

TÜRKİYE'DEKİ 22 BARALI 380 kV 'LUK GÜÇ SİSTEMİNİN İKİ FARKLI YÖNTEM KULLANILARAK EKONOMİK DAĞITIM ANALİZİ

Mehmet KURBAN ¹, Ümmühan BAŞARAN FİLİK ²

¹Anadolu Üniv., Müh.-Mim. Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Eskişehir. Tel: 222 3213550 (6461),
mkurban@anadolu.edu.tr.

²Anadolu Üniv., Müh.-Mim. Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Eskişehir.

ÖZET

Bu çalışmada, içerisinde EÜAŞ (Elektrik Üretim Anonim Şirketi) tarafından işletilen 8 tane termik santral bulunan Türkiye'deki 22 baralı 380 kV'luk güç sistemi için güç akışı analizi ve santrallerin en düşük maliyetle yük talebini karşılaması amacıyla ekonomik dağıtım analizi yapılmıştır. Ekonomik dağıtım analizi için ikinci derece gradient ve kayıplı ekonomik dağıtım olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yapılan tüm analizler, grafiksel kullanıcı arayüzü (GKA) oluşturularak farklı güç sistemleri için de kullanılabilir, MATLAB®'de geliştirilen yazılımlarla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları tablo ve grafiklerle verilmiştir. Analizlerde kullanılan tüm veriler TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) ve EÜAŞ 'tan alınmıştır.

Anahtar Kelimeler - Güç Akışı, Bara Admittans Matrisi, B Kayıp Katsayıları Matrisi, Ekonomik Dağıtım.

ECONOMIC DISPATCH ANALYSIS USING TWO DIFFERENT METHODS FOR 22-BUS 380-kV POWER SYSTEM IN TURKEY

ABSTRACT

In this paper, the power flow analysis and economic dispatch analysis for the purpose of supplying the load demand with minimum cost is made for 22-bus 380-kV power system in Turkey which consists of 8 thermal plants operated by EUAS (Electricity Generation Co. Inc.). Two different methods such as second order gradient and economic dispatch with losses are used for the economic dispatch analysis. Whole analysis made is implemented by the software using MATLAB® which can be used for different power systems by using the graphical user interface (GUI). The results of analysis are given in tables and figures. All data used for this analysis is taken from TEIAS (Transmission System Operator of Turkey) and EUAS.

Keywords: Power Flow, Bus Admittance Matrix, B Loss Coefficient Matrix, Economic Dispatch.

I. GİRİŞ

Kullanım kolaylığı, istenildiğinde diğer enerji türlerine dönüştürülebilmesi ve günlük hayattaki yaygın kullanımı nedeniyle, elektrik enerjisi tüketimi yıldan yıla artmış ve bugün elektrik enerjisinin

tüketimi ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önemli göstergelerinden biri olmuştur. Bu artan talebi en uygun şekilde karşılayabilmenin yolu, ileriye dönük planların önceden yapılmasıyla mümkündür. Bu Nedenle, elektrik enerji sistemlerinde güç akışı ve ekonomik dağıtım analizlerini uygulamanın önemi artmıştır. Bu yöntemlerin başarısı, mevcut sistemin istatistiksel verilerinin doğru ve düzenli tutulmasına bağlıdır [1].

Güç akışı yöntemiyle sistemin en uygun çalışma noktaları belirlenir, bu çözümden salınım barası haricindeki tüm bara gerilimlerinin genlikleri ve açıları bulunmaktadır. Daha sonra, sistemdeki hatlardan iletilen, aktif ve reaktif güçler ve hatlardaki kayıplar hesaplanmaktadır. Ekonomik dağıtımın amacı ise, en düşük maliyetle talep edilen enerjinin karşılanmasıdır. Böylece, güç sistemlerinde sermaye, kar olarak geri dönmektedir. Güç sisteminin tasarımı ve işletilmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda güç sistemlerinin, oluşturulan yazılımlarla simülasyonu yapılmaktadır.

Güç akışı ve ekonomik dağıtım analizleriyle ilgili olarak yapılan başlıca çalışmalar şunlardır: Tinney W.F. ve C.E. Hart tarafından yapılan çalışmada, daha önce yapılan güç akışı çözümlerine alternatif olarak daha az iterasyonda sonuca yakınsayan Newton yöntemi ve bu yöntemin çözümüne yer verilmiştir [2]. Hermann ve Tinney tarafından yapılan çalışmada, optimal güç akışı çözüm yöntemlerine değinilmiş gradient yöntemiyle problemlerin çözümüne yer verilmiştir [3]. Happ tarafından yapılan çalışmada, klasik ekonomik dağıtım yöntemi ve optimal ekonomik dağıtım yöntemleri karşılaştırılmıştır [4]. Rashed ve Kelly tarafından yapılan çalışmada, lagrange çarpanları, hessian ve jacobian matrisleri ile geliştirilen algoritmaya yer verilmiştir [5]. R. C. Burchett, H. H. Happ, D. R. Viearath ve K. A. Wirgau tarafından yapılan çalışmada optimal dağıtım için, güç akışı yönteminin uygulanmasına yer verilmiştir [6]. Lukman ve Blackburn tarafından yapılan çalışmada, güç sistemlerinde kayıpların minimuma indirilmesiyle ilgili çalışmalara yer vermiştir [7]. Zhiqiang Y., Zhijian H., Chuanwen J., tarafından yapılan çalışmada, istatistiksel çözümleri kullanılarak, ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı problemlerinin çözümüne yer verilmiştir [8].

