



Modern Güç Sistemlerinde Tıkanıklık Yönetimi Probleminin Çözümü İçin Balçık Küfü Optimizasyon Algoritması

Slime Mould Optimization Algorithm for Solving Congestion Management Problem in Modern Power Systems

¹Mehmet UĞUR , ²Serhat DUMAN 

¹Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

²Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

¹m.ugur_10@hotmail.com, ²sduman@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 11 April 2023

Accepted : 18 May 2023

Keywords:

Modern Power Systems,
Congestion Management,
Replanning, Optimization

ABSTRACT

Nowadays, the uncertainties that occur in reconstructed electrical power systems create a bottleneck in the competitive electricity market, which leads to economic loss in the power system and weakens the reliability of the system. Given this situation, the congestion management (CM) emerges as one of the most important planning problems for the operation and control of modern power systems. In this article, Slime Mold Algorithm (SMA) and Tasmanian Devil Optimization (TDO) algorithms, which have been recently introduced to the literature, are used to solve the CM problem. In addition, the proposed algorithms minimize the total replanning cost, while eliminating the congestion that occurs according to the scenarios created in the simulation studies. The simulation studies were carried out on a modified IEEE 30-bus test system and according to the results obtained, it was seen that the SMA algorithm was more successful than other algorithms in the literature in solving the CM problem.

© 2023 Bandırma Onyediy Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 11 Nisan 2023

Kabul : 18 Mayıs 2023

Anahtar Kelimeler:

Modern Güç Sistemleri,
Tıkanıklık Yönetimi,
Yeniden Planlama,
Optimizasyon

ÖZET

Günümüzde, yeniden yapılandırılmış elektrik güç sistemlerinde meydana gelen belirsizlikler rekabetçi elektrik piyasasında tıkanıklık oluşturmakta olup, bu durum güç sisteminde ekonomik kayba ve sistem güvenilirliğini zayıflatmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında, tıkanıklık yönetimi (CM) modern güç sistemlerinin işletilmesi ve kontrolü açısından en önemli planlama problemlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu makalede, CM problemini çözmek için son zamanlarda literatüre sunulan Balçık Küfü Algoritması (SMA) ve Tazmanya Canavarı Optimizasyon (TDO) algoritması kullanılmıştır. Ayrıca önerilen algoritmalar, toplam yeniden planlama maliyetini minimize ederken, benzetim çalışmalarında oluşturulan senaryolara göre meydana gelen tıkanıklığın giderilmesini sağlamaktadır. Benzetim çalışmaları değiştirilmiş IEEE 30- bara test sisteminde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlara göre SMA algoritmasının CM problemini çözmede literatürdeki diğer algoritmalarından daha başarılı olduğu görülmüştür.

© 2023 Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünya nüfusu, sanayileşme ve teknolojiadaki hızlı gelişmelerle birlikte insanların yaşam standartlarının artması, elektrik enerjisine olan talebi giderek arttırmaktadır. Son kullanıcıların talebini karşılamak için yeniden yapılanma ile iletim hatlarının maksimum kapasitesinden yararlanmak daha önemli hale gelmektedir. Güç sistemlerinin yeniden yapılandırılmasından önce, elektrik şebekeleri üretim, iletim ve dağıtım sistemleri kamu tarafından işletilen ortak kontrole sahip sistemlerdi. Güç sistemlerinin ayrıştırılmasından sonra, üretim, iletim ve dağıtım şirketleri bağımsız sistem operatörleri olarak çalışmakta olup, bu sistem operatörlerinin tüm sistemi birbirleriyle senkronize olarak çalıştırması gerekmektedir. Bağımsız sistem operatörlerine bağlı olarak serbestleştirilmiş veya kuralsızlaştırılmış piyasada, tüm elektrik şirketleri birbirleri ile etkileşime girmekte özgür bir davranış sergilerler. Ancak kuralsızlaştırılmış bir piyasada, elektrik alımı ve satımında uygun bir müzayede stratejisi seçmeyi, katılımcıların piyasa gücünü azaltırken karlarını maksimize etmeyi, sistem güvenilirliği sürdürülürken piyasa dengesi ve etkinliğini değerlendirmeyi, iletişim sıklığını içeren zorluklar bulunmaktadır. Serbestleştirme süreciyle sağlanan rekabetçi piyasa, günümüzde artan elektrik ihtiyacına karşın elektriğin alıcıya uygun bir fiyat bandında satılması içindir. Ayrıca, serbest piyasa, elektrik iletim şebekelerinin güç aktarım sınırlarının ötesinde çalışmasına ve sistemde tıkanık oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, tıkanık elektrik güç sistemlerinin rahatlatılması için tıkanık yönetiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Elektrik güç sistemlerindeki jeneratörlerin güç çıkışlarının yeniden programlanması tıkanıklık yönetiminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir [1-7].

