

Tek Bölgele Elektrik Güç Sistemlerinde Ekonomik Yük Dağıtımını için Yeni Bir λ (Lambda) Hesaplama Algoritması

Nurettin Çetinkaya*

İsmet Erkmen**

Abdullah Ürkmez*

*Selçuk Üniv. Müh.-Mim.Fak. Elk.-Elt.Müh. Bölümü Kampüs, Konya.

** ODTÜ Elk.-Elt. Müh. Bölümü, Ankara.

Özet : Bu yayında matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım, elektrik güç sistemlerinde güvenli ve ekonomik bir yük dağıtımını problemini çözmek için uygulanmıştır. Elektrik güç sistemlerinde genel olarak bir yük dağıtımını problemi, çok sayıda sınır şartları bulunan karmaşık bir problemdir. Bu sınır şartlarından bazıları; generatörlerin max. ve min. üretim limitleri, generatörlerin zamana bağlı olarak yüklenebilme oranları ve bağlantı hatlarının yüklenebilme oranlarıdır. Bu incelemede generatörlerin tamamının termal yapıda olduğu varsayılmış ve örnek bir elektrik güç sistemi için verilen maliyet katsayıları (a,b,c) kullanılmıştır. Önerilen yeni algoritmanın amacı, en doğru sonuçlara daha kısa sürede ulaşmaktır ve farklı yapıdaki problemlere çözüm getirebilmektir. Bunun için iki farklı örnek sunulmuş ve sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

Anahtar kelimeler : Elektrik güç sistemleri, ekonomik yük dağıtımını, bilgisayarla programlama.

1. Giriş:

Günümüzde elektrikle çalışan gereçlerin hızla artması ve bu gereçlerin daha güvenli ve daha kaliteli elektrik enerjisi ile beslenmesi modern güç sistemi kontrolünün temelini oluşturmaktadır. Elektrik güç sistemlerinin kontrolünün de temelinde değişik sınır şartlarını içeren yük dağıtımını probleminin çözülmesi yer almaktadır. Yük dağıtımını problemi, yük tahmini ve yük akışı bilgilerini de içine alarak çözülmüşse geniş ve karmaşık bir yapıya sahip olur [1].

Optimal yük dağıtımının ana yapısını üretim ve iletim maliyetinin en aza indirilmesi oluşturur [2]. Genel maliyet fonksiyonu; yakıt maliyetleri, boş çalışma maliyetleri ve başlangıç maliyetlerinin bir araya getirilmesiyle elde edilir [3].

Bugüne kadar yük dağıtımını problemi birçok farklı yolla çözülmeye çalışılmış ve bu probleme kademe kademe sınır şartları ilave edilmiştir. Matematiksel hesaplama yöntemleri dışında özellikle son zamanlarda çok sayıda neural network ve genetik algoritma uygulamaları yük dağıtımını probleminin çözümü için kullanılmışlardır. Bunların arasında en çok kullanılanlarından biri Hopfield neural networkdur [4]. Çözülen problemler, genellikle en çok kullanılan yöntemlerden biri olan λ iterasyonu ile karşılaştırılmaktadır [5].

Genetik algoritma ile birçok optimizasyon probleminin çözülmesi oldukça uygundur. Ama elde edilen sonuçlar hala mükemmel değildir. Bazen problem çözümleri uzun süreler almakta bazen de elde edilen sonuçlar istenildiği gibi iyi olmamaktadır [6, 7]. Genetik algoritma uygulamalarının bazılarında toplam maliyet fonksiyonu bir bütün olarak ele alınmış ve bölümler halinde ikinci dereceden maliyet fonksiyonları tanımlanarak çözüm yoluna gidilmiştir [8].

Generatörlerin maliyet fonksiyonları belli aralıklarda doğrusal duruma da getirilebilir [9]. Generatörlerin ne kadar sürede ne kadar yüklenebildikleri de ekonomik yük dağıtımını probleminin sınır şartı olarak eklenmelidir. Aksi takdirde gerçekçi bir çözüm olmaz [10].

