

GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK GÜÇ SİSTEMLERİNDE OPTİMAL ÇALIŞMA ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Ali ÖZTÜRK ve Serhat DUMAN

Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi, Düzce
aliozturk@duzce.edu.tr, serhatduman@duzce.edu.tr

(Geliş/Received: 28.11.2008 ; Kabul/Accepted: 20.05.2009)

ÖZET

Bu çalışmada optimizasyon yöntemlerinden biri olan Genetik Algoritma (GA) ile elektrik güç sistemlerinde optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Çalışmanın ana hedefi iletim hatlarında meydana gelen aktif güç kayıplarının minimum olmasını sağlayacak yük baralarının gerilim genlik değerlerinin belirlenmesidir. Örnek olarak 5 baralı bir sistem ele alınmış ve bu sistem üzerinde hem GA hem de Newton-Raphson (NR) güç akışı yöntemi kullanılarak yük baralarının çalışma gerilim değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak Statik VAR Kompanzator (SVC) ile reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, GA ile çalışma koşullarının belirlenmesi durumunda aktif güç kayıpları minimize edileceğinden ciddi oranda ekonomik kazanç ve enerji tasarrufu sağlanacağını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, güç sistemleri, reaktif güç optimizasyonu, newton-raphson, statik var kompanzator.

DETERMINATION OF THE CONDITIONS OF OPTIMAL OPERATION IN POWER SYSTEMS USING GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT

In this study, optimum operating conditions in electric power systems are determined by using Genetic Algorithm (GA), which is one of the optimization methods. Main objective of the work is determination of the voltage amplitude values of the load buses that ensure active power losses in transmission line will be minimum. A five-buses system is considered as an example and the operating voltage values of the load buses are calculated for this system using both GA and Newton-Raphson (NR) power flow method. Using these values, Static VAR Compensation (SVC) and reactive power compensation are implemented. Results show that it will be economically and energy-providently if the operating conditions are determined using GA, since the active power loss is minimized.

Keywords: Genetic algorithm, power systems, reactive power optimization, newton-raphson, static var compensator.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde artan güç talebi nedeniyle güç sistemlerinde optimum çalışma koşulları giderek önem kazanmaktadır. Bu talebi karşılamak için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesinde çok farklı çalışmalar yapılmaktadır. Güç sisteminde çalışma koşullarını belirleme çalışmalarından biri olan reaktif güç optimizasyonu (RGO); güç sistemlerinin kararlılığı, güç kalitesi, güç sistemlerinin güvenliği ve eko-

nomik çalışma şartlarını belirleme açısından çok önemli yer tutmaktadır [1,3,4,6,10]. RGO yaparak hattın toplam aktif güç kaybı azaltılmaktadır [1-19]. Aktif güç kaybını azaltmak için farklı matematiksel teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler lineer, nonlineer, kvadratik, dinamik programlama, NR gibi matematiksel algoritmalar [7,9,10]. Bu matematiksel algoritmaların yanı sıra parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi, diferansiyel evrim algoritması, tabu araştırma algoritması, bakteri kolonisi optimizasyonu

gibi modern sezgisel metodlar da kullanılmıştır[1-6, 8-19]. Zhang v.d [1] Çin'deki bir güç sisteminde farklı çalışma koşulları altında parçacık sürü optimizasyonunu kullanarak hattın toplam aktif güç kayıplarını incelemiştirlerdir. Hazra ve Sinha [2] IEEE'nin 30 baralı güç sisteminde farklı çalışma koşulları altında parçacık sürü optimizasyonu ile aktif ve RGO yaparak minimum maliyette enerji üretimini incelemiştirlerdir. Zhang ve Liu [3] bir güç sisteminde hattın aktif güç kaybını bulanık mantık kontrollü parçacık sürü optimizasyonu ile bulmuşlardır. Sheng ve Li [4] hibrit karınca kolonisi ve karınca kolonisi algoritmalarını kullanarak RGO yapmış, hibrit karınca kolonisinin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Lirui v.d. [6] dağıtım sistemleri için farklı çalışma koşulları altında çift popülasyonlu karınca kolonisi algoritması ile RGO yaparak sistemin gerilim kararlılığını incelemiştirlerdir. Grudin [7] başarılı kuadratik programlama metodunu kullanarak RGO yapmıştır. Wei v.d [8] farklı güç sistemlerinde bakteri kolonisi optimizasyonunu kullanarak aktif güç kayıplarını hesaplamışlardır. Li v.d. [9] bir güç sistemini modelleyip yazılım programı oluşturmuş ve tabu araştırma algoritmasını kullanarak kayıpları bulmuşlardır. Zhang v.d. [10] kendinden uyarlanabilen diferansiyel evrim algoritmasını ve parçacık sürü optimizasyonunu kullanarak aktif güç kayıplarını bulup sonuçlarını karşılaştırmıştır. Li v.d. [11] RGO uygulamalarında, uyarlanabilir parçacık sürü optimizasyonun parçacık sürü optimizasyonuna göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Literatürde yapılan RGO çalışmalarından da [12-19] görüldüğü gibi aktif güç kaybının minimum olduğunda güç sistemlerinin kararlılığı, güç kalitesi ve ekonomik çalışma koşulları belirlenmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada SVC, NR ve optimizasyon tekniklerinden biri olan GA kısaca sunulmuş, GA ile 5 baralı bir güç sisteminde hattın toplam aktif güç kaybı minimize edilerek RGO yapılmıştır. Optimizasyon sonunda örnek güç sistemindeki aktif güç kaybının minimum olduğu noktada, salınım barası hariç sistemdeki diğer baraların optimum gerilim değerleri bulunmuştur. Aynı değerler NR güç akışı yöntemi kullanılarak da belirlenmiştir. GA ve NR ile bulunan değerlere göre iletim hatlarındaki toplam aktif güç kayıpları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bu belirlenen çalışma şartları altında yük baralarının reaktif güç ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak için sistemdeki yük baralarının SVC ile RGK yapılmış ve çalışma karakteristiği belirlenmiştir.

