	1.43613	1.74565	0.96464	0.80434
0.7	3.84575	1.76145	2.48940	1.46462	1.73452	0.98469	0.76781
0.6	3.86545	1.78621	2.45246	1.34637	1.76435	1.00451	0.81765
0.5	4.00331	1.63136	2.36244	1.36165	1.65152	1.11252	0.79453
0.4	4.00540	1.64364	2.38160	1.42461	1.72460	0.91954	0.84643
0.3	3.92184	1.71165	2.48914	1.30014	1.70048	0.94998	0.86352
0.2	3.90531	1.73942	2.49646	1.39810	1.69943	0.87753	0.80043
0.1	3.86927	1.74448	2.40974	1.39378	1.69076	0.97951	0.78329
0.0	3.88632	1.65889	2.39932	1.45033	1.68572	0.88836	0.84356

Tablo 3’de KAOA için IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sistemine ait maliyet, emisyon, hat kayıpları ve algoritmaların optimal çözümleri için harcanan süreler gösterilmiştir.

Tablo 3. Maliyet, Emisyon, Hat Kayıpları ve Algoritmaların Optimal Çözümleri İçin Harcanan Süreler

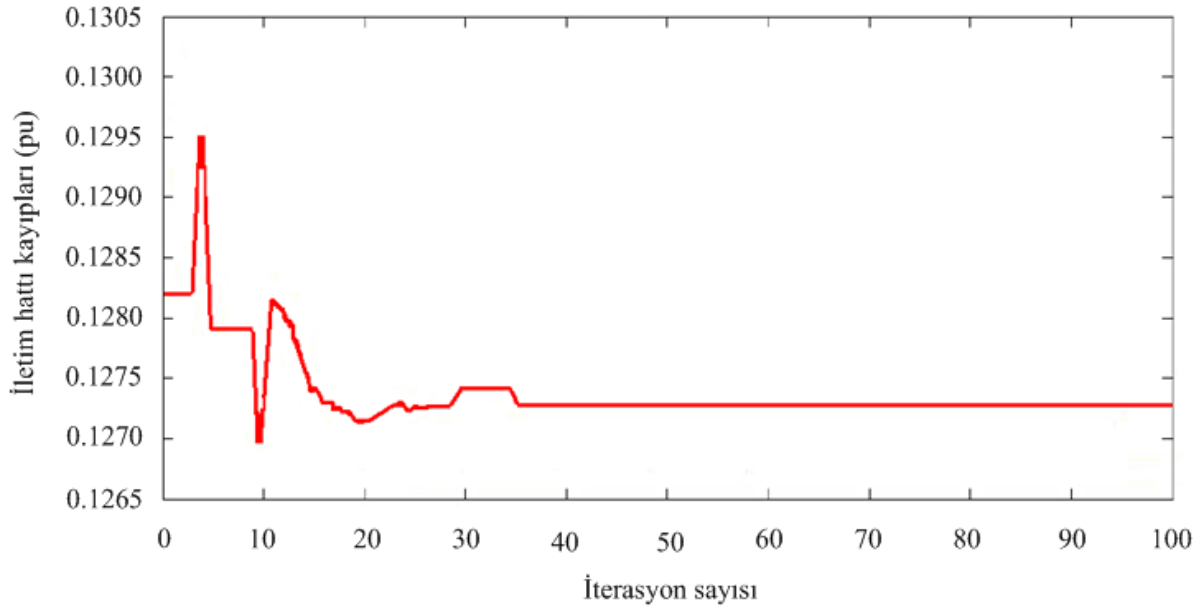
Algoritma Türü	Ağırlık Değeri (w)	Maliyet Değeri F_{Toplam} (R/h)	Emisyon Değeri E_{Toplam} (ton/h)	Hat Kayıpları (pu cinsinden)	Süre (sn)
KAOA	1.0	15149.054	0.28643	0.1283	0.297
	0.9	15148.976	0.27470	0.1279	0.283
	0.8	15148.952	0.28753	0.1276	0.281
	0.7	15148.763	0.28704	0.1291	0.253
	0.6	15147.008	0.28897	0.1295	0.301
	0.5	15146.651	0.27681	0.1280	0.306
	0.4	15146.635	0.27941	0.1289	0.277
	0.3	15145.003	0.28606	0.1297	0.296
	0.2	15144.430	0.27599	0.1281	0.291
	0.1	15143.769	0.28587	0.1274	0.295
	0.0	15143.410	0.28766	0.1271	0.282