2. Semboller, kısaltmalar:

P_i	: i. grubun çıkış gücü [MW]
P_{imin}	: i. grubun üretebileceği min güç [MW]
P_{imax}	: i. grubun üretebileceği max güç [MW]
P_L	: Hat kayıpları [MW]
P_D	: Yük Talebi [MW]
P_T	: Toplam üretilen güç [MW]
F_i	: i. grubun ürettiği gücün maliyeti [\$]
F_T	: Toplam maliyet [\$]
a_i	: Maliyet eğrisi katsayısı [\$/MW ²]
b_i	: Maliyet eğrisi katsayısı [\$/MW]
c_i	: Maliyet eğrisi katsayısı [\$]
λ	: Lambda [\$/MW]
λ_n	: n adet üretim grubu olan sistem için ortak λ
$C_{T\lambda i}$	: λ iterasyonu ile hesap süresi [ms]
$C_{T\lambda h}$	: λ hesaplama yöntemi ile hesap süresi [ms]

3. Problem Formülasyonu:

Genel olarak bir elektrik güç sisteminde yük dengesi aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_L = P_D$$

Üretim yapan termal grupların \$/h cinsinden maliyet fonksiyonları da aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$F_i = c_i + b_i P_i + a_i P_i^2$$

$$F_T = F_1 + F_2 + \dots + F_K = \sum_{i=1}^n F_i$$

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

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots + P_K = \sum_{i=1}^n P_i$$

Buna göre elektrik üretimine katılan termal grupların ürettikleri enerjinin toplam maliyeti:

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_i)$$

şeklinde verilebilir.

Ekonomik yük dağıtım problemi her bir üretim grubunun güç kapasitesi ile sınırlandırılmalıdır:

$$P_{i\min} \leq P_i \leq P_{i\max}$$

4. Yük Dağıtım Algoritması:

- 1- Elektrik sistemine enerji verecek olan grupların özelliklerini (maliyet katsayıları, max., min. üretim sınırları) tanımla.
- 2- Bütün generatörlerin birlikte üretebilecekleri max. ve min. gücü hesapla.
- 3- ± 1 MW toleransla toplam yüke ulaşıncaya kadar λ 'yı hesapla.
- 4- Toplam yük ve kayıpların toplamı, üretilebilecek max. gücü aşıyorsa yük atma programına geç.
- 5- Toplam güç için hesaplanan λ değerinde tüm grupların sisteme verdikleri güçleri o grubun kendi min. ve max. değeriyle karşılaştır.
 - a - Gruplara ait bulunan güç değerleri max. ve min. sınırlar içinde kalıyorsa değerleri yaz, bitir.
 - b - Bulunan grup gücü max değerden büyükse max. değeri al.
 - c - Bulunan grup gücü min. değerden küçükse min. değeri al. İşlemin bu basamağında yük tahmininden faydalanılarak bir sonraki toplam yük değerine göre eğer talep gücü artıyorsa min. değerde grup çalıştırılabilir. Eğer talep gücü azalıyorsa grup tamamen devreden çıkarılabilir.
- 6- Güçleri belirlenen grupları hesaplamadan çıkar ve yeni talep gücünü belirle.
- 7- Yeni talep gücüne göre geri kalan gruplar için tekrar λ 'yı hesapla. 5'e git.

5. λ (Lambda) İterasyon Algoritması:

Sistemde bulunan generatörlerin tümünün b maliyet katsayılarından küçük olmamak şartıyla ($\lambda > b$) bir λ seçilir. Bu λ 'ya karşılık gelen P_i 'ler ve P_T hesaplanır. (Bulunan P_T değeri P_D değerinden büyükse hangi gruplarda güç azaltılmaya gidileceği b katsayılarına bakılarak kararlaştırılır.)

Bulunan P_T değeri P_D değerinden küçükse ve $P_{i\max}$ değerini aşan gruplar bulunuyorsa bu gruplar için $P_i = P_{i\max}$ alınır. Seçilen λ değeri 0,1 arttırılarak güç

hesaplamaya devam edilir. P_T değeri P_D 'ye ± 1 MW yaklaşıyorsa işlem sona erdirilir, yaklaşıyorsa $P_T > P_D$ iken λ değeri 0,01 azaltılarak P_i güçlerinin hesaplanmasına devam edilir.

