

ELEKTRİK ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİNDE EKONOMİK AKTİF GÜÇ DAĞITIMININ GENETİK ALGORİTMA İLE BELİRLENMESİ

Ali ÖZTÜRK¹, Salih TOSUN², Pakize ERDOĞMUŞ³, Uğur HASIRCI⁴

ÖZET: Bu çalışmada, kayıpları olan iletim hattı şebekesini besleyen farklı yakıt türlerine sahip termik santrallerin optimum çalışma noktaları belirlenmiştir. Tüketicilerin talep ettikleri toplam aktif güç değerleri ve iletim hatlarında meydana gelen toplam aktif güç kayıplarının, santrallerce karşılanması ön şart olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında çalışan güç sisteminde, toplam yakıt maliyetinin minimum olmasını sağlayan santrallerin aktif güç değerleri hesaplanmıştır. Bu şekilde yapılan çalışmalara ekonomik aktif güç dağıtım denilmektedir. Çalışmada, ilk olarak geleneksel optimizasyon yöntemi olarak kabul edilen Lagrange İterasyon (Lİ) yöntemi kullanılarak problemin çözümü sağlanmıştır. Aynı problem, alternatif bir yöntem olarak Genetik Algoritma (GA) ile de çözülmüştür. Her iki yöntem ile elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar ekonomik aktif güç dağıtımının, GA yöntemi ile daha güvenilir belirlenebileceğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Güç Sistemleri, Optimizasyon, Genetik Algoritma

DETERMINATION OF ECONOMIC ACTIVE POWER DISPATCH WITH USE GENETIC ALGORITHM IN THE ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS

ABSTRACT: In this study optimum working conditions of thermic power plants, feeding a transmission line with losses, having different fuel types have been determined. That the total active power value demanded by consumer and total active power loss occurred at transmission line are supplied by plants have been specified as pre conditions. Active power values, minimizing total fuel cost under these conditions, have been computed. It has been called economic active power dispatch such studies. In this study firstly, the problem has been solved with Lagrange Iteration (LI) method, accepted as a conventional optimization method. Later the problem has been solved with Genetic Algorithm (GA) as an alternative method. Both results have been compared. Results show that economic active power dispatch can be specified with GA more reliable.

KEYWORDS: Power Systems, Optimization, Genetic Algorithm

^{1,2} Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü Konuralp Yerleşkesi, 81100 DÜZCE

³ Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Eğitimi Bölümü Konuralp Yerleşkesi, 81100 DÜZCE

⁴ Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 41400 Gebze/KOCAELİ

I. GİRİŞ

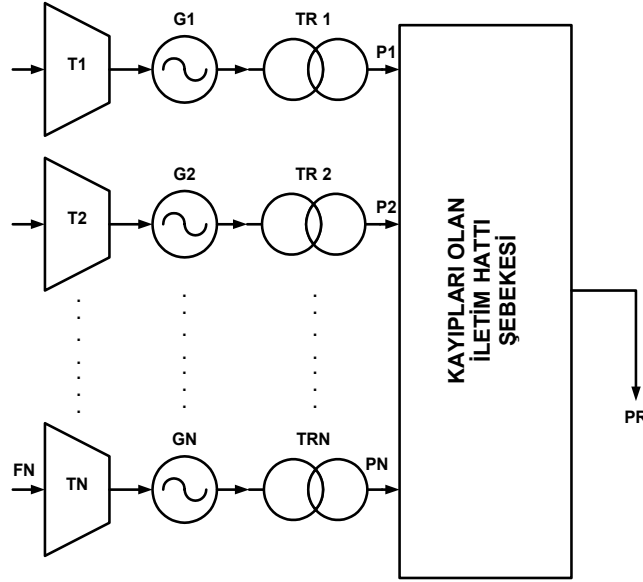
Ekonomik yük dağıtımının temelini üretim ve iletim maliyetlerinin en aza indirilmesi oluşturmaktadır [1]. Genel olarak üretim maliyeti fonksiyonu; yakıt maliyetleri, boş çalışma maliyetleri ve kurulum maliyetlerinin bir araya getirilmesiyle elde edilir [2]. Ekonomik yük dağıtım analizinde hat kayıpları ihmal edildiği görülmektedir. Ancak pratikte her ne kadar bu ihmal gerçekçi olmasa da hesaplamalarda kolaylıklar sağlamaktadır. Oysa pratikte hat kayıpları ekonomik üretim üzerinde oldukça etkilidir. Birim yakıt maliyeti en düşük olan santral yüke en uzak noktaya, maliyeti en yüksek olan santral ise en yakın noktaya yerleştirilebilse ekonomik bir üretim (hat kayıp maliyeti göz önüne alındığında) sağlanabilmektedir. Fakat pratik koşullar altında böyle bir seçenek imkansız görülmektedir [3]. Bunun nedeni enerji kaynaklarının bulunduğu üretim merkezleri ile tüketim merkezlerinin farklı yerlerde bulunmalarıdır