Tıkanıklık yönetimi probleminde, jeneratörlerin aktif güç çıkışlarının yeniden düzenlenmesi veya programlanması için Balaraman ve Kamaraj [4] çalışmalarında, PSO, SA ve RSM algoritmalarını kullanmışlardır. Tıkanıklık yönetimi probleminin çözümü için dört farklı senaryoyu IEEE 30 ve IEEE 57 bara test sistemlerinde ikişerli gruplar halinde düşünmüşlerdir. Bu senaryolara göre yapılan benzetim çalışmalarından elde ettikleri sonuçları kendi içlerinde karşılaştırmışlar ve PSO algoritmasının bu problemin çözümünde daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Verma ve Mukherjee [5] güç sistemlerinin tıkanıklık yönetimi probleminin çözümünde FFA algoritmasını önermişlerdir. Önerdikleri algoritmanın sonuçlarının literatürdeki diğer algoritmaların sonuçlarından daha iyi olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir. Yazarların diğer bir çalışmasında [6], aynı problem ALO algoritması kullanılarak çözülmesi amaçlanmıştır. ALO algoritmasından elde edilen sonuçlar FPA, BA ve CBA algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. 5 farklı senaryo tipi IEEE 30, 57 ve 118 bara test sistemlerinde farklı şekillerde düşünülmüş ve bu senaryolara göre tıkanıklık yönetimini gidermede ve tıkanıklık maliyetini en aza indirmede ALO algoritmasının daha başarılı olduğunu çalışmalarında yazarlar tarafından belirtilmiştir. Verma ve arkadaşları bir başka çalışmalarında [7], TLBO algoritmasını IEEE 30 ve 57 bara test sistemlerinde tıkanıklık maliyetini en aza indirmek için kullanmışlardır. Oluşturulan benzetim senaryolarına göre, TLBO'dan elde edilen sonuçlar literatürde sunulan diğer algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve TLBO algoritmasının optimal çözümü bulmada daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Verma ve arkadaşları [8] jeneratörlerin çıkış güçlerinin yeniden düzenlenmesini ve tıkanık maliyetinin minimizasyonu için SOS algoritmasını kullanmışlardır. Yazarlar çalışmalarında, 10 farklı tıkanıklık senaryosunu IEEE 30 ve 57 bara test sistemlerinde gerçekleştirmişler ve elde edilen sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, problemin çözümü için önerdikleri SOS algoritmasının optimal çözüme yakınsamada daha başarılı olduğunu yazarlar tarafından belirtilmiştir. Vijayakumar çalışmasında [9], güç sistemlerinin önemli planlama problemlerinden tıkanıklık yönetimi problemini çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele almıştır. Toplam tıkanıklık maliyeti, iletim hattı tıkanıklığı ve gerilim sapması değerlerini amaç fonksiyonları ve bu amaç fonksiyonlarının minimizasyonunda çok amaçlı FEP ve NSGA-II yöntemlerini kullanmışlardır. IEEE 30 bara test sisteminde farklı tıkanıklık senaryoları altında önerilen algoritmaların performansları test edilmiş ve literatüre sunulmuştur. Balaraman ve Kamaraj başka bir çalışmalarında [10], standart IEEE 30 bara test sisteminde farklı tıkanıklık senaryoları altında yapılan benzetim çalışmalarında tıkanıklık maliyetinin optimal değerini DE algoritmasını kullanarak bulmayı amaçlamışlardır. DE algoritmasından elde edilen benzetim sonuçlarını PSO algoritmasının sonuçları ile karşılaştırmışlar ve DE algoritması iletim tıkanıklığını gidermede ve toplam tıkanıklık maliyetini en aza indirmede etkili olmuştur. Kashyap ve Kansal [11] FFA ve DE algoritmalarının hibrit versiyonunu tıkanıklık maliyetini minimize etmek için kullanmışlardır. Ayrıca, yazarlar dağıtılmış üretim birimlerinin test sisteminde en uygun yerleşim yerlerini belirleyerek hem iletim hattındaki tıkanıklığı gidermiş hem de toplam tıkanıklık maliyetini minimize etmişlerdir. Farklı tıkanıklık senaryolarında yapılan benzetim çalışmalarına göre, önerilen hibrit algoritmadan elde edilen sonuçlar FFA algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen algoritma optimal çözüme yakınsamada daha başarılı olmuştur. Tıkanıklık yönetiminde toplam tıkanıklık maliyetinin minimizasyonu için literatürde; IDE [12], MO-GSO [13], FPSO [14], GSA [15], ve ICSA [16] gibi farklı algoritmalar kullanılmıştır.

Bu çalışmada, SMA [17] ve TDO [18] algoritmaları değiştirilmiş IEEE 30 bara test sisteminde iki farklı tıkanıklık senaryosu altında toplam tıkanıklık maliyetinin minimizasyonu için kullanılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmaların sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Yapılan çalışma aşağıdaki alt başlıklara göre organize edilmiştir.

- Güç sistemlerinin en önemli problemlerinden biri olan tıkanık probleminin tanıtılması bölüm 2'de ele alınmıştır.
- Problemin çözümünde başarılı olan optimizasyon algoritması bölüm 3'de sunulmuştur.

- Benzetim çalışmalarının sunulması ve elde edilen sonuçların tartışılması bölüm 4’de verilmiştir.
- Çalışmanın genel bir şekilde değerlendirilmesi sonuç bölümüdür.

2. TIKANIKLIK YÖNETİMİ PROBLEMİNİN TANIMLANMASI

Tıkanıklık yönetiminin (CM) temel amacı, şebeke kısıtlamaları karşılanırken jeneratörlerin aktif güç üretiminin artırılması veya azaltılması durumuna göre yeniden programlanarak tıkanıklık maliyetini en aza indirmektir. Jeneratörlerin aktif güç üretimindeki değişiklik, GENCOs tarafından sunulan fiyat tekliflerine bağlı olarak Eşitlik (1)’deki gibi matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$C_C = \sum_{i \in N_G} (C_k \Delta P_{Gi}^+ + D_k \Delta P_{Gi}^-) \quad \$ / h \quad (1)$$

Burada, C_C jeneratörlerin aktif güç üretimlerindeki değişime bağlı olarak toplam üretim maliyetini göstermektedir. C_k ve D_k (\$/MWh) üretim şirketleri tarafından verilen artımlı ve indirimli fiyat tekliflerini ifade etmektedir. ΔP_{Gi}^+ ve ΔP_{Gi}^- jeneratörlerin aktif güçlerinin artışı ve azalmasını temsil etmektedir.

