



Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma Kullanılarak Birleşik Isı ve Güç Ekonomik Dağıtım Probleminin Çözümü

Solution of the Economic Dispatch of Combined Heat and Power Problem Using Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm

Tarık Koç^{1,2} , İbrahim Eke² , Süleyman Sungur Tezcan^{*3} 

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 13100 Bitlis, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, Türkiye

³Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06560 Ankara, Türkiye

Başvuru/Received: 23/08/2021

Kabul / Accepted: 18/10/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

Öz

Enerji kaynaklarının artan maliyeti ve çevre sorunları nedeniyle birleşik ısı ve güç birimleri gibi daha yüksek verimlilikte çalışan sistemler daha popüler hale gelmektedir. Birleşik ısı ve güç ünitelerinin doğrusal ve dışbükey olmayan özelliklere sahip olmaları nedeniyle optimum çalışması giderek karmaşıklaşmaktadır. Bahsi geçen bu problemin zorlukları bizi sezgisel ve evrimsel yöntemleri kullanmaya yöneltmektedir. Bu çalışmada, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ve genetik algoritma (GA), birleşik ısı ve güç birimlerinin ekonomik dağıtımına (ED) uygulanmaktadır. ED probleminin temel amacı, toplam üretim maliyeti en aza indirilirken ve sistem operasyonel kısıtlamaları yerine getirilirken her bir ünitenin optimum çıkış gücü ve ısını elde etmektir. Sonuçlar bu algoritmaların birleşik ısı ve güç sistemlerinin ekonomik dağıtım problemini çözmedeki yeteneklerinin gösterilmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Anahtar Kelimeler

“Birleşik Isı ve Güç, Parçacık Sürü Optimizasyon, Genetik Algoritma, Ekonomik Dağıtım”

Abstract

Due to the increasing cost of energy resources and environmental problems, higher efficiency systems such as combined heat and power units are becoming more popular. Due to the linear and non-convex properties of combined heat and power units, their optimum operation is becoming increasingly complex. The difficulties of this problem lead us to use intuitive and evolutionary methods. In this study, particle swarm optimization (PSO) algorithm and genetic algorithm (GA) are applied to the economic dispatch (ED) of combined heat and power units. The main purpose of the ED problem is to obtain the optimum output power and temperature of each unit while minimizing the total cost of production and fulfilling system operational constraints. The results are to demonstrate and compare the capabilities of these algorithms in solving the problem of economic dispatch of combined heat and power systems.

Key Words

“Combined Heat and Power, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm, Economic Dispatch”

1. Giriş

Geleneksel enerji kaynaklarının eksikliği ve enerji üretiminin yüksek maliyeti, güç sistemini optimize bir şekilde kullanmamıza neden olmaktadır. Sistem kısıtlamaları dikkate alınarak üretim maliyeti en aza indirildiğinde optimum koşul elde edilir. ED'nin amacı, ünite çıktılarının optimum durumunu belirlemektir. Bu nedenle, birçok çalışma ED problemini çözmek için farklı yöntemler araştırmaktadır. En zorlu optimizasyon problemlerinden biri, bu birimlerin doğrusal ve dışbükey olmayan özellikleri ve güç ve ısı üretimi arasındaki ikili bağımlılık nedeniyle birleşik ısı ve güç birimlerinin ED problemidir. Son zamanlarda, birleşik ısı ve güç üniteleri, daha yüksek verimlilikleri nedeniyle enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Birleşik ısı ve güç birimlerinin verimliliği en iyi ihtimalle % 90 civarındayken, bu miktar diğer kombine çevrim tesisleri için %60'ın altındadır (Shi, Yan, ve Wu 2013; Sohrabi vd. 2020). ED, işletim maliyetini en aza indirmek ve ünitelerin güç ve ısı çıkışını belirlemek için uygulanmaktadır. Yalnızca ısı, yalnızca güç ve birleşik ısı ve güç birimleri, bir kojenerasyon sistemindeki üç tür üretim birimidir. Birleşik ısı ve enerji ekonomik dağıtım probleminde, güç ve ısı taleplerini içeren iki tür talep karşılanmaktadır. Birleşik ısı ve güç birimlerinde üretilen güç, üretilen ısıya bağlıdır ve bunun tersi de birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım sorununu daha karmaşık hale getirir (Mohammadi-Ivatloo, Moradi-Dalvand, ve Rabiee 2013). Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi önceki çalışmalarda farklı matematiksel ve sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmüştür. Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi, ısı-güç operasyon bölgesi kısıtlamaları kullanılarak birbirine bağlanan iki alt probleme ayrıştırılmıştır (Henwood 1996). Bir diğer çalışmada, Ateşböceklerinin parlaklıklarını kullanarak birbirlerini çekme davranışlarından esinlenen Ateşböceği algoritması uygulanmıştır (Yazdani vd. 2013). Hayvanların arama davranışına dayanan bir başka sezgisel optimizasyon yöntemi olan grup arama optimizasyonu Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtımına uygulanmıştır (Basu 2016). Ayrıca arı kolonisi optimizasyon, karınca kolonisi arama ve harmoni arama algoritması gibi bir çok algoritma Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtımına uygulanmıştır (Basu 2011; Song, Chou, ve Stonham 1999; Vasebi, Fesanghary, ve Bathaee 2007).

Bu çalışmada Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi çözmek için PSO ve GA uygulanmaktadır. Sonuçlar, uygulanan yöntemlerle sorunun optimum çözümünü bulabildiğini göstermektedir.

