

Artırma/Azaltma Limitli ve Yasak İşletim Bölgesi Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerinin Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözümü

The Solution of the Economic Power Dispatch Problems with Ramp Rate Limits and Prohibited Operating Zones by Gravitational Search Algorithm

Serdar ÖZYÖN¹, Celal YAŞAR², Hasan TEMURTAŞ³, Burhanettin DURMUŞ⁴

^{1,2,4}Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA

¹serdarozyon@dpu.edu.tr, ²cyasar@dpu.edu.tr, ⁴bdurmus@dpu.edu.tr

³Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA

³htemurtas@dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada artırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemine yerçekimsel arama algoritması (YAA) kullanılarak çözüm aranmıştır. Bu tür problemler fazlaca kısıtlı ve lineer olmayan karakteristiğe sahiptirler. Bu nedenle optimal çözümlerinin bulunması oldukça zordur. YAA'nın problem üzerindeki performansının gözlemlenmesi için, literatürde farklı metotlarla çözülmüş 15 generatörlü test sistemi seçilmiştir. Problemden iletim hattı kayıplarının hesaplanmasında B kayıp matrisi değerleri kullanılmıştır. YAA ile elde edilen optimal çözüm değerleri, literatürdeki çözüm değerleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik güç dağıtım, Artırma/azaltma limitleri, Yasak işletim bölgeleri, Yerçekimsel arama algoritması.

Abstract

In this study, solution for the economic power dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operation zones has been searched by using gravitational search algorithm (GSA). These kinds of problems have many limits and non-linear characteristic. Therefore, it is rather difficult to find optimum solutions of them. In order to observe the performance of GSA on the problem, 15 generator test system that has been selected. B loss matrix values have been used for the calculation of the transmission line losses in the problem. The optimum solution values obtained by GSA have been compared with the solution values in literature and the results have been discussed.

Keywords: Economic power dispatch, Ramp rate limits, Prohibited operating zones, Gravitational search algorithm.

1. Giriş

Sistemdeki mevcut yükün, sistemin kısıtları altında üretim birimleri tarafından minimum maliyetle karşılanabilmesi için birimlerin aktif güç çıkışlarının ayarlanması, geleneksel ekonomik güç dağıtım problemi olarak bilinir [1]. Yapılan birçok çalışmada bu tür problemlerin çözümünde generatörlere ait artırma/azaltma sınırları ve yasak işletim bölgeleri gibi bazı kısıtlar ihmal edilerek problemlerin çözülmesi kolaylaştırılmaktadır. Bu kısıtların ihmal edilmesi elde edilen çözümlerin uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenle söz konusu kısıtların probleme ilave edilmesiyle ekonomik güç dağıtım problemleri daha fazla gerçek problemlere yaklaşmaktadır. Bu şekilde ilave kısıtları içeren optimizasyon problemi daha fazla kısıtlı lineer olmayan optimizasyon problemine dönüşmektedir. Artırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemi doğrusal olmayan karakteristiğe sahip ve optimal çözümünün bulunması oldukça zor olan bir problemdir.

Literatürde çeşitli artırma azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerine çok farklı algoritmalarla çözümler aranmıştır. Bunlardan bazıları genetik algoritma (GA) [2], parçacık sürü optimizasyonu algoritması (PSOA) [3], yapay bağıklık sistemi optimizasyon algoritması (YBSOA) [4], modifiye edilmiş diferansiyel gelişim algoritması (MDGA) [5], kolay hibrid metot yaklaşımı (KHM) [6], tabu ve çoklu tabu arama algoritmaları (ÇTAA) [7] ve bakteri yiyecek arama algoritmaları (BYAA) [8] olarak belirtilebilir.

Bu çalışmada, artırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü için yerçekimsel arama algoritması (YAA) kullanılmıştır. YAA, Newton yerçekimi ve hareket kanunlarından esinlenilmiş ve son yıllarda ortaya çıkan en yeni algoritmalarından biridir.