2.1. Problemin Eşitlik Kısıtları

Tıkanıklık yönetimi probleminin eşitlik kısıtları güç akışı denklemleri ile aşağıdaki gibi formülize edilmektedir.

$$P_{Gk} - P_{Dk} = \sum_j |V_j| |V_k| |Y_{kj}| \cos(\delta_k - \delta_j - \theta_{kj}) \quad j = 1, 2, \dots, N_B \quad (2)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = \sum_j |V_j| |V_k| |Y_{kj}| \sin(\delta_k - \delta_j - \theta_{kj}) \quad j = 1, 2, \dots, N_B \quad (3)$$

$$P_{Gk} = P_{Gk}^C + \Delta P_{Gk}^+ - \Delta P_{Gk}^- \quad k = 1, 2, \dots, N_G \quad (4)$$

$$P_{Dj} = P_{Dj}^C \quad j = 1, 2, \dots, N_D \quad (5)$$

Eşitlik (2) ve (3) güç sisteminde bulunan her bir baradaki aktif ve reaktif akışı dengesini, Eşitlik (4) ve (5) ise piyasa takas fiyatının fonksiyonu olan nihai gücü temsil etmektedir. P_{Gk} ve Q_{Gk} ; k barasına bağlı jeneratör tarafından üretilen aktif ve reaktif gücü göstermektedir. P_{Dk} ve Q_{Dk} ; ise k barasındaki talep edilen aktif ve reaktif güç değerlerini temsil etmektedir. V_j ve V_k j 'inci ve k 'ıncı baralardaki gerilimlerin genlik değerleridir. δ_j ve δ_k , j 'inci ve k 'ıncı baralardaki gerilimlerin açıları olarak tanımlanmaktadır. θ_{kj} , k ve j baraları arasında bağlanan hattın açısı olarak ifade edilmektedir. N_B , N_G ve N_D , sırasıyla, güç sistemindeki toplam bara, jeneratör ve yük sayılarını göstermektedir. P_{Gk}^C ve P_{Dj}^C , piyasa takas değerinden elde edildiği gibi sırasıyla, k 'ıncı jeneratör tarafından üretilen aktif güç ve j 'inci yük barasına bağlı yük tarafından tüketilen aktif güç değerleridir.

2.2. Problemin Eşitsizlik Kısıtları

Güç sistemlerinde bulunan jeneratörlerin ve iletim hatlarının çalışma ve fiziksel sınırları CM probleminin eşitsizlik kısıtları olarak matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$P_{Gk}^{\min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk}^{\max}, \quad \forall k \in N_G \quad (6)$$

$$Q_{Gk}^{\min} \leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk}^{\max}, \quad \forall k \in N_G \quad (7)$$

$$(P_{Gk} - P_{Gk}^{\min}) = \Delta P_{Gk}^{\min} \leq \Delta P_{Gk} \leq \Delta P_{Gk}^{\max} = (P_{Gk}^{\max} - P_{Gk}) \quad (8)$$

$$V_n^{\min} \leq V_n \leq V_n^{\max}, \quad \forall n \in N_B \quad (9)$$

$$P_{ij} \leq P_{ij}^{\max} \quad (10)$$

Burada, *min* ve *max* değişkenlerin minimum ve maksimum sınır değerlerini göstermektedir.

Problem için verilen eşitsizlik kısıtlamaları ceza fonksiyonlarına dönüştürülerek amaç fonksiyonu eklenmektedir. Bu çalışmada, Newton-Raphson güç akışı sonucunda elde edilen yük baralarının gerilim değerleri, jeneratörlerin reaktif güç değerleri ve iletim hatlarından akan aktif güç değerleri ikinci dereceden ceza fonksiyonu kabul edilerek Eşitlik (11)'deki uygunluk fonksiyonu değeri elde edilir.

$$\text{Min } F = C_C + \lambda_1 \times \sum_{i=1}^{ovl} (P_{ij} - P_{ij}^{\max})^2 + \lambda_2 \times \sum_{j=1}^{VN} (\Delta V_j)^2 + \lambda_3 \times (\Delta P_G)^2 + \lambda_4 \times (\Delta Q_G)^2 \quad (11)$$

$$\Delta V_j = \begin{cases} (V_j^{\min} - V_j); & \text{if } V_j \leq V_j^{\min} \\ (V_j - V_j^{\max}); & \text{if } V_j \geq V_j^{\max} \end{cases}$$

$$\Delta P_G = \begin{cases} (P_G^{\min} - P_G); & \text{if } P_G \leq P_G^{\min} \\ (P_G - P_G^{\max}); & \text{if } P_G \geq P_G^{\max} \end{cases} \quad (12)$$

$$\Delta Q_G = \begin{cases} (Q_G^{\min} - Q_G); & \text{if } Q_G \leq Q_G^{\min} \\ (Q_G - Q_G^{\max}); & \text{if } Q_G \geq Q_G^{\max} \end{cases}$$

Burada F minimize edilecek tıkanıklık maliyetini içeren uygunluk fonksiyonunu, aşırı yüklenmiş hatlar ovl ; ve sınır değerlerini ihlal etmiş yük baralarının toplam sayısını göstermektedir. $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ve λ_4 ceza katsayıları olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada ceza katsayıları sırasıyla, 4200, 500, 1000 ve 500 olarak ayarlanmıştır.

3. BALÇIK KÜFÜ ALGORİTMASI

Li ve arkadaşları tarafından 2020 yılında literatüre sunulan SMA, hava kokuları ile ilgili olarak balçık kalıbının gıda erişiminin doğal salınım modeline dayalı popülasyon temelli bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Algoritma, yiyeceğe yaklaşma, yiyeceği sarma ve osilasyon olarak adlandırılan üç temel aşamada modellenerek simule edilmektedir [17,19].

3.1. Yiyeceklere Yaklaşma Davranışı

Havada bulunan koku balçık küfünün yiyeceklere yaklaşmasını sağlamakta olup, balçık küfünün büzülme aşaması ve yiyecek arama sürecindeki davranışın matematiksel olarak modellenmesi çözüm adaylarının konumunun güncellenmesi olarak Eşitlik (13)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\overrightarrow{X}(t+1) = \begin{cases} \overrightarrow{X}_b(t) + \overrightarrow{vb} \cdot (\overrightarrow{W} \cdot \overrightarrow{X}_A(t) - \overrightarrow{X}_B(t)), & r < p \\ \overrightarrow{vc} \cdot \overrightarrow{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (13)$$

\overrightarrow{vb} [-a, a] aralığında bir parametre ve \overrightarrow{vc} birden sıfıra doğrusal olarak azalan bir sayıdır. Arama uzayında en yüksek koku konsantrasyonuna sahip çözüm adayının konumu \overrightarrow{X}_b ile gösterilmektedir. t şundaki iterasyon sayısını, \overrightarrow{X} ise balçık kalıbının konumunu temsil etmektedir. \overrightarrow{W} balçık kalıbının ağırlığı, \overrightarrow{X}_A ve \overrightarrow{X}_B çözüm uzayından rastgele seçilen iki birey olarak ifade edilmektedir. p değeri aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$p = \tanh |S(i) - DF| \quad (14)$$

