



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye’deki Güç Sisteminde Karga Arama Algoritması Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtımı

 Cenk ANDIÇ^{a,*},  Ali ÖZTÜRK^a,  Salih TOSUN^b

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cnkandic@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.578096

ÖZET

Enerjinin talebinin artması ile elektrik güç sistemlerinin çalışmasının planlanması ve en uygun koşullarda işletilmesi son zamanlarda artarak önem kazanmaktadır. Ülkemizde ve dünya genelinde talep edilen elektrik enerjisi oldukça yüksek oranla termik yakıtlı santraller tarafından karşılanmaktadır. Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) probleminde termik yakıtlı santrallerin yakıt maliyetleri azaltılarak şebekenin işletilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada sezgisel yöntemlerden biri olan Karga Arama Algoritması (KAA) uygulanarak Türkiye’de kullanılan 400 kV’luk, 6 adet termik yakıtlı santrali bulunan 14 baralı bir güç sisteminde EYD problemi çözülmüştür. Yapılan çalışmada, jeneratörlerin üretim limit değerleri, hat kayıpları ve üretim-tüketim güç dengesi dikkate alınarak sistemin toplam yakıt maliyetini en aza indirmek için jeneratörlerin optimum çalışma şartları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karga arama algoritması, Güç sistemleri, Ekonomik yük dağıtımı, Optimizasyon.

Economic Dispatch by Using Crow Search Algorithm Power System in Turkey

ABSTRACT

The planning of electricity power systems operation with increasing energy demand and its operation under optimum conditions have gained more value in nowadays. The demanded electrical energy in the world and in our country is met by thermal fuel plants with a very high rate. In the case of Economic Dispatch (ED), the fuel costs of thermal power plants should be reduced. In this study, thermal plants should operate by using Crow Search Algorithm (CSA) is one of the heuristic methods, ED analysis of 14 buses and 6 thermal plants with 400 kV has been conducted. In the analyzes, generator capacity constraints, with line loss and production-consumption power balance are taken into consideration and optimum operating conditions of generators are determined in order to minimize the total fuel cost of the system.

Keywords: Crow search algorithm, Power system, Economic dispatch, Optimization.

I. GİRİŞ

Teknolojinin büyümesi ile birlikte güç sistemlerinde enerji talebi her geçen gün artmaktadır ve bu durum güç sistemlerinin yapısını daha da karmaşıklaştırmaktadır. Enerji talebinin artması ve talebi karşılayacak enerji kaynaklarının yetersiz kalması sebebiyle güç sistemlerinin işletiminin planlanması ve en uygun koşullarda işletilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle güç sistemlerinde EYD, reaktif güç optimizasyonu ve optimal güç akışı çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Güç sistemlerinin daha verimli işletilebilmesi için EYD probleminin çözümü artarak önem kazanmaktadır. EYD problemi yükün talep ettiği güce, santrallerin üretebilecekleri kapasite limitleri dikkate alınarak, jeneratörlerin yakıt maliyetlerinin en aza indirgenmesinden ibarettir [1]. Güç sistemlerinde jeneratörlerin yakıt maliyetlerinin en aza indirilmesi işleminde jeneratörlerin ürettikleri güçler, jeneratörlerin çalışma sınır aralıkları olan en büyük ve en küçük limit aralığında optimal değerde olması beklenmektedir [2].