2. STATİK VAR KOMPANZATÖRLER (STATIC VAR COMPENSATOR)

Alternatif akımla çalışan enerji sistemlerinde RGK'nun önemi bilinmektedir. Güç faktörünü düzeltmek amacıyla kullanılan RGK güç sistemlerinin kaliteli bir şekilde çalışmasında dikkat edilmesi gereken temel parametrelerden biridir. Sürekli değişim gösteren reaktif güç üretim çalışmaları,

önceleri aşırı veya düşük uyarılmış senkron makinelerle ve sonraları da doymalı reaktörler ve bunlara bağlı kondansatörlerle yapılmaktaydı. Son yıllarda yüksek güçlü yarı iletkenlerin (tristörlerin) RGK sistemlerinde kullanılması yaygınlık kazanmıştır. RGK'unda kullanılan tristör kontrollü SVC'lerin çalışma prensibi; kondansatör veya reaktörlerin, hesaplanan tetikleme açısına bağlı olarak şebekeye sokulup çıkarılarak değişken değerli şönt empedans elde etmeye dayanır. Uygun tetiklemeyle SVC güç sistemlerinde bağlı olduğu barada maksimum kapasitif reaktif güç değerinden maksimum endüktif reaktif güç değerine kadar geniş bir aralıkta reaktif güç ayarı yapılabilmektedir. Bununla birlikte SVC'ler gerilim kontrolünde güç sistemi dalgalanmalarını etkili bir biçimde söndürmekte olup, güç sistemlerinin kararlılığına katkı sağlamaktadır. Şekil 1'de devre şeması verilen SVC şebekede RGK yapılacak baraya paralel bağlanmaktadır.

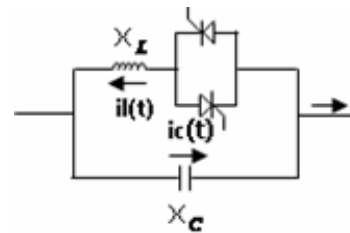
SVC'nin TCR ve ona paralel bir kapasitörden oluşması nedeniyle TCR'nin eşdeğer empedansı X_v Eş.1'de gösterilmiştir[20-25].

$$X_v = X_L \frac{\pi}{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha} \quad (1)$$

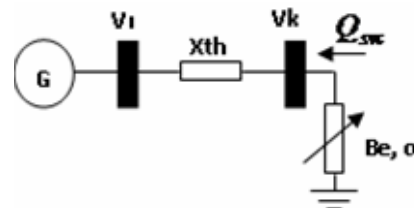
Eş. 1'den yararlanarak SVC eşdeğer reaktansı X_e Eş.2'de gösterilmiştir.

$$X_e = X_C \frac{\pi/r_x}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi \left(2 - \frac{1}{r_x}\right)} \quad (2)$$

Burada $r_x = X_C/X_L$ ye eşit olup SVC'nin kapasitif ve endüktif çalışma aralığına göre değişmektedir. Temel frekansta dengeli çalışma durumunda kararlılık için Şekil 2'de bir güç sistemine bağlantı şeması verilen SVC'nin eşdeğer devre modeli oluşturularak denklemler per-unit cinsinden yazılması mümkündür.



Şekil 1. SVC devre şeması (SVC circuit diagram)



Şekil 2. SVC modelinin güç sistemine bağlantı şeması (Connecting diagram of the SVC model to power system)

$$V_I - V_{REF} + X_{SL} V_k B_e = 0 \quad (3)$$

$$Q_{SVC} - V_k^2 B_e = 0 \quad (4)$$

$$\pi X_C X_L B_e + \sin 2\alpha - 2\alpha + \pi[2 - (X_L/X_C)] = 0 \quad (5)$$

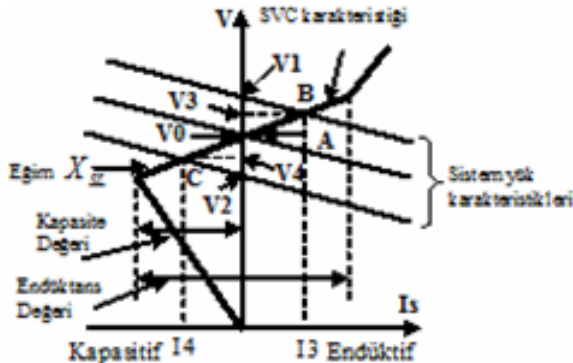
SVC'nin reaktansı tristör tetikleme açısına bağlı olarak X_L ve X_C aralığında değişmektedir. SVC'ye ait gerilim kontrol denklemi sürekli durum V-I karakteristiğinden yararlanarak elde edilir. SVC'nin kapasitif çalışmasında akımın işareti negatif, endüktif çalışmasında ise akımın işareti pozitifdir. Kapasitif çalışmada sistem gerilimi artmakta ve endüktif çalışmada ise sistem gerilimi azalmaktadır. SVC'nin en önemli özelliği eşit çalışma aralığına sahip olmasıdır. Ayrıca sisteme paralel bağlandığından dolayı rezonans durumu sistem performansına çok büyük etki yapmamaktadır. SVC ile gerilim kontrolü yaklaşık olarak $\pm \%5$ oranında yapılmaktadır

Şekil 3'te SVC'nin sistem karakteristiği verilmiş olup genel olarak SVC'ler reaktif gücün üretimi ve kontrolünü yaparak yerleştirildiği bölgedeki bara gerilimini kontrol etmektedir. Gerilimin istenen seviyede tutulması yük açısından son derece önemlidir. Aksi halde düşük gerilim yük performansında düşüşe sebep olacaktır.

Bu çalışmada ise GA ve NR ile bulunan baraların gerilim değerleri reaktif güç denklemlerinde yerlerine konarak, yük baralarının reaktif güç değerleri hesaplanmıştır. RGK yapılırken yük baralarının gerilim değerleri istenilen sınırlar içinde tutulması gerekmektedir. Örnek sistemin yük baralarında SVC sisteme paralel bağlanarak RGK yapılmaktadır. Böylece geleneksel RGK'ları yerine SVC ile yapılan RGK ile sistemdeki yük baralarının istenilen kararlı bölgede çalışması sağlanmaktadır.

