

BENZETİLMİŞ TAVLAMALI GENETİK ALGORİTMALAR İLE UZUN DÖNEM ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM GENİŞLETME PLANLAMASI

Mehmet YILDIRIM¹

Kadir ERKAN²

Semra ÖZTÜRK³

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi Enformatik Bölümü, 41300, İzmit, KOCAELİ

³Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41300, İzmit, KOCAELİ

¹e-posta: myildirim@kou.edu.tr

²e-posta: erkan@kou.edu.tr

³e-posta: semra@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Genetik Algoritmalar, Benzetilmiş Tavlama, Elektrik Enerjisi Planlaması

ABSTRACT

Genetic algorithms and simulated annealing are leading methods of search and optimization. By combination of these techniques an algorithm, that has the advantages of both, is produced. This paper proposes an application of genetic algorithms with simulated annealing to the generation expansion planning of electrical energy. The calculation of investment and operation costs used in planning is based on mathematical model of MIP (mixed integer programming). The long term planning horizon is accepted as the years from 2001 to 2020. The planning horizon is divided into four equal periods and results of periods are transferred to following periods. Investment and construction of new plants are realized in mid of periods. Seven types of plants are chosen as a candidate plants to the power system. The genetic algorithms with simulated annealing method for least-cost generation expansion planning determines the types and the number of candidate plants which meet forecasted demand within a prespecified reliability criterion over the planning horizon.

1. GİRİŞ

Üretim genişletme planlaması, uzun dönem planlama ekseninde, hangi üretim birimleri kurulacaktır ve üretim birimleri ne zaman devreye girecektir sorularına cevap arar. Kriter ise, değişik tipte kısıtlamaları göz önünde bulundurarak, toplam maliyeti minimize ederken güvenilirlik koşullarını da yerine getirmektir. Toplam maliyet yatırım ve işletme maliyetlerini içermektedir. Genel olarak, üretim genişletme planlaması belirli basitleştirmeler yapılarak doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, dinamik programlama ve benzeri programlama teknikleri ile çözülebilen bir problemdir.

Üretim genişletme planlaması; büyük boyutlu olması, uzun dönemi kapsamı, doğrusal olmayışı ve üretim ünitesi büyüklüklerinin ayrık yapısı nedeniyle

karmaşık bir problemdir. Bilgisayar teknolojisinin ilerlemeye başlamasından bu yana, geniş boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümü için, halen gelişimini sürdüren uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve benzetilmiş tavlama gibi teknikler sunulmuştur.

Bu tekniklerden bazıları üretim genişletme planlamasında da kullanılmıştır. Iba [1], optimal reaktif güç planlamasını genetik algoritmalarla gerçekleştirmiştir. Genetik algoritmaların, klasik yöntemler gibi yerel minimuma takılmadığını ve tamsayı problemini çözdüğünü belirtmiştir. Fukuyama ve Chiang [2], paralel genetik algoritmalar kullanarak, değişik zaman aralıklarında, sisteme yeni tanıtılan üretim ünitesi sayısını belirlemiştir. Park [3], daha hızlı bir arama sağlamak için, stokastik çaprazlama tekniği ve yapay başlangıç nüfus şeması ile koordineli çalışan, geliştirilmiş genetik algoritma kullanmıştır.

Bu çalışmada, benzetilmiş tavlmalı genetik algoritmalar elektrik enerjisi üretim genişletme planlamasına uygulanmıştır. Genetik algoritmaların yerel minimuma takılmama, ve benzetilmiş tavlamanın daha hassas yakınsama ve genetik çeşitlilik sağlama özelliğinden yararlanılarak optimizasyon yapılmıştır. En düşük maliyetle ve güvenilirlik koşulları yerine getirilerek, hangi tip tesisin ne zaman devreye gireceği ve sayısı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. GENETİK ALGORİTMALAR ve BENZETİLMİŞ TAVLAMA