Şekil 4’de KAOA’nın IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sistemine uygulanmasından elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin değişim grafiği gösterilmiştir. Şekil 5’de KAOA’nın IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sistemine uygulanmasından elde edilen iletim hattı kayıp değerlerinin değişim grafiği gösterilmiştir. Şekil 6’da ise KAOA’nın IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sistemine uygulanmasından elde edilen generatör çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimini gösteren grafikler verilmiştir.

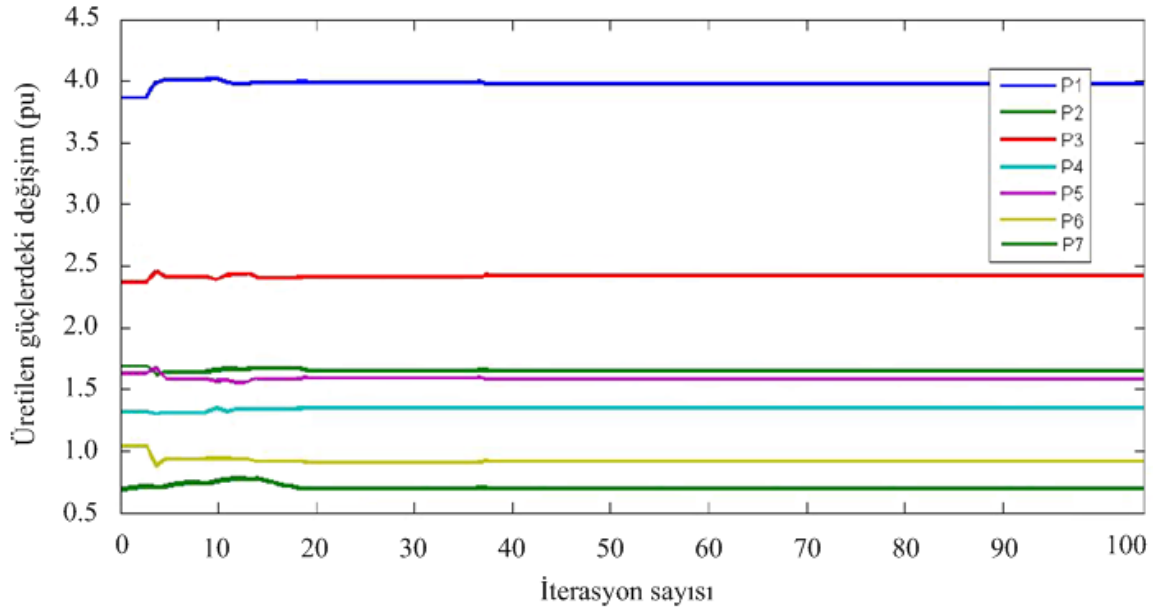


Şekil 4: Toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafiği

Şekil 4 incelenecek olursa, toplam yakıt maliyeti yaklaşık 27. iterasyonda en düşük değerine ulaşmaktadır. Toplam yakıt maliyeti 15142 ile 15150 (R/h) değerleri arasında değişmektedir. Şekil 5 incelendiğinde enerji iletim hatlarındaki güç kaybının değişimi yaklaşık 38. iterasyondan sonra değişmemiştir. Şekil 6 incelendiğinde jeneratör çıkış güçlerinin yaklaşık P_4 'ün 12., P_1 , P_2 ve P_7 'nin 36., P_3 , P_5 ve P_6 'nın 38. iterasyonda en uygun değeri yakaladığı anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle, en uygun değerler yaklaşık 12 iterasyon ile 38. iterasyonlar arasında bulunmuştur. Sistemin 38. iterasyondan sonra en uygun değeri yakalamış ve bu değerde sabit kalmıştır. Test sistemindeki değişimlerin eşzamanlı olarak azalması, yapılan işlemlerin doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 5: İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişim grafiği



