

# Çevresel/Ekonomik Yük Dağıtımında Genetik Algoritmanın Kullanılması

Ayşen Demirören, H. Lale Zeynelgil  
İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Müh. Bölümü  
Maslak, 80626 İstanbul  
aysen@elk.itu.edu.tr zeynel@elk.itu.edu.tr

## Özet:

Santrallarda, elektrik güç dağıtımında alışlagelmiş yöntemler genellikle minimum maliyetin sağlanmasına dayanır ve bu şekilde yapılan dağıtım Ekonomik Dağıtım (ED) olarak bilinir. Ancak, günümüzde fosil yakıtlı santralların yol açtığı çevre kirliliğinin de göz önüne alınması kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu makalede, hem ekonomik ve hem de çevresel dağıtımın aynı anda göz önüne alındığı Çevresel/Ekonomik Dağıtım (ÇED) probleminin Genetik Algoritma (GA) kullanılarak çözümü incelenmiştir. Ele alınan problemde iletim hattı kayıpları da hesaba katılmıştır. Optimizasyon yöntemi olarak, bütünsel optimumu yakalayabildiği için, GA tercih edilmiştir. Burada kullanılan genetik algoritmanın özelliği binary kodların değil, reel sayıların kullanılmasıdır. Karşılaştırma amacıyla, sadece ekonomik dağıtım ve sadece çevresel dağıtım durumları da incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çevresel/Ekonomik Dağıtım, Genetik Algoritma

## 1. Giriş

Elektrik santrallarının işletilmesinde genellikle en düşük yakıt maliyeti esastır ve çevre kirliliği göz önüne alınmaz. Son yıllarda, elektrik endüstrisinin çevresel kirliliğe olan katkısı, çevrenin korunması ve elektrik santrallarının yol açtığı kirliliğin azaltılması veya yok edilmesi ile ilgili soruları gündeme getirmektedir. Elektrik güç dağıtımında esas alınan tek konu artık minimum maliyetin sağlanması olmayıp, çevrenin korunması da göz önüne alınmaktadır, çünkü günümüzde kaliteli ve güvenilir elektrik enerjisinin en ucuz fiyatla değil, çevreye en az zarar verecek şekilde elde edilmesi istenmektedir. Elektrik enerjisi üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlı elektrik santrallarında gerçekleştirilmekte olup, bu santrallarda birincil enerji kaynağı olarak kömür, petrol ve gaz kullanılır ve bu da atmosferik atık yayılımına yol açar. Atık yayılımının yapısı ve miktarı kullanılan yakıtın tipine ve kalitesine bağlıdır [2,3]. Fosil yakıtlı santralların yaydığı CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi atık gazların çevreye olan etkileri ihmal edilemeyecek düzeydedir. Bu atık gazlar bütün canlılara ve malzemelere zarar vermekte, görüş mesafesini azaltmakta ve küresel ısınmaya yol açmaktadır [4]. Bütün bu etkiler, bir şekilde hayatımıza zarar verdikleri için, maliyetler yardımıyla incelenebilir. Bir kirleticinin yol açtığı zararlar o kirleticinin tipine ve hava koşullarına bağlıdır. Bu nedenle, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> yayılımlarını azaltmak için yanma-sonrası temizleme sistemlerinin kurulması, atık miktarı daha az olan yakıtların tercih edilmesi gibi, çeşitli yöntemler kullanılır [3,5-8].

Çevresel maliyetin hesaba katılması için, araştırmacılar bu maliyeti alışlagelmiş ekonomik maliyet fonksiyonlarına yerleştirmek üzere çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir [9-12]. Var olan (kurulu) sistemlerin çalıştırılmasında gözlemlenen çevresel ve ekonomik dağıtım (ÇED) problemi, matematiksel

