



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

Metasezgisel metotlar kullanılarak ekonomik yük dağıtım problemi için çözüm: *grafiksel kullanıcı arayüzü uygulaması*

Solution of economic dispatch problem using metaheuristic methods: graphical user interface application

Yazar(lar) (Author(s)): Ulaş EMİNOĞLU, Ozan KARAHAN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Eminoğlu U. ve Karahan O., "Metasezgisel metotlar kullanılarak ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü: *grafiksel kullanıcı arayüzü uygulaması*", *Politeknik Dergisi*, 20 (4) : 827-835, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369019

Metasezgisel Metotlar Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü: *Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Uygulaması*

Araştırma Makalesi /Research Article

Ulaş EMİNOĞLU¹, Ozan KARAHAN²

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, TOKAT.

²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, TOKAT

(Geliş/Received : 01.12.2016 ; Kabul/Accepted : 04.04.2017)

ÖZ

Elektrik enerjisi üretiminde termik santraller önemli bir rol oynamaktadır. Bu tip santrallerin birlikte çalışmaları durumunda optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, enerji üretim maliyeti açısından son derece önem taşımaktadır. Diğer taraftan, Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) tasarımı, geliştirilen yazılımın uygulanarak sonuçların kolaylıkla elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Bu nedenle, çalışmada metasezgisel metotlardan hızlı, yakınsama ve optimum çözüme ulaşabilme özelliklerine sahip Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) metodu kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) problemlerinin çözümü için geliştirilen optimizasyon algoritmaları ve tasarlanan Arayüz verilmektedir. İlk olarak geliştirilen optimizasyon algoritmaları literatürdeki mevcut sistemlere uygulanarak geçerlilikleri ve üstünlükleri gösterilmektedir. Akabinde, bu algoritmaların kullanıcı tarafından sistemlere kolaylıkla uygulanabilmesi için C# programı kullanılarak oluşturulan paket program (Kullanıcı Arayüz'ü) verilmektedir. Elde edilen sonuçlar; PSO ve özellikle DGA kullanılarak geliştirilen optimizasyon algoritmasının yakıt maliyeti açısından daha avantajlı sonuçlar verdiğini ve oluşturulan Arayüz'ün kullanımının uygulama açısından kullanıcıya büyük kolaylık sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Diferansiyel gelişim algoritması, ekonomik yük dağıtım, optimizasyon, parçacık sürüsü optimizasyonu, termik santraller.

Solution of Economic Dispatch Problem Using Metaheuristic Methods: *Graphical User Interface Application*

ABSTRACT

Thermal power plants play an important role in the electrical energy production. In case these plants work together, determining the optimum point of conditions has a great importance in cost of energy which is produced. Moreover, designing a Graphical User Interface (GUI) enables the results to be easily obtained by implementing the developed software. Accordingly, in this study, using Differential Evolution Algorithm (DEA) and Particle Swarm Optimization (PSO) method which has fast convergence ability and optimal solution reachability and called as metaheuristic methods, optimization algorithms and Interface developed/created for the solution of Economic Load Dispatch (ELD) problem are proposed. Firstly, the developed optimization algorithms are applied to the existing systems in the literature and their validity and superiority are proposed. And then, a package program which is created using C# program in order to utilize the developed algorithms to the systems by the user, easily, is introduced. Results suggest that the optimization algorithms developed by using PSO and especially DGA gives more advantageous results in terms of fuel cost, and the developed interface provides user a great convenience in terms of its application for solving such problems.

Keywords : Differential evolution algorithm, economic load dispatch, optimization, particle swarm optimization, thermal power plants.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayileşme ve nüfus oranındaki artış enerji talebinin her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Talepteki artış, yeni üretim santrallerinin kurulmasına ve enerji sektörünün özelleştirilmesine yol açarak enerji sistemlerini daha karmaşık hale getirmesi nedeniyle

Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) daha da önem kazanmaktadır. EYD; en düşük maliyette talep gücün karşılanması olarak tanımlanmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde yüksek oranda payı olan termik santrallerde maliyeti diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha yüksek olan kömür, linyit, fuel-oil gibi yakıtların kullanımı yakıt ve dolayısıyla üretim maliyetini yüksek değerli kılmaktadır. Bu tip santrallerde yakıt maliyeti; çıkış gücüne bağlı olarak 2. dereceden fonksiyon (polinom) olarak tanımlanmakta, talep gücün karşılanmasında her

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ulaş.eminoglu@gop.edu.tr

bir santralin ve sonucunda toplam maliyetin olası en düşük değerde tutulabilmesi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. EYD probleminin çözümü ile bu optimum çalışma koşulları belirlenmektedir. Bu problem ayrık optimizasyon problemi olduğundan klasik optimizasyon metotları yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle problemin çözümünde metasezgisel optimizasyon metotları yaygın olarak kullanılmaktadır [1-17].