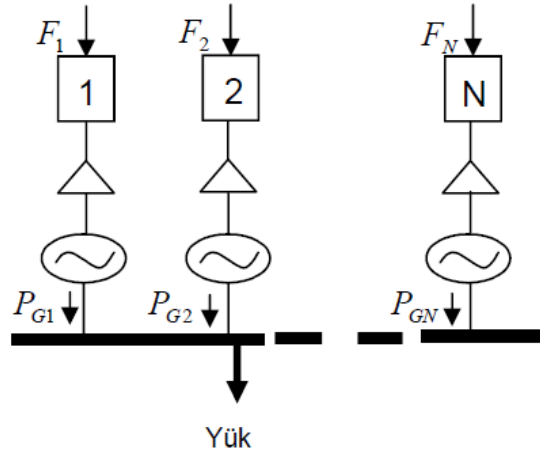
Günümüzde EYD probleminin çözülmesinde uygulanan matematiksel yöntemlere alternatif bir şekilde güvenilen, hızlı ve etkili optimizasyon algoritmaları olan sezgisel yöntemler uygulanmaktadır. Bouktir v.d [3] çoklu Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) algoritmasını uygulayarak çevresel ve EYD problemini araştırmışlardır. Younes v.d [4] IEEE'nin 3 farklı güç sisteminde en az yakıt maliyetinde jeneratörlerin aktif ve reaktif güç değerlerini Genetik Algoritma (GA) uygulayarak elde etmişlerdir. Cai v.d [5] kaotik karınca sürüsü optimizasyon algoritmasını uygulayarak EYD sorununu araştırmışlardır. Sinha v.d [6] evrim programlama yöntemlerinin EYD sorununun çözümündeki başarımını incelemişlerdir. Prasanna v.d [7] IEEE'nin güç sisteminde hem evrim programlama algoritması hem de tabu arama algoritmasını dahil eden bir melez fuzzy izlemine ilgili algoritma ile EYD sorununu incelemişlerdir. Selvakumar ve Thanushkodi [8] yeni PSO algoritması uygulayarak EYD sorununu incelemişlerdir. Wang ve Singh [9] değişiklik yapılmış PSO algoritmasını uygulayarak IEEE'nin bir güç sisteminde çevresel etkileride dahil edilen EYD sorununu çözmüşlerdir. Demirören ve Zeynelgil [10] GA uygulayarak çevresel etkileri dahil etmiştir ve EYD sorunuyla ilgilenmişlerdir. Altun ve Yalçınöz [11] GA, hopfield ve fazla saklı tabakalı yapay sinir ağı yöntemlerini uygulayarak EYD problemini araştırmışlardır. Mohamed ve Koivo [12] çoklu optimizasyon algoritmasını değerlendirerek mikro şebekeli bir güç sisteminde ekonomik ve çevresel yönden EYD problemini çözmüşlerdir. Yalçınöz ve Short [13] EYD sorununu hopfield yapay sinir ağını uygulayarak değerlendirmişlerdir. Mousa [14] hibrit karınca optimizasyon tekniğini uygulayarak EYD sorununu hem iktisadi hem de çevresel açıdan SO_x, NO_x, CO_x gaz emisyonlarını en aza indirecek şekilde incelemiştir. Jeddi ve Vahidinasab [15] modifiye edilmiş uyum arama yöntemi ile EYD sorununu hem çevresel hem de ekonomik olarak gerçek bir güç sistemini incelemiştir. Dosoglu v.d [16] simbiyotik organizmalar arama yöntemi kullanarak EYD problemini farklı test kısıtlamaları olan çeşitli test durumları ile incelemişlerdir

Kurban ve Başaran [17] ise ülkemizde işletilmekte olan 400 kV'luk, 6 adet termik yakıtlı santrali bulunan 14 baralı bir güç sisteminde EYD sorununun çözümünde Lagrange fonksiyonu uygulanmıştır. Öztürk v.d [18] ise [17]'de belirtilen güç sisteminin sezgisel yöntemler olan Benzetilmiş Tavlama (BT), GA ve Tabu Arama (TA) algoritmaları uygulanarak EYD problemini çözmüştür. Bu makalede ise [17]'deki EYD probleminin sezgisel bir yöntem olan KAA uygulanarak çözülmüştür. KAA kullanılarak elde edilen sonuçlar ile Lagrange fonksiyonunun [17] ve BT, GA, ve TA kullanıldığı mevcut çalışmadan [18] elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Netice itibarıyla çalışma sonuçları kıyaslandığında KAA'nın diğer yöntemlere göre daha uygun sonuçlar verdiği ve ülkemizde işletilen 14 baralı güç sisteminde EYD sorununun çözümünde başarılı bir şekilde uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