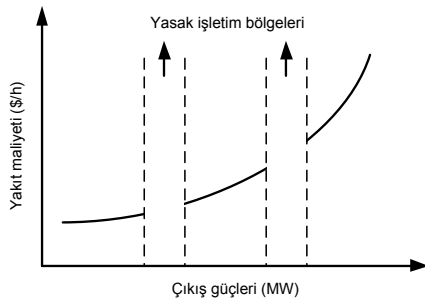
2. Problemin Formülasyonu

Artırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü, sistem kısıtları altında toplam yakıt maliyeti minimize edilerek bulunur. Bu tür problemlerde, maliyet eğrisi Şekil 1'de görüldüğü gibi kesikli salınımlar şeklinde artmaktadır [1,2].

Sistemdeki üretim birimlerinin yakıt maliyet eğrisi aşağıdaki denklemde verildiği gibi her bir birim için aktif güç üretiminin 2. derece fonksiyonu olarak alınmıştır [1-8].

$$\min F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i), (\$/h) \quad (1)$$

Denklem (1)'de F_T toplam yakıt maliyetini göstermekte olup P_i 'de MW olarak alınmaktadır.



Şekil 1. Yasak işletim bölgesi yakıt maliyet fonksiyonu

Kayıplı sistemdeki güç eşitlik kısıtı denklem (2)'deki gibi alınmıştır.

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_{yük} - P_{kayıp} = 0 \quad (2)$$

Termik üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (3)'de verilmiştir.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (3)$$

Sistemin iletim hatlarında meydana gelen güç kayıpları B kayıp matrisi ile denklem (4) kullanılarak hesaplanmaktadır [1-7].

$$P_{kayıp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} \cdot P_i + B_{00} \quad (4)$$

İletim hattı güç kayıpları denklemde yer alan B_{ij} ; iletim hattı kayıp katsayılar matrisi, B_{0i} ; P_i ile aynı uzunlukta vektör, B_{00} ; sabit sayıdır.

Generatörlerin çıkış güçlerinin ani olarak artırılması ve azaltılması belli sınırlar içerisinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla üretim birimleri bu sınırlar dışındaki herhangi bir çalışma değerine ani olarak azaltılıp yükseltilemez. Bu nedenle sisteme bağlı tüm üretim birimlerinin çalışma değerleri arasındaki geçişler denklem (5)'te verilen artırma/azaltma sınırları tarafından kısıtlanır [2-4].

$$P_i^0 - P_i \leq DR_i \quad \text{ve} \quad P_i - P_i^0 \leq UR_i \quad (5)$$

Denklemdeki P_i^0 üretim biriminin bir önceki adımda ürettiği güç, DR azaltma ve UR artırma sınır değerlerini göstermektedirler. Üretim birimlerine ait artırma/azaltma sınır değerleri denklem (3)'te verilen birimlerin çalışma sınır değerlerine uygulandığında denklem (3) aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\max(P_i^{\min}, P_i^0 - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_i^{\max}, P_i^0 + UR_i) \quad (6)$$

Yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerinde Şekil 1'de gösterilen kesikli yakıt maliyet eğrileri kullanılmaktadır. Bu nedenle yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminde denklem (3)'teki üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (7)'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır [2-4].

$$P_i \in \begin{cases} P_i^{\min} \leq P_i \leq P_{i,1}^l \\ P_{i,j-1}^u \leq P_i \leq P_{i,j}^l \quad j = 2, 3, \dots, pz_i \\ P_{i,pz_i}^u \leq P_i \leq P_i^{\max} \end{cases} \quad (7)$$

Denklemde $P_{i,j}^u$, $P_{i,j}^l$ i . üretim biriminin MW olarak yasak işletim bölgelerinin sırasıyla alt, üst sınırlarını ve pz_i i . üretim biriminin yasak işletim bölge sayısını göstermektedir.

3. Yerçekimsel Arama Algoritması

Fizikte, kütleye sahip nesnelere birbirine doğru hızlanma eğilimi gösterir. Newton yerçekimi kanununda, her bir parça diğer parçayı belli bir güçle çekmektedir ki bu da "yerçekimsel güç" tür. YAA, Newton yerçekimi ve hareket kanunlarından esinlenilmiş en yeni algoritmalarından biridir. YAA'da kütleler olarak adlandırılan bir dizi ajan Newton yerçekimi ve hareket kanunlarının simülasyonu ile optimum çözümü bulmak üzere tanımlanır [9,10].