Bu çalışmalarda özetle; yapay sinir ağları kullanılarak 6 santralden oluşan 20 baralı sistemin maliyetinin minimizasyonu [1], IEEE 30 bara ve 6 termik santralli bir sisteme yapay arı kolonisi kullanılarak [2], 3 termik santralli kayıplı bir sisteme benzetim tavlama algoritması kullanılarak [3] EYD problemleri çözümlenmiştir. Bunların yanı sıra, IEEE 25 baralı sistemin Genetik Algoritma (GA) kullanılarak çözümü [4], 4 bölgeli bir güç sisteminde EYD probleminin PSO metodu kullanılarak çözümü [5], 2. Derece Gradient yöntemi uygulanarak Türkiye’de Ege Bölgesinde faaliyet gösteren 8 santral 22 baralı sistemde yük dağılımı probleminin çözümü [6], bu sistemde 6 santral 14 bara durumu için GA kullanılarak problemin çözümü [7], Tabu araştırmasının EYD problemlerine uygulanması [8], PSO kullanılarak 40 santralli kompleks sistemin ekonomik yük dağıtımı [9], yine PSO kullanılarak 330kV 31 baralı 7 santralli Nijerya sisteminde santraller için yakıt maliyetinin minimizasyonu [10], 6 santralli 26 baralı 46 iletim hatlı kayıplı bir hattın ekonomik yük dağıtımı [11]’ de, gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde metasezgisel metotlardan DGA ve geliştirilmiş DGA kullanılarak farklı sistemler için ekonomik yük dağıtımı [12-14]’de gerçekleştirilmiştir. Bunlardan [14]’de verilen çalışmada maliyeti yüksek ünitelerin güçleri minimize edilecek şekilde algoritma oluşturulmuş sonuçlar Newton, Lamda iterasyon ve Gradient metotları ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak geliştirilen algoritmanın maliyet açısından avantajlı olduğu gösterilmiştir. Referans [15]’de Lagrange metodu kullanılarak 6, 7 ve 10 üniteli sistemler için EYD problemi çözülerek sistemlerde yükün zamana göre artışı dikkate alınmış ve yük değişiminin maliyet üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Lamda iterasyon metodu ve Yapay Sinir Ağlarının (YSA) EYD problemlerinin çözümü için performansları karşılaştırılarak YSA’nın hesaplama süresi ve optimum çözüme yakınsama açısından daha avantajlı olduğu [16]’da gösterilmiştir. Benzer şekilde [17]’de metasezgisel metotlardan DGA, PSO ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritmalarının EYD problemlerinin çözümünde performansları karşılaştırılmış ve DGA’nın diğer optimizasyon metotlarına nazaran daha kısa sürede çözüme ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GKA) uygulamaları; programlama dili kullanımı ve kodlama gerektirmeksizin sistemler için bilgi girişi, simgeler, ikonlar ve diğer görsel grafikler yardımıyla sonuca ulaşılması açısından kullanıcıya büyük avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle Grafik Kullanıcı Arabirimi uygulamaları; Güç

sistemlerinde gerilim karahlık analizi ve optimum reaktif güç kompanzasyonu için Arayüz [18], Rüzgar Türbinleri ve kullanılan jeneratörlerin modellenerek güç sistemlerine entegrasyonu paketi [19], vb. gibi bir çok alanda GKA uygulamaları yapılmıştır. Fakat EYD problemlerinin çözümüne ilişkin GKA uygulamaları literatürde yer almamaktadır. Bunlara ilaveten diğer bir çok alanda olduğu gibi EYD problemlerinin çözümünde de DGA ve PSO metotları hızlı yakınsama ve optimum çözüme erişim açısından diğer optimizasyon tekniklerine göre daha avantajlı olduğu literatürde bazı çalışmalarda gösterilmiştir [9, 11, 14, 17]. Bu durumlar göz önünde bulundurularak EYD probleminin optimum çözümü için optimizasyon algoritmaları geliştirilmiş ve bu algoritmaların kolaylıkla sistemlere uygulanabilirliği açısından Grafik Kullanıcı Arayüz’ü tasarlanmıştır. Çalışmada ilk olarak EYD problemi ve buna ilişkin matematiksel modeller verilmektedir. Sonrasında PSO ve DGA kullanılarak geliştirilen optimizasyon algoritmaları verilmektedir. Geliştirilen algoritmalar, literatürde analiz edilen ve pratikte de kullanılan sistemlere uygulanarak geçerlilikleri ve diğer çözüm algoritmalarına göre üstünlükleri Bölüm 4’de analiz edilmektedir. Bölüm 5’de oluşturulan Arayüz tanıtılarak güvenilirliği literatürde EYD problemi çözülmüş sistemler üzerinde test edilmektedir. Uygulama sonuçları algoritmalar kullanılarak maliyet açısından en uygun çalışma koşullarının elde edilebildiğini ve oluşturulan Arayüz’ün algoritmaların sistemlere kolaylıkla uygulanabilmesi açısından avantajlı olduğunu göstermektedir.

2. EKONOMİK YÜK DAĞITIM PROBLEMİ (ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM)

Bir elektriksel güç sisteminde talep gücün maliyeti en düşük seviyede tutacak şekilde termik üretim birimlerine paylaştırılması EYD problemi olarak tanımlanır. Bu problem yük talebine göre 3-5 dakika aralıklar ile mevcut her bir santralin üretim miktarının optimum değeri belirlenerek çözülmektedir. Sistemdeki yük dengesi:

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_L = P_D \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır [7]. Burada MW cinsinden P_i termik ünitelerin toplam çıkış gücü, P_L toplam hat kayıpları ve P_D ise toplam yük talebidir. Her bir termik grubun maliyet fonksiyonu (F_i) ve bunlara göre sistemin toplam üretim maliyeti (F_T) ise $\$/h$ aşağıda verildiği gibi tanımlanmaktadır [6-7].

$$F_i(P_i) = c_i + b_i P_i + a_i P_i^2 \quad (2a)$$

$$F_T = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \dots + F_n(P_n) = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (2b)$$

EYD probleminin mevcut kısıtlamalar dikkate alınarak

çözümü ile Denklem (2a)'da verilen her bir üretim grubunun optimum maliyeti belirlenmekte dolayısıyla da Denklem (2b) ile tanımlanan toplam üretim maliyeti optimize edilmektedir. Probleminin çözümü, santrallerin toplam çıkış gücünün minimum ve maksimum güç limitlerinde ve Denklem (1)'de verilen güç dengesinin korunmasını gerektirmektedir. Bunlardan her bir santral grubunun toplam çıkış gücü limitler dikkate alınarak:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanarak optimizasyon problemine bir kısıtlama olarak dahil edilmektedir. Üretim, kayıp ve tüketilen güç dengesi ise:

$$CF = \sum_{i=1}^n P_i - P_L - P_D \quad (4a)$$

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_n) + a \times CF^2 \quad (4b)$$

şeklinde tanımlanan ceza faktörünün (CF) toplam maliyete yansıtılması sonucunda korunmaktadır. Burada n toplam santral sayısı, a ise ceza fonksiyonu katsayısı olup çalışmada $a=25$ değeri kullanılmıştır [7]. Maliyete etki eden büyüklüklerden biri ise sistemdeki toplam kayıp güç olup santrallerin üretim büyüklüklerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanarak optimizasyon problemi çözümüne dahil edilmektedir.