3. NEWTON-RAPHSON GÜÇ AKIŞI (NEWTON-RAPHSON POWER FLOW)

NR yöntemi çok değişkenli lineer olmayan denklemlerin çözümünde kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu metoda göre başlangıçta, değişkenlerin değerleri rast



Şekil 3. SVC sistem karakteristiği (SVC system characteristics) [27]

gele belirlenir. Bu değerlerin kullanılması ile belirli bir mantık kullanılarak yeni değerler üretilir. Bu durum Eş.6'da gösterilmektedir. Eş.7'de ifade edilen, en son üretilen iki değer arasında kabul edilebilir küçük bir fark (κ) sağlanana kadar iteratif olarak çalışma devam ettirilir. Neticede elde edilen değerler ile problemin çözümü sağlanmış olur. Şekil 4'teki genel amaçlı bara gösteriminde düğüm yönteminden yararlanarak aktif ve reaktif güç dengesi eşitlikleri yazılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} V_i \\ \delta_i \end{bmatrix}^{(n+1)} = \begin{bmatrix} V_i \\ \delta_i \end{bmatrix}^{(n)} - [J]^{-1} \times \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} V_i \\ \delta_i \end{bmatrix}^{(n+1)} - \begin{bmatrix} V_i \\ \delta_i \end{bmatrix}^{(n)} \leq \kappa \quad (7)$$

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (8)$$

$$Q_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (9)$$

$$P_i - (P_{Gi} - P_{Di}) = \Delta P_i = 0 \quad (10)$$

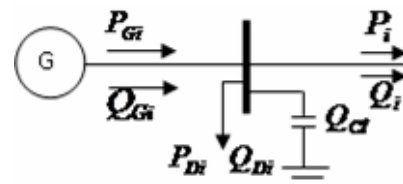
$$Q_i - (Q_{Ci} - Q_{Di}) = \Delta Q_i = 0 \quad (11)$$

$$S_{ij} = p_{ij} + q_{ij} = v_i (v_i^* - v_j^*) y_{ij}^* + v_i v_j^* \left(\frac{y_{ij}}{2} \right)^* \quad (12)$$

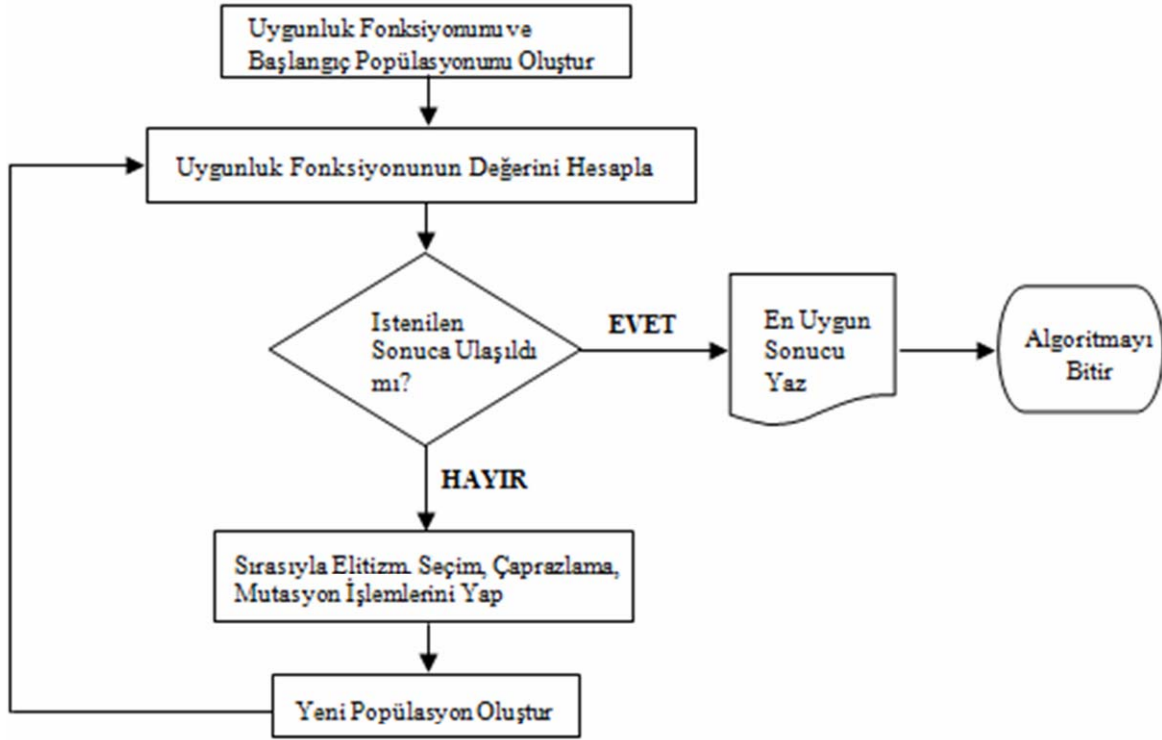
NR yük akışının amacı, tüm yük baralarının gerilim genlik değerleri ile salınım barası dışındaki tüm baraların açı değerlerini belirlemektir. Eş.8-11'deki ifadelerin Eş.7 sağlanana kadar Eş.6'da iteratif olarak işlemlerin devam ettirilmesi sonucunda baraların gerilim genlik ve açı değerleri elde edilir. Eş.12 yardımı ile $S_{ij} + S_{ji}$ hesaplanır. Bu toplamın reel kısmı i-j baralar arasındaki aktif güç kaybını, imajinel kısmı ise reaktif güç kaybını verir [26,27].

4. GENETİK ALGORİTMA (GENETIC ALGORITHM)

GA çalışma prensibi Şekil 5'te verilmektedir. GA, genetik mantığını temel alan geleneksel optimizasyon



Şekil 4. Genel amaçlı bir bara gösterimi (Displaying a general purpose bus)



Şekil 5. GA akış diyagramı (The flow diagram of GA)

metotları içerisinde çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [28]. GA geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi bir tane başlangıç noktası ile çözüme başlamaz. GA tanımlanan uygunluk fonksiyonu (UF) değişkenlerinin dikkate alınmasıyla rast gele oluşturulan bir başlangıç popülasyonuna göre çok sayıda çözümler ile çalışmaya başlar. Daha sonra genetik operatörleri (elitizm, seçim, çaprazlama, mutasyon) kullanarak çözümleri optimum çözüme getirmeye çalışır [29]. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyiyiler seçilir, kötüler elenir. Başlangıç popülasyonu, değişkenlerin kodlanmaları sonucunda rast gele oluşturulur.

Değişkenler ikilik kodlama, permütasyon kodlama, değer kodlama, ağaç kodlama, gibi değişik şekillerde kodlanabilmektedir [29-34]. Kodlama çeşidinin seçiminde ele alınan problem yapısı büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada değişkenler, değer olarak belirli sınırlar içinde belirli artım adımları ile değişmektedir. Problemin çözümünde değişkenler, en uygun olan ikilik sayı sistemi ile kodlanmaktadır. Bu sistemde değişkenler 0 ve 1 genlerinin kombinasyonları olarak popülasyonu oluşturmaktadır.

