

Güç şebekelerinde minimum kayıpları sağlayan STATCOM konumunun ve değerinin belirlenmesinde farklı sezgisel algoritmaların karşılaştırılması

Comparison of different heuristic algorithms for location and value determination of STATCOM providing minimum losses in power systems

Yalçın ALCAN^{1*}, Ali ÖZTÜRK², Hasan DİRİK¹, Memnun DEMİR³

¹Elektrik-Enerji Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Sinop, Türkiye.
yalcinalcan@sinop.edu.tr, hdirik@sinop.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye.
aliozturk@duzce.edu.tr

³Bilgi Teknolojileri Bölümü, Gerze Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Sinop, Türkiye.
mdemir@sinop.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 18.05.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 01.02.2017

doi: 10.5505/pajes.2017.60566

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Güç sistemleri üzerine yapılan çalışmaların en önemli konularından biri toplam kayıpların azaltılmasıdır. Esnek A. A. iletim sistemleri (FACTS) bu amacın gerçekleştirilmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Statik Senkron Kompanzatorler (STATCOM), söz konusu FACTS yapılarının çalışması bakımından arasında en esnek ve gelişmiş olanlarıdır. Bir güç sistemindeki toplam kayıplar STATCOM'un bağlı bulunduğu baranın konumu ve tepkin güç çıkış değerine göre değişir. Bu çalışmada dört farklı sezgisel algoritma kullanılarak güç sistemi kayıplarının minimumunu elde etmeyi sağlayacak en iyi STATCOM konumunun ve çıkış değerinin belirlenmesi ve böylece algoritmaların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan sezgisel yöntemler sırasıyla Yerçekimsel Arama Algoritması (YAA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAK) ve Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) yöntemleridir. Yöntemler IEEE'nin 14 baralı test sistemine uygulanarak en az sistem kayıplarının elde edilebildiği STATCOM konumları ve bu konulardaki STATCOM tepkin güç çıkış değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar en uygun değeri bulma ve yakınsama hızı bakımından karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Optimal konum, STATCOM, Yerçekimsel arama algoritması, Parçacık sürü optimizasyonu, Yapay arı kolonisi, Karınca kolonisi algoritması

Abstract

One of the most important issues of studies that have been done on the power systems is loss reduction. Flexible A. C. transmission systems (FACTS) give significant opportunities to realize this aim. Static Synchronous Compensators (STATCOMs) are the most flexible and sophisticated structure as compared to the other FACTS devices in terms of operation. Total losses of a power system change according to the location and reactive power output of STATCOM. In this work, it is aimed to find optimum location and output value of a STATCOM that provide minimum losses of power system by using four different heuristic algorithms and to compare these algorithms. Heuristic algorithms that are used in this paper are Gravitational Search Algorithm (GSA), Particle Swarm Optimization (PSO), Artificial Bee Colony (ABC) and Ant Colony Algorithm (ACA) respectively. These methods were applied to IEEE-14 bus test system, and optimum locations and output values of STATCOMs that provide minimum losses have been found. Also, results of all methods are compared and discussed in terms of finding proper value and convergence speed.

Keywords: Optimal location, STATCOM, Gravitational search algorithm, Particle swarm optimization, Artificial bee colony, Ant colony algorithm

1 Giriş

Teknolojik ilerlemeler ve nüfus artışı ile birlikte, elektrik enerjisindeki tüketim her geçen gün artmaktadır. Bu durum, elektrik enerjisinin üretim tesislerinden tüketicilere iletimi esnasında oluşan kayıpların azaltılmasının önemini arttırmaktadır. Güç sistemlerinde enerji iletimi esnasında ortaya çıkan etkin güç kayıpları hatların omik direncinden ve hattın akan akımdan kaynaklanır. Burada, söz konusu olan güç kayıpları hatlardan akan akımın karesi ile orantılı olup azaltılması akımın düşürülmesi ile mümkündür. Akımın tepkin bileşeniyle çeşitli biçimlerde kompanze edilerek bu akımın ve dolayısıyla kayıp gücün azaltılması yoluna gidilebilmektedir. Güç sistemlerinin kompanzasyonunda başvurulabilecek başlıca yöntemler FACTS yapılarının kullanımından veya hatların seri ve şönt kompanzasyonundan oluşur. Böylece elektrik enerjisinin iletim verimliliği artırılabilir. Elektrik enerjisinin iletim verimliliğini artırmak için yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artış göstermektedir. Güç elektroniğindeki ilerlemelerle ortaya çıkan FACTS yapıları söz

