

VERİMİ ARTIRMAK İÇİNGÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON METOTLARI VE UYGULAMA ALANLARI

A. Doğan

ahmetdogan@erciyes.edu.trmalci@erciyes.edu.tr

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

M. Alçı

Abstract

Many optimization methods are used in various area of power systems to get lower the costs and provide energy efficiency. Classical Methods have been using for so long. Also Heuristic Methods oftenly has been used to optimize the power systemsin the last days. Optimization of power system using heuristic methods became a popular issue for electrical engineering recently. Classical and heuristic methods have some advantages and disadvantages according to each other. This article presents an overview of important classical and heuristic optimization methods used in power optimization problems.

ÖZET

Güç sistemlerinin planlanmasında, enerjinin üretiminde, iletiminde, dağıtımında enerji verimliliğini sağlamak ve maliyetleri en aza indirmek amacıyla çeşitli optimizasyon metotlarına başvurulmuştur. Güç sistemleri problemlerinin çözümünde klasik metotlar öteden beri kullanılmaktadır. Bu metotlara dahasonrasedgisel metotlar da eklenmiştir. Güç sistemlerinin sezgisel metotlarla optimizasyonu son yıllarda elektrik mühendisliğinin popüler konularından biri haline gelmiştir. Güç sistemlerine optimizasyon metotları uygulanırken en iyi sonucu alabilmek için en uygun metot seçilmelidir. Klasik ve Sezgisel Metotların birbirlerine göre bazı üstünlükleri ve yetersizlikleri bulunmaktadır. Metot seçilirken bazı kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Örneğin Klasik Metotlar kullanılırken problemin doğrusal olup olmaması önemli kriterlerden birisidir. Bu çalışmada güç sistemlerinde kullanılan klasik ve sezgisel optimizasyon metotlarına ve uygulama alanlarına genel bir bakış sunulmaktadır.

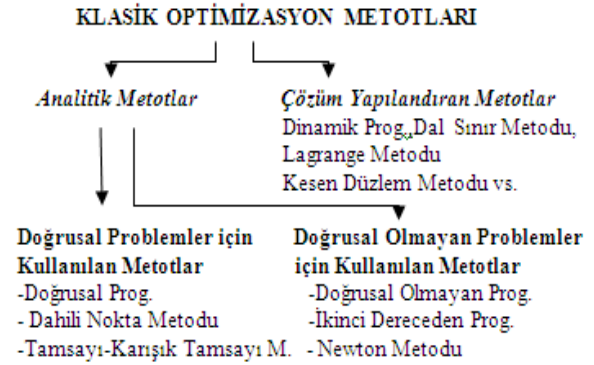
Anahtar Kelimeler; Güç Sistemleri, Optimizasyon, Sezgisel Metotlar, Klasik Metotlar

1. Giriş

Güç sistemleri coğrafi olarak çok geniş bir alana yayılmış karmaşık sistemlerdir. Farklı atmosferik şartlar altında oluşan değişik elektrostatik ve elektromanyetik çevresel etkiler, güç elektroniği elemanlarını bozucu etkileri gibi birçok olumsuz durumdan etkilenirler. Bu durum güç sistemlerinin işletmesi sırasında kayıpların artmasına, elektrik

enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımında verimin düşmesine neden olmaktadır.

Optimizasyon bir sistemin olası tasarımları arasından en iyisini bulmaktır ve bu sistemin en uygun çalışma şartlarına karar vermek için kullanılan önemli bir araçtır. Klasik Optimizasyon Metotları(KOM), güç sistemlerinin optimum çalışmasını sağlayarak maliyeti azaltmak amacıyla önceden beri kullanılmaktadır. Güç sistemi problemlerinde kullanılan klasik optimizasyon metotları, Şekil-1'de görüldüğü gibi, temelde analitik metotlar ve çözüm yapılandırıcı metotlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil-1: Güç Sistemlerinde kullanılan Klasik Optimizasyon Metotları

