

Minumum Kayıplar İçin Güç Şebekelerinde Statcom Yerinin ve Değerinin Yer çekimsel Arama Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi

^{*1} Yalçın Alcan, ² Ali Öztürk, ³ Hasan Dirik, ⁴ Memnun Demir

^{*1} Elektrik ve Enerji Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Türkiye

³ Elektrik ve Enerji Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Türkiye

⁴ Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Gerze Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Güç sistemlerindeki kayıpların azaltılması son yılların önemli çalışma konularından biridir. Bu bakımdan esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) cihazları önemli fırsatlar sunmaktadır. Esnek bir çalışma yapısına sahip olan Statik senkron kompanzator (STATCOM) kayıpların azaltılmasında diğer FACTS cihazlarına göre daha etkilidir. Bu çalışmada Yerçekimi Arama Algoritması (YAA), yöntemi kullanılarak güç sisteminde optimum STATCOM konumlarının ve değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, algoritma farklı sayıda STATCOM için IEEE-14 baralı sistemi üzerine uygulanmış ve minimum kayıpların elde edildiği konumlar ve değerler başarı ile bulunmuştur. Böylece, sezgisel algoritmalarından biri olan YAA'nın güç sistem kayıplarını minimize etmek için FACTS cihazlarının konumlarının ve çıkış değerlerinin bulunmasında alternatif bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yerçekimi Arama Algoritması, Esnek alternatif akım iletim sistemleri cihazları, Optimal yerleştirme, Statik senkron kompanzator

Abstract:

Reducing the losses in power systems has been one of the important issues in recent years. In this respect, Flexible AC Transmission Systems (FACTS) present considerable amount of opportunities. Static Synchronous Compensator (STATCOM), which has a flexible operation structure, is more effective than the other FACTS devices in terms of reducing the losses. This study aims to determine the optimum locations and outputs of STATCOM by using Gravitational Search Algorithm (GSA). To do this, GSA is applied to the IEEE-14 bus test system by using different numbers of STATCOM and all locations and values that ensure minimum losses has been found out successfully. Thus, the results show that GSA as a heuristic algorithm is an alternative method to determine the locations and output values of STATCOMs to minimize transmission losses.

