

TÜRKİYE'DEKİ 380 kV'LUK 14 BARALI GÜÇ SİSTEMİNDE EKONOMİK YÜKLENME ANALİZİ

Mehmet KURBAN¹

Ümmühan BAŞARAN²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü , 26470, ESKİŞEHİR

¹e-posta : mkurban@anadolu.edu.tr ²e-posta: ubasaran@anadolu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güç Akışı, Ekonomik Dağıtım, B Kayıp Katsayıları Matrisi

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye 'deki 380 kV 'luk hatlardan meydana gelen 14 baralı sistem modeli oluşturularak sistemdeki 6 adet termik santral için, baraların üretim kısıtlamaları ve kayıplar dikkate alınarak ekonomik dağıtım analizi yapılmıştır. Bunun için, EÜAŞ (Elektrik Üretim Anonim Şirketi) ve TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)'tan alınan veriler yardımı ile önce normal güç akışı yapılarak B kayıp katsayıları bulunmuş ve daha sonra her bir termik santral için çıkarılan maliyet fonksiyonları kullanılarak termik santraller ekonomik olarak yüklenmiştir. Bu ekonomik yüklenme analizi MATLAB® kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tablolar halinde verilmiştir.

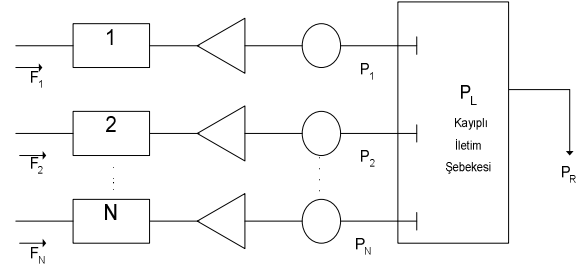
1.GİRİŞ

Ekonomik yük dağıtımı, maliyet, iletim kayıpları gibi bazı kısıtlamalar için sistemlerin optimal işletilmesi amacıyla termik santraller arasında yük paylaşımına dayanan bir yöntemdir. İletim kayıpları düşünüldüğünde doğrusal olmayan eşitliklerin tekrarlanması yöntemi ile santrallerin ekonomik olarak yüklenmesi sağlanmaktadır.

Ekonomik dağıtım analizleri yapılarak, santrallerin en düşük maliyetle talep edilen enerjiyi karşılaması sağlanır. Bu analizler sonucu bulunan değerlerle santraller ekonomik olarak yüklendiğinde, sistemin maliyetinin azalacağı görülür. Bu analizler, optimizasyon teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu analiz yapılırken öncelikle güç akışı analizi yapılır ve B kayıp katsayıları matrisi hesaplanarak santrallerin ekonomik yüklenmesi sağlanır [1]. Bu çalışmada, Türkiye'deki 380 kV'luk hatlardan meydana gelen 14 baralı sistem modeli oluşturularak sistemde bulunan 6 tane termik santral, baraların üretim kısıtlamaları dikkate alınarak ekonomik olarak yüklenmiş ve böylece sistemin maliyeti minimuma indirilmiştir.

2.EKONOMİK DAĞITIM YÖNTEMİ

Ekonomik dağıtımın amacı, üretilen enerjiyi eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını sağlayacak şekilde üretim birimleri arasında paylaşmaktır. Şekil 1'de iletim şebekesi vasıtasıyla bir yük barasına bağlanan termik üretim birimi sembolik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1 Yüğü (P_R) Besleyen N Termik Üretim Birimi

Birimi maliyet fonksiyonu şöyledir:

$$\text{Min } F_T = F_1 + F_2 + \dots + F_N \quad (1)$$

Sınır denklemi ise şu şekilde ifade edilebilir:

$$P_R + P_L - \sum_{i=1}^N P_i = \phi = 0 \quad (2)$$

Lagrange fonksiyonunun her bir güç çıkışına göre türevi alındığında, iletim şebekelerindeki kayıplar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda N tane eşitlik oluşur. Bu N tane eşitlik, sınır denklemleriyle birleştirilirse şu şekilde koordinasyon denklemleri oluşmaktadır [2]:

$$\mathcal{L} = F_T + \lambda \Phi \quad (3)$$

$$P_R + P_L - \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (4)$$

Kayıplar düşünüldüğünde ekonomik yüklenme problemleri, Lagrange çarpanları yöntemiyle şöyle ifade edilebilir:

