

Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Yapay İşbirlikçi Algoritması ile Çözümü

Mert Sinan TURGUT¹, Güleser Kalaycı DEMİR^{*2}

¹ Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir

(Alınış / Received: 13.01.2016, Kabul / Accepted: 12.07.2016,
Online Yayınlanma / Published Online: 09.01.2017)

Anahtar Kelimeler
Ekonomik Yük
Dağıtım Problemi,
Üstsezigisel
Algoritmalar,
Yapay İşbirlikçi
Algoritma

Özet: Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) problemi, farklı kapasitelerdeki güç üretim ünitelerinin işletiminin, toplam elektrik talebini en az maliyet ile sağlayacak şekilde en iyilenmesi ile ilgilendir. Üretim ünitelerinin maliyet fonksiyonlarında yer alan valf kısma etkileri ve yasaklı çalışma alanları nedeni ile EYD problemi doğrusal ve konveks olmayan bir en iyileme problemidir. Bu çalışmada, Yapay İşbirlikçi Algoritması (YİA) EYD probleminin çözülmesi amacı ile önerilmiştir. Önerilen yöntem, sürü zekası tabanlı, bir habitatta bulunan av ve avcı ilişkisine dayanan, bütünsel aramada etkili bir üstsezigisel optimizasyon algoritmasıdır. Yöntemin EYD problemindeki etkinliği, iki farklı test üretim sistemine uygulanarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, YİA ile literatürde yer alan diğer en iyileme algoritmalarına göre daha düşük işletim maliyeti elde edileceğini ortaya koymaktadır.

Solution of the Economic Load Dispatch Problems with Artificial Cooperative Search Algorithm

Keywords
Economic Load
Dispatch
problem,
Metaheuristics,
Artificial
Cooperative
Search

Abstract: Economic Load Dispatch (ELD) problem deals with meeting the load demand by optimizing the operation of different power generation units at the minimum operating cost. Caused by the effect of valve-points and prohibited operation zone in the generating units' cost functions, ELD problem is a non-linear and non-convex optimization problem. In this paper, Artificial Cooperative Search (ACS) algorithm is proposed to solve ELD problem. Proposed method, is a Swarm Intelligence-based metaheuristic algorithm, based on the interaction between prey and predator organisms in a habitat, being effective at global search. The effectiveness of the proposed method on ELD problem is examined by applying on two different test generation systems. The results show that ACS algorithm gives lower generation cost than other optimization algorithms in the literature.

*Sorumlu yazar: Güleser Kalaycı DEMİR e-mail: guleser.kalayci@deu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde artan enerji üretim maliyetleri, enerji kaynaklarının gittikçe azalması ve enerji üretimi sırasında ortaya çıkan çevreye zararlı atıklar, optimal ve ekonomik bir biçimde dağıtık enerji üretimini gerekli kılmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir [1]. Sistemin işletiminde yapılacak küçük bir tasarruf, işletim veya yakıt maliyetinde büyük bir kazanç getirebilmektedir. Bu nedenle, bir enerji üretim sisteminin maliyetini minimuma indirmeyi amaçlayan Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) problemi, en önemli elektrik üretim sistemi planlaması problemlerinden birisi sayılmaktadır. EYD problemi, doğası gereği sistem eşitlik ve eşitsizlik kısıtları olan çok kipli, doğrusal olmayan ve konveks olmayan bir en iyileme problemidir [2-3].

Daha iyi bir çözümün getireceği yüksek ekonomik getiri nedeni ile pek çok klasik ve stokastik yaklaşımlar EYD probleminin çözümü için uygulanmıştır. Matematiksel programlama tekniklerine dayalı yöntemler, genellikle sürekli ve düzgün artan maliyet fonksiyonlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bununla birlikte ilgilenilen problemler, yasaklı çalışma alanı kısıtından dolayı sürekli değildir. Ayrıca valf kısma etkilerinin göz önüne alındığı bu ve benzer çalışmalarda maliyet fonksiyonu türevlenebilir değildir. Bu nedenle geleneksel türev tabanlı arama yöntemler, yüksek çözüm performansı gösterememişlerdir [4-6]. EYD probleminin çözümü için üstsezgisel optimizasyon algoritmaları da kullanılmış ve daha tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bu üstsezgisel algoritmalarından bazıları, Tavlama Benzetimi [7-8], Parçacık Sürü Algoritması [9-11], Yapay Arı Kolonisi Algoritması [12] ve Harmoni algoritmasıdır [13-14]. Üstsezgisel

optimizasyon algoritmalar, EYD probleminin kesin çözümlerinin bulunmasının garantisini vermemekle birlikte genellikle daha az hesapsal yük ile optimal çözümler sunabilmektedir. Optimal çözümün doğruluğunun iyileştirilmesi ve farklı uygulamalardaki başarımı halen devam eden aktif bir araştırma alanıdır.