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{oi} P_i \quad (5)$$

Burada B_{ij} iletim hattı kayıpları için katsayı matrisi ve B_{oi} ise katsayı vektörüdür [6].

3. EYD PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMALAR (DEVELOPED ALGORITHMS FOR THE SOLUTION OF EYD PROBLEM)

Talep gücün birden fazla santral tarafından karşılanması, üretim-tüketim dengesi ve güç üretiminin limitler dahilinde yapılabilmesi nedenleriyle EYD problemi kısıtlamalı optimizasyon probleminin çözümünü gerektirmektedir. Metasezgisel optimizasyon teknikleri kullanılarak çok değişkenli problemler kolaylıkla çözülebilmektedir. Bu nedenle problemin çözümü için bu çalışmada kullanım açısından kolay, hızlı ve etkin sonuçlar verebilmeleri nedeniyle Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) [20] ve Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) metodu [21] kullanılmıştır. Uygulanan popülasyon temelli optimizasyon metotları lineer (doğrusal) olmayan problemlerin çözümü için geliştirilmiş olup çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [5, 9-14, 17].

DGA'nın problemlere uygulamasında başlangıç

popülasyon bireyleri (x_{ij}) ($i=1, 2, \dots, NP$, $j=1, 2, \dots, D$) rasgele oluşturulmaktadır. Burada D ; parametre sayısı olup NP ; popülasyon büyüklüğüdür. Oluşturulan başlangıç bireyleri kullanılarak tüm bireylere sırasıyla mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemleri uygulanarak tanımlanan durdurma kriteri sağlanıncaya kadar aday popülasyon bireyleri türetilmektedir. İlk olarak algoritmada sınır değerler içerisinde rastgele oluşturulan başlangıç bireyleri mutasyona tabi tutulmaktadır. Bu işlem ile bireyler için mutant vektörler (v_{ij}) birbirinden ve bireyden farklı bireyler (x_r), ve parametreler için mevcut en uygun birey (x_{bij}) kullanılarak;

$$v_{ij} = x_{ij} + F \times (x_{bij} - x_{ij}) + F \times (x_{r1} - x_{r2}) \quad (6)$$

ifadesi ile veya buna benzer tanımlanmış ifadelerden biri kullanılarak oluşturulmaktadır. Burada F ; değeri genelde 0 ile 1 arasında değişen ölçekleme (mutasyon) faktörünü göstermektedir. Sonrasında ise aday birey oluşturulan mutant birey ve mevcut birey arasında çaprazlama uygulanarak belirlenmektedir. Çaprazlama, 0 ile 1 aralığında rastgele seçilen değer (r_i) ve çaprazlama oranı (CR) değerine göre yapılmaktadır. Eğer $r_i < CR$ ise aday birey mutant bireyden (v_{ij}), değil ise aday birey mevcut popülasyon bireylerinden (x_{ij}) seçilmektedir. Seçme işlemi, mevcut birey ve aday bireyler hedef fonksiyonunda değerlendirilerek yapılmakta ve yeni popülasyon oluşturulmaktadır [20]. DGA ile EYD probleminin çözümüne ilişkin algoritma adım adım olarak aşağıda verilmektedir.

Adım 1: DGA için çaprazlama oranı (CR), ölçekleme faktörü (F), maksimum iterasyon sayısı ($iter_{max}$) ve popülasyon sayısı (NP) değerlerini gir.

Adım 2: EYD problemi için termik santrallerin çıkış gücü limitlerini, talep yük (P_D) ve hat kayıpları için katsayı matrisi (B_{ij}), vektörünü (B_{oi}) gir.

Adım 3: Santral güçleri için limitler dâhilinde başlangıç popülasyonlarını (x_{ij}) rastgele oluştur.

Adım 4: Her bir iterasyon için aşağıda verilen adımları maksimum iterasyon sayısına ulaşınca kadar tekrar et.

- Her bir birey (x_{ij}) için birbirinden farklı rastgele iki birey (x_r) oluştur.
- 0 ile NP arasında rastgele bir tam sayı olarak bir index (R) oluştur.
- Aday bireyleri ($v_{ij,t+1}$) aşağıdaki şekilde oluştur:
 - Her i . birey için 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı (r_i) üret. Eğer $r_i < CR$ veya $i=R$ ise aday $v_{ij,t+1}$ bireyini Denklem (6)'da verildiği şekilde oluştur. Aksi durumda aday birey için mevcut bireyi kullan, $v_{ij,t+1}=x_{ij,t}$.
 - Santral güç limitlerine göre aday bireylerin ($v_{ij,t+1}$) sınırlarını kontrol et.
 - Denklem (4)'ü kullanarak aday bireyleri ($v_{ij,t+1}$) değerlendir. Eğer $F_T(v_{ij,t+1}) < F_T(x_{ij,t})$ ise yeni birey için aday bireyi kullan, $x_{ij,t+1}=v_{ij,t+1}$.
- Her bir yeni i . bireyleri ($x_{ij,t+1}$) Denklem (4)'ü kullanarak hedef fonksiyonuna göre değerlendir.

Eğer en düşük maliyeti veren i . bireyler bir önceki en iyi çözümden daha düşük maliyete sahip ise bu bireyleri çözüm olarak sakla, $x_{ç,t+1}=x_{ij,t+1}$, aksi durumda mevcut en iyi bireyleri kullan, $x_{ç,t+1}=x_{ç,t}$.