YAA'yı tanımlamak için içinde i . kümenin konumunun aşağıdaki gibi tanımlandığı s kümelili bir sistem varsayalım:

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n), \quad i = 1, 2, \dots, s \quad (8)$$

Burada x_i^d , d . boyuttaki i . kümenin konumudur, n ise arama alanının boyutudur. Her bir ajanın kütlesi uygunluğu ile temsil edilir ve popülasyondaki diğer bireylerin uygunluğuna göre hesaplanır:

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (9)$$

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^s q_j(t)} \quad (10)$$

Bu denklemlerde $M_i(t)$ ve $fit_i(t)$ sırasıyla kütleyi ve t anındaki i . ajanın uygunluk değerini temsil eder. Bir minimizasyon problemi için $best(t)$ ve $worst(t)$ aşağıdaki gibi tanımlanır [9,10].

$$best(t) = \min_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (11)$$

$$worst(t) = \max_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (12)$$

Bir ajanın ivmesi hesaplanırken, öncelikle diğer kütleler (ajanlar) tarafından onun üzerine uygulanan toplam güç yerçekimi kanununa bağlı olarak hesaplanır. Söz konusu ajana etkiyen toplam güç (13)'de tanımlanmıştır. Daha sonra hareket kanununu kullanarak ajanın ivmesi hesaplanır (14). Denklem (15)'te gösterildiği gibi, ajana ait ivme değeri mevcut hıza eklenerek yeni hız vektörü elde edilir. Son olarak, ajanın bir adım sonraki konumu (16)'ya göre belirlenir [9,10].

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in k_{best}, j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t) M_i(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (13)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} = \sum_{j \in k_{best}, j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (14)$$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (15)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (16)$$

Burada $rand_i$ ve $rand_j$ [0,1] aralığında dağıtılmış rastgele iki sayıdır. ε küçük bir değerdir (tanımsızlığı ortadan kaldırmak için kullanılır), $R_{ij}(t)$ i ve j ajanları arasındaki öklid mesafesidir ve $R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2$ olarak tanımlanır, k_{best} en iyi uygunluk değeri ve en büyük kütleyle sahip ilk K ajanlarının bir dizisidir, ki bu da başlangıçta K_0 'da başlatılan ve zamanla azaltılan bir zaman fonksiyonudur. Burada K_0 , s 'nin (toplam ajan sayısı) kümesidir ve doğrusal olarak 1'e düşürülür. GSA'da yerçekimsel sabit $G(t)$, bir başlangıç

değeri G_0 , β sabit katsayı, t şu anki iterasyon sayısı t_{max} ise bitiş iterasyon sayısını gösterir [9,10].

$$G(t) = G_0 e^{-\beta(t/t_{max})} \quad (17)$$

4. Örnek Problem Çözümü

YAA, 15 generatörlü test sistemine 2630 MW yük talebi için uygulanmıştır. Yapılan çalışmada YAA için kullanılan parametre değerleri ise şu şekildedir: $G_0 = 40$, $\beta = 20$, $\varepsilon = 10^{-6}$. Popülasyondaki ajan sayısı (s) 25, her ajandaki bilinmeyen sayısı (n) 14, iterasyon sayısı ise 250 olarak alınmıştır.

Problemde kullanılan yakıt maliyet fonksiyonu katsayıları, artırma/azaltma ve aktif güç üretim sınırları Çizelge 1'de, yasak işletim bölgeleri Çizelge 2'de ve enerji iletim hatlarının kayıplarının hesaplanmasında kullanılan B kayıp matrisi değerleri Çizelge 3'de verilmiştir [2,5].

YAA'nın 15 generatörlü test sistemine uygulanmasından elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin, iletim hattı kayıplarının ve generatörlerin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'de verilmiştir.

15 generatörlü test sisteminin YAA ile çözümü, AMD X2 4400+ 2.31 GHz işlemcili, 4 GB bellekli bir bilgisayarda ve Matlab R2010a programında 10.7263 sn'de tamamlanmıştır.