Şekil 6: Üretilen güçlerin iterasyonlara göre değişim grafikleri

Tablo 4’de test sistemi için elde edilen optimal çözümler koyu olarak literatürdeki sonuçlarla birlikte karşılaştırılmıştır. KAOA ile IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sisteminin çözümü yaklaşık 0.314 sn sürmüştür. Buna göre KAOA optimal çözümü elde etme açısından

diğer çoğu optimizasyon metotlarına göre daha basit ve kolay kodlanabilir bir algoritma olmakla birlikte oldukça hızlıdır. Tablo 4 incelendiğinde IEEE 57 baralı 7 jeneratörlü test sistemi için KAOA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırıldığında, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), genetik algoritma (GA), benzetim tavlama (BT), çoklu tabu arama (ÇTA), genişletilmiş parçacık sürü optimizasyonu (EPSO) ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca KAOA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin yeni adaptif parçacık sürü optimizasyonu (YAPSO) ve geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu (GPSO) ile elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerine göre yakınsama sağladığı görülmektedir.

Tablo 4. Test Sisteminin Literatürdeki Diğer Optimal Çözümler ile Karşılaştırılması

Baralar (MW)	Sezgisel Algoritmalar							
	PSO[12]	GA[11]	BT[10]	ÇTA[16]	EPSO[9]	YAPSO[8]	GPSO[19]	KAOA
G ₁	446.4869	474.8066	478.1258	448.1287	459.0753	446.4232	447.1130	445.6783
G ₂	168.6612	178.6363	163.0249	172.8082	185.0675	172.6080	173.0900	175.3452
G ₃	265.0000	262.2089	261.7143	262.5932	264.2094	262.6183	262.0440	262.0004
G ₄	139.4927	134.2826	125.7665	136.9605	138.122	142.7752	141.8220	142.5734
G ₅	164.0036	151.9039	153.7056	168.2031	154.4716	164.6650	165.2370	165.5239
G ₆	91.7465	74.1812	93.7965	87.3304	74.9900	86.3230	86.3411	86.2741
G ₇	217.4282	219.5329	216.3207	214.5632	216.5239	215.8354	216.0012	215.4323
G _{Toplam}	1275.3911	1276.030	1276.133	1276.023	1275.940	1275.4131	1275.6471	1276.522
P _{Kayıp}	12.3736	13.0217	13.1317	13.0205	12.9422	12.4131	12.6476	12.5393
F _{Toplam}	15443.092	15459.00	15461.10	15450.06	15454.89	15443.765	15446.549	15441.783

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada termik güç santralleri etkisinde olan kayıplı bir güç sistemindeki çevresel ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için kaos tabanlı ateşböceği optimizasyon algoritması “KAOA” uygulanmıştır. Çözüm işleminde ağırlık faktörü 0,0’den başlayarak 0,1’lik artımlarla 1,0’a kadar değiştirilmiştir. KAOA ağırlık katsayısının her bir değeri için en iyi sonuca ulaşmaya çalışmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerlerin, literatürde verilen değerlere yakın olduğu anlaşılmış ve kısmen daha iyi sonuç elde edilmiştir. Klasik ateşböceği optimizasyon

algoritmasının ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünü gerçekleştiremediği kısımlarda, KAOA çözüme daha kolay ulaşmıştır. Bunun sonucunda kısıt sayısının fazla olduğu ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünde KAOA'nın kullanılmasının daha avantajlı olduğu görülmektedir. İleriki çalışmalarda KAOA daha da geliştirilerek çözüm uzayının çok büyük olduğu ve çok fazla matematiksel metodun kullanıldığı kısa ve uzun dönem hidrotermal çevresel ekonomik yük dağıtım problemlerine uygulanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]Özyön S. Yaşar C. Temurtaş H. Aydın D. (2012). Yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerine geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu yaklaşımı. Çankaya University Journal of Science and Engineering, Vol. 9, No. 2, 89-106.
- [2]Neyestani M. Farsangi M.M. and Nezamabadi-Pour H. (2010). A modified particle swarm optimization for economic dispatch with non-smooth cost functions. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23, 1121-1126.
- [3]Labbi Y. and Attous D. (2010). Big bang - big crunch optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 16, No. 1, 48-56.
- [4]Wang L. and Singh C. (2007). Environmental / economic power dispatch using a fuzzified multi-objective particle swarm optimization algorithm. Electric Power Systems Research, Vol. 77, No. 12, 1654-1664.
- [5]Yaşar C. Temurtaş H. Özyön S. (2010). “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, 2-5 Aralık 2010, pp. 26-30.
- [6]Yaşar C. Özyön S. Temurtaş H. (2008). “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, 26-30 Kasım 2008, pp. 105-109.
- [7]Das D.B. and Patvardhan C. (1998). New multi-objective stochastic search technique for