Kullanılan diğer optimizasyon metodu olan Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) metodu EYD problemine bir çok kez çok kez uygulanmıştır [5, 9-11, 17]. PSO metodu popülasyon tabanlı stokastik bir optimizasyon tekniği olup kuş sürülerinin davranışları gözlemlenerek 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiştir [21]. PSO metodu ile $NP \times D$ boyutlu popülasyon bireyleri (p_{ij} ; $i=1, 2, \dots, NP$ ve $j=1, 2, \dots, D$) yani parçacıklar başlangıçta rasgele üretilmekte ve popülasyon bireyleri güncellenerek en uygun değer araştırılmaktadır. Her bir iterasyonda, her bir parçacık iki en iyi değere göre güncellenmektedir. Bunlardan birincisi bir parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi uygunluk değeri olup bu değer daha sonra kullanılmak üzere hafızada tutulmakta ve “ $pbest$ ” olarak adlandırılmaktadır. Diğer en iyi değer ise popülasyondaki herhangi bir parçacık tarafından o ana kadar elde edilmiş en iyi uygunluk değerine sahip çözümdür. Yani $pbest$ ’lerin en uygunudur. Bu değer popülasyon için global en iyi değerdir ve “ $gbest$ ” olarak isimlendirilir. Algoritmada her bir iterasyonda $v_{ij,t}$ hız vektörüne göre $p_{ij,t}$ parçacıklarının konumlarındaki değişim miktarı belirlenerek ($v_{ij,t+1}$), parçacıkların yeni konumu ($p_{ij,t+1}$) aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır.

$$v_{ij,t+1} = w \times v_{ij,t} + c_1 \times rand_1 \times (pbest_{ij,t} - p_{ij,t}) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_{ij,t} - p_{ij,t}) \quad (7a)$$

$$p_{ij,t+1} = p_{ij,t} + v_{ij,t+1} \quad (7b)$$

Burada $rand$ 0-1 arasında üretilen rastgele bir sayı, i parçacık numarasını ve t ise iterasyon sayısını göstermektedir. Diğer c_1 ve c_2 öğrenme faktörleri olup genellikle eşit alınmakta, w eylemsizlik ağırlığı olarak adlandırılmakta ve her bir iterasyonda lineer olarak azaltılmaktadır. PSO kullanılarak EYD probleminin çözümüne ilişkin algoritma adım adım aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Durdurma kriteri için maksimum iterasyon sayısı ($iter_{max}$), öğrenme faktörü (c_1 ve c_2), eylemsizlik ağırlığı (w) ve popülasyon büyüklüğü (NP) değerlerini gir.

Adım 2: EYD problemi için termik santrallerin çıkış gücü limitlerini, talep yük (P_D) ve hat kayıpları için katsayı matrisi (B_{ij}), vektörünü (B_{oi}) gir.

Adım 3: Santral güçleri için limitler dâhilinde başlangıç popülasyonlarını (p_{ij}) rastgele oluştur.

Adım 4: Maksimum iterasyon sayısı tamamlandıncaya kadar aşağıdaki işlemleri her bir iterasyon için tekrar et.

- Bireylerin ($p_{ij,t}$) mevcut pozisyonunu Denklem (4) ile verilen amaç fonksiyonu için değerlendir. Eğer $F_T(p_{ij,t}) < F_T(p_{ij,t-1})$ ise i . bireylerin en iyi pozisyonunu değiştir, $pbest_{ij}=p_{ij,t}$.

- Bireylerin en iyi pozisyonlarını ($pbest$) karşılaştırarak içlerindeki en iyi pozisyona sahip bireyleri çözüm olarak ata, $gbest_{ij,t}=F_T(pbest_{ij,t})_{min}$.
- Denklem (7) ile aday bireyleri ($p_{ij,t+1}$) oluştur ve santral güç limitlerine göre oluşturulan aday bireylerin sınırlarını kontrol et.
- İterasyon sayısını bir arttır, $t=t+1$. Eğer $t \leq iter_{max}$ ise Adım 4’e değil ise 5. Adıma git.

Adım 5: En iyi çözüm olarak $gbest_{ij,t}$ ’yi kullan, $p_{ç}=gbest_{ij,t}$.

4. ALGORİTMALARIN EYD PROBLEMLERİNE UYGULANMASI (APPLICATION OF ALGORITHMS TO EYD PROBLEMS)

Bölüm 3’de verilen algoritmalar birden fazla EYD problemine uygulanarak sonuçlar literatürde verilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Optimizasyon algoritmaları için maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü (NP), DGA için ölçekleme faktörü (F) ve çaprazlama oranı (CR), PSO için öğrenme faktörleri (c_1, c_2) ve başlangıç ağırlıklandırma oranı (w) literatürde kullanılan değerler dikkate alınarak deneme yöntemine göre seçilmiştir. Tasarım parametrelerinin değişimi ve EYD problemleri için elde edilen sonuçlar literatürde verilen sonuçlara göre kontrol edilerek DGA için $F=CR=0.8$, PSO için $c_1=c_2=2$ ve $w=1$, her iki metod için $NP=100$ ve maksimum iterasyon sayısı 500 değerlerinin bu problem için uygun olduğu görülmüştür. Her iki metod kullanılarak oluşturulan çözüm algoritması MATLAB programında [22] kodlanarak çalıştırılmıştır.

Algoritmalar ilk olarak literatürde geniş olarak incelenen 3 (üç) santralden oluşan sisteme uygulanmıştır. Termik santrallerin maliyet eğrisi Denklem (2a)’da verildiği gibi ikinci dereceden bir fonksiyon olup bunlara ilişkin katsayılar, jeneratör limitleri ve iletim hattı katsayı matrisleri [3]’de verilmiştir. Sistemdeki toplam 850 MW’lık talep yükü karşılamak üzere algoritmalar kullanılarak elde edilen yük dağılımı sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgede ayrıca Ref. [3]’de sistem için Benzetim Tavlama (BT) yöntemi, Genetik Algoritma (GA) ve Lagrange Yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırma amaçlı verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere PSO ve DGA kullanılarak elde edilen santral güçleri tamamen örtüşmektedir. Diğer taraftan bu değerler BT ve GA ile elde edilen yük dağılımına yakın değerli olup maliyet açısından ceza fonksiyonu değeri de ilave edilmesine rağmen daha avantajlıdır. Dolayısıyla uygulanan algoritmaların EYD problemi için daha avantajlı olduğunu söylemek mümkündür.