Bu çalışmada, Türkiye'deki 380 kV'luk enerji iletim hatlarından meydana gelen EÜAŞ (Elektrik Üretim Anonim Şirketi)'a bağlı 8 tane termik santralden oluşan 22 baralı sistem için de güç akışı analizi yapılmış ve ekonomik dağıtım yöntemleri uygulanarak sistemin en düşük maliyetle, talebi karşılaması sağlanarak ekonomik dağıtım analizi sonuçları verilmiştir. Bütün bu çalışmalar, MATLAB®'da geliştirilen yazılımla gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım, grafiksel kullanıcı arayüzü (GKA) kullanılarak farklı güç sistemleri için güç akışı, ve ekonomik dağıtım analizleri yapabilmektedir.

2. GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

Güç akışı ile, mevcut sistemlerin en uygun çalışma noktaları belirlenir ve kurulacak yeni sistemlerin tasarlanması ve planlanması yapılır. Güç akışı çalışmalarından elde edilen temel veriler, her bir baradaki gerilimin genliği -açısı ve her bir hattaki aktif ve reaktif güçtür [9].

Güç akışı probleminin çözümünde baranın kendi ve karşılıklı admitanslarının oluşturduğu Y_{bara} ya da empedanslarının oluşturduğu Z_{bara} kullanılabilir. Bara admitans matrisinin elemanı, Y_{ij} şöyle ifade edilir:

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + j |Y_{ij}| \sin \theta_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (1)$$

P_i ve Q_i sisteme (i) barasından giren aktif ve reaktif güç olursa, (i) barasındaki gücün eşleniği :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i = V_i^* \sum_{n=1}^N Y_{in} V_n = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \angle (\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2)$$

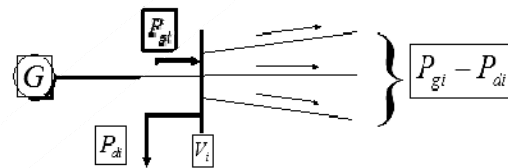
olarak tanımlanır. (2) eşitliği aktif ve reaktif kısımlarına ayrılırsa;

$$P_i = \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (3)$$

$$Q_i = -\sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (4)$$

olur. Bu eşitlikler, güç akışı eşitlikleri olarak adlandırılır [9].

Şekil 1'de P_{ibil} ve Q_{ibil} bilinen değerler, P_{gi} ve Q_{gi} (i) barasında üretilen ve P_{di} ve Q_{di} çekilen net güçleri göstermektedir. P_{hes} ve Q_{hes} (i) barasındaki hesaplanan güçlerdir. i. barasındaki aktif güç gösterimi de Şekil 1' deki gibidir [10].



Şekil 1. i Barasındaki Aktif Güç Gösterimi

Bu durumda, aktif ve reaktif güç ifadeleri şöyledir:

$$\Delta P_i = P_{i,bil} - P_{i,hes} = (P_{gi} - P_{di}) - P_{i,hes} \quad (5)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,bil} - Q_{i,hes} = (Q_{gi} - Q_{di}) - Q_{i,hes} \quad (6)$$

Güç akışında, sistemde üç çeşit bara tanımlanır. Her bir (i) barasında dört bilinmeyenden ikisi belirlenir ve kalan ikisi ise hesaplanır. Tanımlanan bara çeşitleri şunlardır:

1.Yük baraları: Üretim yapmayan baraya yük barası denir. Aktif güç P_{di} ve reaktif güç Q_{di} yük tarafından sistemden çekilmiştir. Pratikte genellikle yalnızca aktif güç bilinmekte, farz edilen 0,85 veya daha fazla güç faktörüne göre de reaktif güç hesaplanmaktadır. Yük barası P-Q barası olarak da adlandırılır.

2. Gerilim kontrollü baralar: Gerilim değerinin sabit tutulduğu bara gerilim kontrollü baradır. Üretimin bağlı bulunduğu herhangi bir barada gerilim sabitlenebilir. P-V barası olarak da adlandırılır.

3. Salınım barası: Sistemdeki net aktif ve reaktif gücü serbest bırakılan baradır. Gevşek ve referans bara olarak da adlandırılmaktadır. Salınım barasının genliği ve açısı önceden belirlenmektedir [9].