- economic load dispatch. IEEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution, Vol. 145, No. 6, 747-752.
- [8] Yaşar C. Özyön S. (2011). A new hybrid approach for nonconvex economic dispatch problem with valve-point effect. *Energy*, 36(10), 5838-5845.
- [9] Malik T.N. Asar A. Wyne M.F. and Akhtar S. (2010). A new hybrid approach for the solution of nonconvex economic dispatch problem with valve-point effects. *Electric Power Systems Research*, Vol. 80, No. 9, 1128-1136.
- [10] Özyön S. Yaşar C. Temurtaş H. (2011). "Differential Evolution Algorithm Approach to Nonconvex Economic Power Dispatch Problems with Valve Point Effect", 6th International Advanced Technologies Symposium, (IATS'11), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011, pp. 181-186.
- [11] Thitithamrongchai C. and Eua-arporn B. (2007). Self-adaptive differential evolution based optimal power flow for units with non-smooth fuel cost functions. *Journal of Electrical Systems*, 3(2), 88-99.
- [12] Özyön S. Yaşar C. Temurtaş H. (2011). "Particle Swarm Optimization Algorithm for the Solution of Nonconvex Economic Dispatch Problem with Valve Point Effect", 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, (ELECO'11), Bursa, Turkey, Vol. 1, 01-04 December 2011, pp. 101-105.
- [13] Özyön S. Yaşar C. Özcan G. and Temurtaş H. (2011). "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.
- [14] Ongsakul W. and Tantimaporn T. (2006). Optimal power flow by improved evolutionary programming. *Electric Power Components and Systems*, 34(1), 79-95.
- [15] Özyön S. Yaşar C. and Temurtaş H. (2011). Harmony search algorithm applied to environmental economic power dispatch problem. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 26(2), 65-76.
- [16] Karaboğa D. "Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları", Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul, Türkiye, (2014), pp. 32-37.
- [17] Noman N. Iba H. (2008). Differential evolution for economic load dispatch problems.

- Electric Power Systems Research, Vol. 78, No. 8, 1322-1331.
- [18] Hemamalini S. and Simon S.P. (2011). Dynamic economic dispatch using artificial immune system for units with valve-point effect. *Electrical Power and Energy Systems*, 33(4), 868-874.
- [19] Zare K. Haque M.T. and Davoodi E. (2012). Solving non-convex economic dispatch problem with valve point effects using modified group search optimizer method. *Electric Power Systems Research*, 84(1), 83-89.
- [20] Farhat I.A. and El-hawary M.E. (2010). Dynamic adaptive bacterial foraging algorithm for optimum economic dispatch with valve-point effects and wind power. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 4(9), 989-999.
- [21] Lukasik S. and Zak S. (2009). "Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Tasks", 1th International Conference on Computational Collective Intelligence, Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems, Wroclaw, Poland, pp. 97-106.
- [22] Babu B.G. and Kannan M. (2002). Lightning bugs. *Resonance*, 7(9), 49-55.
- [23] Fraga H. (2008). Firefly luminescence: A historical perspective and recent developments. *Journal of Photochemical and Photobiological Sciences*, 7, 146-158.
- [24] Yang X.S. "Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms", Luniver Press, Frome, BA11 6TT, United Kingdom, (2008), pp. 52-57.
- [25] Yang X.S. (2009). "Firefly Algorithms For Multimodal Optimization", Proceedings of the 5th International Conference on Stochastic Algorithms: Foundations and Applications - SAGA Sapporo, Japan, pp. 169-178.
- [26] Apostolopoulos T. and Vlachos A. (2011). Application of the firefly algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem. *International Journal of Combinatorics*, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2011, 1-23.
- [27] Ayan K. and Kılıç U. (2011). "Optimal Reactive Power Flow Solution with Chaotic Artificial Bee Colony", 6th International Advanced Technologies Symposium, (IATS'11), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011, pp. 20-24.