

Harmoni Arama Algoritmasının Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması

Serdar ÖZYÖN^{*1}, Celal YAŞAR¹ ve Hasan TEMURTAŞ²

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elek- Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kütahya/Türkiye

²Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Kütahya/Türkiye

Özet

Günümüzde elektrik enerjisi üretiminde çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtların kullanılması çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu nedenle enerji problemleri çözülürken yakıt maliyetinin yanında çevre kirliliği de dikkate alınmalıdır. Çevre kirliliğini de dikkate alan bu tür problemlere çevresel ekonomik güç dağıtım problemleri adı verilmektedir. Bu çalışmada çevresel ekonomik güç dağıtım problemi ağırlıklı toplam metodu (ATM) kullanılarak tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Dönüştürülen problemin çözümü için harmoni arama (HS) algoritması kullanılmıştır. HS algoritmasının uygulaması için 30 baralı 6 generatörlü (IEEE) test sistemi seçilmiştir. Test sistemi iletim hattı kayıpları ihmal ve dahil edilerek iki kez çözülmüştür. İletim hattı kayıplarının hesaplanması için B kayıp matrisleri kullanılmıştır. Problemin çözümü için farklı ağırlık değerleri (w) kullanılarak optimal çözümler elde edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel ekonomik güç dağıtım, ağırlıklı toplam metodu, harmoni arama algoritması.

Harmony Search Algorithm Applied To Environmental Economic Power Dispatch Problem

Abstract

Today, the frequent use of fossil based fuels for the generation of electrical energy causes environmental pollution. Therefore, environmental pollution as well as the fuel cost has to be taken into consideration in the solution of energy problems. These kind of problems that also take the environmental pollution into consideration are called environmental economic power dispatch problem has been converted into single object optimization problem by using weighted sum method (ATM). For the solution of the converted problem harmony search (HS) algorithm has been used. For the application of the HS algorithm a test system with 30 buses and 6 generators (IEEE) has been selected. The test system has been solved twice by ignoring and including the transmission line losses. For the calculation of the transmission line losses B loss matrixes have been used. Optimum solutions have been obtained by using different weight values (w) for the solution of the problem and the results have been discussed.

Key words: Environmental economic power dispatch, weighted sum method, harmony search algorithm.

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Serdar Özyön, *Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elek- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya/Türkiye.*
serdarozyon@dumlupinar.edu.tr

1. GİRİŞ

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. Çevresel kriterler dikkate alındığında geleneksel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümleri, en iyi sonuçlar olarak değerlendirilmeyebilir. Bu nedenle çevresel etkiler düşünüldüğünde üretim birimleri tarafından yayılan emisyon miktarı azaltılmak zorundadır. Emisyon miktarını azaltma yöntemlerinden biri de daha az emisyon yayan üretim birimlerini daha fazla çalıştırmak şeklinde ortaya çıkmaktadır [1-3].

Fosil kaynaklı yakıtları kullanan üretim birimleri yakıt olarak kömür, petrol ve doğal gazı kullanmaktadır. Bu yakıtlar da parçacıklar ve gazlardan oluşan atmosferik atık yayılımına yol açmaktadır. Çevreye yayılan bu atık gazlar CO_2 , SO_2 ve NO_x içermektedir. Bu atık gazlar bütün canlılara zarar vermekte ve hatta küresel ısınmaya yol açmaktadır [3].

Güç sistemlerinden hem ekonomik hem de az miktarda emisyon yayan enerji üretilmek istenildiğinde, problem geleneksel güç dağıtım probleminden çevresel ekonomik güç dağıtım problemine dönüşmektedir. Çevresel ekonomik güç dağıtım problemi çok amaçlı optimizasyon problemlerinden biridir. Çok amaçlı optimizasyon problemleri literatürde iki farklı şekilde çözülmektedir. Bunlardan biri çok amaçlı optimizasyon problemlerine doğrudan çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözen metotların uygulanması, diğeri ise çok amaçlı optimizasyon problemlerini tek amaçlı optimizasyon problemlerine dönüştürdükten sonra bu tür problemleri çözen metotların uygulanması şeklindedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerini tek amaçlı optimizasyon problemlerine dönüştürmek için kullanılan metotlardan biride *ATM*'dir [2].

Literatürde bazı çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü, çok amaçlı optimizasyon probleminin doğrudan çözümü diferansiyel gelişim algoritmasıyla [4,5], çok amaçlı evrimsel algoritma metoduyla [6,7], parçacık sürüsü optimizasyonu

veya geliştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyonu metoduyla [3,8], genetik veya geliştirilmiş genetik algoritmayla [9-13], analitik metotla [14], çok amaçlı rassal arama tekniğiyle [15] ve çok amaçlı düzensiz karınca kolonisi yaklaşımıyla [16] gerçekleştirilmiştir. Problem *ATM*'yle tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürüldükten sonra genetik veya geliştirilmiş genetik algoritmayla [1,2,9,10], parçacık sürüsü optimizasyonu veya geliştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyonu metoduyla [3,8], çok amaçlı evrimsel algoritma metoduyla [7] ve birinci derece gradyent metotla [17] çözülmüştür.

Fosil kaynaklı yakıtları kullanan üretim birimleri çevreye atık gazlarıyla zarar vermektedirler. Bunlardan SO_2 yayılımı sadece yakıt tüketimine bağlı olup matematiksel olarak modellenmesi daha kolaydır. Fakat NO_x yayılımı kazan sıcaklığı ve hava karışımı gibi birkaç faktörün birleşiminden oluştuğu için modellenmesi oldukça zordur. Ayrıca NO_x yayılımı diğer kirleticilerden daha fazla zararlıdır [3,18].