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (5)$$

$$\phi = P_R + P_K(P_1, P_2, \dots, P_N) - \sum_{i=1}^N P_i \quad (6)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_K}{\partial P_i} \right) = 0 \quad (7)$$

Denklemden λ çekilirse şu denklem edilir[3]:

$$\lambda = \left(\frac{1}{1 - \frac{dP_K}{dP_i}} \right) \frac{dF_1}{dP_i} L_i = \frac{1}{1 - \frac{dP_K}{dP_i}}$$

L_i : i. bara için ceza (penalty) faktörü

B Kayıp Katsayıları Matrisi

B matrisi kayıp formülü, kayıp ve artımsal kayıp hesaplamaları için 1950'li yılların başında bulunmuştur. B matrisi kayıp formülü için oluşturulan denklem aşağıdaki gibidir.

$$P_K = P^T [B] P + P^T B_0 + B_{00};$$

$$P_K = \sum_i \sum_j P_i B_{ij} P_j + \sum_i B_{i0} P_i + B_{00} \quad (8)$$

P: Bütün generator baralarının MW olarak vektörü.

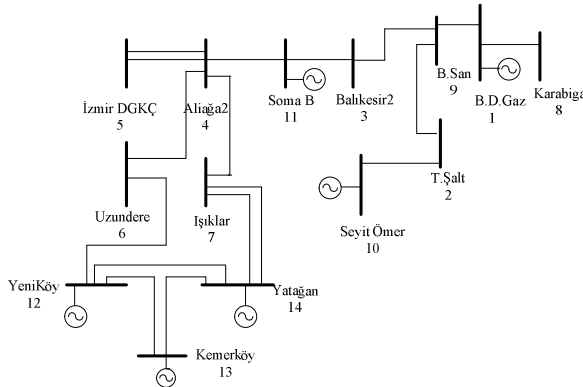
[B]: P ile aynı boyutta kare matris

B_0 : P ile aynı uzunlukta olan vektör

B_{00} : Sabit olur [2,5]. Ekonomik dağıtım yönteminin akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.

3. SİSTEMİN ÖZELİKLERİ

Şekil 3'te oluşturulan sistemin çizimi gösterilmiştir.

