

SERBEST ELEKTRİK PİYASASI ORTAMINDA DİNAMİK EKONOMİK YÜK DAĞITIMI

Adem KÖK¹

Tankut YALÇINÖZ²

¹Niğde Tedaş, Niğde

²Niğde Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Niğde

¹e-posta: ademkok@yahoo.com

²e-posta: tyalcinoz@nigde.edu.tr

Anahtar sözcükler: Enerji Sistemi, Dinamik Ekonomik Yük Dağıtımı, Optimizasyon

ÖZET

Enerji sektörünün özelleştirilmesi sonucu daha ekonomik olarak enerji sisteminin işletilmesi ve ucuz elektrik üretimi çok önemli konular olmuştur. Bu durumda ekonomik yük dağıtım problemi daha karmaşık hale gelmiştir. Bu makalede açık artırmalı dinamik ekonomik yük dağıtım problemi için ardışıl kuadratik programlama (SQP) çözümü önerilmiştir. Özelleştirmenin ardından fiyat fonksiyonlarının yerine satıcıların açık artırmalı fiyat fonksiyonları kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada farklı fiyat fonksiyonları verilmesi durumunda, önerilen metodun dinamik ekonomik yük dağıtım probleminin çözümünde ki davranışı incelenmiştir. Test sistemi olarak 6 ve 20 grüplük sistemler seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen metodun pratik enerji sistemli dinamik ekonomik yük dağıtım problemlerini çözmek için kullanılabilirliğini göstermiştir.

1. GİRİŞ

Enerji sistemlerinin yapısı günümüzde enerji sektörünün özelleştirilmesi ve daha büyük bir enerji sistemine ihtiyacın getirdiği baskı nedeniyle büyümüş ve karmaşık hale gelmiştir. Enerji sektörü, özelleştirmeden sonra daha ekonomik olarak enerji sisteminin işletilmesi ve ucuz elektrik üretimi konusunda daha dikkatli olmuşlardır. Enerji sistemlerinde işletim planlaması minimum maliyetin bulunması için önemlidir. [1-4]

Enerji sistemlerinin dinamik ekonomik yük dağıtım problemi, büyük ölçekli doğrusal ve doğrusal olmayan sınırlamalardan meydana gelir. Dinamik ekonomik yük dağıtım (DEYD) problemi yüke, enerji sisteminin fiziksel limitlerine ve grupların limitlerine bağlı olarak maliyeti minimize etme işleminden oluşur. [3,4] Bu konuda geçmişte bir çok araştırma yapılmış ve farklı metodlar ile bu problemin çözülmesine çalışılmıştır.[3-7]

Kullanılan grubun giriş çıkış karakteristiği seçilecek metodu da doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada doğrusal olmayan karakteristiğe sahip gruplar incelenmiştir. Bu makalede dinamik yük dağıtım problemleri Matlab Optimizasyon alet kutucuğunda

bulunan Ardışıl Kuadratik Programlama algoritması kullanılarak çözülmüştür.

2. PROBLEMİN FORMULASYONU

Fiyat fonksiyonu jeneratörlerin giriş-çıkış eğrilerine göre belirlenir. Fakat elektrik piyasası serbestleştirilmesi ile birlikte satıcıların birinci amacı daha fazla kazanç sağlamaktır. Bu nedenle satıcının açık artırma fiyat fonksiyonunu, yalnızca üretimin fiyat fonksiyonu değil, aynı zamanda piyasa stratejisi de etkiler [8]. Açık artırmalı dağıtım problemi formülasyonun da, en düşük açık artırma fiyatı; satıcıların minimum açık artırma fiyatlarının toplamına eşittir. Burada minimizasyon yapılırken bazı kısıtlamaların dikkate alınması gerekir. Dinamik ekonomik yük dağıtımında belli bir zaman diliminde işletme kısıtlamalarının da dikkate alınması sonucu fiyat minimize edilir. DEYD probleminin en genel formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{Min } F_T = \sum_{h=1}^T \sum_{i=1}^N F_{ih}(P_{ih}) \quad (1)$$

Burada F_T toplam üretim maliyeti, $F_{ih}(P_{ih})$ h zaman aralığında i'inci jeneratörün P_{ih} gücünü üretebilmesi için gereken üretim maliyeti, N grup sayısı ve T de verilen zaman dilimindeki zaman aralıklarının sayısıdır.