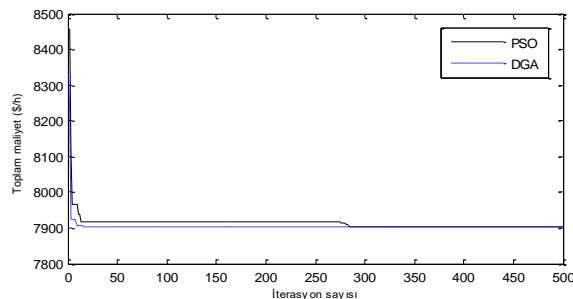
Çizelge 1. Üç santralli sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for the 3 station system)

Metot	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	$\sum_{i=1}^n (P_i)$	P _L (MW)	F _T (\$/h)
Lagrange [3]	435.13	299.99	130.71	865.83	15.83	7955
BT [3]	552.50	218.70	93.30	864.50	14.50	7905
GA [3]	549.80	223.90	90.90	864.60	14.60	7904
DGA	551.15	220.45	92.67	864.29	14.51	7903
PSO	551.18	220.46	92.68	864.38	14.51	7903

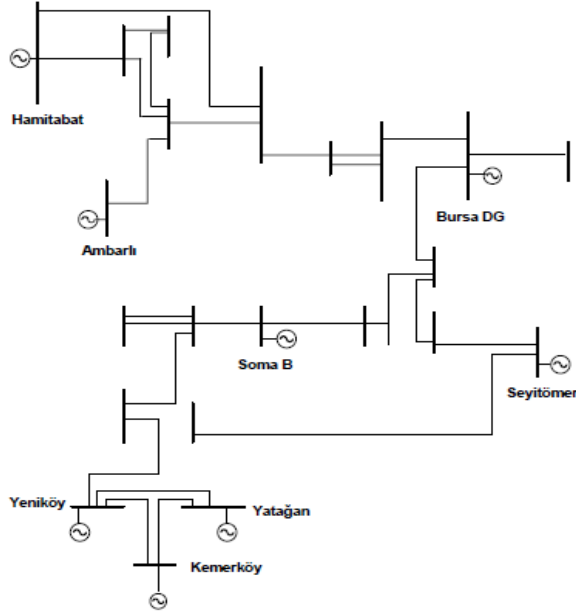
Çizelge 2. 6 jeneratör 8 yük baralı sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 6 generators with 8 load-bus system)

Metot	Bursa DG	S.ömer	SomaB	Y.köy	K.köy	Yatağan	F _T (\$/h)
GA [7]	554.04	496.95	320.80	357.17	519.25	486.62	47679.28
DGA	554.90	515.00	334.00	336.50	518.74	475.30	47657.07
PSO	554.92	515.01	334.02	336.51	518.75	475.31	47657.83

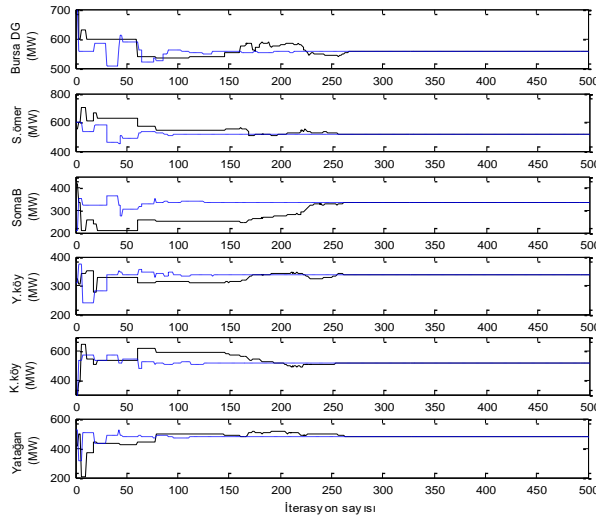
Algoritmalar i5;3.3-GHz işlemci ve 8 GB/3.3-GHz hafıza özelliklerine sahip bilgisayarda çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Her iki metot kullanılarak yapılan tasarım optimizasyonu için hedef (amaç) fonksiyonu toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayısı ile değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Hesaplama süresi açısından DGA temelli algoritmanın 500 iterasyonu 0.96 saniye civarında, PSO temelli algoritmanın ise 0.99 saniye civarında tamamlamaktadır. Ayrıca algoritmaların her uygulamada çözüm olarak aynı sonuçlara yakınsadığı görülmüştür. Dolayısıyla algoritmaların hem hesaplama süresi hem de tek uygulamada optimum çözüme yakınsaması açısından periyodik olarak yapılan yük dağılımı uygulaması açısından elverişli olduğunu söylemek mümkündür.

**Şekil 1.** 3 santralli güç sistemi için toplam yakıt maliyetinin en uygun değerinin iterasyon sayısına göre değişimi (Variation of the most appropriate value of total fuel cost by the number of iterations for the 3 stations power system)

Çalışmada ikinci olarak Türkiye'de kullanılan 22 baralı 8 santral (jeneratör barası) ve 14 yük barasından oluşan güç sisteminde minimum enerji maliyeti için santrallerin optimum çalışma koşulları incelenmiştir. Sistemin tek hat devre şeması Şekil 1'de, santraller için maliyet fonksiyonuna ilişkin katsayılar ve güç limitleri Ref. [6]'da verilmiştir. İlk olarak sistemde toplam 2734.9 MW olan 8 yük ve 6 jeneratör barası bulunması durumu için geliştirilen PSO ve DGA temelli algoritmalar uygulanarak EYD problemi çözümlenmiş ve sonuçlar Ref [7]'de Genetik Algoritma (GA) kullanılarak elde edilen sonuçlar ile birlikte Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca her iki optimizasyon metodunun uygulanmasında santrallerin en uygun güç değerlerinin iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Çizelgeden her iki algoritma ile elde edilen ve Denklem (4b) ile tanımlanan maliyet değerinin Ref. [7]'de verilen GA algoritması sonuçlarına nazaran daha avantajlı olduğu görülmektedir. Buna ilaveten DGA kullanılarak sistem için EYD probleminin 500 iterasyon için çözümü 1.07 saniyede, PSO temelli optimizasyon algoritması ile 1.08 saniyede tamamlanmıştır. Sistemde jeneratör sayısı dikkate alındığında bu sürelerin problemin çözümü için elverişli değerler olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca Şekil 3'den görüleceği üzere DGA temelli algoritma ile optimum çözüme 250 iterasyondan daha düşük, PSO temelli algoritma ile 300 iterasyondan daha düşük adımda ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum verilen hesaplama sürelerinden daha düşük sürelerde sonuca ulaşılabilceğini göstermektedir.