olarak, çok amaçlı bir optimizasyon problemi biçiminde ifade edilebilir. Bu ifade şekli ÇED probleminin bir bağıl minimumu olduğunu açıkça göstermektedir. Bazı doğrusal gösterimler olmakla beraber, genellikle, ÇED problemi eşitlik ve eşitsizlik sınırlamaları içeren karesel maliyet fonksiyonları ile ifade edilirler. Bu problemi çözmek için geliştirilen alışlagelmiş yöntemler tek-yol araştıran gradient yöntemler olup, bir bölgesel minimuma takılabilirler. Günümüzde çok kullanılan bir yöntem yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları optimizasyon, özellikle bileşik optimizasyon, problemlerinin çözümünde on yıldan fazla bir süredir kullanılıyor olsa bile, bunların alışlagelmiş yöntemler ile tamamlanabildiği gözlemlenmiştir. Eğer amaç maliyeti ne olursa olsun bütünsel minimumu bulmak ise, simulated annealing veya genetik algoritmalar gibi stokastik yöntemler kullanılır.

Alışlagelmiş yöntemlerin çoğu birden fazla yol kullanarak her bir adımda çeşitli durumları araştırırlar ve dolayısıyla bir bölgesel minimuma takılabilirler [13], diğer yöntemler ise, gradient olanlar gibi, bütünsel minimumu bulamazlar. Oysa ki, çok fazla zaman aldığı bilinen genetik algoritmalar (GA) bütünsel minimumu bulabilirler. GA lar en iyi çözümün araştırılmasında "en iyinin yaşaması" kavramı kullanılarak geliştirilmiştir [14]. GAların güçlülük, basitlik vs. gibi üstünlükleri vardır. Aynı zamanda, GA lar güç sistemlerine ilişkin optimal güç akışı, sistem topolojisi, güç dağıtımının tasarlanması gibi problemlere ve ekonomik dağıtım probleminin çözümüne uygulanabilmektedir [13]. Bu çalışmada, göz önüne alınan bir güç sisteminde, bir doğrusal olmayan optimizasyon problemi olan, EED problemini optimize etmek için uygulanmıştır.

## 2. Çevresel/Ekonomik Yük Dağıtım

Bildiği gibi, Fosil yakıtlı santrallar elektrik enerjisi üretimi esnasında atmosfere çevresel kirliliğe yol açan

bazı atık maddeler yayarlar. Bu atıkların azaltılması için çeşitli yöntemler vardır:

– Çok sayıda gaz temizleyici tesis edilerek yanma sonrası temizleme sistemleri küçültülebilir. Ancak, bunun tasarımı, denenmesi ve kurulması oldukça fazla yatırım ve zaman gerektirir.

– Atık miktarı daha az olan yakıtlar tercih edilir. Bu şekilde, kullanılan yakıtın cinsi değiştirilerek çevresel kirlilik azaltılabilir.

– Santralde üretilen güç, gruplar arasında, ekonomik dağıtım sağlanacak şekilde değil, atık miktarı en az olacak şekilde paylaşılır.

Son yöntemde, yük dağıtım programlarında atık yayılımının içerilmesi için yapılacak küçük bir düzeltme yeterli olur. Ayrıca, çevresel kirliliğin azaltılması için gerekli stratejilerin geliştirilmesi için çeşitli seçenekler vardır [15,16]. Bunlardan biri, atık yayılımının azaltılmasının amaç olarak seçilmesidir. Bu durumda, n incelenen sistemdeki grup sayısı olmak üzere, ekonomik/çevresel yük dağıtımını matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P_D + P_L - \sum_{i=1}^n P_i = 0 \quad (1)$$

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax} \quad (2)$$

$$\min[F, E] \quad (3)$$

burada, F umulan yakıt maliyeti olup, yaklaşık olarak generatör çıkış gücü  $P_i$  nin karesel bir fonksiyonu olduğu varsayılır:

$$F = \sum_{i=1}^n a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (4)$$

E, örnek olarak sadece  $NO_x$  yayılımı göz önüne alındığı için, atmosfere yayılacağı umulan  $NO_x$  miktarı olup, MBtu başına atık yayılım oranına bağlı bir maliyet eğrisi ile verilir [9]. Atık yayılım fonksiyonunun biçimi yayılan atık tipine bağlıdır.  $NO_x$  yayılım fonksiyonu P ye göre doğrusal olmayan bir fonksiyon olduğu için, bazı araştırmacılar bunu aşağıdaki gibi bir polinom ile göstermektedir:

$$E = \sum_{i=1}^n d_i P_i^2 + e_i P_i + f_i \quad (5)$$

burada  $d_i, e_i$  ve  $f_i$  gerçek testlerden hareketle en küçük kareler kriteri kullanılarak hesaplanır. Lemont ve Gent [17] geliştirdiği ve yakıtlarda  $NO_x$  için bir vergi etkisi içeren bir fonksiyonu minimize etmek için kullanılan yöntem aşağıda açıklanmıştır. Eşitlik (1) de,  $P_D$  talep edilen toplam güç ve  $P_L$  iletim hattı kayıpları olup, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j \quad (6)$$

burada  $B_{ij}$  ile iletim hatlarına ilişkin kayıp katsayıları gösterilmektedir.

ÇED problemi çok amaçlı, sınırlamalı ve doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir [13]. Eğer bütün sınırlamalar sağlanıyorsa, bu problemin çözümü "faydalı" olarak adlandırılır. Bu çok amaçlı

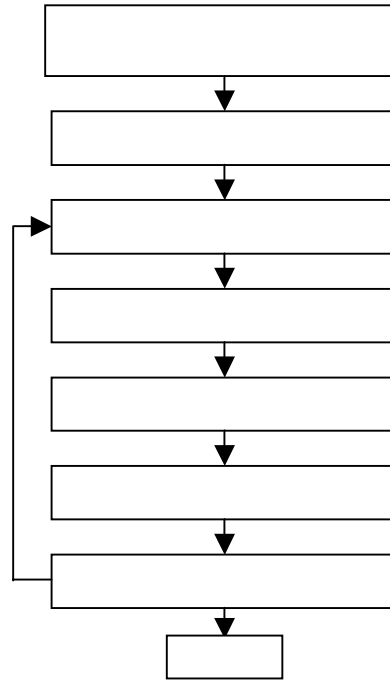
optimizasyon problemi ağırlıklı sınırlamalar kullanılarak bir skaler optimizasyon problemine dönüştürüldüğünde, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\min \left\{ G(P) = w_1 F(P) + w_2 E(P) + \lambda \left( P_D + P_L - \sum_{i=1}^n P_i \right) \right\} \quad (7)$$

burada,  $w_1, w_2$  ağırlık katsayıları ve  $\lambda$  Lagrange çarpandır. Eğer  $w_2 = 0$  kabul edilirse, problem saf ekonomik dağıtım problemine dönüşür, eğer  $w_1 = 0$  olursa, problem saf çevresel dağıtım problemine dönüşür.

### 3. Genetik Algoritma

Genetik algoritma bir evrimsel (gelişimsel) hesaplama tekniği olup, göz önüne alınan probleme ilişkin bir olası çözümler grubu (nüfus, popülasyon) ile çalışmaya başlar [13]. GA popülasyonundaki bireyler doğadaki gibi eşleşir ve çoğalır. Popülasyondaki farklı bireyler uygunlukları ile orantılı olan çoğalma hızları ile belirlenirler. Uygunluk problemdeki amaç fonksiyonundan hareketle oluşturulur. GA bir biyolojik gene benzer bir yapıya sahiptir ve seçim, çoğalma, çaprazlama ve değişim işlemlerinin uygulanması ile optimal bir çözüm araştırır. En iyi birey optimizasyon süresince hayatta kalır.