Son yıllarda önerilen Yapay İşbirlikçi Algoritması (YİA) [15] etkili bütünsel araması ve yüksek doğruluklu optimal en iyileme çözümleri nedeni ile dikkat çeken bir üstsezgisel yöntemdir. YİA, doğadaki iki süperorganizma arasındaki iş birliği ve birbirine yarar sağlama mekanizmasından esinlenmiştir. YİA'da av ve avcı rollerini üstlenen iki süperorganizma bir habitat içerisinde (çözüm uzayında) birbiriyle etkileşim kurarak ve göç ederek en iyileme probleminin genel minimumuna yakınsarlar. Bu makalede, EYD gibi çok yerel minimumlu ve doğrusal olmayan bir en iyileme problemi için literatürde var olan yöntemlerden farklı olarak YİA kullanımı önerilmiş ve literatürde yer alan diğer üstsezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, EYD problemlerinin çözülmesinde YİA kullanımının çok daha iyi sonuçlar verdiğini, dolayısı ile enerji üretim sisteminin maliyetini en azlamada güçlü ve etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde ele alınmıştır. 2. bölümde EYD en iyileme problemi matematiksel olarak ortaya konmuş, amaç ve kısıt fonksiyonları açıklanmıştır. 3. bölümde YİA tanıtılmış ve özelliklerine yer verilmiştir. 4. bölümde optimizasyon algoritmasının probleme uygulanması, 5. bölümde ise sonuçların sunulması ve daha önce önerilen yöntemlerle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. 6. bölümde ise problem ve sonuçlar üzerine tartışmalara

yer verilmiştir.

2. Problemin Tanımı

EYD problemi yakıt maliyetini en aza çekebilmek için her üretim birimindeki en uygun güç üretimini belirli eşitlik ve eşitsizlik kısıtları içinde kalarak bulmayı hedeflemektedir. K adet farklı karakteristiklerdeki üretim birimini içeren elektrik üretim sistemindeki toplam yakıt maliyeti basitçe şu şekilde formüle edilebilir,

$$C_F(P_G) = \sum_{i=1}^K (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (1)$$

bu denklemde $C_F(P_G)$ \$/saat cinsinden toplam yakıt maliyetini, a_i , b_i ve c_i i. üretim birimi için maliyet katsayılarını, P_{Gi} ise i. üretim biriminin ürettiği gücü ifade etmektedir.

Elektrik gücü üretim sistemlerinde kısmi açık olan valflerin yarattığı tıkama etkisi sonucunda oluşan kayıpları modelleyebilmek için valf kısma etkisi yakıt maliyetine eklenebilir [16]. Bu ekleme, çözüm uzayında dalgalanmalar oluşturması ve yerel minimum sayısını artırması nedeni ile problemin çözümünü zorlaştırmasına rağmen daha iyi bir modelleme sağladığından dolayı tercih edilmiştir. Sinusoidal formlu valf kısma etkisinin kullanımı ile (2) numaralı denklem elde edilmiştir.

$$C_F(P_G) = \sum_{i=1}^K \left(a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + e_i \left| \sin(f_i (P_{Gi}^{min} - P_{Gi})) \right| \right) \quad (2)$$

bu denklemde e_i ve f_i valf kısma etkilerini modellemek için kullanılan katsayıları ve P_{Gi}^{min} ise i. üretim biriminin minimum güç üretme kapasitesini temsil etmektedir.

EYD probleminin çözümünde her üretim biriminin stabil şekilde çalışması ve kapasitesinin üzerine çıkılmaması mutlaka göz önüne alınması gereken bir kısıttır ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir,

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, K \quad (3)$$

Burada P_{Gi}^{max} , i. üretim biriminin maksimum güç üretme kapasitesini temsil etmektedir.

Toplam üretilen elektrik gücü, toplam talep ile iletim hatlarında oluşan kayıpların toplamını karşılamak zorunda olduğundan (4) numaralı denklemde verilen güç dengesi eşitlik kısıtı en iyileme probleminde göz önüne alınmalıdır.

$$\sum_{i=1}^K P_{Gi} = P_D + P_L \quad (4)$$

Burada P_D ve P_L sırasıyla güç talebini ve güç kaybını temsil etmektedir. Güç kaybı matematiksel olarak (5) numaralı denklemde verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$P_L = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K P_{Gi} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{i=1}^K B_{0i} P_i + B_{00} \quad (5)$$

bu denklemde B_{00} , B_{0i} ve B_{ij} iletim hatlarındaki kayıp katsayılarını temsil etmektedir.

Sonuç olarak, ilgilenilen EYD problemi, (3) ve (4) numaralı denklem kısıtları altında (2) numaralı denklemi amaç/hedef fonksiyonu alan en iyileme problemidir.

3. Yapay İşbirlikçi Algoritması

YİA, ilk defa Çivicioğlu [15] tarafından önerilmiş, sürü zekası tabanlı hesapsal en iyileme problemlerinin çözümünde kullanılan bir üstsezgisel algoritmadır.