Şekil 2. 22-Baralı 8 termik santralli sistemin tek hat devre şeması (Single line circuit diagram of 8 thermal power plants with 22 load-bus)



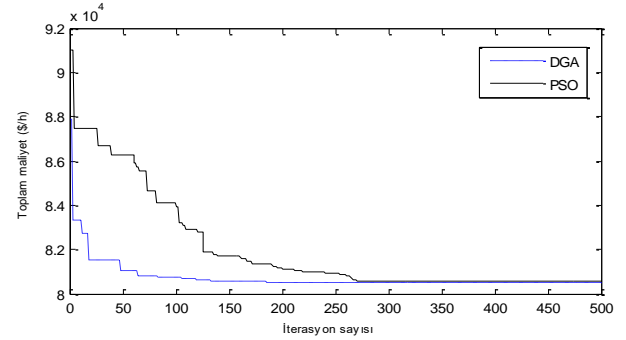
Şekil 3. Algoritmalarda (—PSO, —DGA) santrallerin toplam çıkış gücünün iterasyon sayısına göre değişimi (Variation of the total output power of power plants according to the number of iterations for the algorithms;—PSO, —DGA)

Şekil 2’de verilen sistemde toplamda 4000 MW güçlü 14 yükün 8 jeneratör (santral) tarafından beslenmesi durumu

Çizelge 3. 8 jeneratör 14 yük baralı sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 8 generator with 14 load-bus system)

Metot	H.bat	Bursa DG	Ambarlı	S.ömer	SomaB	Y.köy	K.köy	Yatağan	F _T (\$/h)
Gradient [6]	368.74	649.72	480.19	587.31	393.36	384.36	592.11	543.68	80533
DGA	368.73	649.50	480.10	587.18	393.83	384.42	591.97	543.75	80526
PSO	388.78	626.83	468.96	566.84	389.76	410.71	610.96	536.72	80567

için EYD problemi çözülerek sonuçlar Ref. [6]’da İkinci Derece Gradient metot kullanılarak elde edilen sonuçlar ile birlikte Çizelge 3’de verilmiştir. Ayrıca algoritmaların sistem için EYD problemine uygulamasında her bir iterasyon sonucunda toplam maliyetin değişimi Şekil 4’de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere DGA ile elde edilen sonuçlar Gradient metot sonuçları ile uyuşmakta olup toplam maliyet açısından daha avantajlı sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan PSO temelli algoritma ile yapılan yük dağılımı sonuçlarının maliyet açısından diğer metotlara nazaran daha elverişsiz olduğu görülmektedir. Dolayısıyla PSO metodunun bu tip optimizasyon probleminde değişken sayısı arttıkça optimum sonuca ulaşması açısından performansının zayıfladığını söylemek mümkündür. Bu durum algoritmanın tekrarlı uygulamalarında farklı çözümlere yakınsamasından da ayrıca görülmüştür. Hesaplama süresi açısından ise DGA ve PSO temelli algoritmaların 500 iterasyonu sırasıyla 1.13 ve 1.16 saniyede tamamladığı görülmüş olup bu tip optimizasyon probleminin çözümünde değişken (santral) sayısının artmasının algoritmaların performansını çok düşük oranda etkilediğini söylemek mümkündür.



Şekil 4. 8 santralli güç sistemi için toplam maliyetin en uygun değerinin iterasyon sayısına göre değişimi (Variation of the most appropriate value of the total cost for the power system with 8 power plants according to the number of iterations)

5. EYD PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN OLUŞTURULAN ARAYÜZ (INTERFACE CREATED FOR THE SOLUTION OF ELD PROBLEMS)

Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface); problemlerin kavranması ve kolaylıkla çözüme erişebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Ayrıca

problemin çözümünde kullanıcı, işlemlerine doğrudan müdahale edebilmekte ve muhtemel kullanıcı hataları kolaylıkla belirlenerek giderilebilmektedir. Bundan dolayı değişik alanlarda problemlerin çözümü veya uygulamalar için Arayüzler tasarlanarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, Bölüm 3’de verilen ve 4. Bölümde geçerliliği ve avantajları gösterilen DGA ve PSO temelli algoritmalar kullanılarak EYD probleminin çözümü için Grafik Kullanıcı Arayüzü geliştirilmiştir. Arayüz, kullanımı kolay, tamamen nesneye yönelik olması ve diğer nesne tabanlı programlama dillerine nazaran daha hızlı olması nedenleriyle C# yazılım programı kullanılarak tasarlanmıştır [23].