Literatürde, ekonomik aktif güç dağıtım (EAGD) problemleri farklı yöntemler kullanılarak çözüldüğü görülmüştür [4]. Kök ve Yalçınöz, EAGD problemini Ardışıl Kuadratik Programlama yöntemi ile çözmüştür [5]. Lin ve Arkadaşları, EAGD problemini Newton-Raphson yaklaşımı ile çözmüşlerdir [6]. Aravindhababu ve arkadaşı, Lambda İterasyon Yöntemini kullanarak örnek sistem üzerinde online olarak EAGD çalışmasını yapmışlardır [7]. Merev, EAGD problemini iletim hatlarındaki kayıpların dikkate alınıp alınmaması durumlarına göre Lagrange Fonksiyonu kullanarak çözmüştür [8]. Jasmin ve arkadaşları, EAGD problem çözümünde yapay sinir ağları yaklaşımını kullanarak çözüm sağlamışlardır [9]. Walid ve arkadaşı ise Benzetim Tavlama Algoritması kullanarak EAGD probleminin çözümüne yönelik çalışma yapmışlardır [10].

Bu çalışmada, talep edilen toplam aktif güç ve iletim hatlarındaki aktif güç kayıplarının karşılanması şartı ile EAGD problem çözümü iki farklı yöntem ile hesaplanmıştır. İlk olarak klasik yöntem olarak kabul edilen Lİ yöntemi ile EAGD problemi çözülmüştür. Aynı problem modern optimizasyon yöntemlerinden biri olan GA yöntemi kullanılarak çözülmüş olup, her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

II. ANALİTİK YÖNTEMLE EAGD

EAGD probleminin çözümünde kullanılan örnek model Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu bölümde ele alınan örnek problemin Lagrange İterasyon yöntemi ile çözüm aşamaları açıklanmıştır.



Şekil 1. Dağıtım sistemi modeli.

$$F_T = F_1 + F_2 + \dots + F_N = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (1)$$

Şekil 1’deki sisteme göre, denklem 1’de F_i , maliyet fonksiyonunu, F_T , toplam maliyeti, P_i ise santral çıkış güçlerini ifade etmektedir. Üretilen gücün yük tarafından talep edilen toplam güç ve hat kayıplarının toplamını karşılaması gerekmektedir. Bu şart altında F_T ’nin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu problem Lagrange fonksiyonları kullanarak çözülebilecek kısıtlamalı bir optimizasyon problemidir [11]. Amaç fonksiyonunun değerini bulmak için kısıtlama fonksiyonu belirlenmemiş bir katsayı ile çarpılarak amaç fonksiyonuna eklenir. Bu yeni eşitlik, Lagrange fonksiyonu olarak bilinir ve denklem (2) ile ifade edilir.

$$L = F_T + \lambda\phi \quad (2)$$

$$P_R + P_L - \sum_{i=1}^N P_i = \phi = 0 \quad (3)$$

Lagrange fonksiyonunun her bir birimin çıkış gücüne göre türevi alınırken iletim hattındaki kayıpların, akımın ve hattın empedansının fonksiyonu olduğu dikkate alınmaktadır. Lagrange fonksiyonunun N adet çıkış P_i çıkışından herhangi birine göre türevi alınırsa