Genetik Algoritmalar (GA), temelleri genetik bilimine ve bu bilimde yer alan doğal ayıklanma, çaprazlama ve mutasyon kavramlarına dayandırılan optimizasyon teknikleridir. GA çözümler uzayından bir grup aday çözüm (kromozom) olarak bir nüfus oluşturur. Sonra doğada da yer aldığı üzere doğal ayıklanma, çaprazlama ve mutasyon genetik işlemlerini uygulayarak daha iyi ve daha uyumlu kromozomları

bulur. Doğal ayıklanma ile en iyi uyum sağlayan kromozomların gelecek kuşaklara geçmesi kesinleştirilmiş olur. Çaprazlama işlemi ile GA iki ebeveyn kromozomun genlerini birleştirerek iki yeni kromozom oluşturur. Bu yeni kromozomların ortama ebeveynlerinden daha iyi uyum göstermeleri, yani optimum çözüme daha yakın olmaları beklenir. Mutasyon işlemi çözümler uzayında yeni alanların keşfedilmesini yani çeşitliliğin artmasını sağlar. GA'nın iyi çalışmasının sebeplerinden birisi, doğal ayıklanma sayesinde tepeye tırmanma kabiliyeti ile çaprazlama ve mutasyon sonucu daha iyiye gidiş özelliklerinin birleşimini içermesidir [4].

GA geleneksel optimizasyon yöntemlerinden birkaç açıdan farklıdır. Öncelikle GA paralel ve küresel bir arama yöntemi olduğundan aramaya çok sayıda farklı aday çözüm ile başlar ve küresel bir çözüm bulma olasılığı çok daha fazladır. Ayrıca, arama uzayı ile ilgili hiçbir ön bilgisi yoktur. Bu nedenle basittir ve çok farklı problemlere uygulanabilir. Ancak, GA büyük nüfuslar söz konusu olduğunda yavaştır ve ince ayar isteyen çözümlerde iyi sonuç vermeyebilir [5].

Böyle durumlarda, büyük boyutlu optimizasyon problemleri için başka bir yöntem olan benzetilmiş tavlama (BT) kullanılabilir. BT istatistiksel mekanik prensiplerine dayanan sayısal bir optimizasyon tekniğidir [6], [7]. GA'da yer alan akış diyagramı çerçevesinde her yeni nüfus oluşturulduğunda bir

öncekine göre daha iyi kromozomlar üretilmesi beklenen bir sonuçtur. Ancak, genetik algoritmalarda, nüfus içerisindeki kromozomlardan birkaçı çözüme doğru hızlı bir şekilde ilerler. Benzetilmiş tavlama kullanıldığında ise, nüfusun tümü yavaş bir şekilde çözüme doğru ilerler.

GA tarafından üretilen her bir yeni kromozoma BT uygulanabilir. BT yeni üretilen her bir kromozom için rastgele komşu bir kromozom seçer. BT'nin seçtiği kromozomun uygunluk değeri GA'ninkinden daha yüksekse bu yeni kromozom nüfusa eskisinin yerine katılır. Eğer BT'nin seçtiği kromozomun uygunluk değeri daha düşükse o zaman daha ileride kullanılmak üzere denklem-1 ile verilen olasılık dahilinde nüfusa katılabilir. Bu, yeni kromozomun uygunluk değerinin eskisinden düşük olması halinde onun yeni nüfusa katılma olasılığının düşük olmasını sağlar [8].

$$p(i) = \exp \left[- \left(\frac{1}{f^1} - \frac{1}{f} \right) \cdot \log(i) / T_0 \right] \quad (1)$$

GA için en yaygın olarak kullanılan kromozom kodlama biçimleri ikili kodlama ve gerçel sayı kodlamalarıdır. Bu çalışmada, santral sayılarının tamsayı ile ifade edilmesi gerektiği için ikili kodlama kullanılmıştır. Örnek bir nüfus ve kromozom yapısı şekil-1'de verilmektedir. Kromozomlar, her bir ünite tipi ve periyottaki değişkenlerin, yani aday santral sayılarının artarda dizilmesiyle elde edilmektedir.

	ünite tip-1				...	ünite tip-n			
	periyot-1	periyot-2	...	periyot-n		periyot-1	periyot-2	...	periyot-n
kromozom-1	01	10		11		01	01		11
kromozom-2	11	10		01		10	11		01
:									
kromozom-m	11	01		01		11	10		00

kromozom-1: 0110...11...0101...11

Şekil-1: Örnek nüfus ve kromozom yapısı.