Burada giriş-çıkış karakteristikleri olarak konkav veya ikinci dereceden bir denklem alınabilir. Satıcıların açık artırma fiyat fonksiyonları aşağıdaki gibi ikinci dereceden bir denklem ile ifade edilebilir.

$$F_{ih}(P_{ih}) = a_i + b_i P_{ih} + c_i P_{ih}^2 \quad (2)$$

Burada a_i , b_i ve c_i i' nci jeneratörün fiyat katsayılarıdır. Verilen amaç fonksiyonu (Denklem 1) aşağıdaki kısıtlamalara bağlı olarak çözülür.

Güç Eşitlik Denklemi :

$$\sum_{i=1}^N P_{ih} = P_{Dh} + P_{L,h} \quad (4)$$

Burada P_{Dh} h zaman aralığında talep edilen güç ve $P_{L,h}$ h zaman aralığında iletim kaybıdır. İletim hattının kaybı basit olarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$P_{L,h} = \sum_{i=1}^N B_i P_{ih}^2 \quad (5)$$

B_i iletim hattı kaybının katsayılarıdır.

Jeneratörlerin Çıkış Kapasitesi :

$$P_{\min,i} \leq P_{ih} \leq P_{\max,i} \quad (6)$$

Burada $P_{\min,i}$ i'nci jeneratörün minimum çıkış gücü ve $P_{\max,i}$ i'nci jeneratörün maksimum çıkış gücüdür. Buradaki toplam talep $P_{\min,i}$ ve $P_{\max,i}$ arasında bir değerde olmalıdır. Burada dinamik ekonomik yük dağıtım problemi, fiyat fonksiyonları yerine satıcıların açık artırmalı fiyat fonksiyonları kullanılmıştır.

3. ARDIŞIL KUADRATİK PROGRAMLAMA ALGORİTMASI

Ardışıl kuadratik programlamada, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümü, basitleştirilmiş problemlerin düzenli olarak kuadratik programlama tarafından çözülmesi sonucu elde edilir. Bu nedenle doğrusal olmayan kısıtlamalar doğrusal hale getirilir ve amaç fonksiyonu ikinci dereceden denkleme dönüştürülür [9]. Powell [10] Hessian matris yerine simetrik matris kullanılmasını önermiştir. Bu yaklaşık Hessian matris her iterasyonda BFGS (Broydon-Fletcher-Goldfard-Shanno) metodu kullanılarak yeniden hesaplanır. Çizgi boyunca araştırma yapılarak değişkenlerin yeni değerleri elde edilir. Aktif set metodu kullanarak bütün kısıtlamalar yerine çalışma serisi (working set) olarak seçilen daha az miktarda kısıtlama göz önüne alınır. Çalışma serisi çözüm sırasında aktif olacağı tahmin edilen kısıtlamalardan oluşur. Aktif set yönteminin en büyük üstünlüğü, verimliliği ve hızı artırmaktır. Ardışıl kuadratik programlama metodu, eklendirilmiş (augmented) Lagrangian metottan ve penaltı metotların daha verimli ve güvenli olduğu değişik makalelerde ispat edilmiştir [11].

Grace [12] Matlab Optimizasyon alet kutucuğunda bulunan ardışıl kuadratik programlama algoritmasının nasıl uygulanacağını açıklamaktadır. Burada bizim amacımız ardışıl kuadratik programlamanın alt programı F_{\mincon} ile sınırlı optimizasyon problemlerini çözmektir.

4. SAYISAL SONUÇLAR

Bu makalede dinamik ekonomik yük dağıtım problemi Matlab Optimizasyon alet kutucuğunda bulunan Ardışıl Kuadratik Programlama algoritması kullanılarak çözülmüştür. Burada önerilen metot 6 ve

20 jeneratörlü test sistemlerine uygulanmıştır. Önerilen metodun farklı fiyat fonksiyonlarına sahip test sistemlerindeki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada iletim kayıpları ihmal edilmiştir.

