

EKONOMİK YÜK DAĞITIMI İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA VE HESAPLAMA YÖNTEMİ

Nurettin Çetinkaya¹ Abdullah Ürkmez² İsmet Erkmen³ Tankut Yalçınöz⁴

^{1,2} Selçuk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Konya

³ ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Ankara

⁴ Niğde Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Niğde

¹n_cetinkaya@yahoo.com ²aburkmez@selcuk.edu.tr ³erkmen@metu.edu.tr ⁴tyalcinoz@nigde.edu.tr

Anahtar kelimeler: Ekonomik yük dağıtımı, yakıt maliyet eğrisi, prohibited zone.

ABSTRACT

This paper presents a new algorithm and computation approach to solve economic load dispatch (ELD) in electrical power systems. We applied a new power formula to solve ELD problem. If production units cost curves are represented properly than ELD becomes more correct. In this respect we assumed that production units have prohibited operating zones. Cost curves of the production units are approved as piecewise quadratic function. The power production is cheaper since we don't use the production units in the prohibited operating zones. The proposed method and algorithm are compared with other ELD methods on the standart test systems. The proposed method solve the dispatch problem faster than the other ELD methods.

ÖZET

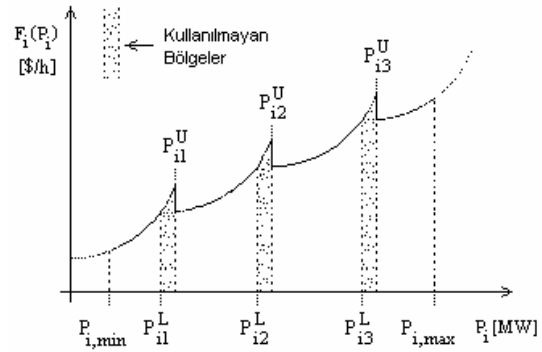
Bu yayında ekonomik yük dağıtımı yapan yeni bir algoritma ve hesaplama yöntemi sunulmaktadır. Üretim gruplarının maliyet eğrileri ne kadar gerçeği yansıtırsa yapılan yük dağıtımının doğruluk derecesi de o kadar iyi olur. Bu yüzden üretim gruplarının maliyet eğrileri ikinci dereceden parçalı fonksiyon olarak kabul edilmiştir. Yasaklanmış bölgelerde üretim grupları kullanılmadığı için güç üretimi daha ucuz olacaktır. Önerilen hesaplama yöntemi ve algoritma, ekonomik yük dağıtımı yapan diğer yöntemlerle standart test sistemleri üzerinde karşılaştırılmıştır. Geliştirilen algoritma direkt hesap yaptığı için diğer çözüm yöntemlerine göre daha kısa sürede problemi çözebilmektedir. Yakıt maliyeti açısından da uygun sonuçların elde edildiği gözlenmiştir.

1. GİRİŞ

Ekonomik yük dağıtımının temelini üretim ve iletim maliyetlerinin en aza indirilmesi oluşturur [1]. Genel olarak üretim maliyeti fonksiyonu; yakıt maliyetleri, boş çalışma maliyetleri ve başlangıç maliyetlerinin bir araya getirilmesiyle elde edilir [2]. İşletmeye bağlı olarak çalışan bir üretim grubu için maliyet açısından en önemli faktör yakıttır.

Elektrik güç sistemlerinin işletilmesinde ekonomik yük dağıtımı probleminin çözülmesi için bugüne kadar birçok yöntem ve algoritma geliştirilmiştir. Bunların arasında en çok kullanılan yöntemlerden genetik algoritma [3,4,7], Hopfield neural network [5,12,13] ve çeşitli programlama yöntemleri [8,9] başarılı sayılan sonuçlar elde etmiştir. Genetik algoritma ile optimal sonuçların elde edildiği görülmüştür. Fakat hesaplama süresi kullanılan diğer metotlara göre daha uzundur [7]. Bu yüzden zaman sınırlaması olan hesaplamalarda kullanılması uygun olmayabilir.