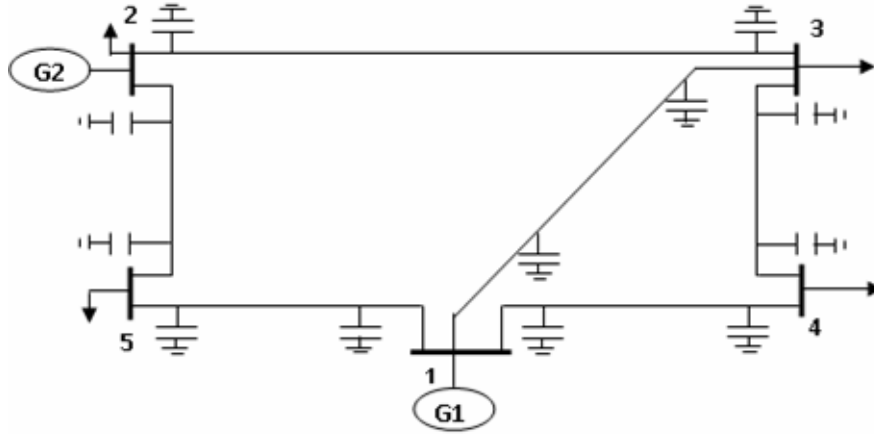
Popülasyonunun her bir satırı için UF değerleri hesaplanır. UF değerleri dikkate alınarak, GA'nın operatörlerinin kullanımı neticesinde yeni bir popülasyon oluşturulur. GA'da bir önceki popülasyonun dikkate alınması ile jenerasyon sayısı kadar yeni popülasyonlar oluşturulur. Her yeni popülasyonda UF değerleri hesaplanır. Bunlar arasında en iyi sonuç verenleri göz önünde bulundurulur. GA'da belirlenen jenerasyon sayısı kadar bu işlemler iteratif olarak devam eder. Bu şekilde GA ile sürekli iyiye doğru giden çözümler sağlanır.

5. PROBLEMİN TANIMLANMASI (DEFINING THE PROBLEM)

Örnek olarak Şekil 6'da görülen 5 baralı bir güç sisteminde GA kullanılarak reaktif güç optimizasyonu yapılmış ve optimum noktadaki gerilim değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Beş baralı sistemin hat parametreleri Tablo 1'de, salınım barası olarak kabul edilen 1 numaralı bara hariç sistemdeki generatör baraları verileri Tablo 2'de, yük baraları verileri ise Tablo 3'de verilmektedir [26]. Sistemde değerler per-unit cinsinden kullanılarak hesaplamalar bir faz üzerinden yapılacaktır. Gerilimin baz değeri ise Salınım barasının gerilim değeri kabul edilecektir. Yük

Tablo 1. Beş baralı güç Sisteminin hat verileri (Line data of 5-bus power system)

HAT NO	R(pu)	X(pu)
1-3	0.1	0.4
1-4	0.15	0.6
1-5	0.05	0.2
2-3	0.05	0.2
2-5	0.05	0.2
3-4	0.1	0.4



Şekil 6. Beş baralı güç sistemi (5-bus power system)

baralarındaki gerilimlerin açı değerleri Tablo 3'deki değerler olup sabit kabul edilecektir.

5.1. Uygunluk Fonksiyonunun Oluşturulması (Forming the fitness function)

Şekil 6'da verilen sistemin GA ile RGO yaparak beş baralı bir sistemde gerilim değerleri belirlenecektir. Bu aşamada AF olarak belirlenen, beş baralı sistemdeki aktif güç kayıpları minimize eden toplam kayıp formülü Eş.13'de gösterilmiştir. Aktif güç kayıpları baraların gerilim genlik değerlerine bağlıdır. Bu nedenle AF olarak güç sistemindeki toplam aktif güç kayıplarını veren denklem ele alınmıştır. Böylece minimum aktif güç kayıplarının oluşmasını sağlayacak bara gerilim genlik değerleri elde edilecek ve güç sistemini bu değerler ile çalıştırılması sağlanacaktır. Baraların gerilim genlik değerleri sahip oldukları reaktif güç değerlerine bağlıdır.

Bu nedenle baraların reaktif güç değerlerinin de belirli değerlerde tutulmaları sağlanmalıdır. AF'nun minimum değerleri aranırken baralardaki aktif ve reaktif güç dengesi sağlanmaya devam etmelidir. Baralardaki aktif ve reaktif güç dengelerini ifade eden Eş.14 ve Eş.15 denklemleri KF olarak alınmıştır.

Amaç fonksiyonu [35]:

$$AF = P_{loss} = \sum_{k=(i-j)}^N g_k [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_{ij})] \quad (13)$$

Kısıt fonksiyonları [35].

$$KF_1 = P_{Gi} - P_{Di} - P_j = 0 \quad (14)$$

$$KF_2 = Q_{Gi} - Q_{Di} - Q_j = 0 \quad (15)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (16)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad (17)$$

GA kısıtsız bir optimizasyon yöntemi olarak çalışmakta olup, kısıtlı optimizasyon problemi, kısıtların ihmal edilmesi durumunda AF, CF ile cezalandırılıp kısıtsız bir optimizasyon durumuna getirilmektedir. Böylece AF değerleri belirli sınırlar içinde tutulmuş olmaktadır.

Q_{Gi} problemde $0.3 \leq Q_{Gi} \leq 0.6$ sınır değerleri arasında tutulacak ve kısıt fonksiyonu bu sınır değerleri arasında olmadığı durumlarda uygunluk fonksiyonuna ceza fonksiyonu uygulayarak çözüm uzayında uygun olmayan değerler elenecektir. Toplam kısıt fonksiyonunun işaret değiştirip sonuca ulaşmaya engel olmaması için karesi alınır ve problemin

Tablo 2. Generatör barası verileri (Generator bus data)

Bara No	Bara Tipi	Gerilim	Üretim		Aktif Güç Sınırları		Reaktif Güç Sınırları	
		V	P (pu)	Q (pu)	P_{\max} (pu)	P_{\min} (pu)	Q_{\max} (pu)	Q_{\min} (pu)
2	PV	1.08	0.8	0	-	-	0.6	0.3

Tablo 3. Yük baraları verileri (Load bus data)

Bara No	Bara Tipi	Yük Değerleri		δ (derece)
		P (pu)	Q (pu)	
3	PQ	0.6	0.3	-5.417
4	PQ	0.4	0.1	-8.174
5	PQ	0.6	0.2	-3.461

durumuna göre uygun bir katsayı ile çarpılır.