Literatürde bazı çalışmalarda SO_2 ve NO_x yayılımı birlikte, bazı çalışmalarda ise ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada sadece NO_x yayılımı göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada çevresel ekonomik güç dağıtım problemi *ATM* yardımıyla tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmüş ve çözüm için harmoni arama (HS) algoritması uygulanmıştır. HS yeni ve güçlü bir popülasyon tabanlı algoritmadır [19-23].

2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü, sistem kısıtları altında *ATM*'yle birleştirilmiş amaç fonksiyonunun (toplam termik maliyet ve toplam NO_x emisyon miktarı) minimize edilmesi şekliyle bulunur. Sistemdeki üretim birimlerinin termik maliyeti her bir birim için aktif güç üretiminin 2. derece fonksiyon olarak alınmıştır [1,2,17,24].

$$F_n(P_{G,n}) = a_n + b_n P_{G,n} + c_n P_{G,n}^2, \quad (R/h) \quad (1)$$

Her bir termik birim tarafından yayılan NO_x emisyon miktarı üretim biriminin çıkış gücü cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [2,4,7,8].

$$E_n(P_{G,n}) = d_n + e_n P_{G,n} + f_n P_{G,n}^2 + g_n \exp(h_n P_{G,n}), (\text{ton/h}) \quad (2)$$

Denklem (1)-(2)'de $P_{G,n}$ 'in birimi MW olarak alınmaktadır. Kayıplı sistemdeki güç eşitlik kısıtı denklem (3)'deki gibi alınmıştır.

$$\sum_{n \in N_G} P_{G,n} - P_{yük} - P_{kayıp} = 0 \quad (3)$$

Termik üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (4)'de verilmiştir.

$$P_{G,n}^{\min} \leq P_{G,n} \leq P_{G,n}^{\max}, \quad (n \in N_G) \quad (4)$$

Sistemin iletim hatlarında meydana gelen güç kayıpları B kayıp matrisi ile denklem (5) kullanılarak hesaplanmaktadır [5,24].

$$P_{kayıp} = \sum_{n \in N_G} \sum_{j \in N_G} P_{G,n} \cdot B_{nj} \cdot P_{G,j} + \sum_{n \in N_G} B_{0n} \cdot P_{G,n} + B_{00} \quad (5)$$

Minimize edilecek olan çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin ATM ile birleştirilmiş amaç fonksiyonu (AF) aşağıdaki gibidir.

$$AF = w \sum_{n \in N_G} F_n(P_{G,n}) + (1-w) \gamma \sum_{n \in N_G} E_n(P_{G,n}) \quad (6)$$

Denklemden, (R/h) olarak termik maliyeti $F_n(P_{G,n})$ 'le ve (ton/h) olarak NO_x emisyon miktarı fonksiyonu ise $E_n(P_{G,n})$ 'le gösterilmektedir. γ ölçekleme faktörü, w ise $(0 \leq w \leq 1)$ şeklinde değişen ağırlık faktörünü ve N_G sistemdeki tüm termik üretim birimlerinin kümesini göstermektedir. Burada $w=1,0$ değeri sadece yakıt maliyetinin, $w=0,0$ değeri ise sadece NO_x emisyon miktarının minimum olmasına karşılık düşmektedir.

Sistemdeki toplam yakıt maliyeti $F_T(P_{G,n})$ ve toplam NO_x emisyon miktarı $E_T(P_{G,n})$ sırasıyla denklem (7) ve (8) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F_T(P_{G,n}) = \sum_{n \in N_G} F_n(P_{G,n}), (R/h) \quad (7)$$

$$E_T(P_{G,n}) = \sum_{n \in N_G} E_n(P_{G,n}), (\text{ton/h}) \quad (8)$$

$$AF = \text{Minimum}\{f(x)\}, \quad x_i \in X_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

Denklemden $f(x)$ minimize edilecek amaç fonksiyonunu, x_i her karar değişkeni için kullanılan

3. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Optimizasyon tekniği olarak kullanılan ve ilk olarak Geem ve arkadaşları tarafından geliştirilen HS algoritması, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır [19-23].

HS algoritması çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü gerektirmemesi, birden fazla çözümle optimizasyon işlemine devam ettiği için birçok yönde genel optimum çözümü arayarak, bu sayede yerel optimum çözümlerden kurtulması ve optimizasyon işlemlerinde hem sürekli hemde ayrık değişkenler kullanılması metodun avantajları olarak ortaya çıkmaktadır.

HS algoritması hesaplama mantığı bakımından genetik algoritma (GA) ile benzerlikleri olmasına karşın, bu iki yöntem arasındaki en belirgin fark yeniden üretim aşamasındaki varsayımlardan kaynaklanmaktadır. GA ile yeni bir karar değişkeninin oluşturulmasında toplum içerisindeki iki adet birey kullanılırken HS metodunda oluşturulan yeni birey toplum içindeki tüm bireylerin özelliklerini taşıyabilmektedir. Ayrıca HS'de bir iterasyonun tamamlanması GA'ya göre daha hızlıdır.

HS algoritmasıyla bir optimizasyon probleminin çözümü beş adımda (problemin kurulması ve çözüm parametrelerinin belirlenmesi, harmoni belleğinin oluşturulması, yeni harmoni oluşturulması, harmoni belleğinin güncellenmesi, durma koşulunun kontrolü) yapılmaktadır [19-23].

Adım 1. Problemin kurulması ve algoritma parametrelerinin belirlenmesi

Bu adımda, optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu (AF) denklem (9)'daki gibi tanımlanmaktadır.

çözüm uzayını, N ise toplam karar değişkeni sayısını göstermektedir. HS algoritmasına ait

çözüm parametreleri; harmoni belleği kapasitesi (*HMS*), harmoni belleğini dikkate alma oranı (*HMCR*) ve ton ayarlama oranı (*PAR*) şeklinde belirtilebilir [19-23].