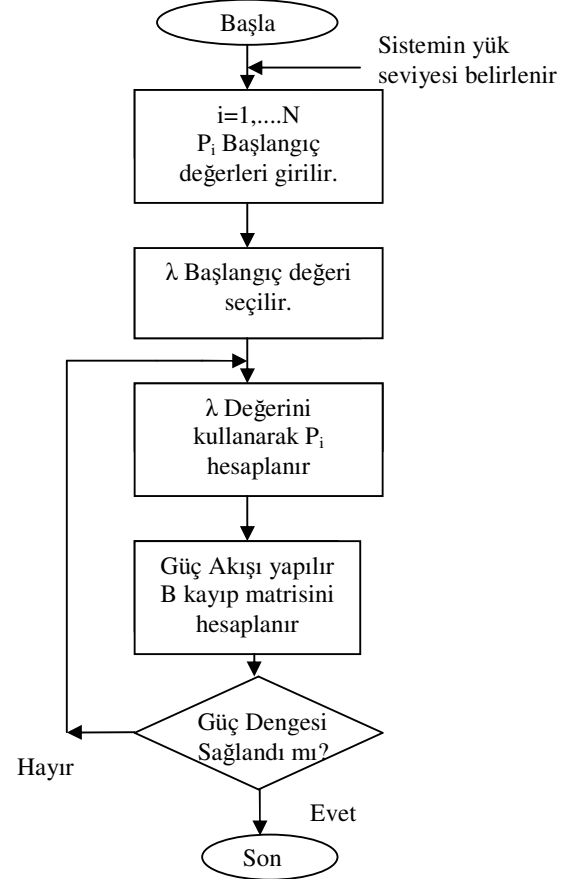


Şekil 3 Türkiye'deki 380 kV'luk 14 Baralı Sistem

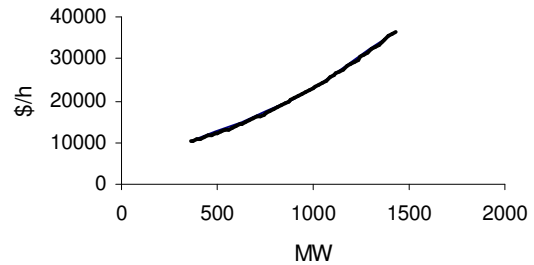
Bu sistem için, kullanılan baraların kodları ve isimleri Tablo 1'de gösterilmiştir [6]. Oluşturulan sistemde 6 tane termik santral bulunmaktadır. EÜAŞ'tan alınan az sayıda artan yakıt maliyet değerleri kullanılarak MS Excel programında eğri uydurma yöntemiyle uygun maliyet eğrileri oluşturulmuştur. Sistemde bulunan üretim birimleri, bu birimlerin maliyet eğrileri ve alınan minimum-maksimum güç değerleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4-Şekil 9).

Tablo 1 14 Baralı Sistemin Bara Kodları ve Adları

Bara Kodu	Bara Adı	Bara Kodu	Bara Adı
1	Bursa D. Gaz	8	Karabiga
2	T. Şalt	9	Bursa San
3	Balıkesir II	10	S. ömer
4	Aliğa II	11	Soma B
5	İzmir DGKÇ	12	Y. köy
6	Uzundere	13	K. köy
7	Işıklar	14	Yatağan



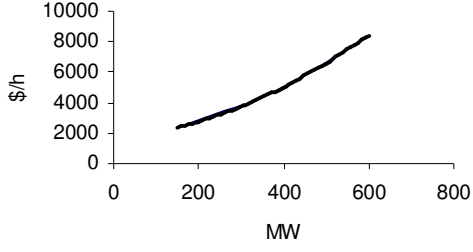
Şekil 2 Ekonomik Yüklenme A. Akış Diyagramı



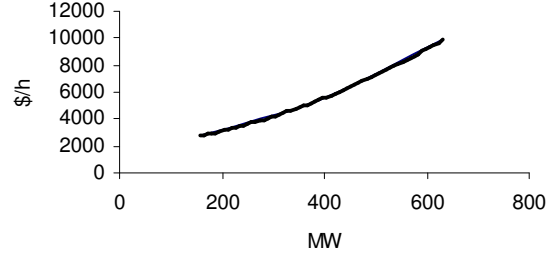
Şekil 4 Bursa Doğalgaz T. Santralinin Maliyet Eğrisi

$$f_{\text{BursaD.Gaz}} = 0.0106P_3^2 + 5.682P_3 + 6780.5 \text{ $/h}$$

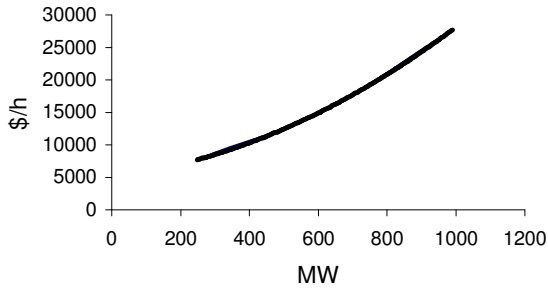
$$318MW \leq P_3 \leq 1432MW$$



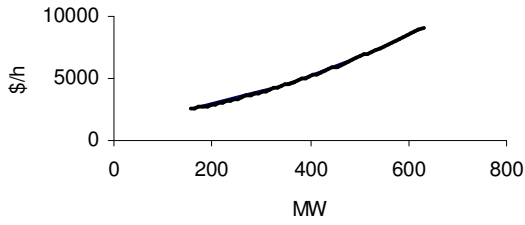
Şekil 5 Seyitömer Termik Santralinin Maliyet Eğrisi
 $f_{\text{Seyitömer}}=0.0139P_4^2+3.1288P_4+1564.40\$/h$
 $150MW \leq P_4 \leq 600MW$