Çizelge 1. Üretim birimlerinin maliyet katsayıları, artırma/azaltma ve aktif güç üretim sınırları

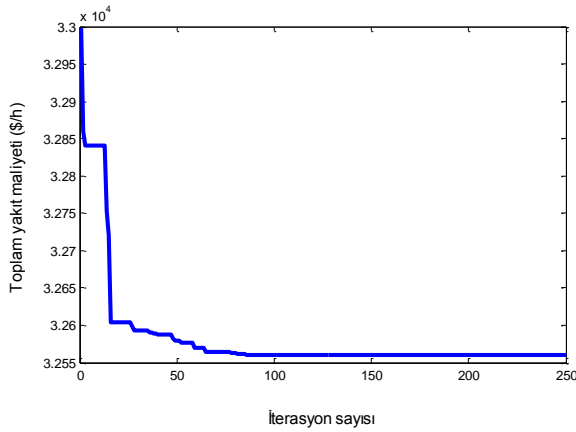
Bara No (i)	a	b	c	UR (MW/h)	DR (MW/h)	P ⁰ (MW)	P ^{min} (MW)	P ^{max} (MW)
1	0,000299	10,1	671	80	120	400	150	455
2	0,000183	10,2	574	80	120	300	150	455
3	0,001126	8,8	374	130	130	105	20	130
4	0,001126	8,8	374	130	130	100	20	130
5	0,000205	10,4	461	80	120	90	150	470
6	0,000301	10,1	630	80	120	400	135	460
7	0,000364	9,8	548	80	120	350	135	465
8	0,000338	11,2	227	65	100	95	60	300
9	0,000807	11,2	173	60	100	105	25	162
10	0,001203	10,7	175	60	100	110	25	160
11	0,003586	10,2	186	80	80	60	20	80
12	0,005513	9,9	230	80	80	40	20	80
13	0,000371	13,1	225	80	80	30	25	85
14	0,001929	12,1	309	55	55	20	15	55
15	0,004447	12,4	323	55	55	20	15	55

Çizelge 2. Yasak işletim bölgeleri

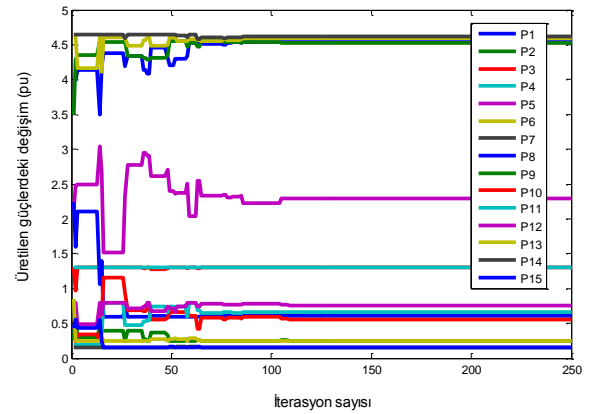
Bara No	Bölge-I	Bölge-II	Bölge-III
2	[185,225]	[305,335]	[420,450]
5	[180,200]	[305,335]	[390,420]
6	[230,255]	[365,395]	[430,455]
12	[30,40]	[55,65]	-