konusu verimliliğin artırılması için önemli fırsatlar sunmaktadır. STATCOM, söz konusu FACTS yapıları arasında en esnek ve gelişmiş olanlarından biridir. STATCOM'un bu özelliği kullanılarak enerji iletim sistemlerinin sezgisel algoritmalar yardımıyla kayıpların azaltılmasını amaçlayan çok sayıda çalışma yapılmıştır. [1]'de FACTS yapılarının şebekeye toplam maliyeti ve fiyatlara etkisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. [2]'de FACTS yapılarının güç sistemlerindeki optimum konumunu bulma problemi için yeni ortaya konulan ve geliştirilmiş lider PSO olarak adlandırılan yeni bir PSO algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha düşük sınır değeri aşımalarının, gerilim sapsmalarının ve güç kayıplarının elde edilmesini sağlamaktadır. [3]'te GSA kullanılarak gelişmiş FACTS yapılarından olan Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyicilerinin (UPFC) optimum güç akışını sağlayacak şekilde güç sistemindeki konumlarının bulunması probleminin çözümü sunulmuştur. Çeşitli test sistemleri üzerinde yapılan benzetimler GSA'nın diğer bazı sezgisel algoritmalara göre doğruluk ve yakınsama özellikleri

bakımından daha iyi çözümler sunduğunu gösterilmiştir. FACTS yapılarının güç sistemi kararlılığını ve güvenliğini arttıracak şekilde optimum konumunu ve değerini bulmak için sezgisel temelli iki yeni melez algoritma tekniği de [4],[5]'te sunulmuştur. Benzetim sonuçları önerilen her iki melez algoritmanın genetik algoritmaya göre daha üstün başarımlar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Güç sistemlerinin çeşitli yüklenme durumları için FACTS yapılarının varlığındaki ve yokluğundaki etkin ve tepkin güçlerin karşılaştırıldığı ve uygun FACTS değerlerinin bulunduğu iki farklı çalışma da [6],[7]'de verilmiştir. [8]-[11]'de verilen çalışmalarda ise farklı optimizasyon tekniklerinin iyi yönleri birleştirilerek, başarımları yüksek melez algoritmalar oluşturulmuştur. Bu çalışmalarda, güç sisteminin güç taşıma kapasitesinin ve güvenliğinin önerilen yöntemler ile artırılabilceği gösterilmiştir. [12],[13]'te iki farklı sezgisel algoritmanın güç sistemi güvenilirliğini arttırmak kullanımı ve karşılaştırması verilmiştir. [14]-[17]'de YAK kullanılarak çeşitli FACTS yapıları için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. [18]'de YAA kullanılarak güç sistemi kararlılığını sağlayacak en iyi FACTS yapısı konumunun bulunmasına yönelik bir çalışma verilmiştir. Çeşitli sezgisel algoritmalar yardımıyla en küçük toplam sistem kayıplarını sağlayan FACTS yapısı konumlarının ve güçlerinin elde edildiği bazı optimizasyon çalışmaları da [19]-[23]'te verilmiştir.

Bu çalışmada, IEEE-14 baralı test sistemi üzerinde sezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan Yerçekimsel Arama Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi ve Karınca Kolonisi Algoritması yöntemleri kullanılarak toplam şebeke kayıplarının minimum olmasını sağlayacak STATCOM konumlarının ve tepkin güç çıkışı değerlerinin bulunması ve yöntemlerin karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar verilmiştir. Sezgisel algoritmalar, karşılaştırmanın eşit koşullarda yapılabilmesi amacıyla aynı birey sayıları, iterasyon sayıları ve tekrar sayıları ile söz konusu problemin çözümünde kullanılmıştır. Matlab ortamında yazılan kodların genel algoritma akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Bu diyagrama göre her bir sezgisel algoritma 14 baralı güç sisteminin bütün baraları için 40 tekrar ile çalıştırılarak en uygun çözümün bulunması amaçlanmıştır. Böylece en uygun baranın bulunması sağlanmaktadır. Yani uygun baranın bulunması sezgisel algoritmayı da içeren dış döngü ile yapılırken ilgili konumdaki tepkin güç çıkışı değeri de sezgisel algoritmanın kendi içinde bulunmaktadır. Kullanılan sezgisel algoritmaların akış diyagramları ise bir sonraki bölümde verilmiştir. Sezgisel algoritmaların her bir iterasyonunda toplam şebeke kayıplarını hesaplamak için bir güç akışı hesaplamasına ihtiyaç vardır. Burada Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır.