Doğada yaşayan türler birbirleriyle av-avcı veya parazit-ev sahibi gibi değişik ilişkilerde bulunarak yaşamlarını sürdürürler. YİA, doğadaki iki süperorganizma arasındaki iş birliği ve birbirine yarar sağlama mekanizmasından esinlenmiştir. YİA'da av ve avcı rollerini üstlenen iki süperorganizma bir habitat içerisinde (çözüm uzayında) birbiriyle etkileşim kurarak ve göç ederek optimizasyon probleminin genel minimumuna yakınsarlar.

Doğada bir habitatta bulunan besin miktarı mevsimsel iklim değişikliklerine göre farklılık gösterir. Bu yüzden süperorganizmalar kaynak eksikliği bulunan bölgelerden daha verimli yerlere doğru mevsimsel göç alışkanlığı geliştirirler. Göç etmeden önce o bölgede bulunan bütün bireyler bir araya gelerek bir süperorganizma oluştururlar. Süperorganizmadaki bireylerin birlikte hangi yöne gidileceğini karar vermesi veya göç etme zamanı gibi bazı davranışların nasıl oluştuğu tam olarak bilinmemektedir. Genelde araştırmacılar süperorganizmaların hareketlerini rastgele hareket modelleriyle açıklamaktadır [17]. Ayrıca göç etmeye yakın süperorganizmalar kararlarını aralarındaki koordinasyonla verecek şekilde alt gruplara (alt süperorganizmalara) bölünürler. Süperorganizmalar daha çok besin ve kaynak bulunan yerleri keşfetmek için gözlemci kullanırlar. Gözlemciler buldukları yeni alanlar hakkındaki bilgileri süperorganizmayla paylaşır. Eğer süperorganizma o bölgenin beslenme ve yerleşme için uygun olduğuna karar verirse o bölgeye göç

eder ve bu arada gözlemciler yeni bölgeler aramaya devam eder.

YİA'da bir süperorganizma, daha uygun bölgelere göç ederek bir arama işlemi gerçekleştiren yapay bir süperorganizma tarafından temsil edilir. YİA α ve β ile temsil edilen iki süperorganizma ve onları oluşturan ve popülasyon sayısı (N) kadar alt süperorganizmalardan oluşur. Alt süperorganizmalardaki birey sayısı problemin boyutu (D) kadardır. α ve β süperorganizmaları av ve avcı alt süperorganizmaların belirlenmesinde kullanılır. YİA'da avcı alt süperorganizmaları, av alt süperorganizmaları avlayabilmek için programın çalışma süresi boyunca izini sürerler ve problemin minimum noktasına doğru birlikte yakınsarlar. YİA'da i . alt süperorganizmanın bireylerinin başlangıç değerleri şu şekilde belirlenebilir,

$$\begin{aligned}\alpha_{i,j:g} &= r.(u_j - l_j) + l_j \\ \beta_{i,j:g} &= r.(u_j - l_j) + l_j\end{aligned}\quad (6)$$

burada $i = 1, 2, 3, \dots, N$, $j = 1, 2, 3, \dots, D$ ve $g = 1, 2, 3, \dots, maksiter$ 'dir. Ayrıca, g , nesil sayısını, $maksiter$, maksimum nesil sayısını, r , $[0,1]$ aralığında rastgele seçilen bir sayıyı, u_j ve l_j ise sırasıyla arama uzayındaki j . boyuttaki üst ve alt limitleri temsil etmektedir. Her alt süperorganizmanın hedef değerleri şu şekilde hesaplanabilir,

$$\begin{aligned}y_{i:\alpha} &= f(\alpha_i) \\ y_{i:\beta} &= f(\beta_i)\end{aligned}\quad (7)$$

burada $f()$, hedef fonksiyonunu ifade etmektedir. Ayrıca av ve avcı organizmaları arasındaki biyolojik etkileşim bölgeleri şu şekilde belirlenebilir,

$$x = P_{red} + R.(P_{rey} - P_{red}) \quad (8)$$

burada R , biyolojik etkileşimin hızını kontrol eden bir değişken ve P_{red} ile P_{rey} sırasıyla avcı ve av alt süperorganizmalarını temsil etmektedir. YİA'da av ve avcı alt süperorganizmaları, YİA'nın stokastik özelliği gereği her nesilde rastgele seçilmektedir. YİA ile ilgili daha detaylı bilgi [15]'de bulunabilir.

4.YİA'nın EYD Problemine Uygulanması

Bu bölümde YİA probleminin EYD problemine uygulanmasına yer verilmiştir. EYD, valf kısma etkileri ve kısıtlardan dolayı son derece doğrusal ve devamlı olmayan bir algoritmadır. YİA ise bir çok optimizasyon problemi için gayet uygun, büyük arama uzaylarını etkili bir şekilde tarayıp genel minimum noktasını bulabilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Aşağıda verilen adımların uygulanması, uygun optimal EYD çözümünün YİA ile bulunmasını sağlayacaktır.

Adım 1: Problemin alt ve üst sınırlarını ayarla, maliyet katsayılarını, iletim kayıpları katsayılarını ve her nesil için valf kısma katsayılarını ata. Popülasyon sayısını, maksimum nesil sayısını ve penaltı katsayısını belirle.