II. EKONOMİK YÜK DAĞITIMI

EYD problemi, güç sistemlerindeki artan yük taleplerini jeneratörlerin yakıt maliyetini en aza indirmek amaçlı, jeneratörlerin çalışma sınır aralığını göz önünde bulundurarak eş zamanlı olarak paylaşılması ile çözülür. Ekonomik yük dağıtımı, belirli kısa periyotlar ile istenilen yük istikametinde sistemde bulunan tüm üretim birimleri için güç paylaşılmasıdır [19]. Şekil 1'deki güç sisteminde

yükün talep ettiği gücün, N adet termik santral tarafından karşılanması gösterilmektedir. Şekil 1'deki F_1, F_2, \dots, F_N ifadeleri her bir termik santralin yakıt maliyetini temsil etmektedir.



Şekil 1. Yükün talep ettiği gücü karşılayan N adet termik yakıtlı santral [20].

Yük tarafından talep edilen güçler, güç sisteminde bulunan termik santraller arasında paylaşılmaktadır. Termik santraller bu çıkış gücünü üretebilmek için yakıt yakmaktadırlar ve her bir termik santralin yakıt maliyeti fonksiyonu farklıdır. Ekonomik yük dağıtımının amacı, sistemde bulunan tüm termik santrallerin yakıt maliyet toplamını en aza indireyecek şekilde şebekenin işletilmesidir, Eş. 1'de problemin amaç fonksiyonu ifade edilmektedir [1-16].

Amaç fonksiyonu.

$$C = \text{Min} \sum_{i=1}^N F_i(P_{Gi}) = \text{Min} \sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (1)$$

Bu problemde kısıt fonksiyonlarından biri olarak jeneratörlerin çalışma sınır değerleri Eş. 2'de belirtilmiştir, jeneratörlerin üretim güçleri belirtilen sınır değerleri arasında olmak zorundadır ve diğer kısıt fonksiyonu olan sistemin güç dengesi eşitliği ise Eş. 3'de gösterilmiştir.

Kısıt fonksiyonları.

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

$$KF = \sum_{i=1}^N P_{Gi} - P_D - P_L = 0 \quad (3)$$

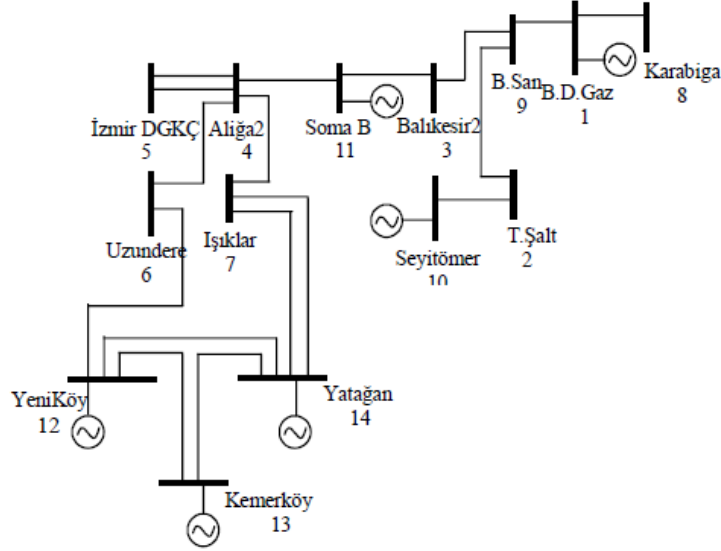
Eş. 3'te gösterilen P_{Gi} sistemdeki termik santrallerin ürettikleri güç miktarını, P_D sistemden bulunan yüklerin talep ettiği güç miktarını ve P_L ise sistemde meydana gelen iletim kayıplarını temsil etmektedir. Eş. 4'te ise iletim kayıplarının P_L formülü gösterilmektedir. Eş. 4'te belirtilen B_{ij} kayıp matrisinin elemanlarını temsil etmektedir.