Newton Raphson Güç Akışı yönteminde, fonksiyonla ilişkilendirilmiş bağımsız değişken için hata düzeltilmesi yapılarak, fonksiyondaki düzeltme sıfıra götürülür. Hatanın sıfıra gitmesi için, fonksiyon x_0 civarında Taylor serisine açılır Newton Raphson güç akışı yönteminde (3) ve (4) eşitlikleri kullanılarak i. bara için ΔP_i ve ΔQ_i şöyle yazılır [11]:

$$\Delta P_i = P_{i,bil} - P_{i,hes} \quad (7)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,bil} - Q_{i,hes} \quad (8)$$

Eşitlikler N baralı bir sistem için genişletilirse şöyle olur:

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + |V_2| \frac{\partial P_i}{\partial |V_2|} \frac{\partial |V_2|}{\partial |V_2|} + \dots + |V_N| \frac{\partial P_i}{\partial |V_N|} \frac{\partial |V_N|}{\partial |V_N|} \quad (9)$$

Benzer şekilde reaktif güç için bu eşitlikler şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta Q_i = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + |V_2| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_2|} \frac{\partial |V_2|}{\partial |V_2|} + \dots + |V_N| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_N|} \frac{\partial |V_N|}{\partial |V_N|} \quad (10)$$

Birinci bara salınım barası olarak düşünülür ve (7), (8) ve (9), (10) eşitlikleri düzenlenirse Jakobian matrisi genel formuyla şu şekilde ifade edilir:

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Alt matrislerdeki $J_{11}, J_{12}, J_{21}, J_{22}$ elemanları şunlardır:

J_{11} :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^N |V_i| |y_{i,j}| |V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} = |V_i| |y_{i,k}| |V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,k}), k \neq i$$

J_{12} :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \sum_{j=1, j \neq i}^N |y_{i,j}| |V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j}) + 2|V_i| |y_{i,i}| \sin(-\theta_{i,i})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_k|} = |V_i| |y_{i,k}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,k}), k \neq i$$

J_{21} :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \sum_{j=1, j \neq i}^N |y_{i,j}| |V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} = -|V_i| |y_{i,k}| |V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,k}), k \neq i$$

J_{22} :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \sum_{j=1, j \neq i}^N |y_{i,j}| |V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,j}) + 2|V_i| |y_{i,i}| \cos(-\theta_{i,i})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_k|} = |V_i| |y_{i,k}| |V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{i,k}), k \neq i$$

3. TERMİK SANTRALLERDE EKONOMİK DAĞITIM

Sermayenin kar olarak geri dönebilmesi için güç sistemlerinde üretim birimlerinin ekonomik yüklenmesi oldukça önemlidir. Güç üretim ve dağıtımında ekonomik kullanım iki alt bölüme ayrılmaktadır. Bunlardan biri, ekonomik yüklenme diğeri ise minimum kayıptır [12]. Ekonomik dağıtımın amacı, üretilen enerjiyi eşitlik ve/veya eşitsizlik kısıtlamalarını da sağlayacak şekilde üretim birimleri arasında paylaşmaktır [13]. Sistemin toplam

maliyeti, her bir birimin maliyeti toplamına eşittir. Sistemde çıkış gücü toplamı talep edilen güce eşit olmak zorundadır.

3.1 Kayıpsız Durumdaki Dağıtım

Kayıplar olmadığı durumda problemin çözümünde kullanılan başlıca çözüm yöntemleri, lamda iterasyon yöntemi, birinci ve ikinci derece gradient yöntemleridir. Lamda iterasyon yöntemi ekonomik dağıtım yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde lambda bir Lagrange çarpanıdır ve kısıtlandırılmış optimizasyon probleminin çözümünde kullanılır. Birinci derece gradient yöntemi, maliyet fonksiyonlarının birinci derece türevlerine bağlı çözümleme yapan bir optimizasyon yöntemidir. İkinci derece gradient yöntemi ise ikinci derece türev fonksiyonlarını içerir. Bu çalışmada ikinci derece gradient yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem uygulanırken, öncelikle bütün gerilim kontrollü baralar için tahmini üretim değerleri seçilir ve üretim baralarından biri referans bara olarak alınır. Daha sonra, maliyet fonksiyonlarının birinci ve ikinci derece türevleri hesaplanır ve aşağıdaki matris formu oluşturulur:

$$\begin{bmatrix} F_1'' + F_x'' & F_x'' & \cdot & F_x'' \\ F_x'' & F_1'' + F_x'' & \cdot & F_x'' \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ F_x'' & \cdot & \cdot & F_N'' + F_x'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \cdot \\ \Delta P_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x' - F_1' \\ F_x' - F_2' \\ \cdot \\ F_x' - F_N' \end{bmatrix} \quad (12)$$

(12) denklemindeki F değerleri maliyet fonksiyonlarını göstermektedir. Bu denklemdeki matris eşitliğinde gösterilen değerler hesaplanıp yerine yazıldıktan sonra, ΔP değerleri bulunur. Bu değerler, toplam üretilen güçten çıkarılarak referans baranın fark (delta) üretim değeri hesaplanır. Son olarak, hesaplanan fark değerleri, tahmini bulunan değerlere eklenerek kayıpsız durum için ekonomik dağıtım gerçekleştirilir.