Ekonomik yük dağıtımı problemlerinde kullanılan maliyet eğrisi genel olarak ikinci dereceden bir fonksiyon şeklinde tanımlanmıştır [6,7,8]. Fakat kabul edilen bu maliyet fonksiyonu gerçek fonksiyon olmayıp yaklaşık olarak alındığı için hesaplamalarda elde edilen sonuçların her zaman uygun olduğu kabul edilemez. Çünkü; yaklaşık 1-10\$ kâr için yapılan ekonomik yük dağıtımı algoritmaları ve hesaplamaları aslında yanlış fonksiyon kullandıkları için yasaklanan bölgelerde çalışması istenen bazı üretim gruplarında 20-40\$ zarar da getirebilir. Ayrıca termal ya da hidrolik bir santralde enerji üretmek için çalışan mekanik parçaların fiziksel sınırlarından dolayı yasaklanmış bölgeleri bulunabilir [10]. Bu sebeple Şekil-1'de verilen ikinci dereceden parçalı polinom olarak tanımlanan maliyet fonksiyonunun kullanılması ekonomik yük dağıtımı problemini çözmek için daha uygundur.



Şekil-1 Yakıt Maliyeti Fonksiyonu

2. EKONOMİK YÜK DAĞITIMI

Bir elektrik güç sisteminde üretilen ve tüketilen enerjinin dengesi aşağıda verilen eşitlikte (Denklem-1) olduğu gibi sürekli olarak korunmalıdır. Böylece güç sisteminin frekansı güvenli bir şekilde istenilen aralıkta tutulabilir. Bir elektrik güç sisteminde yükün değişimi ile % frekansın değişimi doğru orantılı olarak (Denklem-2) ifade edilebilir.

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

$$\Delta P_T = \Delta f \cdot P_T \quad (2)$$

Bu dengenin sağlanabilmesi için hem yük tahmininin iyi yapılması hem de buna uygun olarak günlük yük eğrilerinde bulunan yedek hazır güç aralığının optimum değerlerde bırakılması gereklidir.

Elektrik güç sistemlerinde güç dengesi bozulduğu zaman tekrar dengenin sağlanabilmesi için uygun değerlerde primer ve sekonder yedek güçlerinin bulundurulması sistem güvenliği için önemlidir.

Ekonomik yük dağıtımında kullanılan geleneksel Lagrangian yaklaşımlarından elde edilen çözümler, yasaklanmış bölgesi bulunan üretim grupları için her zaman doğru sonuç vermeyebilir. Maliyet fonksiyonları tanımlanırken yasaklanmış bölgelerin dikkate alınması ve buna uygun olan çözüm yöntemlerinin kullanılması gereklidir.

Güç üretimine katılan termal grupların maliyet fonksiyonları \$/h cinsinden Şekil-1'de verilen eğriye göre aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$F_i(P_i) = \begin{cases} c_{i1} + b_{i1}P_i + a_{i1}P_i^2, & P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i1}^L \\ c_{i2} + b_{i2}P_i + a_{i2}P_i^2, & P_{i1}^U \leq P_i \leq P_{i2}^L \\ c_{i3} + b_{i3}P_i + a_{i3}P_i^2, & P_{i2}^U \leq P_i \leq P_{i3}^L \\ c_{i4} + b_{i4}P_i + a_{i4}P_i^2, & P_{i3}^U \leq P_i \leq P_{i,\max} \end{cases} \quad (3)$$

Buna göre aşağıda belirtilen sınır şartına uyan ve yasaklanmış bölgeler dışında kalan P_i güçleri hesap edilir.

$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad (4)$$

İletim hatlarında meydana gelen kayıplar da kayıp katsayıları yöntemi kullanılarak aşağıda belirtildiği şekilde hesap edilebilir [11,12].

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i P_j B_{ij} \quad (5)$$

$$P_L = \sum_{i=1}^n B_i \cdot P_i^2 \quad (6)$$

$$B_{ij} = B_{ji} \quad (7)$$

Uygulanan algoritma veya hesap yöntemi ile aşağıda gösterilen toplam maliyeti minimum yapmaya çalışan çözüm üretilir.