Key words: Gravitational Search Algorithm, FACTS, Optimal Location, STATCOM

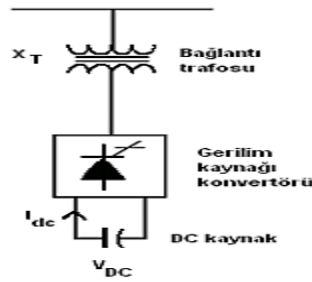
1. Giriş

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle elektrik enerjisi kullanımına olan talep giderek artmaktadır. Artan tüketici gereksinimi ile birlikte yeni hatların yapılmasındaki çevresel etkiler ve maliyetten dolayı enerji iletimindeki kayıplarının düşürülmesi hususundaki çalışmaları daha da önemli kılmıştır. Bu etkileri azaltmak ve mevcut enerji iletim sistemlerinin verimliliğinin maksimuma çıkarılması için mümkün olan seçenekler analiz edildiğinde, kayıpların düşürülmesi en ekonomik çözüm olarak görülmektedir. Bunun için güç elektroniği teknolojisi güç sistemlerinin kontrolünde FACTS cihazlarının kullanımına olanak tanımıştır. Bu elemanların akım ve gerilim kapasitelerinin artması, FACTS elemanlarının güç kontrolünü ve mevcut iletim hatlarının kullanılabilir kapasitesini arttırmak için yeni imkanlar oluşturmuştur. STATCOM, reaktif güç kompanzasyonu için kullanılan konverter tabanlı FACTS cihazlarından biridir. Esnek bir çalışma yapısına sahip olan STATCOM kayıpların azaltılmasında diğer FACTS cihazlarına göre daha etkilidir. Bu çalışmada Yerçekimi Arama Algoritması (YAA) kullanılarak güç sisteminde optimum STATCOM konumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. YAA, sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. YAA, Rashedi ve arkadaşları tarafından bulunan Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [1-2]. Enerji iletim sistemlerinde sezgisel algoritmalar kullanılarak FACTS cihazları ile farklı optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. IEEE-14 baralı sistemi ve Brezilya Güney Bölgesi elektrik sisteminin üzerinde FACTS cihazlarının yer tahsis ve iletim için fiyatlandırılması çalışmasını yapmışlardır [3]. Geleneksel olmayan bir optimizasyon tekniği, modifiye parçacık sürüsü optimizasyonu (MPSO) IEEE-30 baralı güç sistemi üzerinde FACTS cihazların sistemin kararlılığını artırdığını, kayıplarını azaltıp, üretim maliyetini düşürüp ve aynı zamanda sistemin taşıma kapasitesini artırır olduğunu göstermiştir [4]. YAA ile büyük bir güç sisteminde Statik Var Kompanzatör (SVC) dengeleyicisi için konumu ve büyüklüğü ile, maksimum güç transferinin artırılması yapılmış, sonuçlar PSO algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar YAA'nın hızlı SVC yerini ve büyüklüğünü bulunmasında optimal çözüm sunduğu gösterilmiştir [5]. IEEE-30 baralı güç sisteminin farklı çalışma koşulları için, FACTS cihazların optimum konumunu bulmak ve sistemin üretim maliyetini Genetik Algoritma (GA) ve Newton Raphson güç akışı yöntemi kullanılarak bu cihazların yatırım maliyetini bulmuştur [6]. IEEE-30 baralı sisteminde tepkisel baz yükün % 200 yükledikten sonra FACTS cihazları varken ve olmadan farklı yükler için sistemdeki aktif ve reaktif güçleri hesaplayıp sistemin performansının bu koşullarda uygun olduğu değerleri bulmuştur [7]. Diferansiyel Evrim algoritması kullanılarak düzensiz güç sistemlerinde FACTS cihazların optimum konumunu ve ekonomik üretim tahsisini ve iletimini önerilen yöntem kullanılarak, FACTS cihazların yerleri, çeşitleri ve dereceleri aynı anda optimize edilmiştir. Önerilen algoritma düzensiz elektrik piyasasında uygun FACTS cihazların seçimi ve konumu için etkili ve pratik bir yöntem olduğu gösterilmiştir [8]. Farklı yükleme koşulları altında ve güç aktarma kapasitesinin artırılması ve ekonomik çalışma için farklı sezgisel algoritmaları IEEE-30 baralı sistemine uygun FACTS cihazları yerleştirilecek yerleri ve sistem performansını

bularak algoritmalar arasında kıyas yapılmıştır [9]. İki sezgisel algoritmalar, PSO ve YAA bir melez kombinasyonu IEEE-30 baralı sisteminde SVC için uygun konum ve büyüklüğü belirlemek, hat kesintileri sırasında sistemin gerilim profilini geliştirmek ve sistemin güvenliğinin artırılması için önerilen yöntemin uygulanabilirliğini gösterilmiştir. Önerilen algoritmanın test sonuçlarının, geleneksel PSO algoritmasına kıyasla hesaplama süresi gerçek zamanlı değerlendirilmesi daha iyi olduğu görülmüştür [10]. Bu çalışmada, YAA farklı sayıda STATCOM için IEEE-14 baralı sistemi üzerine uygulanmış ve minimum kayıpların elde edildiği konumlar başarı ile bulunmuştur. Böylece, sezgisel algoritmalarından biri olan YAA'nın güç sistem kayıplarını minimize etmek için FACTS cihazları konumunun bulunmasında alternatif bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

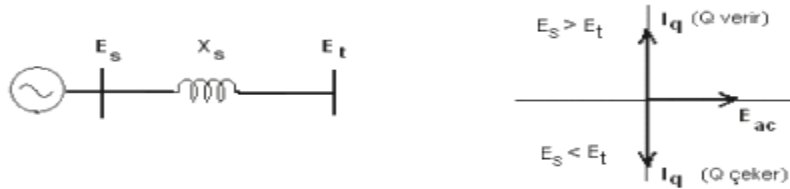
2. Statik Senkron Kompanzatör(STATCOM)

Şarj olmuş bir kondansatör Şekil 1'deki gibi bir doğru gerilim kaynağı olarak kullanılarak bir dönüştürücü ve bağlantı trafosu ile alternatif akım (AA) sistemine bağlanabilmektedir. STATCOM sayesinde, konvertör çıkışındaki gerilim, hattaki gerilimden küçük veya büyük yapılarak AA sisteminden çekilen veya AA sistemine verilen tepkin güç kontrol edilebilir.