Burada, $i \in 1, 2, \dots, n$ \overrightarrow{X} 'in uygunluk fonksiyonu değerleri $S(i)$ ile ifade edilmektedir. DF ise optimizasyon süreci boyunca her bir iterasyonda en iyi uygunluk değeridir. \overrightarrow{vb} ve \overrightarrow{W} 'nin matematiksel olarak gösterimi, sırasıyla, Eşitlik (15) ve (16)'da gösterilmiştir.

$$\overrightarrow{vb} = [-a, a] \quad (15)$$

$$a = \arctan h \left(- \left(\frac{t}{maks_t} \right) + 1 \right)$$

$$\overrightarrow{W}(\text{Smellindeks}(i)) = \begin{cases} 1 + r \cdot \log \left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1 \right), & \text{koşul} \\ 1 - r \cdot \log \left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1 \right), & \text{diğer} \end{cases} \quad (16)$$

$$\text{Smellindeks} = \text{sort}(S)$$

r , [0,1] arasında rasgele üretilen bir sayıyı gösterir. Maksimum iterasyon sayısı $maks_t$, şuan ki iterasyondaki en iyi uygunluk değeri bF , en kötü uygunluk değeri wF ile açıklanmaktadır. Smellindeks arama uzayındaki uygunluk fonksiyonu değerlerinin minimumdan maksimuma veya maksimumdan minimuma sıralanması olarak tanımlanır [17,19].

3.2. Yiyecekleri Sarma Davranışı

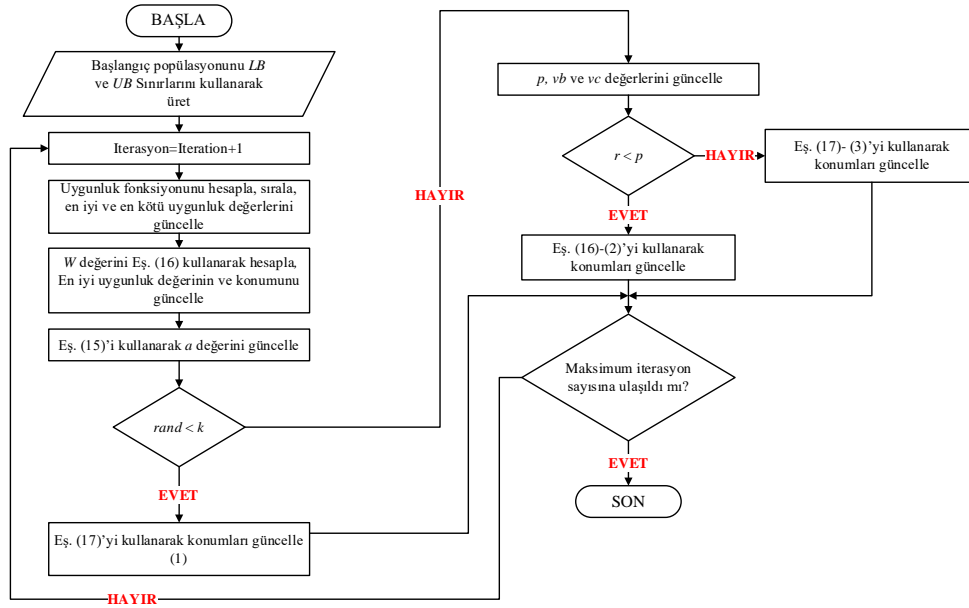
Besin konsantrasyonunun yeterli olduğu bölgelerde ağırlık oranının fazla, besin konsantrasyonunun düşük olduğu bölgelerde ağırlık oranı az olduğu düşünüldüğünde algoritma diğer besin bölgelerini keşfedebilmek için yönelme hareketine bağlı olarak, arama uzayındaki balçık kalıbının yerinin güncellenmesi gerekmekte olup bu davranış matematiksel olarak Eşitlik (17)'deki gibi formüle edilmiştir [17,19].

$$\vec{X}^* = \begin{cases} rand.(UB - LB) + LB, & rand < z \\ \vec{X}_b(t) + vb.(W.\vec{X}_A(t) - \vec{X}_B(t)), & r < p \\ \vec{vc}.\vec{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (17)$$

Burada, UB ve LB, değişkenlerin üst ve alt sınırlarını belirtir, *rand* ve *r*, [0,1] aralığında rastgele bir sayıyı temsil eder ve *z*, keşif ve kullanım arasındaki dengeyi koruyan sabit olarak tanımlanır.

3.3. Osilasyon Davranışı

Algoritma, daha iyi bir gıda konsantrasyonunu bulmak için balçık kalıbının çeşitli varyasyonları \vec{W} , \vec{vb} ve \vec{vc} parametreleri vasıtasıyla benzetim modeli oluşturulur. \vec{W} ile matematiksel olarak modellenmiş bire yakın balçık küfünün salınım frekansı, balçık kalıbının besin kaynakları içerisinde yiyecek konsantrasyonu yüksek olanın kaliteli yiyeceğe daha hızlı yaklaşmasını, yiyecek konsantrasyonu düşük olanın yiyeceğe daha yavaş yaklaşmasını sağlar. \vec{vb} değeri [-a, a] arasında rastgele salınım yaparken, optimizasyon işlemi boyunca iterasyon sayısının artmasıyla kademeli olarak sıfır değerine yaklaşmaktadır. \vec{vc} değeri [-1,1] arasında salınım yaparak optimizasyon işlemi sonunda maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında sıfıra düşer [17,19]. Balçık küf algoritmasının akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. SMA algoritmasının akış diyagramı.