Adım 2. Harmoni belleğinin oluşturulması

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \cdots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Adım 3. Yeni harmoni oluşturulması

Bu adımda, yeni harmoni vektörü $x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$, harmoni belleğindeki tonlara göre ve tamamen rassal seçilen tonlara göre üretilmektedir. Harmoni belleğinde bulunan tonlara göre, yeni harmoni vektörüne ait ilk karar değişkeni (x'_1) mevcut harmoni belleği (x_1, \dots, x_1^{HMS}) içerisindeki herhangi bir değerden rassal olarak seçilmektedir. Diğer karar değişkenlerinin ($x'_2, x'_3, x'_4, \dots, x'_N$) seçilmesi ise

$$x'_i = \begin{cases} HMCR \text{ olasılığında} & x'_i \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{HMS}\} \\ (1 - HMCR) \text{ olasılığında} & x'_i \in X_i \end{cases} \quad (11)$$

Bundan sonra, ton ayarlama işleminin gerekli olup olmadığının belirlenmesi için her karar değişkeninin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Ton

$$x'_i = \begin{cases} PAR \text{ olasılığında} & x'_i \pm Rnd\{0,1\} \times bw \\ (1 - PAR) \text{ olasılığında} & x'_i \end{cases} \quad (12)$$

Denklemden bw rassal seçilmiş band genişliğini, $Rnd(0,1)$ ise 0 ile 1 arasında üretilmiş rassal sayıyı göstermektedir. PAR olasılığında x'_i karar değişkeni değiştirilmekte, $(1 - PAR)$ durumunda ise hiçbir şey yapılmamaktadır. $HMCR$ ve PAR parametreleri algoritmanın sırasıyla genel ve yerel optimum çözümleri bulmasında yardımcı olmaktadır.

Adım 4. Harmoni belleğinin güncellenmesi

Bu adımda, amaç fonksiyonlarının değerleri bakımından yeni oluşturulan harmoni

Bu adımda, tanımlanan çözüm uzayı içerisinde tamamı rassal olarak üretilmiş karar değişkenleri ile harmoni belleği doldurulur. Bu çözümlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri denklem (10)'dan bulunur [19-23].

benzer şekilde yapılmaktadır. Değişkenlerin harmoni belleğinden seçilip seçilmeyeceğinin belirlenmesi, $HMCR$ değerine göre yapılmaktadır. Burada, $HMCR$ (0 ile 1 arasında değişir) bir karar değişkeninin değerinin mevcut harmoni belleğinden seçilme olasılığını gösterirken, $(1 - HMCR)$ oluşturulan yeni karar değişkeninin mevcut çözüm uzayı içerisinde rassal olarak seçilmesine karşılık gelmektedir. Seçim işleminin yapılaş biçimi denklem (11)'de gösterilmiştir [19-23].

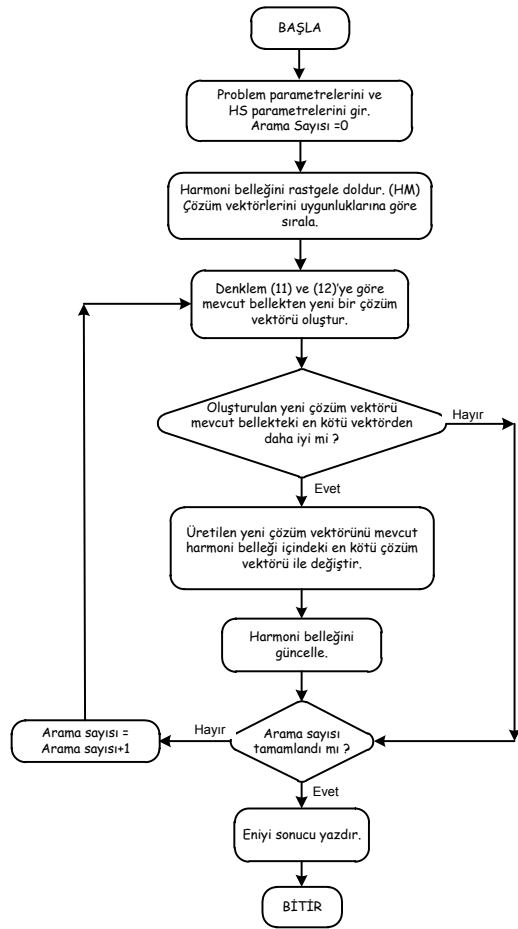
ayarlama oranı (PAR) denklem (12)'ye göre yapılmaktadır [19-23].

$x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$ ile bellekteki en kötü harmoni arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Yeni oluşturulan harmoni vektörünün en kötü harmoniden daha iyi sonuç vermesi durumunda, en kötü harmoni vektörü bellekten çıkarılır ve yeni harmoni vektörü onun yerine atanır [19-23].

Adım 5. Durma koşulunun kontrolü

Bu adımda verilen durma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Koşulun sağlanmaması durumunda yeniden üretim, yeni harmoni oluşturulması, değişkenlerin harmoni

belleğinden seçilip seçilmeyeceği (HMCR), ton ayarlama (PAR) ve harmoni belleğinin güncellenmesi adımları tekrar edilir. Durma koşulu sağlandığında en iyi sonuç alınarak arama sonlandırılır [19-23]. Bu adımları gösteren harmoni arama optimizasyon algoritmasının akış diyagramı Şekil-1’de verilmiştir.



Şekil 1. Harmoni arama algoritmasının akış şeması.

4. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASININ PROBLEME UYGULANMASI

Bu bölümde HS'nin ATM'yle birleştirilmiş çevresel ekonomik güç dağıtımına uygulanması anlatılmıştır. Başlangıç sürecinde harmoni belleği rassal olarak çözüm vektörleriyle doldurulur. M çözüm vektörü (toplam karar

değişkeni) için $P_{G,n}$ denklem (4)'de verilen eşitliği sağlayacak biçimde rassal olarak seçilir. Bir bireyin bileşeni başlangıç olarak aşağıdaki denklem kullanılarak bulunur [10,11].

$$P_{G,n} = P_{G,n}^{\min} + Rnd(0,1) \times (P_{G,n}^{\max} - P_{G,n}^{\min}) \quad (13)$$

Bu denklemde $Rnd(0,1)$ sıfırla bir arasında düzgün dağılmış rassal sayıdır. Denklem (3)'te verilen aktif güç eşitlik kısıtını sağlamak için harmoni belleğinin oluşturulması önemlidir. Aktif güç eşitlik kısıtının sağlanması için üretim gücü $P_{G,l}$ olan l . bağımlı generatör rassal olarak seçilir.

Bağımlı generatör gücü $P_{G,l}^{eski}$ 'nin değeri başlangıç durumunda $P_{kayıp}^{eski} = P_{kayıp}^{ilk} = 0$ alınarak denklem(14)'den hesaplanır [10,11].

$$P_{G,l}^{eski} = P_{yük} + P_{kayıp} - \sum_{n \in N_G, l \notin N_G} P_{G,n} \quad (14)$$

$P_{G,l}^{eski}$ 'ninde bulunmasıyla denklem (5)'ten $P_{kayıp}^{yeni}$ hesaplanır. Buna göre $P_{G,l}^{yeni}$ 'nin değeri aşağıdaki eşitlikten tekrar hesaplanır.

$$P_{G,l}^{yeni} = P_{G,l}^{eski} + P_{kayıp}^{yeni} - P_{kayıp}^{eski} \quad (15)$$

Bu işlem denklem (16)'daki eşitlikte kontrol edilir ve $Hata \leq TOL_{hata}$ değerinin altında olduğunda denklem (3) eşitliği de sağlanmış olur.

$$Hata = |P_{kayıp}^{yeni} - P_{kayıp}^{eski}|, \quad Hata \leq TOL_{hata} \quad (16)$$

Bu durumda elde edilen $P_{G,l}^{yeni}$ değerinin denklem (4) kısıtını sağlayıp sağlamadığına bakılır. Eğer sağlıyorsa işleme devam edilir. Eğer sağlamıyorsa denklem (13) eşitliğine dönülerek rassal atama işlemi yeniden yapılır.

Denklem (4)'deki kısıt sağlanıyorsa yeniden üretim için vektörler denklem (11)'e göre seçilir, denklem (12)'ye göre ton ayarlama işlemi yapılır. Bu işlemlerden sonra denklem (4)'deki eşitsizlik kısıtını sağlamayan bireyler aşağıdaki denkleme göre güncellenir [10,11].

$$P_{G,n} = \begin{cases} P_{G,n}^{\min} & \text{eğer } P_{G,n} < P_{G,n}^{\min} \\ P_{G,n}^{\max} & \text{eğer } P_{G,n} > P_{G,n}^{\max} \end{cases} \quad (17)$$

Tablo 3. w 'nin bazı değerleri için üretim birimlerinin çıkış güçleri, toplam yakıt maliyeti ve toplam NO_x emisyon miktarı (kayıpsız)

	Üretim birimlerinin çıkış güçleri (pu)						F_T (R/h)	E_T (ton/h)	
	$P_{G,1}$	$P_{G,2}$	$P_{G,5}$	$P_{G,8}$	$P_{G,11}$	$P_{G,13}$			
Ağırlık Değerleri	1,0	0,110200	0,299644	0,522250	1,016586	0,525258	0,360063	600,111	0,222150
	0,9	0,132297	0,309634	0,526626	0,964104	0,530647	0,370692	600,350	0,217697
	0,8	0,152529	0,322134	0,914180	0,532086	0,379942	0,379942	601,025	0,213847
	0,7	0,179271	0,332117	0,533173	0,860223	0,538283	0,390933	602,288	0,210010
	0,6	0,202691	0,345715	0,539934	0,804678	0,537273	0,403710	604,123	0,206570
	0,5	0,232304	0,359502	0,538882	0,746772	0,538675	0,417866	606,752	0,203335
	0,4	0,262508	0,376308	0,535360	0,686828	0,540644	0,432353	610,201	0,200504
	0,3	0,293802	0,392448	0,539297	0,620272	0,539028	0,449153	614,753	0,198041
	0,2	0,327321	0,413336	0,539250	0,547006	0,539313	0,467774	620,788	0,196036
	0,1	0,363319	0,434607	0,540203	0,467185	0,540689	0,487997	628,475	0,194700
	0,0	0,405198	0,458870	0,537399	0,385271	0,538143	0,509119	638,010	0,194203

HS algoritmasının performansını gösterebilmek için literatürde aynı problemin farklı metotlarla çözümlerinden elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu nedenle *HS* ile elde edilen optimal sonuçlar literatürde lineer programlama (LP) [10], baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (NSGA) [10,11], güçlü pareto evrimsel

algoritma (SPEA) [11], uygun sıralamalı genetik algoritmayla (NPGA) [12] ve çok amaçlı rassal arama tekniğiyle (MOSST) [15] ile elde edilen sonuçlarla eniyi toplam yakıt maliyeti durumuna ($w=1$) göre Tablo 5'te, toplam NO_x emisyon miktarı durumuna ($w=0$) göre ise Tablo 6'da karşılaştırma şeklinde verilmiştir.