Adım 2: İterasyon belirtecini 1 olarak ayarla, α ve β süperorganizmalarının başlangıç değerlerini ve buna denk gelen hedef değerlerini kısıtları da hesaba katarak aşağıdaki kurala göre hesapla.

Her bir i 1'den N 'ye kadar {

Her bir j 1'den D 'ye kadar {

$$\alpha_{i,j;0} = r_1.(u_j - l_j) + l_j$$

$$\beta_{i,j;0} = r_1.(u_j - l_j) + l_j$$

}

$$y_{i;\alpha} = f(\alpha_i), y_{i;\beta} = f(\beta_i)$$

}

Adım 3: Aşağıdaki kurala göre avcı bireyleri ve onlara denk gelen hedef değerlerini hesapla. r_1 ve r_2 değerleri gauss dağılımlı [0,1] aralığında seçilmiş rastgele değerlerdir.

Eğer $r_1 < r_2$ ise

$$\{ P_{red} = \alpha, y_{P_{red}} = y_{\alpha}, key = 1 \}$$

değilse

$$\{ P_{red} = \beta, y_{P_{red}} = y_{\beta}, key = 2 \}$$

Adım 4: Aşağıda belirtilen algoritmik formda av bireyleri ve onlara denk gelen hedef değerlerini hesapla. $kar()$ fonksiyonu, av bireyler matrisindeki sıraları rastgele değiştirmektedir.

Eğer $r_1 < r_2$ ise $P_{rey} = \alpha$ değilse $P_{rey} = \beta$

$$P_{rey} = kar(P_{rey})$$

Adım 5: Biyolojik etkileşimin hızını kontrol eden R katsayısını aşağıda belirtilen şekilde hesapla. $\Gamma(a,b)$, $4.r_1$ şekil değerli ve 1.0 büyüklük değerli bir gama dağılımını ifade etmektedir.

Eğer $r_1 < r_2$ ise

$$\{ R = 4.r_1.(r_1 - r_2) \}$$

değilse

$$\{ R = \Gamma(4.r_1, 1.0) \}$$

Adım 6: İkili değerli tamsayı haritasını (M) kullanarak pasif bireyleri belirle. $rndint()$ fonksiyonu belirtilen aralıkta rastgele tamsayı üretilmesini sağlar. p ise biyolojik etkileşimin olma olasılığını belirten bir katsayıdır.

$M = 1$

M 'deki her element için

Eğer $r_1 < (p \times r_2)$

ise $M_{rndint(N), rndint(D)} = 0$

Eğer $r_1 < (p \times r_2)$ ise {

M 'deki her element için {

Eğer $r_1 < (p \times r_2)$ ise $M_{i,j} = 1$

değilse $M_{i,j} = 0$

}

}

Her bir i 1 'den N 'ye kadar

{ Eğer $\sum_{j=1}^D M_i = D$ ise $M_{i, rndint(D)} = 0$ }

Adım 7: Denklem (8)'i kullanarak biyolojik etkileşim yerlerini (x) hesapla.

Adım 8: Çözüm matrisinden (y) en az hedef değerine (G_{eni}) sahip dizi vektörünü seç. Eğer yeni çözüm, önceki çözümden daha uygunsa (hedef değeri daha küçükse), çözüm vektörünü güncelle ve iterasyon belirtecini bir arttır.

Adım 9: Aşağıda belirtilen kuralı kullanarak biyolojik etkileşim noktalarını güncelle.

Her bir i 1 'den N 'ye kadar {

Her bir j 1 'den D 'ye kadar {

Eğer $M_{i,j} > 0$ ise $x_{i,j} = P_{red,i,j}$

}

}

Adım 10: Aşağıda belirtilen kuralla yeni nesil süperorganizmaları belirle. key

parametresini Adım 3'te belirlenen şekliyle kullan.

Eğer $key=1$ ise

{ $\alpha = P_{red}, y_\alpha = y_{P_{red}}$ }

değilse

{ $\beta = P_{red}, y_\beta = y_{P_{red}}$ }

Adım 11: Av alt süperorganizması için en uygun hedef değerini seç ve sonraki nesiller için aday çözümler arasına koy.

Adım 12: Adım 3'ten Adım 11'e kadar olan adımları maksimum nesil sayısı sağlanana kadar tekrar et.

5. Sonuçlar

YİA'nın EYD probleminin çözümündeki etkinliğini test etmek için YİA, 13 ve 40 üretim biriminden oluşan iki farklı EYD problemine uygulanmıştır. 13 ve 40 üretim birimli sistemlerin gerçekleşmesi için gerekli olan parametreler [18]'den alınmıştır. Problem Java ortamında, 2.8 GHz Çift Çekirdekli Intel İşlemcili, 4 GB RAM'e sahip bir kişisel bilgisayarda gerçekleşmiştir. İterasyon sayısı 9000 olarak seçilmiştir.