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dP_i} &= \frac{dF_i}{dP_i} - \lambda \left(1 - \frac{dP_L}{dP_i}\right) = 0 \\ \frac{dF_i}{dP_i} + \lambda \frac{dP_L}{dP_i} &= \lambda \end{aligned} \quad (4)$$

eşitliği elde edilir. Bu durumda sağlanması gereken N adet eşitlik ve kısıtlama eşitliği olarak denklem (3) kullanılır. Ekonomik yük dağıtım problemlerinde kullanılan maliyet eğrisi ikinci dereceden bir fonksiyon şeklinde tanımlanmaktadır [12-14]. Örnek olarak farklı yakıt türleri için üç adet termik santral yakıt maliyet fonksiyonu ve hat kayıp fonksiyonu denklem (5), (6), (7), (8) de verilmiştir [11].

$$F_1(P_1) = 510,0 + 7,2P_1 + 0,00142P_1^2, \quad 150 < P_1 < 600 \quad (5)$$

$$F_2(P_2) = 310,0 + 7,85P_2 + 0,00194P_2^2, \quad 100 < P_2 < 400 \quad (6)$$

$$F_3(P_3) = 78,0 + 7,97P_3 + 0,00482P_3^2, \quad 50 < P_3 < 200 \quad (7)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 - 850 - P_L = 0$$

Burada, 850 sağlanması gereken yük miktarını, P_L ise hatlardaki kayıpları ifade eder.

Bu hat kayıp ifadesi de,

$$P_L = 0,00003P_1^2 + 0,00009P_2^2 + 0,00012P_3^2 \quad (8)$$

Verilen değerlere (3) ve (4) eşitlikleri uygulanırsa, Lagrange iterasyonu sonuç değerleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\lambda = 9,5284 \text{ R/MWh},$$

$$P_1 = 435,13 \text{ MW}, P_2 = 299,99 \text{ MW}, P_3 = 130,71 \text{ MW},$$

$$P_L = 15,83 \text{ MW}$$

Birim Yakıt Maliyeti : 7955 \$/MWh

III. GA YÖNTEMİ İLE EAGD

III.1. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA), evrimsel mantığını temel alan, geleneksel optimizasyon yöntemleri içerisinde çok zor olarak kabul edilen ve çok değişkenli optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [15]. GA rastgele oluşturulan bir başlangıç popülasyonuna göre çok sayıda çözümler ile çalışmaya başlamaktadır. Daha sonra genetik operatörleri (seçim, çaprazlama, mutasyon) kullanarak çözümleri optimum çözüme getirmeye çalışmaktadır [16].

GA, geleneksel optimizasyon yöntemlerinin aksine bir tane başlangıç noktası yerine çok sayıda başlangıç noktası ile çözüme başlamaktadır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyiler seçilir, kötüler elenir. GA, tanımlanan uygunluk fonksiyonu (UF) değişkenlerine göre başlangıç popülasyonunun oluşturulması ile çalışmaya başlamakta ve başlangıç popülasyonu, değişkenlerin kodlanmaları sonucunda rastgele oluşturulmaktadır. Popülasyonun her bir satırı ayrı bir bireyi oluşturur. Her birey için UF değerleri hesaplanır. UF, amaç fonksiyonu (AF) ve içerisinde kısıt fonksiyonunu (KF) bulunduran ceza fonksiyonunun (CF) toplamından oluşur. UF değerleri dikkate alınarak, GA'nın operatörleri olan seçim, çaprazlama, mutasyon işlemleri neticesinde yeni bir popülasyon oluşturulur. GA da bir önceki popülasyonun dikkate alınması ile Jenerasyon sayısı kadar yeni popülasyonlar oluşturulur. Her yeni popülasyonda UF değerleri hesaplanır. Bunlar arasında en iyi sonuç verenler göz önünde bulundurulur. GA sonlandırma şartı sağlanana kadar bu işlemler iteratif olarak devam eder. Sonlandırma şartı algoritmanın çalışma süresi, jenerasyon sayısı veya uygunluk fonksiyonunun en iyi değerlerinin belirli bir

süre içinde aynı değerleri vermesi şeklinde olabilir. Bu çalışmada sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı kullanılmıştır. Seçilen jenerasyon sayısına ulaşıncaya kadar yapılan işlemler neticesinde, GA ile sürekli iyiye doğru giden çözümler sağlanması amaçlanmaktadır.