4. BENZETİM ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI

Benzetim çalışmaları için değiştirilmiş IEEE 30 bara test sistemi kullanılmış olup, test sistemi 6 jeneratör, 24 yük barası ve 41 iletim hattından oluşmaktadır. Ayrıca, 24 yük barasından toplam talep edilen aktif güç ve reaktif güç değerleri 283.4 MW ve 126.2 MVAR'dır. Benzetim çalışmalarında güç akışı eşitliklerinin ve sonuçlarının elde edilmesi MATPOWER paket programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir [20-21]. Benzetim çalışmalarında, hat kesintisi veya tüm yük baralarındaki yük değerlerinin beklenmedik bir şekilde değişmesi gibi durumlar düşünülerek güç sistemlerinde tıkanıklık senaryoları oluşturulmuştur. Bu tıkanıklık senaryoları aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

- *Durum 1A:* Değiştirilmiş IEEE 30 bara test sisteminin 1-2 hattının devre dışı kalması,
- *Durum 1B:* Değiştirilmiş IEEE 30 bara test sisteminin 1-7 hattının devre dışı kalması ve tüm yük baralarındaki yük değerlerinin 50% oranında artması,

Test sistemi için üretim şirketleri tarafından bağımsız sistem operatörlerine sunulan fiyat teklifleri ve test sisteme ait jeneratör verileri Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 2'de ise Durum 1A ve Durum 1B için değiştirilmiş IEEE 30-bus test sistemindeki sıkışık hatlar ve bu hatlardan akan aktif güç değerleri gösterilmektedir. Tablo 1'de verilen başlangıç koşullarına göre benzetim durumları için güç akışı çalışmaları yapıldığında, Durum 1A'da 1-7 ve 7-8, Durum 1B'de 1-2, 2-8 ve 2-9 hatlarından akan aktif güç değerleri belirlenen sınır değerlerin üzerinde olduğu Tablo 2'den açıkça görülmekte olup, bu durum güç sisteminde sıkışıklık oluşturmaktadır. İletim hatlarındaki bu sıkışıklık durumunu gidermek için test sistemindeki jeneratörlerin ürettikleri aktif güç değerlerinin yeniden belirlenmesi Eşitlik (1)'de verilen tıkanık maliyetinin minimizasyonu ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, tıkanıklık maliyetinin minimizasyonu meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından TDO ve SMA algoritmaları kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1. Generatör ve fiyat teklifleri değerleri.

Bara No	P_G^{\min} (MW)	P_G^{\max} (MW)	Q_G^{\min} (MVAR)	Q_G^{\max} (MVAR)	P_G^C	GENCO'lar tarafından verilen fiyat teklifleri	
						C_k	D_k
1	0	360.2	-30	100	138.59	22	18
2	20	140	-30	100	57.56	21	19
3	15	100	-30	100	24.56	42	38
4	10	100	-30	100	35.00	43	37
5	10	100	-30	100	17.93	43	35
6	12	100	-30	100	16.91	41	39

Tablo 2. Değiştirilmiş IEEE 30-bus test sistemi için sıkışık hatların ayrıntıları.

Test Durumları	Sıkışık Hatlar	Hatlardan Akan Güç (MW)	Hat Sınırları (MW)
Durum 1A	1-7	147.463	130
	7-8	136.292	130
Durum 1B	1-2	310.917	130
	2-8	97.353	65
	2-9	103.524	65

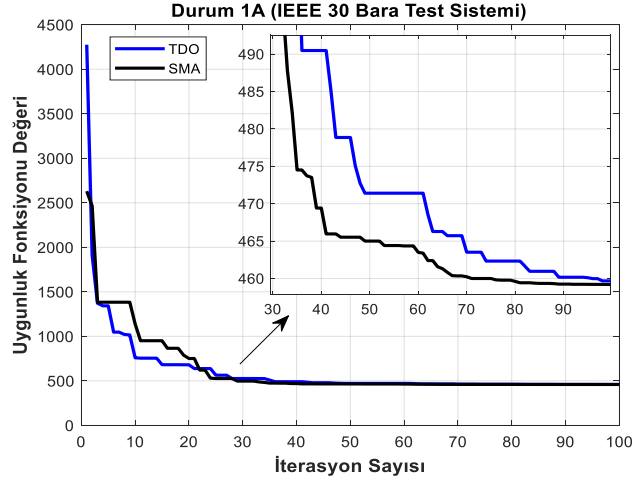
Tablo 3. Durum 1A için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların diğer algoritmalarla karşılaştırılması.

Parametreler	Algoritmalar					
	FFA [5]	PSO [4]	RSM [4]	SA [4]	BA [6]	CBA [6]
TCC (\$/h)	511.8737	538.95	716.25	719.861	496.78	482.023
PF (Hat 1-7)	129.812	129.97	129.78	129.51	-	-
PF (Hat 7-8)	120.617	120.78	120.60	120.35	-	-
ΔP_{G1} (MW)	-8.7783	-8.6123	-8.8086	-9.0763	-9.01	-8.694
ΔP_{G2} (MW)	+15.0008	+10.4059	+2.6473	+3.1332	+13.969	+13.917
ΔP_{G3} (MW)	+0.1068	+3.0344	+2.9537	+3.2345	+0.102	-0.016
ΔP_{G4} (MW)	+0.0653	+0.0170	+3.0632	+2.9681	+0.301	+0.109
ΔP_{G5} (MW)	+0.1734	+0.8547	+2.9136	+2.9540	+0.523	+0.349
ΔP_{G6} (MW)	-0.6180	-0.0122	+2.9522	+2.4437	+0.035	+0.317
TGRS (MW)	24.7425	22.936	23.339	23.809	23.943	23.402
Parametreler	Algoritmalar					
	FPA [6]	ALO [6]	TLBO [7]	SOS [8]	TDO	SMA
TCC (\$/h)	519.62	480.0438	494.66	460.827	459.6804	459.1921
PF (Hat 1-7)	-	129.5	130	130	129.9993	129.9999
PF (Hat 7-8)	-	120.79	120.78	120.78	123.0755	123.0759
ΔP_{G1} (MW)	-9.1278	-9.0880	-8.5876	-8.588	-8.6063	-8.6057
ΔP_{G2} (MW)	+14.14	+15.0668	+12.9855	+14.581	+14.4715	+14.4864
ΔP_{G3} (MW)	-0.206	+0.0000	+0.4598	0.000	-0.0016	+0.0003
ΔP_{G4} (MW)	-0.0188	+0.0001	+0.7289	0.000	+0.0060	+0.0001
ΔP_{G5} (MW)	+0.189	+0.0002	-0.0093	0.000	+0.0063	+0.0002
ΔP_{G6} (MW)	+1.013	+0.0001	+0.3988	0.000	+0.0067	+0.0011
TGRS (MW)	24.703	24.1552	23.169	23.169	23.0984	23.0638