3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM GENİŞLETME PLANLAMASININ MATEMATİKSEL MODELİ

Genetik algoritmalar ve benzetilmiş tavlama ile yapılan planlama çalışmasında matematiksel model olarak MIP (mixed integer programming) modeli kullanılmıştır [9]. Bu çalışmada kullanılan amaç fonksiyon ve kısıtlayıcı eşitsizlikler aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$\min Z = \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V C_{jv} \cdot x_{jv} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V f_{jtv} \cdot y_{jtv} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{v=0}^T a_{jv} x_{jv} \geq P_t (1+m) \quad t=1...T \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{v=0}^T y_{jv} \geq P_t \quad t=1...T \quad (4)$$

$$\sum_{v=1}^T x_{jv} \leq x_{jmax} \quad (5)$$

Burada; j ünite tiplerini, t zaman periyotlarını ve v periyotların orta yıllarını göstermek üzere, C_{jv} j. ünitenin birim kuruluş maliyeti, x_{jv} j. ünitenin

kapasitesi, f_{jv} t periyodu için j. ünitenin birim işletme maliyeti, y_{jv} t periyodu için j. ünitenin güç değeri, a_{jv} j. ünitenin v yılındaki kullanılabilirlik katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

Toplam kullanılabilir kapasitesinin üst sınır değerinin, belli bir güvenlik payı ile P_t tepe gücünü karşılayabilmesi kısıtı denklem-3'de verilmektedir. Belirli bir dönemde, işletmede bulunan birimlerin toplam güç üretimlerinin, o döneme ait güç talebini karşılamaya yeterli olmasını sağlayan kısıt denklem-4'te verilmektedir. Denklem-5'te ise, her bir j tipi tesise ilişkin kurulabilecek kapasite üst sınırının aşılması kısıtı yer almaktadır.

3.1. Kuruluş Maliyeti

C_{j0} planlama döneminin ilk yılı için j tipi tesise ait birim kuruluş maliyetini göstermek üzere, v yıl sonra kurulan aynı tip bir tesisin birim kuruluş maliyeti aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$C_{jv} = C_{j0} [(1 - e_c)(1 + i)]^{-\mu} \cdot r_{jv} \cdot \xi_j \quad (6)$$

Burada: μ tesisin planlandığı tarih ile kurulduğu tarih arasındaki yıl sayısı, e_c j tipi tesise ait yatırım maliyeti eskelyasyon oranı, i faiz oranı, ξ_j j tipi tesisin yaratacağı çevre sorunlarına ilişkin ek masrafların maliyeti etkileme oranı, r_{jv} v yılında kurulan bir tesise yapılan yatırımın amortize edilebilmesi için geri ödenmesi gereken miktarın toplam sermaye içindeki oranıdır.

r_{jv} faktörü santrallerin ekonomik ömürleri dikkate alınarak belirlenmektedir. t_1 periyodunun v_1 yılında kurulan bir tesisin, ekonomik ömrü içerisinde amorti edilmesini sağlayabilmek amacıyla t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 periyotlarına ait geri ödeme oranları denklem-7 ve 8 ile hesaplanmaktadır.

t_1 periyodun v_1 yılında kurulan tesisin t_1 periyoda ait geri ödeme oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$(r_{jv1})_{1,1} = \frac{L_j + (L_j - 1) + (L_j - 2) + \dots + [L_j - (t_1 - v_1 - 1)]}{L_j(L_j + 1)/2} \quad (7)$$

t_1 periyodun v_1 yılında kurulan tesisin t_2 , t_3 , ve t_4 periyotlarına ait geri ödeme oranları ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$(r_{jv1})_{1,t} = \frac{1}{L_j(L_j + 1)/2} \cdot \sum_{k=1}^{t_1} [L_j - (t - 1)l_t - v_1 + k] \quad (8)$$

Burada; L_j j tipi santralin ekonomik ömrünü, l_t t periyodunun yıl olarak uzunluğunu, t periyot indisini ve k periyot içerisindeki yılları göstermektedir.

3.2. İşletme Maliyeti

f_{j0} planlamanın ilk yılında işletmede olan j tipi bir tesisin birim işletme maliyetini göstermek üzere,

herhangi bir v yılında işletmeye girecek j tipi bir tesisin yıllık birim işletme maliyeti aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$f_{jv} = f_{j0} [(1 - e_{jf})(1 + i)]^{-\mu} \quad (9)$$

Burada: μ tesisin planlandığı tarih ile işletmeye giriş tarihi arasındaki yıl sayısı, e_{jf} j tipi tesise ait işletme maliyeti eskelyasyon oranı, i faiz oranıdır. Belli bir t periyodu için birim işletme maliyeti ise aşağıdaki eşitlikle bulunmektedir.

$$f_{jtv} = f_{jv} \cdot l_t \quad (10)$$

Burada, l_t periyodun yıl olarak uzunluğunu göstermektedir.