Tablo 4. w 'nin bazı değerleri için üretim birimlerinin çıkış güçleri, toplam yakıt maliyeti, toplam NO_x emisyon miktarı ve kayıp miktarları (kayıplı)

	Üretim birimlerinin çıkış güçleri (pu)						F_T (R/h)	E_T (ton/h)	$P_{kayıp}$ (pu)	
	$P_{G,1}$	$P_{G,2}$	$P_{G,5}$	$P_{G,8}$	$P_{G,11}$	$P_{G,13}$				
Ağırlık Değerleri	1,0	0,190592	0,366517	0,842248	0,552356	0,702222	0,288485	644,089	0,207954	0,108420
	0,9	0,210142	0,373612	0,817646	0,545765	0,695802	0,299932	644,198	0,206062	0,108899
	0,8	0,228709	0,384366	0,799293	0,539794	0,681057	0,309961	644,491	0,204408	0,109182
	0,7	0,248625	0,394169	0,773161	0,532076	0,672046	0,323961	645,073	0,202648	0,110038
	0,6	0,269607	0,40499	0,749594	0,522371	0,659124	0,338795	645,952	0,201013	0,110490
	0,5	0,292731	0,414762	0,722485	0,511836	0,646594	0,357289	647,270	0,199404	0,111697
	0,4	0,315872	0,426723	0,691809	0,499301	0,634513	0,379198	649,145	0,197891	0,113418
	0,3	0,341287	0,438353	0,661381	0,484450	0,618670	0,405543	651,737	0,196531	0,115684
	0,2	0,366417	0,449352	0,632849	0,465117	0,602897	0,435128	655,030	0,195454	0,117760
	0,1	0,393942	0,462329	0,599344	0,441163	0,582710	0,476690	660,047	0,194580	0,122178
	0,0	0,423036	0,476420	0,562531	0,407515	0,565430	0,526594	667,117	0,194222	0,127526

Tablo 5. Farklı metotlarla $w=1,0$ için bulunan optimal çözüm değerlerinin karşılaştırılması (kayıpsız)

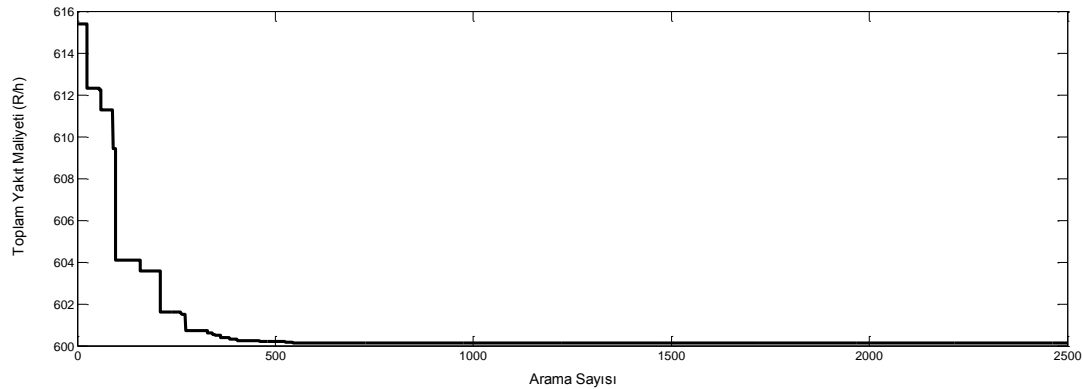
Bara No	LP	MOSST	NSGA	NSGA-II	NPGA	SPEA	HS
$P_{G,1}$ (pu)	0,1500	0,1125	0,1567	0,1059	0,1080	0,1062	0,1102
$P_{G,2}$ (pu)	0,3000	0,3020	0,2870	0,3177	0,3284	0,2897	0,2996
$P_{G,5}$ (pu)	0,5500	0,5311	0,4671	0,5216	0,5386	0,5289	0,5222
$P_{G,8}$ (pu)	1,0500	1,0208	1,0467	1,0146	1,0067	1,0025	1,0165
$P_{G,11}$ (pu)	0,4600	0,5311	0,5037	0,5159	0,4949	0,5402	0,5252
$P_{G,13}$ (pu)	0,3500	0,3625	0,3729	0,3583	0,3574	0,3664	0,3600
F_T (R/h)	606,314	605,889	600,572	600,155	600,259	600,150	600,111
E_T (ton/h)	0,22330	0,22220	0,22282	0,22188	0,22116	0,22150	0,22215

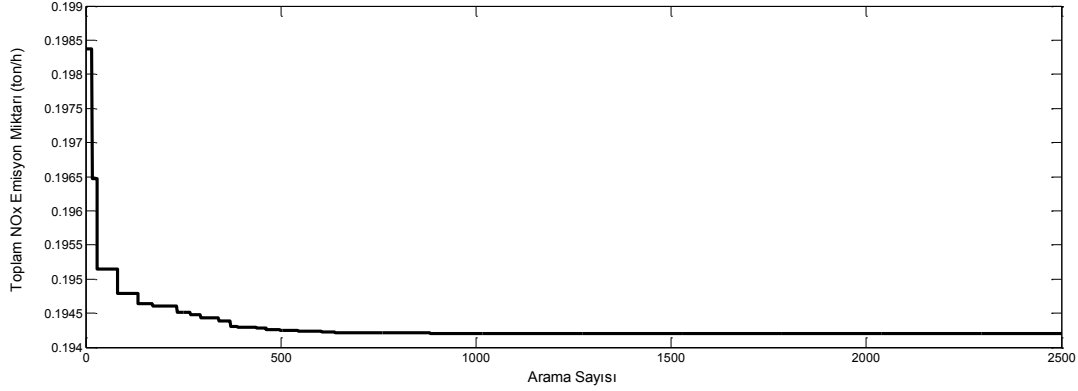
Tablo 6. Farklı metotlarla $w=0,0$ için bulunan optimal çözüm değerlerinin karşılaştırılması (kayıpsız)