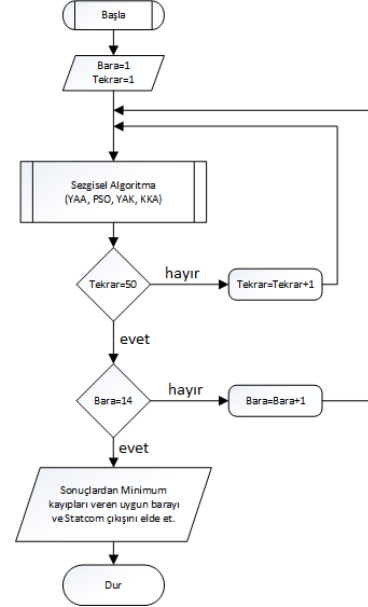
2 Sezgisel algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, doğada var olan bazı davranışların taklit edilerek çeşitli problemlerin çözümünü amaçlayan algoritmalarlardır. Aşağıda bu çalışmada kullanılan dört farklı sezgisel algoritmanın kısa açıklamaları verilmiştir.

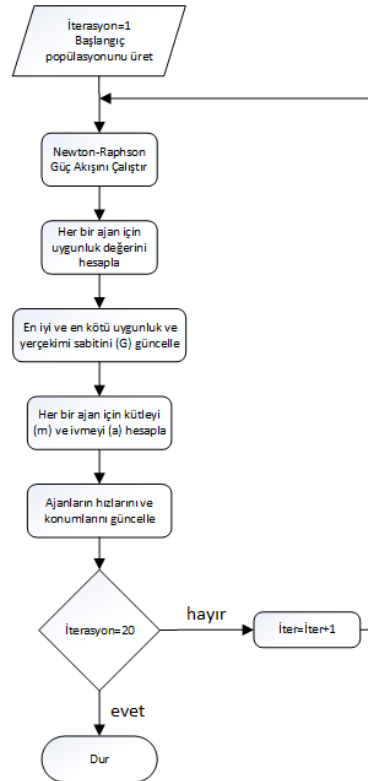
2.1 Yerçekimsel arama algoritması

Newton'un yerçekimi ve hareket kanunlarına dayanan YAA, 2009 yılında literatüre giren ve etkili bir hesaplama kabiliyeti olan bir optimizasyon algoritmasıdır [24],[25]. Algoritmanın işleyişinde; tüm nesnelere bir kütle miktarının var olduğu ve bu miktarların onların performansını etkilediği varsayımı

kullanılır. Kütleli çekim kuvveti sayesinde kütleler arasında da bir etkileşim söz konusudur. Bu etkileşim ile kütlelerin ağırlıkça en büyük olan kütleye yönelmesi sağlanır. Algoritmanın çalışması süresince diğer kütlelere göre ağırlıkça fazla olan kütle daha az hareketli olacak ve bu sayede diğer kütleleri kendine çekecektir. Çözüm için kriterler oluştuğunda, kütle en fazla olan nesne problemin optimum çözümünü verecektir. Şekil 2'de söz konusu problemin çözümünde kullanılan YAA akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 1: Sezgisel algoritmaların benzetimi için kullanılan genel algoritmanın akış diyagramı.