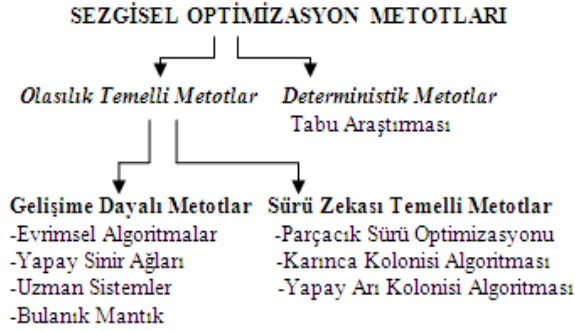
Klasik Optimizasyon Metotlarının bilinen bazı üstünlükleri;

- (i) Algoritma başarılı olarak sonuca ulaştığında bulunan çözümün optimum olması,
- (ii) Çözüm aralığının alt ve üst sınırlarındaki optimum çözüme götüren bilgilerin elde edilebilmesi,
- (iii) Optimum çözümün olmadığı bölgeleri elemine edilebilmesidir.

Klasik Optimizasyon Metotlarının belirlenen bazı yetersizlikleri;

- (i) Genelde küçük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılması,
- (ii) Fazla hafıza kullanımının programın erken sonlandırılmasına neden olması,
- (iii) Formülasyondaki değişime uyarlanmasının oldukça zor olması,
- (iv) Bir problem için çok iyi sonuç veren klasik yöntemlerin bir başka probleme uygulanmasının oldukça zor olması[1],
- (v) Çalışmasının ve ulaştığı çözümün genel olarak lokal optimumda kalmasıdır.

Sezgisel Metotların global optimuma yakınsaması ve çok geniş bir çözüm uzayını hızlı bir şekilde tarayabilmesi güç sistemleri optimizasyonu için bu metotları cazip kılmıştır. Güç sistemlerinde kullanılan sezgisel metotlar Şekil-2 'de belirtildiği gibi temelde deterministik metotlar ve olasılık temelli metotlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil-2: Güç Sistemlerinde kullanılan Sezgisel Optimizasyon Metotları

2. Klasik Optimizasyon Metotları

2.1 Analitik Metotlar

2.1.1 Doğrusal Güç Sistemleri Problemleri için Kullanılan Metotlar

2.1.1.1 Doğrusal Programlama

Bu metotla doğrusal olmayan güç sistemi optimizasyon problemleri sistem doğrusallaştırılarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu sebeple kullanılan hedef fonksiyonlar ve kısıtlamaları doğrusal formda düzenlenir. Doğrusal Programlama(DP)'nin üstün taraflarından birisi yaklaşım özellikleri açısından güvenilir olmasıdır. Metodun uygulanması mümkün olmayan durumları hemen tespit edebilmesi ve acil durum kısıtlamalarını da sağlayarak çok çeşitli güç sistemi çalışma limitlerine uygulanabilmesi diğer üstünlükleridir. Sistem kayıplarının hatalı değerlendirilmesi ve doğrusal olmayan güç sistem modellerine göre kesin çözüm üretmekte yetersiz kalması bilinen olumsuz yönleridir. DP çeşitli güç sistem uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunlardan; güç sistemlerinde optimum yük akışı, reaktif güç planlaması, aktif ve reaktif güç dağıtımı, ekonomik yük dağılımı, şebeke güvenliği ve güç sistem planlaması sayılabilir.

2.1.1.2 Dahili Nokta Metodu

Dahili Nokta Metodu(DNM) 1984 yılında Karmarker tarafından esas olarak doğrusal programlama problemlerini çözmek için geliştirilen bir metottur. Doğrusal programlamadaki klasik tek yönlü çözüm yöntemiyle karşılaştırıldığında gerekli hassasiyetleri de sağlayarak çok daha iyi sonuçlar elde

edilebilir. Ama bu metot genelde algoritmanın kötü başlangıç değerinden ve optimalite kriterlerinden olumsuz etkilenir. Durum tahmini, optimum yük akışı güç sistemlerinde bazı kullanım alanlarıdır.