$$CF = a \times (KF_1 + KF_2)^2 \quad (18)$$

Ceza fonksiyonu Eş. 18'de gösterilmiştir. Bu çalışmada (a) katsayısı 1 alınmıştır. Uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için belirlenen $B = 1000$ sayısı ile toplanabilir.

$$UF = B + \sum_{i=1}^n P_{loss} + \left(a \times (KF_1 + KF_2)^2 \right) \quad (19)$$

Uygunluk fonksiyonu Eş.19'da gösterilmiştir. Uygunluk fonksiyonunda salmım barası hariç bara gerilim değerleri değişken olarak kabul edilmekte ve belirli sınır değerleri arasında tutulması gerekmektedir. Genel olarak baralardaki gerilim dalgalanma oranının %5 değerini aşması istenmez. Bu nedenle bara gerilim değerlerinin sınırları $\pm\%5$ aralığında olması ön görülmüş olup sınır değerleri Eş.20 ve Eş.21'de gösterilmiştir

$$1.026 \leq V_i \leq 1.134 \quad (20)$$

$$0.3 \leq Q_{Gl} \leq 0.6 \quad (21)$$

5.2. Değişkenlerin Kodlanması (Variables coding)

Başlangıç popülasyonu tüm elemanları rast gele oluşturulan bir gen havuzunu temsil etmektedir. Bu gen havuzunun oluşturulmasında değişik kodlama yöntemleri olup bu çalışmada ikili sayı sistemi kullanılması tercih edilmiştir. Bu sistemde genler 0 ve 1 elemanlarından oluşmaktadır. Uygunluk fonksiyonunda kaç tane değişken varsa bu değişkenlerin bit sayısına göre kodlanan genleri yan yana gelerek popülasyonda bireyleri meydana getirmektedirler.

$$2^{\lambda n} \geq \frac{X_{üst} - X_{alt}}{\varepsilon} + 1 \quad (22)$$

Değişkenlerin bit sayısının belirlenmesi Eş.22'e göre

hesaplanmakta ve kodlanacak değişkenlerin bit sayısı Tablo 4'te verilmektedir [36,37].

Tablo 4. Kodlanacak değişkenlerin bit sayısı (Bit numbers of variables to be coded)

Değişkenler	Alt Sınır	Üst Sınır	Artım	Bit Sayısı
V2, V3, V4, V5	1.026	1.134	0.001	7

$$PS \geq 1.65 \times 2^{0.21 \times l} \quad (23)$$

Popülasyonun sayısının bulunması Eş.23'e göre hesaplanmaktadır [36,37]. Bu çalışmada bit sayısı 7 olup ve 4 değişken olduğu için bir bireyin toplam bit sayısı (l) 28 olarak elde edilmekte olup bu değer Eş.23'te yerine konduğunda popülasyon sayısı (PS) 97.17 olarak bulunmuştur. PS değeri 100 olarak belirlenip bir bilgisayar programı ile rast gele toplam 28 bittten, 100 satırdan, bit değerleri 0 ve 1 kodlarından oluşan başlangıç popülasyonu Tablo 5'te gösterilmiştir.

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra popülasyondaki her birey kodlandığı ikilik sayı sistemi onluk sayı sistemine çevrilerek Eş.19'da verilen UF ifadesinde yerine yazılır. GA operatörleri olan elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon basamakları her bir jenerasyonda yeni bir popülasyonu oluşturmaktadır.

5.3. GA Operatörleri (GA Operators)

Tablo 5'te verilen ikilik sayı sistemindeki başlangıç popülasyonunun her bireyinin onluk sayı sistemine çevrilmesi ile 100 tane uygunluk değeri hesaplanır. Bunlardan en küçük değeri veren iki birey elitizm ile seçilir ve geri kalan bireyler aralarında turnuva metodu ile seçim işlemine tabi tutulur daha sonra çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanır [36-39].

Çaprazlama operatörü seçilen bireylerin gen takası ile yeni birey olmaya aday bireylerin oluşturmaları işlemidir. Bu çalışmada çaprazlama oranı 0.9 olup tek noktali çaprazlama operatörü kullanımı Tablo 6'da gösterilmiştir. Mutasyon oranı Eş.24'e göre hesaplanmıştır. Yapılan bir çok araştırmalarda mutasyon oranı-

Tablo 5. Başlangıç popülasyonu (Initial population)

Birey No	V_2	V_2	V_4	V_5
1	1 0 1 0 1 1 1	1 1 1 1 0 0 1	0 0 0 1 1 0 1	1 0 1 1 1 0 0
2	0 1 0 1 1 1 0	0 1 1 0 0 1 1	0 1 0 1 1 1 1	0 1 0 0 1 1 1
3	1 1 1 0 1 0 1	0 1 1 1 1 0 1	1 1 1 0 0 1 0	1 0 1 1 0 0 1
.
.
35	1 0 1 0 1 1 1	1 1 1 1 1 0 0	1 1 1 1 0 0 0	0 1 1 1 0 0 1
.
.
.
.
99	1 0 1 1 1 0 1	1 0 1 0 1 1 0	1 1 0 0 1 0 1	1 0 1 1 1 1 1
100	0 1 0 0 1 1 1	1 1 1 0 0 1 1	0 1 0 1 1 0 0	0 0 0 0 1 0 1

Tablo 6. Tek Noktalı Çaprazlama (One point crossover)

Anne	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0
Baba	0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1
Çocuk1	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1
Çocuk2	0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0

nın %0.5 ile %1.5 arasında değer alınması sonucuna ulaşılmış, GA defalarca çalıştırılıp mutasyon oranı 0.005 olarak belirlenmiştir. Tablo 7’de mutasyon işlemi gösterilmiştir [36,37]. Her popülasyon bir jenerasyon demek olup algoritma defalarca çalıştırılarak jenerasyon sayısı bu çalışmada 1000 olarak belirlenmiştir. Algoritma en az 30 kez çalıştırılmış ve yaklaşık olarak yarıyından sonra optimum noktaya ulaştığı görülmüştür.