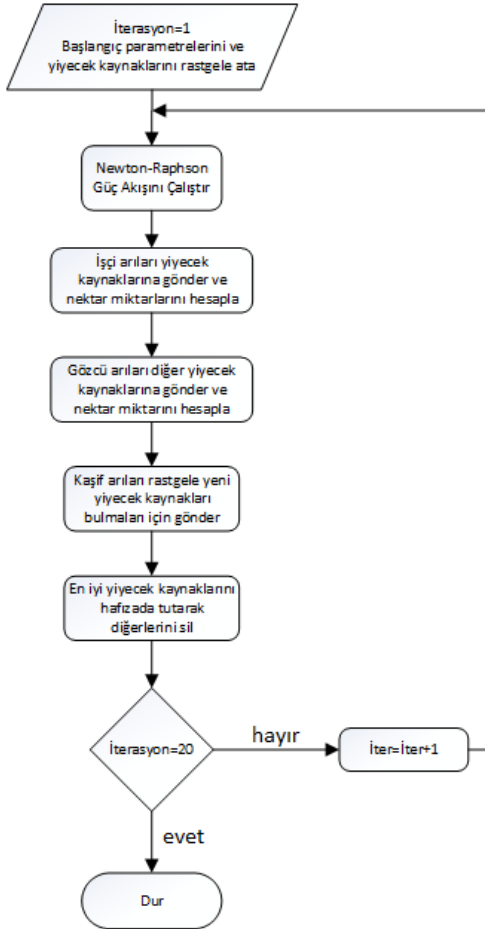


Şekil 2: YAA'nın optimum STATCOM çıkış değeri tespitinde kullanılan biçiminin algoritma akış diyagramı.

2.2 Yapay arı koloni algoritması

YAK, 2005 yılında literatüre sokulmuş sürü zekâsı temelli bir algoritmadır. Araştırmacılar için, çok fazla değişken içermemesi ve karmaşık bir yapısının olmaması önemli bir avantajıdır. Bu yüzden farklı problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Algoritma, gerçek arıların nektar kaynağı bulmaları ve bu kaynağın miktarını kovandaki diğer arılarla paylaşmaları sırasında sergiledikleri davranışlar gözlenerek geliştirilmiştir [26].

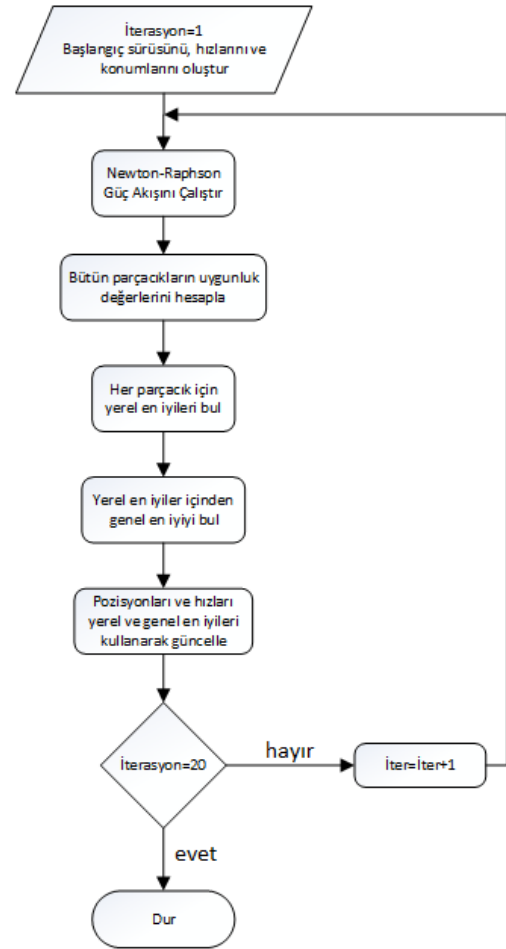
Algoritmada işçi, gözcü ve kâşif üç tip arı bulunmaktadır. Bu arıların her birinin farklı bir rolü vardır. İşçi arılar, besin kaynağı üzerinde kalır ve bu kaynağa komşu olan kaynakların bilgisini alır. Gözcü arılar bu bilgileri işçi arıların dans bölgelerinde yaptıkları danstan alır ve nektar toplamak için rület tekerleği prensibine göre kaynak seçimi yapar. Kâşif arılar ise yeni yiyecek kaynağı bulmakla sorumludur. Algoritma temel olarak üç adımdan oluşur. Birinci adımda işçi arılar kaynaklara gönderilir ve nektar miktarı hesaplanır. İkinci adımda gözcü arılar işçi arılardan aldıkları bilgilere göre kaynak seçimi yapar. Üçüncü adımda işçi arılardan biri kâşif arı olarak yeni kaynaklar bulmak için rastgele gönderilir. Bu üç adım algoritmanın döngüsü içerisinde yer alır. Problemin çözümü sağlanıncaya kadar algoritma çalışmaya devam eder [27],[28]. Bu algoritmanın minimum kayıplar için optimum STATCOM çıkış değeri tespitinde kullanılması amacıyla oluşturulan biçiminin işaret akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: YAK algoritmasının optimum STATCOM çıkış değeri tespitinde kullanılan biçiminin akış diyagramı.