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{0i} P_i + B_{00} \quad (4)$$

Özetle, Eş. 1'de gösterilen denklem altında KAA'da amaç fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Amaç fonksiyonunda kullanılan değişkenlere (P_{Gi}), Eş. 2'de belirtilen limit değerleri aralığında rastgele değerler verilmektedir. Eş. 3'de ise termik santrallerin ürettikleri güç değeri güç dengesi açısından talep edilen güçleri ve kayıpları karşılamak zorundadır.

III. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Şekil 2’de gösterilen 14 baralı, 6 jeneratörlü Türkiye’de kullanılan bir güç sisteminde sezgisel yöntem olan KAA kullanılarak minimum işletme maliyeti sağlayacak şekilde jeneratörlerin en uygun çalışma şartları belirlenerek EYD problemi çözülmüştür.



Şekil 2. 400 kV, 14 bara, 6 jeneratörlü sistem [17].

Tablo 1’de EYD problemi için 400 kV sistemde bulunan jeneratörlerin yakıt maliyet fonksiyonunda kullanılan a , b ve c katsayı değerleri ve jeneratörlerin çalışma sınır değerleri verilmektedir [17].

Tablo 1. Jeneratör verileri.

Termik Santraller	P_{Gi}^{min} (MW)	P_{Gi}^{max} (MW)	a	b	c
Bursa D. Gaz	318	1432	6780.5	5.682	0.0106
Seyitömer	150	600	1564.4	3.1288	0.0139
Soma B	210	990	5134.1	6.2232	0.0168
YeniKöy	110	420	1159.5	3.3128	0.021
Kemerköy	140	630	1697	3.2324	0.0137
Yatağan	140	630	1822.8	3.472	0.0147

A. KARGA ARAMA ALGORİTMASI

KAA, kargaların kendi aralarında etkileşim halinde olduğu düşüncesine dayanır. Kargaların etkileşiminden olan kasıt birbirlerinin uçuşlarını izlemeleri, izledikleri kargaların yiyeceklerini nereye sakladıklarını gözlemeleri ve yuvanın sahibi olan karganın yuvayı terk ettikten sonra izleyen karganın gelip yiyecekleri çalmasından esinlenilmiş bir algoritmadır. Bu yaklaşım optimizasyon yöntemi adı altında ilk kez Askarzadeh aracılığıyla 2016 senesinde sunulmuştur [21].

KAA, kargaların akıllıca davranışlarını temel alan, metasezgisel bir geliştirilmiş sürü algoritmasıdır. KA’nın temel ilkeleri aşağıda listelenmiştir:

- Kargalar sürü şeklinde yaşarlar.
- Her bir karganın hafızasında yuvalarının konumu vardır.
- Kargalar yiyeceklerinin fazlasını yuvalarında depo ederler.
- Kargalar, diğer kargaların yiyeceklerini çalmak için birbirlerini izlerler.

CAA'sı, karga sürüsünde yer alan kargaların rastgele sahip oldukları konumlar ile başlar. Temel ilkelerde belirtildiği üzere kargalar, yiyeceklerinin fazlasını yuvalarında depo ederler ve her bir karga yuvasının konumunu ezberler. Karga sürüsünde yer alan iki karganın (i ve j) davranışlarını inceleyecek olursak, j . karganın yuvasına uçtuğunu varsayalım ve i . karga, j . kargayı takip etmeye başlar. Kargalar akıllı bir kuş oldukları için, i . karga j . karganın yuvasında yiyecekler depoladığını tahmin etmektedir ve bu sebeple onu takip etmektedir. Burada, iki durumun olması söz konusudur, ilk olarak j . karga takip edildiğini fark edecek ve yuvasına gitmekten vazgeçip i . karganın kafasını karıştırmak amacıyla arama uzayında rastgele bir yere gidecektir. Eğer i . karga rastgele gittiği yerde hafızasındaki mevcut konumdan daha çok yiyecek var ise i . karga yuvası olarak hafızasındaki konumu bulduğu yeni konum ile güncelleyecektir. İkinci durum olarak j . karga takip edildiğini fark etmeyecek ve yuvasına uçmaya devam edecektir. Bu durumda da eğer j . karganın yuvasındaki yiyecek, i . karganın yuvasından daha çok ise i . karga hafızasındaki yuvanın konumunu, j . karganın yuvasının konumuyla güncelleyecektir, bu durumun algoritma şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.

```

x(i,:) = xnew(i,:);
if ft(i) < fit_mem(i)
    em(i,:) = xnew(i,:);
    fit_mem(i) = ft(i);
end

```

Şekil 3. Karga hafızasının güncellenmesi.