5.1. Çalışma 1

Bu çalışmada 13 üretim biriminden oluşan ve toplam güç talebi 1800 MW olan bir EYD problemi YİA ile gerçekleşmiştir. Önce, EYD problemi farklı nüfus sayılarından oluşan, sırasıyla 20, 30, 40 ve 50, YİA ile gerçekleşmiş ve sonuçlara Tablo 1'de yer verilmiştir. Tablo 1'de de görülebileceği gibi en iyi sonucu 40 nüfus sayılı YİA vermiştir. Ardından 40 nüfus sayılı YİA ile elde edilen sonuçlar, literatürde aynı problem üzerine gerçekleştirilen diğer algoritmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar; Değiştirilmiş Diferansiyel Evrim Algoritması (DDEA) [19], Hibrid Karıştırılmış Diferansiyel Evrim

Algoritması (HKDEA) [20], zamanla değişen ivme katsayılı Adım Parçaçık Sürü Optimizasyonu (APSO) [21], Çoklu Strateji Topluluklu Biyocoğrafi Tabanlı Optimizasyon (ÇSTBTO) [22] 'dir. En iyileme yöntemlerinin bulunduğu her bir üretim birimine düşen güç üretim miktarları (MW) ve toplam maliyet

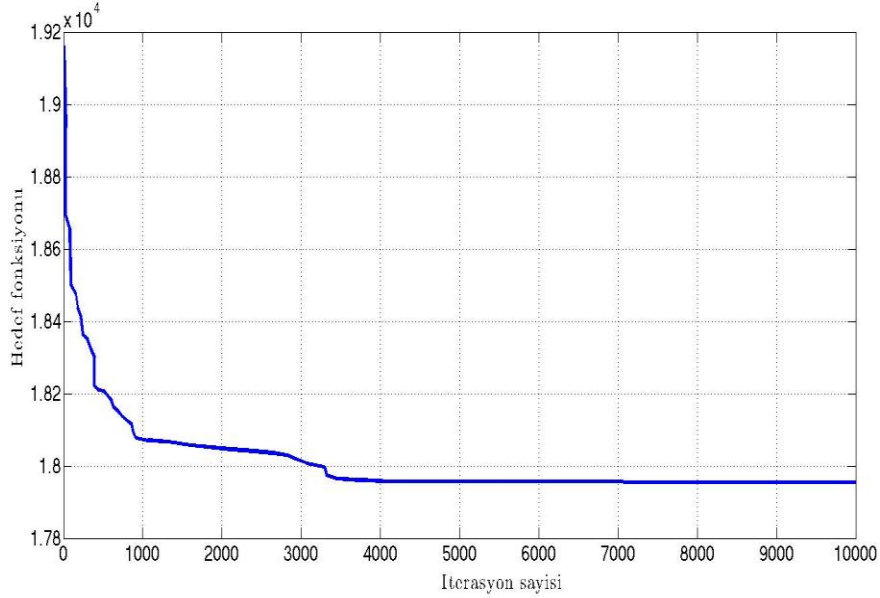
(\$/saat) Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den açıkça görüleceği gibi önerilen YİA, en az maliyete sahip sonucu bularak diğer algoritmalara üstün gelmiştir. Şekil 1'de ise YİA'nın iterasyon başına hedef değerine yaklaşım grafiğine yer verilmiştir.

Tablo 1. 13 üretim üniteli EYD için farklı nüfus sayılı YİA'lar ile elde edilen sonuçlar

Birimler	YİA (40)	YİA (20)	YİA (30)	YİA (50)
P ₁	538.5587	538.5590	538.5589	448.7989
P ₂	224.3994	224.3996	149.6010	224.3994
P ₃	149.5999	0.2793	224.3994	149.5999
P ₄	109.8665	109.8665	109.8665	109.8665
P ₅	109.8665	109.8665	109.8665	109.8665
P ₆	109.8665	109.8790	159.7331	109.8665
P ₇	109.8665	109.8665	109.8665	109.8665
P ₈	109.8665	159.7331	109.8665	109.8665
P ₉	109.8665	159.7331	60.0055	159.7331
P ₁₀	77.3999	77.5161	77.3999	77.3999
P ₁₁	40.0000	40.0003	40.0004	77.3999
P ₁₂	55.0003	55.0000	55.0038	55.0000
P ₁₃	55.0016	55.0000	55.0017	55.6423
Maliyet	17954.9404	18027.9113	17971.2407	17977.7899

Tablo 2. 13 üretim ünitesi 1800 MW güç talepli EYD probleminin sonuç karşılaştırılması

Birimler	YİA	DDEA [19]	HKDEA [20]	APSO [21]	ÇSTBTO [22]
P ₁	538.5587	628.3180	628.3200	628.3185	628.3185
P ₂	224.3994	149.5940	149.6000	149.5996	149.5997
P ₃	149.5999	222.7580	222.7500	222.7489	222.7492
P ₄	109.8665	109.8665	109.8700	109.8666	109.8666
P ₅	109.8665	109.8665	109.8700	109.8666	60.0000
P ₆	109.8665	109.8665	109.8700	109.8666	109.8666
P ₇	109.8665	109.8665	60.0000	109.8666	109.8666
P ₈	109.8665	60.0000	109.8700	109.8666	109.8666
P ₉	109.8665	109.8665	109.8700	60.0000	109.8666
P ₁₀	77.3999	40.0000	40.0000	40.0000	40.0000
P ₁₁	40.0000	40.0000	40.0000	40.0000	40.0000
P ₁₂	55.0003	55.0000	55.0000	55.0000	55.0000
P ₁₃	55.0016	55.0000	55.0000	55.0000	55.0000
Maliyet	17954.9404	17960.39	17960.37	17960.3703	17963.82