Şekil 1. GA ya ilişkin akış diyagramı

Temel bir GAda izlenen yol Şekil 1'deki akış diyagramında gösterilmiştir [18]. GAlarda genetik kodlar, genellikle, binary kodlar kullanılarak oluşturulur ve uygunluk fonksiyonunun değerlendirilmesi de binary kodlar kullanılarak yapılır. Göz önüne alınan problemdeki parametrelerin değerleri sürekli olduğunda ve bu değerlerin tam makina doğruluğu ile bilinmesi istendiğinde, bu parametrelerin binary kodlar ile ifade edilmesi

kromozom boyutunun oldukça hızlı büyümesini gerektirir. Bu nedenle, parametreler sürekli olduğunda, bu parametrelerin değişken sayılar ile gösterilmesi daha mantıklı bir yaklaşımdır [19]. Ek olarak, parametrelerin binary kodlar ile gösterilmesiyle binary GA'nın doğruluğu sınırlandırıldığı için, binary kodlar yerine reel sayıların kullanılmasıyla makina doğruluğunda gösterim kolayca elde edilir. Ayrıca, reel sayıların kullanılması maliyet fonksiyonunun gösteriminin de daha doğru olmasını sağlar. Bu durumda, GA'nın çalışmaya başlaması için, başlangıç popülasyonunu oluşturmak üzere belirli sayıda reel kodlu başlangıç genotipleri rastgele üretilir [13]. Sonra, her genotip değerlendirilir ve uygunluk değeri hesaplanır. Sınırlamalı ED probleminin çözümü iletim kayıplarını içeren çalışma maliyet fonksiyonunun minimizasyonunu içerir. Bu çalışmada, GA ÇED probleminin çok amaçlı, sınırlamalı ve doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak tanımlandığı Eşitlik (7) de verilen bütün sınırlamaları sağlayan bir çözümün bulunması için kullanılmıştır. Ceza (penalty) fonksiyonları, sınırları zorlayan bireyleri cezalandırmak için uygunluk fonksiyonuna cezalar yerleştirerek (koyarak), sınırlamasız optimumu uygunluk sınırına doğru zorlar. Ceza fonksiyonu hesaba katıldığında, amaç fonksiyonu Eşitlik (7) dekine benzer şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$G(P) = w_1 F(P) + w_2 E(P) + \epsilon O(P) \quad (8)$$

Bu makalede incelenen problem için, aşağıda verilen karesel bir ceza fonksiyonu  $\Phi$  kabul edilmiştir:

$$\Phi(P) = \left[ P_D + P_L - \sum_{i=1}^n P_i \right]^2 \quad (9)$$

Eğer bütün sınırlamalar sağlanıyorsa,  $\Phi = 0$  olur; aksi halde  $\Phi$  uygun olan ve uygun olmayan bölgeler arasındaki mesafenin değerine ayarlanır. Eğer  $\lambda$  büyük seçilirse, esas olarak araştırma uygun bölgede sınırlanmış olur. Bununla beraber, eğer  $\lambda$  tekdüze arttırılırsa, sonsuza gidebilir ve genetik araştırma da başarısız olabilir. Bazı çalışmalarda,  $\lambda$   $G(P)$  nin ve  $G(P)$  den önceki üretimin ortalama değerleri olan  $G(P)^{k-1}$ ,  $G(P)^{k-2}$  ile sürekli olarak yenilenir [13]. Bu çalışmada,  $\lambda$  sabit kabul edilmiştir ve değeri simülasyon bölümünde verilmiştir.

Bu makalede, sürekli parametrelili GA kullanılmıştır. Bu algoritmanın temel (birincil) farkı parametrelerin artık sıfırlar ve birler ile gösterilmemesi, bunun yerine hepsi uygun olduğu varsayılan bölgede bulunan reel sayıların kullanılmasıdır. Eğer göz önüne alınan kromozom  $p_1, p_2, \dots, p_{N_{par}}$  ile verilen  $N_{par}$  adet parametre içeriyorsa, bu kromozom  $1 \times N_{par}$  elemanlı bir dizi ile gösterilir:

$$\text{chromosome} = (p_1 \ p_2 \ \dots \ p_{N_{par}}) \quad (10)$$

Her kromozom maliyet fonksiyonu  $f$  nin  $p_1, p_2, \dots, p_{N_{par}}$  parametreleri için değerlendirilmesi ile bulunan bir maliyete sahiptir:

$$c = f(\text{chromosome}) = f(p_1 \ p_2 \ \dots \ p_{N_{par}}) \quad (11)$$

Hedefimiz  $f(p_1, p_2, \dots, p_{N_{par}})$  nin bütünsel minimum değerini bulmaktır.