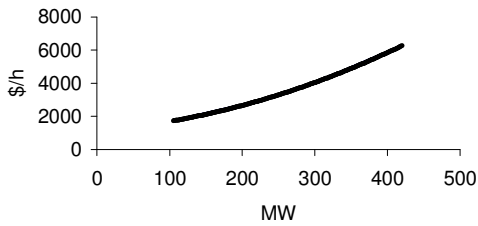
Şekil 9 Yatağan Termik Santralinin Maliyet Eğrisi
 $f_{\text{Yatağan}}=0.0147P_8^2+3.472P_8+1822.8\$/h$
 $140MW \leq P_8 \leq 630MW$ [7].



Şekil 6 SomaB Termik Santralinin Maliyet Eğrisi
 $f_{\text{SomaB}}=0.0168P_5^2+6.2232P_5+5134.1\$/h$



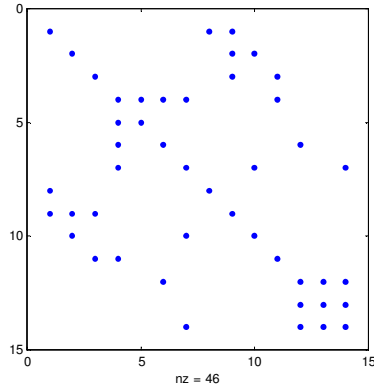
Şekil 7 Kemerköy Termik Santralinin Maliyet Eğrisi
 $f_{\text{Kemerköy}}=0.0137P_7^2+3.2324P_7+1697\$/h$
 $140MW \leq P_7 \leq 630MW$



Şekil 8 Yeniköy Termik Santralinin Maliyet Eğrisi
 $f_{\text{Yeniköy}}=0.021P_6^2+3.3128P_6+1159.5\$/h$
 $110MW \leq P_6 \leq 420MW$

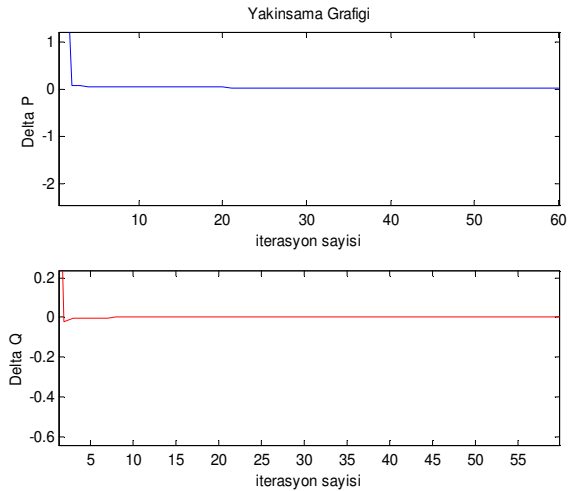
4.EKONOMİK YÜKLENME ANALİZİ

Öncelikle, hatlara ait R,X,B/2 değerleri kullanılarak, yazılan MATLAB® programı yardımıyla 14 baralı sisteme ait bara admitans matrisi oluşturulmuştur. Şekil 10'da bara admitans matrisinin sıfırdan farklı elemanlarının bulunduğu noktalar gösterilmiştir.



