





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## OBPSO Kullanılarak Dağıtık Güneş Enerji Sistemlerinin Optimum Bağlantı Gücü ve Yerinin Belirlenmesi

 Mehmet ÇEÇEN<sup>a, b, \*</sup>,  Cenk YAVUZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Elektrik ve Enerji Bölümü, Ilgın Meslek Yüksekokulu, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmet.cecen@selcuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.953283

### ÖZ

Bu çalışmada, dağıtık üretim (DÜ) sistemlerinin optimum şebeke entegrasyonu probleminin çözümü için zıtlık tabanlı parçacık sürü optimizasyonu (OBPSO) kullanımı önerilmektedir. Önerilen OBPSO yöntemi, DÜ'nün optimum yer ve büyüklük değerlerini bulurken çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı kullanmaktadır. Ayrıca yük değişimlerine karşı duyarlılık analizi yöntemi ortaya konmuş ve yeni bir amaç fonksiyonu olarak da kullanılmıştır. Amaç fonksiyonları, aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık analizi minimizasyonundan oluşmaktadır. DÜ kaynağı olarak fotovoltaik tabanlı güneş enerji sistemleri (DGES) esas alınmıştır. Birim güç faktörü ile işletilen 3 adet DGES eklendiği durumlar değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonlarının değişimleri analiz edilmiştir. Önerilen metodun etkinliği standart test sistemlerinden IEEE 33 baralı dağıtım sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Yük akışı analizi için MATPOWER paket programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Neticede, OBPSO yönteminin iyi sonuç verdiği ve karşılaştırılan diğer optimizasyon tekniklerine karşı üstünlükleri olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, DGES'nin optimum değerler dikkate alınarak yapılan entegrasyonlarda amaç fonksiyonlarında belirgin iyileşmeye sağladığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** OBPSO, Dağıtık güneş enerji sistemi, Aktif güç kaybı minimizasyonu, Gerilim değişimi, Duyarlılık analizi

## Determining the Optimum Size and Siting of Distributed Solar Energy Systems Using OBPSO

### ABSTRACT

In this study, OBPSO is proposed to solve optimal grid integration of distributed generation (DG) systems. While the proposed OBPSO method finds the optimum location and size values of DG, three different singular objective functions are considered. Additionally vulnerability analysis method to load changes is proposed and used as a new objective function. Objective functions consist of active power loss, voltage variation and vulnerability analysis minimization. Photovoltaic solar energy systems (DPVG) are considered as a source of DG. The cases where 3 DGES are added with the unit power factor are considered and the changes of the objective functions are evaluated. The efficiency of the proposed method is achieved by using IEEE 33 bus distribution system, which is one of the standard test systems. MATPOWER package program is used for load flow analysis. Then, the effectiveness of the proposed method is compared with other studies in the literature. The results obtained showed that OBPSO is effective and give better results against other optimization techniques compared in the study. It has been observed that DGES systems provide significant improvement in the purpose functions in the integrations made by considering the optimum values.

**Keywords:** OBPSO, DPVG, Real power loss minimization, Voltage deviation, Vulnerability analysis

# I. GİRİŞ

Dünya genelinde elektrik enerjisine olan talep artan nüfus, büyüyen ekonomi, gelişen teknoloji vb. nedenlerle sürekli artmaktadır. Yükselen talebin karşılanabilmesi için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılmaya çalışılmaktadır. Bu kaynakların başında fotovoltaik tabanlı güneş enerji sistemleri ve rüzgar enerji sistemleri gelmektedir. Buna bağlı olarak DÜ santrallerinin güç sistemlerindeki sayıları hızla artmaktadır [1].

Dağıtım sisteminden şebekeye bağlanan elektrik üretim sistemleri dağıtık üretim santrali olarak tanımlanmaktadır [1], [2]. Dağıtık üretim teknolojileri elektrik güç sistemleri için yeni değildir ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonunun artmasıyla tekrar güncel konulardan biri haline gelmiştir. Dağıtık üretim esas itibarıyla, elektrik üretmek için son kullanıcıya yakın, birkaç kW'tan 50 MW'a kadar olan küçük güçlü üretim teknolojilerini tanımlayan bir yaklaşımdır [3].

DÜ birimlerinin dağıtım sistemine entegrasyonunun şebeke parametreleri üzerinde birçok etkisi vardır. Belirtilen avantajları elde edebilmek için, optimum büyüklük ve yer hesaplamasının yapılması, elde edilen faydayı maksimize ederken, aksi durumda yapılan entegrasyonlar istenmeyen negatif etkilere neden olabilmektedir [4], [5]. Doğru yapılan DÜ entegrasyonları sayesinde güç kalitesinin artması, gerilim profilinin gelişmesi, güç kayıplarının azalması, ilave hat ihtiyacının azalması ve sistem kapasite artış gerekliliğinin ertelenmesi gibi pozitif etkilere ulaşılabilir. DÜ'lerin yer ve büyüklüklerinin uygun olmayan şekilde seçilmesi, DÜ kapasitesinin tam kullanılmaması, güç kayıplarının artması ve gerilim profilinin bozulması gibi temel bozucu etkilere neden olabilmektedir [6], [7].