Şekil 1: Statcom'un genel yapısı.

STATCOM da, güç sistemi ile dönüştürücü arasındaki tepkin güç alışverişi STATCOM gerilimi (E_s)'nin genliği değiştirilerek ayarlanır. Eğer E_s gerilimi, hat gerilimi (E_t)'nin üzerinde tutulursa dönüştürücüden bir reaktans üzerinden hatta bir akım akacaktır. Böylelikle dönüştürücü AA sistemi için bir kapasitif güç üretmiş olacaktır. Eğer dönüştürücünün çıkış gerilimi (E_s), AA sisteminin E_t geriliminden küçük tutulursa bu durumda dönüştürücüye bir akım akacak ve dönüştürücü bir endüktif tepkin güç çekmiş olacaktır.



Şekil 2: Statcom'un genel devre modeli ve tepkin güç alışverişi için değişik çalışma modları.

3.Aktif Güç Kayıpları

Güç sistemlerinin en büyük sorunları arasında sistemin kayıpları yer almaktadır. Bu kayıplar içinde aktif güç kayıpları (P_{loss}) ciddi bir ekonomik kayıptır. Bunun için aktif güç kayıplarının minimize edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Aktif güç kayıpları minimizasyonu amaç fonksiyonu eşitlik 1 ile ifade edilmiştir verilmiştir.

$$\sum_{k \in NE} P_{loss} = \sum_{k \in NE} gk (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}) \quad (1)$$

Denklem (1)'de N_E dağıtım hatları sayısı; gk i ve j baralarını bağlayan hattın kondüktansı, V_i i. Baranın gerilim değeri, V_j j. Baranın gerilim değeri, θ_{ij} i ve l baraları arasındaki gerilim değerinin faz açısını ve P_{loss} ise toplam aktif güç kaybını ifade etmektedir[11]. Sistemin aktif güç kayıplarını, şönt kompanzatör kontrol parametreleri sayesinde bağlı bulundukları baraların gerilimlerini sisteme reaktif güç vererek ya da sistemden reaktif güç çekerek düzenlerler. Bu kontrol parametreleri güç sisteminde uygun yerlere kurulur ve ayarlanır.

3.Yerçekimsel Arama Algoritması (YAA)

YAA, Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [2]. YAA, en yeni arama algoritmalarından biri olup araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Yerçekimi ve hareket kanunlarından esinlenilerek geliştirilen YAA, etkin bir hesaplama kabiliyeti vardır. YAA da her bir nesnenin kütle miktarı o nesnenin performansını gösterir. Her bir kütle, arama uzayında olan diğer kütleleri yerçekimi kuvveti ile çeker. Böylelikle kütleler arası etkileşim sağlanmış olur. Bu kuvvet bütün kütlelerin en ağır olan kütleyle doğru hareket etmesini sağlar. Bundan dolayı da kütleler yerçekimi kuvveti doğrultusunda birlikte hareket ederler. Algoritma boyunca en ağır olan kütle diğer kütlelere nazaran daha yavaş hareket edecek ve diğerlerini kendine çekecektir. İterasyon sayısı bitiminde veya herhangi bir durdurma işlemi olduğunda kütle en fazla olan nesne, sorunun optimum çözümü anlamındadır.

YAA'da, ilk önce kullanılan yerçekimi sabitinin (G) ve problemin çözümü için belli bir arama uzayının ve sistem içerisindeki toplam kaç kütleden olacağı belirlenir. N kütleden oluşan arama uzayında i. kütlenin pozisyonunun elde edilişi, eşitlik 2 ile ifade edilmiştir.

$$x_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \text{ for, } i=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

dir. x_i^d , i. kütlenin d. boyuttaki yerini belirtir. Algoritma başlangıcında belirlenen yerçekimi sabitine atanan değerin iterasyon sonucu azaltılması ve arama hızının kontrol edilmesi gerekir. t anındaki yerçekimi sabitinin elde edilişi Eşitlik 3 ile ifade edilmiştir.