3.2 Kayıplı Durumdaki Dağıtım

Sınır denklemlerinin içine iletim kayıpları girdiğinde ekonomik yüklenme problemi daha da karmaşık bir şekle dönüşecektir. Maliyet fonksiyonu şöyledir:

$$\text{Min} F_T = F_1 + F_2 + \dots + F_N \quad (13)$$

Kısıt denklemi ise şu şekilde ifade edilebilir:

$$P_R + P_L - \sum_{i=1}^N P_i = \phi = 0 \quad (14)$$

Lagrange fonksiyonunun her bir güç çıkışına göre türevi alındığında, iletim şebekelerindeki kayıplar göz önünde bulundurulmalıdır. Kayıplar, şebeke empedansından ve şebekeden akan akımdan kaynaklanmaktadır. Lagrange fonksiyonunun her bir güç çıkışına göre türevi alındığında, N tane eşitlik oluşur. Bu N tane eşitlik, sınır denklemleriyle birleştirilse şu şekilde koordinasyon denklemleri oluşmaktadır:

$$\mathcal{L} = F_T + \lambda \Phi \quad (15)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \right) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} + \lambda \frac{dP_L}{dP_i} = \lambda \quad (17)$$

$$P_R + P_L - \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (18)$$

B Kayıp katsayıları matrisi hesaplanarak sistemdeki kayıplar hesaplanır. B matrisi kayıp formülü, kayıp ve artımsal kayıp hesaplamaları için kullanılır. B matrisi kayıp formülü için oluşturulan denklem aşağıdaki gibidir.

$$P_K = P^T [B] P + P^T B_0 + B_{00} \quad (19)$$

$$P_K = \sum_i \sum_j P_i B_{ij} P_j + \sum_i B_{i0} P_i + B_{00} \quad (20)$$

P: Bütün generatör baralarının MW olarak vektörü.

[B]= P ile aynı boyutta kare matris

B₀= P ile aynı uzunlukta olan vektör

B₀₀=Sabit

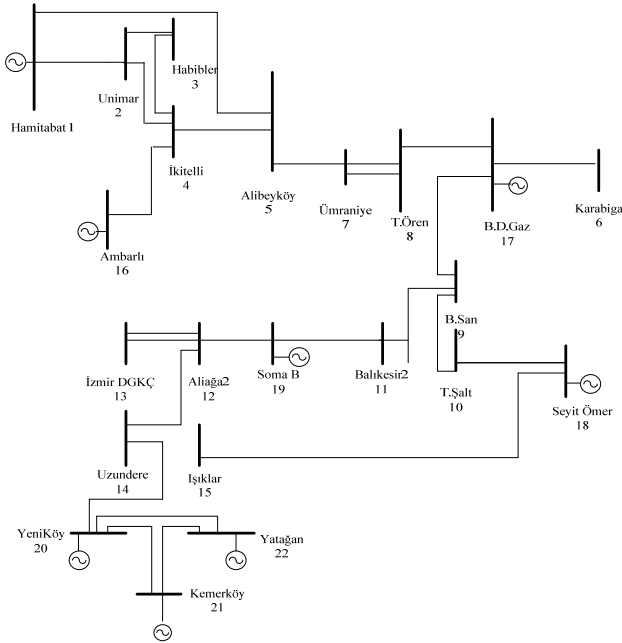
olur [17].

Hatlarda meydana gelen kayıplar I²R kullanılarak da hesaplanabilir. Fakat B kayıp katsayıları verilen generatör güçleri için, iletim kayıplarını hızlıca ele almaya imkan tanıyarak, optimizasyon için minimum kayıp miktarını hesaplamaya yardım eder [14].

4. SİSTEM VE PARAMETRELERİ

Sistem modeli Şekil 2'de gösterilmiştir. Sistem 22 baradan meydana gelmektedir. Bu baralardan 8 tanesi üretim barası ve 14 tanesinde yük barasıdır. Sistemin tepe yük değeri 4000 MW

olarak alınmıştır. Bu sistem için kullanılan baraların kodları ve isimleri Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye'deki 380 kV'luk 22 Baralı Sistem

Tablo 1. 22 Baralı Sistemin Bara Kodları ve İsimleri

Bara Kodu	Bara İsmi	Bara Kodu	Bara İsmi
1	Hamitabat	12	Aliğa II
2	Unimar	13	İzmir D
3	Habibler	14	Uzundere
4	İkitelli	15	Işıklar
5	Alibeyköy	16	Ambarlı
6	Karabiga	17	BursaGaz
7	Ümraniye	18	S.ömer
8	T.Ören	19	SomaB
9	Bursa San	20	Y.köy
10	S.Ömer	21	K.köy
11	BalıkesirII	22	Yatağan

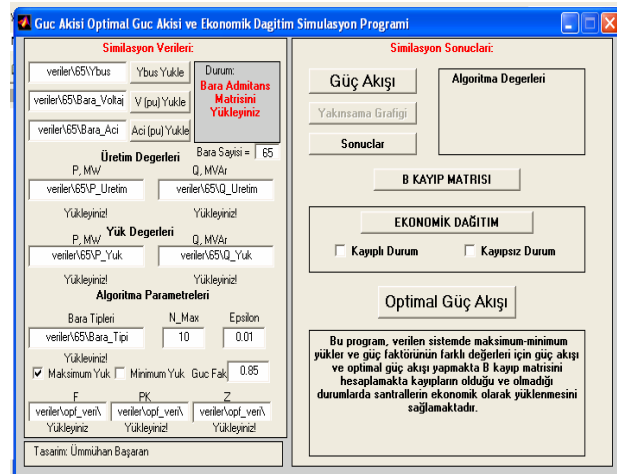
Oluşturulan sistemde bulunan 8 tane termik santral için EÜAŞ'tan alınan az sayıda artımsal yakıt maliyet değerleri kullanılarak MS Excel programında eğri uydurma yöntemiyle uygun maliyet eğrileri oluşturulmuştur [15-16]. Sistemde bulunan üretim birimleri, bu birimlerin maliyet eğrileri ve alınan minimum-maksimum güç değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Üretim Birimlerinin Maliyet Fonksiyonu ve Limit Değerleri

