

## Güç Sistemlerinde Aktif Güç Kaybının Optimizasyonu Optimization of the Active Power Loss in Power Systems

Volkan Yamaçlı<sup>1</sup>, Kadir Abacı<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi  
vyamacli@gmail.com, kabaci@mersin.edu.tr

### Özet

*Bu çalışma, YAK (Yapay Arı Kolonisi) sezgisel optimizasyon algoritması ve FACTS cihazlarından biri olan statik var kompanzatör (SVC) cihazını kullanarak enerji tasarrufu amacıyla enerji iletim sistemlerinde toplam aktif güç kaybının optimize edilmesini konu almaktadır. Sezgisel algoritmalar yaklaşım metoduyla çözüme varan klasik ve nümerik algoritmalarla göre, Lagrange ve Newton gibi, daha hızlı ve daha verimli sonuç elde edebilmektedir. Bunun yanında SVC kullanarak voltaj profili ve dolayısıyla sistemin kararlılığının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, 22-baralı Türkiye güç sistemini simüle ve optimize etmek için MATLAB m-file kullanılarak oluşturulan YAK algoritması kullanılmıştır. FACTS cihazı içeren ve içermeyen sistemler için sonuçlar karşılaştırılmış ve sunulmuştur.*

### Abstract

*This work focuses on optimizing the active power loss of the transmission lines in order to save energy by using heuristic Artificial Bee Colony Algorithm and SVC device which is one of the FACTS devices used in literature. Heuristic algorithms are better than those other numeric iterative methods such as Lagrange and Newton when compared. Addition to this, it is intended to improve voltage profile so the system stability by including SVC devices. In this work, the ABC algorithm coded in MATLAB m-file is used to optimize the total power loss of the 22-bus Turkey power system. The optimization results for the normal system and the system integrated with FACTS devices are compared and presented.*

### 1. Giriş

Optimal güç akışı, güç sistemlerinin doğrusal olmayan kısıtlı ve bazen birleşik optimizasyon sorunlarından biridir. Bu tür sorunların çözümü için çeşitli algoritmalar literatürde yer almaktadır. Optimal güç akışı problemi Carpentier'den bu yana sürekli geliştirilmiştir 1962 [1].

Bu çok boyutlu, doğrusal olmayan matematiksel programlama problemini çözmek için verimli algoritmalar geliştirmek yıllar almıştır. Birçok farklı matematiksel yaklaşım literatüre denenmiş ve sunulmuştur [2]. Literatürde, sistemin aktif güç kaybını azaltmak amacıyla yapılan optimizasyon çalışmaları güç sistemlerinde en yaygın problemlerden biridir. Bazı

durumlarda toplam güç kaybı, sistemin üretim maliyetinde artış olmasına rağmen azaltılmaktadır. Günümüzde yeraltı kaynakları tükenme eğilimindedir ve bu nedenle güç sistemlerindeki toplam güç kaybını en aza indirmek için, güç kaybının optimizasyonu önemli bir yer tutmaya başlamıştır.

Çeşitli matematiksel yöntemler ve doğa temelli yapay algoritmalar güç akışı problemleri toplam üretim maliyetini azaltmak için kullanılır, dolayısıyla bu yöntemler güç kaybını en aza indirmek için de güç akışı problemlerine uygulanabilirler. Diferansiyel Gelişim [3], Yapay Arı Kolonisi [4], Parçacık Sürü Optimizasyonu [5], Genetik Algoritma [6] optimal güç akışı çözümü ve toplam güç kaybını optimize etmek amacıyla literatürde kullanılmaktadır.

Bunun yanında, literatürde FACTS cihazları olarak adlandırılan, eklendiği baraya reaktif güç enjekte ederek veya baradan reaktif güç çekerek gerilim profilini dolayısıyla sistemin kararlılığı iyileştiren güç elektroniği elemanları kullanılmaktadır. Bu cihazlardan baraya şönt olarak kullanılan statik var kompanzatör (SVC) cihazı en kolay adapte edilebilen ve en çok kullanılan elemanlardandır.

Bu çalışmada Şekil 3'de verilen 22-baralı Türkiye güç sisteminin aktif güç kaybı, sisteme SVC cihazlarını ekleyerek ve sezgisel YAK algoritması kullanılarak optimize edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde hem YAK algoritmasının verimliliği hem de sisteme SVC cihazı eklenmesinin yaptığı olumlu etkiler dolayısıyla optimizasyon çalışmasının başarıyla gerçekleştirildiği görülmektedir.