3.3. Kullanılabilir Katsayısı

Bu katsayının yıllara göre değişim oranı % 0.7 kabul edilerek herhangi bir j tipi tesisin v yılına ilişkin kullanılabilir katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$a_{jv} = a_{j0} (1 + 0.007)^n \quad (11)$$

Burada; a_{j0} j tipi tesisin işletmeye giriş yılına ait kullanılabilir katsayısını, n ise tesisin işletmede bulunduğu yılların sayısını göstermektedir.

4. PLANLAMA ÇALIŞMASI

Benzetilmiş tavlama algoritmaları ile elektrik enerjisi üretim genişletme planlaması için yapılan çalışmada, planlama dönemi olarak 2001 ile 2020 yılları arası alınmıştır. Bu planlama dönemi dört periyoda bölünmüştür; 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015 ve 2016-2020. Yatırımlar ve ünite kurulumları, her bir periyodun orta yılları olan 2003, 2008, 2013 ve 2018 yılları esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Periyotlar arasında para akışına olanak sağlanmıştır. Bütün maliyetler dolar bazında hesaplanmış ve planlama dönemi boyunca sabit kabul edilmiştir. Aday üniteler için ortalama yıllık teorik çalışma saati 6500 saat, faiz oranı olarak %8 alınmıştır [10], [11]. Tek bir kaynağa bağlı üretim sisteminden kaçınmak için bütün aday santral tiplerine %35 kapasite sınırlaması getirilmiştir. Yerli rezervlerimiz için, linyitte 105, taş kömüründe 16, ve hidrolikte 125 milyar kWh/yıl üretim kapasitesi üst sınırı konulmuştur [12].

Denklem-7, ve 8'e göre hesaplanan geri ödeme oranları tablo-1'de verilmektedir. Geri ödeme oranlarının da hesaplama dahil edildiği ve denklem-6 ile elde edilen birim kuruluş maliyetleri tablo-2'de yer almaktadır. Denklem-9 ile hesaplanan birim işletme maliyetleri tablo-3'de verilmektedir. Denklem-11 ile hesaplanan kullanılabilir katsayıları tablo-4'de verilmektedir.

Tablo-1: r_{jv} geri ödeme oranları

J	Ömür	(rj3)1,1	(rj3)1,2	(rj3)1,3	(rj3)1,4
Linyit	40	0.142	0.213	0.182	0.152
Taş K.	40	0.142	0.213	0.182	0.152
D.Gaz	30	0.187	0.268	0.215	0.161
Fuel-oil	40	0.142	0.213	0.182	0.152
İthal K.	40	0.142	0.213	0.182	0.152
Nükleer	40	0.142	0.213	0.182	0.152
Hidrolik	50	0.115	0.176	0.156	0.137

Tablo-2: C_{jv} birim kuruluş maliyetleri (\$/kW)

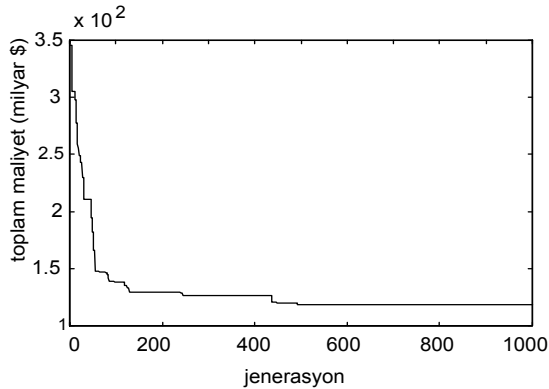
J	Cj0	Cj3	Cj8	Cj13	Cj18
Linyit	1125	155.7	177.7	200.3	223.2
Taş K.	1084	150.1	171.2	193.0	215.1
D.Gaz	500	83.5	85.3	88.2	91.2
Fuel-oil	1280	181.0	215.7	252.4	290.4
İthal K.	1100	152.3	173.7	195.9	218.2
Nükleer	2000	0	0	0	0
Hidrolik	1350	133.4	114.4	102.9	96.5

Tablo-3: f_{jv} birim işletme maliyetleri (\$/kW.yıl)

J	fj0	fj3	fj8	fj13	fj18
Linyit	335.4	325.4	301.8	279.9	259.5
Taş K.	403.8	391.8	363.3	336.9	312.5
D.Gaz	273.5	244.2	183.8	138.4	104.2
Fuel-oil	357.8	354.7	347.0	339.4	332.1
İthal K.	321.9	312.3	289.6	268.6	249.1
Nükleer	657.0	680.2	741.8	809.1	882.4
Hidrolik	4.4	3.8	2.6	1.7	1.2