Kargaların takip edildiğini fark edip etmemesi olarak ifade edilen farkındalık olasılığı (awareness probabily), KA'nın ayar parametrelerinden biridir. Farkındalık olasılığının algoritmada yer alması, algoritmaya sezgisellik katmıştır. Farkındalık olasılığı, CAA için Eş. 5'te gösterilmektedir.

$$x^{i,iter+1} = \begin{cases} x^{i,iter} + r_i x^{fl,i,iter} x(m^{i,iter} - x^{i,iter}) & r_j \geq AP^{i,iter} \\ \text{bir rastgele konum} & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (5)$$

CAA için diğer ayar parametresi ise uçuş mesafesi (flight length)'dir. Uçuş mesafesi karganın uçabileceği menzili temsil etmektedir. Eğer takip edilen j . karga, i . karganın uçuş mesafesinin dışında ise menzilin dışında kalmasından dolayı i . karga, j . kargayı takip edemeyecektir. Algoritmada belirtilen iterasyon sayısı boyunca, bu işlemler yineleneyecektir. Her bir karganın iterasyon boyunca, yeni yerler keşfetmesi, yeni yerlerin mevcut en iyi konum ile karşılaştırılması ve mevcut konumdan daha iyi bir değer ise hafızada tutulan konumun güncellenmesi işlemleri zaman almaktadır. Bu sebeple algoritmanın hesaplama süresi diğer algoritmalara göre daha uzun sürmektedir. Şekil 4'te CAA'nın akış şeması gösterilmektedir [21].

```

Arama uzayındaki N karga sürüsünün konumunu rastgele başlat
Kargaların konumlarını değerlendir
Her karganın hafızasını sıfırla
while iter < iter_max
    for i = 1:N (sürüde bulunan tüm N kargalar)
        Takip etmek için kargalardan rastgele birini seçin (örneğin j)
        Bir farkındalık olasılığı tanımlayın
        if r_j ≥ AP^{i,iter}
            x^{i,iter+1} = x^{i,iter} + r_i x^{fl,i,iter} x(m^{i,iter} - x^{i,iter})
        else
            x^{i,iter+1} = arama uzayında rastgele bir konum
        end if
    end for
    Yeni konumların uygulanabilirliği kontrol et
    Kargaların yeni konumlarını değerlendir
    Kargaların hafızasını güncelle
end while

```

Şekil 4. Karga algoritmasının akış şeması.

B. KARGA ARAMA ALGORİTMASININ PROBLEME UYGULANMASI

Eş. 6'da EYD probleminin yakıt maliyetini en aza indirmek için kullanılan amaç fonksiyonu belirtilmektedir.

Amaç fonksiyonu.

$$AF = \text{Min} \sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (6)$$

Eş. 6'da belirtilen a_i , b_i ve c_i katsayıları jeneratörlerin yakıt maliyetini temsil eden fonksiyonun katsayılarıdır. Türkiye'de işletilen 400 kV, 14 baralı güç sisteminde 6 tane termik santral bulunmaktadır. Termik jeneratörlerin yakıt maliyeti fonksiyonlarında yer alan a_i , b_i ve c_i katsayıları Tablo 1'de verilmektedir. KAA'nın amacı, belirli değişken kısıtları altında Eş. 5'te verilen amaç fonksiyonunun en aza indirilmesidir. EYD problemi için değişken kısıtları ise Eş. 7 ve 8'de gösterilmektedir.