Santraller	Maliyet Fonksiyonu (\$/h)	Santrallerin Limit Değerleri (MW)
Hamitabat	$0.0168P_1^2 + 7.0663P_1 + 6595.5$	$190 \leq P_1 \leq 1120$
BursaDGaz	$0.0106P_3^2 + 5.682P_3 + 6780.5$	$318 \leq P_3 \leq 1432$
Ambarlı	$0.0127P_2^2 + 7.2592P_2 + 7290.6$	$245 \leq P_2 \leq 1350$
Seyitömer	$0.0139P_4^2 + 3.1288P_4 + 1564.4$	$150 \leq P_4 \leq 600$
SomaB	$0.0168P_5^2 + 6.2232P_5 + 5134.1$	$210 \leq P_5 \leq 990$
Yeniköy	$0.021P_6^2 + 3.3128P_6 + 1159.5$	$110 \leq P_6 \leq 420$
Kemerköy	$0.0137P_7^2 + 3.2324P_7 + 1697$	$140 \leq P_7 \leq 630$
Yatağan	$0.0147P_8^2 + 3.472P_8 + 1822.8$	$140 \leq P_8 \leq 630$

5. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Program için Şekil 3'te gösterildiği gibi MATLAB®'da bir arayüz tasarlanmış ve öncelikle sistem girdileri programa yüklenmiştir. Gücün baz değeri, 100 MVA olarak alınmıştır. Arayüz simülasyon verileri ve simülasyon sonuçları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sistemin verileri; bara admitans matrisi, bara gerilimlerinin genlikleri-açıları, aktif, reaktif güç üretim değerleri, her bir baranın çektiği aktif ve reaktif yükler, bara tipleri, üretim birimlerinin maliyet eğrileri ve sınır güçleri ve en yüksek iterasyon sayısıdır. Simülasyon verileri daha önceden oluşturulan veriler klasörüne kaydedilmektedir.



Şekil 3. Güç Akışı, Optimal Güç Akışı, Ekonomik Dağıtım Programlarının Arayüzü

Simülasyon sonuçları kısmında, güç akışı çalıştırılarak, algoritma değerlerinde programın her iterasyon sonucunda yakınsama değerleri gösterilmektedir. Yakınsama grafiğine basıldığında, güç akışı programları için yakınsama grafikleri çizilmektedir. Programın sonuçları matlab ekranında gösterilmektedir. Program farklı güç faktörü değerleri ve minimum-maksimum yük durumunda güç akışı yapabilmektedir. Aynı zamanda, sistemde kayıplar olduğu ve olmadığı durumlarda santrallerin ekonomik olarak yüklenmesi sağlanmaktadır.

yüklenmesini sağlayarak sistemin minimum üretim maliyetini hesaplayabilmektedir.

5.1. Kayıpsız Durumda Ekonomik Dağıtım Analizi

İlk olarak santrallerin her birinin üretim değerleri şu şekilde seçilmiştir:

Tablo 3. Santrallerin Başlangıçta Seçilen Güç Değerleri

Sant. Adı	Üretilen Güç (MW)	Sant. Adı	Üretilen Güç (MW)
Hamitabat	720	SomaB	350
Ambarlı	680	Y.köy	360
BursaGaz	650	K.Köy	440
Seyitömer	400	Yatağan	400

Santraller, bu üretim değerlerinde yüklendiğinde sistemin üretim maliyeti; 84263 \$ olarak hesaplanmıştır. İkinci Derece Gradient Yöntemi uygulandıktan sonra, santrallerin üretim değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Santraller bu güçlerde yüklendiğinde, bu santrallerin çekilen yük değerinde, toplam üretim maliyeti 80533\$ olmaktadır. Bu değer, verilen ilk değerlerle kıyaslandığında sistemin maliyetinin 3730 \$ azaldığı görülmüştür.

Tablo 4. Santrallerin Yüklendikleri Güçler

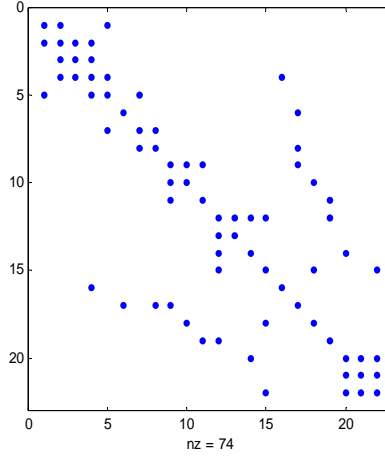
Sant. Adı	Üretilen Güç (MW)	Sant. Adı	Üretilen Güç (MW)
Hamitabat	368.7489	SomaB	393.3682
Ambarlı	480.1993	Y.köy	384.3682
BursaGaz	649.7294	K.Köy	592.1118
Seyitömer	587.3188	Yatağan	543.6824

5.2. Kayıplı Durumda Ekonomik Dağıtım Analizi

R,X,B/2 değerleri kullanılarak, 22 baralı sisteme ait bara admitans matrisi oluşturulmuştur. Bu matris 22x22 boyutundadır. Şekil 4'te bara admitans matrisinin sıfırdan farklı elemanlarının bulunduğu noktalar gösterilmiştir. Sisteme ait özellikler Tablo 4'de verilmiştir.