Tablo-4: a_{jv} kullanılabilirlik katsayıları

J	aj3	aj8	aj13	aj18
Linyit	0.900	0.875	0.851	0.827
Taş K.	0.900	0.875	0.851	0.827
D.Gaz	0.900	0.875	0.851	0.827
Fuel-oil	0.870	0.846	0.822	0.800
İthal K.	0.900	0.875	0.851	0.827
Nükleer	0.850	0.826	0.803	0.781
Hidrolik	0.980	0.953	0.926	0.901



Şekil-2: Kuşak-Toplam maliyet değişimi

Benzetilmiş tavlmalı genetik algoritma ile yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen kuşak-toplam maliyet değişimi şekil-2'de verilmektedir. Planlama sonuçlarına göre, sisteme yeni eklenmesi gereken ünite tip ve sayıları tablo-5'de, bu ünitelerin kapasiteleri tablo-6'da, periyotların kurulu güçlerinin 2000 yılı mevcut kurulu gücüne eklenmesiyle oluşan 2000-2020 arası kurulu güç gelişimi tablo-7'de verilmektedir.

Tablo-5: Sisteme yeni eklenen ünite sayıları

	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
Linyit	3	11	8	11
Taş K.	3	1	5	11
D.Gaz	3	6	5	8
Fuel-oil	1	7	14	5
İthal K.	1	1	7	7
Nükleer	0	0	0	0
Hidrolik	5	9	11	11

Tablo-6: Sisteme yeni eklenen kapasiteler (MW)

	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
Linyit	1050	3850	2800	3850
Taş K.	900	300	1500	3300
D.Gaz	2100	4200	3500	5600
Fuel-oil	150	1050	2100	750
İthal K.	500	500	3500	3500
Nükleer	0	0	0	0
Hidrolik	2500	4500	5500	5500
Toplam	7200	14400	18900	22500

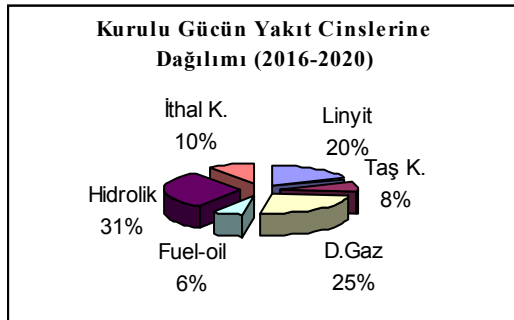
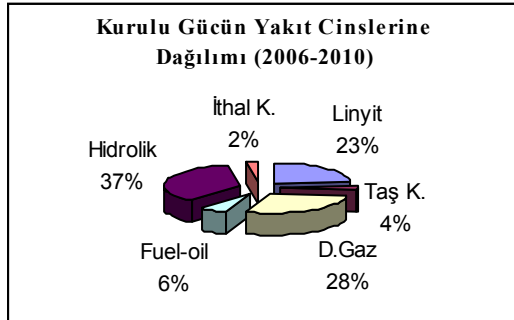
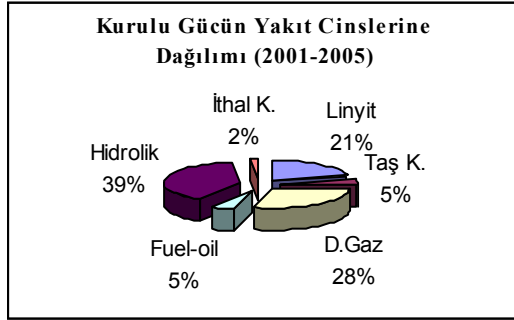
Tablo-7: 2000-2020 arası kurulu güç gelişimi (MW)

	2000	2001-5	2006-10	2011-15	2016-20
Linyit	6.410	7.868	13.216	17.104	22.452
Taş K.	555	1.805	2.222	4.305	8.888
D.Gaz	7.553	10.470	16.303	21.164	28.942
Fuel-oil	1.636	1.844	3.303	6.219	7.261
İthal K.	0	694	1.389	6.250	11.111
Nükleer	0	0	0	0	0
Hidrolik	11.246	14.718	20.968	28.607	36.246
Toplam	27.400	37.399	57.401	83.649	114.900

Planlama çalışmasında kullanılan ve periyotların orta yıllarına denk düşen 2001-2020 arası puant güç ve enerji talebi ile birlikte, planlama sonucunda sisteme yeni eklenen ünitelerin üretebilecekleri puant güç, kurulu güç, yedek kapasite yüzdesi ve üretilen enerji değerleri tablo-8'de verilmektedir. Planlanan puant güç, talep gücü karşılayabilmekte ve planlama ile %40 ile %51 arasında değişen güç yedeği sağlanmaktadır. Beşer yıllık her bir periyotta, kurulu güçlerin yakıt cinslerine göre dağılımlarının yüzde değerleri şekil-3'de verilmektedir.