### 2. Güç Akışı Analizi

#### 2.1. Güç Akışı

Bir güç sistemine uygulanan güç akışı probleminde, yük baralarının gerilim değerleri ile generatörlerin gerçek ve reaktif güç değerleri güç akışı analizi ile aranmaktadır.

Sistem denklemleri çeşitli biçimlerde formüle edilebilir. Ancak genellikle güç sistemlerinin analizi için en uygun olacak biçimde düğüm gerilim yöntemi kullanılır. Düğüm akımları belirlendiğinde, güç sisteminin lineer denklem kümesi düğüm gerilimleri [7] ile çözülebilir.

Fakat bir güç sisteminde düğüm akımları bilinmemektedir. Bu nedenle düğüm denklemlerinin bara admitans matrisi kullanılarak oluşturulması gerekmektedir.

$$[I_{BARA}] = [Y_{BARA}][V_{BARA}] \quad (1)$$

## 2.2. Newton-Raphson Metodu

Newton-Raphson yöntemi iteratif bir biçimde çalışan, en yaygın güç akışı çözüm yöntemlerinden biridir. Bu yöntem Taylor serisi açılımı dayanan ve kısa sürede çözüme iyi derecede yaklaşan klasik bir yöntemidir.

Bara değişkenleri; n toplam bara sayısı, i ve j bara numaraları olarak belirtilmektedir [2].

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2)$$

Aktif ve reaktif güç denklemleri ise (3) ve (4) numaralı eşitliklerde;  $\theta_{ij}$ ,  $\delta_i$  ve  $\delta_j$  sırasıyla  $Y_{ij}$ ,  $V_i$  ve  $V_j$  sistem değişkenlerinin açısı olarak belirtilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

Newton-Raphson iteratif yöntemi ile işlenen ve kullanılan temel denklem sistemi ise (5) ile verilen,  $B=J \times X$  denklemidir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (5)$$

Burada J1, J2, J3 ve J4 J-jacobian matrisinin alt matrisleridir. B,  $\Delta P$  ve  $\Delta Q$ 'nun; X ise  $\Delta \delta$  ve  $\Delta V$ 'nin matrisleridir.

J-jacobian matrisinin köşegen ve köşegen olmayan elemanları [7],

$$J_{1,d} = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.1)$$

$$J_{1,off-d} = -|Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

$$J_{2,d} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.2)$$

$$J_{2,off-d} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

$$J_{3,d} = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.3)$$

$$J_{3,off-d} = -|Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

$$J_{4,d} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.4)$$

$$J_{4,off-d} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

B ve X matrislerinin elemanları ise,

$$\begin{aligned} \Delta P_i^{(k+1)} &= P_i^{(k+1)} - P_i^k \\ \Delta Q_i^{(k+1)} &= Q_i^{(k+1)} - Q_i^k \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta \delta_i^{(k+1)} &= \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^k \\ \Delta V_i^{(k+1)} &= V_i^{(k+1)} - V_i^k \end{aligned} \quad (8)$$

olarak belirlenir.

$\Delta \delta$  ve  $\Delta V$ 'nin başlangıç değerleri genellikle kullanıcı tarafından belirlenerek sırasıyla 0 ve 1 olarak atanır. Newton-Raphson algoritması (5) ile verilen eşitlikteki  $\Delta P$  ve  $\Delta Q$  elemanlarının belirlenen bir hata değerine yaklaşmasına kadar devam eder. Hata değeri genellikle  $10^{-6}$  olarak seçilmektedir.

## 2.3. SVC Cihazının Algoritmaya Eklenmesi

Statik var kompatör (SVC) cihazının değişken parametresi BSVC'dir ve cihazın o anda ürettiği veya çektiği reaktif güç değerine karşılık gelen admitans değerini ifade etmektedir. Cihazın sağlandığı baraya enjekte ettiği güç değeri, V baranın gerilimi olmak üzere

$$Q_{SVC} = -|V|^2 B_{SVC} \quad (9)$$

ile ifade edilir. Bu eşitlik türevsel bir ifade olacak biçimde güç akışı denkleminde (5) ile verilen jacobian matrisinin en alt satırına eklenmektedir. SVC cihazının parametresi de matrise eklendikten sonra aşağıdaki genel form elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta Q_{SVC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \\ 0 & J5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \\ \Delta B_{SVC} \end{bmatrix} \quad (10)$$

## 3. Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri

Doğrusal olmayan sistemlerin optimizasyonu matematik ve mühendislik alanında zor bir problemdir. Klasik matematiksel metotlar kullanarak doğrusal olmayan ve çok boyutlu bir sistemin maksimum ve minimum noktalarını kesin olarak tahmin etmek zahmetlidir. Dolayısıyla, sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanarak bu tip sistemlerin maksimum ve minimum yaklaşımları çok daha hızlı ve ideal bir biçimde yapılabilir.