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad (8)$$

3. EKONOMİK YÜK DAĞITIMI İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA

Geliştirilen bu yeni algoritmada yakıt maliyet eğrilerindeki kullanılmayan bölgeler göz önüne alınarak ve yeni bir hesap yöntemi kullanarak üretim gruplarının güçleri aşağıda gösterilen şekilde hesaplanmıştır. Yapılan yük dağıtımı sonunda yasaklanmış bölgeye gelen değerler için bölgenin başlangıcındaki veya bitişindeki maliyeti en düşük yapan P_i değeri seçilir. Böylece yasaklanmış bölgelerde üretim grubu kullanılmamış olur.

$$P_i = \begin{cases} P_{i,\min}, & P_i \leq P_{i,\min} \\ k \cdot a_i^x \cdot b_i^y, & P_{i,\min} < P_i < P_{i,\max} \\ P_{i,\max}, & P_i \geq P_{i,\max} \end{cases} \quad (9)$$

Önerilen yük dağıtım algoritmasının asıl görevi verilen sınır şartlarına uygun olan ve maliyeti en düşük yapan k , x , y katsayılarını hesaplamaktır. Bu yöntemde kullanılan formülün güç dağıtım problemlerini çözmek için matematiksel olarak uygunluğu ise en küçük kareler yöntemi kullanılarak ispat edilmiştir. İspat yapılırken diğer yöntemlerle bulunan yük dağıtım verilerine yukarıda önerilen formül ile ulaşıp ulaşılamayacağı incelenmiş ve sonuçta önerilen bu hesap yönteminin bu tür problemlerde kullanılabileceği görülmüştür.

Buna göre önerilen yeni yük dağıtım algoritması aşağıda verilmiştir.

B 1 - Başla. Üretim gruplarına ait maliyet eğrisi katsayılarını gir. (a_i, b_i, c_i)

B 2 - Aktif güç üretim sınırlarını gir. ($P_{i,\min}, P_{i,\max}$)

B 3 - Yasaklanmış bölgeleri gir.

B 4 - Talep gücünü gir. (P_D)

B 5 - $F_{\min} = F_{T1}$ seç.

B 6 - $x=1, y=1$ seç.

B 7 - Döngü $i=1$ 'den n 'e kadar.

B 8 - k değerini hesapla.
$$k = \frac{P_D}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a_i^x \cdot b_i^y}}$$

B 9 - P_i değerlerini hesapla.
$$P_i = \frac{k}{a_i^x \cdot b_i^y}$$

- B10 - $P_i \leq P_{i,min}$ ise $P_i = P_{i,min}$
 $P_i \geq P_{i,max}$ ise $P_i = P_{i,max}$ olarak al.
 $P_{i,min} < P_i < P_{i,max}$ ve yasaklanmış bir bölgede
değil ise $P_i = P_i$
- B11 - P_i değeri yasaklanmış bir bölgede bulunmuşsa;
yasaklanmış bölgenin başlangıç ve bitişindeki
maliyeti daha düşük yapan güç değerini al.
- B12 $P_D = P_D - P_i$
- B13 - i 'yi 1 arttır.
- B14 - F_{Tn} 'i hesapla.
- B15 - F_{Tn} 'i F_{min} ile karşılaştır.
 $F_{Tn} \geq F_{min}$ ise B16'ye git.
 $F_{Tn} < F_{min}$ ise $F_{min} = F_{Tn}$ olarak al.
Yakınsama olduysa B17'ye git.
- B16 - Yeni x, y seç. B7'ye git.
- B17 - $F_{min} = F_{Tn}$ 'i sağlayan P_i 'leri yaz. Dur.

4. TEST SONUÇLARI

Testler sırasında kullanılan güç sisteminin üretim gruplarına ait maliyet eğrisi katsayıları ve max., min. güç üretim değerleri Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo-1. Test Sisteminin Özellikleri

Grup	a	b	c	P_{min}	P_{max}
1	0,000299	10,07	671,03	150	455
2	0,000183	10,22	574,54	150	455
3	0,001126	8,8	374,59	20	130
4	0,001126	8,8	374,59	20	130
5	0,000205	10,4	461,37	105	470
6	0,000301	10,1	630,14	135	460
7	0,000364	9,87	548,2	135	465
8	0,000338	11,21	227,09	60	300
9	0,000807	11,21	173,72	25	162
10	0,001203	10,72	175,95	20	160
11	0,003586	10,21	186,86	20	80
12	0,005513	9,9	230,27	20	80
13	0,000371	13,12	225,28	25	85
14	0,001929	12,12	309,03	15	55
15	0,004447	12,41	323,79	15	55

Yasaklanmış bölgeleri bulunan gruplara ait bilgiler Tablo-2'de yer almaktadır.