Çizelge 3. B kayıp matrisi değerleri

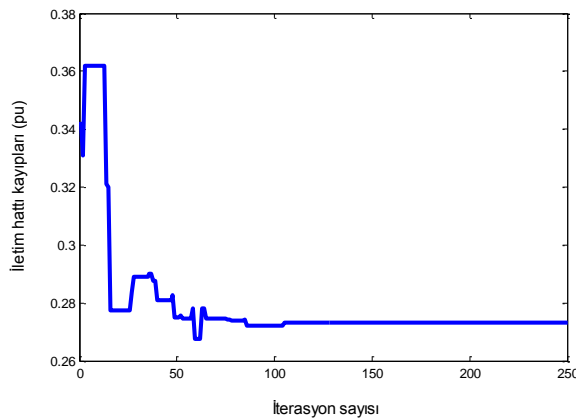
B-Katsayıları															
$[B] = 0,001 *$	1,4	1,2	0,7	-0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,2	0,4	0,3	-0,1
	1,2	1,5	1,3	0,0	-0,5	-0,2	0,0	0,1	-0,2	-0,4	-0,4	0,0	0,4	1,0	-0,2
	0,7	1,3	7,6	-0,1	-1,3	-0,9	-0,1	0,0	-0,8	-1,2	-1,7	0,0	-2,6	11,1	-2,8
	-0,1	0,0	-0,1	3,4	-0,7	-0,4	1,1	5,0	2,9	3,2	-1,1	0,0	0,1	0,1	-2,6
	-0,3	-0,5	-1,3	-0,7	9,0	1,4	-0,3	-1,2	-1,0	-1,3	0,7	-0,2	-0,2	-2,4	-0,3
	-0,1	-0,2	-0,9	-0,4	1,4	1,6	0,0	-0,6	-0,5	-0,8	1,1	-0,1	-0,2	-1,7	0,3
	-0,1	0,0	-0,1	1,1	-0,3	0,0	1,5	1,7	1,5	0,9	-0,5	0,7	0,0	-0,2	-0,8
	-0,1	0,1	0,0	5,0	-1,2	-0,6	1,7	16,8	8,2	7,9	-2,3	-3,6	0,1	0,5	-7,8
	-0,3	-0,2	-0,8	2,9	-1,0	-0,5	1,5	8,2	12,9	11,6	-2,1	-2,5	0,7	-1,2	-7,2
	-0,5	-0,4	-1,2	3,2	-1,3	-0,8	0,9	7,9	11,6	20,0	-2,7	-3,4	0,9	-1,1	-8,8
	-0,3	-0,4	-1,7	-1,1	0,7	1,1	-0,5	-2,3	-2,1	-2,7	14,0	0,1	0,4	-3,8	16,8
	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,7	-3,6	-2,5	-3,4	0,1	5,4	-0,1	-0,4	2,8
	0,4	0,4	-2,6	0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,1	0,7	0,9	0,4	-0,1	10,3	-10,1	2,8
	0,3	1,0	11,1	0,1	-2,4	1,7	-0,2	0,5	-1,2	-1,1	-3,8	-0,4	-10,1	57,8	-9,4
	-0,1	-0,2	-2,8	-2,6	-0,3	0,3	-0,8	-7,8	-7,2	-8,8	16,8	2,8	2,8	-9,4	128,3
$[B_0] = 0,001 *$	-0,1	-0,2	2,8	-0,1	0,1	-0,3	-0,2	-0,2	0,6	3,9	-1,7	0,0	-3,2	6,7	-6,4
$[B_{00}] = 0,0055$															



Şekil 2. Toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi



Şekil 4. Üretilen güçlerin iterasyonlara göre değişimi



Şekil 3. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi

Şekil 2'de 250 iterasyon çalışan çözüm algoritmasının toplam yakıt maliyetinin optimal değerini yaklaşık 85.iterasyonda yakaladığı görülmüştür. Şekil 3'te ise iletim kayıpları yaklaşık 110.iterasyonda 27,23 MW'a oturmuştur. Şekil 4'te sistemin generatörlerinin çıkış güçlerinin değişimleri incelendiğinde çıkış güçleri yaklaşık 10. ile 110.iterasyonlar arasında farklı iterasyonlarda salınarak optimal değerleri yakaladıkları görülmektedir.

Test sistemi için elde edilen optimal çözüm değerleri koyu olarak Çizelge 4'de literatürdeki sonuçlarla birlikte verilmiştir. Çizelge 4'ten YAA'nın literatürdeki değerleri yakaladığı ve hatta daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Öyleki YAA, literatürdeki KHM'le elde edilen en iyi sonuçtan 112,6662 \$/h daha iyi sonuç bulmuştur.

Çizelge 4. Test sistemi için literatürdeki sonuçlar ve GSA ile elde edilen optimal çözüm değerleri