$$G(t)=G_0 * e^{-\alpha \frac{t}{T}} \quad (3)$$

ile hesaplanır. G_0 , yerçekimi sabitinin başlangıç değeri, α , sabit değer, t, iterasyon sayısı ve T, maksimum iterasyon sayısıdır. En iyi ve en kötü kütle değerleri, eşitlik 4-5 kullanılarak elde edilir.

$$\text{best}(t) = \max_{i=1}^{n_{\text{mass}}} \{\text{fit}_i(t)\} \quad (4)$$

$$\text{worst}(t) = \min_{i=1}^{n_{\text{mass}}} \{\text{fit}_i(t)\} \quad (5)$$

ile bulunur. $\text{fit}_j(t)$, j. kütlenin t anındaki uygunluğu, $\text{best}(t)$, en iyi çözüm, $\text{worst}(t)$ ise t anındaki en kötü çözümdür. Arama uzayında bulunan kütlenin yerçekimsel (M_{ai}), pasif yerçekimsel (M_{pi}) ve eylemsizlik kütleleri (M_i) eşit alınarak Eşitlik 6-7-8 kullanılarak tüm kütleler hesaplanır.

$$M_{ai}=M_{pi}=M_{ii}=M_i \quad (6)$$

$$m_i = \frac{\text{fit}_i(t) - \text{worst}(t)}{\text{best}(t) - \text{worst}(t)} \quad (7)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (8)$$

Eşitlik 9-10'da toplam kuvvet hesabı yapılır. Bunun için, iki noktasal kütlenin arasındaki Öklid mesafesini;

$$R_{ij}(t) = \|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (9)$$

$R_{ij}(t)$ i ve j kütleler arası mesafedir. Buradan kütleler arasındaki kuvveti hesaplarız;

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) * M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (10)$$

$F_{ij}^d(t)$, t anında d. boyutta i ve j kütleleri arasındaki kuvvet, $M_{aj}(t)$ t anındaki j. Kütlenin aktif yerçekimsel kütlesi, ε kullanıcı tarafından sayısal verilen küçük bir sabit değer, $x_j^d(t)$, $x_i^d(t)$ i ve j kütlelerinin d. boyuttaki konumudur. Eşitlik 11-12 kullanılarak kütlelerin ivmeleri bulunur;

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (11)$$

$a_i^d(t)$ d. boyuttaki i. kütlenin t anındaki ivmesidir.

$$a_i(t) = G(t) \sum_{j=1}^{n_{mass}} \text{rand}_j \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon} (x_j - x_i) \quad (12)$$

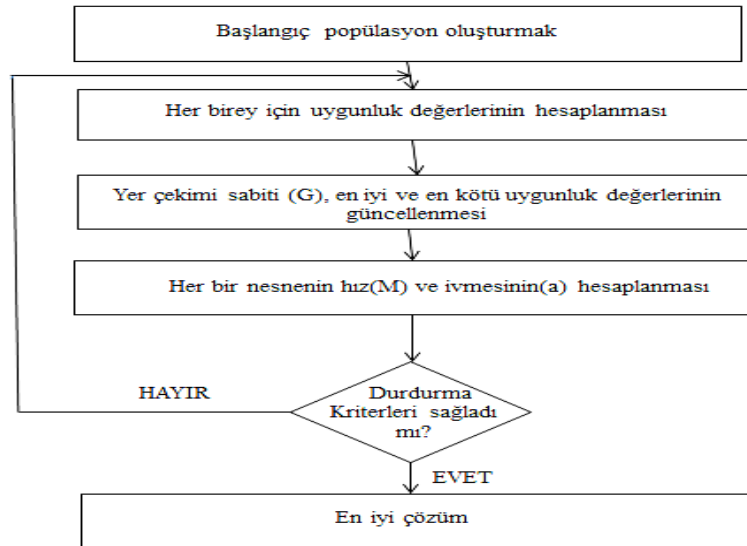
kütleler etkileşim sonucunda karşılıklı ivme kazandırırılar. Eşitlik 13'te kütlelerin o andaki hızı ile o anda oluşan hız değişiminin toplamını verir.

