

# Termik Üretim Birimlerinden Oluşan Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Genetik Algoritma Yöntemiyle Çözümü

Celal YAŞAR<sup>1</sup>, Serdar ÖZYÖN<sup>2</sup>, Hasan TEMURTAŞ<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA

<sup>3</sup>Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA

<sup>1</sup>[cyasar@dpu.edu.tr](mailto:cyasar@dpu.edu.tr), <sup>2</sup>[serdarozyon@dpu.edu.tr](mailto:serdarozyon@dpu.edu.tr), <sup>3</sup>[htemurtas@dpu.edu.tr](mailto:htemurtas@dpu.edu.tr)

## Özet

Günümüzde üretim birimlerinde çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtların kullanılması problemlerin çözümünde üretim birimlerinin yol açtığı çevre kirliliğinin de göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle çalışmada çevre kirliliğinin de dikkate alındığı çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin genetik algoritma yöntemiyle çözümü incelenmiştir. Çözüm için ele alınan elektrik güç sistemi daha önce literatürde farklı yöntemlerle çözülen termik birimlerden oluşan kayıplı bir sistemdir. Çevresel ekonomik güç dağıtım problemini tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürmek için ağırlıklı toplam metodu kullanılmıştır. Farklı ağırlık değerleri için elektriksel kısıtlar altında minimum toplam termik maliyet ve minimum toplam  $NO_x$  emisyon değerlerini veren en iyi çözüm değerleri elde edilmiştir (Pareto optimal değerler). Elde edilen bu değerler daha önce farklı metodların uygulanmasıyla bulunan çözüm değerleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Çevresel-ekonomik güç dağıtım, Genetik algoritma, Pareto-optimal çözümler.

## Abstract

Nowadays, the widespread use of fossil-based fuels in power generation units requires the consideration of the environmental pollution. Therefore, in this study, the solution of the environmental economic power dispatch problem in which the environmental pollution has been taken into consideration by the method of the genetic algorithm has been analysed. The algorithm is tested for the electric power system of the thermal units which has been solved by different methods in the literature. In order to turn the environmental economic power dispatch problem into the optimization problem, the weighted sum method has been used. The best solution values that give minimum total thermal cost and minimum total emission values have been obtained (pareto-optimal values) for different weight values under electrical constraints. These values which have been obtained have been compared with the previously published values in the literature.

**Keywords :** Environmental/economic power dispatch, Genetic algorithm, Pareto-optimal solutions.

## 1. Giriş

Ekonomik güç dağıtım problemi güç sistemlerinin işletimlerinde en önemli konulardan biridir. Geleneksel ekonomik dağıtım problemi, sistemdeki mevcut yükün sistemin kısıtları altında minimum maliyetle üretim birimleri tarafından karşılanabilmesi için birimlerin aktif güç çıkışlarının ayarlanması olarak bilinir [1,2].

Son yıllarda, ekonomik güç dağıtımında termik üretim birimleri tarafından yaratılan çevre kirliliği önemli bir konu haline gelmiştir. Temel enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanan üretim birimleri karbondioksit, sülfür dioksit ve nitrojen oksit içeren gaz ve kül parçacıkları üretmektedirler. Emisyon miktarının aşırı olarak artması, öldürücü ekolojik etkilere sebep olabilmektedir. Oluşan kirlilik insanların yanı sıra diğer canlıları ve bitkileri de etkilemektedir. Aynı zamanda küresel ısınmaya da neden olduğu bilinmektedir [3,4].

Geleneksel ekonomik güç dağıtımıyla elde edilen sonuçlar, çevresel kriterler dikkate alındığında en iyi sonuçlar olarak değerlendirilmeyebilir. Çünkü, çevrenin temiz tutulabilmesi için üretim birimleri tarafından üretilen emisyon miktarı azaltılmak zorundadır. Emisyon miktarını azaltmak için gaz temizleyicilerinin ilave edilmesi, düşük sülfürlü yakıt kullanılması veya yeni güç dağıtım yaklaşımı gibi yöntemler sayılabilir. Bu yöntemlerin arasında yeni güç dağıtım yaklaşımı, küçük bir ek maliyet getirmesi ve uygulanmasının kolay olması nedeniyle çok fazla tercih edilir duruma gelmiştir. Güç dağıtımının yeni ana fikri, toplam emisyonu düşürmek için daha az emisyon üreten birimleri daha fazla kullanmak üzerine kuruludur [2,3].