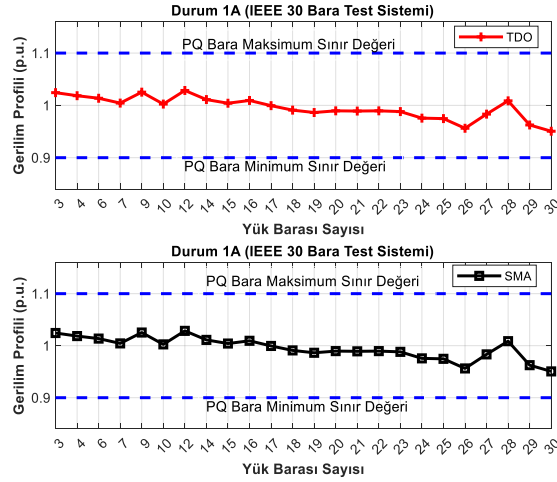
Durum 1A benzetim çalışması için değiştirilmiş IEEE 30 bara test sisteminin 1 ve 2 numaralı baraların arasında bağlanan hattın devre dışı kalması düşünülerek tıkanıklık oluşturulmuştur. Hattın devre dışı kalmasıyla, 1-7 ve 7-8 numaralı baralara bağlı hatlarda güç akışlarının sırasıyla 147.463 MW ve 136.292 MW olduğu görülmüştür. Bu hatlar için güç akışı sınırları 130 MW olduğu için hatlarda tıkanıklık meydana gelmiş olup, bu tıkanıklık jeneratörlerin aktif güç üretiminin en uygun değerde olacak şekilde TDO ve SMA algoritmalarıyla yeniden düzenlenerek hafifletilmiş ve bu algoritmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 3'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Tablo 3'den de görüldüğü gibi sunulan algoritmaların sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, SMA algoritmasından elde edilen sonuçların, diğer hatları aşırı yüklemeyen tıkanıklık maliyeti açısından en iyi değere sahip olduğu Tablo 3'den açıkça görülmektedir. Başka bir ifadeyle, SMA algoritmasının sonucu literatürdeki en iyi iki değere sahip ALO ve SOS algoritmalarından sırasıyla 20.8517 \$/h ve 1.6349 \$/h daha az değere sahiptir. SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimini gösteren yakınsama eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. SMA ve TDO algoritmalarının optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen sonuçlarına göre, yük baralarına ait gerilim değerlerinin belirtilen limit değerleri içinde eşitsizlik kısıtlarını karşıladığı Şekil 3'den açıkça görülmektedir. Şekil 4'te literatürdeki FFA, PSO, RSM, SA, BA, CBA, FPA, ALO, TLBO, SOS ve önerilen SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen jeneratörlerin yeniden planlama değerleri gösterilmektedir.

Durum 1B benzetim çalışmasında test sisteminin 1 ve 7 numaralı baralara bağlı hattın devre dışı kalması ve sistemdeki tüm yük baralarının 50% oranında artırılarak tıkanıklık senaryosu oluşturulmuştur. Hattın devre dışı kalması ve yük değerlerinin artmasıyla birlikte, 1-2, 2-8 ve 2-9 numaralı baralara bağlı hatlarda güç akışlarının sırasıyla 310.917 MW, 97.353 ve 103.524 MW olduğu görülmüştür. Bu hatlar için güç akışı sınırları 130 MW ve 65 MW olduğundan bu hatlarda tıkanıklık meydana gelmiştir. Sistemde meydana gelen tıkanıklık, önerilen SMA

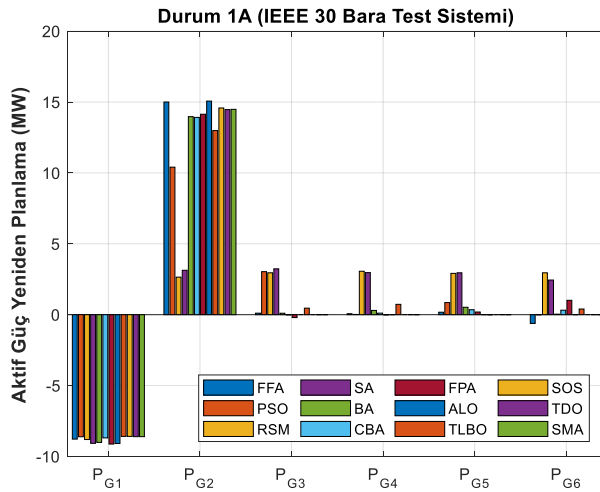
ve TDO algoritmalarıyla jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden planlaması yapılarak sistem tıkanık maliyetinin en aza indirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2. Durum 1A için SMA ve TDO algoritmalarının uygunluk fonksiyonu değerinin değişimi.



Şekil 3. Durum 1A için yük baralarına ait gerilim değerleri.



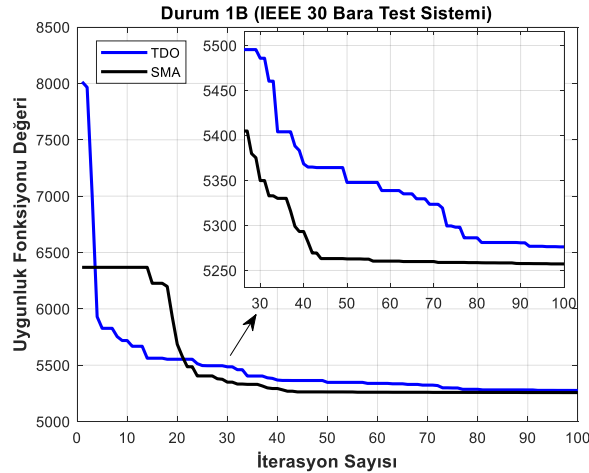
Şekil 4. Durum 1A için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden planlama değerleri.