2.3 Parçacık sürü optimizasyonu

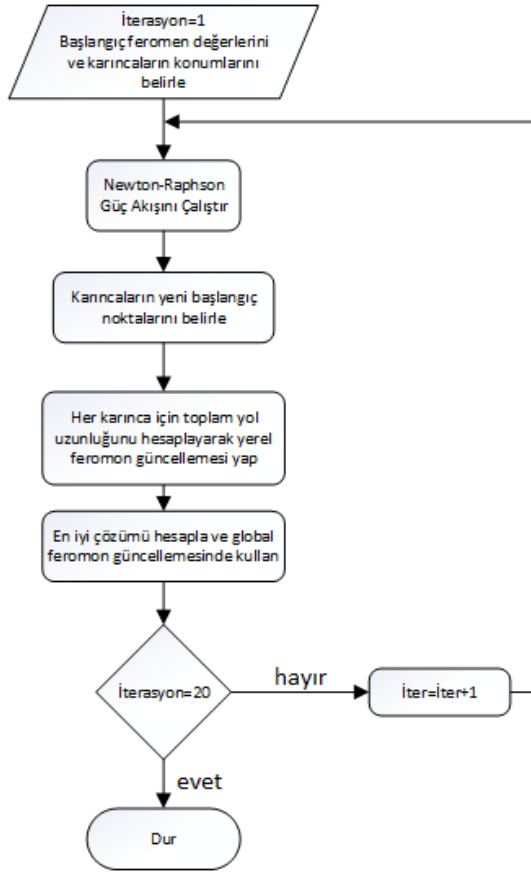
1995-1996 yıllarında ortaya çıkan ve [29]'da meta sezgisel yöntemlerden biri olarak verilen PSO tekniği sürü popülasyonuna dayanmaktadır. PSO'da ilk olarak, kullanılacak değişkenler belirlenir. Daha sonra rastgele çözümlerle algoritma başlar. Sonrasında ise fonksiyon sürekli güncellenerek en iyi değer bulunmaya çalışılır. İstenilen amaç dahilinde arama uzayında değer bakımından diğerlerine göre en iyi olan parçacık optimum olarak nitelendirilir ve bu parçacığın değerleri global komşular olarak tutulur. Bununla birlikte başlangıç anındaki bütün parçacıklar hedef fonksiyonu değerlerinin yerel en iyileri olarak tutulup parçacık değerleri de yerel komşular olarak tutulur. Yeni nesil oluşturulurken maksimum hız değişikliği, bu değerler kullanılarak elde edilir. Sonlandırma kriteri sağlanana kadar bu işlem devam eder. Şekil 4'te PSO'nun bu açıklamaya uygun olarak verilmiş olan algoritma akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4: PSO'nun optimum STATCOM çıkış değeri tespitinde kullanılan biçiminin akış diyagramı

