

Makalenin Geliş Tarihi : 13.10.2010
Makalenin Kabul Tarihi : 07.02.2011

HAM ENERJİ KAYNAĞI KISITLI TERMİK BİRİM İÇEREN SİSTEMLERDE ÇEVRESEL EKONOMİK GÜÇ DAĞITIMI PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Serdar ÖZYÖN¹, Celal YAŞAR², Hasan TEMURTAŞ³

ÖZET : Yapılan çalışmada ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimler içeren güç sistemlerinde çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü ele alınmıştır. Problemden toplam yakıt maliyeti ve toplam NO_x emisyon miktarının minimum düzeye çekilmesinin yanında ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin belirlenen gaz miktarını harcaması da sağlanmıştır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinden biri olan bu çevresel ekonomik güç dağıtım problemini tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürmek için ağırlıklı toplam metodu (ATM), probleminin çözümü için genetik algoritma (GA) metodu kullanılmıştır. Metodun uygulamasını göstermek için örnek olarak normal termik ve ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerinden oluşan 15 baralı kayıplı bir sistem seçilmiştir. Örnek sistemin bir günlük işletim süresi göz önüne alınarak, gaz kısıtsız ve gaz kısıtlı olarak, ağırlık faktörü w 'nin çeşitli değerleri için çözümler elde edilmiştir. Elde edilen çözüm değerlerine göre toplam maliyet ve toplam NO_x emisyon değerleri (pareto optimal sonuçlar) değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Çevresel ekonomik güç dağıtımı, Ağırlıklı toplam metodu, Genetik algoritma, Ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim.

SOLUTION OF ENVIRONMENTAL ECONOMIC POWER DISPATCH PROBLEM IN SYSTEMS WITH LIMITED ENERGY SUPPLY THERMAL UNITS

ABSTRACT : In this study, the solution of the environmental economic power dispatch problem in power systems that contain limited energy supply thermal units has been given. In the problem, as well as the minimization of the total fuel cost and total NO_x emission amount, the amount of gas which are fueled by the limited energy supply thermal units under the take-or-pay agreement have been provided. Weighted sum method (WSM) has been used in order to convert this environmental economic power dispatch problem, which is one of the multi objective optimization problems, into a single objective optimization problem, and genetic algorithm (GA) method has been used for the solution of the problem. To illustrate the application of the method, a lossy system with 15 buses consisting of normal thermal and limited energy supply thermal units has been selected as an example. Considering the one-day operation period of the sample system, solutions have been obtained for various values of weight factor w both for unlimited and limited gas amount. The obtained total cost and total NO_x emission values (pareto optimal results) have been evaluated.

KEYWORDS : Environmental economic power dispatch, Weighted sum method, Genetic algorithm, Limited energy supply units.

^{1,2} Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 43100, KÜTAHYA

³ Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 43100, KÜTAHYA

SEMBOL LİSTESİ

TYM = Öngörülen işletim süresi boyunca sistemdeki birimlerin toplam yakıt maliyeti (R).

TEM = Öngörülen işletim süresi boyunca sistemdeki termik birimlerin toplam NO_x emisyon miktarı (ton).

j, j_{max} = alt zaman indeksi ve toplam alt zaman dilimi sayısı.

$t_j = j$. alt zaman dilimi süresi (h).

$P_{GT,nj}, P_{GK,kj} = n$. normal termik ve k . ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin j . alt zaman dilimindeki aktif güç üretimleri, (MW),

$F_n(P_{GT,nj}) = n$. normal termik birimin j . alt zaman dilimindeki aktif güç üretimi $P_{GT,nj}$ iken saat başına maliyeti, (R / h).

$E_n(P_{GT,nj}), E_k(P_{GK,kj}) = n$. normal termik ve k . ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimin j . alt zaman dilimindeki aktif güç üretimleri $P_{GT,nj}$ ve $P_{GK,kj}$ iken saat başına yaydıkları NO_x emisyon miktarları, (ton / h).

$H_k(P_{GK,kj}) = k$. ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimin j . alt zaman dilimindeki aktif güç üretimi $P_{GK,kj}$ iken saat başına harcadığı ısı miktarı, ($MBtu / h$).

$N_T, N_K =$ sırasıyla ele alınan sistemdeki tüm normal termik ve ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimleri içeren kümeler.

$P_{yük,j} = j$. alt zaman dilimindeki sistemdeki toplam aktif yük, (MW).

$P_{kayıp,j} = j$. alt zaman dilimindeki sistemdeki toplam aktif güç kaybı, (MW).

$P_{GT,n}^{min}, P_{GT,n}^{max} = n$. normal termik birime ait alt ve üst aktif güç üretim sınırları, (MW),

$P_{GK,k}^{min}, P_{GK,k}^{max} = k$. ham enerji kaynağı kısıtlı termik birime ait alt ve üst aktif güç üretim sınırları, (MW).

$A_k(P_{GK,kj}) = k$. ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimin j . alt zaman diliminde aktif güç üretimi $P_{GK,kj}$ iken saat başına tükettiği ham enerji miktarı, ($ft^3 / h, m^3 / h, ccf / h^1$ vb.).

$A_{toplam} =$ öngörülen işletim süresi boyunca *ya al yada öde* anlaşması gereği ham enerji kaynağı kısıtlı birimlerin harcaması gerekli toplam yakıt miktarının alt sınırı, (ton, m^3, ccf vb.).

$A_{harcanan} =$ öngörülen işletim süresi boyunca ham enerji kaynağı kısıtlı birimlerin harcadıkları toplam yakıt miktarı, (ton, m^3, ccf vb.)

¹ $1 ccf = 10^3 ft^3 = 27,317 m^3$

I. GİRİŞ

Elektrik üretiminde kullanılan yakıtın üretim maliyetleri üzerinde önemli bir miktara ulaşması, elektrik üreten şirketleri yakıtı daha verimli kullanmaya sevk etmiştir. Bu durumda esas amaç, sistemin hizmet verdiği alanda elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak olarak algılanmaktadır. Gerekli olan enerji ihtiyacı karşılanırken öncelikli amaç mümkün olan en düşük maliyette bu hizmeti vermek ve eşit derecede önemli olan bir başka amaç da sistemin çevresel etkisini minimize etmektir. Bu nedenle bu tür çalışmalarda hem maliyet hem de çevre kirliliği birlikte değerlendirilmektedir [1].

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 [2]. Yakıt olarak kullanılan doğal gaz, kömüre göre % 42 daha az NO_x gazı yaymaktadır [3].

Çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümünde hem yakıt maliyeti hem de çevre kirliliği etkisi birlikte değerlendirildiğinden problem çok amaçlı optimizasyon problemine dönüşmektedir. 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 problemlerinin uygun dönüşümler kullanılarak tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmesine skalerleştirme denir. Skalerleştirme metotlarından bazıları ağırlıklı toplam, \mathcal{E} kısıt, elastik kısıt, Benson, uzlaşık programlama, konik skalerleştirme ve hedef programlama skalerleştirme metotları şeklinde sayılabilir [1, 4, 5].

Ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimler içeren güç sistemlerinde çevresel ekonomik güç dağıtım problemi çözülürken yakıt maliyeti ve emisyonun minimum düzeye çekilmesinin yanında, belirlenen gaz miktarının ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimleri tarafından harcanması sağlanacaktır. Sistemdeki ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin yakıtlarının *ya al yada öde (take-or-pay)* anlaşmasıyla sağlandığı kabul edilmiştir. Bu çeşit anlaşmada

sistemdeki ham enerji kaynağı kısıtlı birimlerin göz önüne alınan işletim süresi boyunca harcayacağı toplam yakıtın bir alt sınırı belirlenmektedir. Enerji üreten birimleri işleten şirket, yakıtı satan şirketten anlaşmada belirlenen yakıt miktarının alt sınırından daha az yakıt almayacağını garanti etmektedir. Eğer belirlenen miktardan daha az yakıt alınır, yakıtı satan şirkete belirlenen alt sınırdaki yakıt almış gibi ödeme yapılmaktadır. Ele alınan sistemde belirli bir işletim zaman diliminde, ham enerji kaynağı kısıtlı birimlerin taahhüt edilen miktardan daha az yakıt harcaması durumunda, sistemdeki toplam maliyet yüksek olabilmektedir. Böyle bir durumda ham enerji kaynağı kısıtlı birimlerin taahhüt edilen miktar kadar ham enerji kullanması kısıtı altında bulunan optimal çözüm sistemdeki toplam maliyeti düşürebilmektedir [1, 6, 7].

Çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü için bugüne kadar birçok yöntem ve algoritma geliştirilmiştir. Literatürde bazı çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü çok amaçlı optimizasyon problemi olarak doğrudan çok amaçlı evrimsel algoritmayla [8]'de, çok amaçlı ve yerel aramalı parça küme optimizasyon metoduyla [2, 9, 10]'da, hedef - kazanma metodu ve bölünme yaklaşım algoritmasıyla [11]'de, geliştirilmiş bulanık sinirsel yaklaşımla [12]'de, analitik çözümle [13]'te gösterilmiştir. Problemin ağırlıklı toplam metoduyla (*ATM*) tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürüldükten sonra birinci derece gradyent metoduyla çözümü [14]'te, genetik algoritmayla çözümü [15, 16]'da verilmiştir.

Uygulamada birçok problem, sık karşılaşılan ve birbirleriyle kıyaslanamaz amaçların aynı anda optimizasyonunu içermektedir. Genellikle bu tür problemlerde tek bir çözüm yoktur, fakat alternatif çözümler kümesi vardır. Bu alternatif çözümler kümesinin elemanları için bütün amaçlar düşünüldüğünde hiçbirinin diğerine göre daha iyi çözüm olduğu söylenemez. Bu tür çözümlere Pareto-optimal çözümler denir [17].

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 [2, 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. Çalışma normal ve ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerinden oluşan bir elektrik enerji sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yakıt olarak kömürü kullanan birimler normal termik üretim birimleri ve doğal gazı kullananlar ise ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimleri olarak isimlendirilmiştir. Makalede, normal ve ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerinden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemi *ATM* ile skalerleştirilmiştir. Skalerleştirilen problemin çözümü için genetik algoritma (*GA*) metodu kullanılmıştır.

II. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Problem çözülürken yakıt maliyeti ile NO_x emisyon miktarını minimum seviyeye çekilmesinin yanında, belli miktarda gazın ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimler tarafından harcanması sağlanacaktır. Probleme ele alınan işletim süresi, alt zaman dilimlerine bölünerek her bir zaman diliminde yüklerin değişmediği kabul edilmektedir. Problemin çözümünden, öngörülen işletim süresi boyunca toplam yakıt maliyeti ile toplam NO_x emisyonun miktarını minimum yapan, sistemdeki olası tüm kısıtların sağlandığı üretim birimlerinin aktif güç üretim değerleri elde edilmektedir [1, 6].

Normal termik üretim birimlerinin birim zaman başına yakıt maliyetleri ve bu birimlerin yaydığı saat başına NO_x emisyon miktarları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$F_n(P_{GT,n}) = a_{1,n} + a_{2,n} \cdot P_{GT,n} + a_{3,n} \cdot P_{GT,n}^2 \quad (R/h) \quad (1)$$

$$E_n(P_{GT,n}) = b_{1,n} + b_{2,n} \cdot P_{GT,n} + b_{3,n} \cdot P_{GT,n}^2 \quad (ton/h) \quad (2)$$

Sistemdeki ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerinin saat başına harcadıkları ısı değerleri ve bu birimlerin saat başına NO_x emisyon miktarları aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

$$H_k(P_{GK,k}) = z_{1,k} + z_{2,k} \cdot P_{GK,k} + z_{3,k} \cdot P_{GK,k}^2 \quad (MBtu/h) \quad (3)$$

$$E_k(P_{GK,k}) = c_{1,k} + c_{2,k} \cdot P_{GK,k} + c_{3,k} \cdot P_{GK,k}^2 \quad (ton/h) \quad (4)$$

Kullanılan gazın ft^3 başına verdiği ısı enerjisi ortalama bir değer olarak $1100 Btu / ft^3$ ve gazın fiyatı $2,0 R / ccf$ olarak alınmıştır. Ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerine ait saat başına maliyet eğrilerini ($F_k(P_{GK,kj})$) bulmak için bu birimlere ait saat başına harcanan ısı değerlerini veren eğriler $1,8182 R/MBtu$ ile saat başına harcanan yakıt miktarlarını veren ($A_k(P_{GK,kj})$) eğrileri bulmak için de $0,909 ccf/MBtu$ ile çarpılması gerekmektedir [1, 6, 7].

Ele alınan işletim süresi boyunca *ya al yada öde* anlaşması gereği ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimleri tarafından tüketilmesi gereken toplam yakıt miktarı A_{toplam} olarak belirlenmiştir. Bu üretim birimlerinin ele alınan işletim süresi boyunca harcadıkları ($A_{harcanan}$) toplam yakıt miktarı ise denklem (5)'te verilmiştir.

$$A_{harcanan} = \sum_{j=1}^{j_{max}} t_j \sum_{k \in N_K} A_k(P_{GK,kj}) = \sum_{j=1}^{j_{max}} t_j \sum_{k \in N_K} 0,909.H_k(P_{GK,kj}), \quad (ccf) \quad (5)$$

Normal termik ve ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerinin kısıtları aşağıda verilmiştir.

$$P_{GT,n}^{min} \leq P_{GT,nj} \leq P_{GT,n}^{max}, \quad n \in N_T, \quad j = 1, \dots, j_{max} \quad (6)$$

$$P_{GK,k}^{min} \leq P_{GK,kj} \leq P_{GK,k}^{max}, \quad k \in N_K, \quad j = 1, \dots, j_{max} \quad (7)$$

Kayıplı sistemdeki güç eşitlik kısıtları denklem (8)'de gösterilmiştir.

$$\sum_{n \in N_T} P_{GT,nj} + \sum_{k \in N_K} P_{GK,kj} - P_{yük,j} - P_{kayıp,j} = 0, \quad j = 1, \dots, j_{max} \quad (8)$$

ATM yla skalerleştirilmiş minimize edilecek amaç fonksiyonu (AF) denklem (9)'da verilmiştir.

$$AF = \sum_{j=1}^{j_{\max}} t_j \left[w \left(\left(\sum_{n \in N_T} F_n(P_{GT,nj}) \right) + \left(\sum_{k \in N_K} F_k(P_{GK,kj}) \right) \right) + (1-w) \cdot \gamma \left(\left(\sum_{n \in N_T} E_n(P_{GT,nj}) \right) + \left(\sum_{k \in N_K} E_k(P_{GK,kj}) \right) \right) \right] \quad (9)$$

Denklemden γ , ölçekleme faktörünü, w ($0 \leq w \leq 1$) şeklinde değişen ağırlık faktörünü göstermektedir. Burada $w = 1,0$ değeri sadece yakıt maliyetinin, $w = 0,0$ değeri ise sadece NO_x emisyon miktarının gözönüne alınmasına karşılık düşmektedir.