Önceki çalışmalarda, radyal dağıtım sisteminde DÜ büyüklüğü ve yeri için analitik metotlar önerilmiş, güç kaybı minimizasyonu ile optimum değerler elde edilmiştir [8], [9]. DÜ sistemlerinin optimal büyüklük ve yerinin belirlenmesi için lineer olmayan optimizasyon ve genetik algoritmanın (GA) karşılaştırılması da denen bir yöntem olmuştur [10]. Bir diğer çalışma, zorlanmış öğrenme yöntemiyle, dengesiz dağıtım sistemlerinde fotovoltaik (PV) sistemlerin optimum büyüklüğü elde edilerek, sistem entegrasyonunu yapılmaktadır [11]. Maliyet-fayda analizi ile DÜ sistemlerinin dağıtım sisteminde dahil olduğunda gerilim profili ve hat kayıplarına etkisi değerlendirilen başka bir konu olmuştur [12]. Gerilim profilini arttırmak ve hat kayıplarını azaltmak için en uygun yer ve büyüklük, insan düşünce dinamiği optimizasyon tekniği kullanılarak da belirlenmiştir [13]. Değiştirilmiş ateş böceği optimizasyonu kullanılan bir başka çalışma dağıtım şebekesindeki DÜ'lerin optimal planlamasını irdelenmiştir [14]. Şebeke parametrelerini iyileştirmek ağırlık kapsamlı arama optimizasyonu ile DÜ'lerin optimum büyüklük ve yerinin belirlenmesi başka bir yöntem olarak ön plana çıkmıştır [15]. Chen ve arkadaşları güç sistemlerinde gerilim değişimi ve güç kayıplarının minimizasyonu için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla arttırılmış çoklu-amaç fonksiyonun optimizasyonu kullanmışlardır [16]. Ali ve arkadaşları ise, karınca aslan optimizasyon algoritması (ALOA) ile, dağıtım şebekesi için yenilenebilir enerji tabanlı DÜ'lerin optimum büyüklük ve yerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır [17]. Karınca koloni ve harmoni arama optimizasyonları ile şebeke yeniden yapılandırma problemini çözmeye çalışan çalışmalar da literatürde mevcuttur [18]. Alçak ve orta gerilim dağıtım şebekesinde çoklu DÜ birimi entegrasyonuna ulaşmanın iki yolu ilgili birçok parametre optimizasyonu Driesen ve Belmans'ın tartışmaya açtığı bir konu olmuştur [19]. DÜ birimlerinin optimal büyüklük ve yeri için GA ve PSO'nun bir kombinasyonunun yapıldığı [20] ve çoklu DÜ biriminin optimal büyüklük ve yerinin belirlenmesinde çoklu amaç fonksiyonunun tasarımı için bulanık programlama ile kombine edilmiş GA'nın kullanıldığı araştırmalar [21] numaralı çalışmada mevcuttur.

Dağıtım sistemlerinin zaman içerisinde genişlemesi ve yüklerinde artış meydana gelmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. DGES şebeke entegrasyon planlaması yapılırken bara yük değişimlerini hesaba katmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bunun için bu çalışma kapsamında duyarlılık analizi yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ile yük değişimine duyarlı baralar belirlenerek, duyarlılıklarına göre sıralanmaktadır. Bu sayede DGES ilavesi için öncelik belirlenmesi yapılmış olacaktır. Önerilen yöntem çalışmada amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada özetle, DGES entegrasyonunun yapılacağı sistemin teknik parametrelerini düzeltmek için optimum büyüklük ve optimum bağlantı yerini elde etmeye yarayan yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin etkinliği IEEE 33 baralı test sisteminde MATPOWER ve Matlab araç kutuları kullanılarak test edilmiştir [22], [23]. Elde edilen sonuçlar, birim güç faktöründe 3 DGES'nin eklendiği durumlar için üretilmiştir. Daha sonra önerilen metodun etkinliği yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır ve üstünlüğü gösterilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde optimizasyon yapılacak probleme ait amaç fonksiyonları ve kısıtlar verilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen yöntem detaylandırılarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde durum çalışmaları sonuçları paylaşılmış, önerilen metodun geçerliliği test edilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve öne çıkan değerlendirmeler yapılmıştır.

## **II. PROBLEM FORMÜLASYONU**

### **A. DUYARLILIK ANALİZİ**

Dağıtım sisteminin aktif güç kayıplarını azaltmak için, DGES'in sisteme ekleneceği barayı belirlemek çok önemlidir. Gerçek dünyada zaman içerisinde dağıtım sistemleri genişlemekte ve toplam yük artmaktadır. Bundan dolayı DGES bağlantısı optimum değerleri hesaplanırken, bara yüklerinde meydana gelecek değişimi dikkate almak önemli bir detaydır. Yüklerde meydana gelen artışa bağlı olarak aktif güç kaybında meydana gelen değişimi belirleyebilmek için, her bir baranın yük artışına duyarlılığı hesaplanır. Duyarlılık analizi olarak adlandırılan bu işlem, güç kayıpları açısından şebeke performansını en çok etkileyen baraların tespit edilmesini sağlamaktadır. Yük artışına duyarlı baralar tespit edildikten sonra, duyarlılıklarına göre sıralanır ve amaca uygun olarak kullanılabilir. Duyarlılık analizi hesaplaması aşağıdaki gibi yapılır:

- 1- Başlangıç durumu için, sistemin orijinal hali ile toplam güç kaybı elde edilir  $S_{kayıp}$ .
- 2- Diğer tüm baraların ilk güç değerleri sabit kalmak şartıyla, seçilen bir baraya  $\Delta S_i$  kadar yük ilave edilir.
- 3- Tüm dağıtım hattı için, başlangıç durumuna göre güç kayıplarında meydana gelen değişim,  $\Delta S_{kayıp}$  elde edilir.
- 4- Baraların duyarlılık analizi (DA) 1 numara ile verilen eşitlikle yapılır.
- 5- Son olarak baralar, duyarlılık analizine göre en büyükten küçüğe doğru sıralanır.

$$DA_i = \frac{\Delta S_{kayıp}}{100}, i=1,2,..,N_B \quad (1)$$

$N_B$  bara sayısını,  $DA_i$  i. baranın duyarlılık analizini,  $\Delta S_i$  şebekeye verilen toplam görünür gücü,  $\Delta S_{kayıp}$  ise başlangıç durumuna göre güç kaybı değişimini ifade etmektedir.

Duyarlılık analizi yapılmasında temel amaç, bara yük değişimlerini dikkate alarak, güç sistemi kayıplarını azaltmak için eklenecek DGES'nin bağlanabileceği optimum noktaların belirlenmesidir. Duyarlılığı yüksek baralardan başlanarak sisteme yeni kaynaklar eklenebilir ve böylece güç kayıplarının azaltılması sağlanabilir. Şekil 1 ile işlem adımları verilmiştir.