$$V_i^d(t+1) = \text{rand}_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (13)$$

rand_i [0,1] aralığında rastgele atanan bir sayıdır. Eşitlik 14'te hız değişimiyle birlikte her bir kütlelerin sistemdeki yerinin konum güncellemesi yapılmaktadır.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (14)$$

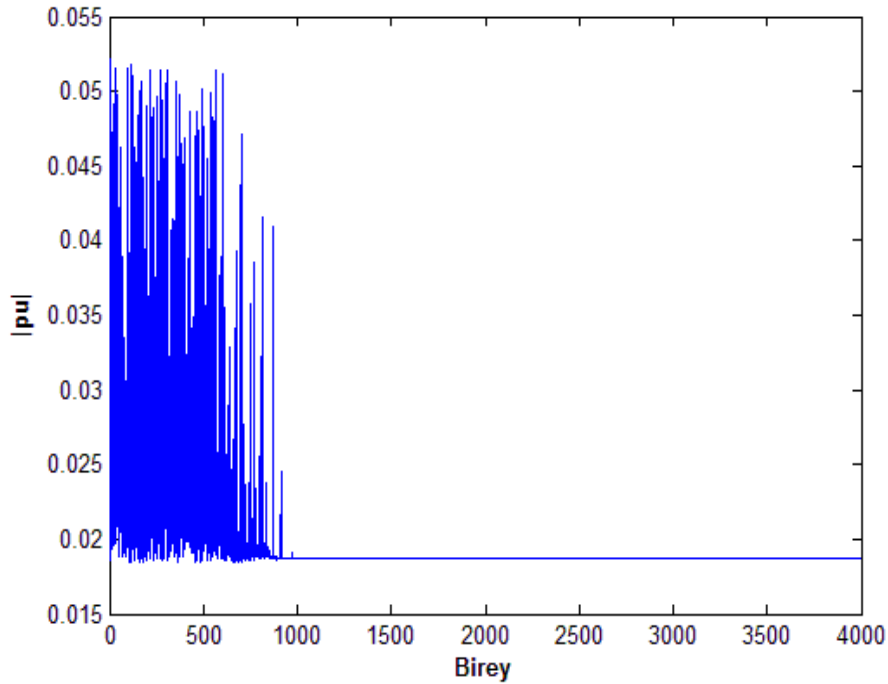
İstenilen durum sağlandığında algoritma durdurulur, sağlanmıyorsa algoritmanın yerçekimi sabitinin güncellendiği eşitlik 3 'e geri dönülerek sonlandırma kriterine sağlayana kadar arama devam ettirilir.



Şekil 3: YAA akış şeması.

4.Sonuçlar

Bu çalışmada; minumum kayıplar için güç şebekelerinde STATCOM yerinin YAA kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda IEEE-14 baralı sistem ve sistem parametreleri kullanılmıştır [12]. İlk olarak sistemde STATCOM yok iken klasik yöntem olan Newton Raphson Yöntemi (N.R.Y) kullanılarak yük akışı yapılmış ve amaç doğrultusunda problem çözülerek 0.0242 pu olarak sistemdeki toplam aktif güç kayıpları bulunmuştur. İkinci olarak kullanılan YAA'da birey sayısı 20 ve en fazla iterasyon sayısı 200 değerleri verilerek çözüm aranmıştır. IEEE 14 baralı test sisteminde her bir bara için YAA ile en uygun STATCOM değeri elde edilmiştir.YAA ile optimum STATCOM değerini 5 nolu baraya bağlanarak 0.0133 pu olarak sistemdeki toplam aktif güç kayıpları bulunmuştur. Bara 7 için YAA ile en uygun STATCOM değerinin elde edilmesi Şekil 4 te verilmiştir. Değerleri bulunan STATCOM'ların ilgili baralarara bağlanmaları durumunda elde edilen minimum aktif güç kayıp değerleri birim değer (pu) olarak Tablo 1 'de verilmiştir. Tablo 1'de baraya STATCOM bağlanmaması durumu 0 ile gösterilmiştir. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi için un uygun STATCOM bağlanacak baranın 5 nolu bara olduğu Tablo 1'den açıkça görülmektedir.



Şekil 4: Bara 7 için YAA ile en uygun STATCOM değerinin elde edilmesi.

Tablo 1: YAA ile bulunmuş STATCOM değeri ile minimum aktif güç kayıp değerleri.