### 3.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması, Derviş Karaboğa [8] tarafından 2005 yılında bal arılarının davranışlarını temel alarak ortaya atılan sezgisel bir algoritmadır. Bu metot diferansiyel gelişim ve parçacık sürü optimizasyonu gibi basit ve anlaşılırdır [9].

YAK; diferansiyel gelişim, parçacık sürü optimizasyonu ve diğer birçok sezgisel algorithmada olduğu gibi, başlangıç popülasyonunun üretilmesi, en iyi sonuç yani lokal minimum değeri için amaç fonksiyonu ile sıranması ve global minimum değere yakınsaması gibi aynı veya çok benzer prosedürü izlemektedir fakat buna ek olarak geliştirilemeyen yiyecek kaynağının terk edilmesi özelliğine de sahiptir.

Yapay arı kolonisi algoritmasında rastgele veya bir önceki iterasyondaki değere bağlı olarak bulunan parametreler Newton-Raphson güç akışı yöntemi ile birlikte kullanılmış yani salınım barasının aktif güç üretim değeri hesaplanmış ve

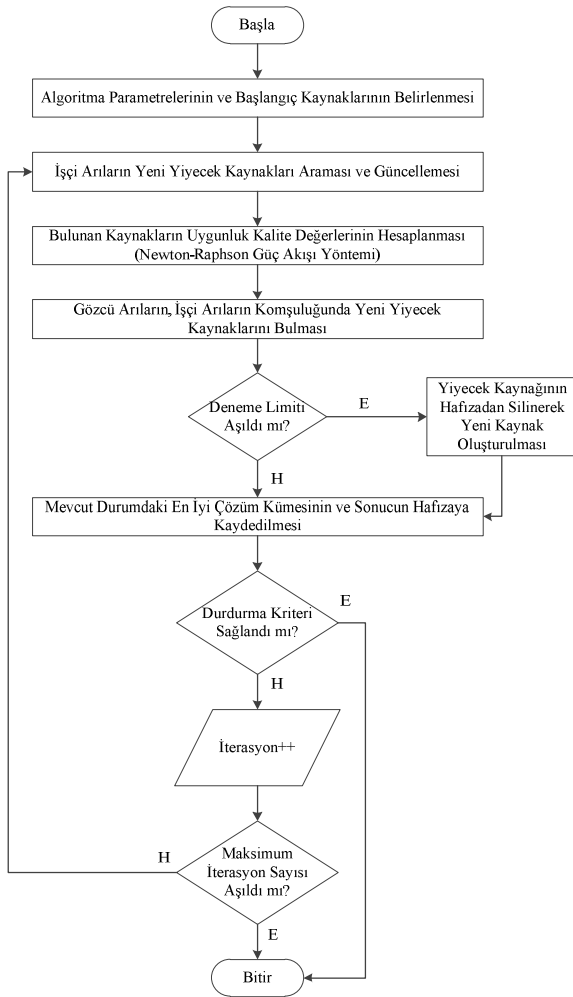
sistemin aktif güç kaybı bu biçimde hesaplanmıştır. Yani YAK algoritması Newton-Raphson güç akışı yöntemi ile birlikte entegre biçimde kullanılmıştır.

Algoritmanın yiyecek kaynakları, işçi arıların sayısı ve gözcü arıların sayısı sırasıyla 10, 20, 20 olarak seçilmiştir. Algoritmanın akış diyagramı Şekil 1 ile verilmiştir.

YAK algoritmasında kullanılan; başlangıç popülasyonu üretme ve yeni popülasyon üretme ve denklemleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$x_{ij} = x_{\min}^j + rand(x_{\max}^j - x_{\min}^j) \quad (11)$$

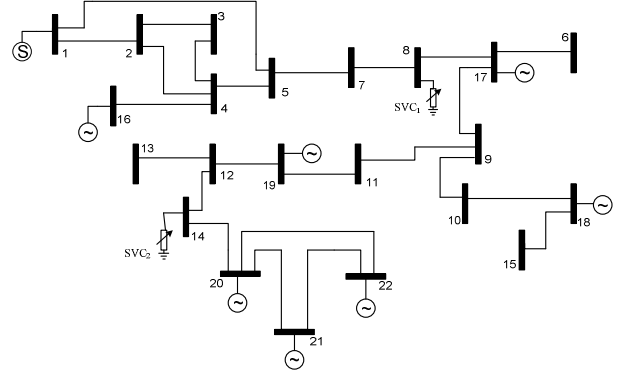
$$v_{ij} = x_{ij} + r_{ij}(x_{ij} - x_{hj}) \quad h \neq i \quad (12)$$