Amaç fonksiyonunu minimize eden çözüm değerleri GA ile bulunduktan sonra sistemin toplam yakıt maliyeti (TYM) ve toplam NO_x emisyon miktarı (TEM) aşağıdaki denklemlerden hesaplanır.

$$TYM = \sum_{j=1}^{j_{\max}} t_j \sum_{n \in N_T} F_n(P_{GT,nj}) + F_{gaz} \quad , \quad (R) \quad (10)$$

$$TEM = \sum_{j=1}^{j_{\max}} t_j \left(\sum_{n \in N_T} E_n(P_{GT,nj}) + \sum_{k \in N_K} E_k(P_{GK,kj}) \right) \quad , \quad (ton) \quad (11)$$

Denklemin (10)'daki F_{gaz} ya al yada öde anlaşması gereği ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimler tarafından harcanan gazın toplam maliyetini göstermektedir. Bu değer denklem (12) kullanılarak hesaplanır.

$$F_{gaz} = 2,0 \times A_{toplamlam} \quad , \quad (R) \quad , \quad \text{eğer} \quad A_{harcanan} \leq A_{toplamlam} \quad (12)$$

$$F_{gaz} = 2,0 \times A_{harcanan} \quad , \quad (R) \quad , \quad \text{eğer} \quad A_{harcanan} > A_{toplamlam}$$

III. GENETİK ALGORİTMA METODU

Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Algoritma ilk olarak popülasyon diye tabir edilen ve kromozomlarla temsil edilen bir çözüm kümesi ile başlamaktadır. Bu popülasyondan alınan sonuçlar bir öncekinden daha iyi çözümler içereceği beklenen yeni bir popülasyon oluşturmak için kullanılır. Yeni popülasyon oluşturulması için seçilen çözümler uyumluluklarına göre seçilir. Çünkü uyumlu olanların daha iyi sonuçlar üreteceği olasıdır. Bu süreç, belli sayıda toplum sağlanıncaya kadar devam ettirilir.

GA 'nın en iyi çözüme ulaşıncaya kadar geçirdiği süreç; çözüm kümesinin kodlanması, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, popülasyondaki çözümlerin uygunluğunun hesaplanması, uygunluğuna göre ata bireylerin seçilmesi, çaprazlama ve mutasyon işlemleriyle yeni bireylerin oluşturulması şeklinde tanımlanabilir [15,16,19,20].

III.1. Genetik Algoritmanın Probleme Uygulanması

Bu bölümde GA 'nın bu makalede göz önüne alınan ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması anlatılacaktır. Burada her türlü üretim birimini temsil etmesi için üretim birimi genel olarak $P_{G,g}$ ile gösterilecektir. Sistemdeki üretim birimi normal termik birim olursa

$$P_{G,g} = P_{GT,n}, \text{ ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim olursa } P_{G,g} = P_{GK,k} \text{ olarak ifade edilir.}$$

Sistemdeki tüm üretim birimlerinin elemanı olduğu küme ise N_G ile gösterilmiştir.

Çözüme başlamadan önce sistem bilgileri, GA parametreleri (iterasyon sayısı, bit sayısı, popülasyon büyüklüğü, elit kromozom sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı ve türleri), ceza katsayıları ve generatör tipleri belirlenir. Sistemde bir bara salınım barası olarak seçilir. bn bit sayısını (çözüm hassasiyeti) göstermek üzere, üretim birimlerinin çıkış güçleri olan $P_{G,g}$ değerleri için denklem (13)'teki kısıtı sağlayan rastgele N_G kümesinin elemanlarının bir eksiği (salınım barası) kadar sayı atanır.

$$0 \leq P_{G,g}^{ilk} \leq 2^{bn} - 1, \quad g \in N_G, g \neq sal \quad (13)$$

Atanan bu sayılar sistemdeki üretim birimlerinin mevcut kısıtlarının dışında bir değer alabileceğinden, denklem (14)'e göre haritalama yapılarak üretim birimlerinin minimum ve maksimum üretim aralığına çekilir. Başka bir ifadeyle $[0, 2^{bn} - 1] \rightarrow [P_{G,g}^{\min}, P_{G,g}^{\max}]$ lineer haritalaması yapılır.

$$P_{G,g}^{yeni} = P_{G,g}^{\min} + \frac{P_{G,g}^{\max} - P_{G,g}^{\min}}{2^{bn} - 1} \cdot P_{G,g}^{ilk}, \quad g \in N_G \quad (14)$$

Elde edilen üretim birimi değerlerinin denklem (15)'i sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Bu kontrolün amacı salınım barası haricindeki üretim birimlerinin üretimlerinin sistemdeki yük taleplerini aşmaması veya çok altında olmamasıdır. Bu şekilde bir işlem yapıldığında salınım barası daima generatör olarak çalışmış olur [15, 16, 19, 20].

$$K_{yük} \cdot P_{yük,j} < \sum_{g \in N_G, g \neq sal} P_{G,gj} < P_{yük,j}, \quad j = 1, \dots, J_{\max} \quad (15)$$

Denklemdaki $K_{yük}$ katsayısı algoritmayı çalıştıran kullanıcı tarafından seçilmektedir. Sisteme ve probleme göre değişiklik gösterebilir. Oluşturulan her birey mevcut problemin birer çözümüdür. Bireyin oluşum biçimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

$$\text{BireyN} : \underbrace{10,,,11}_{(bn) \text{ bit}} \quad \underbrace{11,,,01}_{(bn) \text{ bit}} \quad \dots \quad \underbrace{10,,,10}_{(bn) \text{ bit}}$$

$\begin{matrix} P_{G,2} & P_{G,3} & & P_{G,Ng} \\ & & & \end{matrix}$

Şekil 1. Bireyin oluşumu (Salınım barası hariç)

Birey oluşturulduktan sonra yük akışı yapılarak salınım barasına bağlı birimin ürettiği aktif güç değeri hesaplanır. Oluşturulan bireyin birinci periyottaki maliyeti, emisyonu ve ham enerji kaynağı kısıtlı üretim birimleri tarafından harcanan gaz miktarı hesaplanır. Yapılan bu işlemler belirlenen periyot sayısı kadar devam eder. Periyot sayısı tamamlanınca sistemin toplam yakıt maliyeti, NO_x emisyonu, harcanan toplam gaz miktarı hesaplanır ve birey popülasyona katılır. Popülasyondaki birey sayısı (ps) tamamlandıktan sonra bütün bireylerin cezaları hesaplanarak AF 'na eklenir.

Bu çalışmada problemlerin çözümünde kullanılan uygunluk f fonksiyonu denklem (16)'da ifade edilmiştir. Optimizasyonda f uygunluk fonksiyonunun maksimum olması istenmektedir [1, 19].

$$f = \frac{1}{f_d} = \frac{1}{AF + CZ} \quad (16)$$

Denklemden f_d uygunluk değerini, CZ ise çözümü kısıtlara uygun hale getirebilmek için eklenen toplam ceza fonksiyonunu göstermektedir. Problemin çözümü kısıtları ihlal ettiğinde ceza fonksiyonu yardımıyla cezalandırılmaktadır. Ceza fonksiyonu kısıtlara uymayan çözümleri kısıtlara uygun hale getirebilmek için uygunluk değerine ceza olarak eklenir [15, 16, 19, 20]. Ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim içeren çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümünde denklem (17)'de ifade edilen salınım barası ve toplam gaz cezası dikkate alınır.

$$CZ = CZ_{sal} + CA_{toplam} \quad (17)$$

Denklemdaki CZ_{sal} salınım barası ve $CA_{toplaml}$ toplam gaz cezaları aşağıda verilmiştir.

$$CZ_{sal} = \begin{cases} \sum_{j \in P_{GT,salj} < P_{GT,sal}^{\min}} KP_{sal} (P_{GT,sal}^{\min} - P_{GT,salj})^2 \\ \sum_{j \in P_{GT,salj} > P_{GT,sal}^{\max}} KP_{sal} (P_{GT,salj} - P_{GT,sal}^{\max})^2 \\ 0 \quad , \quad \text{eğer} \quad P_{GT,sal}^{\min} \leq P_{GT,salj} \leq P_{GT,sal}^{\max} \end{cases} \quad (18)$$

$$CA_{toplaml} = KA_{toplaml} \cdot (A_{harcanan} - A_{toplaml})^2 = KA_{toplaml} \cdot \left(\sum_{j=1}^{j_{\max}} t_j \sum_{k \in N_k} A_k(P_{GK,kj}) - A_{toplaml} \right)^2 \quad (19)$$

Denklemlerde yer alan KP_{Sal} ve $KA_{toplaml}$ ceza fonksiyonlarına ait katsayılarıdır. Bu katsayılar verilen sisteme uygun olarak algoritmayı kullanan tarafından belirlenir. $P_{GT,salj}$, $P_{GT,sal}^{\min}$ ve $P_{GT,sal}^{\max}$ değerleri sırasıyla salınım barasının j . periyottaki üretimi, salınım barasının alt ve üst üretim sınırlarını göstermektedir.