Durum 1B için önerilen algoritmalarla elde edilen sonuçlar ve literatürdeki diğer algoritmalarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaları Tablo 4’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Tablo 4’de verilen karşılaştırmalı sonuçlara göre, SMA algoritması tarafından elde edilen tıkanıklık maliyeti 5275.2658 \$/h ile en iyi değer olarak,

Tablo 4. Durum 1B için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların diğer algoritmalarla karşılaştırılması.

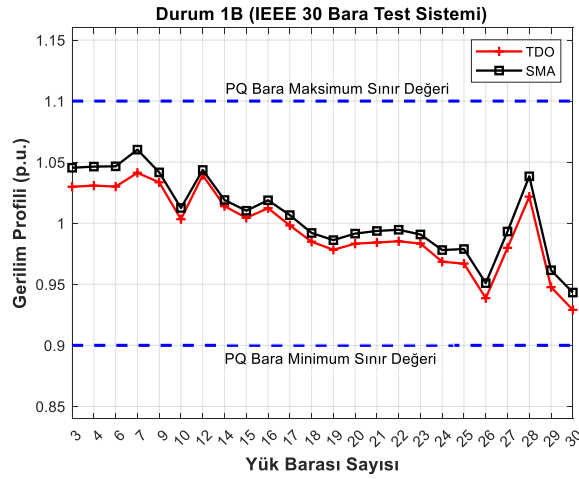
Parametreler	Algoritmalar					
	FFA [5]	PSO [4]	RSM [4]	SA [4]	BA [6]	CBA [6]
TCC (\$/h)	5304.40	5335.5	5988.05	6068.7	5333.72	5302.4
PF (Hat 1-2)	130	129.7	129.91	129.78	-	-
PF (Hat 2-8)	62.713	61.1	52.36	51.47	-	-
PF (Hat 2-9)	64.979	64.67	55.43	54.04	-	-
ΔP_{G1} (MW)	-8.5798	-	-	-	-8.582	-8.361
ΔP_{G2} (MW)	+75.9954	-	-	-	+67.72	76.402
ΔP_{G3} (MW)	+0.0575	-	-	-	+11.27	0.071
ΔP_{G4} (MW)	+42.9944	-	-	-	+49.42	50.082
ΔP_{G5} (MW)	+23.8325	-	-	-	+13.15	17.227
ΔP_{G6} (MW)	+16.5144	-	-	-	+14.45	15.736
TGRS (MW)	167.974	168.03	164.55	164.53	164.61	168.15
Parametreler	Algoritmalar					
	FPA [6]	ALO [6]	TLBO [7]	SOS [8]	TDO	SMA
TCC (\$/h)	5320.8	5296.75	5306.5	5303	5276.2510	5275.2658
PF (Hat 1-2)	-	130	130	130	129.4155	130.0000
PF (Hat 2-8)	-	60.404	62.34	63.11	62.4155	61.4903
PF (Hat 2-9)	-	65	65	65	64.9989	64.9974
ΔP_{G1} (MW)	-8.589	-8.588	-8.5876	-8.587	-8.6158	-8.5956
ΔP_{G2} (MW)	+74.024	+76.4	+75.65	+76.459	+76.1004	+76.0360
ΔP_{G3} (MW)	0.000	+0.056	+0.012	+0.0005	+1.5144	+0.2697
ΔP_{G4} (MW)	+13.5174	+42.844	+34.357	+41.083	+42.0308	+26.1489
ΔP_{G5} (MW)	+43.865	+24.571	+31.4791	+30.226	+18.7278	+32.3804
ΔP_{G6} (MW)	+27.89	+15.525	+17.83	+11.617	+20.6545	+23.8464
TGRS (MW)	167.896	167.98	168.088	167.975	167.6437	167.2770

literatürdeki en iyi sonuca sahip ALO ve SOS algoritmaların sonuçlarından sırasıyla 0.4072% ve 0.5257% daha iyidir. Şekil 5, SMA ve TDO algoritmalarının optimal çözüme yakınsama değişimlerini göstermektedir. Optimizasyon işlemi sonucunda, değiştirilmiş IEEE 30 bara test sisteminin yük baralarının gerilim değerleri Şekil 6'da gösterilmekte olup, bu değerler belirtilen sınırlar içerisinde. Ayrıca, Şekil 7'de literatürde bu problemin çözümünde kullanılan algoritmalar ve önerilen SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen jeneratörlerin yeniden planlama değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

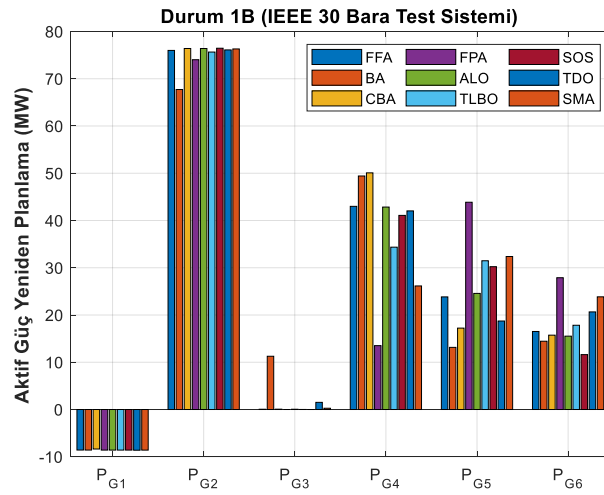
**Şekil 5.** Durum 1B için SMA ve TDO algoritmalarının uygunluk fonksiyonu değerinin değişimi.