Kısıt fonksiyonları.

$$\sum_{i=1}^N P_{Gi} - P_D - P_L = 0 \quad (7)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (8)$$

Eş. 7'de üretilen güç ile tüketilen güç dengesi şartı, birinci kısıt olarak belirtilmektedir. Jeneratörlerin ürettiği güçlerin toplamı, yükün talep ettiği gücü ve iletim hatlarında meydana gelen kayıpları karşılamak zorundadır. Yükün talep gücü, P_D olarak ifade edilmiştir. 400 kV, 14 baralı sistemde yüklerin sistemden talep ettiği toplam güç miktarı 2734.9 MW'tır [14]. Bu talep edilen güç, sistemde bulunan 6 adet termik santral tarafından karşılanmaktadır.

EYD probleminde jeneratörlerin yakıt maliyet fonksiyonunu en aza indirgeyecek şekilde, yükün talep ettiği gücü (P_D), sistemde bulunan 6 jeneratör ile paylaşılacaktır. Ancak Tablo 1'de gösterildiği üzere her bir jeneratörün çalışma sınır aralığı vardır. Eş. 8'de ise jeneratörlerin bu maksimum ve minimum sınır değerleri dikkate alınarak güç paylaşımı yapılması, ikinci kısıt olarak belirtilmektedir.

Bu çalışmada 14 baralı sistemde bulunan 6 termik santralin üretim güçlerini bulabilmek amaçlı, Karga arama algoritmasında 6 adet değişken bulunmaktadır. Karga sürü sayısı [18]'deki çalışmadan yola çıkarak 100 olarak tercih edilmiştir. İlk başta kargaların konumları belirlenen alt ve üst sınır değerleri aralığında rastgele verilmektedir (Eş. 9).

$$X_c(j) = [u(j) - (u(j) - l(j)) * rand] \quad (9)$$

IV. BENZETİM SONUÇLARI

Türkiye'de kullanılan 400 kV, 14 bara, 6 jeneratörlü güç sisteminde EYD problemi, sezgisel bir yöntem olan KAA ile en az 40 kez koşturulmuştur. KAA'nın ayar parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. KAA ayar parametreleri, [18]'de belirtilen ayar parametreleri ile uyumlu seçilmiştir.

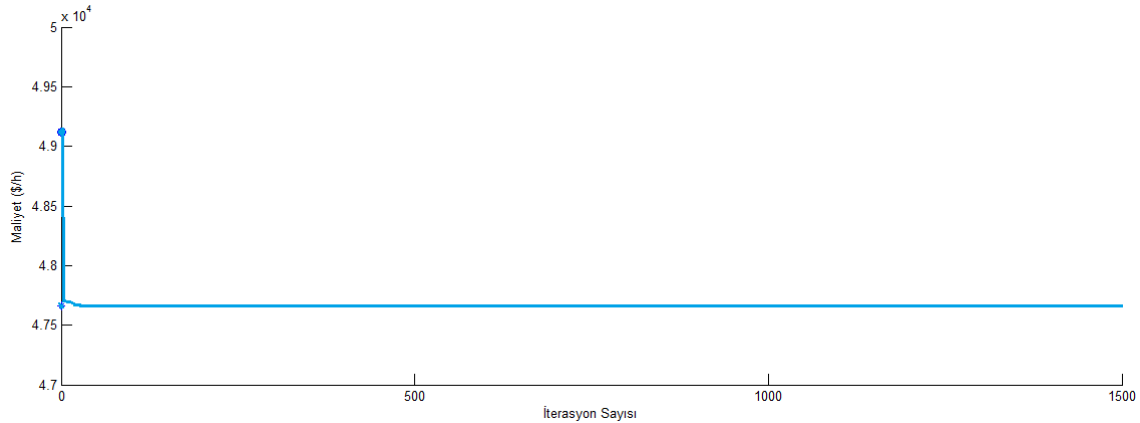
Tablo 2. Karga arama algoritmasının ayar parametreleri.

<i>Algoritma Türü</i>	<i>Popülasyon Boyutu</i>	<i>Generasyon Sayısı</i>	<i>fl</i>	<i>AP</i>
KAA	100	1000	2	0.1
GA [18]	100	1000	-	-

Sistemde bulunan yüklerin talep ettikleri 2734.9 MW'lık gücün, sistemin ekonomik işletilmesi göz önünde bulundurularak jeneratörler tarafından paylaşılması problemi, sezgisel bir yöntem olan KAA ile en az 40 kez koşturulmuştur ve elde edilen sonuçlar, mevcut çalışmalar [17] ve [18] ile birlikte Tablo 3'te gösterilmektedir. Jeneratörlerin toplam maliyet eğrisi ise Şekil 5'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Kargo arama algoritması sonucu ile mevcut çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.