Cezaların eklenmesiyle hesaplanan f_d uygunluk değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır (1, 2, 3,.....,ps). Uygunluk değeri sıralamasına göre bütün bireyler denklem (20) kullanılarak puanlanır. Puanlama her bireyin oluşturulacak olan rulet tekerleğindeki alanını belirlemek için yapılır. Yüksek puana sahip (daha uygun) birey rulet tekerleğinde diğer bireylerden daha fazla alana sahip olacağından, seçilme şansı daha yüksek olacaktır.

$$Puan(f_d)_r = 5 + \text{yuvarla} \left[95 \cdot \left(\frac{ps - r + 1}{ps} \right)^2 \right], \quad r = 1, 2, \dots, ps \quad (20)$$

Denklemda r bireyin sıralamadaki yerini, ps ise popülasyondaki birey sayısını göstermektedir. Yapılan bu puanlama sonraki iterasyonlarda oluşturulacak popülasyonlar için belirlenecek olan bireylerin seçiminde kullanılır. Bu şekilde puanı yüksek olan birey daha fazla seçilme şansına

sahip olacaktır. Denklemdaki puanlama sistemi seçim işleminin daha başarılı yapılabilmesi için kullanılmıştır.

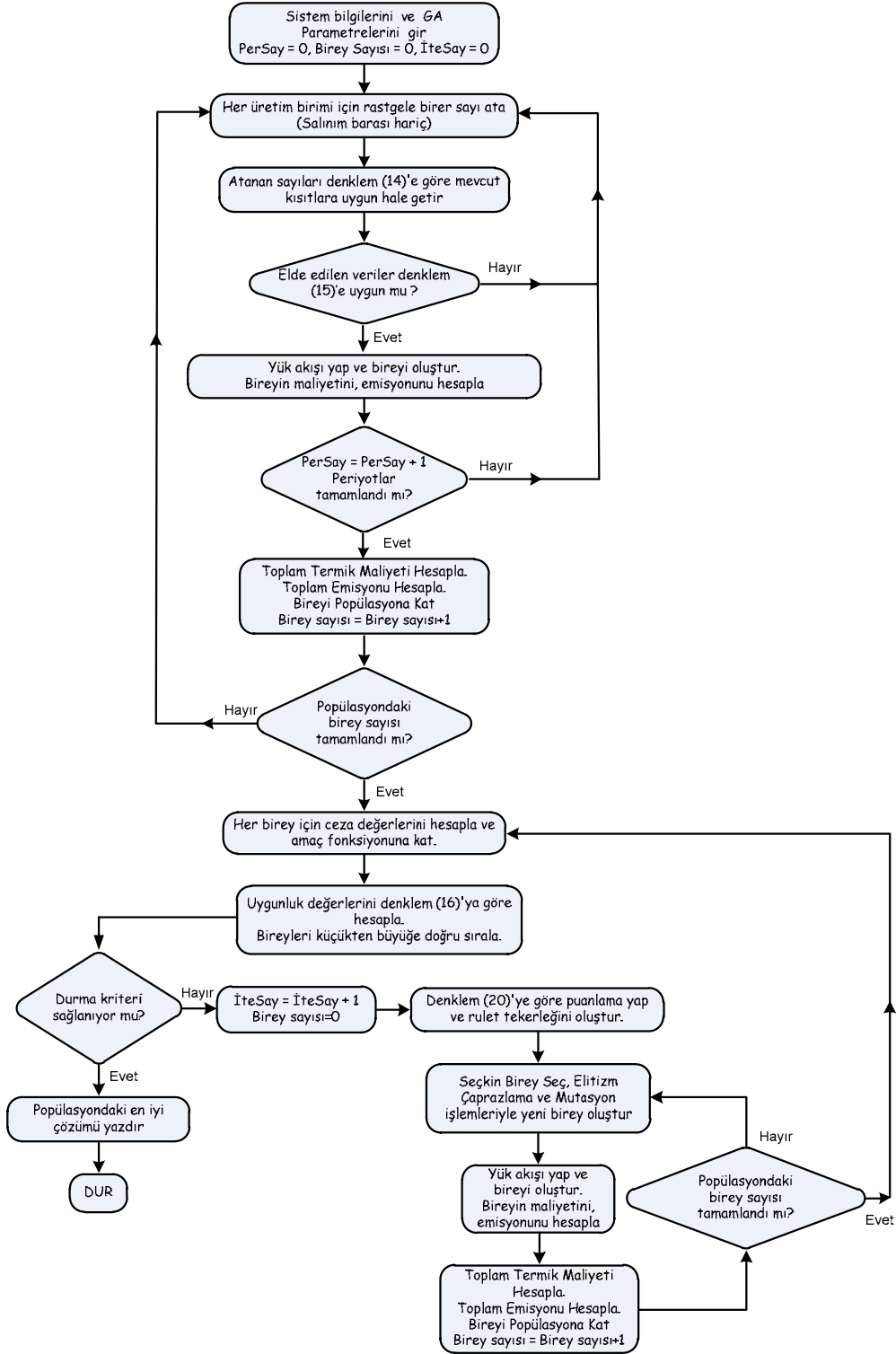
Yeni popülasyonun oluşturulması için sırasıyla elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. İlk olarak mevcut popülasyondaki en yüksek puana sahip (yani elit) birey hiçbir işleme uğratılmadan sonraki popülasyona aktarılır. Kalan bireylerin oluşturulması için iki adet birey seçilir. Seçilen bu iki birey çaprazlama oranına bakılarak çaprazlanır. Çaprazlamadan sonra oluşan birey orana bağlı olarak mutasyona uğratılır. Seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonunda oluşan yeni bireyle yük akışı yapılarak maliyet, emisyon ve gaz miktarı hesaplanır. Bulunan bu değerlere göre yeni cezalar hesaplanarak amaç fonksiyonuna eklenir. Bu işlemler belirlenen periyot sayısı ve popülasyondaki birey sayısı tamamlanincaya kadar devam eder. Popülasyonun oluşturulmasından sonra bireylerin toplam maliyetleri, toplam emisyonları ve toplam gaz miktarı hesaplanarak en iyi çözüm aranır. Bu işlemler durma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Durma kriteri sağlandığında en iyi çözüm belirlenerek algoritma sonlandırılır. Problemin çözümü için izlenen yol Şekil 2’de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada çözüm aranan bütün problemlerde seçim için rulet tekerleği metodu, çaprazlama türü olarak tek noktalı çaprazlama, mutasyon türü tek bit değiştirme ve durma kriteri olarak da iterasyon sayısı kullanılmıştır.