Literatürde, çok amaçlı ekonomik dağıtım problemleri bulanık çok amaçlı genetik algoritma yaklaşımıyla [1]'de, sistemi çevrim dışı ve çevrim içi şeklinde alt sistemlere bölen hiyerarşik sistem yaklaşımıyla [2]'de, hızlı Newton-Raphson metodu yaklaşımıyla [5]'de, değiştirilmiş genetik algoritma ile [6]'da, çok amaçlı evrimsel algoritma yaklaşımıyla [7]'de, genetik algoritmaya dayalı seçkin çok amaçlı evrimsel algoritmayla [8]'de, bulanık lineer programlama yaklaşımıyla [9]'da, tek yönlü ve indirim metodlarının bileşiminin ilave edilmesiyle oluşturulmuş lineer programlamayla [10]'da, birinci dereceden gradyent metotla [12]'de çözülmüştür.

Uygulamada birçok problem, sık karşılaşılan ve birbiriyle kıyaslanamaz amaçların aynı anda optimizasyonunu içermektedir. Genellikle bu tür problemlerde bir tek çözüm

yoktur, fakat alternatif çözümler kümesi vardır. Bu alternatif çözümler kümesinin elemanları için bütün amaçlar düşünüldüğünde hiçbirinin diğerine göre daha en iyi çözüm olduğu söylenemez. Bu tür çözümlere Pareto-optimal çözümler denir [11].

Genetik algoritma (GA), optimizasyon problemlerinin çözümünde çok geniş aralıkta, çok fazla sayıda değişkenle arama yaparak yerel optimumlara takılmadan genel optimuma ulaşabilmektedir. Bu nedenle çevresel/ekonomik güç dağıtım probleminin çözümünde genetik algoritma yöntemi tercih edilmiştir.

## 2. Problemin Formülasyonu

Çevresel/ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü, sistem kısıtları altında toplam maliyet fonksiyonunun (toplam termik maliyet ve toplam  $NO_x$  emisyon miktarı) minimize edilmesi şeklinde bulunur. Sistemdeki üretim birimlerinin termik maliyeti her bir birim için aktif güç üretiminin 2. derece fonksiyon olarak alınmıştır [9,10,13].

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

Her bir termik birim tarafından üretilen  $NO_x$  emisyon miktarı birimin çıkış gücü cinsinden 2.derece fonksiyon olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [9,10].

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

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

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

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

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

Çevresel/ekonomik güç dağıtım problemine ait ağırlıklı toplamla birleştirilmiş  $n$ . termik üretim birimine ait toplam maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$T_n(P_{G,n}) = w F_n(P_{G,n}) + (1-w) \gamma_n E_n(P_{G,n}), \quad (n \in N_G), (R/h) \quad (5)$$

Denklemde,  $(R/h)$  olarak  $n$ . birimin maliyet fonksiyonu  $T_n(P_{G,n})$ 'le,  $(R/h)$  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.  $\gamma_n$ ,  $n$ . termik birimin  $(R/ton)$  olarak  $NO_x$  emisyon maliyetini,  $w$  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 termik maliyetin,  $w=0,0$  değeri ise sadece  $NO_x$  emisyon miktarının minimum olmasına karşılık düşmektedir [3,4,7].

Minimize edilecek olan elektrik güç sisteminin toplam maliyet fonksiyonu (TMF) denklem (6)'da verilmiştir.

$$TMF = \sum_{n \in N_G} T_n(P_{G,n}), \quad (R/h) \quad (6)$$

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

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

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

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

## 3. Genetik Algoritma Yöntemi

GA doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Bir problemin GA ile çözümü, problemin sanal olarak evrimden geçirilmesiyle bulunur. Böylece istenen en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılır. GA geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. GA'nın klasik yöntemlerden farklı tarafları vardır. Algoritmanın temelinde, çözülmek istenen probleme ilişkin rastgele oluşturulmuş olası çözümler grubu (popülasyon) bulunur. Bu nedenle GA yöntemleri belirsiz (non-deterministik) yöntemler olarak bilinir. Dolayısıyla aynı problem için aynı GA modeli defalarca uygulandığında birbirinden farklı sonuçlar almak olasıdır [15-18].