$$\frac{1}{PS} < MO < \frac{1}{I} \quad (24)$$

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Güç sisteminin çalışma koşullarını belirlemek için GA ve NR ile bulunan sonuçlar birim değer olarak Tablo 8’de verilmektedir. Tablo 8’de salınım barası dışındaki baraların gerilim genlik değerleri V_2 , V_3 , V_4 , V_5 bu gerilim koşulları altında iletim hatlarında meydana gelen toplam aktif güç kaybı ise P_{loss} ile ifade edilmektedir. Tablo 8’de verilen sonuçlar dikkatlice incelenecek olursa, NR güç akışı ile güç sistemindeki hatlarda meydana gelen toplam aktif güç kayıpları, aynı sistem için GA ile bulunan sonuçlardan daha fazla çıkmıştır. NR yük akışında, çözüm için baralardaki aktif ve reaktif güç dengesinin sağlanması yeterli bir şart olmakta optimizasyon amacı ise bulunmamaktadır. GA ile toplam aktif güç kayıplarının NR uygulamasına göre daha az çıkmasının temel sebebi GA’nın

minimizasyon optimizasyonu amacı ile çalışmasıdır. Bu durum bize güç sistemlerinde optimizasyon yapmanın gerekliliğini göstermiştir. Hesaplamaların birim değer (pu) üzerinden daha kolay bir şekilde yapılabilmesi için, bir faz değeri olarak $V_{baz} = 220$ kv = 1.08 (pu) salınım barası değerlerinin baz olarak alınması neticesinde GA ve NR yöntemleri ile elde edilen gerçek değerler Tablo 9’da gösterilmiştir. Tablo 8 ve 9 incelenecek olursa optimizasyon yapılmadan lineer olmayan denklem takımlarının NR yük akışı yöntemi ile çözülmesi neticesinde elde edilen değerlerin GA ile optimizasyon yapılmamasıyla elde edilen değerlerden farklı olduğu görülmektedir. Normal güç akışı yerine GA ile optimizasyon yapılarak güç sisteminin çalışma koşulları düzenlendiğinde iletim hatlarında toplam 315.7 KW daha az aktif güç kaybı meydana gelmektedir. Bu değer günlük 7576.8 kilo vat saat (KWh), yıllık ise 66372768 kilo vat saat (KWh) daha az enerji kaybı anlamına gelmektedir. Elektrik enerjisinin birim KWh’i ortalama 0.2 TL’ye satılmaktadır. Bu kayıp farkının yıllık değeri 13274553 TL’dir. GA ile optimizasyon yapılarak çalışma koşulları belirlenirse sistem mevcut görevini aynen yerine getirmek şartı ile yaklaşık 13.2 milyon TL yıllık kazanç söz konusudur.

Şekil 7’de GA programı çalıştığında en uygun UF değerini aranırken elde edilen değerlerin değişim eğrisi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi GA belirli bir jenerasyon sayısından itibaren yeni çözümler üretememektedir. Bunun sebebi en iyi çözüme ulaşılmış olmasıdır.

Tablo 7. Mutasyon (Mutation)

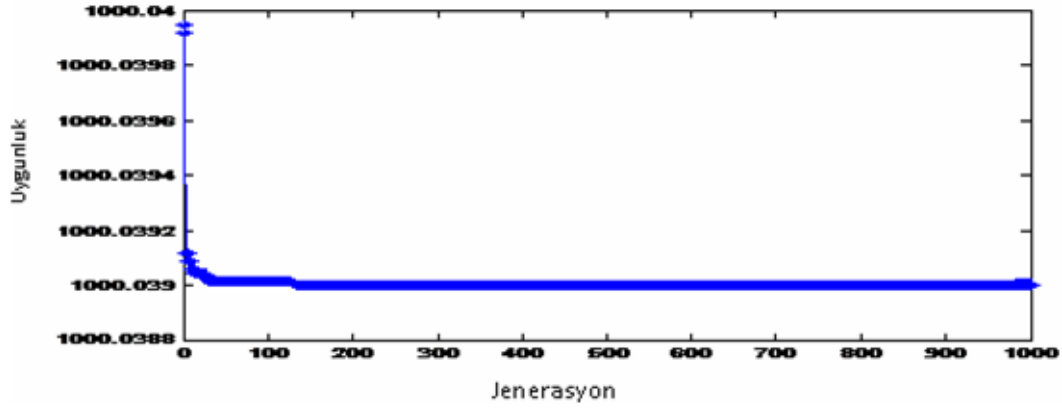
Mutasyondan önce	
Çocuk 1	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1
Mutasyondan sonra	
Birey 1	1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1

Tablo 8. GA ve NR yöntemiyle per-unit olarak bulunan değerler (Values found in per-unit through GA and NR methods)

GA ile Bulunan Sonuçlar				
$P_{loss} (pu)$	$V_2 (pu)$	$V_3 (pu)$	$V_4 (pu)$	$V_5 (pu)$
0.0390	1.0549	1.0609	1.0634	1.0668
NR Güç Akışı ile Bulunan Sonuçlar				
$P_{loss} (pu)$	$V_2 (pu)$	$V_3 (pu)$	$V_4 (pu)$	$V_5 (pu)$
0.0466	1.0800	1.0153	0.9954	1.0495

Tablo 9. GA ve NR yöntemiyle bulunan gerçek değerler (The real values found through GA and NR methods)

GA ile Bulunan Sonuçlar				
P_{loss}	V2	V3	V4	V5
1.6178×10^3 (kW)	214.6804 (kV)	216.1092 (kV)	216.6185 (kV)	217.3111 (kV)
NR Güç Akışı ile Bulunan Sonuçlar				
P_{loss}	V2	V3	V4	V5
1.9335×10^3 (kW)	220 (kV)	206.8204 (kV)	202.7667 (kV)	213.7870 (kV)



Şekil 7. GA'nın her bir jenerasyonunda en küçük değerli uygunluk fonksiyonu değerinin değişim eğrisi (Variation curve of the minimum fitness function value in each generation of GA)

GA ile aktif güç kayıplarını minimum olmasını sağlayacak baraların gerilim genlik değerleri bulunmakta ve SVC'ler sayesinde baralar istenilen gerilim değerlerinde çalıştırılmaktadır. Bu sayede sistemde minimum aktif güç kayıpları meydana gelmektedir. Bu çalışma aktif güç kayıplarında bir azalma sağlamanın yanında aynı zamanda gerilim kararlılığına da katkı sağlamaktadır. Her iki yöntemle bulunan yük baralarının gerilim değerleri ile reaktif güç değerleri ve bu güç değerlerindeki SVC'nin süseptans değerlerini verecek, α tetikleme açıları $X_C/X_L = 10$ eşit çalışma aralığı alınarak bulunan sonuçlar Tablo 10'da gösterilmiştir. Tablo 10'da verilen reaktif güç ihtiyaçları karşılamak için SVC ile yük baralarına RGK yapılmıştır. SVC'lerin çalışma aralığı $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ olup, bu çalışmada rezonans açısı 143° olarak bulunmuştur. SVC rezonans açısının üst değerlerinde sistem kapasitif olarak çalışmakta, alt değerlerinde ise endüktif olarak çalışmakta olduğu Tablo 10'dan çıkartılmıştır. SVC'ler gerekli olan reaktif enerji değerine göre sisteme kompanzasyon yaparak yük baralarındaki gerilimleri belirli değerlerde tutmaya çalışırlar. Böylece güç sistemi gerilim kararlılığı açısından daha kararlı bir yapıya kavuşmuş olur.