2. Problem Formülasyonu

Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi; birleşik ısı ve güç, yalnızca güç ve yalnızca ısı birimlerinden oluşan, üç tür birim vardır. Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtımının amaç fonksiyonu, kısıtları karşılarken sistemin işletme maliyetini en aza indirmektir.

2.1. Amaç Fonksiyonu

Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi ile ilgili amaç fonksiyonu Eşitlik (1)'de gösterilmiştir [1, 10].

$$OF = \sum_{i=1}^{N_p} C_i(P_i^p) + \sum_{j=1}^{N_c} C_j(P_j^c, H_j^c) + \sum_{k=1}^{N_h} C_k(H_k^h) \quad (1)$$

Burada, OF amaç fonksiyonudur, $C_i(P_i^p)$, üretilen P_i^p (MW) gücün i. ünitenin işletme maliyetidir. P_j^c (MW) elektrik gücü ve H_j^c MWth ısı gücü üretmek için j. kojenerasyon biriminin işletme maliyeti $C_j(P_j^c, H_j^c)$ ile ifade edilir. $C_k(H_k^h)$, H_k^h MWth ısı gücü üretilen yalnızca ısı kullanan bir birimin işletme maliyeti olarak tanımlanır. N_p, N_h, N_c , sırasıyla yalnızca güç, yalnızca ısı ve birleştirilmiş ısı ve güç birimlerinin toplam sayısıdır. i, j ve k sırasıyla yukarıda belirtilen birimler için indekslerdir. Birim maliyet fonksiyonları şu şekilde ifade edilebilir;

$$C_i(P_i^p) = \alpha_i(P_i^p)^2 + \beta_i(P_i^p) + \gamma_i \quad (\$/h) \quad (2)$$

$$C_j(P_j^c, H_j^c) = a_j(P_j^c) + b_i P_j^c + c_j + d_j(H_j^c)^2 + e_j H_j^c + f_j P_j^c H_j^c \quad (\$/h) \quad (3)$$

$$C_k(H_k^h) = a_k(H_k^h)^2 + b_k H_k^h + c_k \quad (\$/h) \quad (4)$$

Eşitlik (2)'deki α_i, β_i ve γ_i i. yalnızca güç biriminin maliyet katsayılarıdır. Eşitlik (3)'teki a_j, b_i, c_j, d_j, e_j ve f_j j. birleştirilmiş ısı ve güç biriminin maliyet katsayılarıdır. Eşitlik (4)'deki a_k, b_k ve c_k k. yalnızca ısı biriminin maliyet katsayılarıdır.

2.2. Kısıtlamalar

Eşitlik (5)'de gösterildiği gibi, üretilen toplam güç, talep edilen güç ile güç kaybının toplamına eşittir. Eşitlik (6)'da, üretilen ısı miktarının, talep edilen ısı miktarına eşit olması gerektiği ifade edilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{N_p} (P_i^p) + \sum_{j=1}^{N_c} (P_j^c) = P_d + P_{loss} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{N_p} (H_j^c) + \sum_{j=1}^{N_c} (H_k^h) = H_d \quad (6)$$

P_d ve H_d sırasıyla güç ve ısı talepleridir. P_{loss} ise güç sistemi iletim kaybıdır. Üretilen elektrik ve ısı güçleri her birim için kabul edilebilir aralıkta olmalıdır:

$$P_i^{pmin} \leq P_i^p \leq P_i^{pmax} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_p \quad (7)$$

$$P_j^{cmin}(H_j^c) \leq P_j^c \leq P_j^{cmax}(H_j^c) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N_c \quad (8)$$

$$H_j^{cmin}(P_j^c) \leq H_j^c \leq H_j^{cmax}(P_j^c) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N_c \quad (9)$$

$$H_k^{hmin} \leq H_k^h \leq H_k^{hmax} \quad k = 1, 2, 3, \dots, N_h \quad (10)$$

Sadece güç olan birimleri için jeneratörün aktif gücü P_i^p , jeneratörün minimum aktif güç değeri P_i^{pmin} ile jeneratörün maksimum aktif güç değeri P_i^{pmax} arasında olmalıdır. Birleştirilmiş ısı ve güç birimleri için jeneratör aktif gücü P_j^c , jeneratörün minimum aktif güç değeri P_j^{cmin} ile jeneratörün maksimum aktif güç değeri P_j^{cmax} arasında olmalıdır. Birleştirilmiş ısı ve güç birimleri için üretilen ısı miktarı H_j^c , minimum üretilen ısı miktarı H_j^{cmin} ile maksimum üretilen ısı miktarı H_j^{cmax} arasında olmalıdır. Sadece ısı birimi için de üretilen ısı miktarı H_k^h , minimum üretilen ısı miktarı H_k^{hmin} ile maksimum üretilen ısı miktarı H_k^{hmax} olmalıdır.

2.2.1. Sistem güç dengesi kısıtlaması

Yük dağıtımında güç dengesi denklem (5)'e göre sağlanmaktadır. Burada P_d toplam yük talebidir ve P_{loss} , denklem (11)'de gösterildiği gibi birimlerin çıkış gücünün ve B-kayıp katsayılarının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilen toplam güç iletim kayıplarıdır.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{00} \quad (11)$$

Burada B_{ij} , kayıp katsayıları matrisinin ij . elemanı, B_{0i} , kayıp katsayıları vektörünün i . elemanı ve B_{00} , kayıp katsayısı sabitidir.