Bir problemin GA ile çözümü; kodlama, başlangıç popülasyonu, uyumluluk, yeni popülasyon seçimi, değiştirme ve test aşamalarından oluşur. Kodlamada bireyleri gösteren değişkenler diziler halinde verilir. Bu bireylerle başlangıç popülasyonu oluşturulur. Oluşturulan bu popülasyondaki her birey için uygunluk değeri hesaplanır. Yeni popülasyonun oluşturulması için seçim, çaprazlama, mutasyon ve ekleme işlemleri yapılır. Seçim, hesaplanan uygunluk değerlerine göre gerçekleştirilir. Uygunluğu iyi olan birey daha fazla seçilme şansına sahip olur. Seçilen bireyler çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden geçirilerek yeni bireyler oluşturulur. Oluşturulan yeni bireyler yeni popülasyona katılır. Test aşamasında yeni bireylerden oluşan popülasyon içinde problem için en iyi çözüm aranır. Bu işlemler belirlenen durma kriteri sağlanana kadar devam eder ve kriter sağlandığında algoritma sonlandırılır [14,17,18].

Bu çalışmada  $m$  bit sayısını göstermek üzere üretim birimlerinin çıkış güçleri olan  $P_{G,n}$  değerleri için  $0 \leq P_{G,n}^{ilk} \leq 2^m - 1$  aralığında rastgele  $N_G$  kümesinin elemanlarının bir eksiği (salınım barası) kadar sayılar atanır. Atanan bu sayılar sistemdeki üretim birimlerinin mevcut kısıtlarının dışında bir değer alabileceğinden, denklem (9)'a göre haritalama yapılarak, kısıtlara uygun hale getirilir.

$$P_{G,n}^{yeni} = P_{G,n}^{\min} + \frac{P_{G,n}^{\max} - P_{G,n}^{\min}}{2^m - 1} \cdot P_{G,n}^{ilk}, \quad (n \in N_G) \quad (9)$$

Böylece oluşan her birey mevcut problemin birer çözümü haline gelir. Bireyin oluşum biçimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntemde oluşturulan bireyler ilk olarak popülasyona katılmaz.

	$P_{G,2}$	$P_{G,3}$	.....	$P_{G,n}$
Birey N :	10...11	11...01	.....	10...10
	(m) bit	(m) bit		(m) bit

Şekil 1. Bireyin oluşumu (Salınım barası hariç)

Bu nedenle her bireyin üretiminden sonra yük akışı yapılarak ortaya çıkan çözüm, bütün kısıtlara uygunsa birey popülasyona katılır. Aksi halde birey cezalandırılır ve yeni bir birey oluşturulur. Böylece oluşturulan popülasyondaki bütün bireyler problemin bütün kısıtlarına uyan (salınım barası dahil) birer çözümü haline gelirler. Bu işlem popülasyon için seçilen birey sayısı ( $bs$ ) tamamlanıncaya kadar devam eder.

Birey sayısı tamamlandıktan sonra bütün bireylerin toplam maliyetleri denklem (6)'ya göre hesaplanır. Hesaplanan bu maliyet değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ( $1,2,3,\dots,bs$ ). Sonra toplam maliyet sıralamasına göre bütün bireyler denklem (10) kullanılarak puanlanır.

$$Puan(TM F)_k = 5 + \text{yuvarla} \left[ 95 \cdot \left( \frac{bs - k + 1}{bs} \right)^2 \right], k:1,\dots,bs \quad (10)$$

Denklemde  $k$  bireyin sıralamadaki yerini,  $bs$  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. Denklemdeki puanlama sistemi seçim işleminin daha başarılı yapılabilmesi için kullanılmıştır.