Bara No	GA [2]	MPSOA [3]	YBSOA [4]	MDGA [5]	KHM [6]	ÇTAA [7]	YAA
P ₁ (MW)	455.0000	455.0000	441.1587	454.9900	455.0000	453,9922	454.1940
P ₂ (MW)	380.0000	380.0000	409.5873	379.9900	380.0000	379,7434	452.6000
P ₃ (MW)	130.0000	130.0000	117.2983	130.0000	130.0000	130,0000	129.9550
P ₄ (MW)	130.0000	130.0000	131.2577	129.9900	130.0000	129,9232	129.9140
P ₅ (MW)	170.0000	170.0000	151.0108	169.9900	170.0000	168,0877	229.1750
P ₆ (MW)	460.0000	460.0000	466.2579	459.9900	460.0000	460,0000	459.4620
P ₇ (MW)	430.0000	430.0000	423.3678	429.9900	430.0000	429,2253	462.5640
P ₈ (MW)	106.2500	92.7278	99.948	60.0000	90.1494	104,3097	60.2247
P ₉ (MW)	25.0000	43.0282	110.684	70.4100	37.7577	35,0358	25.2976
P ₁₀ (MW)	160.0000	140.1938	100.2286	159.9900	160.0000	155,8829	55.9008
P ₁₁ (MW)	80.0000	80.0000	32.0573	79.9900	80.0000	79,8994	66.6028
P ₁₂ (MW)	80.0000	80.0000	78.8147	79.9900	80.0000	79,9037	76.1169
P ₁₃ (MW)	25.0000	27.6403	23.5683	25.0000	25.0000	25,0220	25.2415
P ₁₄ (MW)	15.0000	20.7610	40.2581	15.0700	15.0000	15,2586	15.0816
P ₁₅ (MW)	15.0000	22.2724	36.9061	15.1600	15.0000	15,0796	15.0000
∑P _i (MW)	2661.3000	2661.6235	2662.0400	2660.5500	2657.9072	2661,3600	2657.3300
P _{kayıp} (MW)	31.2580	29.9780	32.4075	30.6200	27.9070	31,3523	27.3300
F _T (\$/h)	32711.0000	32738.4177	32854.0000	32704.9000	32672.9595	32716,8700	32560.2933

5. Sonuçlar

Çalışmada YAA algoritması, artırma azaltma limitli yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü için 15 generatörlü test sistemine uygulanmıştır. Önerilen algoritma ile elde edilen sonuçların, literatürde verilen sonuçlara yakınsadığı ve karşılaştırması yapılan birçok metottan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

YAA algoritması Newton yerçekimi ve hareket kanunlarından esinlenilmiş popülasyon tabanlı en yeni sezgisel algoritmalarından biridir. Çalışmada temel YAA algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma üzerinde yapılacak çeşitli çalışmalarla metot daha kararlı ve daha güçlü hale getirilebilir.

6. Kaynaklar

- [1] Wood, A.J. and Wollenberg, B.F., *Power Generation Operation and Control*, Wiley, New York, 1996.
- [2] Kuo, C.C., "A novel string structure for economic dispatch problems with practical constraints", *Energy Conv. Manag.*, Vol.49, Iss.12, pp.3571-3577, 2008.
- [3] Neyestani, M. Farsangi, M.M. and Nezamabadi-pour, H., "A modified particle swarm optimization for economic dispatch with non-smooth cost functions", *Eng. Appl. Art. Intel.*, Vol.23, Iss.7, pp.1121-1126, 2010.
- [4] Panigrahi, B.K. Yadav, S.R. Agrawal, S. and Tiwari, M.K., "A clonal algorithm to solve economic load dispatch", *Electr. Power Syst. Res.*, Vol.77, Iss.10, pp.1381-1389, 2007.
- [5] Amjady, N. and Sharifzadeh, H., "Solution of non-convex economic dispatch problem considering valve loading effect by a new modified differential evolution algorithm", *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol.32, Iss.8, pp.893-903, 2010.
- [6] Pourakbari-Kasmaei, M. and Rashidi-Nejad, M., "An effortless hybrid method to solve economic load dispatch problem in power systems", *Energy Conv. Manag.*, Vol.52, Iss.8-9, pp.2854-2860, 2011.
- [7] Pothiya, S. Ngamroo, I. and Kongprawechnon, W., "Application of multiple tabu search algorithm to solve dynamic economic dispatch considering generator constraints", *Energy Conv. Manag.*, Vol.49, pp.506-516, 2008.
- [8] Panigrahi, B.K. and Pandi, V.R., "Bacterial foraging optimisation: Nelder-Mead hybrid algorithm for economic load dispatch", *IET Gener. Transm. Distrib.*, Vol.2, Iss.4, pp.556-565, 2008.
- [9] Rashedi, E. Nezamabadi-pour, H. and Saryazdi, S., "GSA: A gravitational search algorithm", *Information Science*, Vol.179, Iss.13, pp.2232-2248, 2009.
- [10] Rashedi, E. Nezamabadi-pour, H. and Saryazdi, S., "BGSA: Binary gravitational search algorithm". *Natural Computing*, Vol.9, Iss.3, pp.727-745, 2010.