Probleminin çözümü için Şekil 2’de verilen akış diyagramına uygun Delphi dilinde görsel bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Program AMD 64 X2 Dual Core işlemcili ve 2 GB RAM bellekli bilgisayarda çalıştırılmıştır.

IV. ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Örnek olarak Şekil 3’de tek hat diyagramı verilen onbeş baralı, beş adet normal termik ve iki adet ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim biriminden oluşan örnek güç sistemi seçilmiştir [7]. Sistemde 1 nolu bara salınım barası olup gerilimi $1,05\angle 0^0$ pu’dur.



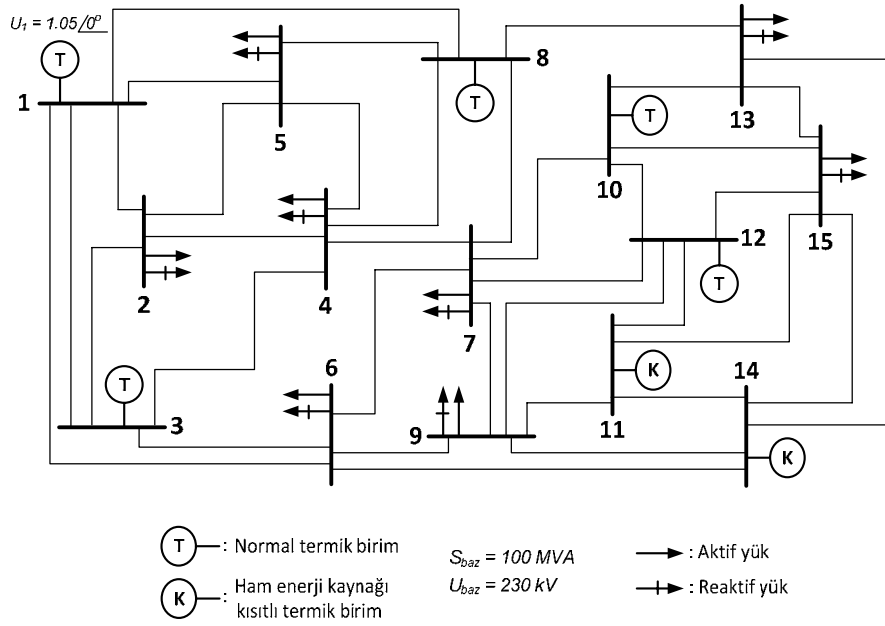
Şekil 2. Çözüm algoritmasının akış şeması

Sistemdeki baz değerleri $S_{baz} = 100 \text{ MVA}$, $U_{baz} = 230 \text{ kV}$ olarak alınmıştır. Sistemde 1, 3, 8, 10 ve 12 nolu baralara bağlı üretim birimleri normal termik, 11 ve 14 nolu baralara bağlı üretim birimleri ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimleridir. Sistemin çözümünde altı eşit alt zaman diliminden ($t_j = 4h$, $j = 1, \dots, 6$) oluşan bir günlük işletim süresi göz önüne alınmıştır.

Örnek sistemdeki iletim hatlarına ait nominal π eşdeğer devrelerinin pu seri empedans ve paralel admitans değerleri Çizelge 1’de, normal termik üretim birimlerinin maliyet, NO_x emisyon fonksiyonuna ait katsayıları ve aktif güç üretim sınırları Çizelge 2’de, ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimlerinin saat başına harcadıkları ısı değerlerini, NO_x emisyon fonksiyonuna ait katsayıları ve bu birimlerin aktif güç üretim sınırları Çizelge 3’te gösterilmiştir. Örnek sistemdeki altı eşit zaman aralığındaki bir günlük yük değerleri Çizelge 4’te ve yük değerlerine uygun birimlerin reaktif güç üretim değerleri Çizelge 5’te verilmiştir.

Örnekte ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerce *ya al yada öde* anlaşması gereği bir günde harcanması gereken toplam gaz miktarının alt sınırı $A_{toplamlam} = 50000 \text{ ccf}$ olarak alınmıştır. Problem *ATM*yle skalerleştirilmiş ve denklem (9)’daki amaç fonksiyonu *GA* metoduyla minimize edilmiştir. Problemin çözümünde ölçekleme faktörü $\gamma = 1000$ alınmıştır. $KA_{toplamlam} = 0,0$ olarak alınması sistemdeki gaz kısıtının dikkate alınmaması anlamına gelmektedir. Kullanılan *GA* parametreleri iterasyon sayısı 150, çözüm hassasiyeti (bit sayısı) 16, popülasyon büyüklüğü (birey sayısı) 150, elit kromozom sayısı 1, çaprazlama oranı 0,990 ve mutasyon oranı 0,003 olarak seçilmiştir. Çaprazlama türü tek noktalı çaprazlama ve mutasyon türü tek bit değiştirme şeklinde uygulanmıştır.

Problem mevcut parametrelerle hem gaz kısıtlı hemde gaz kısıtsız olarak çözülmüştür. Önce, program sistem gaz kısıtlı olarak ağırlık faktörü $w = 1,0$ ’dan 0,1’er aralıklarla azaltılarak $w = 0,0$ ’a kadar 11 kez çalıştırılmış ve en fazla %0,0013 olan gaz hatasıyla sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3. Örnek sisteme ait tek hat diyagramı

Çizelge 1. İletim hatlarının nominal π eşdeğer devrelerine ait pu seri empedans ve paralel admittans değerleri

Baradan baraya	$R (pu)$	$X (pu)$	$B_{cap} (pu)$	Baradan baraya	$R (pu)$	$X (pu)$	$B_{cap} (pu)$
1-2	0,0500	0,2000	0,0400	7-9	0,1000	0,3000	0,0400
1-3	0,1000	0,3000	0,0400	7-10	0,1000	0,3000	0,0600
1-5	0,1000	0,3000	0,0400	7-12	0,0500	0,1500	0,0400
1-6	0,1200	0,3600	0,0720	8-10	0,0500	0,1500	0,0400
1-8	0,0800	0,2500	0,0600	8-13	0,1000	0,2500	0,0400
2-3	0,0500	0,1500	0,0400	9-11	0,0800	0,2500	0,0400
2-4	0,1000	0,3000	0,0400	9-12	0,0500	0,1500	0,0400
2-5	0,0800	0,2500	0,0400	9-14	0,1000	0,3000	0,0600
3-4	0,0500	0,1500	0,0400	10-12	0,0500	0,2500	0,0600
3-6	0,1000	0,3000	0,0400	10-13	0,1000	0,3000	0,0400
3-7	0,0800	0,2500	0,0400	10-15	0,1000	0,3000	0,0500
4-5	0,0500	0,1500	0,0500	11-12	0,0800	0,2400	0,0500
4-7	0,0800	0,2400	0,0480	11-14	0,1200	0,4000	0,0800
4-8	0,1000	0,2500	0,0600	11-15	0,1000	0,2600	0,0500
5-8	0,1000	0,2500	0,0400	12-15	0,0500	0,2500	0,0600
6-7	0,0700	0,2000	0,0500	13-14	0,0500	0,1500	0,0400
6-9	0,0800	0,2500	0,0400	13-15	0,0800	0,2500	0,0400
6-14	0,0600	0,1800	0,0400	14-15	0,0600	0,1800	0,0400
7-8	0,0500	0,1500	0,0400				

Çizelge 2. Örnek sistemdeki normal termik üretim birimlerine ait yakıt maliyeti, NO_x emisyon fonksiyonlarına ait katsayılar ve aktif üretim sınırları