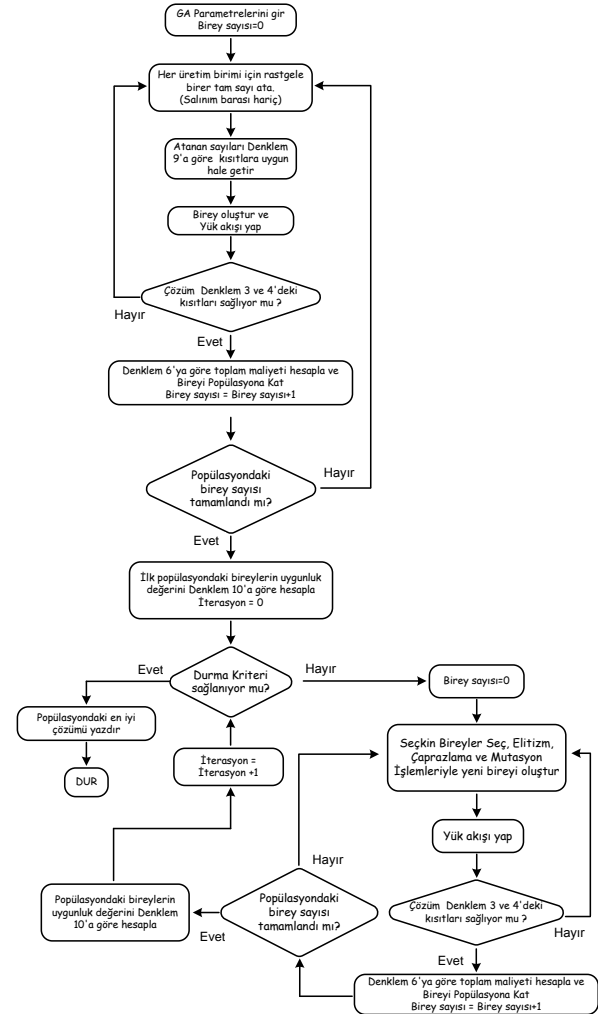
Yeni popülasyonun oluşturulması için sırasıyla elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. İlk olarak mevcut popülasyondaki en yüksek puana sahip (yani elit) birey hiçbir işleme uğratılmadan sonraki popülasyona aktarılır. Kalan bireylerin oluşturulması için iki adet birey seçilir. Seçim için rulet tekerleği metodu kullanılmıştır. Seçilen bu iki birey çaprazlama oranına bakılarak çaprazlanır. Çaprazlama türü olarak tek noktalı çaprazlama seçilmiştir. Çaprazlamadan sonra oluşan birey orana bağlı olarak mutasyona uğratılır. Mutasyon türü tek bit değiştirme olarak yapılmıştır. Seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonunda oluşan yeni bireyle yük akışı yapılarak bireyin önerdiği çözümün kısıtlara uygunluğu kontrol edilir. Eğer çözüm kısıtlara uygunsa birey yeni popülasyona katılır, aksi halde cezalandırılarak uygun olan yeni bir birey oluşturmak için seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri tekrarlanır. Bu işlemler popülasyon için belirlenen birey sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder. Uygun bireylerle popülasyonun oluşturulmasından sonra bireylerin toplam maliyetleri hesaplanarak en iyi çözüm aranır. Bu işlemler tekrarlanarak farklı iterasyonlarda oluşacak popülasyonlardaki çözümlerin daha iyi olması amaçlanır. Durma kriteri sağlandığında en iyi çözüm belirlenerek algoritma sonlandırılır. Problemin çözümü için izlenen yol Şekil 2'de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada popülasyondaki bit sayısı 20, birey sayısı ( $bs$ )100, elit birey sayısı 1, çaprazlama oranı 0,990, mutasyon oranı 0,04, iterasyon sayısı 1000 olarak seçilmiştir.