2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

İlk kez Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında tanıtılan PSO (Kennedy ve Eberhart 1995) kuşlar gibi hayvanların sürü davranışlarından esinlenen sürü zekasına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır. PSO ve PSO tabanlı algoritmalar, literatürde güç sistemleri ile ilgili farklı problemleri çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Abido 2002, 2009; Gaing 2003; Park vd. 2005; Yoshida vd. 2000). Tüm evrimsel algoritmaların süreci; rastgele sayılar üretmeye ve sayıları, problemin hedeflerine uygun hale getirmeye dayanır. PSO'da, parçacıkların pozisyonları karar değişkenleri olarak kabul edilir. Her bir i parçacığının bir konum vektörü X ve bir hız vektörü V vardır:

$$X_i^{iter} = [x_{i,1}^{iter}, x_{i,2}^{iter}, x_{i,3}^{iter}, \dots, x_{i,N}^{iter}] \quad (12)$$

$$V_i^{iter} = [v_{i,1}^{iter}, v_{i,2}^{iter}, v_{i,3}^{iter}, \dots, v_{i,N}^{iter}] \quad (13)$$

N , problemdeki karar değişkenlerinin toplam sayısıdır. Konum vektörünün ve hız vektörünün yinelenmesi sırasıyla, Eşitlik (14) ve Eşitlik (15)'te verilmiştir.

$$V_{i,n}^{iter} = \omega V_{i,n}^{iter-1} + C_1 r_1^n (p_{best_{i,n}}^{iter-1} - x_{i,n}^{iter-1}) + C_2 r_2^n (g_{best_{i,n}}^{iter-1} - x_{i,n}^{iter-1}) \quad (14)$$

$$x_{i,n}^{iter} = x_{i,n}^{iter-1} + v_{i,n}^{iter} \quad (15)$$

ω atalet ağırlığıdır. r_1^n ve r_2^n [0, 1] arasında rastgele sayılardır. $p_{best_{i,n}}^{iter-1}$ ve $g_{best_{i,n}}^{iter-1}$ sırasıyla, önceki iterasyondaki i . parçacığın en iyi konumları ve tüm sürünün en iyi konumudur. C_1 ve C_2 , genellikle eşit olan öğrenme faktörleridir. Eşitlik (16)'da, konumun maksimum

değeri x_n^{max} , minimum değeri x_n^{min} ve r hızdaki değişim miktarını kontrol eden parametre ile hızın maksimum değeri v_n^{max} bulunur ve güncellenen hızın $v_{i,n}$ uygun limitler arasında olması Eşitlik (17)'de verilmiştir.

$$v_n^{max} = (x_n^{max} - x_n^{min})/r \quad (16)$$

$$-v_n^{max} \leq v_{i,n} \leq v_n^{max} \quad (17)$$

2.4. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, kalıtım, mutasyon, seçim ve çaprazlama gibi evrimsel biyolojiden esinlenen teknikleri kullanan belirli bir Evrimsel Algoritmalar sınıfıdır (Kaur, Singh, ve Bhardwaj 2014). Geleneksel olarak, çözümler ikili olarak 0'lar ve 1'lerin dizeleri olarak temsil edilir, ancak başka kodlamalar da mümkündür. Evrim genellikle rastgele oluşturulmuş bireylerden oluşan bir popülasyondan başlar ve nesiller içinde gerçekleşir. Her nesilde, popülasyondaki her bireyin uygunluğu değerlendirilir, birden fazla birey stokastik olarak mevcut popülasyondan seçilir (uygunluklarına göre) ve yeni bir popülasyon oluşturmak için değiştirilir (yeniden birleştirilir ve muhtemelen rastgele mutasyona uğrar). Yeni popülasyon daha sonra algoritmanın bir sonraki yinelemesinde kullanılır. Genellikle, maksimum sayıda nesil üretildiğinde veya popülasyon için tatmin edici bir uygunluk düzeyine ulaşıldığında algoritma sona erer. Algoritma, maksimum nesil sayısı nedeniyle sona erdiyse, tatmin edici bir çözüme ulaşılmış olabilir veya olmayabilir. Genetik temsili ve uygunluk işlevini tanımladıktan sonra, GA, rastgele bir çözüm popülasyonunu başlatmaya devam eder ve ardından mutasyon, çaprazlama, ters çevirme ve seçim operatörlerinin tekrarlayan uygulamasıyla bunu iyileştirir (Kaur, Singh, ve Bhardwaj 2014).