Talep Edilen Güç		2734.9 MW				
Yöntem	KAA	GA [18]	BT [18]	TA [18]	LF [17]	
Bursa D. Gaz (MW)	557.3107	554.0455	483.5981	553.6206	573.0010	
Seyitömer (MW)	519.3833	496.9588	478.4897	503.5243	520.3039	
Soma B. (MW)	330.1128	320.8094	294.8322	358.3317	352.5975	
Yeniköy (MW)	336.7874	357.1712	374.3331	321.1134	335.5975	
Kemerköy (MW)	519.3440	519.6204	582.2331	519.5332	523.9189	
Yatağan (MW)	471.9617	486.6204	521.4198	478.7977	472.2131	
Maliyet (\$/h)	47661.6375	47679.2861	47876	47678	48481	



Şekil 5. Kargo arama algoritmasının her bir iterasyondaki maliyet fonksiyonunun değişim eğrisi.

V. SONUÇ

Güç sisteminde talep edilen gücün artması ve bu talebin en uygun şekilde karşılanabilmesi için sistemin işletme analizi yapılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de kullanılan 14 baralı bir güç sisteminde EYD problemi KAA kullanılarak çözülmüştür. EYD probleminde talep edilen 2734.9 MW'lık gücü karşılamak için güç sistemindeki jeneratörlerinin birim yakıt maliyetleri yüksek olanlarının üretimlerinin azaltılması, birim yakıt maliyetinin düşük olanların üretimleri artırılarak güç sisteminin toplam yakıt maliyeti en aza indirilebilir. Tablo 3'de, KAA'nın vermiş olduğu sonuçlar ile mevcut çalışma sonuçları [17] ve [18] ile karşılaştırıldığında KAA'nın yakıt maliyeti açısından en iyi sonucu

verdiği (47661.6375 \$/h) gözlemlenmiştir. Bu durumda 14 baralı güç sisteminin, sezgisel bir yöntem olan KAA ile işletilmesi ekonomik açıdan daha uygun olduğu görülmektedir.