#### 4. Örnek Problem Çözümü

Çözüm yöntemi olarak GA, Şekil 3'teki güç sistemine uygulanmıştır. Sistemde 1 nolu bara salınım barası olup baz değerleri  $S_{baz} = 100 \text{ MVA}$  ve  $U_{baz} = 230 \text{ kV}$  olarak belirlenmiştir. Sistemdeki enerji iletim hatlarının eşdeğer  $\pi$  devrelerine ait  $pu$  parametreleri, şekildeki iletim hatları üzerinde (örneğin 1. bara ile 2. bara arası  $R=0.06 \text{ pu}$ ,  $X=0.24$

$pu$ ,  $B_{cap}=0.02 \text{ pu}$  olarak) gösterilmiştir. Sistemdeki yük değerleri Tablo 1'de, termik birimlere ait denklem (1) ve (2)'deki  $a_n$ ,  $b_n$ ,  $c_n$ ,  $d_n$ ,  $e_n$  ve  $f_n$  katsayıları ve aktif üretim sınırları ise Tablo 2'de verilmiştir. Sistemdeki termik birimler için  $NO_x$  emisyon maliyeti  $\gamma_n = 1000 \text{ R/ton}$ ,  $n=1,7,8,9,10$  olarak alınmıştır. Güç sisteminin başlangıç aktif ve reaktif güç üretim değerleri Tablo 4'de verilmiştir.



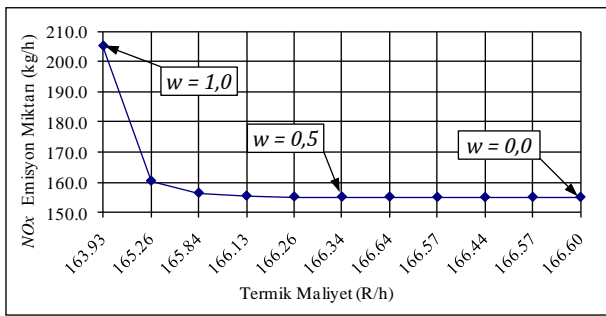
Şekil 2. Çözüm için akış şeması

Elde edilen sonuçlar,  $w'$ 'nin değişimine göre toplam termik maliyetler ve toplam  $NO_x$  emisyon miktarları olarak Tablo 5'de gösterilmiştir. Tabloda toplam termik maliyet ve toplam  $NO_x$  emisyon miktarı üzerinde  $w'$ 'nin etkisi görülmektedir. Denklem (6)'da  $w=1,0$  alındığında ( $NO_x$  emisyon miktarının minimizasyonu ihmal ediliyor.) toplam termik maliyet 163,9331  $R/h$ , toplam  $NO_x$  emisyon miktarı ise 205,4118  $kg/h$  olarak ortaya çıkmaktadır.  $w'$ 'nin değeri 0,0'dan başlayarak 0,1 aralıklarla 1,0'a doğru artırılırken toplam termik maliyetin azalmasına karşılık toplam  $NO_x$  emisyon miktarının arttığı durum Şekil 4'te görülmektedir. Ağırlık faktörü  $w=0,0$  alındığında (Termik maliyetin minimizasyonu ihmal ediliyor.) toplam termik maliyet 166,5986  $R/h$ ,  $NO_x$  emisyon miktarı ise 155,2405  $kg/h$  olmaktadır. Bu pareto-optimal sonuçlar

içerisinde saat başına toplam termik maliyetteki değişim 3,6655 R olurken toplam  $NO_x$  emisyon miktarındaki değişim ise 50,1713 kg olmaktadır.

Şekil 3'deki aynı problem birinci derece gradyent metotla çözüldüğünde elde edilen değerler  $w=1,0$  alındığında toplam termik maliyet 165,122 R/h, toplam  $NO_x$  emisyon miktarı ise 171,701 kg/h olarak ortaya çıkmıştır. Ağırlık faktörü  $w=0,0$  alındığında toplam termik maliyet 166,523 R/h, toplam  $NO_x$  emisyon miktarı ise 156,338 kg/h olmuştur. Bu sonuçlar içerisinde saat başına toplam termik maliyetteki değişim 1,401 R olurken toplam  $NO_x$  emisyon miktarındaki değişim ise 15,363 kg olarak gerçekleşmiştir [12].