Şekil 1. YİA'nın optimum çözüme yaklaşma grafiği

5.2. Çalışma 2

Bu çalışmada 40 üretim biriminden oluşan ve toplam güç talebi 10500 MW olan bir EYD problemi YİA ile gerçekleştirilmiştir. Önce, EYD problemi farklı nüfus sayılarından oluşan, sırasıyla 20, 30, 40 ve 50, YİA ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlara Tablo 3'te yer verilmiştir. Tablo 3'de de görülebileceği gibi en iyi sonucu 40 nüfus sayılı YİA vermiştir. Ardından 40 nüfus sayılı YİA ile elde edilen sonuçlar, literatürde aynı problem üzerine önerilen diğer algoritmaların

sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunlar; Gerçek Kodlamalı Kimyasal Reaksiyon Algoritması (GKKRA) [3], Örüntü Arama Algoritması (ÖAA) [23], Hibrid Differensiyel Evrim Algoritması (HDEA) [24] 'dir. Her üretim birimine düşen güç üretim miktarları (MW) ve toplam maliyete (\$/saat) Tablo 4'de yer verilmiştir. Tablo 4'te görüleceği gibi YİA, diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar bulmuştur. Şekil 2'de ise YİA'nın iterasyon başına hedef değerine yaklaşım grafiğine yer verilmiştir.

Tablo 3. 40 üretim ünitesi EYD için farklı nüfus sayılı YİA'lar ile elde edilen sonuçlar

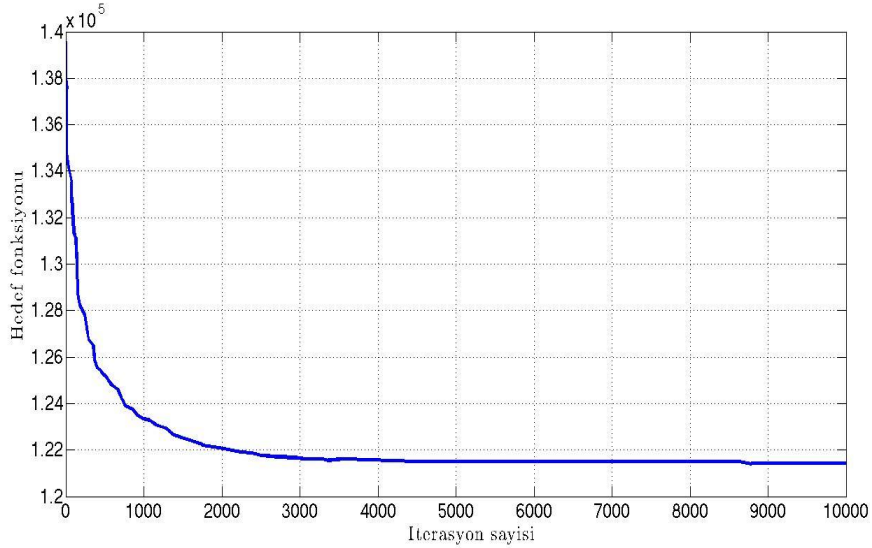
Birimler	YİA (40)	YİA (20)	YİA (30)	YİA (50)
P ₁	110.8006	110.7999	110.8003	110.8058
P ₂	110.8027	110.8006	110.8010	110.8040
P ₃	97.3997	97.3999	97.3999	97.3999
P ₄	179.7331	179.7331	179.7331	179.7330
P ₅	93.2844	87.8017	96.9998	96.9987
P ₆	139.9999	139.9999	139.9999	139.9999
P ₇	259.5999	259.5996	259.5997	259.5997
P ₈	284.6000	284.5996	284.5996	284.5998