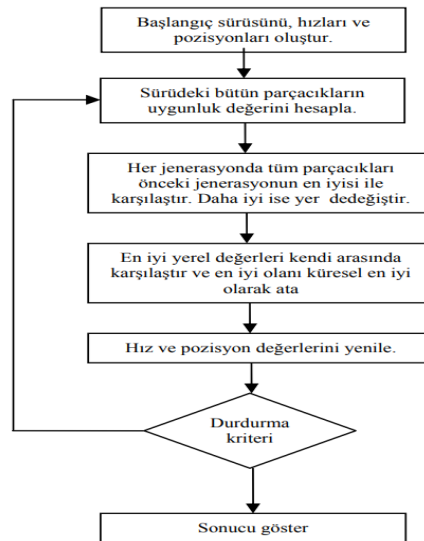
Tipik olarak genetik algoritmalar başlatma, değerlendirme ve genetik operasyon olmak üzere üç aşamaya sahiptir. Başlangıçta, bir ilk popülasyonu oluşturmak için birçok bireysel çözüm rastgele oluşturulur. Nüfus büyüklüğü, sorunun niteliğine bağlıdır, ancak tipik olarak yüzlerce veya binlerce olası çözüm içerir. Çözümlerin uygunluğu, ilk çözüm kümesinden problem çözümüne kadar belirlenir. Bu uygunluk tespiti için, uygunluk fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon kullanılmaktadır. Bu fonksiyon, amaç fonksiyonundan türetilir ve ardışık genetik işlemlerde kullanılır. Değerlendirme fonksiyonu, popülasyondaki her bir kromozomun uygunluğunu belirlemek için bir prosedürdür ve büyük ölçüde uygulamaya yöneliktir. Maksimizasyon problemi için uygunluk fonksiyonu denklem (18) gibidir.

$$f(x) = F(x) \quad (18)$$

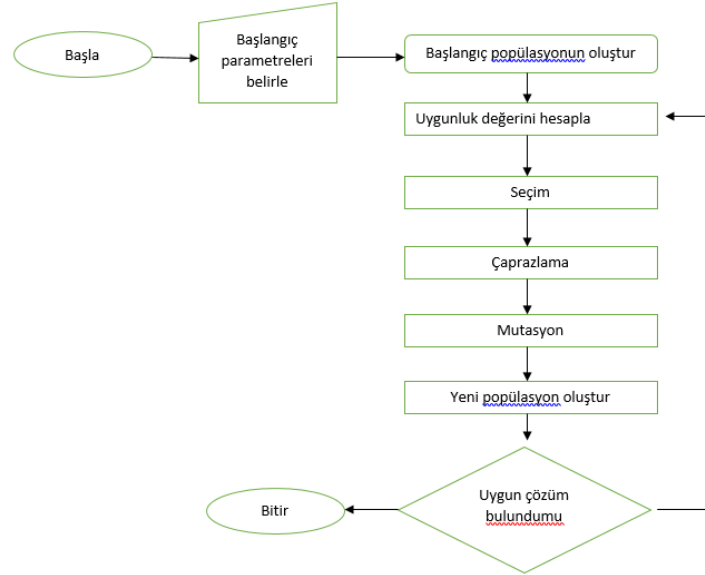
minimizasyon problemleri için, uygunluk fonksiyonu ise denklem (19) gibidir.

$$F(x) = 1/(1 + f(x)) \quad (19)$$

Burada $f(x)$ uygunluk fonksiyonu ve $F(x)$ amaç fonksiyonudur.



Şekil 1. PSO akış şeması(Yasin ÖZSAĞLAM ve Çunkaş 2008)



Şekil 2. Genetik algoritma akış şeması

3. Simülasyon, Sonuçlar ve Tartışma

Ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için PSO ve Genetik algoritma yöntemleri kullanılarak 2 ayrı test sistemine uygulanmış, sonuçlar tartışılmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Algoritmalar ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için MATLAB programında uygulanmaktadır. Temel amaç, PSO ve GA kullanılarak termik santrallerin üretim maliyetlerinin minimize edilmesi ve bu iki algoritma arasındaki performans karşılaştırılması yapmaktır. Performans problem 1 ve problem 2 olarak adlandırılan iki test sistemi üzerinden değerlendirilmiştir. Problem 1, yalnızca güç birimi, birleşik ısı ve güç birimi ve yalnızca ısı birimi olmak üzere üç birimden meydana gelmektedir. Süreci basitleştirmek için güç sistemi iletim kayıpları göz ardı edilmiştir. Güç ve ısı talepleri sırasıyla 200 MW ve 115 MWth'dır. Yalnızca güç için ve yalnızca ısı için maliyet fonksiyonları doğrusal olarak sırasıyla, Eşitlik (20) ve Eşitlik (21)'de verilmiştir.

$$C_1(P_1) = 50P_1 ; 0 \leq P_1 \leq 150 \quad (20)$$

$$C_4(H_4) = 23.4H_4 ; 0 \leq H_4 \leq 2695.2 \quad (21)$$

Yalnızca güç ünitesinin özellikleri Tablo 1'de, yalnızca ısı ünitesinin özellikleri Tablo 2'de, birleşik ısı ve güç birimlerinin özellikleri Tablo 3'de ve yükün güç ve ısı talebi Tablo 4'te verilmiştir. Birleşik ısı ve güç birimlerinin uygun işletim bölgesi, ünite 1 ve ünite 2 için sırasıyla, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Güç ve ısı değerleri belirli değerler arasında olmalıdır. Şekil 3'deki ünite 1 için güç ve ısı değerleri, ABCD noktaları içinde olmalıdır. Şekil 4'deki ünite 2 için de güç ve ısı değerleri, ABCDEF noktaları içerisinde olmalıdır.

Problem 2, 13 termik santralden oluşmaktadır. Toplam yük talebi 2500 MW'tır ve güç iletim kayıpları da dikkate alınmıştır. Tablo 5'te güç talepleri ve güç birimlerinin özellikleri verilmiştir. İletim kaybı matrisleri verilmiştir.

Evrimsel algoritmaların rastgele doğasını araştırmak için, önerilen yöntem 100 kez gerçekleştirilir ve çözümlerin varyasyonları, tüm çözümlerin en iyi çözümü ayrıca, en iyi çözüm için yöntemin yakınsaması sonuçlar bölümünde gösterilmektedir.