### **B. AMAÇ FOKSİYONLARI**

Bu makalede, amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının, gerilim değişiminin ve bara duyarlılık analizinin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. DÜ optimum bağlantı gücü ve yerini elde edebilmek için amaç fonksiyonları, kısıtlar dikkate alarak optimize edilmiştir.

$$\text{Min } (FI) \quad (2)$$

$F1$  fonksiyonu birinci amaç fonksiyonudur, dağıtım sistemi toplam güç kayıplarını göstermektedir ve Eş. 3 ile verilmiştir.

$$F1 = \text{Toplam } P_{\text{Kayıp}} = \sum_{L=1}^{NL} P_{\text{Kayıp}} \quad L=1,2,3,\dots, NL \quad (3)$$

$\text{Toplam } P_{\text{Kayıp}}$  dağıtım sistemi toplam aktif güç kayıplarını,  $NL$  ise dağıtım sistemi hat sayısını göstermektedir.

$F2$  ikinci amaç fonksiyonudur, yük baralarının gerilim değişimini göstermektedir.

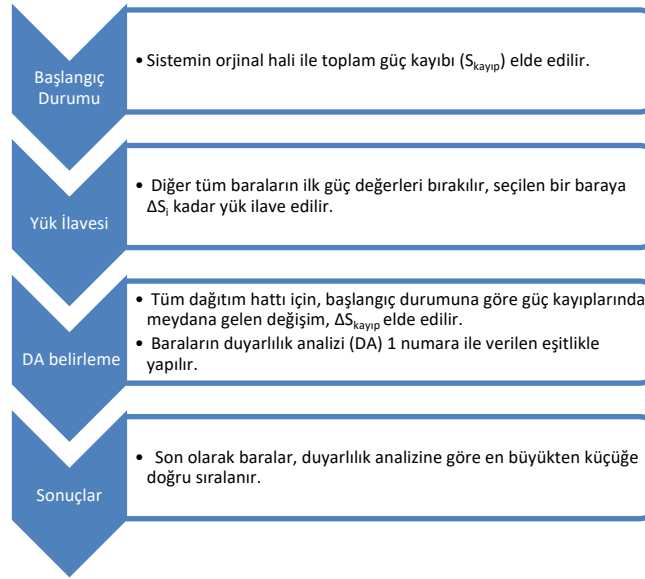
$$\text{Min } (F2) \\ F2 = VD(x, u) = \sum_{i=1}^{Nd} |V_i - 1.0|^2 \quad (4)$$

$Nd$  ise yük baralarının sayısıdır.  $V_i$ ,  $i$ . baranın gerilimi ve 1.0 pu ise referans gerilim değeridir.

$F3$  üçüncü amaç fonksiyonudur, duyarlılık analizinin minimizasyonu amaçlanmıştır.

$$\text{Min } (F3) \\ F3 = DA_i = \frac{\Delta S_{\text{kayıp}}}{100}, i=1, 2, \dots, N_B \quad (5)$$

$N_B$  bara sayısını,  $DA_i$   $i$ . baranın duyarlılık analizini,  $\Delta S_i$  şebekeye verilen toplam görünür gücü,  $\Delta S_{\text{kayıp}}$  ise başlangıç durumuna göre güç kaybı değişimini ifade etmektedir.



Şekil 1. DA uygulama akış şeması

## B. 1. Kısıtlar

Sisteme ait kısıtlar aşağıda verildiği gibidir.

### B. 1. 1. Bara Gerilim Limitleri

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (6)$$

$V_i$  i. bara gerilimini,  $V_i^{min}$  ve  $V_i^{mak}$  i. baranın minimum ve maksimum gerilim limit değerlerini, m ise bara sayısını ifade etmektedir. Bara gerilim değerleri,  $V_i^{min}=0.95$  pu ve  $V_i^{mak} =1.05$  pu aralığında olmalıdır.

### B. 1. 2. Hat Kapasitesi

$$S_{ij} \leq S_{ij}^{mak}, i, j=1,2,\dots,n \quad (7)$$

$S_{ij}$  i barasından, j barasına bağlanan hattın geçen güç akışıdır.  $S_{ij}^{mak}$  hat için müsaade edilen maksimum güç limitini, n ise hat sayısını göstermektedir ve 33 baralı sistem için bu değer 0.2 MVA'dır.

### B. 1. 3. DGES Limitleri

$$P_{PV,i}^{min} \leq P_{PV,i} \leq P_{PV,i}^{mak} \quad i=1,2,\dots,nPV \quad (8)$$

$P_{PV,i}^{min}$  ve  $P_{PV,i}^{mak}$  sırasıyla i. DGES minimum ve maksimum değerlerini, nPV ise dağıtım sistemine eklenecek toplam DGES sayısını göstermektedir.  $P_{PV,i}^{min}=0$  ve  $P_{PV,i}^{mak} \leq P_{Yük}^{Top}$  aralığında olacak şekilde seçilmiştir.

### B. 1. 4. Toplam Aktif Güç Entegrasyon Limitleri

$$P_{PV}^{Top} \leq 3 * P_{Yük}^{Top} \quad (9)$$

$P_{PV}^{Top}$ , dağıtım sistemine bağlanacak toplam DGES gücünü,  $P_{Yük}^{Top}$  ise dağıtım sistemi toplam yükünü göstermektedir.

## III. ÖNERİLEN OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Bu bölümde, öncelikle parçacık sürü optimizasyonu açıklanmıştır. Daha sonra zıtlık tabanlı öğrenme ile geliştirilmiş OBPSO detaylandırılmıştır. Son olarak, önerilen OBPSO yönteminin DGES ilavesi için optimum yer ve büyüklüğün bulunmasında kullanımı paylaşılmıştır.