GA'nın çalışmaya başlaması için,  $N_{ipop}$  adet kromozom içeren bir ilk popülasyon tanımlanması gerekir. Bunun için, adet rastgele değer içeren bir dolu matris üretilir:

$$IPOP = (P_{i_{max}} - P_{i_{min}}) \times \text{random}\{N_{ipop}, N_{par}\} + P_{i_{min}} \quad (12)$$

burada,  $\text{random}\{N_{ipop}, N_{par}\}$  sıfır ile bir arasında düzgün dağılmış rastgele sayılar üreten bir fonksiyon,  $P_{i_{max}}$  ve  $P_{i_{min}}$  sırasıyla göz önüne alınan grubun üretebileceği en büyük ve en küçük güç değerleridir. Başlangıç popülasyonu belirlendikten sonra, bu popülasyondaki hangi kromozomların hayatta kalmak ve muhtemelen gelecek nesildeki bireyleri (çocukları) üretmek için yeterince uygun olduğuna karar verilir. GA'nın binary tipinde olduğu gibi, popülasyondaki en iyi  $N_{ipop}$  adet eleman algoritmanın gelecek iterasyonu için popülasyonda bırakılır ve kalan elemanlar yok olur. Bir rastgele sayı üretici belirli sayıda rastgele sayı çiftleri üretir. Bu çiftler kullanılarak ebeveyn çiftleri belirlenir [19].

Bu algoritma bir çaprazlama yöntemi ile bir bilinene dayanarak tahmin (extrapolasyon) yönteminin bileşimidir. Binary GA'daki eşleştirme sistemini oldukça iyi taklit eden bir yol bulunması gereklidir. Bunun için, ilk olarak birinci ebeveyn çifti için çaprazlama noktası olacak parametrenin rastgele seçilmesidir:

$$\alpha = \text{roundup}(\text{random} \times N_{par}) \quad (13)$$

burada  $\alpha$  çaprazlama noktasıdır. Göz önüne alınan ebeveyn çiftini aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$\begin{aligned} \text{ebeveyn}_1 &= [p_{m1} \ p_{m2} \ \dots \ p_{m\alpha} \ \dots \ p_{mN_{par}}] \\ \text{ebeveyn}_2 &= [p_{d1} \ p_{d2} \ \dots \ p_{d\alpha} \ \dots \ p_{dN_{par}}] \end{aligned} \quad (14)$$

burada  $m$  ve  $d$  anne ve baba olan ebeveynleri göstermek için kullanılan altındislerdir. Buna göre, seçilen parametreler çocuklardaki yeni parametreleri oluşturmak için aşağıdaki gibi birleştirilir:

$$\begin{aligned} p_{\text{new1}} &= p_{m\alpha} - \beta [p_{m\alpha} - p_{d\alpha}] \\ p_{\text{new1}} &= p_{d\alpha} + \beta [p_{m\alpha} - p_{d\alpha}] \end{aligned} \quad (15)$$

burada  $\beta$  da 0 ile 1 arasında rastgele bir değerdir. Son adımda, çocuklara ilişkin kromozomların geri kalan kısımlarını ebeveynlerindeki gibi bırakarak çaprazlama tamamlanır:

$$\begin{aligned} \text{çocuk}_1 &= [p_{m1} \ p_{m2} \ \dots \ p_{\text{new1}} \ \dots \ p_{dN_{par}}] \\ \text{çocuk}_2 &= [p_{d1} \ p_{d2} \ \dots \ p_{\text{new2}} \ \dots \ p_{mN_{par}}] \end{aligned} \quad (16)$$