Şekil 1: Newton-Raphson güç akışı yöntemi ile entegre olarak kullanılan yapay arı kolonisi algoritmasının akış diyagramı

#### 4. Bulgular

Şekil 2 ile verilen 22-baralı Türkiye güç sistemindeki aktif güç kayıpları SVC eklenmiş sistemde YAK algoritmasının MATLAB ortamında m-file olarak kullanılması ile optimize edilmiştir.



Şekil 2: 22-baralı Türkiye güç sistemi [10,11]

Sistemin generatör sınır koşulları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Sistemin Generatör Sınır Koşulları

| Parametreler (p.u) | P <sub>min</sub> | P <sub>max</sub> | V <sub>min</sub> | V <sub>max</sub> |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P <sub>1</sub>     | 1.50             | 4.50             | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>16</sub>    | 2.45             | 13.50            | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>17</sub>    | 3.18             | 14.32            | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>18</sub>    | 1.50             | 6.00             | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>19</sub>    | 2.10             | 9.90             | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>20</sub>    | 1.10             | 4.20             | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>21</sub>    | 1.40             | 6.30             | 0.95             | 1.05             |
| P <sub>22</sub>    | 1.40             | 6.30             | 0.95             | 1.05             |

Simülasyon sonuçları Çizelge 2, Şekil 3 ve Şekil 4 ile verilmiştir. Bu bulgular incelendiğinde aktif güç kaybının ideal bir biçimde ideal bir şekilde minimize edilebilmektedir.

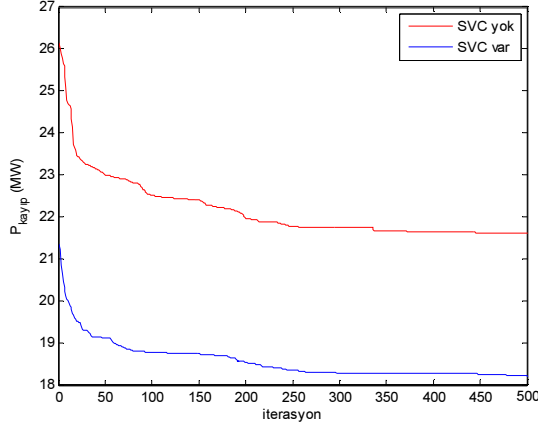
Şekil 3'de görüldüğü üzere sisteme SVC cihazı eklendikten sonra aktif güç kaybının kayda değer bir biçimde düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca SVC içermeyen ve SVC içeren sistemin aktif güç kayıplarının toplam aktif talep gücüne oranı sırasıyla  $53^{10-4}$  ve  $45^{10-4}$ 'dür.

Şekil 4 incelendiğinde ise, sisteme SVC cihazının eklenmesinin voltaj profiline de olumlu biçimde etki ettiği ve eklendikleri bara gerilimlerini 1 p.u değerine çektiği görülebilmektedir. Ayrıca tüm bara gerilimleri incelenirse, sisteme eklenen iki SVC cihazının tüm baraların gerilim değerlerine olumlu etki yaptığı tespit edilebilmektedir.

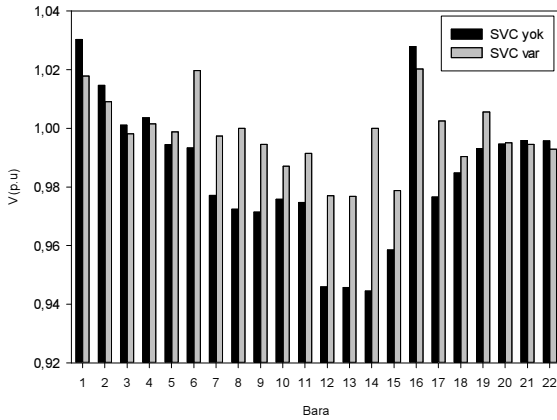
Çizelge 2: Yapay arı kolonisi algoritması ile aktif güç optimizasyonu sonuçları