Birinci derece gradyent metodu uygulandığında bulunan çözüm değerleri GA uygulanarak bulunan çözüm değerleriyle karşılaştırıldığında GA uygulanarak bulunan değerlerin daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Toplam  $NO_x$  emisyon miktarına göre toplam termik maliyetteki değişim

## 5. Sonuçlar

Çalışmada çevresel/ekonomik güç dağıtım için termik birimlerden oluşan kayıplı bir sisteme genetik algoritma yöntemi uygulanmıştır. Algoritma Şekil 3'te gösterilen 10 baralı sistem üzerinde denenmiştir. Yöntem, ağırlık katsayısı  $w$ 'nın her değeri için optimizasyon işlemine olası bütün kısıtların sağlandığı çözümlerden oluşan popülasyonla başlamış, her iterasyonda daha iyi çözümlerden oluşacağı varsayılan yeni popülasyonlar oluşturarak en iyi sonuca ulaşmaya çalışmıştır. Çözüm işleminde ağırlık faktörü  $w=0,0$ 'dan başlayarak 0,1'lik artımlarla  $w=1,0$ 'a kadar değiştirilmiştir. Tablo 5'den  $w$ 'nın her bir azalan değeri için toplam  $NO_x$  emisyon miktarı azalırken toplam termik maliyetin arttığı görülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Zhang P.X., Zhao B., Cao Y.J., Cheng S.J., "A Novel Multi-Objective Genetic Algorithm For Economic Power Dispatch", Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004, 39th International, Vol. 1, s. 422-426, 6-8 September 2004.
- [2] Hu Y.L., Wee W.G., "A Hierarchical System for Economic Dispatch with Environmental Constraints", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.2, s. 1076-1082, 1994.
- [3] 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.

[4] Talaq J.H., El-Hawary F. and El-Hawary M.E., "A Summary of Environmental/Economic Dispatch Algorithms", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.3, s. 1508-1516, 1994.

[5] Chen J.F., Chen S.D., "Multiobjective Power Dispatch with line Flow Constraints Using The Fast Newton-Raphson Method", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No.1, s. 86-93, 1997.

[6] Yalçınöz T., Altun H., "Environmentally Constrained Economic Dispatch via A Genetic Algorithm with Arithmetic Crossover", Africon Conference in Africa, IEEE AFRICON 6th, Vol. 2, s. 923-928, 2-4 Oct. 2002.

[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] Ah King R.T.F., Rughooputh H.C.S., "Elitist Multiobjective Evolutionary Algorithm For Environmental/Economic Dispatch", IEEE Evolutionary Computation, CEC'03, The 2003 Congress on, Vol. 2, s.1108-1114, 8-12 Dec. 2003.

[9] Yang H.T., Huang C.M., Lee H.M., Huang C.L., "Multiobjective Power Dispatch Using Fuzzy Linear Programming", IEEE Energy Management and Power Delivery, proceedings of EMPD'95, 1995 International Conference on, Vol. 2, s. 738-743, 21-23 Nov. 1995.

[10] Farag A., Al-Baiyat S., Cheng T.C., "Economic Load Dispatch Multiobjective Optimization Procedures Using Linear Programming Techniques", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No.2, s. 731-738, 1995.

[11] Zitzler E., Thiele L., "Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms- A Comparative Case Study", Parallel Problem Solving From Nature-PPSN V, Amsterdam, The Netherlands, Springer-Verlag, September 1998, s. 292-301.

[12] Yaşar C., Fadıl S., "Solution to Environmental Economic Dispatch Problem by Using First Order Gradient Method", 5<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO'2007, 5-7 December, Electric Control Proceeding, s. 91-95

[13] Wood A. J., Wollenberg B. F., "Power Generation Operation and Control", New York-Wiley, 1996.

[14] Kurt, M. ve Semetay, C., "Genetik algoritma ve uygulama alanları", M.M.O. Dergisi, 2001, s.1-11.