Tablo 1. Problem 1 için yalnızca güç ünitesinin özellikleri

Konvansiyonel termal Ünite (i)	İşletme maliyeti katsayıları					p_i^{pmin} (MW)	p_i^{pmax} (MW)
	a_i^p (\$/MW ²)	b_i^p (\$/MW)	c_i^p (\$)	d_i^p (\$)	e_i^p (1/MW)		
1	0	50	0	0	0	0	150

Tablo 2. Problem 1 için yalnızca ısı ünitesinin özellikleri

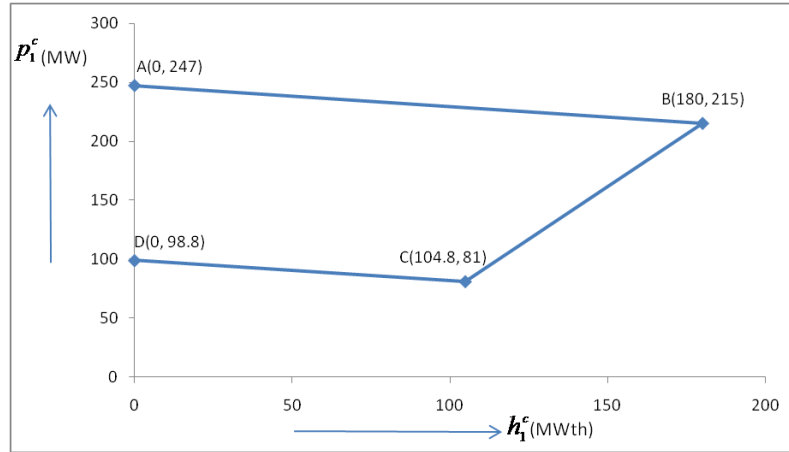
Yalnızca ısı ünitesi (k)	İşletme maliyeti katsayıları			h_k^{hmin} (MWth)	h_k^{hmax} (MWth)
	a_k^h (\$/(MWth) ²)	b_k^h (\$/MWth)	c_k^h (\$)		
1	0	23.4	0	0	2695.2

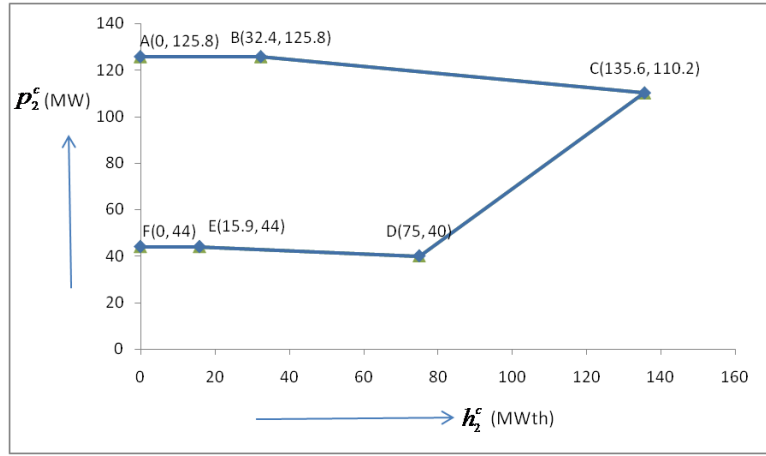
Tablo 3. Problem 1 için birleşik ısı ve güç birimlerinin özellikleri

Kojenerasyon ünitesi (j)	İşletme maliyeti katsayıları					
	a_j^c (\$/MW ²)	b_j^c (\$/MW)	c_j^c (\$)	d_j^c (\$/(MWth) ²)	e_j^c (\$/MWth)	f_j^c (\$/MW-MWth)
1	0.0345	14.5	2650	0.03	4.2	0.031
2	0.0435	36	1250	0.027	0.6	0.011

Tablo 4. Problem 1 için yükün güç ve ısı talebi

Güç Talebi p_D (MW)	Isı Talebi h_D (MWth)
200	115

**Şekil 3.** Problem 1 için kojenerasyon ünite 1 için uygun işletim bölgesi



Şekil 4. Problem 1 için kojenerasyon ünite 2 için uygun işletim bölgesi

Tablo 5. Problem 2 için güç ünitesi özellikleri (Rezaie vd. 2019)

Ünite	P_{min}	P_{max}	a	b	c	e	f	α	β	γ	ξ	λ
1	0	680	0.00028	8.10	550	300	0.035	0.06320	-2.434	40	0.855	0.0087
2	0	360	0.00056	8.10	309	200	0.042	0.03480	-3.630	50	0.623	0.0068
3	0	360	0.00056	8.10	307	150	0.042	0.04376	-3.630	50	0.623	0.0085
4	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
5	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
6	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
7	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
8	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
9	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
10	40	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.852	100	0.424	0.0052
11	40	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.852	100	0.424	0.0052
12	55	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.343	100	1.130	0.0055
13	55	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.343	100	1.130	0.0055