2.1.1.3 Tamsayı-Karışık Tamsayı Metodu

Bir çok optimizasyon problemlerinde bazı bağımsız değişkenler ve kısıtlamalar sadece tamsayı değeri alırlar. Örneğin ON=1 OFF=0 gibi. Bu tip problemler tamsayı programlama yöntemiyle çözülür. Kullanılan değişkenler sürekli ise bu metot Karışık Tamsayı Programlama(KTP) adını almaktadır. Transformatör kademe oranı, faz kayma açısı ve şebekenin devrede ya da devre dışı olması gibi güç sistemleri problemleri karışık tamsayı optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. KTP'nin ayrık değişkenlerinin çok olması ve fazla hesaplamaya ihtiyaç duyması zor bir yöntem olduğunun göstergesidir. Analiz tekniğiyle KTP problemi sürekli ve tamsayı problemlere ayrıştırılır ve ayrıştırılmış her problem farklı metotlarla çözülebilmektedir. Tamsayı ve karışık tamsayı programlama çeşitli güç sistem alanlarına uygulanmıştır. Örneğin; Optimal reaktif güç planlaması, güç sistem planlaması, şebeke taahhüdü, üretim listeleme gibi.

2.1.2 Doğrusal Olmayan Güç Sistemleri Problemleri için Kullanılan Metotlar

2.1.2.1 Doğrusal Olmayan Programlama

Güç sistemleri problemleri genelde doğrusal olmayan problemlerdir. Doğrusal olmayan Programlama(DOP) tabanlı teknik, güç sistemi problemlerine kolayca uygulanabilir. DOP tabanlı metotlar DP tabanlı uygulamalara göre daha hassastır ve daha çok global çözüme yakınsar. Yani başlangıç noktasından bağımsız olarak yakınsar. Fakat araştırma yönündeki zigzaglardan dolayı yavaş bir yakınsama hızı oluşabilir. DOP çeşitli güç sistemleri alanlarına uygulanmıştır; Bunlar; optimal yük akışı, hidrotermal çizelgevs. gibi.

2.1.2.2 İkinci Dereceden Programlama

İkinci Dereceden Programlama(İDP) doğrusal olmayan programlamanın özel bir biçimidir. İDP optimizasyon modelinde kullanılan hedef fonksiyonu ikinci dereceden bir fonksiyondur ve kısıtlamaları lineer formdadır. Özellikle güç sistemlerinde en çok kullanılan hedef fonksiyon genelde ikinci dereceden maliyet fonksiyonudur. Bundan dolayı İDP ile çözülen güç sistemi problemlerinde fonksiyonu yalınlaştırmak gibi bir şey söz konusu değildir. İDP, LP tabanlı uygulamalardan daha yüksek bir hassasiyete sahiptir[2]. Özellikle ekonomik yük dağılımı ve optimum yük akışı problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

2.1.2.3 Newton Metodu

Newton Metodu güç akışı eşitliklerinin ikinci dereceli kısmı türevlerinin hesaplanmasını içerir. Newton Metodu ikinci dereceden yakınsama özelliklerinden dolayı tercih sebebidir. Optimum güç akışı problemleri çözümünde kullanılmıştır.

2.2 Çözüm Yapılandırma Metotları

Bu metotlar güç sistemi problemlerinin çözümünü basitleştirmek ya da problemlerin çözümünde yardımcı olması için kullanılan metotlardır. Bunlar; Dinamik Programlama, Dal-Sınır Metodu, Lagrange Metodu, Kesen Düzlem metodu vs.