Bu yapılan çalışma ile güç sistemlerinde optimizasyon problemlerinden biri olan EYD probleminin çözülmesinde KAA'nın Lagrange, GA, BT ve TA'yla kıyaslandığında, KAA'nın daha uygun neticeler verdiği görülmüştür. Bu netice ile talep edilen güce göre güç sistemlerinin jeneratörlerin en az yakıt maliyeti ile işletilmesinde sezgisel yöntem olan KAA'nın kullanılması ile sağlanabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Yalçınöz, T. Yavuzer ve H. Altun, "Tabu Araştırma Algoritması Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü," *ELECO*, Türkiye, 2002.
- [2] M. K. Döşoğlu, S. Duman ve A. Öztürk, "Genetik Algoritma Kullanılarak Ekonomik Dağıtım Analizi: Türkiye Uygulaması," *Journal of Polytechnic*, c. 12, s. 3, ss. 167-172, 2009.
- [3] T. Bouktir, R. Labdani ve L. Slimani, "Economic Power Dispatch of Power System with Pollution Control Using Multiobjective Particle Swarm Optimization," *University of Sharjah Journal of Pure & Applied Science*, c. 4, s. 1, ss. 54-77, 2007.
- [4] M. Younes, M. Rahli ve L. A. Koridak, "Economic Power Dispatch Using Evolutionary Algorithm," *Journal of Electrical Engineering*, c. 54, s. 4, ss. 211-217, 2006.
- [5] J. Cai, X. Ma, L. Li, Y. Yang, H. Peng ve X. Wang, "Chaotic Ant Swarm Optimization to Economic Dispatch," *Electric Power Systems Research*, c. 77, s. 1, ss. 1373-1380, 2007.
- [6] N. Sinha, R. Chakrabarti ve K. P. Chattopadhyay, "Evolutionary Programming Techniques for Economic Load Dispatch," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, c. 7, s. 1, ss. 83-94, 2003.
- [7] S. T. Prasanna ve P. Somasundaram, "Multi-Area Security Constrained Economic Dispatch by Fuzzy-Stochastic Algorithms," *Journal of Theoretical and Applied Information Technolohg*, c. 5, s. 1, ss. 88-64, 2009.
- [8] I. A. Selvakumar ve K. Thanushkodi, "Anti-Predatory Particle Swarm Optimization: Solution to Nonconvex Economic Dispatch Problems," *Electric Power Systems Research*, c. 78, s. 1, ss. 2-10, 2008.
- [9] L. Wang ve C. Singh, "Stochastic Economic Emission Load Dispatch Through a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm," *Electric Power Systems Research*, c. 78, s. 1, ss. 1466-1476, 2008.
- [10] A. Demirören ve L. H. Zeynelgil, "Çevresel/Ekonomik Yük Dağıtımında Genetik Algoritmanın Kullanılması," *ELECO*, Türkiye, 2002.
- [11] H. Altun ve T. Yalçınöz, "Comparison of genetic algorithm, hopfield and mlp neural network techniques for a constrained optimization problem," *Yapay Zekâ ve Yapay Sinir Ağlar Uluslararası Tükçe Sempozyumu'nda sunuldu, Çanakkale*, 2003.
- [12] F. A. Mohamed ve N. H. Koivo, "Environmental/Economic power dispatch of microgrid using Multiobjective optimization," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality'nde sunuldu, Valencia*, 2009.

- [13] T. Yalçınöz ve J. M. Short, "Neural Networks Approach for Solving Economic Dispatch Problem With Transmission Capacity Constraints," *IEEE Transactions on Power Systems*, c. 13, s. 2, ss. 307-313, 1998.
- [14] A. A. A. Mousa, "Hybrid Ant Optimization System for Multiobjective Economic Emission Load Dispatch Problem Under Fuzziness," *Swarm and Evolutionary Computation*, c. 18, s. 1, ss. 11-21, 2014.
- [15] B. Jeddi ve V. Vahidinasab, "A Modified Harmony Search Method for Enviromental/Economic Load Dispatch of Real/World Power Systems," *Energy Conversion and Management*, c. 78, s. 1, ss. 661-675, 2014.
- [16] M. K. Dosoglu, U. Guvenc, S. Duman ve Y. Sonmez, "Symbiotic Organisms Search Optimization Algorithm for Economic/Emission Dispatch Problem in Power Systems," *Neural Computing and Applications*, c. 29, s. 3, ss. 721-737, 2018.
- [17] M. Kurban ve Ü. Başaran, "Türkiye'deki 380 kV'luk 14 baralı güç sisteminde ekonomik yüklenme analizi," Elektrik-Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı'nda sunuldu, İstanbul, 2005.
- [18] S. Duman, M. K. Döşoğlu, A. Öztürk ve P. Erdoğan, "Türkiye'deki Güç Sisteminde Tavlama Benzetimi, Genetik Algoritma ve Tabu Araştırma Algoritmaları Kullanılarak Ekonomik Dağıtım," *New World Sciences Academy*, c. 5, s. 1, ss. 64-78, 2010.
- [19] T. Yalçınöz, H. Altun ve M. Uzam, "Economic Dispatch Solution Using a Genetic Algorithm Based on Arithmetic Crossover," *IEEE Power Technology Proceedings*, c. 2, s. 1, ss. 4-15, 2001.
- [20] Ü. Başaran, "Türkiye'deki 380 kV'luk enterkonnekte güç sisteminde çeşitli güç akışı ve ekonomik dağıtım analizleri," Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2004.
- [21] A. Askarzadeh, "A Novel Metaheuristic Method for Solving Constrained Engineering Optimization Problems: Crow Search Algorithm," *Computer and Structures*, c. 169, s. 1, ss. 1-12, 2016.