Bara No	LP	MOSST	NSGA	NSGA-II	NPGA	SPEA	HS
$P_{G,1}$ (pu)	0,4000	0,4095	0,4394	0,4074	0,4002	0,4116	0,40519
$P_{G,2}$ (pu)	0,4500	0,4626	0,4511	0,4577	0,4474	0,4532	0,45887
$P_{G,5}$ (pu)	0,5500	0,5426	0,5105	0,5389	0,5166	0,5329	0,53739
$P_{G,8}$ (pu)	0,4000	0,3884	0,3871	0,3837	0,3688	0,3832	0,38527
$P_{G,11}$ (pu)	0,5500	0,5427	0,5553	0,5352	0,5751	0,5383	0,53814
$P_{G,13}$ (pu)	0,5000	0,5142	0,4905	0,5110	0,5259	0,5148	0,50911
F_T (R/h)	639,600	644,112	639,231	638,269	639,182	638,510	638,010
E_T (ton/h)	0,19424	0,19418	0,19436	0,19420	0,19433	0,19420	0,19420

Tablo 5 incelendiğinde HS ile elde edilen optimal sonuçların karşılaştırması yapılan bütün metotlardan daha iyi değer verdiği görülmektedir. Literatürdeki en iyi sonuç olan SPEA'ya göre HS 0,049 R/h daha iyi sonuç yakalamıştır. Tablo 6 incelendiğinde ise HS'nin bütün metotlardan daha iyi değer verdiği görülmektedir. HS, literatürdeki en iyi sonuç olan SPEA ile aynı miktarda emisyon miktarını 0,5 R/h daha az maliyette yakalamıştır.

HS sisteme uygulandığında kayıpsız durumda sadece yakıt maliyeti gözönüne alındığında ($w=1$) elde edilen toplam yakıt maliyetinin arama sayısına göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Kayıpsız durumda sadece toplam emisyon miktarı ele alındığında ($w=0,0$) elde edilen toplam NO_x emisyon miktarının arama sayısına göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 3.** Arama sayısına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim ($w=1,0$ - Kayıpsız)

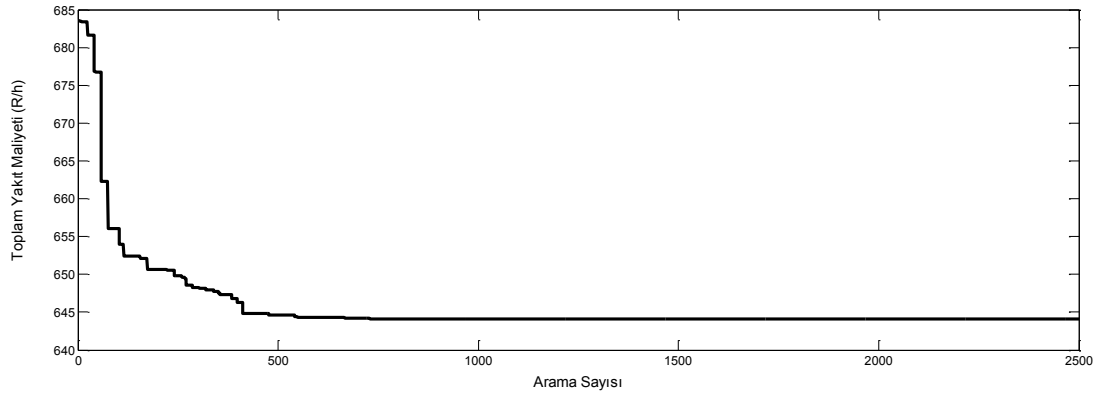


Şekil 4. Arama sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarındaki değişim ($w=0,0$ - Kayıpsız)

Şekil 3'te toplam yakıt maliyetinin yaklaşık 750. arama sayısında, Şekil 4'de ise toplam NO_x emisyon miktarının yaklaşık 900. arama sayısında sonuca yakınsadığı görülmektedir.

alındığında ($w=1,0$) elde edilen toplam yakıt maliyetinin arama sayısına göre değişimi Şekil 5'te ve iletim hatlarındaki kayıpların arama sayısına göre değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.

HS iletim hattı kayıpları dahil edilerek sisteme uygulandığında sadece yakıt maliyeti gözönüne

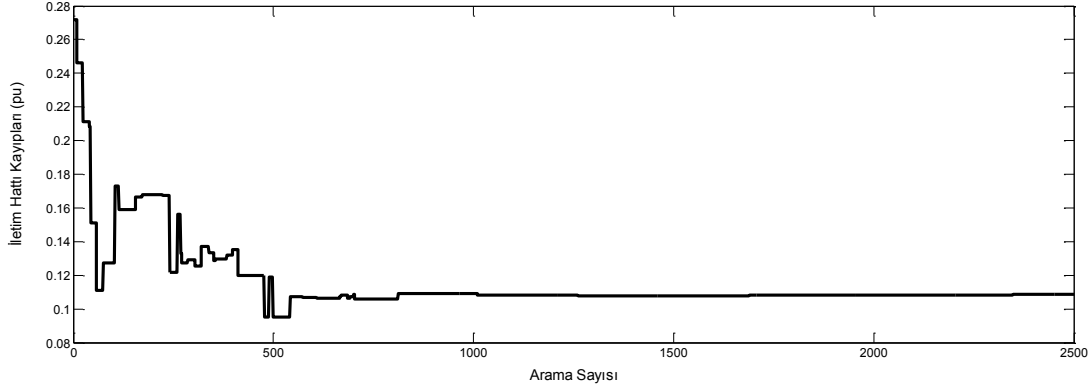


Şekil 5. Arama sayısına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim ($w=1,0$ - Kayıplı)