3. Sezgisel Optimizasyon Metotları

3.1 Deterministik Metotlar

3.1.1 Tabu Araştırması

Tabu Araştırması(TA) esas olarak tümeşik optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Esnek hafızanın kullanımıyla tanımlanan iteratif bir araştırma algoritmasıdır. Herhangi bir başlangıç değeriyle başlar ve komşuluk mekanizmasını kullanarak en iyi çözümü bulmaya çalışır. Lokal minimumu elemine etme ve lokal minimumun ötesini araştırabilme özelliği vardır. TA global optimumu bulmak için tesadüfi değişkenli optimizasyon algoritmalarını kullanır. Bu TA'yı klasik metotlara göre esnek ve sağlıklı yapar.

Tabu listesinin en önemli özelliklerinden birisi, mevcut tabu listesinin aday komşu çözümler ile karşılaştırıldıktan sonra bir sıralama ve karşılaştırma işlemi yaparak kendisini yenileyebilmesidir.[3]

TA'nın kullanıldığı güç sistemi alanlarından bazıları; iletim planlaması, optimal kapasitör yerleşimi, reaktif güç planlamasıdır.

3.2 Olasılık Temelli Metotlar

3.2.1 Gelişime Dayalı Algoritmalar

3.2.1.1 Evrimsel Algoritmalar

Evrimsel Algoritmalar (EA) popülasyon tabanlı optimizasyon metotlarıdır. EA klasik yöntemlerden oldukça farklıdır. Bu yöntemde maliyet fonksiyonlarını ve kısıtlamaları ayırmaya gerek yoktur. EA aday çözümlerin sıfırlanmasıyla başlatılır ve başlangıç popülasyonundan sonra rastgele çözümler üretilir. Bütün çözümler probleme cevap verme kalitesine göre ölçülür. En iyi çözümü belirlemek için seçicilik kriteri uygulanır. EA'nın üstünlükleri değişimlere kolay adapte olabilmesi ve global optimuma yakınsaması dolayısıyla iyi çözümler

üretebilmesidir. EA tüm gerekli bilgileri yetenek fonksiyonunda bulundurması gerektiğinden bütün optimum güç akışı kısıtlamalarının dikkate alınması zordur. Bu sebeple daha çok klasik ekonomik dağıtım gibi yalınlaştırılmış optimum güç akışı problemlerinde de kullanılır.

EA; Genetik Algoritma(GA), Isıl İşlem (İİ). Evrimsel Programlama, Diferansiyel Gelişim Algoritması gibi alt bölümlere ayrılır. GA ve İİ Algoritmasına sürekli ve ayrık optimizasyon problemlerinin çözümünde çok yönlü optimizasyon yeteneklerinden dolayı gittikçe artan bir ilgi mevcuttur. GA doğal seçicilik ve evrim prensibine dayanırken, İİ termodinamikteki benzetim prensibine dayanmaktadır. EA; Güç sistemi planlaması, kapasitör yerleşimi, optimum yük akışı gibi değişik güç sistemi problemlerine uygulanmıştır.

3.2.1.2 Yapay Sinir Ağları

Bir sinir ağının öğrenilmiş davranışını açıklayan Yapay Sinir Ağları(YSA)'nın başlangıcı 1949'da D.O. Hebb tarafından uygulanan eğitim algoritmasıdır. YSA'nın birçok güç sistemleri uygulamasında çok tabakalı ileri beslemeli ağları kullanılmıştır. YSA'nın üstün yönleri; hızlı olması, öğrenme kabiliyetine haiz olması, bilgiye adapte olabilmesi, kararlı olması ve doğrusal olmayan modeller için uygun olmasıdır. Çok boyutlu olması, optimum konfigürasyonun seçilme gerekliliği, eğitim metodolojisinin tercihi, girişler makul olmasa bile algoritmanın sürekli bir sonuç üretmesi olumsuz yanlarıdır. YSA'nın güç sistemlerinde kullanıldığı alanlar: Planlama, ekonomik dağıtım, kısa dönem yük tahmini.