Problem 2 için İletim kaybı matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$B_{ij} = 10^{-2} \times \begin{bmatrix} +0.14 & +0.12 & +0.07 & -0.01 & -0.03 & -0.01 & -0.01 & -0.01 & -0.03 & +0.05 & -0.03 & -0.02 & +0.04 \\ +0.12 & +0.15 & +0.13 & 0.000 & -0.05 & -0.02 & 0.000 & +0.01 & -0.02 & -0.04 & -0.04 & 0.000 & +0.04 \\ +0.07 & +0.13 & +0.76 & -0.01 & -0.13 & -0.09 & -0.01 & 0.000 & -0.08 & -0.12 & -0.17 & 0.000 & -0.26 \\ -0.01 & 0.000 & -0.01 & +0.34 & -0.07 & -0.04 & +0.11 & +0.50 & +0.29 & +0.32 & -0.11 & 0.000 & +0.01 \\ -0.03 & -0.05 & -0.13 & -0.07 & +0.90 & +0.14 & -0.03 & -0.12 & -0.10 & -0.13 & +0.07 & -0.02 & -0.02 \\ -0.01 & -0.02 & -0.09 & -0.04 & +0.14 & +0.16 & 0.000 & -0.06 & -0.05 & -0.08 & +0.11 & -0.01 & -0.02 \\ -0.01 & 0.000 & -0.01 & +0.11 & -0.03 & 0.000 & +0.15 & +0.17 & +0.15 & +0.09 & -0.05 & +0.07 & 0.000 \\ -0.01 & +0.01 & 0.000 & +0.50 & -0.12 & -0.06 & +0.17 & +1.68 & +0.82 & +0.79 & -0.23 & -0.36 & +0.01 \\ -0.03 & -0.02 & -0.08 & +0.29 & -0.10 & -0.05 & +0.15 & +0.82 & +1.29 & +1.16 & -0.21 & -0.25 & +0.07 \\ -0.05 & -0.04 & -0.12 & +0.32 & -0.13 & -0.08 & +0.09 & +0.79 & +1.16 & +2.00 & -0.27 & -0.34 & +0.09 \\ -0.03 & -0.04 & -0.17 & -0.11 & +0.07 & +0.11 & -0.05 & -0.23 & -0.21 & -0.27 & +1.40 & +0.01 & +0.04 \\ -0.02 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & -0.02 & -0.01 & +0.07 & -0.36 & -0.25 & -0.34 & +0.01 & +0.54 & -0.01 \\ +0.04 & +0.04 & -0.26 & +0.01 & -0.02 & -0.02 & 0.000 & +0.01 & +0.07 & +0.09 & +0.04 & -0.01 & 1.03 \end{bmatrix}$$

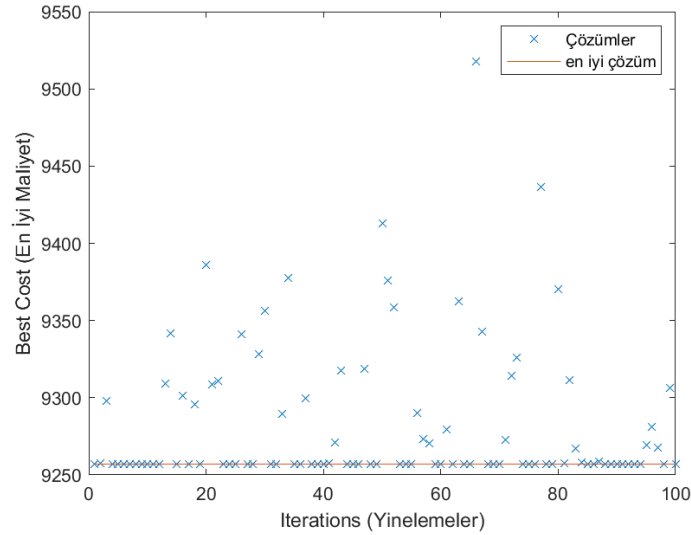
$$B_{0i} = [-0.0001 \quad -0.0002 \quad -0.0028 \quad -0.0001 \quad +0.0001 \quad -0.0003 \quad -0.0002 \quad -0.0002 \quad +0.0006 \quad +0.0039 \quad -0.0017 \quad 0.0000 \quad +0.0032]$$