İlk olarak önerilen metot, 6 gruplu bir enerji sistemine uygulanmıştır. Burada jeneratörlere ait fiyat fonksiyonları ve minimum/maksimum çıkış güçleri aşağıdaki gibidir.

$$F_1 = 0.001562P_1 + 7.92 P_1 + 561.0 \quad 100 < P_1 < 600$$

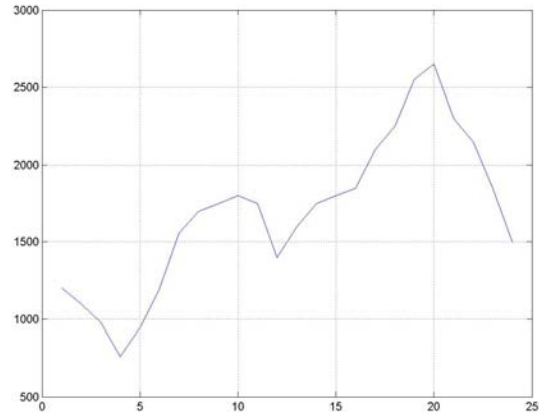
$$F_2 = 0.00194 P_2 + 7.85 P_2 + 310.0 \quad 100 < P_2 < 400$$

$$F_3 = 0.00482 P_3 + 7.97 P_3 + 78.0 \quad 50 < P_3 < 200$$

$$F_4 = 0.00139 P_4 + 7.06 P_4 + 500.0 \quad 140 < P_4 < 590$$

$$F_5 = 0.00184 P_5 + 7.46 P_5 + 295.0 \quad 110 < P_5 < 440$$

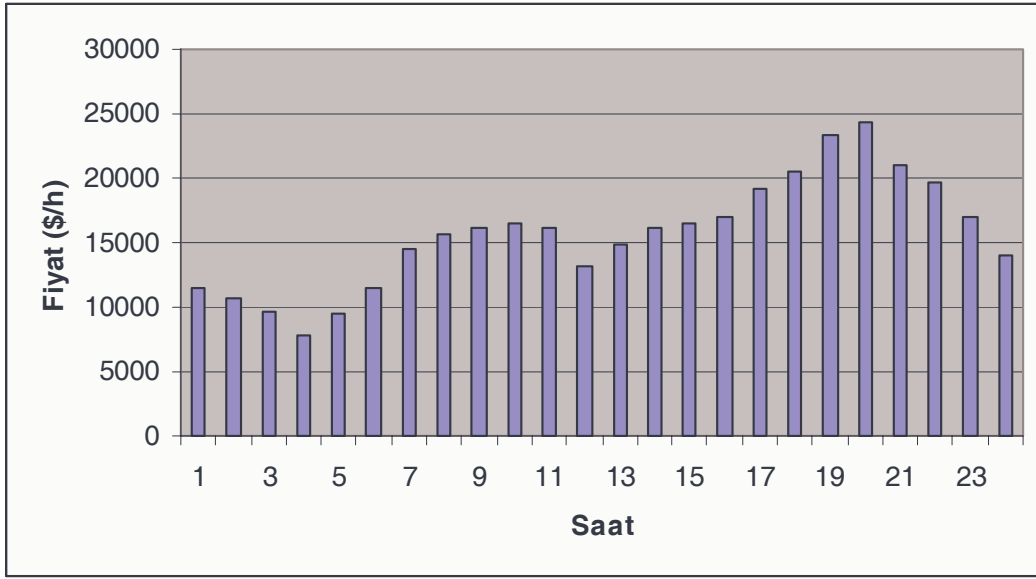
$$F_6 = 0.00184 P_6 + 7.46 P_6 + 295.0 \quad 110 < P_6 < 440$$