Bu çalışmada aktif güç kayıplarını minimize edecek şekilde güç akışı yapılmıştır. Birden fazla termik santralle beslenen güç sistemleri için minimum yakıt maliyetini sağlayacak şekilde generatör baralarının

aktif güç değerlerinin belirlendiği yakıt maliyeti optimizasyonu da yapılmaktadır. Güç sistemlerinin tasarımı ve işletmesinde aktif güç kayıplarının ve yakıt maliyeti minimizasyonunun bir arada yapıldığı optimizasyon çalışmaları da yapılmalıdır. Türkiye'de güç sistemlerinde yük akışı yapılırken optimizasyona gereken önem verilmemektedir. Günümüzde elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması çok büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle Türkiye'de güç sistemlerinin planlanması ve çalıştırılmasında optimal güç akışına gereken önem verilmelidir.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

GA	Genetik algoritma
UF	Uygunluk fonksiyonu
AF	Amaç fonksiyonu
CF	Ceza fonksiyonu
KF_1	1. Kısıt fonksiyonu
KF_2	2. Kısıt fonksiyonu
a	Ceza fonksiyonunda kullanılan katsayı
B	Uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için kullanılan katsayı
X_{alt}	Değişken alt sınır değeri
$X_{üst}$	Değişken üst sınır değeri
ε	Değişkenlerin artım aralığı

Tablo 10. GA ve NR sonuçlarına göre SVC'nin çalışması gereken açı değerleri (Angle values required for the operation of SVC in the lighth of GA and NR results)

GA Sonuçlarına Göre					
Bara No	Bara Tipi	Reaktif Güç Değerleri (KVar)	δ (derece)	B_e	α (tetikleme açı değerleri)
3	PQ	$5.7748 \cdot 10^3$	-5.417	0.1236	160.4733°
4	PQ	$2.5253 \cdot 10^3$	-8.174	0.0538	148.9618°
5	PQ	$4.8881 \cdot 10^3$	-3.461	0.1035	156.0241°
NR Güç Akışı Sonuçlarına Göre					
3	PQ	$-1.2051 \cdot 10^4$	-6.8227	-0.2817	126.4719°
4	PQ	$-3.9884 \cdot 10^3$	-9.0964	-0.0970	136.4889°
5	PQ	$-8.5527 \cdot 10^3$	-4.6450	-0.1871	131.2167°

P_{loss}	Sistemin toplam aktif güç kaybı
P_{GI}	Salınım barası hariç i ninci generatör aktif güç değeri
P_{DI}	Salınım barası hariç i ninci generatörden talep edilen aktif güç değeri
Q_{GI}	Salınım barası hariç i ninci generatör reaktif güç değeri
Q_{DI}	Salınım barası hariç i ninci generatörden talep edilen reaktif güç değeri
V_i	i ninci bara gerilim değeri
V_j	j ninci bara gerilim değeri
κ	NR güç akışı algoritmasını sonlandırma hata değeri
y_{ij}	i ve j ninci baralar arası admitans değeri
S_{ij}	i ve j ninci baralar arası görünür güç değeri
V_i^{\min}	i ninci bara minimum sınır şartı gerilim değeri
V_i^{\max}	i ninci bara maksimum sınır şartı gerilim değeri
Q_{GI}^{\min}	Salınım barası hariç i ninci generatör minimum sınır şartındaki reaktif güç değeri
Q_{GI}^{\max}	Salınım barası hariç i ninci generatör maksimum sınır şartındaki reaktif güç değeri
g_k	$k = i$ den j kadar olan baralar arasındaki kondüktans değeri
g_{ij}	i - j baraları arasındaki kondüktans değeri
b_{ij}	i - j baraları arasındaki süseptans değeri
$\cos \delta_{ij}$	i - j baraları arasındaki açının kosinüs değeri
$\sin \delta_{ij}$	i - j baraları arasındaki açının sinüs değeri
X_L	SVC' de kullanılan bobin değeri
X_v	TCR eşdeğer empedansı
X_C	SVC' de kullanılan kapasite değeri
X_e	SVC eşdeğer reaktansı
B_e	SVC süseptans değeri
X_{SL}	Eğim reaktansı
Q_{SVC}	SVC reaktif güç değeri
α	etikleme açısı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Zhang, W. and Liu, Y., "Reactive Power Optimization Based on PSO in a Partical Power System", **Power Engineering Society General Meeting, 2004 IEEE.**, Vol. 1, 239-243,6-10 June 2004.

- Hazra, J. and Sinha, A.K., "A Study on Real and Reactive Power Optimization using Particle Swarm Optimization", **International Conference on Industrial and Information Systems**, 323-328, 9-11 August 2007.
- Zhang, W. and Liu, Y., "Fuzzy Logic Controlled Particle Swarm For Reactive Power Optimization Considering Voltage Stability", **Power Engineering Conference**, 1-5, 29 Nov. - 2 Dec. 2005.
- Sheng, S. and Li, J., "Study of Reactive Power Optimization Based on Artificial Immune Ant Colony Algorithm", **Third International Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**, 2311-2315, 6-9 April 2008.
- Lu, Z. and Ma, L., "Power System Reactive Power Optimization Based on Direct Neural Dynamic Programming", **3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering**, 862-866, 17-19 Nov. 2008.
- Lirui, G., Limin, H., Ligu, Z., Weina, L. and Jie, H., "Reactive Power Optimization for Distribution Systems Based on Dual Population Ant Colony Optimization", **Control Conference**, 89-93, 16-18 July 2008.
- Grudin, N., "Reactive Power Optimization Using Successive Quadratic Programming Method", **Power Systems**, Vol. 13, Issue 4, 1219-1225, Nov. 1998.
- Wei, H., Cong, Z., Jingyan, Y., Jianhua, Z., Zifa, L., Zhilian, W. and Dongli, P., "Using Bacterial Chemotaxis Method for Reactive Power Optimization", **Transmission and Distribution Conference and Exposition**, 1-7, 21-24 April 2008.
- Li, Z., Shi, J. and Liu, Y., "Distributed Reactive Power Optimization and Programming for Area Power System", **International Conference on Power System Technology**, Vol. 2, 1447-1450, 21-24 Nov. 2004.
- Zhang, X., Chen, W., Dai, C. and Guo, A., "Self-adaptive Differential Evolution for Reactive Power Optimization", **Fourth International Conference on Natural Computation**, Vol. 6, 560-564, 18-20 Oct. 2008.
- Li, D., Gao, L., Zhang, J. and Li, Y., "Power System Reactive Power Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm", **The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation**, Vol. 2, 7572-7576, 2006.
- Wan, Z.P., Fan, H., Wang, S.F. and Wang, G.M., "A Bilevel Programming Model for the Reactive Power Optimization", **The 7th International Power Engineering Conference**, 1-24, 29 Nov-2 Dec. 2005.
- Wang, C., Cheng, H.Z. and Yao L.Z., "Reactive Power Optimization by Plant Growth