III.2 Uygunluk Fonksiyonunun Oluşturulması

GA ile en küçük yakıt maliyeti değeri arandığından AF olarak denklem (9) alınmıştır. GA kısıtsız bir optimizasyon yöntemi olarak çalışmıştır. Bunun için kısıtlı optimizasyon problemi, kısıtların ihlal edilmesi durumunda AF, CF ile cezalandırılıp kısıtsız optimizasyon durumuna getirilmiştir. Böylece AF değerleri belirli sınırlar içinde tutulmuştur. Müşteri tarafından talep edilen toplam aktif güç değeri ve iletim hatlarında meydana gelen toplam aktif güç kayıpları termik santraller tarafından her durumda karşılanmalıdır. Bu durum problemin kısıdı olarak değerlendirilmektedir. Bu açıklamalar ışığında, KF ve CF sırasıyla denklem (10) ve (11)' deki formda yazılabilir.

$$AF = (510 + 7.2P_1 + 0.00142P_1^2) + (310 + 7.85P_2 + 0.00194P_2^2) + (78 + 7.97P_3 + 0.00482P_3^2) \quad (9)$$

$$KF = 850 - [(P_1 + P_2 + P_3) + (0.00003P_1^2 + 0.00009P_2^2 + 0.00012P_3^2)] \quad (10)$$

$$CF = r * (KF)^2 \quad (11)$$

$$UF = AF + CF \quad (12)$$

Denklem (11)'de r uygun bir katsayı olarak alınmış ve daha uygun sonuç alınabilmesi amacı ile de KF'nin karesi alınmıştır [17]. Yapılan optimizasyon çalışmasında, UF ifadesi AF ve CF eşitliklerinin toplamı olarak alınmıştır. Buna göre UF denklem (12)'de verilmiştir. UF değişkenlerinin alabileceği en büyük değişim aralıkları;

150 < P₁ < 600, 100 < P₂ < 400, 50 < P₃ < 200 olarak alınmıştır.

III.3 Değişkenlerin Kodlanması

GA'da UF değişkenlerinin kodlanması zorunludur. Genel olarak GA'da değişkenlerin kodlanmasında ikili, gerçek, gray gibi farklı kod sistemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada değişkenler, ikili (0,1) kod sistemi ile kodlanmıştır.

Bir değişkene ait gen sayısı denklem (13) ile elde edilmektedir. Burada, $X_{üst}$ ve X_{alt} i'ninci değişkenin üst ve alt sınırlarını, ε ise değişkenin artım aralığını ifade etmektedir [17]. Değişkenlerin kodlanacağı gen sayıları Denklem (13) ile P_1 , P_2 ve P_3 değişkenleri için 9 olarak hesaplanmıştır.

$$2^{\ell} \geq [(X_{üst} - X_{alt}) / \varepsilon] + 1 \quad (13)$$

Tablo 1. Bir bireyin oluşumu

Değişkenler		
P_1	P_2	P_3
1 1 1 0 1 0 1 0 0	0 0 1 1 0 0 1 0 1	1 0 1 0 0 0 1 0 1
Birey		
1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1		

Rastgele kodlanan değişkenler yan yana dizilerek bir bireyi oluşturmaktadır. Tablo 1'de bir bireyin oluşumu örnek olarak verilmiştir. Popülasyonun büyüklüğü ise popülasyon sayısı (PS) ile belirtilmektedir. PS bir jenerasyonda kaç tane arama noktası olacağını belirlemekte ve aşağıda verilen denklem 14 ile ifade edilmektedir.

$$PS = 1.65 * 2^{0.21 * \ell} \quad (14)$$

Burada PS denklem 14 ile 74 olarak belirlenmiştir [18]. Ele alınan problemin GA ile çözümü için rastgele oluşturulan başlangıç popülasyonu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Başlangıç popülasyonu

Birey no	P ₁	P ₂	P ₃
1	100111000	101110101	101011001
2	111011101	111000101	111100111
.	.	.	.
.	.	.	.
74	11100011	100011010	111000011