P ₉	284.6000	284.5996	284.5996	284.5998
P ₁₀	130.2775	130.0000	204.7998	130.0027
P ₁₁	168.7998	168.7998	168.7998	94.0008
P ₁₂	94.1068	168.7998	168.7998	168.8001
P ₁₃	214.7598	214.7597	214.7598	125.1064
P ₁₄	394.2793	394.2793	394.2793	394.2794
P ₁₅	394.2789	304.5195	304.5195	394.2794
P ₁₆	394.2778	394.2793	304.5195	394.2794
P ₁₇	489.2794	489.2793	489.2793	489.2794
P ₁₈	489.2793	489.2793	489.2794	489.2794
P ₁₉	511.2794	511.2793	511.2793	511.2794
P ₂₀	511.2793	511.2793	511.2793	511.2793
P ₂₁	523.2794	523.2793	523.2793	523.2793
P ₂₂	523.2794	523.2793	523.2793	523.2794
P ₂₃	523.2794	523.2793	523.2793	523.2794
P ₂₄	523.2796	523.2793	523.2793	523.2793
P ₂₅	523.2794	523.2793	523.2793	523.2794
P ₂₆	523.2794	523.2793	523.2793	523.2794
P ₂₇	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
P ₂₈	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
P ₂₉	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
P ₃₀	87.8113	87.8008	96.9999	87.8156
P ₃₁	189.9978	189.9999	189.9999	189.9999
P ₃₂	189.9999	189.9999	189.9999	189.9999
P ₃₃	189.9999	189.9999	189.9999	189.9999
P ₃₄	164.8008	164.7998	164.7998	199.9907
P ₃₅	164.8005	199.9999	164.7998	164.8005
P ₃₆	164.8013	164.8002	164.7999	199.9830
P ₃₇	94.1144	100.6371	109.9999	109.9999
P ₃₈	109.9999	109.9999	109.9999	109.9996
P ₃₉	109.9979	89.1152	109.9999	109.9899
P ₄₀	511.2793	511.2793	511.2794	511.2794
Maliyet	121,405.650	121,447.451	121,434.612	121,408.209

Tablo 4. 40 üretim ünitesi 10500 MW güç talepli EYD probleminin sonuç karşılaştırılması

Birimler	YİA	GKKRA [3]	ÖAA [23]	HDEA [24]
P ₁	110.8006	110.7998	110.8051	110.8158
P ₂	110.8027	110.7998	110.8051	110.0896
P ₃	97.3997	97.3999	97.4023	97.4026
P ₄	179.7331	179.7331	179.7332	179.7549
P ₅	93.2844	87.7999	92.7070	88.2083
P ₆	139.9999	140.0000	140.0000	139.9886
P ₇	259.5999	259.5997	259.6004	259.5935
P ₈	284.6000	284.5997	284.6004	284.6174
P ₉	284.6000	284.5997	284.6004	284.6479
P ₁₀	130.2775	130.0000	130.0028	130.0298
P ₁₁	168.7998	94.0000	168.8008	94.0145
P ₁₂	94.1068	94.0000	168.8008	94.2636
P ₁₃	214.7598	214.7598	214.7606	304.5153

P ₁₄	394.2793	394.2794	304.5204	394.2642
P ₁₅	394.2789	394.2794	394.2801	304.5057
P ₁₆	394.2778	394.2794	394.2801	394.2472
P ₁₇	489.2794	489.2794	489.2801	489.3273
P ₁₈	489.2793	489.2794	489.2801	489.3047
P ₁₉	511.2794	511.2794	511.2817	511.3087
P ₂₀	511.2793	511.2794	511.2817	511.2495
P ₂₁	523.2794	523.2794	523.2793	523.3217
P ₂₂	523.2794	523.2794	523.2793	523.3144
P ₂₃	523.2794	523.2794	523.2832	523.3269
P ₂₄	523.2796	523.2794	523.2832	523.2883
P ₂₅	523.2794	523.2794	523.2793	523.2989
P ₂₆	523.2794	523.2794	523.2793	523.2802
P ₂₇	10.0000	10.0000	10.0008	10.0281
P ₂₈	10.0000	10.0000	10.0028	10.0032
P ₂₉	10.0000	10.0000	10.0028	10.0288
P ₃₀	87.8113	87.7999	87.8008	88.1459
P ₃₁	189.9978	190.0000	189.9989	189.9913
P ₃₂	189.9999	190.0000	189.9989	189.9988
P ₃₃	189.9999	190.0000	189.9989	189.9998
P ₃₄	164.8008	164.7998	164.8036	164.8452
P ₃₅	164.8005	194.3978	164.8036	192.9876
P ₃₆	164.8013	200.0000	164.8036	199.9876
P ₃₇	94.1144	110.0000	109.9989	109.9941
P ₃₈	109.9999	110.0000	109.9989	109.9992
P ₃₉	109.9979	110.0000	109.9989	109.9833
P ₄₀	511.2793	511.2794	511.2817	511.2794
Maliyet	121,405.650	121,412.535	124,415.140	125,479.502



Şekil 2. YİA'nın optimum çözüme yaklaşma grafiği

6. Tartışma

Bu makalede yapay işbirlikçi algoritma, EYD probleminin optimal çözümü için önerilmiştir. Valf kısma etkisi, yasaklı çalışma alanı ve iletim kayıpları EYD probleminde modellenmiş ve elde edilen süreksiz, doğrusal ve konveks olmayan en iyileme probleminin çözümünde YİA'nın güçlü bir yaklaşım olacağı gösterilmiştir. YİA'nın uygunluğunu test etmek için 13 ve 40 üretim birimli EYD problemlerine YİA uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatürde yer alan diğer üstsezgisel algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, YİA kullanımının, diğer algoritmalarından daha az üretim maliyeti sağlayarak yüksek bir performans verdiğini göstermektedir.