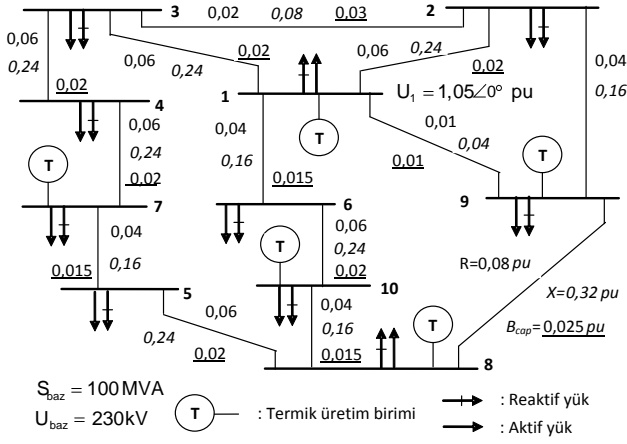
[15] Emel, G.G. ve Taşkın, Çağatay., "Genetik algoritmalar ve uygulama alanları", Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt XXI, Sayı 1, 2002, s. 129-152.

[16] İşçi, Ö. ve Korukoğlu, S., "Genetik algoritma yaklaşımı ve yöneylem araştırmasında bir uygulama", Celal Bayar Üniversitesi, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 2003, Cilt 10, Sayı 2, s. 191-208.

[17] Fadıl, S., "Tek Bölge Enterkonnekte Sistemlerde Optimal Aktif ve Reaktif Güç Dağıtım Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümü", 3e Enerji, Elektrik, Elektromekanik Dergisi, Sayı 46, Mart 1998, s. 62-68.

[18] Goldberg, David E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 412 s, 1989.

## Şekil ve Tablolar



Şekil 3. Örnek güç sisteminin tek hat diyagramı

Tablo 4. Sistemdeki termik üretim birimlerine ait başlangıç pu aktif ve reaktif güç üretim değerleri

Termik birimlerin bağlı olduğu bara no, (n)	7	8	9	10
$P_{G_{s,n}}^{\text{bas}}$	0.400	0.400	0.400	0.400
$Q_{G_{s,n}}$	0.200	0.200	0.200	0.200

Tablo 1. Sisteme ait pu olarak yük değişimi

Bara no, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Toplam
$P_{\text{yük},n}$	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,15	0,20	0,20	0,20	2,25
$Q_{\text{yük},n}$	0,145	0,097	0,145	0,097	0,145	0,097	0,0726	0,097	0,097	0,097	1,0896

Tablo 2. Termik birimlerin maliyet ve  $NO_x$  emisyon eğrisine ait katsayılar ile aktif güç üretim sınırları

Katsayılar		Termik birimlerin bağlı olduğu bara no, (n)				
		1	7	8	9	10
Maliyet	$a_n$	27,0	35,0	29,0	31,0	28,0
	$b_n$	$6,0 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-01}$	$5,0 \times 10^{-02}$	$8,0 \times 10^{-02}$	$6,0 \times 10^{-02}$
	$c_n$	$1,0 \times 10^{-04}$	$1,0 \times 10^{-04}$	$5,0 \times 10^{-05}$	$1,0 \times 10^{-04}$	$5,0 \times 10^{-05}$
Emisyon	$d_n$	$4,258 \times 10^{-02}$	$4,091 \times 10^{-02}$	$5,326 \times 10^{-02}$	$2,543 \times 10^{-02}$	$5,326 \times 10^{-02}$
	$e_n$	$-5,094 \times 10^{-04}$	$-5,554 \times 10^{-04}$	$-3,550 \times 10^{-04}$	$-6,047 \times 10^{-04}$	$-3,550 \times 10^{-04}$
	$f_n$	$4,586 \times 10^{-06}$	$6,490 \times 10^{-06}$	$3,380 \times 10^{-06}$	$5,5638 \times 10^{-06}$	$3,380 \times 10^{-06}$
Üretim Sınırları	$P_{G_{s,n}}^{\text{min}}$ (MW)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	$P_{G_{s,n}}^{\text{max}}$ (MW)	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0

Tablo 5. w değişimine göre toplam termik maliyet ile toplam  $NO_x$  emisyon değerleri

w	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
$F_T(P_{G_{s,n}})$ (R/h)	163,9331	165,2570	165,8357	166,1336	166,2551	166,3394	166,6397	166,5732	166,4441	166,5663	166,5986
$E_T(P_{G_{s,n}})$ (kg/h)	205,4118	160,6317	156,6299	155,6780	155,3849	155,3269	155,3587	155,2408	155,2053	155,2731	155,2405