$$B_{00} = +0.0055$$

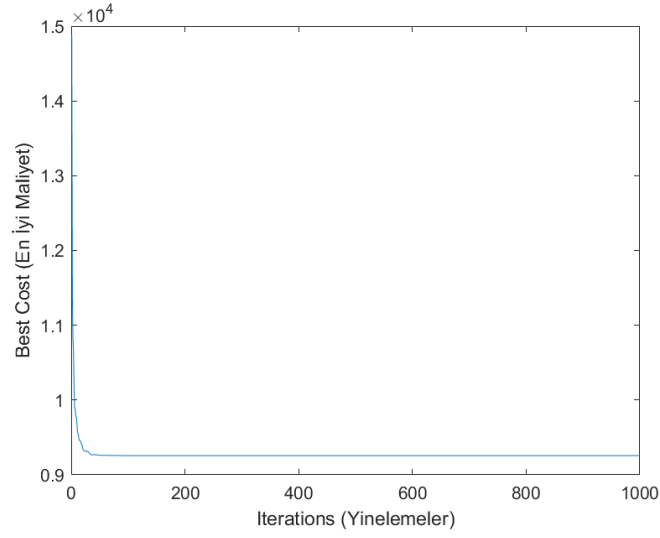
4. Sonuçlar

Güç sistemlerinde mikro şebeke konseptinin genişlemesi ve güç şebekelerindeki günlük enerji kaynaklarının sayısının artırması ile hesaplamalar daha karmaşık hale gelmektedir. Güç sistemlerinde evrimsel algoritmaların uygulaması olarak, birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi ve 13 üniteli hat kayıplı iki ayrı test sistemi PSO ve GA kullanılarak çözülmüştür. Doğrusal olmayan birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım probleminin çözümünde, PSO ve GA algoritmalarının sonuçları incelendiğinde, PSO çalışmanın ana problemi için daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Tablo 6'da birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım probleminin maliyet çıktıları karşılaştırılmıştır; PSO maliyet çıktısı 9263.4\$ ve GA'nın maliyet çıktısının 9620.3\$ olduğu görülmektedir. Bu verilere göre, PSO'nun GA'dan daha iyi bir minimizasyonla sonuç bulduğu görülmektedir. PSO'nun global minimum değerini 0-50 iterasyonda yakalarken GA'a bu değere daha yüksek iterasyonlarda ulaşmıştır (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8).

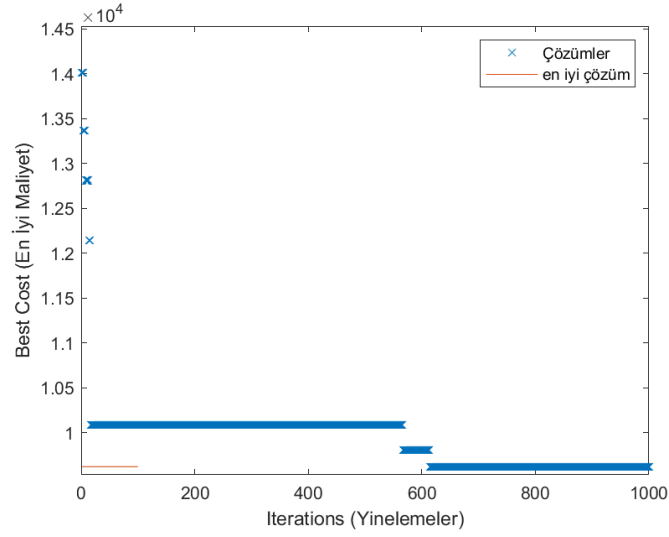
13 üniteli ikinci test sistemi çözümünde sonuçlar incelendiğinde, PSO'nun 13 üniteli hat kayıplı test sistemi için de daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Tablo 7'de verilen ikinci test sisteminin maliyet çıktıları karşılaştırıldığında ise PSO maliyet çıktısı 24736.9881\$ olurken, GA için maliyet çıktısı 24784.5397\$'dir. Sonuç olarak her iki sistem için PSO algoritması daha başarılı sonuçlar vermiştir.



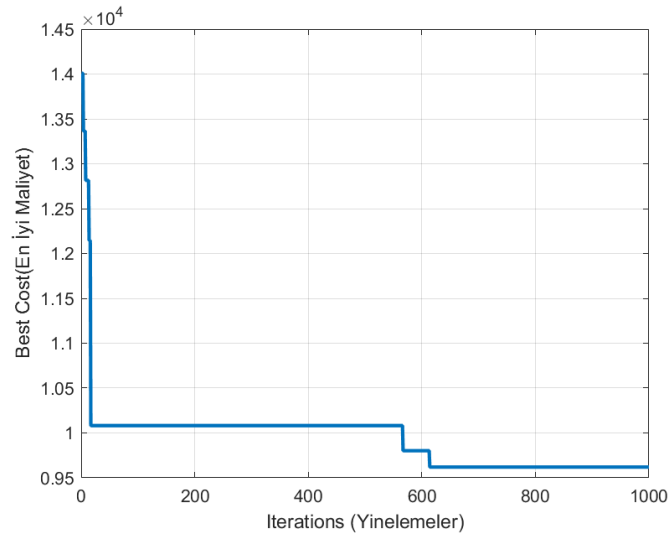
Şekil 5. Problem 1 için PSO için çözümler ve en iyi çözüm varyasyonları



Şekil 6. Problem 1 için PSO için en iyi çözüm yakınsaması



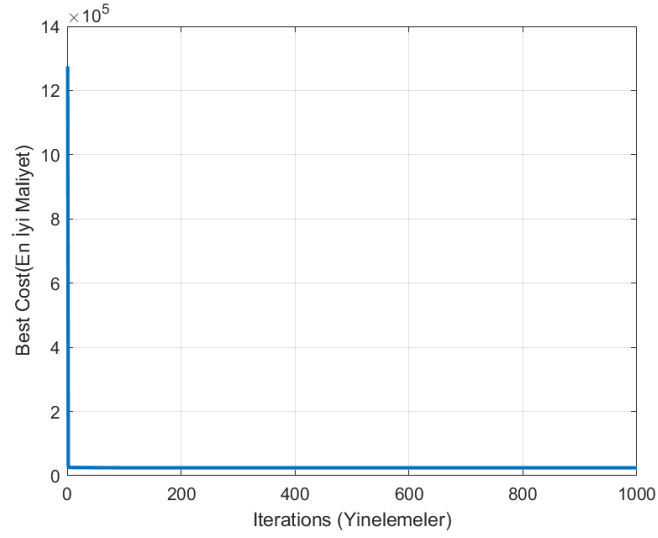
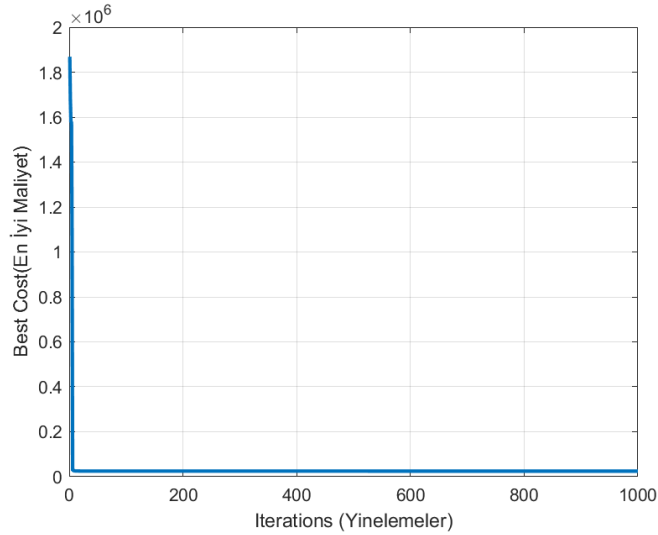
Şekil 7. Problem 1 için GA için çözümler ve en iyi çözüm varyasyonları