3.2.1.3 Uzman Sistemler

Uzman Sistemler karmaşık problemleri çözmek için insan uzmanlığına ihtiyaç duyan bilgi ve kural temelli sistemlerdir. US'in temel üstünlükleri; sürekliliği, kolaylıkla transfer edilebilir, yeniden üretilebilir olması ve kolaylıkla raporlanabilmesidir. Temel eksikliği ise yeni durumları öğrenmekte ya da yeni durumlara adapte olmakta yetersiz kalmasıdır. US, basit kurallı tekniklerle başlamıştır ve karmaşık sistemlere uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir. Son yirmi yıldır güç sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtımında yardımcı olacak planlama, analiz, kontrol gibi alanlarında etkili uygulamalar geliştirilmiştir.

3.2.1.4 Bulanık Mantık

Mühendislik problemlerinde sıklıkla görülen kesin olmayan durumları tanımlamak için 1965 yılında L.A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir ve ilk defa 1979 yılında güç sistemlerine uygulanmıştır. Klasik kurulum teorisinde elementin grubu kesindir fakat bulanık kurulum teorisinde elementin grubu sürekli değişir.

Güç sistemi kısıtlamalarını daha doğru bir şekilde göstermesi, bulanıklaştırılmış kısıtlamaların geleneksel kısıtlamalara göre daha esnek olması gibi üstünlükleri vardır. Bulanık mantık güç sistemlerinde gerilim kontrolü, yük tahmini, hata tespiti, güç sistemleri koruması ve güç sistem kontrolü gibi alanlara uygulanmaktadır.

3.2.2 Sürü Zekası Temelli Metotlar

3.2.2.1 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) 1995 yılında J.Kennedy ve R.C.Eberhart tarafından geliştirilmiş, sosyal olarak organize olmuş kolonilerde sosyal dinamiklerden ve gelişmekte olan davranışlardan etkilenen sürü mantığının kullanıldığı algoritmadır. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için tasarlanmıştır. Çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için kullanılmaktadır. PSO'nun klasik optimizasyon tekniklerinden en önemli farklılığı türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır. PSO'yu güç sistemlerine uygulamak, algoritmasında ayarlanması gereken parametre sayısının az olması sebebiyle oldukça basittir[4]. Optimum yük akışı problemlerinde son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

3.2.2.2 Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) Sistemi M. Dorigo tarafından ilk defa 1992 detantılmıştır[5]. KKA'nda gerçek karınca

mimarisinin davranışlarından esinlenilmiştir. Bir karınca koku yoluyla evi ve besin kaynağı arasında çevre şartlarına göre gidip geleceği en kısa yolu belirler. Karıncalardaki bu sistem güç sistemlerine uygulanarak optimum çözüm araştırılır. KKA'nın son derece esnek olması ve çözüme yeni kanalların eklenmesi veya çıkarılması gibi değişikliklerin kolayca adapte edilebilmesi önemli avantajları arasında sayılmaktadır. KKA esas olarak iletim hattının en kısa rotasını bulmada ve optimum yük akışı problemlerinde kullanılmıştır.

3.2.2.3 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay Arı Kolonisi(YAK) algoritması nümerik optimizasyon problemlerinin çözümü için D.Karaboğa tarafından geliştirilen yeni bir metottur[6]. Arı kolonisinde üç adet arı grubu vardır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar. Algoritmada her bir çevrim üç adımdan oluşmaktadır. Bunlar; İşçi ve gözcü arıların kaynaklara gönderilmesi, gidilen kaynaklardaki nektar miktarının hesaplanması, kaşif arının belirlenen herhangi bir kaynağa rastgele konumlanmasıdır. Arıların çalışması sırasında kaynakların keşfi ve tüketimi arasındaki bir denge kurulmaya çalışılmaktadır. Önceliği belirleyecek çarpazlama oranları, mutasyon gibi parametrelere gerek duyulmaz. Diğer sürü temelli algoritmalarla karşılaştırıldığında daha basit ve esnektir. Algoritma global ve lokal araştırma metotlarının kombinasyonu şeklindedir. Yapay arı kolonisi algoritması özellikle optimum güç akışı problemlerine uygulanmıştır.