		Normal termik birimlerin bağlı olduğu bara no, (n)				
		1	3	8	10	12
Maliyet Fonksiyonu katsayıları	$a_{1,n}$	248,0	180,0	740,0	360,0	459,0
	$a_{2,n}$	6,28	6,72	6,45	6,75	6,48
	$a_{3,n}$	0,001552	0,002	0,00826	0,00225	0,00128
Emisyon Fonksiyonu Katsayıları	$b_{1,n}$	$4,258 \cdot 10^{-02}$	$5,426 \cdot 10^{-02}$	$4,091 \cdot 10^{-02}$	$2,543 \cdot 10^{-02}$	$6,131 \cdot 10^{-02}$
	$b_{2,n}$	$-5,094 \cdot 10^{-04}$	$-3,550 \cdot 10^{-04}$	$-5,554 \cdot 10^{-04}$	$-6,047 \cdot 10^{-04}$	$-5,555 \cdot 10^{-04}$
	$b_{3,n}$	$4,586 \cdot 10^{-06}$	$3,380 \cdot 10^{-06}$	$6,490 \cdot 10^{-06}$	$5,638 \cdot 10^{-06}$	$5,151 \cdot 10^{-06}$
Üretim Birimlerinin Sınır Değerleri	$P_{GT,n}^{\min}$ (MW)	40,0	45,0	45,0	50,0	40,0
	$P_{GT,n}^{\max}$ (MW)	600,0	350,0	350,0	450,0	500,0

Çizelge 3. Örnek sistemdeki ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin saat başına harcadıkları ısı enerjisini veren eğrilere ve NO_x emisyon fonksiyonlarına ait katsayılar ve aktif güç üretim sınırları

		Ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin bağlı olduğu bara no (k)	
		11	14
Isı değerini veren fonksiyonun katsayıları	$z_{1,k}$	300,0	250,0
	$z_{2,k}$	6,0	6,5
	$z_{3,k}$	0,0025	0,002
Emisyon fonksiyonu Katsayıları	$c_{1,k}$	$2,470 \times 10^{-02}$	$3,147 \times 10^{-02}$
	$c_{2,k}$	$-2,955 \times 10^{-04}$	$-2,059 \times 10^{-04}$
	$c_{3,k}$	$2,660 \times 10^{-06}$	$1,960 \times 10^{-06}$
Üretim birimlerinin sınır değerleri	$P_{GK,k}^{\min}$ (MW)	20,0	20,0
	$P_{GK,k}^{\max}$ (MW)	400,0	500,0

Sonra, gaz kısıtı kaldırılarak ($KA_{toplama} = 0,0$) ağırlık faktörü $w = 1,0$ 'dan $0,1$ 'er aralıklarla azaltılarak yeniden 11 kez çalıştırılmıştır. Sonuçta program toplam 22 kez çalıştırılmış ve 22

farklı grup sonuç elde edilmiştir. Örnek olarak 22 farklı sonuçtan sadece 2 grubu $w=1,0$ alındığında gaz kısıtlı çözüm sonuçları Çizelge 6'da, gaz kısıtsız çözüm sonuçları ise Çizelge 7'de verilmiştir. Bu şekilde 22 çizelgeyi kullanmak yerine gaz kısıtlı durum Çizelge 8'de, gaz kısıtsız durum ise Çizelge 9'da özetlenmiştir.

Çizelge 4. Örnek sistemde alt zaman dilimlerindeki aktif ve reaktif yük değerleri

Bara No	Yük	Zaman dilimi sayısı, (j)					
		1	2	3	4	5	6
2	$P_{yük,2}$	0,900	0,900	1,000	1,100	1,100	1.100
	$Q_{yük,2}$	0,675	0,675	0,750	0,800	0,700	0.680
4	$P_{yük,4}$	0,900	1,000	1,000	1,000	1,100	1.200
	$Q_{yük,4}$	0,675	0,750	0,750	0,750	0,780	0.750
5	$P_{yük,5}$	0,900	0,900	1,000	1,100	1,100	1.100
	$Q_{yük,5}$	0,675	0,675	0,750	0,800	0,700	0.680
6	$P_{yük,6}$	0,900	1,000	1,000	1,000	1,100	1.200
	$Q_{yük,6}$	0,675	0,750	0,750	0,750	0,700	0.750
7	$P_{yük,7}$	0,900	0,900	1,000	1,100	1,100	1.100
	$Q_{yük,7}$	0,675	0,675	0,750	0,800	0,780	0.680
9	$P_{yük,9}$	0,900	1,000	1,000	1,000	1,100	1.200
	$Q_{yük,9}$	0,675	0,750	0,750	0,750	0,700	0.750
13	$P_{yük,13}$	0,900	0,900	1,000	1,100	1,100	1.100
	$Q_{yük,13}$	0,675	0,675	0,750	0,800	0,700	0.680
15	$P_{yük,15}$	0,900	1,000	1,000	1,000	1,100	1.200
	$Q_{yük,15}$	0,675	0,750	0,750	0,750	0,780	0.750
$\sum P (pu)$		7.200	7,600	8,000	8,400	8,800	9,200
$\sum Q (pu)$		5.400	5,700	6,000	6,200	5,840	5,720

Gaz kısıtlı durumda (Çizelge 8) toplam gaz miktarı $A_{toplam}=50000$ ccf, ağırlık faktörü $w=1,0$ alındığında harcanan gaz miktarı **49999,747 ccf** olarak hesaplanmıştır. Bu durumda toplam yakıt maliyeti $TYM=244898,621$ R iken toplam NO_x emisyon miktarı $TEM=9382,056$ kg olarak bulunmuştur. Aynı koşullar altında Çizelge 9'dan görüleceği üzere gaz kısıtı kaldırıldığında ise $TYM=284806,204$ R, $TEM=14117,044$ kg ve harcanan gaz miktarı **17706,323 ccf** olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan harcanması gereken gaz miktarının harcanıyor olması durumunda yakıt maliyetinin azaldığı görülmektedir ($244848,621 R < 284806,204 R$).

Çizelge 5. Sistemdeki üretim birimlerine ait pu reaktif güç üretim değerleri

	Zaman dilimi sayısı, (j)					
	1	2	3	4	5	6
$Q_{GT,3j}$	0,600	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
$Q_{GT,8j}$	0,600	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
$Q_{GT,10j}$	0,500	0,600	0,700	0,700	0,700	0,700
$Q_{GK,11j}$	0,500	0,600	0,600	0,700	0,700	0,600
$Q_{GT,12j}$	0,500	0,600	0,700	0,700	0,700	0,700
$Q_{GK,14j}$	0,500	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700

$w=0,0$ (sadece emisyon miktarı göz önüne alınıyor) ve gaz kısıtı altında (Çizelge 8) $TYM=245329,53$ R ve $TEM=8580,195$ kg iken gaz kısıtı kaldırıldığında (Çizelge 9) $TYM=253153,32$ R ve $TEM=8080,566$ kg olarak elde edilmiştir. $w=0,0$ ağırlık faktörü ile gaz kısıtı altında ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimler tarafından **49999,98 ccf** gaz harcanırken, gaz kısıtı kaldırıldığında anlaşmada yer alan gaz miktarının çok üstünde bir değer olan **58597,694 ccf** gaz harcanmıştır. Bu durum toplam yakıt maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır ($253153,32 R > 245329,53 R$).