2.4 Karınca kolonisi algoritması

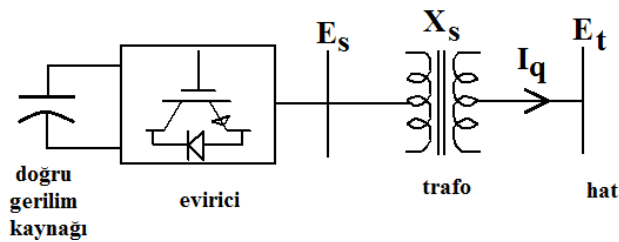
KKA ile ilgili ilk çalışma Dorigo ve arkadaşları tarafından 1992 yılında tarafından yayımlanmıştır. Dorigo ve diğ. gerçek karıncaların davranışları ile ilgili çalışmalarının sonucundan yola çıkarak matematiksel formüller ile bir modelleme yapmışlardır. Buna göre, karıncalar yiyecek araması esnasında buldukları ortama göre gidip gelecekleri optimum yolu belirler [30],[31]. Yöntemin bu çalışmadaki problemin çözümü için kullanılan genel adımları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: KKA ile optimum STATCOM çıkış değerinin tespitinde kullanılan algoritma akış diyagramı

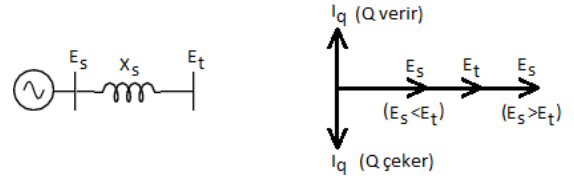
3 Statik senkron kompanzator

Doğru gerilimli bir sığaç Şekil 6'daki gibi bir evirici ve endüktans üzerinden bir güç sistemine bağlanabilmektedir. Bu yapı tepkin güç sağlayacak şekilde denetlenirse STATCOM adını alır. STATCOM'da, evirici çıkış gerilimi (E_s) hat gerilimine (E_t) göre küçük veya büyük tutularak güç sisteminden çekilen veya sisteme verilen tepkin akım (I_q) ve dolayısıyla tepkin güç denetlenebilir [32].



Şekil 6: STATCOM'un genel yapısı.

STATCOM'un bağlı bulunduğu güç sistemi ile tepkin güç alışverişi yapısındaki eviricinin çıkış gerilimi (E_s) üzerinden denetlenir. Bu durum STATCOM'un Şekil 7'de verilmiş olan eşdeğer devresi ve çalışma fazörlerinden daha iyi anlaşılabilir. Eğer bu gerilim, hat gerilimi ile aynı faz açısına sahip olmak üzere hat geriliminin (E_t) üzerinde tutulursa eviriciden şebekeye bir tepkin karakterli akım akacaktır. Böylece, güç sistemine tepkin güç verilmiş olur. Eğer eviricinin çıkışındaki gerilim (E_s), güç sistemi geriliminden küçük olursa evirici sistemden bir tepkin akım çekecektir. Bu da STATCOM'un tepkin güç çekmesini sağlayacaktır [32].



Şekil 7: STATCOM'un eşdeğer devresi ve çalışma biçimleri.

4 Etkin güç kayıpları

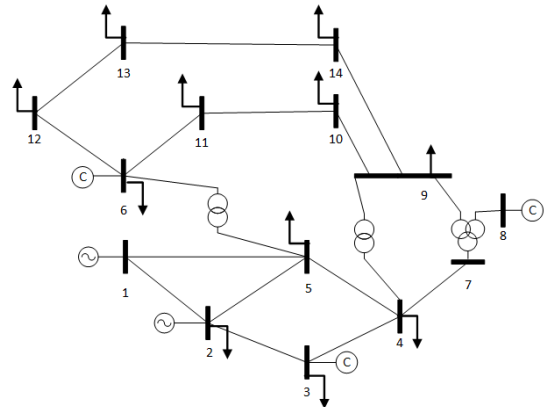
Güç sistemin toplam iletim kayıpları (P_{loss}), her bir iletim hattının etkin güç kayıplarının toplamı olup şebeke ekonomik kayıplarının en önemli kısmıdır. Bu yüzden, bu kayıpların minimize edilmesi önemli bir konudur. Bu çalışmada minimum etkin güç kayıplarını elde etmek için kullanılan amaç fonksiyonu denklem 1'de verilmiştir.