Tablo-2 Yasaklanmış bölgesi bulunan gruplar

Üretim grubu	Yasaklanmış bölgeler		
	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3
2	185 - 225	305 - 335	440 - 450
5	180 - 200	260 - 335	390 - 420
6	230 - 255	365 - 395	430 - 455
12	30 - 55	65 - 75	

S.O. Orero - Ref.[7]'den alınan; deterministic crowding genetik algoritma (DCGA), standart genetik algoritma (SGA), dinamik programlama (DP) ve Lambda iterasyonu, F.N. Lee - Ref. [10] ve önerilen yeni metod (PM) ile bulunan maliyetler Tablo-3'de verilmiştir.

Farklı yöntemlerle hesaplanmış güç değerleri de Tablo-3'te verilmiştir. En son sütunda bulunan önerilen metodun bulunduğu değerler algoritmadaki B11 basamağı işletilmeden alındığı için 5. grup yasaklanmış bölge içinde çalıştırılmıştır.

Tablo-3. Karşılaştırmalar

Grup	Lambda	DCGA	SGA	DP 1MW	PM
1	455	406,1	451,4	455	455
2	455	453,8	455	455	455
3	130	130	130	130	130
4	130	130	129,1	130	130
5	295,31*	355	337,1	260	299,75*
6	460	456,8	429,5	460	460
7	465	459,8	464,4	465	465
8	60	60	60	60	60
9	25	26,6	26,6	25	25
10	20	21,6	27,1	20	20
11	43,37	36,2	25,7	60	32,7
12	56,32	59	59	75	62,55
13	25	25	25	25	25
14	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15
P_D	2650	2649,9	2649,9	2650	2650

* ile işaretli grup yasaklanan bölgede çalıştırılmıştır.

Tablo-4. Hesaplanan maliyetler

Kullanılan hesap yöntemi	Yakıt maliyeti [\$/h]	Çözüm süresi [s]
Lambda	32502,971	
DCGA	32516,169	16,3
SGA	32513,219	11,4
DP	32506,139	43,0
F.N. Ref.[10]	32549,800	
PM	32507,75	3,5

Tablo-3 ve Tablo-4'te verilen değerlere göre GA ile yapılan uygulamalarda çözümleri süreleri 11-16 s. arasında değişirken elde edilen maliyetler de farklılıklar görülmektedir. Burada önerdiğimiz çözüm metodu, Tablo-4'te verilen yöntemler içinde problemi en kısa sürede çözen algoritmadır. Genetik algoritmalarla yapılan çözümlere göre ise hem zaman açısından hem de maliyet açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo-5. Yasaklanan bölge sınırlarında maliyetler

Grup	Ref.[10]	PM	PM	PM
1	450,00	455,00	455,00	455,00
2	450,00	455,00	455,00	455,00
3	130,00	130,00	130,00	130,00
4	130,00	130,00	130,00	130,00
5	335,00	335,00	335,00	260,00
6	455,00	460,00	460,00	460,00
7	465,00	465,00	465,00	465,00
8	60,00	60,00	60,00	60,00
9	25,00	25,00	25,00	25,00
10	20,00	20,00	20,00	26,34
11	20,00	20,00	30,00	48,66
12	55,00	40,00 *	30,00	80,00
13	25,00	25,00	25,00	25,00
14	15,00	15,00	15,00	15,00
15	15,00	15,00	15,00	15,00
P _T [MW]	2650,00	2650,00	2650,00	2650,00
F _T [\$/h]	32549,80	32506,72	32507,75	32508,03

Dinamik programlamada ise daha ucuz maliyetle üretim yapılabilmüş ama problemin çözüm süresi artmıştır. Önerilen yeni metotta ise çözüm süresi oldukça kısadır. Önerilen metodun elde ettiği yakıt maliyeti ile dinamik programlama ile elde edilen yakıt maliyeti arasında yaklaşık 1\$'lık fark bulunmaktadır.