Tablo-1: Güç Sistemlerine Uygulanan Optimizasyon Metotları ve Uygulama Alanları

| OPTİMİZASYON METOTLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNDE UYGULAMA ALANLARI | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|-------------|-----------------------|--|
| Optimizasyon Metotları | | Optimum Yük Akışı | Güç Sistem Planlaması | Reaktif Güç Planlaması | Enerji Üretim Planlaması | Enerji İletim Planlaması | Güç Sistem Koruması | Gerilim Kontrolü | Yük Tahmini | Ekonomik Yük Dağıtımı | Bazı İlgili Çalışmaların Ref. Numarası |
| KLASİK METOTLAR | DP | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | 7 |
| | DNM | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | 8 |
| | KTP | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | 9 |
| | DOP | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | 10 |
| | İDP | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ | 11 |
| | NM | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | | 12 |
| SEZGİSEL METOTLAR | TA | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | 13 |
| | EA | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | 14,15 |
| | YSA | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | 16 |
| | US | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | 17,18 |
| | BM | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | 19 |
| | PSO | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | 20,21 |
| | KKA | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | 22,23 |
| YAK | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | 24,25 | |

4.Sonuç

Güç sistemlerinin gün geçtikçe genişlemesi ve elektrik şebekesinin deregölasyonu güç sistemi optimizasyon problemlerini daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bu çalışmada karmaşık güç sistemlerinin farklı alanlarında optimizasyonu sağlayarak maliyetleri en aza indirmek için kullanılan klasik ve sezgisel metotlardan bahsedilmiştir. Klasik metotlar genelde probleme özgüdür. Bir problemde çok iyi sonuç verirken başka bir problemde yeterince iyi sonuç vermeyebilir. Birçok klasik metotla çözüme ulaşmak için formülasyonu sadeleştirmeye gereksinim vardır. Sonuçta klasik metotlar lokal optimuma yakınsarken sezgisel metotlar genelde lokal optimuma takılmadan global optimuma ulaşırlar. Çözülecek güç sistemi probleminin klasik metotlarla çözülmesi sırasında doğrusal olup olmaması önemli bir faktör iken sezgisel metotlar kullanılırken bunun pek önemi yoktur. Klasik metotlar, problemin boyutları büyüdükçe yetersiz kalmasına karşın sezgisel metotlar büyük boyutlu problemlerde de iyi sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak son yıllarda güç sistemleri problemlerine sezgisel metotların uygulanması güç sistemlerinde daha etkin ve verimli çözümleri de beraberinde getirmektedir[26].

KAYNAKLAR:

[1] Akay, B., Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi, 2009, Kayseri
[2] Zhu, J., Optimization of Power System Operation, A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION, 2009
[3] Yalçınöz, T., Yavuzer, T. and Altun, H., 'Tabu araştırması uygulanarak ekonomik yük dağıtımının çözümü', Eleco'2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, pp. 30-34 (Elektronik Bilgisayar), Bursa, 18-22 Aralık 2002.
[4] Tamer, S., Karakuzu, C., 'Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri', ELECO 2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, Elektronik Bildirileri Kitabı, 302-306, 6-10 Aralık 2006 Bursa.
[5] Dorigo, M., Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992.
[6] Karaboga, D., Basturk B., 'A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm', J Glob Optim 39:459-471, 2007
[7] Farag, A., Al-Baiyat S., and Cheng, T.C., 'Economic load dispatch multiobjective optimization procedures using linear programming techniques', Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 10, pp. 731-738, 1995
[8] Torres, G.L., and Quintana, V.H., 'On a nonlinear multiple-centrality-corrections interior-point method for optimal power flow', IEEE Trans. Power Syst., 2001, 16, (2), pp. 222-228
[9] Alguacil, N., Motto A.L., Conejo, A.J. Transmission Expansion Planning: A Mixed-Integer LP Approach', IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO. 3, AUGUST 2003
[10] Momoh, J.A., and Zhu, J., 'Multi-area power systems economic dispatch using nonlinear convex network flow programming', Electric Power Syst. Research, vol. 59, pp. 13-20, 2001.