### A. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO)

PSO algoritması ilk olarak Kennedy ve Eberhart tarafından önerilmiştir [24]. PSO fikri, bir kuş veya balık sürüsü gibi sosyal sistemin basitleştirilmiş halidir. PSO popülasyon tabanlı bir algoritmadır, her bir parçacık problemin tek bir çözümü olarak görülebilir. Her parçacığın konumu X ile ifade edilir. PSO ilk çözümler rastgele seçilir ve ardından PSO her iterasyonda çözümleri güncelleyerek sürekli olarak optimum değeri arar. Parçacığın uygunluk değeri, amaç fonksiyonu ile ilişkilidir. Parçacıkların hızı V ile gösterilir ve global en iyi pozisyon ve yerel en iyi pozisyon bileşenlerinden oluşmaktadır. Hız, bir sonraki iterasyon için tüm parçacıkların yönlerini gösterir. Yerel olarak en iyi bilinen pozisyon, o ana kadar her bir parçacık arasında elde edilen en iyi çözümdür. Global olarak en iyi bilinen pozisyon ise, elde edilen tüm çözümler arasında en iyi çözümdür. Parçacıkların hız ve pozisyonları aşağıda verilen eşitliklere göre değişmektedir.

$$V_i^{t+1} = wV_i^t + c_p r_p (pbest_i^t - x_i^t) + c_g r_g (gbest^t - x_i^t) \quad i=1,\dots,N \quad (10)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (11)$$

$V_i$  ve  $X_i$  sırasıyla i. parçacığın hız vektörü ve pozisyon vektörüdür. N ise sürü büyüklüğünü göstermektedir.  $c_p$  ve  $c_g$  sırasıyla bilişsel katsayılar ve sosyal katsayılardır.  $c_g=c_p=2$ ,  $r_p$  ve  $r_g$  [0,1]

aralığında değişen rastgele sayılardır. Yukarıda verilen başlangıç ağırlık değeri  $w$  ise aşağıdaki şekilde iterasyona bağlı değişmektedir.

$$w = w_{Mak} - 1 * \left( \frac{w_{Mak} - w_{Min}}{iter} \right) \quad (12)$$

Bu çalışma için  $w_{Mak}$  ve  $w_{Min}$  sırasıyla 0.9 ve 0.4 olarak alınmış olup,  $iter$  ise iterasyon sayısını göstermektedir.

## B. ZITLIK TABANLI PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (OBPSO)

Zıtlık tabanlı öğrenme (opposition based learning-OBL) ilk olarak Tizhoosh tarafından önerilmiştir [25]. OBL popülasyon tabanlı algoritmalar için uygulanması kolay bir tekniktir. PSO geliştirilmesi için OBL yöntemi kullanılmış ve zıtlık tabanlı parçacık sürü optimizasyonu (opposition-based particle swarm optimization (OBPSO)) elde edilmiştir. OBL şu anki mevcut arama alanına zıt yönünde bir alanda optimal nokta için arama yapar. Temel mantığı bir yönde çözüm araştırılırken, zıt yöndeki çözümlerin de dikkate alınması şeklindedir. OBL yaklaşımı zıt sayılar tanımı üzerinedir ve aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$\check{x} = a + b - x \quad (13)$$

$x$  [a,b] arasında değişen bir reel sayıdır.  $\check{x}$  ise  $x$ 'in zıt sayısıdır.

## C. OBPSO ile DGES OPTİMUM YER ve BÜYÜKLÜĞÜN BULUNMASI

Önerilen OBPSO metodunu DGES optimum büyüklük ve yerini bulmak için etkili bir yöntemdir. Sistem sınırları dikkate alınarak, amaç fonksiyonunun minimum değerini veren en uygun kontrol değişkenlerinin değerlerini bulunmasını hedeflemektedir. Şekil 2 ile verilen, metodun probleme uygulama adımları aşağıda verildiği gibidir:

1. PSO için başlangıç değerleri tanımlanır. N adet parçacıktan oluşan sürü tanımlanır. Her bir parçacık amaç fonksiyonunu minimum yapacak, DGES sayısına göre bağlantı barası ve bağlantı büyüklüğü bilgilerini içerir. Başlangıç sürüsünden hız, pozisyon ve amaç fonksiyon değerleri oluşturulur. Aynı şekilde OBL metodu için verilen 13 numaralı eşitlik kullanılarak, N adet parçacıktan oluşan zıt parçacık sürüsü oluşturulur. Zıt sürü içinde, standart sürü gibi hız, pozisyon ve amaç fonksiyonu başlangıç değerleri oluşturulur.
2. Her iterasyon için yük akışı yapılır. Standart sürü ve zıt sürü için amaç fonksiyonu değerleri elde edilir. İterasyon bitmeden standart sürü amaç fonksiyonu ve zıt sürü amaç fonksiyonları karşılaştırılır. Karşılaştırmadan sonra değeri daha küçük olan parçacığın değerleri hız, pozisyon ve amaç fonksiyonu olarak belirlenir.
3. İterasyonlar boyunca standart PSO işlemleri devam eder, yani Pbest ve Gbest değerlerinde iyileşme varsa güncelleme işleme yapılır, eğer iyileşme yoksa bir sonraki adıma geçilir.
4. Maksimum iterasyona ulaşılmışsa program sonlandırılır ve sonuçlar elde edilir, ulaşılmamışsa 2. adımdan işlemlere maksimum iterasyona ulaşana kadar devam edilir.