III.4. GA Operatörleri

GA'da bir sonraki jenerasyon da yeni bir popülasyon oluşturmak için operatörler kullanılmaktadır. Bu çalışmada elitizm ile popülasyon içinde en iyi UF değerine sahip iki tane bireyin bir sonraki popülasyon içinde yer alması sağlanmıştır. Her yeni popülasyonun ilk iki bireyi bir önceki popülasyonun en iyi iki bireyi olmaktadır [19]. Seçim operatörü, yeni bireylerin oluşmasını sağlayan uygun ebeveynlerin (birey çiftlerinin) seçilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada PS = 74 olduğundan seçim ile 36 çift ebeveyn seçilmiş ve seçimde turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre popülasyon içinden istenen sayıda birey rastgele seçilir ve bunlardan UF değeri küçük olan ebeveyn 1 olarak belirlenir, diğerleri ise popülasyona geri gönderilir. Böylece tekrar seçilme şansına sahip olurlar. Benzer şekilde diğer tüm ebeveyn çiftleri belirlenir [20]. Çaprazlama operatörü seçilen bireylerin gen takası ile yeni birey olmaya aday bireylerin oluşturulmasında kullanılır. Bu çalışmada düzenli (uniform) çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde her ebeveyn çifti için bireyin gen sayısına eşit rastgele bir 0,1 dizisi üretilmektedir. Birinci aday birey, dizinin 1 olduğu durumlarda ebeveyn1'i, 0 olduğu durumlarda ise ebeveyn 2 yi kopyalamak sureti ile oluşmaktadır. İkinci aday birey ise, dizinin 0 olduğu durumlarda ebeveyn 1'i, 1 olduğu durumlarda ise ebeveyn 2'yi kopyalamak sureti ile oluşmaktadır [21]. Aday bireylerin rastgele bazı genlerinin değiştirilmesine mutasyon denir. Mutasyondan sonra aday bireyler yeni popülasyonun bireyleri olarak kabul edilmektedirler. Bu çalışmada mutasyon oranı (MO), $\frac{1}{PS} < MO < \frac{1}{\ell}$ ifadesine göre 0,035 olarak hesaplanmıştır [19]. Seçim, çaprazlama ve mutasyon ile yeni bireylerin elde edilmesi Tablo 3 ve 4' de verilmiştir.

Tablo 3. Düzenli (uniform) çaprazlama

Üretilen Dizi	111010100111110001000100011
Ebeveyn1	100111011001100111000111100
Ebeveyn 2	110010001111011001011100011
Aday Birey 1	100010001001101001011100000
Aday Birey 2	110111011111010111000111111

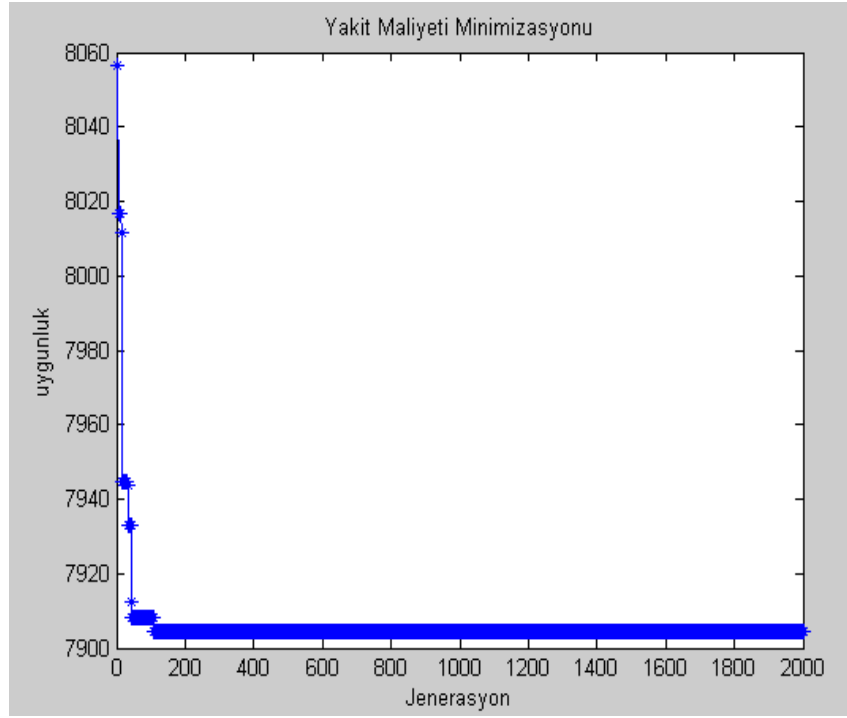
Tablo 4. Mutasyon işlemi

Mutasyondan önce	
Aday Birey 1	100010001001101001011100000
Mutasyondan sonra	
Birey 1	110010001001101001011100001

Yeni popülasyonun tüm bireyleri jenerasyon sayısınca tamamlandıktan sonra UF değerleri hesaplanır. Popülasyon sayısı jenerasyon sayısına eşit olmaktadır. Bu durum her yeni popülasyon için UF değerleri hesaplanacak şekilde sürdürülmektedir. Bu çalışmada jenerasyon sayısı 2000 olarak seçilmiştir. GA programı 20 kez çalıştırıldığında her defasında seçilen jenerasyon sayısının yaklaşık dörtte birinden itibaren optimum çözümün bulunduğu ve artık yeni çözüm bulunamadığı algoritmanın bu çözüm ile neticelendiği gözlenmiştir.