[11] Granelli G.P. and Montagna, M., 'Security- constrained economic dispatch using dual quadratic programming', Electric Power Syst. Research, vol 56, pp. 71-80, 2000.
[12] Santos Jr A., da Costa G.R.M., 'Optimal-power-flow solution by Newton's method applied to an augmented Lagrangian function, IEE Proc.-Gour. Tram. Distrib., Vol. 142, No. 1, Jmumy 1995
[13] Da Silva, E.L., Ortiz, J.M.A., De Oliveira, G.C., Binato, S., 'Transmission Network Expansion Planning Under a Tabu Search Approach' IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 16, NO. 1, FEBRUARY 2001
[14] Da Silva, E.L., Gill, H.A. and Areiza, J.M. 'Transmission Network Expansion Planning Under an Improved Genetic Algorithm', IEEE Trans. Power Systems, 15(3): 1168-1175, 2000.
[15] Varadarajan, M. and Swarup, K.S. 'Differential evolution approach for optimal reactive power dispatch', Applied Soft Computing 8 (4) (2008), pp. 1549-1561
[16] Saksomchai, T., Lee W.J., Methaprayoon, K., Liao, J., 'Improve the Unit Commitment Scheduling by Using the Neural Network Based Short Term Load Forecasting, IEEE, pp. 33-39, July 2004
[17] Pimpa, C., Premrudeepreechacharn, S., Voltage control in power system using expert system based on SCADA system, Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE
[18] Liu, C.C. 'Practical Use of Expert Systems in Planning and Operation of Power Systems', Electra, 141:31-67, Feb. 1993.
[19] Kumar, S.S., Ajay, P., Raj, Vimal, 'Fuzzy Logic based Stability Index Power System Voltage Stability Enhancement', International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 2, No. 1, February, 2010
[20] Abido, M. A., 'Optimal power flow using particle swarm optimization', International Journal of Electrical Power & Energy Systems Volume 24, Issue 7, October 2002, Pages 563-571
[21] AlRashidi M.R., El-Hawary M. E. 'A Survey of Particle Swarm Optimization Applications in Electric Power Systems, IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, VOL. 13, NO. 4, AUGUST 2009
[22] Bouktir, T. and Slimani L., 'Optimal Power Flow of the Algerian Electrical Network using an Ant Colony Optimization Method' Leonardo Journal of Sciences ISSN 1583-0233, Issue 7, July-December 2005 p. 43-57
[23] Ketabi, A. And Babae, A.A. 'Application of the Ant Colony Search Algorithm to Reactive Power Pricing in an Open Electricity Market' American Journal of Applied Sciences 6 (5): 956-963, 2009 ISSN 1546-9239
[24] Hemamalini, S., Simon, P.S., 'Economic/Emission Load Dispatch Using Artificial Bee Colony Algorithm', Proc. of Int. Conf. on Control, Communication and Power Engineering 2010
[25] Ozturk, A., Cobanli, S., Erdogmus, P., Tosun, S., 'Reactive power optimization with artificial bee colony algorithm' Scientific Research and Essays Vol. 5 (19), pp. 2848-2857, 4 October, 2010
[26] Warkad, S. B., Khedkar, M. K., Dhole, G.M., 'Genetic Algorithm Approach for solving AC-DC Optimal Power Flow Problem', Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol 6. No 1. (pp 027 - 039) , 2009