GA'nın maliyet yüzeyinin bir bölgesinde hızlı yakınsamasını önlemek için, bazı parametrelerde rastgele değişimler oluşturularak program maliyet yüzeyinin diğer bölgelerini araştırmaya zorlanır. Değişim için temel yöntem sürekli parametrelili GA için binary GA'dakinden daha karmaşık değildir [20]. Bu makalede, Rulet Çarkı seçimi kullanılmıştır. Ek olarak, var olan nesildeki en iyi kromozomların gelecek

nesilde de hayattta kalmalarını garanti etmek için bir en iyi değeri koruma (elitizm) mekanizması uygulanmıştır. Binary GA daki gibi, burada da değeri 1 ila 0.02 arasında olan bir değişim oranı genellikle iyi sonuçlar vermektedir. Değişim oranını toplam parametre sayısı ile çarparak değişime uğraması gereken parametrelerin sayısı elde edilir. Sonra, hangi kromozomun hangi parametresinin değişime uğrayacağını belirlemek için rastgele sayılar seçilir. Değişime uğrayacak parametrenin yerine yeni bir rastgele değişmiş parametre yerleştirilir.

#### 4. Simülasyon İncelemesi

Bu çalışmada eşitlik ve eşitsizlik sınırlamalı çevresel/ekonomik dağıtım probleminin çözümü sürekli parametrelili genetik algoritma kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla 6 grup içeren bir güç sisteminde çevresel/ekonomik dağıtım simüle edilmiştir [9]. Yakıt maliyetleri Rs/h cinsinden ve NO<sub>x</sub> yayılımı eşitlikleri kg/h cinsinden sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2' de verilmiştir. Her iki tablodaki eşitliklerin aynı parasal bazda ifade edilebilmesi için Tablo 2' deki eşitlikler fiyat ceza faktörü (44.62 Rs/kg) ile çarpılır [21,22]. Sistemdeki grupların çalışma sınırları ise Tablo 4' de verilmiştir [9]. Burada iletim hattı kayıpları da göz önüne alınmış olup, iletim hattı kayıp katsayıları Tablo 3' de verilmiştir.

ÇED için, simülasyonlar 700 MW lık talep yükü değeri için yapılmıştır. Ayrıca, sadece ekonomik ve sadece çevresel dağıtım durumları da ayrı ayrı incelenmiştir. Simülasyonlar için MATLAB de m-file dosyası olarak yazılan GA programı incelenen her dağıtım durumu için 22 kere çalıştırılmış ve sadece en iyi maliyetin elde edildiği sonuçlar ÇED durumu için Tablo 5' de verilmiş ve en iyi maliyet değerine ilişkin maliyet eğrisi Şekil 2' de gösterilmiştir. Diğer çalışma durumları için, en iyi maliyeti veren sonuçlar ile maliyet eğrileri sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7 ile Şekil 3 ve Şekil 4' de gösterilmiştir.

#### 5. Sonuçlar

Günümüzde santrallerin işletilmesinde, çevresel etkiler giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, incelenen bir santralde, çevresel/ekonomik dağıtım, iletim kayıpları da hesaba alınarak, sürekli parametrelili genetik algoritma kullanımı ile incelenmiştir. Burada, optimizasyon yöntemi olarak GANın tercih edilmesinin nedeni, hesaplama zamanının uzunluğuna rağmen, bütünsel optimumun yakalanmasıdır. Karşılaştırma amacıyla sadece çevresel ve sadece ekonomik dağıtım durumları ve çok amaçlı optimizasyon problemi olan çevresel/ekonomik dağıtım birlikte incelenmiş ve umulan sonuçlar elde edilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] M.R. Gent, J.W. Lamont, Minimum Emission Dispatch, IEEE Trans. on PAS, Sayfa: 2650-2660, June 1971
- [2] G.D. Friedlander, Power, Pollution and the Imperilled Environment, IEEE, Spectrum, pp 65-75, Dec. 1970
- [3] R.L. Ottinger et al, Environmental Cost of Electricity,