## IV. UYGULAMA

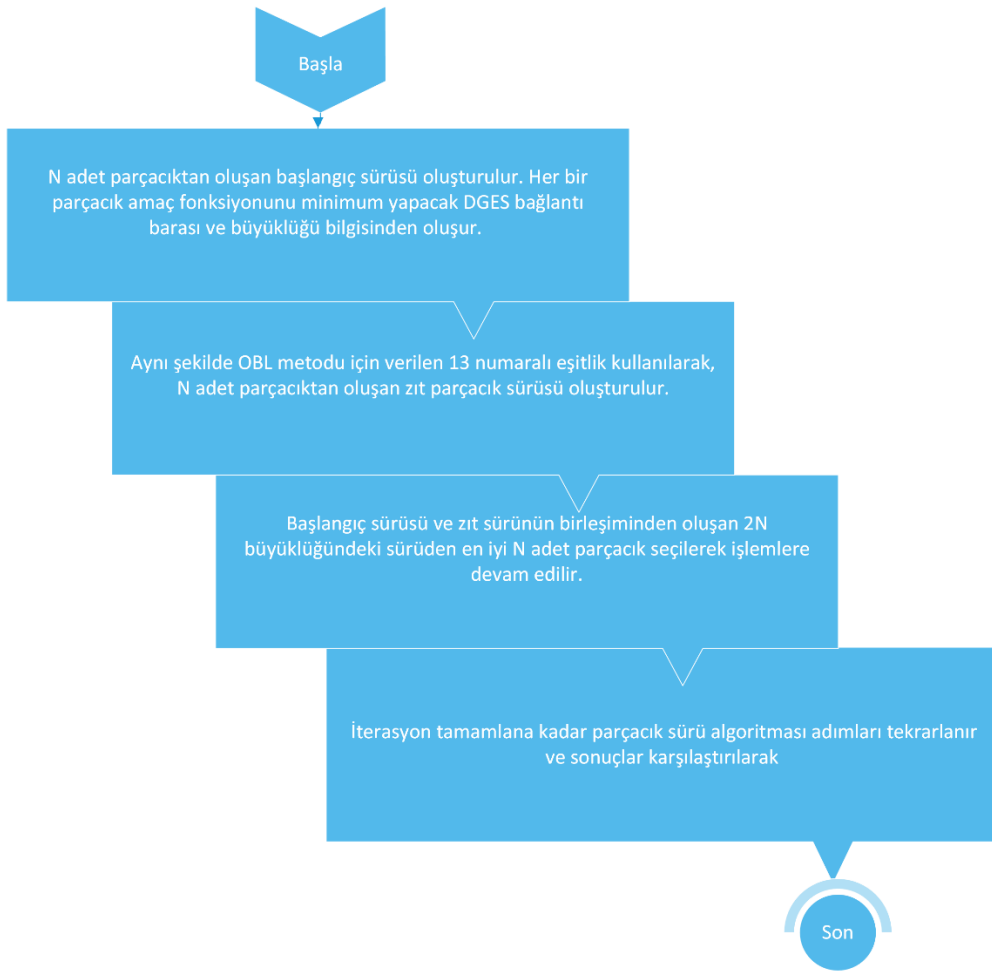
OBPSO yönteminin DGES optimum büyüklük ve yer buluma etkinliğini göstermek için, Intel® Core™ i7-3630QM CPU @ 2.40GHz 8GB RAM Windows 8.1 üzerine kurulu bir bilgisayar kullanılmıştır. MATLAB kullanılarak simülasyonlar ve optimizasyon sonuçları elde edilmiştir. IEEE 33 baralı dağıtım sistemi OBPSO yönteminin etkinliğini göstermek için kullanılan standart test sistemidir. Test sistemi

yük akış sonuçlarını elde etmek için Zimmerman ve arkadaşları tarafından geliştirilen MATPOWER paket programı kullanılmıştır [23]. PSO ve OBPSO için parçacık sayısı 50, iterasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Sisteme eklenecek DGES'lerin güçlerinin maksimum 2MW olduğu ve birim güç faktöründe ( $pf=1$ ) işletildiği varsayılmıştır.

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için IEEE 33 baralı dağıtım sistemi kullanılarak aşağıdaki iki durum ele alınmıştır.

Durum 1: Başlangıç yani DGES ilavesinin olmadığı durum için aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık analizi değerlerinin elde edilmesi.

Durum 2: 3 adet DGES ilavesi ile aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık faktörü değişimlerinin elde edilmesi.



*Şekil 2. OBPSO akış şeması*

## A. TEST SİSTEMİ SONUÇLARI

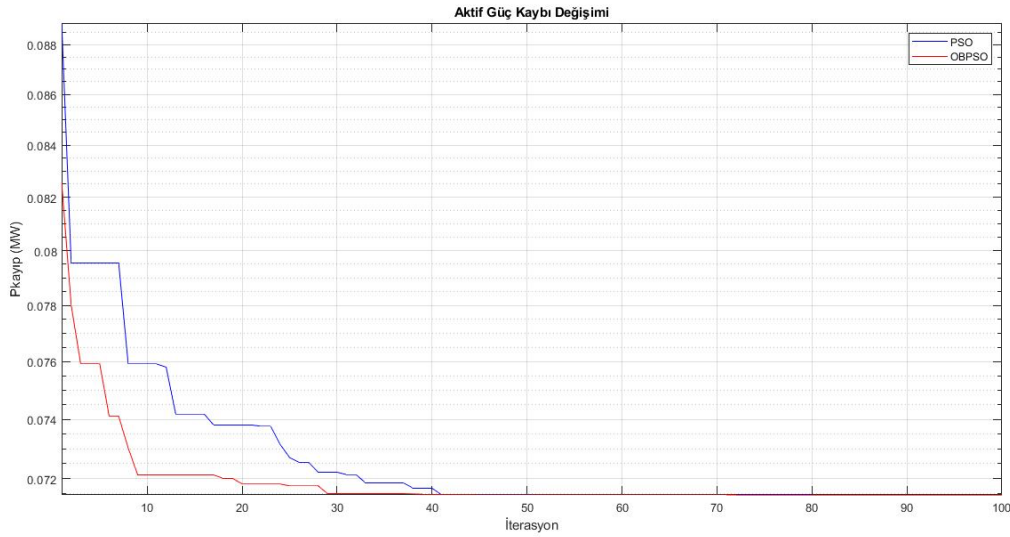
### A. 1. Durum 1 Sonuçları

IEEE 33 baralı test sistemi radyal dağıtım sistemidir. 3.715 MW aktif ve 2.3 MVAR reaktif yüke sahip bir sistemdir. Başlangıç durumu için 211 kW aktif güç kaybına sahiptir. Gerilim değişim değeri 0.1171, duyarlılık analizi ise 4.0807 olarak elde edilmiştir. Bara ve hat bilgileri için MATPOWER paket programı ve literatürdeki önemli bir kaynaktan yararlanılmıştır.