Bulunan P_T değeri P_D değerinden büyükse ve $P_{i\min}$ değerinin altında olan gruplar bulunuyorsa bu gruplar için $P_i = P_{i\min}$ alınır. λ değeri 0,1 azaltılarak güç hesaplamaya devam edilir. P_T değeri P_D 'ye ± 1 MW yaklaşıyorsa işlem sona erdirilir, yaklaşıyorsa $P_T < P_D$ iken λ değeri 0,01 arttırılarak P_i güçlerinin hesaplanmasına devam edilir.

Diğer gruplar için λ hesaplanır.

6. Direkt λ (Lambda) Hesaplanması:

Lambdayı iterasyona gerek kalmadan hesap edebilmek problem çözümünde zaman kazandırabilecek bir unsurdur. Bunun için aşağıdaki yol takip edilmiştir:

$$\frac{dF_i}{dP_i} = 2a_i P_i + b_i = \lambda$$

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2a_i}$$

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda - b_i}{2a_i}$$

Buradan λ ile P_T arasındaki bağıntı düzenlenirse;

$$\lambda_3 = \frac{2a_1a_2a_3P_T + (b_1a_2a_3 + a_1b_2a_3 + a_1a_2b_3)}{(a_2a_3 + a_1a_3 + a_1a_2)}$$

olarak üç adet üretim grubu olan bir sistem için lambda ile toplam yük arasında bir bağıntı elde edilmiş olur. Bu formül sayesinde herhangi bir P_T değeri için λ direk hesaplanabilmektedir. Üretim gruplarının sayısının artmasıyla formül de kolaylıkla genişletilebilir. Dört gruplu ve n gruplu sistemler için λ ile P_T arasındaki denklemler aşağıya çıkarılmıştır:

$$\lambda_4 = \frac{2a_1a_2a_3a_4P_T + (b_1a_2a_3a_4 + a_1b_2a_3a_4 + a_1a_2b_3a_4 + a_1a_2a_3b_4)}{(a_2a_3a_4 + a_1a_3a_4 + a_1a_2a_4 + a_1a_2a_3)}$$

$$\lambda_n = \frac{2P_T \prod_{i=1}^n a_i + \prod_{i=1}^n a_i \left(\frac{b_1}{a_1} + \frac{b_2}{a_2} + \frac{b_3}{a_3} + \frac{b_4}{a_4} + \dots + \frac{b_n}{a_n} \right)}{\prod_{i=1}^n a_i \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \dots + \frac{1}{a_n} \right)}$$

$$\lambda_n = \frac{2P_T + \left(\frac{b_1}{a_1} + \frac{b_2}{a_2} + \frac{b_3}{a_3} + \frac{b_4}{a_4} + \dots + \frac{b_n}{a_n} \right)}{\left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \dots + \frac{1}{a_n} \right)}$$

$$\lambda_n = \frac{2P_T + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{a_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a_i}}$$

7. Test Sistemleri ve Çalışma Sonuçları:

Örnek-1’de 13 ve Örnek-2’de 6 adet termik üretim grubundan oluşan tek bölgeli iki farklı test sistemi yük dağıtım algoritmasının çözülmesi için kullanılmıştır. Test sistemlerinin karakteristik bilgileri ve elde edilen çalışma sonuçları tablolarda verilmiştir.

7.1. Örnek-1 Test Sistemi Bilgileri:

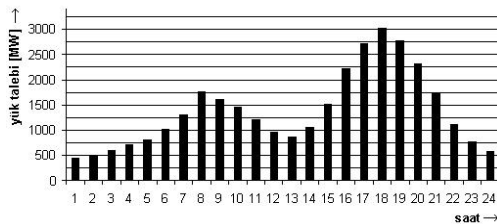
Tablo-1: Üretim gruplarına ait karakteristik değerler

Grup	P_{imin}	P_{imax}	a	b	c
1	80	650	0,00028	8,1	550
2	50	500	0,00056	8,1	309
3	50	500	0,00056	8,1	307
4	50	300	0,00324	7,74	240
5	50	300	0,00324	7,74	240
6	30	250	0,00324	7,74	240
7	30	250	0,00324	7,74	240
8	20	150	0,00324	7,74	240
9	20	150	0,00324	7,74	240
10	10	100	0,00284	8,6	126
11	10	100	0,00284	8,6	126
12	10	75	0,00284	8,6	126
13	10	75	0,00284	8,6	126

Hesaplamalarda kullanılan test sistemine ait örnek bir günlük yük eğrisi değerleri sayısal olarak Tablo-2’de ve grafik olarak Şekil-1’de verilmiştir. (*) işaretli değerler örnek hesaplamada kullanılmıştır.