Yasaklanmış bölgelerden kurtulmak için önerilen yeni algoritma bölgenin alt ve üst sınırlarındaki maliyetleri hesaplamaktadır. Buna göre elde edilen yeni değerler ve Ref.[10] değerleri de Tablo-5'te verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu yayında ekonomik yük dağıtımı yapan yeni bir algoritma ve hesaplama yöntemi sunulmuştur. Üretim gruplarının maliyet eğrileri ikinci dereceden parçalı fonksiyon olarak kabul edildiği için yasaklanmış bölgelerde oluşan yüksek maliyetli üretimin önüne geçilmiştir. Önerilen hesaplama yöntemi ve yeni algoritmanın ekonomik yük dağıtımı yapan diğer yöntemlerle karşılaştırılması 15 üretim grubu bulunan standart bir test sistemi üzerinde yapılmıştır. Tablo-4'te verilen bilgilere göre önerilen algoritma, genetik algoritmalarla elde edilen değerlere göre hem maliyet hem de problemi çözme süresi bakımından daha iyi sonuçlar bulmuştur. En düşük maliyetin elde edildiği durumda yeni algoritmanın problemi çözme süresi yaklaşık 3,5 saniyedir. Bulunan yakıt maliyetleri de karşılaştırıldığı zaman önerilen yeni yöntemin uygulanabilir olduğu gözlenmektedir.

6. SEMBOLLER

- B_i : kayıp katsayıları
 P_i : i. grubun çıkış gücü [MW]
 $P_{i,min}$: i. grubun üretebileceği min güç [MW]
 $P_{i,max}$: i. grubun üretebileceği max güç [MW]
 $P_{i1}^U, P_{i2}^U, P_{i3}^U$: i. gruba ait yasaklanmış bölge üst limitleri
 $P_{i1}^L, P_{i2}^L, P_{i3}^L$: i. gruba ait yasaklanmış bölge alt limitleri
 P_L : Hat kayıpları [MW]
 P_D : Yük Talebi [MW]
 P_T : Toplam güç [MW]
 ΔP_T : Güç değişimi [MW]
 Δf : % frekans değişimi
 F_i : i. grubun ürettiği gücün maliyeti [\$/h]
 F_T : Toplam maliyet [\$/h]
 a_i : Maliyet eğrisi katsayısı [\$/MW²h]
 b_i : Maliyet eğrisi katsayısı [\$/MWh]
 c_i : Maliyet eğrisi katsayısı [\$/h]
 λ : Lambda [\$/MWh]

KAYNAKLAR

- [1] Sohrab Asgarpour, Stephen K. Panarelli, Expected cost penalty due to deviation from economic dispatch for interconnected power systems, IEEE Transactions on Power Systems, Vol:10, No:1, February 1995, pp: 441-447.
- [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, November 1997, pp: 1765-1774.
- [3] Walters DC, Sheble GB; Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading, IEEE Transaction Power System, 1993, Vol.8 No.3; pp:1325-1331.
- [4] Won JR, Park YM; Economic dispatch solution with piecewise quadratic cost functions using improved genetic algorithm, Electrical Power and Energy Systems, 2003, Vol.25; pp:355-361.
- [5] Park JH, Kim YS, Eom IK, Lee KY; Economic load dispatch for piecewisequadratic cost function using Hopfield neural network, IEEE Transaction Power System, 1993, Vol.8 No.3; pp:1030-1036
- [6] Jin O.Kim, Dong-Joon Shin, Jong-Nam Park, C. Singh; Atavistic genetic algorithm for economic dispatch with valve point effect, Electrical Power Systems Research, 2002, 62; pp:201-207.

- [7] S.O. Orero, M.R. Irving; Economic dispatch of generators with prohibited operation zones: a genetic algorithm approach, IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. November 1996, Vol.143 No.6; pp:529-534.
- [8] T. Jayabarathi, G. Sadasivam, V. Ramachandran; Evolutionary programming based economic dispatch of generators with prohibited operating zones, Electric Power Systems Research 52, 1999, pp:261-266.
- [9] P. Somasundaram, K. Kuppasamy, R.P. Kumudini Devi; Economic dispatch with prohibited operating zones using fast computation evolutionary programming algorithm, Electric Power Systems Research 70, 2004, pp:245-252.
- [10] F.N. Lee, A.M. Breipohl; Reserve constrained economic dispatch with prohibited operating zones, IEEE Transaction on Power Systems Vol.8(1) 1993 pp:246-254
- [11] A.J. Wood, B.F. Wollenberg; Power generation operation and control, John Wiley&Sons, Newyork 1984.
- [12] T. Yalçınöz, M.J. Short; Neural networks approach for solving economic dispatch problem with transmission capacity constraints, IEEE Transaction on Power Systems Vol.13, No.2, 1998 pp:307-313.
- [13] Kwang Y. Lee, Arthit Sode-Yome, June Ho Park, Adaptive Hopfield Neural network for economic load dispatch, IEEE Transaction on Power Systems Vol.13, No.2, 1998 pp:519-526.