Geliştirilen Arayüz’de sistem bilgi girişi ve optimizasyon sonuçları aynı pencerede yapılmakta/görülmektedir. Giriş bilgisi olarak Şekil 5’den görüleceği üzere generatör limitleri, maliyet fonksiyonu katsayıları, ve hat kayıpları vektörü ve toplam talep güç kullanılmaktadır. Arayüzde sistem için giriş bilgileri ve sonuçlar “Clear”

butonu ile temizlenmektedir. Ayrık optimizasyon probleminin çözümü için kullanılacak algoritma “PSO” ve “DEA” butonları ile seçilerek seçilen algoritmaya ait parametrelerin değerleri, maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü Şekil 5’den görüleceği üzere kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir. Optimizasyon programı “Run”butonu ile çalıştırılarak sonuçlar aynı arayüzde “Optimizasyon results” bölümünde verilmektedir. Şekil 6’da verildiği üzere, sonuçlar her bir santral için optimum güç değeri, üretilen enerji miktarı, yakıt maliyeti ve birim enerji maliyeti büyüklüklerinden oluşturulmuştur. İncelenen sistem için hatlardaki toplam kayıplar ve Denklem (4)’de tanımlanan güç denge koşulundaki ceza fonksiyonu değeri ayrıca verilmektedir. Bunlara ilaveten her bir optimizasyon algoritması için toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayısına göre değişimi tasarlanan Arayüzde grafiksel olarak verilmektedir.

Şekil 5. Geliştirilen Arayüz (kullanım penceresi) (Developed Interface (usage window))

Şekil 6. Arayüz ile bilgi girişi ve DGA ile EYD probleminin çözümü (Data input with the interface and solving the problem of ELD with DEA)

Geliştirilen Arayüz güç sistemlerinde EYD problemlerinin çözümü için uygulanarak güvenilirliği test edilmiştir. Çizelge 4’de 6 jeneratörlü sistem için Arayüz kullanılarak elde edilen EYD sonuçları Ref [8]’de Tabu Araştırması metodu kullanılarak elde edilen sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Çizelgede ayrıca çalışmada karşılaştırma amaçlı kullanılan Hopfield

sağlamaktadır. Arayüz kullanılarak PSO algoritması ile sonuçların elde edilmesi Şekil 7’de verilmiştir. Ayrıca şekilden sistem için santral limitleri ve yakıt maliyet fonksiyonu katsayı değerlerinin görülebilmektedir. Referans [14]’de verilen 10 jeneratörlü güç sistemi için elde edilen yük dağılımı ve sonucunda toplam yakıt maliyeti Çizelge 5’de verilmiştir. Her iki algoritma ile

Çizelge 4. 6 jeneratörlü sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 6 generator power systems)

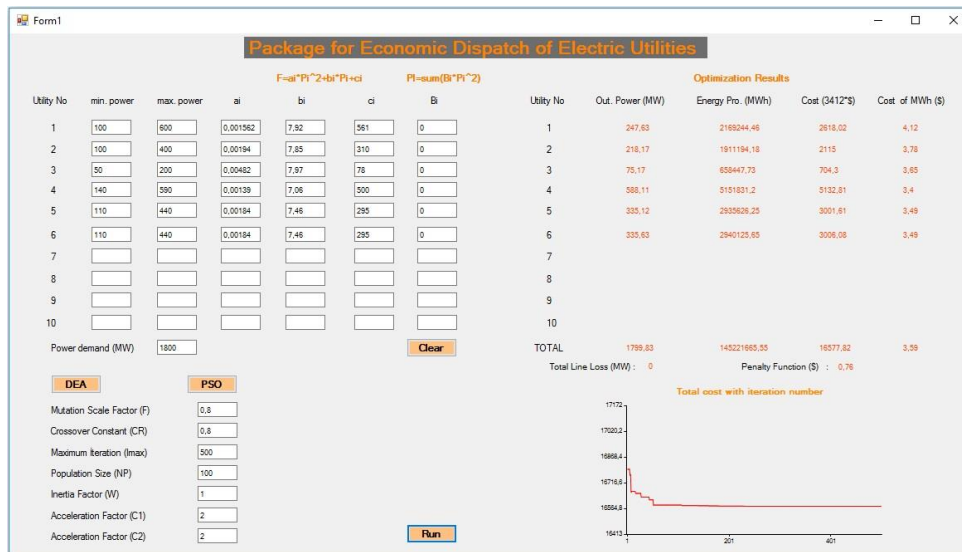
Metot	1. Grup (MW)	2. Grup (MW)	3. Grup (MW)	4. Grup (MW)	5. Grup (MW)	6. Grup (MW)	F _T (\$/h)
FLCGA [8]	250.49	215.43	109.92	572.84	325.66	325.66	16585.85
IHN [8]	248.08	217.74	75.18	587.90	335.55	335.55	16579.33
AHNN [8]	248.14	217.74	75.20	587.80	335.56	335.56	16579.33
Tabu Arş. [8]	248.20	217.64	75.20	587.95	335.67	335.32	16579.32
Arayüz (DGA)	246.34	216.90	74.73	589.77	335.91	336.18	16578.59
Arayüz (PSO)	247.63	218.17	75.17	588.11	335.12	335.63	16578.58

Çizelge 5. 10 jeneratörlü sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 10 generator systems)

Metot	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	P ₄ (MW)	P ₅ (MW)	P ₆ (MW)	P ₇ (MW)	P ₈ (MW)	P ₉ (MW)	P ₁₀ (MW)	F _T (\$/h)
DGA [14]	3.35	3.7	3.6	2.16	3.45	0.66	0.88	0.75	0.9	0.56	1922.7
DGA	3.35	3.7	3.6	2.07	3.45	0.66	0.88	0.75	0.9	0.56	1922.4
PSO	3.35	3.7	3.6	2.07	3.45	0.66	0.88	0.75	0.9	0.56	1922.4

Yapay Sinir Ağları (IHN), Genetik Algoritma temelli Bulanık Mantık Tekniği (FLCGA) ve Geliştirilmiş Yapay Sinir Ağları tekniği (AHNN) sonuçları da verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere Arayüz kullanılarak yapılan santraller için yük paylaşımı güç değerleri açısından diğer metotlar ile elde edilen sonuçlar ile uyuşmakta olup maliyet açısından avantaj

elde edilen sonuçlar [14]’de DGA ile elde edilen sonuçlar ile uyuşmaktadır. Sonuç olarak DGA ve PSO algoritmaları kullanılarak geliştirilen Arayüzün EYD probleminin en uygun çözümünün elde edilmesi açısından güvenilir, ve uygulama açısından da büyük kolaylık sağladığı görülmektedir.