- Ocean Press, NY 1991
- [4] J.H. Talaq, Ferial and M.E. El-Hawary, A Summary of Environmental/Economical Dispatch Algorithms, IEEE Trans. on PWRs, pp. 1508-1515, 1993
- [5] Y.H. Song, G.S. Wang, P.Y. Wang, A.T. Johns, Environmental/Economical Dispatch Using Fuzzy Logic Controlled Genetic Algorithms, IEE Proc. Gen., Trans. and Distr., Vol. 144, No. 4, Sayfa:377-381, 1997
- [6] P. Chernick, E. Caverhill, Methods of Valuing Environmental Externalities, The Electricity Journal, Vol. 4, No. 2, Sayfa:46-53, March 1991
- [7] M.P. Holstein, W.J. Brands, Impact on Least Cost Planning and System Operations of Monetizing Environmental Externalities, Proc. American Power Conference, Vol. 54, No. 2, pp. 1048-1054, 1992
- [8] S. Bernow, B. Biewald, D. Marron, Full-Cost Dispatch: Incorporating Environmental Externalities in Electric System Operation, The Electricity Journal, Vol. 4, No. 2, Sayfa: 20-33, March 1991
- [9] J.S. Dhillon, S.C. Parti, D.P. Kothari, Stochastic Economic Emission Load Dispatch, Electric Power Systems Research, Vol. 26, Sayfa: 179-186 1993
- [10] J.Nanda, D.P.Kothari, K.S. Lingamurty, Economic Emission Load Dispatch Through Goal Programming Techniques, IEEE Trans., EC-3, pp. 26-32 1988
- [11] R.H. Yokoyama, S. H. Bae, T. Morita and H. Sasaki, Multi-objective Optimal Generation Dispatch Based on Probability Security Criteria, IEEE Trans. on PWRs-5 pp. 317--314 1988
- [12] B.S. Kermanshahi, Y. Wu, K. Yasuda and R. Yokohoma, Environmental Marginal Cost Evaluation by Non-inferiority Surface, IEEE Trans. on PWRs-5 Sayfa: 1151-1159, 1990
- [13] X. Lei, E. Lerch, D. Povh, Genetic Algorithm Solution to Economic Dispatch Problem, ETEP, Vol. 9, No. 6, Sayfa: 347-352, Nov./Dec. 1999
- [14] L. Davis, Handbook of Genetic Algorithm, New York, USA, Van Nostrand Reinhold, 1991
- [15] P.G. Friedman, Power Dispatch Strategy for Emission and Environmental Control, Proc. 16th ISA Power Instrumentation Symposium, Sayfa: 59-64, 1973
- [16] J. B. Cadogan, L. Eisenberg, Environmental Control of Electric Power systems, ISA Trans., Vol. 14, Sayfa 217-224, 1975
- [17] J.W.Lamont, R.Gent, Environmentally Oriented Dispatching Techniques, Proc. PICA 8<sup>th</sup>, Sayfa 421-427, 1973
- [18] Y.H. Song, Q.Y. Xuan, Combined Heat and Power Economic Dispatch Using Genetic Algorithm Based Penalty Function Method, Electric Machines and Power Systems, 26, Sayfa: 363-372, 1998
- [19] M.W. Hirsh, S. Smale, Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra, New York, Academic Press, 1974.
- [20] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms, Numerical Optimization, and Constraints, Proc. of the sixth International Conference on Genetic Algorithms, San Mateo, CA, Sayfa: 151-158,1995
- [21] J.F. Busch Jr., F.L. Krause, Environmental Externality Surcharges in Power System Planning: a Case Study of New England, IEEE Trans. on PWRs, Vol. 8, No. 3, Sayfa: 789-795, August 1993
- [22] P.S. Kulkarni, A.G. Kothari, D.P. Kothari, Combined Economic and Emission Dispatch Using Improved Backpropagation Neural Network, Electric Machines and Power Systems,28, Sayfa: 31-44, 2000