Şekil 10 Bara Admitans Matrisinin Sıfırdan Farklı Noktaları

Sistemde güç akışı analizinde yakınsama grafikleri Şekil 11'de ve sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 11 ΔP ve ΔQ Değerlerinin Yakınsama Grafikleri

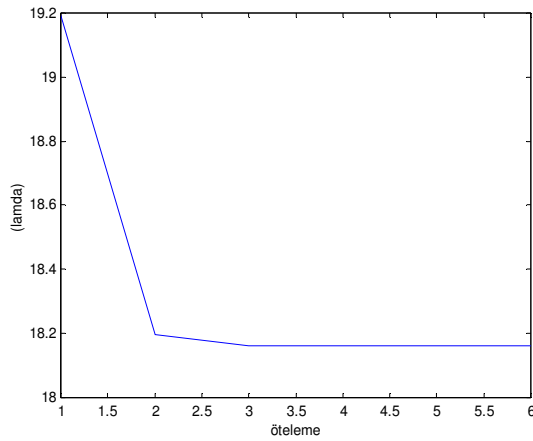
Tablo 2 14 Baralı Sistemin Güç Akışı Sonuçları

Bara No	Bara Voltaj (pu)	Bara Aç (deg)	P Üretim (MW)	Q Üretim (MVar)
1	1.01500	0.00000	419.025	93.2505
2	1.0119	-0.0678	0.00000	0.00000
3	1.0004	-1.0896	0.00000	0.00000
4	0.9747	-1.5688	0.00000	0.00000
5	0.9742	-1.6135	0.00000	0.00000
6	0.9712	-0.6737	0.00000	0.00000
7	0.9883	-0.3310	0.00000	0.00000
8	1.0324	-0.0826	0.00000	0.00000
9	1.0084	-.05677	0.0000	0.00000
10	1.02	0.8637	430.0000	159.9403
11	1.0112	0.2069	530.0000	316.6045
12	1.0170	6.1985	390.0000	345.1223
13	1.0120	6.7562	520.0000	-359.537
14	1.0251	5.6866	490.0000	515.3210

Programın sonucunda, üretilen toplam aktif güç 2779.025 MW ve toplam yük miktarı, 2734.9 MW olarak hesaplanmıştır. Bu durumda sistemdeki toplam kayıp miktarı 44.125 MW'dır.

Güç akışı analizinin sonuçları yardımıyla, sisteme ait B kayıp katsayıları matrisi hesaplanarak MATLAB® da yazılan program sonucu santraller ekonomik olarak yüklenmiştir. Sistemin B kayıp katsayıları aşağıdaki gibidir:

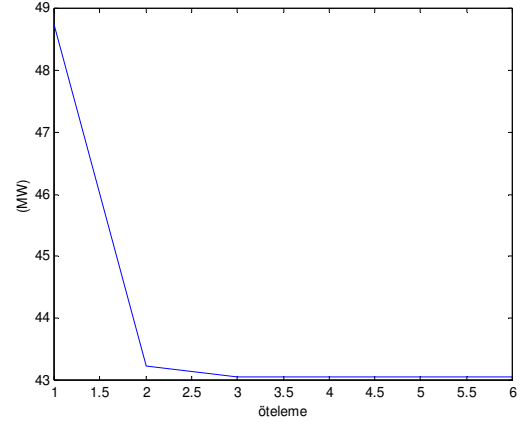
$$B = \begin{bmatrix} 0.0025 & 0.0012 & 0.0000 & -0.0011 & -0.0007 & -0.0011 & 0.0008 \\ 0.0012 & 0.0031 & -0.0002 & -0.0008 & -0.0003 & -0.0008 & 0.0015 \\ 0.0000 & -0.0002 & 0.0017 & -0.0003 & -0.0001 & -0.0003 & 0.0000 \\ 0.0011 & -0.0008 & -0.0003 & 0.0037 & 0.0007 & 0.0034 & 0.0001 \\ -0.0007 & -0.0003 & -0.0001 & 0.0007 & 0.0033 & 0.0004 & 0.0001 \\ -0.0011 & -0.0008 & -0.0003 & 0.0034 & 0.0004 & 0.0042 & 0.0001 \\ 0.0008 & 0.0015 & 0.0000 & -0.0001 & 0.0001 & 0.0001 & 0.0189 \end{bmatrix}$$



Şekil 12 Sistemin λ Değerinin Öteleme Sayısına Göre Değişimi

Şekil 12'de ötelemeler sonucu sistemin artan yakıt maliyeti değerinin değişimi gösterilmiştir.