ΔP ve ΔQ değerleri için programın yakınsama grafiği Şekil5'te ve program sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir.

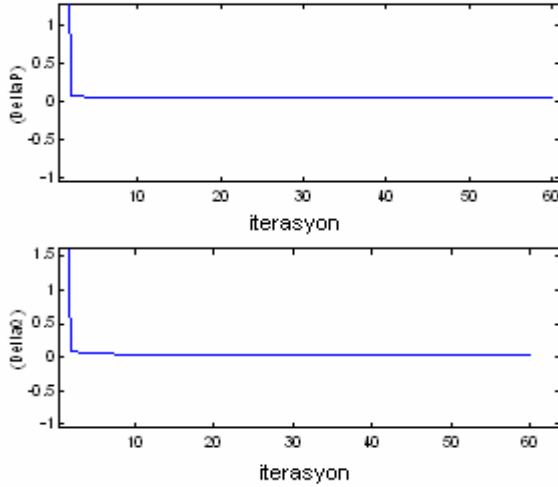
Programın sonucunda, üretilen toplam aktif güç 4127.27003 MW ve toplam yük miktarı, 4000.030 MW olarak hesaplanmıştır. Bu durumda sistemdeki toplam kayıp miktarı 127.240035 MW'dır. Güç akışı analizi sonuçları kullanılarak sistemin B kayıp katsayıları hesaplanmış ve MATLAB® da yazılan program yardımıyla santraller ekonomik olarak yüklenmiştir. Ekonomik Dağıtım Analizinin akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Bara Admitans Matrisinin Sıfırdan Farklı Noktaları

Tablo 5. 22 Baralı Sistemin Özellikleri

Bara Adı	Bara Tipi	Ger. Gen.(V)	Açı	Yük		Üretim	
				P _{yük} (MW)	Q _{yük} (MVA _r)	P MW	Q MVA _r
1	Salınım B.	1.015	0	0	0	0	0
2	Yük B.	1	0	0	0	0	0
3	Yük B.	1	0	236	146.25	0	0
4	Yük B.	1	0	433	268.34	0	0
5	Yük B.	1	0	236	146.259	0	0
6	Yük B.	1	0	0	0	0	0
7	Yük B.	1	0	172.8	107.2	0	0
8	Yük B.	1	0	264.63	163.6	0	0
9	Yük B.	1	0	304	188.4	0	0
10	Yük B.	1	0	141	87.38	0	0
11	Yük B.	1	0	205	127.04	0	0
12	Yük B.	1	0	277.2	171.66	0	0
13	Yük B.	1	0	248.7	153.69	0	0
14	Yük B.	1	0	292	180.96	0	0
15	Yük B.	1	0	229	141.92	0	0
16	Ger.K. B.	1.015	0	0	0	680	0
17	Ger. K. B.	1.0172	0	0	0	601	0
18	Ger. K. B.	1.0111	0	204	126.4	430	0
19	Ger. K. B.	1.017	0	178.1	110.3	530	0
20	Ger. K. B.	1.012	0	215.9	133	390	0
21	Ger. K. B.	1.012	0	18	11.15	520	0
22	Ger. K. B.	1.0251	0	344.7	213.2	490	0



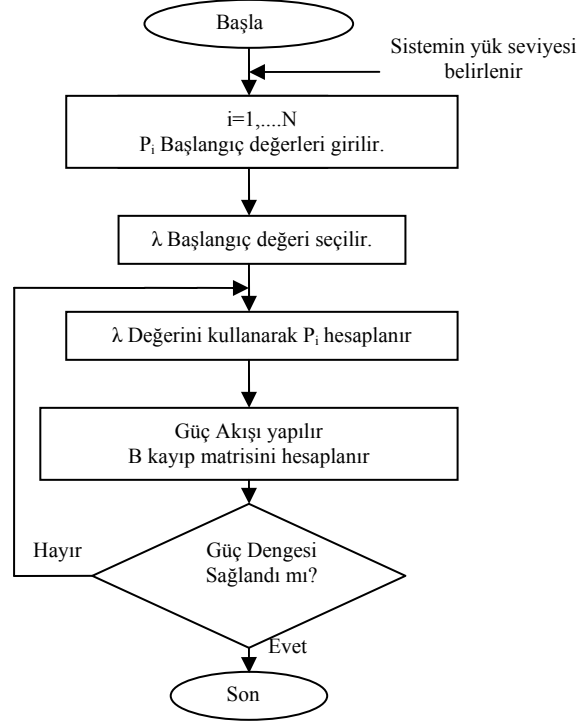
Şekil 5. ΔP ve ΔQ Değerlerinin Yakınsama Grafiği

Programın sonucunda, üretilen toplam aktif güç 4127.27003 MW ve toplam yük miktarı, 4000.030 MW olarak hesaplanmıştır. Bu durumda sistemdeki toplam kayıp miktarı 127.240035 MW'dır. Güç akışı analizi sonuçları kullanılarak sistemin B kayıp katsayıları hesaplanmış ve MATLAB® da yazılan program yardımıyla santraller ekonomik olarak yüklenmiştir. Ekonomik Dağıtım Analizinin akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.