Tablo-8: Periyotların orta yıllarındaki talep ve planlama değerleri

	2003	2008	2013	2018
Puant Talep (MW)	26.240	39.605	55.771	75.950
Plan. Puant (MW)	26.675	39.780	56.623	76.283
Kurulu Güç (MW)	37.399	57.401	83.649	114.900
Yedek (%)	40	44	48	51
Enerji Talep (GWh)	165.200	250.565	356.320	489.430
Plan.Enerji (GWh)	175.032	268.632	391.482	537.732



Şekil-3: Her bir periyot için, kurulu gücün yakıt cinslerine göre dağılım yüzdeleri

5. SONUÇLAR

Benzetilmiş tavlama genetik algoritmalar ile en düşük maliyetli Türkiye elektrik enerjisi üretim genişletme planlaması yapılmıştır. 2001-2020 yılları arası uzun dönem planlaması dört periyotta incelenmiştir. Yatırımlar ve ünite kurulumları periyotların orta yıllarında yapılmıştır. Planlamada temel veriler olarak; plan dönemi puant güç ve enerji talepleri ile, yedi değişik tip ünitenin kurulum maliyetleri, işletme maliyetleri, ekonomik ömürleri ve

kullanılabilirlik katsayılarından yararlanılmıştır. Planlamada tek tip kaynağa dayalı üretimden kaçınılmış ve belirli oranlarda yedeklilik sağlanmıştır. Plan dönemi içerisinde güç ve enerji talebini karşılayabilmek için gerek duyulan ünite tipleri, sayıları ve zamanlaması en düşük maliyetle belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Iba, K., Reactive Power Optimization by Genetic Algorithm, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 2, pp. 685-692, 1994.
- [2] Fukuyama, Y., Chiang, H., A Parallel Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 955-961, 1996.
- [3] Park, J.B., Park, Y.M., Won, J., Lee, K.Y., An Improved Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 15, No. 3, pp. 916-922, 2000.
- [4] Louis, S.J., Rawlins, G.J.E., Syntactic Analysis of Convergence in Genetic Algorithms, Foundations of Genetic Algorithms 2., Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, California, pp. 141-151, 1993.
- [5] Jeong, I., Lee, J., Performance Based Linear Control System Design By Genetic Evolution With Simulated Annealing, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.9, No.5, pp.523-532, 1996.
- [6] Erkan, K., Bütün, E., Reactor Controller Design Using Genetic Algorithms with Simulated Annealing, Fuzzy Systems and Soft Computing in Nuclear Engineering, Physica-Verlag, Vol.38, pp. 351-363, New York, 2000.
- [7] Erkan, K., Yıldırım, M., Nonlinear System Modelling with Fuzzy Neural Network Using Genetic Algorithms with Simulated Annealing, ELECO'99, Int. Conf. on Electrical & Electronics Eng., Bursa, 1-5 Dec. 1999.
- [8] Tan, K.C., Li, Y., Murray-Smith, D.J., Sharman, K.C., System Identification and Linearisation Using Genetic Algorithms with Simulated Annealing, Proceedings of First IEE/IEEE Int.Conf. on GA, Eng.Syst; Innovations and Applications, Sheffield, U.K., pp. 164-169, 1995.
- [9] Öztürk, S., Elektrik Üretim Sistemlerinin Optimal Planlamasında Yeni Bir Modelleme ve Çözüm, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, F.B.E., 1989.
- [10] D.P.T Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2001.
- [11] Ugur, F., Bayrak, Y., Decades Modeli ve Ülkemizdeki Uygulanması, Türkiye 8. Enerji Kongresi, Cilt.1, pp. 55-72, Ankara., 2000.
- [12] Türkoğlu, G., Elektrik Sektörüne Genel Bir Bakış, II. Enerji Sempozyumu, Ankara, 22-24 Kasım 1999.