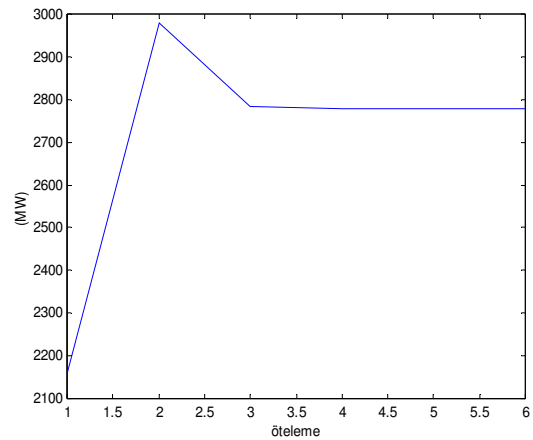
Burada, sistemin 6. öteleme sonucunda dengeye ulaştığı ($\epsilon=10^{-6}$) görülmüştür. Bu denge anında sistemin artan yakıt maliyeti değeri, 18.1611 \$/MWh olarak bulunmuştur.



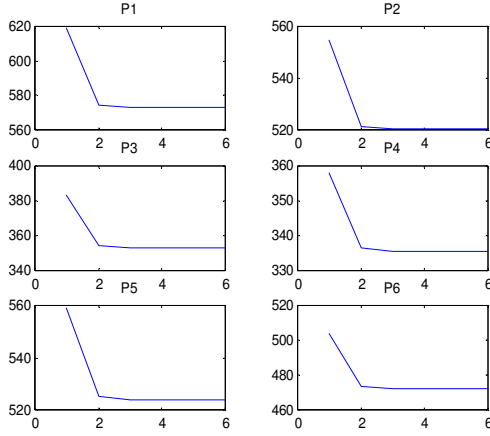
Şekil 13 Sistemdeki Kayıp Miktarının Öteleme Sayısına Göre Değişimi

Şekil 13'te ise, ötelemeler sonucu sistemin kayıp miktarının değişimi gösterilmiştir. Burada, sistemde ilk durumda 48.7378 MW olan kayıp miktarının ötelemelerle birlikte azaldığı ve denge durumunda 43.0451 MW değerine indiği görülmüştür.

Kayıpların azalmasına bağlı olarak ötelemeler sonucu sistemdeki toplam üretilen gücün değiştiği görülmüştür. Buna bağlı olarak da her ötelemede santrallerin de çıkış güçleri değişmiştir. Şekil 14'te toplam üretilen gücün değişimi ve Şekil 15'de santrallerin çıkış güçlerinin ötelemeler sonucu değişimi grafiklerle gösterilmiştir.



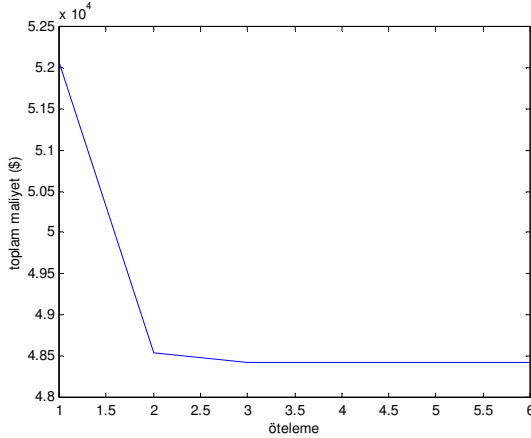
Şekil 14 Sistemdeki Toplam Güç Miktarının Öteleme Sayısına Göre Değişimi



Şekil 15 Sistemdeki Her Bir Santralin Çıkış Gücünün Öteleme Sayısına Göre Değişimi

Şekil 15’de santrallerin ilk durumda yüklendikleri güç değerlerinin, ötelemelere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni sistemde kayıp miktarının ötelemeler sonucu, azalmasına bağlı olarak toplam üretilen gücün düşmesi ve santrallerin çıkış güçlerinin dengeye gelebilmek için azalmasıdır.