Tablo-2: Günlük yük talebi eğrisi değerleri

Saat	P[MW]	Saat	P[MW]
*1	450	13	850
2	500	14	1050
3	600	*15	1500
4	700	16	2200
5	800	17	2700
*6	1000	*18	3000
7	1300	*19	2750
*8	1750	*20	2300
9	1600	21	1700
10	1450	22	1100
*11	1200	23	750
12	950	24	550



Şekil-1 Örnek olarak alınan günlük yük talebi eğrisi

Örnek-1 için çalışma sonuçları:

Tablo-3: Saat 1, 6, 8, 11 durumları için çalışma sonuçları

Grup/h	1	6	8	11
1	80	249,1	546,7	328,5
2	50	124,5	273,3	164,2
3	50	124,5	273,3	164,2
4	50	77	102,8	83,9
5	50	77	102,8	83,9
6	32,7	77	102,8	83,9
7	32,7	77	102,8	83,9
8	32,7	77	102,8	83,9
9	32,7	77	102,8	83,9
10	10	10	10	10
11	10	10	10	10
12	10	10	10	10
13	10	10	10	10
P_T	450,8	1000,1	1750,1	1200,3
F_{Ti}	6734	11215	17457	12869
F_{Th}	6727	11214	17456	12867
$C_{T\lambda i}$	27	15	11	21
$C_{T\lambda h}$	4	2	2	2

Tablo-4: Saat 15, 18, 19, 20 durumları için çalışma sonuçları

Grup/h	15	18	19	20
1	447,6	650	650	650
2	223,8	500	500	420,5
3	223,8	500	500	420,5
4	94,2	193,4	164,2	128,2
5	94,2	193,4	164,2	128,2
6	94,2	193,4	164,2	128,2
7	94,2	193,4	164,2	128,2
8	94,2	150	150	128,2
9	94,2	150	150	128,2
10	10	69,2	35,9	10
11	10	69,2	35,9	10
12	10	69,2	35,9	10
13	10	69,2	35,9	10
P_T	1500,4	3000,4	2750,4	2300,2
F_{Ti}	15365	28248	26023	22121
F_{Th}	15362	28244	26020	22119
$C_{T\lambda i}$	23	49	29	20
$C_{T\lambda h}$	2	3	3	3

7.2. Örnek-2 Test Sistemi Bilgileri:

Toplam talep gücü 1680, 1766, 1850 ve 2000 MW için aşağıda özellikleri verilen 6 adet üretim grubu arasında yük dağıtım λ iterasyonu ve λ hesaplama yöntemleri ile çözülerek sonuçları tablo halinde verilmiştir.

Tablo-5: Üretim gruplarına ait karakteristik değerler

Grup	P_{imin}	P_{imax}	a	b	c
1	150	600	0,001562	7,92	561
2	100	400	0,00194	7,85	310
3	50	200	0,00482	7,97	78
4	100	500	0,00269	5,27	102
5	40	350	0,00172	9,90	51
6	100	280	0,00693	8,26	178

Tablo-6: λ iterasyonu ile elde edilen çalışma sonuçları

Grup/d	1	2	3	4
1	487,8	552,5	600	600
2	400	400	400	400
3	152,9	173,9	195,53	200
4	500	500	500	500
5	40	40	40	146,2
6	100	100	115,07	154,6
P_T	1680,7	1766,4	1850,6	2000,8
F_T	14898,3	15719,2	16535,8	18065,8
$C_{T\lambda i}$	26	26	21	30

Tablo-7: λ hesaplama ile elde edilen çalışma sonuçları

Grup/d	1	2	3	4
1	487,3	552,23	600	600
2	400	400	400	400
3	152,7	173,77	200	200
4	500	500	500	500
5	40	40	40	145,55
6	100	100	110	154,45
P_T	1680	1766	1850	2000
F_T	14891,6	15712,4	16529,9	18057,4
$C_{T\lambda h}$	3	2	4	4

8. Sonuç:

Bu yayında ekonomik yük dağıtım problemini çözmek için yeni bir λ iterasyon algoritması ve direk λ hesaplama yöntemi verilmiştir. Bu algoritmalar sayesinde hızlı bir şekilde güvenli olarak sonuçların elde edildiği örnek çözümlerden de görülmektedir.