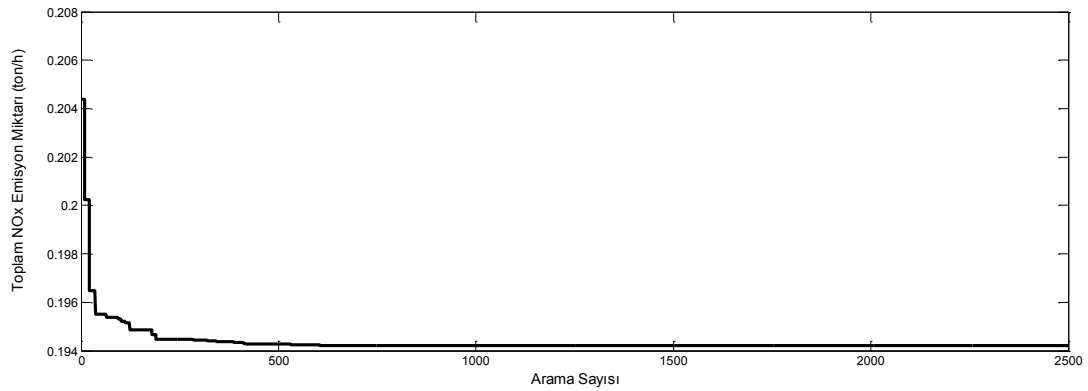
Şekil 5'te toplam yakıt maliyetinin yaklaşık 700. arama sayısından sonra değişmediği gözlenmektedir. Şekil 6'da ise yaklaşık 1000. arama sayısından sonra değişen hatlardaki güç kayıpları neredeyse tekrar yaklaşık 1700. arama sayısında aynı değere geri geldiği görülmektedir. Bu durumda yaklaşık 700. arama sayısında problemin optimal çözüme yakınsadığı söylenebilir.

Kayıplar dahil iken sadece toplam emisyon miktarı ele alındığında ($w=0,0$) elde edilen toplam NO_x emisyon miktarının arama sayısına göre değişimi Şekil 7'de ve iletim hatlarındaki kayıpların arama sayısına göre değişimi Şekil 8'de verilmiştir.

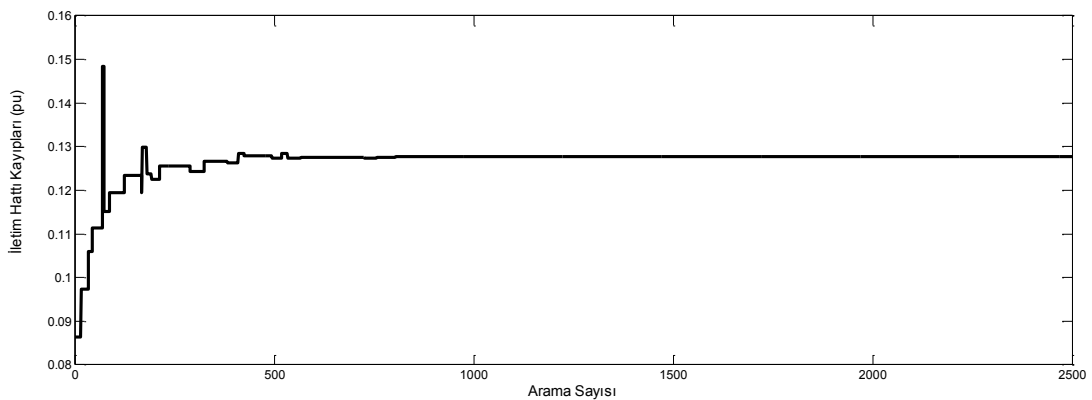
Şekil 7'de toplam yakıt maliyeti yaklaşık 600. arama sayısından sonra değişmemektedir. Bu durumda 600. arama sayısında problemin optimal çözüme yakınsadığı söylenebilir.



Şekil 6. Arama sayısına göre iletim hattı kayıplarındaki değişim (w=1,0)



Şekil 7. Arama sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarındaki değişim (w=0,0 - Kayıplı)

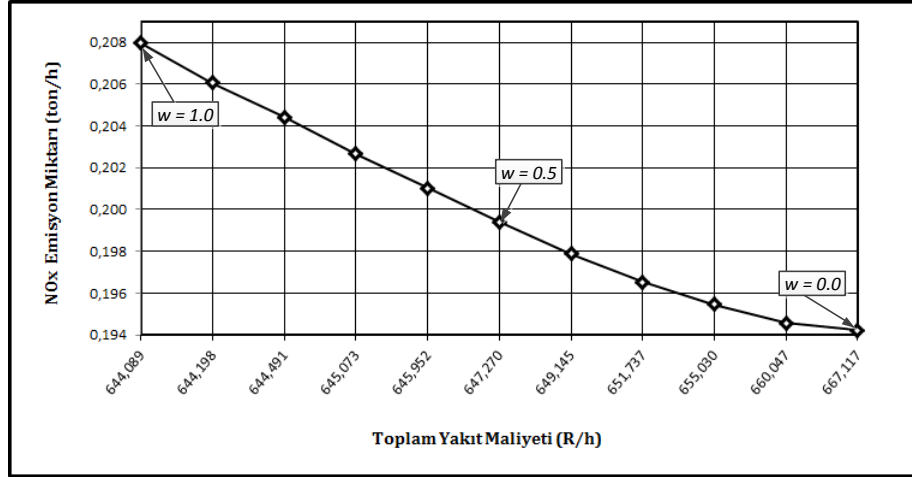


Şekil 8. Arama sayısına göre iletim hattı kayıplarındaki değişim (w=0,0)

w'nın değeri 0,0'dan başlayarak 0,1 aralıklarla 1,0'a doğru artırılırken toplam yakıt maliyetinin azalmasına karşılık toplam NO_x emisyon

miktarının arttığı kayıplı durumdaki (Tablo 3) değişim Şekil 9'da görülmektedir.

$P_{yük}=283,4$ MW yük durumuna göre Şekil 9'da verilen pareto optimal çözüm değerlerinden hangi w değerinde çalışılacağı tercihi konusu sistem sahiplerine veya operatörlerine bırakılmıştır.