IV. SONUÇLAR

Tüketim merkezinin ihtiyaç duyduğu aktif güç ile iletim hatlarında meydana gelen aktif güç kayıpları termik santraller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda termik santrallerin toplam yakıt maliyetinin en düşük değerde olması amaçlanmaktadır. GA kullanılmasıyla yapılan çözümde saat başına toplam yakıt maliyeti UF ile ifade edilmektedir. Ele alınan örnek modelin GA ile çözümü yapıldığında, UF değerlerinin jenerasyon sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Yaklaşık 250. jenerasyonda en iyi UF değeri elde edilmiş böylece çözüme ulaşılmıştır. Bu nedenle 2000. jenerasyona kadar daha iyi UF bulunamamıştır.



Şekil 2. Ekonomik aktif güç dağıtımının GA ile elde edilmesi

Jenerasyon 1	: f(403.7, 385.3, 79.6) = 8088.097618
Jenerasyon 3	: f(452.9, 306, 107.2) = 7948.786291
Jenerasyon 8	: f(485.5, 293.1, 87.3) = 7931.374321
Jenerasyon 20	: f(566.5, 189.8, 107.2) = 7924.191956
Jenerasyon 64	: f(511.9, 226.2, 126) = 7913.968147
Jenerasyon 153	: f(526, 245.6, 92.8) = 7908.907136
Jenerasyon 174	: f(549, 204.4, 110.8) = 7906.985409
Jenerasyon 182	: f(541.9, 224.9, 97.5) = 7904.682833
Jenerasyon 243	: f(555.1, 218.6, 90.8) = 7904.376297
Jenerasyon 254	: f(549.8, 223.9, 90.9) = 7904.302121
Jenerasyon 289	: f(549.8, 223.9, 90.9) = 7904.302121
Jenerasyon 2000	: f(549.8, 223.9, 90.9) = 7904.302121

Program çalıştırıldığında başlangıçta UF değeri saatte 8080 Dolar civarında olmasına rağmen, GA operatörlerinin kullanılması ile 254. jenerasyonda gerçek çözüm olan saat başına 7904 Dolar değerine ulaşılmıştır. Sistemin en düşük yakıt maliyeti ile çalıştırılması için termik santraller sırası ile 549,8 MW, 223,9 MW ve 90,9 MW aktif güç üretecek şekilde çalıştırılmasının gerektiği hesaplanmıştır. Bu değerlere göre ekonomik aktif güç dağılımı yapıldığında hatlarda toplam 14,6 MW aktif güç kaybı oluşacağı belirlenmiştir.

Ele alınan örnek problem klasik optimizasyon yöntemi olan Lagrange Yöntemi ile de çözülmüş olup çözüm sonucunda elde edilen değerler ile GA Yöntemi ile elde edilen değerler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Hesaplanan ekonomik aktif güç dağıtım değerleri

Lagrange Yöntemi					GA				
P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	F _T (\$/MWh)	P _L (MW)	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	F _T (\$/MWh)	P _L (MW)
435,1	300	130,7	7953	15,8	549,8	223,9	90,9	7904	14,6