Şekil 8. Problem 1 için GA için en iyi çözüm yakınsaması

Tablo 6. Problem 1 için PSO ve GA sonuç çıktıları

	PSO Sonuçları	GA Sonuçları
P1	0	0
P2	160	160
P3	40	40
H1	40	40
H2	75	75
H3	0	0
Toplam maliyet (\$)	9263.4	9620.3

**Şekil 9.** Problem 2 için PSO en iyi çözüm yakınsaması**Şekil 10.** Problem 2 için GA en iyi çözüm yakınsaması

Tablo 7. Problem 2 için PSO ve GA sonuç çıktıları

	PSO Sonuçları	GA Sonuçları
Toplam maliyet (\$)	24736.9881	24784.5397

Referanslar

- Abido, M. A. 2002. "Optimal power flow using particle swarm optimization". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 24(7): 563–71.
- Abido, M. A. 2009. "Multiobjective particle swarm optimization for environmental/economic dispatch problem". *Electric Power Systems Research* 79(7): 1105–13.
- Basu, M. 2011. "Bee colony optimization for combined heat and power economic dispatch". *Expert Systems with Applications* 38(11): 13527–31.
- Basu, M. 2016. "Group search optimization for combined heat and power economic dispatch". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 78: 138–47.
- Gaing, Zve Lee. 2003. "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints". *IEEE Transactions on Power Systems* 18(3): 1187–95.
- Henwood, Tao Guo Mark I. 1996. "An algorithm for combined heat and power economic dispatch". *IEEE Transactions on Power Systems* 11(4): 1778–84.
- Kaur, Arunpreet, Harinder Pal Singh, ve Abhishek Bhardwaj. 2014. "Analysis of Economic Load Dispatch Using Genetic Algorithm". *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)* 3(3): 240–46.
- Kennedy, James, ve Russell Eberhart. 1995. "Particle swarm optimization". *International Conference on Neural Networks* 4: 1942–48. <http://ieeexplore.ieee.org/document/488968/> (02 Ocak 2021).
- Mohammadi-Ivatloo, Behnam, Mohammad Moradi-Dalvand, ve Abbas Rabiee. 2013. "Combined heat and power economic dispatch problem solution using particle swarm optimization with time varying acceleration coefficients". *Electric Power Systems Research* 95: 9–18.
- Park, Jong Bae, Ki Song Lee, Joong Rin Shin, ve Kwang Y. Lee. 2005. "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions". *IEEE Transactions on Power Systems* 20(1): 34–42.
- Rezaie, Hamid, M.H. Kazemi-Rahbar, Behrooz Vahidi, ve Hasan Rastegar. 2019. "Solution of combined economic and emission dispatch problem using a novel chaotic improved harmony search algorithm". *Journal of Computational Design and Engineering* 6(3): 447–67. <https://academic.oup.com/jcde/article/6/3/447/5732314>.
- Shi, Bin, Lie Xiang Yan, ve Wei Wu. 2013. "Multi-objective optimization for combined heat and power economic dispatch with power transmission loss and emission reduction". *Energy* 56: 135–43.
- Sohrabi, Farnaz, Farkhondeh Jabari, Pouya Pourghasem, ve Behnam Mohammadi-Ivatloo. 2020. "Combined Heat and Power Economic Dispatch Using Particle Swarm Optimization". *Çinde Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, 127–41. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-34050-6_6 (03 Aralık 2020).
- Song, Y. H., C. S. Chou, ve T. J. Stonham. 1999. "Combined heat and power economic dispatch by improved ant colony search algorithm". *Electric Power Systems Research* 52(2): 115–21.
- Vasebi, A., M. Fesanghary, ve S. M.T. Bathae. 2007. "Combined heat and power economic dispatch by harmony search algorithm". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 29(10): 713–19.

- Yasin ÖZSAĞLAM, M, ve Mehmet Çunkaş. 2008. “Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması”. Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt 11(4): 299–305.
- Yazdani, Afshin, T. Jayabarathi, V. Ramesh, ve T. Raghunathan. 2013. “Combined heat and power economic dispatch problem using firefly algorithm”. *Frontiers in Energy* 7(2): 133–39. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-013-0248-8> (03 Aralık 2020).
- Yoshida, Hirotaka vd. 2000. “A Particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment”. *IEEE Transactions on Power Systems* 15(4): 1232–39.