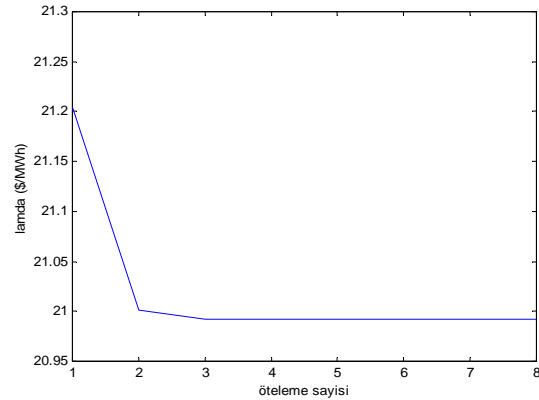
Tablo 6. 22 Baralı Sistemin Güç Akışı Sonuçları

Bara No	Bara Gerilimi (pu)	Bara Açısı (pu)	P Üretim (MW)	Q Üretim (MVar)
1	1.01500	0.00000	466.2700	64.2453
2	1.00285	-1.8792	0.00000	0.00000
3	0.99061	-2.8574	0.00000	0.00000
4	0.99354	-2.5062	0.00000	0.00000
5	0.98713	-2.9217	0.00000	0.00000
6	1.03467	2.87973	0.00000	0.00000
7	0.97638	-3.4697	0.00000	0.00000
8	0.97473	-3.3879	0.00000	0.00000
9	1.00978	2.39910	0.00000	0.00000
10	1.00626	2.93105	0.00000	0.00000
11	1.00460	1.85364	0.00000	0.00000
12	0.97667	1.38559	0.00000	0.00000
13	0.97646	1.36569	0.00000	0.00000
14	0.97215	2.28022	0.00000	0.00000
15	0.98854	2.63408	0.00000	0.00000
16	1.01500	-0.7424	680.0000	366.131
17	1.01720	2.96440	601.0000	120.823
18	1.01117	3.89522	430.0000	110.656
19	1.01700	3.12377	530.0000	350.420
20	1.01200	9.20447	390.0000	77.7127
21	1.01200	9.73322	520.0000	-181.48
22	1.02510	8.65977	490.0000	408.333

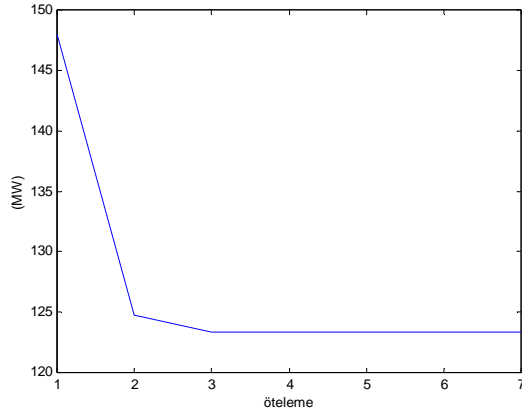
Şekil 7'de iterasyonlar sonucu sistemin artımsal yakıt maliyeti değerinin değişimi gösterilmiştir. Burada, sistemin 7. iterasyon sonucunda dengeye ulaştığı ($\epsilon=10^{-6}$) görülmüştür. Bu denge anında sistemin artan yakıt maliyeti değeri, 21.0444 \$/MWh olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Ekonomik Dağıtım Analizinin Akış Diyagramı



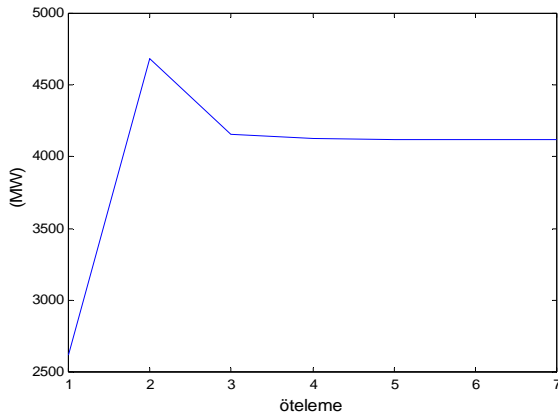
Şekil 7. Sistemin λ Değerinin İterasyon Sayısına Göre Değişimi



Şekil 8. Sistemdeki Kayıp Miktarının İterasyon Sayısına Göre Değişimi

Şekil 8'de iterasyonlar sonucu sistemin kayıp miktarının değişimi gösterilmiştir. Burada, sistemde ilk durumda 147.99 MW olan kayıp miktarının iterasyonlarla birlikte azaldığı ve denge durumunda 123.3359 MW değerine indiği görülmüştür. Kayıpların azalmasına bağlı olarak iterasyonlar sonucu sistemdeki toplam üretilen gücün değiştiği görülmüştür. Buna bağlı olarak da her iterasyonda santrallerin de çıkış güçleri değişmiştir.