Şekil 1 24 saatlik talep güç eğrisi

Dinamik ekonomik yük dağıtım problemi bu çalışmada 24 saatlik zaman dilimi için çözülmüştür. 24 saatlik her saate ait talep güçleri Şekil 1 de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere saat 20.00 da puant güç çekilmektedir. Bu talep güçlerine karşılık önerilen metot ile elde edilen sonuçlar Şekil 2 de verilmiştir. Bir gün boyunca toplam 40.500 MW'lık bir üretime karşılık 376.640 \$/saat'lık bir üretim maliyeti bulunmuştur. Toplam talebin artması ile jeneratör çıkış güçlerinin artmasına, toplam talebin azalması ile çıkış güçlerinin azaldığı gözükmektedir. Jeneratör çıkış güçlerinin bazı toplam talep değerlerinde sabit kaldığı gözükmektedir. Bunun nedeni, her bir jeneratörün P_{\min} ve P_{\max} sınırları arasında üretim yapabilmesidir.

Özelleştirmeden sonra özellikle satıcıların fiyat belirlemede serbestliği ile dinamik ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü zorlaşmıştır. İkinci örnekte, 6-gruplu sistemde bazı satıcıların fiyat fonksiyonlarının konkav vermesi durumunda sistemin davranışı incelenmiştir. Önerilen metot konkav fiyat fonksiyonlu bir enerji sistemine uygulanmıştır.



Şekil 2 6 gruplu sisteme ait sonuçlar

Tablo 1 6 gruplu sistemde fiyat fonksiyonlarının konkav olması sonucunda elde edilen sonuçlar

Saat	Talep (MW)	Çıkış Gücü (MW)						Fiyat
		1	2	3	4	5	6	
1	1200	600	190	50	140	110	110	10762
2	1100	590	100	50	140	110	110	10046
3	980	470	100	50	140	110	110	9294
4	760	250	100	50	140	110	110	7799
5	950	440	100	50	140	110	110	9099
6	1200	600	190	50	140	110	110	10762
7	1560	600	400	50	289.69	110.19	110.19	13319
8	1700	600	400	50	345.45	152.27	152.27	14431
9	1750	600	400	50	365.37	167.32	167.32	14833
10	1800	600	400	50	385.24	182.36	182.36	15238
11	1750	600	400	50	365.37	167.32	167.32	14833
12	1400	600	390	50	140	110	110	12107
13	1600	600	400	50	305.63	122.19	122.19	13634
14	1750	600	400	50	365.37	167.32	167.32	14833
15	1800	600	400	50	385.24	182.36	182.36	15238
16	1850	600	400	50	405.19	197.4	197.4	15646
17	2100	600	400	51.04	504.34	272.31	272.31	17728
18	2250	600	400	66.49	557.93	312.78	312.78	19008
19	2550	600	400	109.44	590	425.28	425.28	21648
20	2650	600	400	180	590	440	440	22576
21	2300	600	400	71.65	575.79	326.28	326.28	19440
22	2150	600	400	56.19	522.21	285.79	285.79	18152
23	1850	600	400	50	405.19	197.4	197.4	15646
24	1500	600	400	50	230	110	110	12852

6 grulu sistemin fiyat fonksiyonları ve minimum/maksimum çıkış güçleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} F_1 &= -0.001562P_1 + 7.92 P_1 + 561.0 & 100 < P_1 < 600 \\ F_2 &= -0.00194 P_2 + 7.85 P_2 + 310.0 & 100 < P_2 < 400 \\ F_3 &= 0.00482 P_3 + 7.97 P_3 + 78.0 & 50 < P_3 < 200 \\ F_4 &= 0.00139 P_4 + 7.06 P_4 + 500.0 & 140 < P_4 < 590 \\ F_5 &= 0.00184 P_5 + 7.46 P_5 + 295.0 & 110 < P_5 < 440 \\ F_6 &= 0.00184 P_6 + 7.46 P_6 + 295.0 & 110 < P_6 < 440 \end{aligned}$$