## A. 2. Durum 2 Sonuçları

Bu durumda sisteme 3 adet DGES ilavesi planlanmıştır. Sisteme eklenecek dağıtık üretim birimleri birim güç faktörü ile işletilmektedir. 3 adet DGES ilavesi seçilme nedeni literatürde bulunan diğer uygulamalarla karşılaştırma yaparak OBPSO yönteminin etkinliğini gösterebilmek içindir. Karşılaştırmalar, Genetik algoritma [20], Teaching–Learning Based Optimization (TLBO) ve Quasi Opposition Teaching–Learning Based Optimization (QOTLBO) çalışmaları ile yapılmıştır [26]. Optimizasyon algoritması için amaç fonksiyonları tekildir ve sırasıyla DGES ilavesi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

İlk olarak, birinci amaç fonksiyonu aktif güç kaybı minimizasyonu seçilmiştir. DGES’lerin optimum büyüklükleri ve yerleri önerilen OBPSO metodu kullanılarak elde edilmiştir. Başlangıç durumunda dağıtım sisteminin toplam 211 kW aktif güç kaybına sahiptir. 3 adet DGES’in dağıtım sistemine ilave edilmesiyle, başlangıç durumuna göre aktif güç kayıplarında %66.13’lük iyileşme sağlanarak 71.457 kW’a kadar gerileme sağlanmıştır. OBPSO metodu ile aktif güç kayıplarını minimum değere getirmek için 24, 14, 30 numaralı baralar ve 1.09944, 0.75398, 1.07142 MW güçleri optimum değerler olarak bulunmuştur. DGES ilavesiyle aktif güç kaybında meydana gelen olumlu değişim Şekil 3’te net olarak görülmektedir. Elde edilen sonuçlar ise Tablo 1’de verilmiştir. Başlangıç durumu aktif güç kaybı 211 kW iken, bu değer, TLBO metodu ile %64.19 azalarak 75.540 kW’a, QOTLBO metodu ile % 50.99 azalarak 103.409 kW’a, GA metodu ile %49.62 azalarak 106.30 kW’a düşmüştür. Önerilen OBPSO metodu ile ise % 66.13 azalarak 71.475 kW değerine düşmüştür. PSO algoritması önerilen OBPSO yöntemine benzer sonuç vermiştir.



Şekil 3. IEEE 33 baralı sistem aktif güç kaybı değişimi

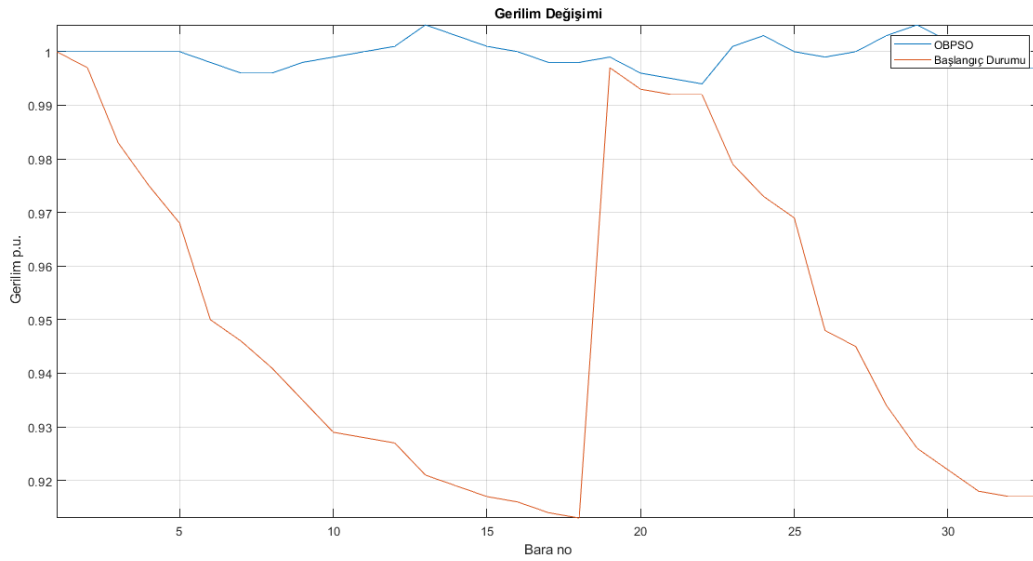
Tablo 1. 3 adet DGES ile aktif güç kaybı değişimi

	Başlangıç Durumu	TLBO [26]	QOTLBO [26]	GA [20]	PSO	OBPSO
Toplam kayıplar (kW)	211	124.695	103.409	106.30	71.457	71.457
Azalma (%)		40.9	50.99	49.62	66.13	66.13
DGES büyüklüğü (MW)		1.1826	1.0834	1.5	0.75398	1.09944
(Bara no)		(12)	(13)	(11)	(14)	(24)
		1.1913	1.1876	0.4228	1.07142	0.75398



(28)	(26)	(29)	(30)	(14)
1.1863	1.1992	1.0714	1.09944	1.07142
(30)	(30)	(30)	(24)	(30)

İkinci olarak, gerilim değişimi minimizasyonu amaç fonksiyonu kullanılmıştır. İlave edilecek DGES'ler için optimum büyüklükler ve yerleri OBPSO metodu ile 13, 24, 29 numaralı baralar ve sırasıyla 1.06839, 1.51092, 2 MW olarak elde edilmiştir. Başlangıç durumuna göre gerilim değişiminde %81'lik bir azalma meydana gelerek 0.000223 değerine gerilemiştir. DGES ilavesiyle başlangıç durumuna göre bara gerilimlerinde meydana gelen değişim Şekil 4'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Gerilim değişimleri, TLBO ve QOTLBO yöntemleriyle % 99.06'lık bir iyileşme sağlanarak 0.0011'e gerilemiştir. GA metodu ile ise % 65.24'lük bir iyileşme sağlayarak 0.0407'e gerilemiştir. Önerilen OBPSO yöntemi karşılaştırıldığı diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir.