$$\min(P_{loss}) = \min \left[\sum_{k \in N_E} g_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}) \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte N_E iletim hatlarının sayısını, g_k i . ve j . baralar arasındaki hattın kondüktansını, V_i i . baranın gerilim değerini, V_j j . baranın gerilim değerini, θ_{ij} i . ve j . baraların gerilimleri arasındaki faz farkı açısını ve P_{loss} ise sistemin toplam etkin güç kayıplarını ifade etmektedir [33]. Sistem kayıpları STATCOM gibi şebekeye paralel bağlanabilen kompanzatorlar ile değiştirilebilir. Öyle ki, bu yapılar bağlı oldukları noktadan şebekeye tepkin güç vererek veya şebekeden tepkin güç çekerek bara gerilimini değiştirebilmekte ve böylece kayıpların miktarında da azalmayı sağlamaktadırlar. Bir STATCOM'un bu işlemi yapabilmesi uygun yere kurulması ve tepkin güç çıkışının uygun bir değere ayarlanması ile mümkündür [32].

5 Benzetimler ve tartışma

Bu çalışmada, minimum sistem kayıplarını sağlamak amacıyla güç sisteminde STATCOM'un yerinin ve değerinin belirlenmesi için farklı sezgisel algoritmalar kullanılmış ve algoritmaların bu problemin çözümündeki performansları karşılaştırılmıştır. Bunun için, algoritmalar Matlab ortamında iterasyon sayısı 20, birey sayısı 16 ve bu parametreler ile 50 tekrar kullanılmak şartıyla çalıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan güç sistemi IEEE'nin 14 baralı test sistemi olup tek hat şeması Şekil 8'de verilmiştir. Sisteme ait parametreler [32],[34]'ten alınmıştır.



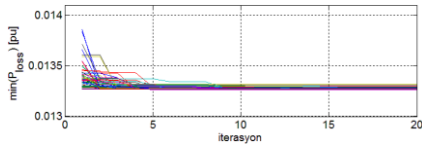
Şekil 8: IEEE 14-baralı test sisteminin tek hat şeması.

Benzetimlerde kullanılan STATCOM'un tepkin güç değeri benzetimler boyunca 1.0 pu ile sınırlandırılmıştır. Yöntemler

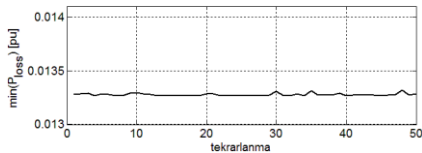
tarafından STATCOM'un konumları ve değerleri bulunurken her bir iterasyonda Newton-Raphson güç akışı algoritması çalıştırılmış ve güç sisteminin toplam kayıpları güç akışı hesaplamaları yolu ile bulunmuştur. Burada, yöntemler güç akışı algoritmasına yalnızca ilgili konumu ve STATCOM çıkış değerlerini vermektedir. Yani yöntemlerin giriş parametreleri STATCOM konumu ve bu konumda verdiği tepkin güç çıkışlarıdır. Her bir bara için bu işlem tekrar edilmiştir. Algoritmaların bütün baralar için elde ettiği kayıp değerlerinin en küçüğü tespit edilerek bu değerlere karşı düşen konum ve tepkin güç değeri elde edilmiştir. Benzetimlerde, toplam kayıp değerleri ve STATCOM tepkin güç çıkış değerleri birim değer (pu) olarak hesaplanmış ve verilmiştir.

Bütün sezgisel yöntemlerin benzetimi sonucunda elde edilen optimum STATCOM konumu olarak 14-baralı sistemin 5 numaralı barası elde edilmiştir. Bu yüzden, bu kısımdan sonra verilen değerler yalnızca 5 numaralı baraya STATCOM bağlı iken elde değerleri göstermektedir.