Önerilen yük dağıtım algoritmasında, daha ilk basamaktan itibaren bulunan güçlerin uygunluğu kontrol edildiği için, gücü belirlenen gruplar problemten ayrılarak problem hacmi küçültülmektedir. Bu sayede problemin çözüm süresi oldukça kısalmaktadır.

Sınır şartları olarak generatörlerin max ve min üretim değerleri ve toplam yük talebi göz önüne alınmıştır. Problemi etkileyen bunun dışındaki diğer sınır şartları da (generatörlerin belli sürede üzerlerine alabilecekleri veya bırakabilecekleri yük miktarı,

hatların yüklenebilme kapasiteleri, vb.) yük dağıtım algoritmasına kolay bir şekilde eklenebilirler.

İki farklı örnek üzerinde elde edilen sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Test sonuçları, termik üretim gruplarından oluşan bir elektrik güç sistemi için önerilen metodların, çözüm süreleri ve maliyetler açısından uygun olduğunu göstermektedir.

9. Kaynaklar:

- [1] 15th Triennial World Congress Barcelona Spain, 2002 IFAC, Solving an economic dispatch problem with transmission system representation by a modified Hopfield network, Leonardo Nepomuceno, Ivan Nunes da Silva, Thiago Masson Bastos; Department of Electrical Engineering, State University of São Paulo, Brazil; p: 6.
- [2] IEEE Transactions on Power Systems, Vol:10, No:1, February 1995, Expected Cost Penalty Due to Deviation from Economic Dispatch for Interconnected Power Systems, Sohrab Asgarpour, Stephen K. Panarelli, Department of Electrical Engineering University of Nebraska, Lincoln, pp: 441-447.
- [3] IEEE Transactions on Power Systems, Vol:12, No:4, November 1997, Augmented Hopfield network for Unit Commitment and Economic Dispatch, M.P. Walsh, M.J.O.'Malley, Department of Electronic and Electrical Engineering University College Dublin, pp: 1765-1774.
- [4] IEEE Transactions on Power Systems, Vol:15, No:2, May 2000, New Approach with a Hopfield Modeling Framework to Economic Dispatch, Ching-Tzong Su, Chien-Tung Lin, Institute of Electrical Engineering National Chung Cheng University Taiwan, pp: 541-545.
- [5] Elsevier Electric Power Systems Research 24, 2002, Economic dispatch based on optimal lambda using radial basis function network, P. Aravindhababu K.R. Nayar; Department of Electrical Engineering, Annamalai University, India; pp: 551-556.
- [6] IEEE Transactions on Power Systems, Vol:10, No:1, February 1995, Refined Genetic Algorithm - Economic Dispatch Example, Gerald B. Sheble, Kristin Britting, Iowa State University Ames, pp: 117-123.
- [7] Expert Systems with Applications 19, 2000, Fast and accurate power dispatch using a relaxed genetic algorithm and a local gradient technique, F. Li, R.K. Aggarwal; Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Bath, UK.; pp: 159-165.
- [8] Elsevier Electric Power Systems Research 25, 2003, Economic dispatch solutions with piecewise quadratic cost functions using improved genetic algorithm, Jong-Ryul Won, Young-Moon Park; Department of Electrical and Electronic Engineering Anyang University, South Korea; pp: 355-361.
- [9] Elsevier Electric Power Systems Research 43, 1997, Dynamic load dispatch with voltage security and environmental constraints, Y.H. Song, In-Keun Yu; Department of Electrical Engineering and Electronics, Brunel University, Uxbridge, UK.; pp: 53-60.
- [10] IEEE Transactions on Power Systems, Vol:16, No:1, February 2001, Dynamic Economic Dispatch: Feasible and Optimal Solutions, X.S. Han, H.B. Gooi, Daniel S. Kirschen; Nanyang Technological University Singapore, pp: 22-28.