Kaynakça

- [1] Rajkumar M. 2011. Combined Economic Emission Dispatch using Modified Multi-Objective Genetic Algorithm, Kalasalingam Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, Kalasalingam.
- [2] Aydın, D., Ozyon, S., Yasar, C., Liao, T. 2014. Artificial Bee Colony algorithm with dynamic population size to Combined Economic and Emission Dispatch, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Cilt. 54, s.144-153.
- [3] Bhattacharjee, K., Bhattacharya, A., Halder nee Dey, S. 2014. Solutions of Economic Emission Load Dispatch problems of power systems by Real Coded Chemical Reaction algorithm, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Cilt. 59, s.176-187.
- [4] Chen, C.L., Wang, S.C. 1993. Branch-and-bound Scheduling for Thermal Generating Units, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Cilt. 8, s.184-186.
- [5] Dodu, J.C., Martin, P., Merlin, A., Pouget, J. 1972. An optimal formulation and solution of short-range operating problems for a power system with flow constraints, *Proceedings of the IEEE*, Cilt. 60, s.53-54.
- [6] Nanda, J., Hari, L., Kothimari, M.L. 1994. Economic Emission Dispatch with line flow constraints using a classical technique, *IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, Cilt. 141, s. 1-10.
- [7] Wong, K.P., Fong, C.C. 1993. Simulated Annealing based Economic Dispatch algorithm, *IEEE Conference Proceedings*, Cilt. 140, s. 509-515.
- [8] Panigrahi, C.K., Chattopadhyay, P.K., Chakrabarti, R.N., Basu, M. 2006. Simulated Annealing Technique for dynamic economic dispatch, *Electric Power Components and Systems*, Cilt. 34, s.577-586.
- [9] Panigrahi, C.K., Pandi, V.R., Das, S. 2008. Adaptive particle swarm optimization approach for static and dynamic economic load dispatch, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 49, s.1407-1415.
- [10] Park, J.B. 2005. A particle swarm optimization for economic dispatch with non-smooth cost functions, *IEEE Transactions on Power Systems*, Cilt. 20, s.34-42.
- [11] Mahidhar, V., Reddy, G.S. 2007. Economic load dispatch with valve point effects and ramp rates using new approach in PSO, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Cilt. 1, s.357-360.

- [12] Hemamalini, S., Simon, S.P. 2010. Artificial bee colony algorithm for economic load dispatch problem with non-smooth cost functions, *Electric Power Components and Systems*, Cilt. 38, s.786-803.
- [13] Coelho, L.S., Mariani, V.C. 2009. An improved harmony search algorithm for power economic load dispatch, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 50, s.2522-2526.
- [14] Chakraborty, P., Roy, G.G., Panigrahi, B.K., Bansal, B.C., Mohapatra, A. 2012. Dynamic economic dispatch using harmony search algorithm with modified differential mutation operator, *Electrical Engineering*, Cilt. 94, s.197-205.
- [15] Civicioglu, P. 2013. Artificial cooperative search algorithm for numerical optimization problems, *Information Sciences*, Cilt. 229, s.58-76.
- [16] Fraga, E.S., Yang, L., Papageorgiou, L.G. 2012. On the modelling of valve point loadings for power electricity dispatch, *Applied Energy*, Cilt. 91, s. 301-303.
- [17] Civicioglu, P., Besdok, E. 2013. A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms, *Artificial Intelligence Review*, Cilt. 39, No. 4, s.315-346.
- [18] Yu, J.J.Q., Li, V.O.K. 2013. A Social Spider Algorithm for Solving the Non-convex Economic Load Dispatch Problem, *arXiv e-Print archive*.
- [19] Amjady, N., Sharifzadeh, H. 2010. Solution of non-convex economic dispatch problem considering valve point effect by a new Modified Differential Evolution algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*, Cilt. 32, s.839-903.
- [20] Reddy, S.A., Vaisakh, K. 2013. Shuffled differential evolution for large scale economic dispatch, *Electric Power Systems Research*, Cilt. 96, s. 237-245.
- [21] Mohammadi-Ivatlooa, B., Rabiee, A., Soroud, A., Ehsana, M. 2012. Iteration PSO with time varying acceleration coefficients for solving non-convex economic dispatch problems, *Electrical Power and Energy Systems*, Cilt. 42, s. 508-516.
- [22] Xiong, G., Shi, D., Duan, X. 2013. Multi-strategy ensemble biogeography-based optimization for economic dispatch problems, *Applied Energy*, Cilt. 111, s. 801-811.
- [23] Al-Sumait, J.S., Al-Othman, A.K., Sykulski, J.K. 2002. Application of pattern search method to power system valve-point economic load dispatch, *Electrical Power and Energy Systems*, Cilt. 62, No. 3, s. 201-207.
- [24] Bhattacharya, A., Chattopadhyay, P.K. 2010. Hybrid differential evolution with biogeography-based optimization for solution of economic load dispatch, *IEEE Transactions on Power Systems*, Cilt. 25, No. 4, s. 1955-1964.