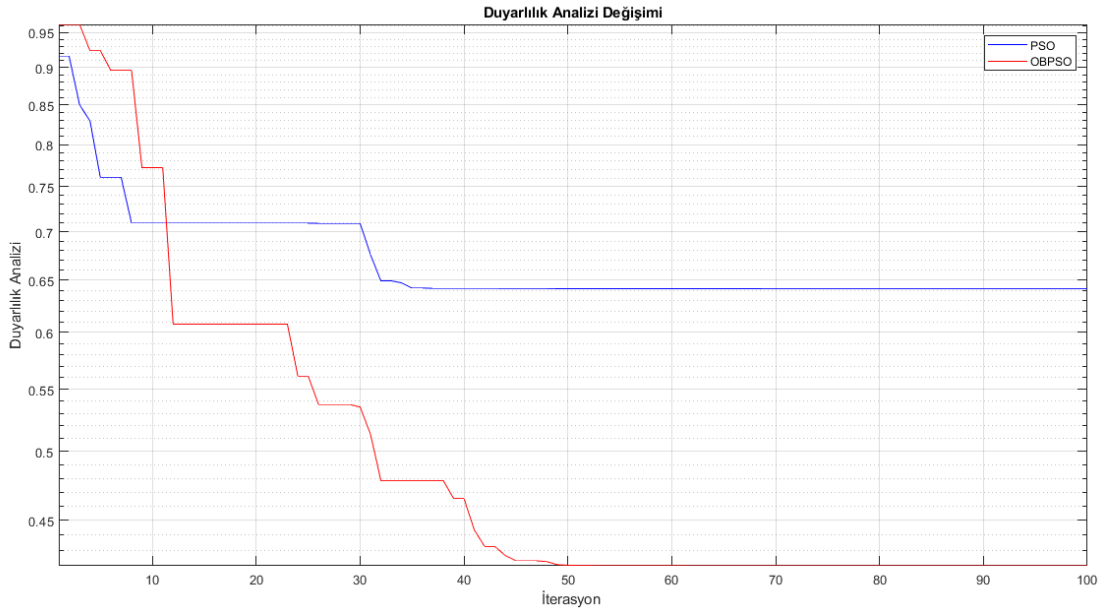
Şekil 4. IEEE 33 baralı sistem gerilim değişimi

Tablo 2. 3 adet DGES ile gerilim değişimi

	Başlangıç Durumu	TLBO [26]	QOTLBO [26]	GA [20]	OBPSO
Gerilim değişimi	0.1171	0.0011	0.0011	0.0407	0.000223
Azalma (%)		99.06	99.06	65.24	99.81
DGES büyüklüğü (MW)		1.1826 (12)	1.0834 (13)	1.5 (11)	1.06839 (13)
(Bara no)		1.1913 (28)	1.1876 (26)	0.4228 (29)	1.51092 (24)
		1.1863 (30)	1.1992 (30)	1.0714 (30)	2 (29)

En son amaç fonksiyonu olarak duyarlılık analizi minimizasyonu seçilmiştir. İlave edilecek DGES'ler için optimum büyüklükler ve yerleri OBPSO yöntemi ile 33, 22, 18 numaralı baralar ve sırasıyla 1.43302, 2, 1.32982 MW güç değerleri olarak belirlenmiştir. Başlangıç durumuna göre duyarlılık analizi %89.71'lik bir azalma meydana gelerek 0.41976 değerine gerilemiştir. PSO algoritması ile 1, 18, 33 numaralı baralar ve sırasıyla 0.932923, 1.85347, 1.18782 MW güçleri optimum değerler olarak bulunmuştur. Bu değerler ile PSO algoritması %86.28'lik bir iyileşme sağlamıştır. Burada önerilen yöntem yine PSO algoritmasına göre daha iyi sonuç vermiştir. DGES ilavesiyle iterasyon boyunca

duyarlılık analizinde meydana gelen değişim Şekil 5'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 5. IEEE 33 baralı sistem DA değişimi

Tablo 3. 3 adet DGES ilavesi ile duyarlılık analizi değişimi

	Başlangıç Durumu	PSO	OBPSO
Duyarlılık analizi Azalma (%)	4.0807	0.64155	0.41976
DGES büyüklüğü (MW) (Bara no)		0.932923 (1)	1.43302 (33)
		1.85347 (18)	2 (22)
		1.18782 (33)	1.32982 (18)

Durum 2 ile elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere, OBPSO karşılaştırıldığı diğer yöntemlere göre aktif güç kayıplarını, gerilim değişimini ve duyarlılık analizini azaltmada daha iyi performans göstermiştir. Önerilen OBPSO yönteminin karşılaştırıldığı yöntemlere nazaran daha verimli bir yöntem olduğu görülmüştür.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada, dağıtım şebekelerine DGES ilavesinin yapılacağı durumlar için, optimum değerlerin OBPSO yönteminin kullanılarak bulunması önerilmektedir. Önerilen yöntem, yeni, uygulaması kolay ve verimli bir yöntem olarak ön plana çıkan OBPSO algoritması kullanımınıdır. Yöntem, parçacık sürü optimizasyon algoritmasının (PSO) zıtlık tabanlı öğrenme ile geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında birim güç faktörü ile işletilen 3 adet DGES eklendiği durumlar çalışılmış ve sonuçları

karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar, optimum büyüklük ve yer dikkate alınarak yapılan çalışmalarda belirlenen amaç fonksiyonları için sistem performansının arttığını göstermektedir.