Şekil 9'da toplam üretilen gücün iterasyonlar sonucu değişimi grafiklerle gösterilmiştir. Buna bağlı olarak birinci iterasyon sonunda 95188 \$ olan üretim maliyetinin 11864 \$ azalarak denge durumunda 83324 \$ olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Sistemdeki Toplam Güç Miktarının İterasyon Sayısına Göre Değişimi

Santrallerin çıkış güçleri ve ceza (penaltı) faktörü değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Hamitabat ve Ambarlı termik santrallerinde ceza faktörü 1'in üstünde diğer

birimlerde ise 1'in altındadır. Ceza faktörünün 1 değerinden büyük olması üretilen güce karşılık, kayıp miktarının arttığını göstermektedir.

Tablo 6. Santrallerin Yüklendikleri Güçler ve ceza (penaltı) faktörü değerleri

Santralin Adı	Üretilen Güç (MW)	Ceza Faktörü	Santralin Adı	Üretilen Güç (MW)	Ceza Faktörü
Hamitabat	447.2240	1.0767	SomaB	383.4078	0.9361
Ambarlı	604.4796	1.0825	Y.köy	360.7573	0.9150
BursaD.G.	683.6929	0.9704	K.Köy	587.4598	0.9191
Seyitömer	580.5828	0.9347	Yatağan	475.7339	0.9097

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'deki termik santrallerden oluşan 22 baralı güç sistemi ele alınarak, bu sistemde kayıpsız ve kayıplı durum için ekonomik dağıtım analizi yapılmıştır. Güç akışı çalışmalarında Newton Raphson yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni, büyük sistemlerde daha az adımda sonuca ulaşmasıdır. Programlarda genellikle 60 iterasyon sonucunda ϵ değerine yakınsama sağlanmıştır. Ekonomik dağıtımın yapılması sonucunda, kayıplar hesaba katıldığında üretim maliyetinin arttığı görülmüştür. Kayıplar olduğu durumlarda, her iterasyon sonucunda artan yakıt maliyeti, kayıp miktarı, sistemdeki toplam güç, her santralin çıkış gücü ve sistemin toplam maliyetinin değişimi grafiklerle gösterilmiştir. Ekonomik dağıtımlar sonucunda, maliyeti düşük olan santraller Seyitömer, Yeniköy, Kemerköy ve Yatağan yükten daha fazla pay almışlar ve böylece sistemin maliyeti azaltmışlardır.

Sonuç olarak, artan elektrik enerjisi talebini en uygun şekilde karşılayabilmek için yapılacak planlama çalışmalarında güç akışı ve ekonomik dağıtım analizlerinin 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 Kurban M. ve Başaran Ü., Türkiye'deki 380 kV'luk 65 Baralı Güç Sisteminde Farklı Güç Faktörlü Güç Akışı Analizleri, *EVK'2005, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, (2005).
- 2 Tinney W. F. and Hart C.E., Power Flow Solution by Newton's Method, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 86, (1967)

- 3 Dommel H. W. and Tinney W. F., Optimal Power Flow Solutions, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 87, (1968)
- 4 Burchett R.C., Happ H.H., Viearath D.R. and Wirgau K.A., Developments in Optimal Power Flow, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 101, (1982)
- 5 Happ H.H., Optimal Power Dispatch- A Comprehensive Survey, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 96, (1977)
- 6 Burchett R.C., Happ H.H., Viearath D.R. and Wirgau K.A., Developments in Optimal Power Flow, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 101, (1982)
- 7 Lukman D. and Blackburn T.R., Modified algorithm of load flow simulation for loss minimization in power systems, Australian Universities Power Engineering Conference, Curtin University, (2001).
- 8 Zhiqiang Y., Zhijian H., and Chuanwen J., Economic Dispatch and Optimal Power Flow Based on Chaotic Optimization, *Power System Technology PowerCon*, (2002).
- 9 Grainger J.J. and Stevenson W.D., Power system analysis, McGraw-Hill International Editions, Newyork, USA (1994).
- 10 Wood J. and Wollenberg B., Power generation, operation and control, Wiley Interscience Publication, Newyork, USA (1996).
- 11 Stevenson G.W., Elements of power system analysis, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo (1975).
- 12 Sullivan R.L., Power system planning, McGraw-Hill International Book Company, USA (1985).
- 13 Arrilaga J. and Arnold C. P., Computer Modelling of electrical power system, John Wiley & Sons, Newyork, USA (1991).
- 14 Abido M.A., Environmental/Economic Power Dispatch Using Multiobjective Evolutionary Algorithms, IEEE Trans. on Power Systems, 18, (2003).
- 15 TEK, Türkiye ulusal elektrik ağındaki havai hatların, generatör ve trafoların elektriki karakteristikleri,” İletim şebeke işletme dairesi başkanlığı, Sistem araştırma ve kontrol müdürlüğü, (1981).
- 16 Santraller Enformasyon ve Değerlendirme Müdürlüğü, 2002 Yıllık Faaliyet Raporu, Termik Santraller ve Maden Sahaları Daire Başkanlığı, Ankara, (2002).