**Tablo 1.** Yakıt maliyeti (Rs/h) eşitlikleri

$$F_1^1=0.15247P_1^2+38.53973P_1+756.79886$$

$$F_2^1=0.10587P_2^2+46.15916P_2+451.32513$$

$$F_3^1=0.02803P_3^2+40.39655P_3+1049.99770$$

$$F_4^1=0.03546P_4^2+38.30553P_4+1243.53110$$

$$F_5^1=0.02111P_5^2+36.32782P_5+1658.56960$$

$$F_6^1=0.01799P_6^2+38.27041P_6+1356.65920$$

**Tablo 2.** NO<sub>x</sub> yayılımı (kg/h) eşitlikleri

$$F_1^2=0.03126P_1^2+2.44442P_1+103.39053$$

$$F_2^2=0.03126P_2^2+2.44442P_2+103.39053$$

$$F_3^2=0.05095P_3^2-4.06950P_3+300.39107$$

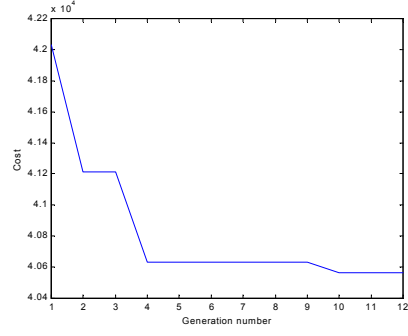
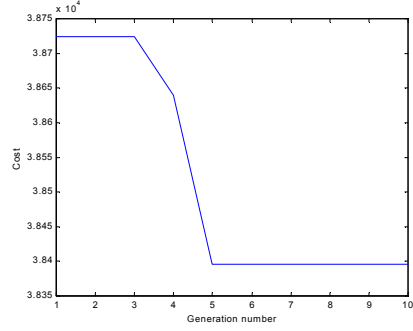
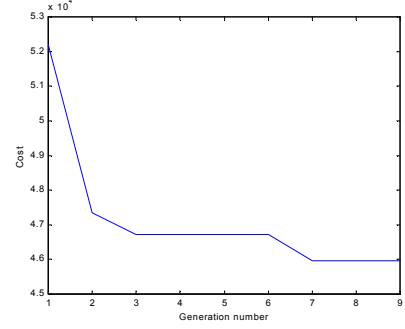
$$F_4^2=0.05095P_4^2-4.06950P_4+300.39107$$

$$F_5^2=0.03440P_5^2-3.81325P_5+320.00065$$

$$F_6^2=0.03440P_6^2-3.81325P_6+320.00065$$

**Tablo 3.** Grupların çalışma sınırları

Generator no.	Lower limit (MW)	Upper limit (MW)
1	10	125
2	10	150
3	35	225
4	35	210
5	130	325
6	125	315

**Şekil 2.** Çevresel/ekonomik dağıtım durumu için maliyet eğrisi**Şekil 3.** Ekonomik dağıtım durumu için maliyet eğrisi**Şekil 4.** Çevresel dağıtım durumu için maliyet eğrisi**Tablo 4.** Kayıp katsayıları

0.002022	-0.000286	-0.000534	-0.000565	-0.000454	-0.000103
-0.000286	0.003243	0.000016	-0.000307	-0.000422	-0.000147
-0.000533	0.000016	0.002085	0.000831	0.000023	-0.000270
-0.000565	-0.000307	0.000831	0.001129	0.000113	-0.000295
-0.000454	-0.000422	0.000023	0.000113	0.000460	-0.000153
-0.000103	-0.000147	-0.000270	-0.000295	-0.000153	0.000898

**Tablo 5.** Çevresel/ekonomik dağıtım için sonuçlar

P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	Cost	P <sub>L</sub>	CPU time
103.78	57.46	65.68	98.10	205.96	198.38	40564.2458	29.56	1.32

**Tablo 6.** Sadece ekonomik dağıtım için sonuçlar

P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	Cost	P <sub>L</sub>	CPU time
63.24	41.13	67.74	108.72	275.41	185.03	38395.2273	41.25	1.15

**Tablo 7.** Sadece çevresel dağıtım için sonuçlar

P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	Cost	P <sub>L</sub>	CPU time
102.29	122.14	67.47	107.08	176.75	166.82	45961.2210	43.73	1.05