Yük değişim durumlarını dikkate alarak duyarlı baraların belirlenmesine yarayan duyarlılık analizi yeni bir yöntem olarak önerilmiştir. Çalışma ile duyarlılık analizi yeni bir amaç fonksiyonu olarak kullanılmış ve bu sayede yük değişimlerini dikkate alan optimum değerler elde edilmiştir. Önerilen OBPSO metodu literatürde bulunan diğer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık analizi minimizasyonu için OBPSO diğer çalışmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Gelecek çalışmalar için, OBPSO verimli bir optimizasyon aracı olarak optimum kapasitör yerleştirme, reaktif güç optimizasyonu gibi elektrik güç sistemleri ile ilgili diğer optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek bir yöntem olarak önerilmektedir.

**TEŞEKKÜR:** Değerli destek ve faydalı eleştirilerinden dolayı Sayın Dr. Talha Enes Gümüş'e teşekkür ederiz.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] J. L. "Sawin *et al.*, *Renewables 2013. Global status report 2013.* ; Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21, 15 rue de Milan, 75441 Paris Cedex 9 (France), 2013.
- [2] J. Von Appen, M. Braun, T. Stetz, K. Diwold, and D. Geibel, "Time in the sun: the challenge of high PV penetration in the German electric grid," *IEEE Power and Energy magazine*, vol. 11, no. 2, pp. 55-64, 2013.
- [3] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787-798, 2005.
- [4] Ö. Alkan, A. Öztürk, S. Tosun, "Rüzgar ve Güneş santrallerinde kısa dönem enerji üretim tahmini için matematiksel modellerin oluşturulması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 6, no. 1, pp. 188-195, 2018.
- [5] A. Peker, N. Yörükeren, and A. B. Arsoy, "Dağıtım Sisteminde Harmonik Analizi ve Etkilerinin Dağıtılmış Üretim Kullanılarak Azaltılması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 23-33.
- [6] D. Q. Hung, N. Mithulanathan, and R. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," *IEEE Transactions on energy conversion*, vol. 25, no. 3, pp. 814-820, 2010.
- [7] J. Subrahmanyam and C. Radhakrishna, "Distributed generator placement and sizing in unbalanced radial distribution system," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 232-239, 2009.
- [8] N. Acharya, P. Mahat, and N. Mithulanathan, "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 28, no. 10, pp. 669-678, 2006.
- [9] T. Gözel and M. H. Hocaoglu, "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems," *Electric power systems research*, vol. 79, no. 6, pp. 912-918, 2009.

- [10] I. Pisica, C. Bulac, and M. Eremia, "Optimal distributed generation location and sizing using genetic algorithms," in *2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems*, 2009: IEEE, pp. 1-6.
- [11] M. KN and J. EA, "Optimal integration of distributed generation (DG) resources in unbalanced distribution system considering uncertainty modelling," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27, no. 1, p. e2248, 2017.
- [12] A. Mohanty and P. Modi, "Optimal location and sizing of distributed generation in a power distribution system," *Cogeneration and Distributed Generation Journal*, vol. 25, no. 4, pp. 20-39, 2010.
- [13] S. Mahajan and S. Vadhera, "Optimal location and sizing of distributed generation unit using human opinion dynamics optimization technique," *Distributed Generation & Alternative Energy Journal*, vol. 33, no. 2, pp. 38-57, 2018.
- [14] A. Y. Abdelaziz, Y. G. Hegazy, W. El-Khattam, and M. M. Othman, "Optimal planning of distributed generators in distribution networks using modified firefly method," *Electric Power Components and Systems*, vol. 43, no. 3, pp. 320-333, 2015.
- [15] M. Pesaran, A. A. Mohd Zin, A. Khairuddin, and O. Shariati, "Optimal sizing and siting of distributed generators by a weighted exhaustive search," *Electric Power Components and Systems*, vol. 42, no. 11, pp. 1131-1142, 2014.
- [16] G. Chen, L. Liu, Y. Guo, and S. Huang, "Multi-objective enhanced PSO algorithm for optimizing power losses and voltage deviation in power systems," *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 2016.
- [17] E. Ali, S. Abd Elazim, and A. Abdelaziz, "Ant lion optimization algorithm for renewable distributed generations," *Energy*, vol. 116, pp. 445-458, 2016.
- [18] A. Y. Abdelaziz, R. A. Osama, and S. M. Elkhodary, "Distribution systems reconfiguration using ant colony optimization and harmony search algorithms," *Electric Power Components and Systems*, vol. 41, no. 5, pp. 537-554, 2013.
- [19] E. Haesen, J. Driesen, and R. Belmans, "Robust planning methodology for integration of stochastic generators in distribution grids," *IET Renewable power generation*, vol. 1, no. 1, pp. 25-32, 2007.
- [20] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 66-74, 2012.
- [21] K. H. Kim, K. B. Song, S. K. Joo, Y. J. Lee, and J. O. Kim, "Multiobjective distributed generation placement using fuzzy goal programming with genetic algorithm," *European Transactions on Electrical Power*, vol. 18, no. 3, pp. 217-230, 2008.
- [22] V. Matlab, "7.10. 0 (R2010a)," *The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts*, 2010.
- [23] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education," *IEEE Transactions on power systems*, vol. 26, no. 1, pp. 12-19, 2010.
- [24] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 1995, vol. 4: IEEE, pp. 1942-1948.

- [25] H. R. Tizhoosh, "Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence," in *International conference on computational intelligence for modelling, control and automation and international conference on intelligent agents, web technologies and internet commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*, 2005, vol. 1: IEEE, pp. 695-701.
- [26] S. Sultana and P. K. Roy, "Multi-objective quasi-oppositional teaching learning based optimization for optimal location of distributed generator in radial distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 63, pp. 534-545, 2014.