Şekil 7. Arayüz ile 6 baralı güç sistemi için PSO algoritması kullanılarak EYD probleminin çözümü (Solution of ELD problem using PSO algorithm for 6 bus power system with the interface)

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada birden fazla termik santral ve elektriksel yükten oluşan elektriksel güç sistemlerinde bütün yüklerin en düşük maliyetle beslenebilmesi için geliştirilen Grafikselsel Kullanıcı Arayüz'ü tanıtılmıştır. İlk olarak farklı sistemler için EYD problemi; bu tip problemler için kullanımının avantajlı olduğu literatürde saptanmış Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Parçacık Sürüsü Optimizasyon metotları kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut olan Lagrange yöntemi, Benzetim Tavlama, Tabu Araştırması metodu, Gradient metot, Yapay Sinir Ağları tekniği, Genetik Algoritma gibi metotlar kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. İncelenen her bir sistem için elde edilen toplam yakıt maliyeti değeri, PSO ve özellikle DGA kullanılarak gerçekleştirilen yük dağılımlarının daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Çalışmada ikinci olarak, EYD probleminin çözümü için geliştirilen algoritmaların sistemlere kolaylıkla uygulanabilmesi amacıyla geliştirilen Arayüz tanıtılmıştır. Tasarlanan Arayüz kullanılarak farklı sistemler için EYD problemlerinin çözümü gerçekleştirilmiş ve sonuçlar literatürde diğer metotlar ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak geçerliliği test edilmiştir. Sonuç olarak tasarlanan Arayüz'ün en uygun (optimum) çözümün elde edilmesi ve kullanım kolaylığı açısından kullanıcıya avantaj sağladığı görülmüştür. Geliştirilen Arayüz, uygulanan sistemler için sınırsız santral kullanımına elverişli hale getirildikten sonra <http://muhendislik.gop.edu.tr/> adresinden ücretsiz erişime açılabaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altun H. and Yalcinoz T., "Implementing soft computing techniques to solve economic dispatch problem in power systems", *Expert System with Applications*, 35(4): 1668-1678, (2008).
- Özyön S., Yaşar C., Özcan G. ve Temurtaş H., "Çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine yapay arı koloni algoritması (ABC) yaklaşımı", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 222-228, (2011).
- Tosun S., Öztürk A., Erdoğmuş P., Biçen Y. ve Hasırcı U., "Elektrik güç sisteminde optimal yakıt maliyetinin benzetim tavlama (BT) algoritması ile belirlenmesi", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük/Türkiye, 254-258, (2009).
- Bouzeboudja H., Chaker A., Allali A. and Naama B., "Economic dispatch solution using a real-coded genetic algorithm", *Acta Electrotechnica et Informatia*, 5(4): 1-5, (2005).
- Wang L. and Singh C., "Reserve-constrained multiarea environmental/economic dispatch using enhanced particle swarm optimization", *IEEE System and Information Engineering Design Symposium*, Charlottesville/VA/USA, 96-100, (2006).
- Kurban M. ve Filik B.Ü., "Türkiye'deki 22 baralı 380 kv'luk güç sistemi için ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi", *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1): 78-86, (2007).
- Döşoğlu M.K., Duman S. ve Öztürk A., "Genetik algoritma kullanılarak ekonomik dağıtım analizi: Türkiye uygulaması", *Politeknik Dergisi*, 12(3): 167-172, (2009).
- Yalçınöz T., Yavuzer T. ve Altun H., "Tabu Araştırma Algoritması Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü", *Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı (ELECO)*, Bursa/Türkiye, (2002).
- Rahmani R., Othman M.F., Yusof R. and Khalid M., "Solving economic dispatch problem using particle swarm optimization by an evolutionary technique for initializing particles", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 46(2): 526-536, (2012).
- Attai A.U., "Power system economic load dispatch using particle swarm optimization", *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, 3(6): 202-205, (2015).
- Revathy K. and Nithiyandham C., "Economic dispatch using particle swarm optimization", *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, 3(4): 59-66, (2014).
- Kumar C. and Alwarsamy T., "Solution of economic dispatch problem using differential evolution Algorithm", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 1(6): 236-241, (2012).
- Zou D., Li S., Wang G., Li Z. and Ouyang H., "An improved differential evolution algorithm for the economic load dispatch problems with or without valve-point effects", *Applied Energy*, 181(1): 375-390, (2016).
- Nascimento M. H. R., Nunes M. V. A., Rodríguez J. L. M. and Leite J. C., "A new solution to the economical load dispatch of power plants and optimization using differential evolution", *Electrical Engineering*, 99(2): 561-571, (2017).
- Adefarati T., Oluwole A.S. and Sanusi M.A., "Computational solution to economic operation of power plants", *Electrical and Electronic Engineering*, 3(6): 139-148, (2013).
- Suman M., Gopala Rao MV., Hanumaiah A. and Rajesh K., "Solution of economic load dispatch problem in power system using lambda iteration and back propagation neural network methods", *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 8(2): 347-355, (2016).
- Hardiansyah, Junaidi and Yohannes M. S., "Application of soft computing methods for economic load dispatch problems", *International Journal of Computer Applications*, 58(13): 32-37, (2012).
- Gozel T., Eminoglu U. and Hocaoglu M.H., "A tool for voltage stability and optimization (VS&OP) in radial distribution systems using matlab graphical user interface (GUI)", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(5): 505-518, (2008).
- Li W., Vanfretti L. and Chompoobutrgool Y., "Development and implementation of hydro turbine and governor models in a free and open source software package", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 24: 84-102, (2012).
- Rainer S. and Kenneth P., "Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", *Journal of Global Optimization*, 11: 341-359, (1997).
- Kennedy J. and Eberhart R.C., "Particle swarm optimization", *Proc. IEEE Int. Conference on Neural Networks*, Perth/WA/Australia, 4: 1942-1948, (1995).
- Matlab R2010b Enterprise: Copyright©2010.
- Rad Studio © XE6 Architect; new user-single academic edition, Copyright © 2013.