Bu örnekte de iletim kaybı ihmal edilmiştir. 24 saatlik toplam talep güçleri yukarıda ki gibi alınmıştır. Burada yukarıda ki fiyat fonksiyonlarından da görüleceği üzere fiyat fonksiyonları konkavdır. Önerdiğimiz metodun sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Bu örnekte de toplam talep bir gün boyunca 40.500 MW olduğu halde üretim maliyeti 348.920 \$/saat olmaktadır. Üretim maliyeti 27.720 \$/saatlık bir tasarruf sağlanmıştır. Toplam talebin artması ile jeneratör çıkış güçlerinin artmasına, toplam talebin azalması ile çıkış güçlerinin azaldığı görülmektedir. Özellikle 1 ve 2 nolu jeneratörlerin fiyat fonksiyonlarının konkavlığından dolayı çıkış güçleri sabitlenmiştir. Buradan da görüleceği üzere önerilen metod bu sistemi de kolaylıkla çözmektedir.

Buraya kadar ki örnekler küçük sistemlerdeki önerilen metodun davranışını veriyordu. Önerilen metod ile 20 grulu sistem çözülmüştür. 20 grulu sistemin verileri referans [13] de bulunabilir. Burada bir gün boyunca toplam talep 98.350 MW ve üretim maliyeti 1.401.800 \$/saat olmaktadır. İşletim süresi hızlı cevap vermek için yeterince azdır ve birkaç saniye seviyesindedir.

5. SONUÇ

Satıcıların farklı fiyat fonksiyonları vermesi sonucu problem karmaşık hale gelmektedir. Bu durumda daha etkili programların ve metodların kullanılması gerekecektir. Bu makalede farklı fiyat fonksiyonlu sistemler için dinamik ekonomik yük dağıtım problemi ardışıl kuadratik programlama ile çözümünü önerilmiştir. Önerilen metodla dinamik ekonomik yük dağıtım problemi 6 ve 20 jeneratörlü sistemler için çözülmüştür. Burada elde edilen sonuçlardan da görüleceği üzere hızlı yük değişimlerine önerilen metod hızlı cevap vermektedir. Bu çalışmada konkav fiyat fonksiyonuna sahip olan sistemlerde çözülmüş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen metodun pratik güç sistemlerini de çözebildiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Wood A.J. and Wollenberg B.F., Power Generation Operation and Control, John Wiley & Sons, New York 1996.
- [2] Scheppe, F. C., Caramanis, M. C., Tabors, R. D., and Bohn, R. E., Spot Pricing of Electricity, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1989.
- [3] Chowdhury B.H. and Rahman S., A review of recent advances in economic dispatch, IEEE Trans. on Power Systems; Vol. 5, No 4, pp. 1248-1259, 1990.
- [4] Talaq J.H., El Hawary F. and El Hawary M.E., A Summary of environmental / economic dispatch algorithms, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, pp. 1508-1516, 1994.
- [5] Victoire T. A. A., Jeyakumar A. E., Deterministically guided PSO for dynamic dispatch considering valve-point effect, Electric Power Systems Research, Vol. 73, pp. 313-322, 2005.
- [6] Liang R.H., A neural-based redispatch approach to dynamic generation allocation, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp. 1388-1393, 2001.
- [7] Ongsakul W., Tippayachai J., Parallel micro genetic algorithm based on merit order loading solutions for constrained dynamic economic dispatch, Electric Power Systems Research, Vol. 61, pp. 77-88, 2002.
- [8] Huang G., Zhao Q., An auction-based dispatch algorithm for deregulated power systems, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 2, pp. 1220-1225, Jan. 2000.
- [9] Gill P.E., Murray W. and Wright M.H., Practical optimization, Academic Press, London, 1981.
- [10] Powell M.J.D., Algorithms for Nonlinear Constraints That Use Lagrangian Functions, Mathematical Programming, Vol. 14, pp. 224-248, 1978.
- [11] Chat-Uthai C. et. al., Nonlinear Constrained Optimization Techniques for Magnetostatic Problems, Proc. of the Int. Symposium on Advanced Computational and Design Techniques in Applied Electromagnetic Systems, Seoul, Korea, 1994.
- [12] Grace A., Optimization Toolbox: for Use With MATLAB, The MathWorks Inc, 1990.
- [13] Yalcinoz T. and Altun H., Comparison of simulation algorithms for Hopfield neural network: an application of economic dispatch, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 67-80, 2000.