Çizelge 6. $w = 1.0$ değeri için elde edilen sonuçlar (gaz kısıtlı)

Üretim birimlerine ait çıkış güçleri	Zaman Dilimi (j)						
	1	2	3	4	5	6	
$P_{GT,1}$ (pu)	1,560818	1,947369	1,337117	1,831744	1,869856	2,157352	
$Q_{GT,1}$ (pu)	1,667571	1,123196	1,412145	1,792343	1,762941	1,553110	
$P_{GT,3}$ (pu)	1,407654	1,207206	1,307965	1,211302	1,372609	1,563005	
$P_{GT,8}$ (pu)	0,541218	0,510967	0,463915	0,585059	0,463776	0,603024	
$P_{GT,10}$ (pu)	1,199046	1,066415	0,652590	0,777226	0,882696	0,993111	
$P_{GK,11}$ (pu)	0,715770	0,730614	0,972583	0,537700	1,213043	1,782565	
$P_{GT,12}$ (pu)	1,548403	1,259214	1,613822	1,452100	0,950021	1,537945	
$P_{GK,14}$ (pu)	0,570904	1,215225	2,056205	2,370126	2,451719	1,074891	
TYM (R)	244898,621		TEM (kg)	9382,056		Harcanan Toplam Gaz (ccf)	49999,747

Çizelge 7. $w = 1.0$ değeri için elde edilen sonuçlar (gaz kısıtsız)

Üretim birimlerine ait çıkış güçleri	Zaman Dilimi (j)						
	1	2	3	4	5	6	
$P_{GT,1}$ (pu)	2,027648	2,109336	1,872109	2,034118	1,870959	1,800568	
$Q_{GT,1}$ (pu)	2,014776	1,495781	1,773332	2,263105	2,019814	2,000499	
$P_{GT,3}$ (pu)	1,206275	1,374611	1,739065	1,790120	1,642867	2,051628	
$P_{GT,8}$ (pu)	0,629551	0,509757	0,669297	0,724726	1,976885	0,722352	
$P_{GT,10}$ (pu)	1,410231	1,312940	1,526078	1,413161	1,264477	2,500824	
$P_{GK,11}$ (pu)	0,202029	0,202203	0,200870	0,209567	0,220468	0,203479	
$P_{GT,12}$ (pu)	1,942388	2,304717	2,224558	2,487776	2,077015	2,339181	
$P_{GK,14}$ (pu)	0,201099	0,204688	0,237574	0,205933	0,202197	0,202197	
TYM (R)	284806,204		TEM (kg)	14117,044		Harcanan Toplam Gaz (ccf)	17706,323

w 'nın farklı değerlerine ait diğer çözüm sonuçları Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilmiştir. Farklı w değerleri için toplam NO_x emisyon miktarına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim gaz kısıtı altında Şekil 4'de, gaz kısıtı olmaksızın Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 8'de ağırlık faktörü w 'nın her bir değerine karşılık elde edilen toplam yakıt maliyetleri, Çizelge 9'un aynı ağırlık değerine karşılık gelen toplam yakıt maliyetlerinden daha düşüktür. Örneğin $w = 0,5$ alındığında gaz kısıtlı (Çizelge 8) toplam yakıt maliyeti 245256,75 R iken gaz kısıtsız (Çizelge 9) toplam yakıt maliyeti 283622,56 R olarak hesaplanmıştır. Ayrıca gaz kısıtlı durumda (Çizelge 8) $w = 1,0$ iken 9382,056 kg olan toplam emisyon miktarı, $w = 0,0$ iken 8580,195 kg 'a doğru 801,861 kg azalmıştır. Gaz kısıtsız durumda (Çizelge 9) $w = 1,0$ iken 14117,044 kg iken $w = 0,0$ iken 8080,566 kg 'a doğru 6036,478 kg azalmıştır. Problemden ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin NO_x yayılımı diğer normal termik birimlere göre daha az olduğu için Çizelge 9'dan görüleceği üzere $w = 0,0$ (sadece emisyon göz önüne alındığında) iken *ya al yada öde* anlaşması gereği anlaşılacak gaz miktarından 8597,694 ccf daha fazla gaz harcamaktadırlar. Elde edilen bu sonuçlardan (gaz kısıtsız durum) ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimlerin daha yüksek aktif güç değerlerinde çalıştıkları görülmektedir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

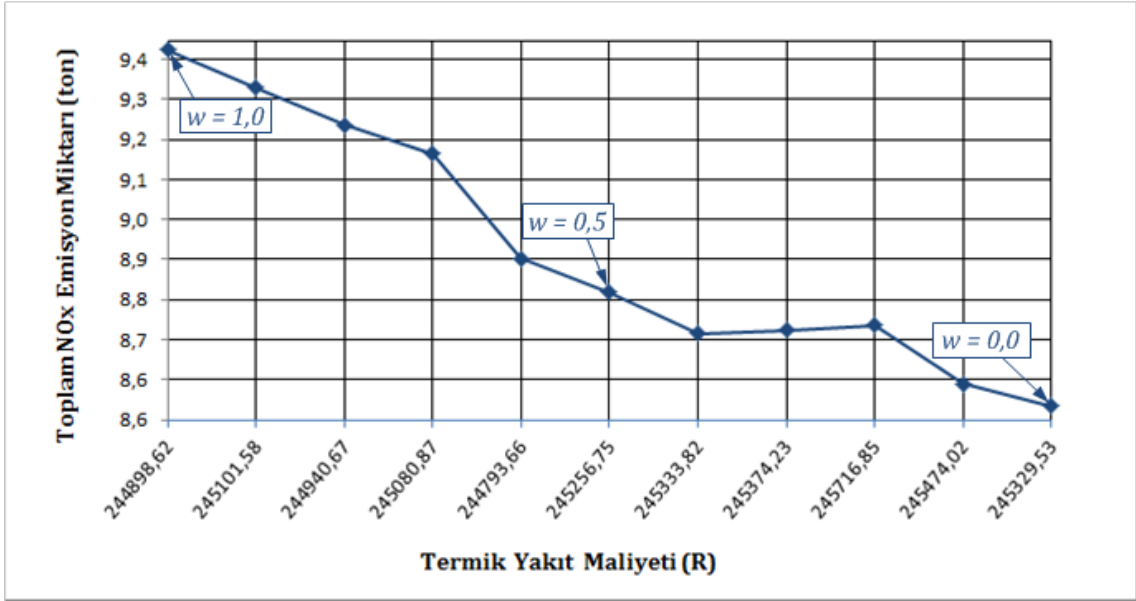
Bu çalışmada ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim içeren çevresel ekonomik güç dağıtım problemi *ATM* ile skalerleştirilerek *GA* yöntemiyle çözülmüştür. Ağırlık faktörü $w = 1,0$ 'dan başlayarak 0,1'er aralıklarla azaltılarak 0,0'a kadar hem gaz kısıtlı hem de gaz kısıtsız olmak üzere 11'er kez çalıştırılmıştır. Gaz kısıtlı çözümlerde gaz kısıtı tolerans değerleri içinde kalırken w 'nın azalan değerleri için toplam NO_x emisyon miktarının azalmasına karşılık toplam yakıt maliyetinin arttığı görülmüştür. Örnek güç sisteminin hangi noktada çalışacağı karar vericilere (sistem sahiplerine) bırakılmıştır.