5. SONUÇ

Bu makalede, güç sistemlerinin planlama problemlerinden biri olan tıkanıklık yönetimi probleminin çözümünde SMA ve TDO optimizasyon algoritmaları kullanımı amaçlanmıştır. Oluşturulan senaryolara göre meydana gelen tıkanıklığı tamamen azaltmak için jeneratörlerin üretim değerlerinin yeniden düzenlenerek tıkanıklık maliyetini en aza indirmeye SMA ve TDO algoritmaları başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmada, iletim hatlarında meydana gelen hat kesintileri ve yük baralarındaki ani yük değişimlerine göre oluşturulan senaryolar, değiştirilmiş IEEE 30 Bara test sisteminde uygulanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmalarına göre, SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçlar literatürde sunulan diğer optimizasyon algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, SMA algoritmasının tıkanıklığı etkili bir şekilde giderdiği ve



Şekil 6. Durum 1B için yük baralarına ait gerilim değerleri.



Şekil 7. Durum 1B için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden planlama değerleri.

tıkanıklık maliyetinin literatürdeki diğer algoritmalar tarafından sunulan sonuçlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu problemin çözümünde kullanılan SMA ve TDO algoritmaları kendi içerisinde karşılaştırıldığında, SMA algoritmasının optimal çözüme yakınsamada TDO algoritmasına göre daha etkili olduğu yakınsama grafiklerinden açık bir şekilde görülmektedir. SMA algoritması, tıkanıklık yönetimi probleminin çözümünde etkili olmasının yanı sıra, gelecekte farklı mühendislik ve bilim dallarının optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

KISALTMALAR LİSTESİ

CM : Tıkanıklık Yönetimi	TLBO : Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon
SMA : Balık Küfü Algoritması	SOS : Simbiyotik Organizmalar Arama
TDO : Tazmanya Canavarı Optimizasyon	FEP : Bulanık Evrimsel Programlama
PSO : Parçacık Sürü Optimizasyonu	NSGA-II : Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritma II
SA : Benzetim Tavlama	DE : Diferansiyel Evrim
RSM : Rasgele Arama Metodu	IDE : İyileştirilmiş Diferansiyel Evrim
FFA : Ateş Böceği Algoritması	MO-GSO : Çok Amaçlı Ateşböceği Sürüsü Optimizasyon
ALO : Karınca Aslanı Optimizasyon	FPSO : Bulanık Parçacık Sürü Optimizasyonu
FPA : Çiçek Tozlaşma Algoritması	GSA : Yerçekimi Arama Algoritması
BA : Yarasa Algoritması	ICSA : Geliştirilmiş Karga Arama Algoritması
CBA : Kaotik Yarasa Algoritması	GENCOs : Üretim Şirketleri

Yazar Katkıları

Yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

- [1] A. Narain, S.K. Srivastava, and S.N. Singh “Congestion management approaches in restructured power system: key issues and challenges”, *The Electricity Journal*, vol. 33, p. 106715, 2020.
- [2] R. Peesapati, A. Yadav, V.K. Yadav, and N. Kumar “GSA-FAPSO-based generators active power rescheduling for transmission congestion management”, *IEEE Systems Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 3266-3273, 2019.
- [3] A. Pillay, S.P. Karthikeyan, and D.P. Kothari “Congestion management in power systems-a review”, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 70, pp. 83-90, 2015.
- [4] S. Balaraman, and N. Kamaraj “Transmission congestion management using particle swarm optimization”, *J. Electrical Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 54-70, 2011.
- [5] S. Verma, and V. Mukherjee “Firefly algorithm for congestion management in deregulated environment”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, pp. 1254-1265, 2016.
- [6] S. Verma, and V. Mukherjee “Optimal real power rescheduling of generators for congestion management using a novel ant lion optimiser”, *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 10, no. 10, pp. 2548-2561, 2016.
- [7] S. Verma, S. Saha, and V. Mukherjee “Optimal rescheduling of real power generation for congestion management using teaching-learning-based optimization algorithm”, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 5, pp. 889-907, 2018.
- [8] S. Verma, S. Saha, and V. Mukherjee “A novel symbiotic organisms search algorithm for congestion management in deregulated environment”, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 29, no. 1, pp. 59-79, 2017.
- [9] K. Vijayakumar “Multiobjective optimization methods for congestion management in deregulated power systems”, *Journal of Electrical and Computer Engineering*, p. 962462, 2012.
- [10] S. Balaraman, and N. Kamaraj “Application of differential evolution for congestion management in power system”, *Modern Applied Science*, vol. 4, no. 8, pp. 33-42, 2010.
- [11] M. Kashyap, and S. Kansal “Hybrid approach for congestion management using optimal placement of distributed generator”, *International Journal of Ambient Energy*, vol. 39, no. 2, pp. 132-142, 2018.
- [12] S.T. Suganthi, D. Devaraj, K. Ramar, and S.H. Thilagar “An improved differential evolution algorithm for congestion management in the presence of wind turbine generators”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 635-642, 2018.
- [13] S.R. Salkuti, and S.C. Kim “Congestion management using multi-objective glowworm swarm optimization algorithm”, *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 14, pp. 1565-1575, 2019.
- [14] C. Venkaiah, and D.M.V. Kumar “Fuzzy PSO congestion management using sensitivity-based optimal active power rescheduling of generators”, *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 32-41, 2011.
- [15] A. Sharma, and S.K. Jain “Gravitational search assisted algorithm for TCSC placement for congestion control in deregulated power system”, *Electric Power Systems Research*, vol. 174, 105874, 2019.
- [16] K. Paul, P. Sinha, S. Mobayen, F.F.M. El-Sousy, and A. Fekih “A novel improved crow search algorithm to alleviate congestion in power system transmission lines”, *Energy Reports*, vol. 8, pp. 11456-11465, 2022.
- [17] S. Li, H. Chen, M. Wang, A.A. Heidari, and S. Mirjalili “Slime mould algorithm: a new method for stochastic optimization”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 111, pp. 300-323, 2020.
- [18] M. Dehghani, S. Hubálovský, and P. Trojovský “Tasmanian devil optimization: a new bio-inspired optimization algorithm for solving optimization algorithm”, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 19599-19620, 2022.
- [19] F.S. Gharehchopogh, A. Ucan, T. Ibrikci, B. Arasteh, and G. Isik “Slime mould algorithm: a comprehensive survey of its variants and applications”, *Archives of Computational Methods in Engineering*.
- [20] R.D. Zimmerman, C.E. Murillo-Sanchez, 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, 2011.
- [21] MATPOWER
<http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>