Bara/ Statcom Değerleri														Toplam Kayıplar (pu)
N.R.Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0242
Bara 2	0.2278	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0242
Bara 3	0	0.8147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0242
Bara 4	0	0	0.9984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0134
Bara 5	0	0	0	0.9997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0133
Bara 6	0	0	0	0	0.8147	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0242
Bara 7	0	0	0	0	0	0.9984	0	0	0	0	0	0	0	0.0177
Bara 8	0	0	0	0	0	0	0.8147	0	0	0	0	0	0	0.0242
Bara 9	0	0	0	0	0	0	0	0.4368	0	0	0	0	0	0.0208
Bara 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2599	0	0	0	0	0.0220
Bara 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2924	0	0	0	0.0234
Bara 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1010	0	0	0.0235
Bara 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8224	0	0.0205
Bara 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2036	0.0213

YAA ile en uygun değerleri bulunan STATCOM'ların IEEE-14 baralı güç sisteminde aynı anda iki farklı baraya bağlanması durumlarında güç sisteminde oluşan aktif güç kaybı değerleri birim değer olarak (pu) Tablo 2'de verilmiştir. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi için en uygun STATCOM bağlanacak baraların sırasıyla 5 ve 4 nolu baralar olduğu için bu baralara aynı anda bağlayarak sonucu 0.0100 pu Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: En uygun ikili STATCOM değerlerinin baralara bağlanması durumlarında oluşan aktif güç kayıp değerleri.

Bara /Statcom Değerleri														Toplam kayıplar (pu)
Bara 4-5	0	0	0.7125	0.7402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0100
Bara 4-7	0	0	0.9201	0	0	0.2445	0	0	0	0	0	0	0	0.0132
Bara 10-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2758	0	0	0.8176	0	0.0184
Bara 9-14	0	0	0	0	0	0	0	0.3416	0	0	0	0	0.1535	0.0194
Bara 11-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3112	0.1030	0	0	0.0227
Bara 13-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7205	0.1741	0.0185

IEEE-14 baralı test sistemi üzerinde yapılan bu uygulama, YAA'nın güç sistemlerinde aktif güç kayıplarının minimize edilmesinde alternatif bir yöntem olabileceği gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Karaboğa, D. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları Ankara: Nobel Yayın Dağıtım; 2011.
- [2] Rashedi, E., Hossein Nezamabadi-pour, & Saeid Saryazdi. GSA: A Gravitational Search Algorithm. Information Sciences 2009;2232–2248.
- [3] E.J. de Oliveira, J. M. Flexible AC transmission system devices: allocation and transmission. Electrical Power and Energy Systems, 1999;2:111-118.
- [4] A.Parastar, A.P.Optimal Location of FACTS Devices in a Power System Using Modified Particle Swarm. 42nd International Universities Power Engineering Conference, 2007:1122-1128.
- [5] Esmat Rashedi, H. N.-p. Allocation of Static Var Compensator Using Gravitational Search Algorithm. First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, 2007;1-6.
- [6] Prashant Kumar Tiwari, Y. R. Optimal Location of FACTS Devices in Power System Using Genetic Algorithm. World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, 2009:1034-1040.
- [7] Prakash Burade, J. Congestion management Incorporation of FACTS Devices Using Ant Colony Optimization. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2012;139-150.
- [8] K. Balamurugan, V. D. Differential Evolution Based Optimal Choice and Location of Facts Devices in Restructured Power System. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 2013;7-2:162-170.
- [9] Biplab Bhattacharyya, V. K. Evolutionary Programming for Reactive Power Planning Using FACTS. Wseas Transactions On Power Systems, 2014; 1-6.
- [10] Raja, S. P. Optimal Location and Sizing of Multiple Static VAr Compensators for Voltage Risk Assessment Using Hybrid PSO-GSA Algorithm. Arab J Sci Eng. 2014;39:7967–7980.
- [11] Li, D. Gao, L. Zhang, J., Li, Y. Power System Reactive Power Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm. Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation.2006;7572-7576.
- [12] Dirik, H. Statcom ve Sssc Denetleyicilerinin Güç Sistemi Gerilim Kararlılığı Üzerine Etkisinin İncelenmesi,Samsun,2006.Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.