- Simulation Algorithm”, **Third International Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**, 771-774, 6-9 April 2008.
14. Su-hua, L., Yao-wu, W., Xin-yin, X. and Guang-yu T., “A Parallel PSO Approach to Multi-Objective Reactive Power Optimization with Static Voltage Stability Consideration”, **Transmission and Distribution Conference and Exhibition**, 172-176, 21-24 May. 2006.
 15. Zhao, B., Jiang, Q., Guo, C. and Cao, Y., “A Novel Particle Swarm Optimization Approach for Optimal Reactive Power Dispatch”, **15th PSCC**, Liege, 22-26 August 2005.
 16. Younes, M., Rahli, M. and Koridak, A.L., “Economic Power Dispatch Using Evolutionary Algorithm”, **Journal of Electrical Engineering**, Vol. 57, 211-217, 2006.
 17. Jahromi, A. N., Afsharnia, S. and Farnad, M., “A Novel Approach to Real-Time Reactive Power Dispatch”, <http://www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec02/Final-Papers/A-Naderian3.pdf>
 18. El-Samahy, I., Canizares, C. A., Bhattacharya, K. and Pan, J., “An Optimal Reactive Power Dispatch Model for Deregulated Electricity Markets”, **Power Engineering Society General Meeting**, IEEE Volume, 1-7, 24-28 June 2007.
 19. Abdullah, W. N. W., Saibon, H., Zain, A. A. M. and Lo, K. L., “Genetic Algorithm For Optimal Reactive Power Dispatch”, **Energy Management and Power Delivery**, Vol. 1, 160-164, 3-5 March 1998.
 20. Canizares, A. C. and Faur, T. Z., “Analysis of SVC and TCSC Controllers in Voltage Collapse”, **IEEE Trans. Power Systems**, Vol. 14, No. 1, pp. 158-165, February 1999.
 21. Glanzmann, G., “Flexible Alternating Current Transmission Systems”, **EEH-Power Systems Laboratory ETH, Zürich**, 2005.
 22. Mathur, M. R. and Varma, K. R., “**Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems**”, IEEE Press Series on Power Engineering, 2002.
 23. Eminoğlu, U., “**FACTS Elemanları Kullanılan Güç Akış Sistemlerinin İncelenmesi**”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, 2003.
 24. Eminoğlu, U., Ayasun, S. ve Yalçınöz, T., “Application of SVC on Dynamic Load For Different Load Types”, **The 39th International Universities Power Engineering Conference**, Vol.1, 251-255, September 2004.
 25. Eminoğlu, U., Yalçınöz, T. ve Herdem, S., “Analysis of FACTS Devices for Dynamic Loads Using Matlab”, **The 38th International Universities Power Engineering Conference**, Vol. 2, 377-380, 1-3 September 2003.
 26. Arifoğlu, U., “**Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi**”, Alfa Basım Yayımları Dağıtım Ltd Şti., İstanbul, 2002.
 27. Powel, L., “**Power System Load Flow Analysis**”, Professional Engineering Book from C.H.I.P.S., 2005.
 28. Mazumder, P. and Runick, E.M., “Genetic Algorithm For VLSI Design Layout Test Otomation”, **Prentice Hall PTR**, 1999.
 29. Goldberg, D. E., “**Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning**”, Addison-Wesley Longman, 1989.
 30. Mitchell, M., “**An Introduction to Genetic Algorithms**”, MIT Press, Cambridge, MA., 1998.
 31. Zhang, G. and Lu, G., “Hybrid Real-Coded Genetic Algorithm with Quasi-Simplex Technique”, **International Journal of Computer Science and Network Security**, Vol. 6 No.10, 246-255, October 2006.
 32. Michalewicz, Z., “Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs”, **A.B.D., Springer & Verlag**, 1992.
 33. Ibrahim M.M. El-Emary and Mona M. Abd El-Kareem, “On the Application of Genetic Algorithms in Finger Prints Registration”, **World Applied Sciences Journal**, Vol. 5 (3), 276-281, 2008.
 34. Gargano, M.L. and Edelson, W., “A Genetic Algorithm Approach To Solving The Archaeological Seraition Problem”, **Congressus Numerantium** 119, 1996.
 35. Shaneen, H., Ma, J. and Cheng, S., “Genetic Algorithm Based Short-Therm Scheduling of Reactive Power Controller”, **Istanbul University Journal of Electrical & Electronics Engineering**, Vol. 5, 1299-1307, 2005.
 36. Saruhan, H., “Genetic Algorithms: An Optimization Technique”, **Technology**, Vol. 7, 105-114, 2004.
 37. Öztürk, A., “**Güç Sistemlerinde Gerilim Karahlığının Genetik Algoritma İle İncelenmesi**”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
 38. Elmas, Ç., “**Yapay Zeka Uygulamaları**”, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara, sayfa. 388-401, 2007.
 39. Zeyveli, M., “Genetik Algoritma ve Mekanik Tasarım Problemleri Uygulamaları”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, sayfa. 1-13, 2007.
 40. Cao, Y.J., Wu, Q.H., “Optimal Reactive Power Dispatch Using An Adaptive Genetic Algorithm”, **Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applicatons**, Conference Publications No.446, 2-4 September 1997.
 41. Song, H. Y., Johns T. A., “**Flexible AC Transmission Systems (FACTS)**”, The Institution of Electrical Engineers, London, 1999.
 42. Özasan, Ş., “**Statik Var Sistemleri İle Reaktif Güç Kompanzasyonu**”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.