Lagrange Yöntemi ile problem çözüldüğünde optimum çözüm için termik santrallerin sırasıyla, 435,1 MW, 300 MW ve 130,7 MW aktif güç değerlerini üretecek şekilde çalıştırılmasının gerektiği hesaplanmıştır. Bu durumda termik santrallerin saat başına toplam yakıt maliyeti 7953 Dolar olacağı belirlenmiştir. GA ile yapılan çözümde, Lagrange Yöntemi ile elde edilen optimum çözümden daha iyi bir çözümün olduğu ortaya çıkmıştır. Termik santrallerin sırası ile 549,8 MW, 223,9 MW ve 90,9 MW aktif güç üretecek şekilde çalıştırılması durumunda saatlik toplam yakıt maliyetinin 7904 Dolar olacağı hesaplanmıştır. GA ile yapılan çözüm dikkate alınıp, sistem bu şekilde çalıştırılır ise aynı iş için saatte 49 dolar, yılda ise 429240 Dolar kazanç sağlanacaktır. Bu sonuç ekonomik güç dağıtım problemlerinde en az yakıt maliyetini veren dağılımın belirlenmesinin önemini göstermiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Asgarpoor, S.K. Panarelli, "Expected cost penalty due to deviation from economic dispatch for interconnected power systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 1, pp. 441-447, February 1995.
- [2] M.P. Walsh, M.J.O. "Malley, Augmented Hopfield network for Unit Commitment and Economic Dispatch", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 4, pp. 1765-1774, November 1997.
- [3] U. Arifoğlu, "*Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*", Alfa Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2002
- [4] B.H. Chowdhury and S. Rahman, "*A review of recent advances in economic dispatch, IEEE Trans. On Power Systems*", Vol. 5, No. 4, pp. 1248-1259, 1990
- [5] A. Kök, T. Yalcinoz, "Açık artırmalı ekonomik yük dağıtım problemi için farklı bir yaklaşım", 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu EVK'2005, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli, pp. 71-75
- [6] C.E. Lin, S.T. Chen, C.L. Huang, "A Direct Newton-Raphson Economic Dispatch", *Trans. On Power Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 1149-1154, 1992
- [7] P. Aravindhababu and K.R. Nayar, "Economic Dispatch Based on Optimal Lambda Using Radial Basis Function Network", *Inter. Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 24, No.7, pp. 551-556, 2002
- [8] A. Merev, "Comparison of the Economic Dispatch Solutions With and Without Transmission Losses", *İstanbul University Engineering Faculty Journal of Electrical & Electronics*, Vol. 2, No. 2, pp. 521-525, 2002
- [9] E.A. Jasmin, T.P. Imthias Ahamed and V.P. Jagathiraj, "A Reinforcement Learning Approach to Economic Dispatch Using Neural Networks", Fifteenth National Power Systems Conference(NPSC), December 2008, Bombay, pp. 84-89
- [10] W. Ahmed and A.F. Sheta, "Optimization of Electric Power Distribution Using Hybrid Simulated Annealing Approach", *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 5, pp. 559-564, 2008

- [11] A. Demirören, L. Zeynelgil, “Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması”, Birsen Yayınevi., İstanbul, Türkiye, 2004.
- [12] O. Kim Jin, D.J. Shin, J.N. Park, C. Singh, “Atavistic genetic algorithm for economic dispatch with valve point effect”, *Electrical Power Systems Research*, Vol. 62, pp. 201-207, 2002.
- [13] S.O. Orero, M.R. Irving, “Economic dispatch of generators with prohibited operation zones: a genetic algorithm approach”, *IEEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 143, No. 6, pp. 529-534, November 1996.
- [14] T. Jayabarathi, G. Sadasivam, V. Ramachandran, “Evolutionary programming based economic dispatch of generators with prohibited operating zones”, *Electric Power Systems Research*, Volume 52, pp:261-266, 1999.
- [15] P. Mazumder, E.M. Rudnick, *Genetic Algorithms for VLSI Design Layout&Test Automation*, Prentice Hall Inc., 1999.
- [16] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, 1989.
- [17] H. Saruhan, İ. Uygur, “Design Optimization of Mechanical Systems Using Genetic Algorithms”, *S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7. Cilt, 2. Sayı, 2003.
- [18] W. Lu, “Optimum Design of Cold-Formed Steel Purlins Using Genetic Algorithms”, PhD Thesis, Helsinki University of Technology of Steel Structures, Helsinki, 2003.
- [19] H. Saruhan, “Genetic Algorithms: an Optimization Technique”, *Tecnology*, Vol. 7 Issue1, 2004.
- [20] M. Mitchell, “Genetic Algorithms: An Overview, An Introduction to Genetic Algorithms”, The MIT Press, Massachusetts, 1997.
- [21] G. Syswerda, “Uniform Drossover in Genetic Algorithms”, 3rd International Conference on Genetic Algorithms, 1989.