Şekil 9. Toplam NO_x emisyon miktarı ve toplam yakıt maliyeti üzerinde w'nin etkisi (Kayıplı)

6. SONUÇLAR

Çalışmada çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü için termik birimlerden oluşan kayıplı bir sisteme HS uygulanmıştır. HS, ağırlık katsayısı w 'nın her değeri için en iyi sonuca ulaşmaya çalışmıştır. Çözüm işleminde ağırlık faktörü $w=0,0$ 'dan başlayarak $0,1$ 'lik artımlarla $w=1,0$ 'a kadar değiştirilmiştir. Elde edilen optimal sonuçların literatürde farklı metotlarla elde edilen sonuçlara göre daha iyi olduğu görülmüştür.

HS algoritmanın optimal çözüme ulaşması kayıpsız durumda $0,45$ sn ile $0,647$ saniye arasında değişirken kayıplı durumda minimum $0,841$ sn ile maksimum $0,980$ sn arasında değişmektedir.

Sonuç olarak yeni ve kolay kodlanabilir bir algoritma olan HS'nin çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Yaşar C., Özyön S., Temurtaş H., "Termik Üretim Birimlerinden Oluşan Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Genetik Algoritma Yöntemiyle Çözümü", ELECO'2008, 5.Elektrik-Elektronik Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Elektrik-Kontrol Kitapçığı, Sayfa. 105-109, 26-30 Kasım 2008, BURSA.
- Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., "Ham enerji kaynağı kısıtlı birim içeren hidrotermal güç sistemlerinde çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, KÜTAHYA, Sayı : 21, Sayfa: 45-66, Nisan 2010.
- Wang L., Singh C., "Environmental/Economic Power Dispatch Using a Fuzzified Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm", Electric Power Systems Research, Vol.77, No.12, s. 1654-1664, October 2007.
- El Ela A.A.A., Abido M.A., Spea S.R., "Differential evolution algorithm for emission constrained economic power dispatch problem", Electric Power Systems Research 80, s.1286-1292, 2010.
- Noman N., Iba H., "Differential evolution for economic load dispatch problems", Electric Power Systems Research, Vol.78, No.8, s.1322-1331, 2008.
- Abido M.A., "Multiobjective evolutionary algorithm for electric power dispatch problem", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.10, No.3, s.315-329, June 2006.

7. Abido M.A., "Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithms", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.18, No.4, s.1529-1537, 2003.
8. Abido M.A., "Multiobjective particle swarm optimization for environmental/economic dispatch problem", Electric Power Systems Research 79, s.1105-1113, 2009.
9. Yalcinoz T., Köksoy O., "A multiobjective optimization method to environmental economic dispatch", Electric Power and Energy Systems 29, s.42-50, 2007.
10. Abido, M. A., "A novel multiobjective evolutionary algorithm for environmental/economic power dispatch" Electric Power Systems Research, Vol. 65, s.71-81, 2003.
11. Ah King, R. T. F., H. Rughooputh, C. S., Deb, K., "Evolutionary multi-objective environmental/economic dispatch : stochastic vs. deterministic approaches" Lecture Notes in Computer Science, Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Vol. 3410, s.677-691, 2005.
12. Abido, M. A., "A niched pareto genetic algorithm for multiobjective environmental/economic power dispatch" Electric Power and Energy Systems, Vol. 25, No. 2, s.97-105, 2003.
13. Dhanalakshmi, S., Kannan, S., Mahadevan, K., Baskar, S., "Application of modified NSGA-II algorithm to combined economic and emission dispatch problem" Electrical Power and Energy Systems, Vol. 33, s.992-1002, 2011.
14. Palanichamy C., Babu N.S., "Analytical solution for combined economic and emissions dispatch", Electric Power Systems Research 78, s.1129-1137, 2008.
15. Das, D. B., Patvardhan, C., "New multi-objective stochastic search technique for economic load dispatch" IEEE Proceedings. C, Generation, Transmission and Distribution, Vol. 145, No. 6, s.747-752, 1998.
16. Cai, J., Ma, X., Li, Q., Li, L., Peng, H., "A multi-objective chaotic ant swarm optimization for environmental/economic dispatch" Electrical Power and Energy Systems, Vol.32, s.337-344, 2010.
17. Yaşar C., Fadıl S., "Solution to Environmental Economic Dispatch Problem by Using First Order Gradient Method", 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO'2007, 5-7 December, Electric Control Proceeding, s. 91-95
18. Zehar K., Sayah S., (2008), "Optimal power flow with environmental constraint using a fast successive linear programming algorithm: Application to the algerian power system", Energy Conversion and Management, Vol. 49, No.11, pp. 3361-3365, November 2008.
19. Ayvaz M. T., Karahan, H., Gürarlan, G., "Su dağıtım şebekelerinin armoni araştırması optimizasyon tekniği ile optimum tasarımı" 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s.188-202, 2007.
20. Geem ZW, Kim JH, Loganathan GV., "A new heuristic optimization algorithm: harmony search" Simulation, Vol.76, No.2, s.60-68, 2001.
21. Lee KS, Geem ZW. "A new structural optimization method based on the harmony search algorithm" Computers and Structures, Vol.82 No.9-10, s.781-798, 2004.
22. Lee KS, Geem ZW. "A new meta-heuristic algorithm for continues engineering optimization: harmony search theory and practice" Computer Method Application Mech. Eng., Vol.194, s.3902-3933, 2004.
23. Mahdavi M, Fesanghary M, Damangir E. "An improved harmony search algorithm for solving optimization problems" Applied Mathematics and Computation, vol.188, s.1567-1579, 2007.
24. Wood A. J., Wollenberg B. F., "Power Generation Operation and Control ", New York-Wiley, 1996.