Çizelge 8. Farklı ağırlık değerlerine göre F_{gaz} hariç toplam yakıt maliyeti, toplam NO_x emisyon miktarları, harcanan toplam gaz miktarı ve toplam yakıt maliyeti (gaz kısıtlı)

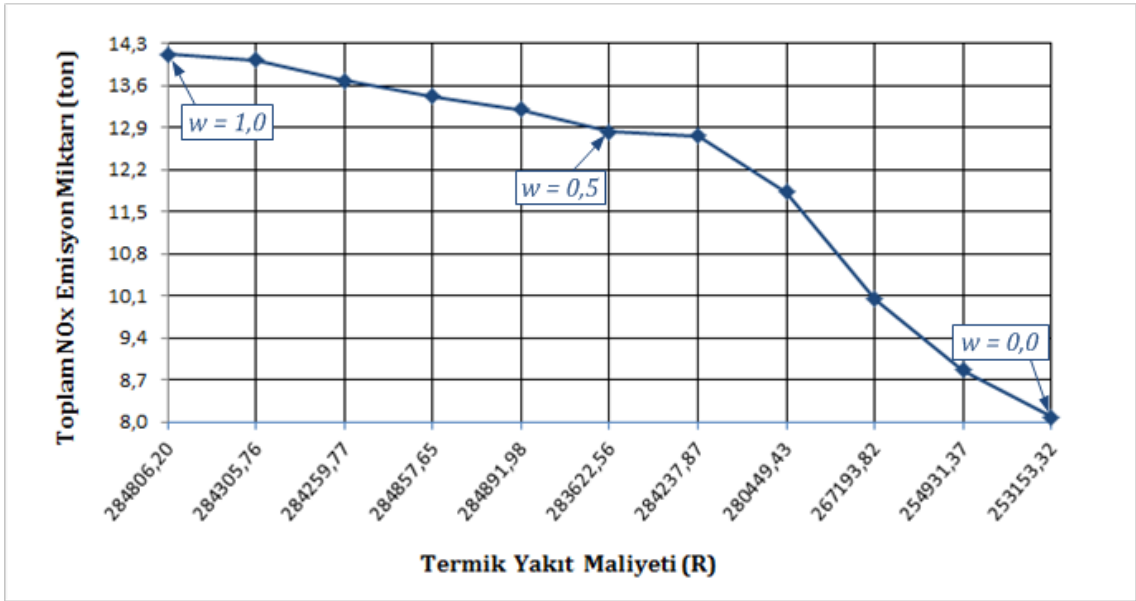
Ağırlık Faktörü (w)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
F_{gaz} hariç yakıt maliyeti (R)	145329,53	145474,02	145716,85	145374,23	145333,82	145256,75	144793,66	145080,87	144940,67	145101,58	144898,62
TEM (kg)	8580,195	8630,711	8763,116	8751,545	8743,175	8837,058	8912,829	9148,685	9212,885	9295,259	9382,056
$A_{harcanan}$ (ccf)	49999,980	50000,022	49999,977	49999,996	49999,356	49999,578	50000,231	49999,530	49999,389	49999,503	49999,747
TYM (R)	245329,53	245474,02	245716,85	245374,23	245333,82	245256,75	244793,66	245080,87	244940,67	245101,58	244898,62

Çizelge 9. Farklı ağırlık değerlerine göre F_{gaz} hariç toplam yakıt maliyeti, toplam NO_x emisyon miktarları, harcanan toplam gaz miktarı ve toplam yakıt maliyeti (gaz kısıtsız)

Ağırlık Faktörü (w)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
F_{gaz} hariç yakıt maliyeti (R)	135957,93	154931,37	167193,82	180449,43	184237,87	183622,56	184891,98	184857,65	184259,77	184305,76	184806,20
TEM (kg)	8080,566	8866,128	10043,898	11820,609	12762,376	12822,722	13198,513	13412,575	13686,315	14028,529	14117,044
$A_{harcanan}$ (ccf)	58597,694	41121,439	30973,785	20910,375	18158,611	18749,051	17544,952	17593,495	17588,7	17566,539	17706,323
TYM (R)	253153,32	254931,37	267193,82	280449,43	284237,87	283622,56	284891,98	284857,65	284259,77	284305,76	284806,20



Şekil 4. Toplam NO_x emisyon miktarına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim (gaz kısıtlı)



Şekil 5. Toplam NO_x emisyon miktarına göre toplam yakıt maliyetindeki değişim (gaz kısıtsız)

Ya al yada öde anlaşması gereği tüketilmesi gereken yakıt miktarının harcanması durumunun harcanmaması durumuna göre kıyaslandığında toplam yakıt maliyetinin ve emisyon miktarının ($w=0,0$ durumu hariç) daha düşük olabildiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada sadece azot oksit yayılımı dikkate alınmıştır, daha sonra yapılacak çalışmalarda kükürt dioksit ve azot oksit yayılımı birlikte ele alınabilir. Ayrıca, üretim birimlerinin saat başına yayılım miktarlarını bulmak için kullanılan eşitliklere (denklem 2 ve 4) üstel ifade ilave edilerek problemler o şekliyle çözülebilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] S. Özyön, Genetik algoritmanın bazı çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, ss. 136 (yayımlanmamış), 2009.
- [2] L. Wang, C. Singh, "Reserve-constrained multi area environmental/economic dispatch based on particle swarm optimization with local search", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 22, No. 2, pp. 298-307, 2009
- [3] M. G. Özkaya, H. İ. Variyenli, S. Uçar, "Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ve Kayseri ili için çevresel etkilerinin değerlendirilmesi", *C.Ü Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 29, Sayı 1, ss. 1-20, 2008
- [4] R.N. Gasimov, A. Sipahioğlu, T. Saraç, "A multi-objective programming Approach to 1.5-dimensional assortment Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, No. 7-8, pp. 64-79, 2007.
- [5] N.A. İsmayilova, M. Sağır, R.N. Gasimov, "A multi-objective Faculty-Course-Time Slot Assignment Problem with Preferences", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 46, No. 2 , pp. 1017-1029, 2007.
- [6] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, "*Power Generation Operation & Control*", John Wiley & Sons, pp. 565, 1996.

- [7] S. Fadıl, C. Yaşar, “An Active Power Dispatch Technique Using Spot Price of Electricity for a Power System Area Including Units with Limited Energy Supply”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 24, No. 2, 2002.
- [8] M. A. Abido, Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithms, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, No. 4, pp. 1529-1537, 2003
- [9] M. A. Abido, “Multiobjective Particle Swarm Optimization for Environmental Economic Dispatch Problem”, *Electrical Power Systems Research*, Vol. 79, pp. 1105-1113, 2009.
- [10] J. Cai, X. Ma, L. Li, H. Peng, “A multi objective chaotic particle swarm optimization for environmental economic dispatch”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 50, No. 5, pp. 1318-1325, 2009.
- [11] M. Basu, “A Simulated Annealing-Based Goal Attainment Method for Economic Emission Load Dispatch of Fixed Head Hydrothermal Power Systems”, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 27, pp. 147-153, 2005.
- [12] K. T. Chaturvedi, M. Pandit, L. Srivastava, “Modified neo-fuzzy neuron-based approach for economic and environmental optimal power dispatch”, *Applied Soft Computing*, Vol. 8, No. 4, pp. 1428-1438, 2008.
- [13] C. Palanichamy, N. S. Babu, “Analytical Solution for Combined Economic and Emissions Dispatch”, *Electrical Power Systems Research*, Vol. 78, pp. 1129-1137, 2008.
- [14] C. Yaşar, S. Fadıl, Solution to environmental economic dispatch problem by using first order gradient method, 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO’2007, 5-9 December, *Electric Control Proceeding*, pp. 91-95, Bursa, TURKEY, 2007.
- [15] C. Yaşar, S. Özyön ve H. Temurtaş, 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, ss. 105-109, 26-30, BURSA, 2008.
- [16] S. Özyön, C. Yaşar, Y. Aslan, H. Temurtaş, Solution to environmental economic power dispatch problem in hydrothermal power systems by using genetic algorithm, 6th

International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO'2009, 5-8 November 2009, Volume-I Proceeding, pp. 387-392, Bursa, TURKEY, 2009.

- [17] E. Zitzler, L. Thiele, "Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms- A Comparative Case Study", *Parallel Problem Solving From Nature-PPSN V*, Amsterdam, The Netherlands, Springer-Verlag, ss. 292-301, 1998.
- [18] K. Zehar, S. Sayah, "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, 2008.
- [19] S. Fadıl, U. Ergün, "Solution to Lossy Short Term Hydrothermal Coordination Problem with Limited Energy Supply Units By using Genetic Algorithm", *International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO'99*, 1-5 December, Electrical Proceeding, pp. 234-238, Bursa, TURKEY, 1999.
- [20] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp. 412, 1989.