| Parametreler (p.u) | Normal Sistem | SVC İçeren Sistem |
|--------------------|---------------|-------------------|
| P <sub>1</sub>     | 3.7614        | 3.5988            |
| P <sub>16</sub>    | 8.1430        | 8.1183            |
| P <sub>17</sub>    | 4.9349        | 5.4260            |
| P <sub>18</sub>    | 4.4888        | 4.2576            |
| P <sub>19</sub>    | 7.2805        | 7.3597            |
| P <sub>20</sub>    | 4.2000        | 3.0787            |
| P <sub>21</sub>    | 3.9645        | 2.0429            |
| P <sub>22</sub>    | 3.4431        | 6.3000            |
| V <sub>1</sub>     | 1.0303        | 1.0178            |
| V <sub>16</sub>    | 1.0279        | 1.0202            |

|             |               |               |
|-------------|---------------|---------------|
| $V_{17}$    | 0.9765        | 1.0025        |
| $V_{18}$    | 0.9848        | 0.9903        |
| $V_{19}$    | 0.9931        | 1.0055        |
| $V_{20}$    | 0.9946        | 0.9950        |
| $V_{21}$    | 0.9958        | 0.9945        |
| $V_{22}$    | 0.9957        | 0.9929        |
| $B_{SVC8}$  | -             | 2.0840        |
| $B_{SVC14}$ | -             | 3.5976        |
| $P_{kayıp}$ | <b>0.2126</b> | <b>0.1821</b> |



Şekil 3: Aktif güç kaybının yapay arı kolonisi algoritması ile optimizasyonu



Şekil 4: Optimizasyon sonrası bara gerilim değerleri

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye 22 baralı güç sisteminin aktif güç kaybı, statik var kompanzator cihazı da kullanılarak, yapay arı kolonisi algoritması ile optimize edilmiştir.

Aktif güç kaybının toplam talep gücüne olan oranı incelendiğinde yapay arı kolonisi algoritmasının verimli bir biçimde işlediği sonucuna varılabilmektedir. Ayrıca sisteme eklenen SVC cihazlarının hem güç kaybını hem de gerilim profilini iyileştirmesi bakımından gayet olumlu etki gösterdiği yapay arı kolonisi algoritması ile de uyumlu bir biçimde çalışabildiği tespit edilmiştir.

Dolayısıyla sezgisel optimizasyon metodlarının mühendislik alanındaki birçok problemde olduğu gibi güç sistemlerindeki doğrusal olmayan ve çok boyutlu optimizasyon problemlerine de uygulanabileceği görülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- [1] AlRashidi, M.R. and El-Hawary, M.E., "Hybrid Particle Swarm Optimization Approach for Solving Discrete OPF Problem Considering the Valve Loading Effects," IEEE Trans. on Power Systems, 22, 2030–2038, 2007.
- [2] Leeton, U., Uthitsinthorn, D., Kwannetr, U., Sinsuphun, N. and Kulwirawanichpong, T., "Power Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Particle Swarm Optimization," ETI-CON 2010 Int. Conference, 19-21 Mayıs 2010.
- [3] Vaisakh, K., Sridhar, M., Murthy, K.S., "Differential Evolution Algorithm for Reduction of Network Loss and Voltage Instability," NaBIC, 9-11 Aralık 2009.
- [4] Sumpavakup, C., Srikun, I., and Chusanapiputt, S., "A Solution to The Optimal Power Flow Using Artificial Bee Colony Algorithm," International Conference of Power System Technology, 24-28 Ocak 2010.
- [5] Oliveira, C.B.M., Medeiros, M.F., Oliveira, J.T., "New Method Based in Particle Swarm Optimization for Power Dactor Remote Control and Loss Minimization in Power Systems with Wind Farms Connected," ISAP'09, 8-12 Kasım 2009.
- [6] Malik, I.M. and Srinivasan, D., "Optimum power flow using flexible genetic algorithm model in practical power systems," IPEC Conference Proceedings, 27-29 Ocak 2010.
- [7] Saadat, H., Power System Analysis, McGraw-Hill Primis, Haziran 2002.
- [8] Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Teknikleri, Nobel, Şubat 2011.
- [9] Özürk, C., Karaboğa, D., Görkemli, B., "Artificial Bee Colony Algorithm for Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 20(2), 255-262, 2012.
- [10] Abacı, K., Yamaçlı, V., Akdağlı, A., "Optimal Power Flow with SVC Devices by Using Artificial Bee Colony Algorithm", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, In Press, DOI: 10.3906/elk-1305-55.
- [11] Başaran Ü. A., "Economic dispatch analysis using two different methods for 22-bus 380-kV power system in Turkey", Sakarya University Journal of Natural Sciences 2007; 11: 89-95.