Ötelemeler sonucu santrallerin toplam üretim maliyetlerinin değişimi Şekil 16’da gösterilmiştir. Bu şekilde ilk durumda 52000 \$ olan üretim maliyetinin denge durumunda 48481 \$ olduğu görülmüştür. İlk duruma göre sistemin maliyeti 3519 \$ azalmıştır.



Şekil 16 Sistemin Toplam Maliyetinin Öteleme Sayısına Göre Değişimi

Tablo 3 Santrallerin Yüklendikleri Güçler

Santralin Adı	Üretilen Güç (MW)
BursaD.Gaz	573.0010
Seyitömer	520.3039
SomaB	352.5975
Y.köy	335.5975
K.Köy	523.9189
Yatağan	472.2131

Tablo 3’te, santrallerin çıkış güçleri verilmiştir. Burada, santrallerin çıkış güçlerinin verilen sınır değerleri arasında olduğu görülmektedir.

5.SONUÇLAR

Ekonomik dağıtım sonucu, ele alınan 14 baralı sistemde üretim maliyetinin 3519\$ azaldığı görülmüştür. Kayıplar dikkate alınarak üretim maliyeti düşük olan santrallerin üretim kapasitelerinin artırılması ve pahalı olan santrallerin ise daha az üretim yapması sağlanarak, sistemin birim enerji üretim maliyeti azaltılabilir. Sonuçta, santraller ekonomik dağıtımlar sonucu belirlenen güçlerle yüklenirlerse, sistemin maliyetinin azalacağı görülmüştür. Bu çalışmada, maliyeti düşük olan santraller, Seyitömer, Yeniköy, Kemerköy ve Yatağan yükten daha fazla pay almışlar ve böylece sistemin maliyetini azaltmışlardır. Sistemdeki bütün santrallerde düzgün verilerin tutulması durumunda daha iyi analiz ve doğru planlama yapılabilecektir.

Talep edilecek enerjinin önceden belirlenmesi ve buna göre artan ihtiyacı karşılayacak, doğru yatırım planlarının yapılması ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır. Sonuç olarak, artan elektrik enerjisi talebini en uygun şekilde karşılayabilmek için yapılacak planlama çalışmalarında ekonomik dağıtım analizinin önemi ortaya çıkmıştır. Ekonomik dağıtım analizi yapılarak, birim enerji üretim maliyetini düşürmek için santrallerin uygun şekilde yüklenmeleri sağlanacak ve bu şekilde ülke ekonomisine katkı yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Başaran Ü, Türkiye’deki 380 kV’luk Enterkonnekte Güç Sisteminde Çeşitli Güç Akışı ve Ekonomik Dağıtım Analizleri, Y.Lisans Tezi, (2004)
- [2] Wood J. ve Wollenberg, B., *Power generation operation and control*, Wiley interscience, publication, USA (1996).
- [3] Happ H.H., “*Optimal Power Dispatch- A Power Comprehensive Survey*”, IEEE Transactions on Apparatus and Systems, **96**, (1977)
- [4] Grainger,J.J., ve Stevenson, W.D., *Power system analysis*, McGraw-Hill International Editions, USA (1994).
- [5] Lukman D. ve Blackburn T.R., “*Modified algorithm of load flow simulation for loss minimization in power systems*”, AUPEC (2001).
- [6] Eren, Z. Ve Aktaş, K., *2003 Puant (Yaz) yük şartlarında yük akışı, üç faz ve faz toprak kısa devre etüdü*, Ankara (2004).
- [7] Santraller Enformasyon ve Değerlendirme Müdürlüğü, *2002 Yıllık Faaliyet Raporu*, Termik Santraller ve Maden Sahaları Daire Başkanlığı, Ankara (2002).