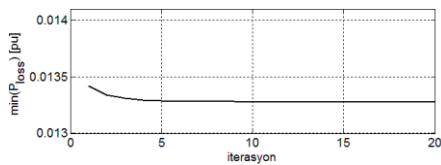
YAA kullanılarak problemin çözümünden elde edilen bazı değerlerin değişimleri sırasıyla Şekil 9-12'de verilmiştir. Her bir tekrar boyunca elde edilen minimum kayıpların değişimleri Şekil 9'da, her bir tekrarın sonunda bulunan minimum kayıpların değişimleri Şekil 10'da, tüm tekrarlar boyunca elde edilen minimum kayıpların ortalaması Şekil 11'de ve bütün tekrarlar boyunca minimum kayıpları sağlayan STATCOM tepkin güç çıkışı değerlerinin ortalaması ise Şekil 12'de verilmiştir. Bu değişimlerden YAA ile elde edilen optimum STATCOM çıkış değerinin yaklaşık 1.0 pu değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 9'a göre YAA'nın yaklaşık olarak 8 iterasyon sonunda bütün tekrarların yakınsadığı görülmektedir. Bu iyi bir sonuç olarak görülebilir. Fakat her bir tekrarın aynı sonucu üretmediği Şekil 10'dan anlaşılmaktadır. Şekil 11 ve 12'ye göre tekrarların ortalamasının da hızlı bir biçimde yakınsayarak sonuca ulaştığı görülmektedir. Öyle ki, yaklaşık 10 iterasyon sonunda STATCOM çıkışının 0.99 pu olması gerektiği ve bu durumdaki toplam şebeke kayıplarının da 0.133 pu civarında olacağı anlaşılmaktadır.



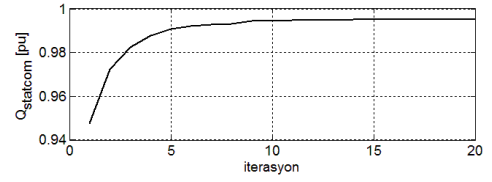
Şekil 9: YAA'nın 50 tekrar boyunca hesapladığı minimum kayıp değerlerinin değişimleri.



Şekil 10: YAA kullanılarak her bir tekrar sonunda elde edilen minimum kayıp değerleri.

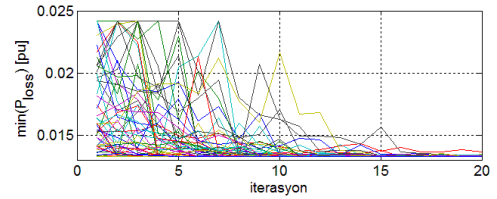


Şekil 11: YAA ile 50 tekrar boyunca elde edilen toplam kayıp değerlerinin ortalaması.

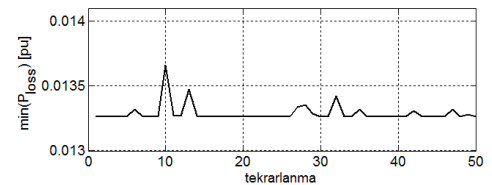


Şekil 12: YAA ile 50 tekrar boyunca elde edilen STATCOM tepkin güç çıkış değerlerinin ortalaması.

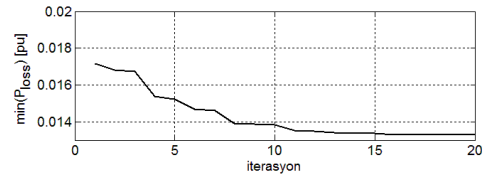
YAK kullanılarak elde edilen değerlerin değişimleri Şekil 13-16'da verilmiştir. Burada, Şekil 13 her bir tekrar boyunca elde edilen minimum kayıpların değişimlerini, Şekil 14 her bir tekrarın sonunda bulunan minimum kayıpların değişimlerini, Şekil 15 tüm tekrarlar boyunca elde edilen minimum kayıpların ortalamasını ve Şekil 16 bütün tekrarlar boyunca minimum kayıpları sağlayan STATCOM tepkin güç çıkışı değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Şekil 13'teki değişim YAK'ın problemin çözümünde YAA'ya göre daha yetersiz olduğunu göstermektedir. Öyle ki, 15 iterasyon sonunda bile bazı tekrarlar sonuca ulaşamamaktadır. Şekil 14'e göre yöntem her zaman aynı sonucu bulamamakla beraber 20 iterasyon sonunda yakın değerleri elde edebilmektedir. Şekil 15 ve 16'daki sonuçlar yakınsamanın yaklaşık olarak 15. iterasyondan itibaren gerçekleştiğini göstermektedir. Bulunan kayıp değeri ise YAA ile elde edilen değere yakın bir değerde olup sonucun optimum olduğu kabul edilebilir.



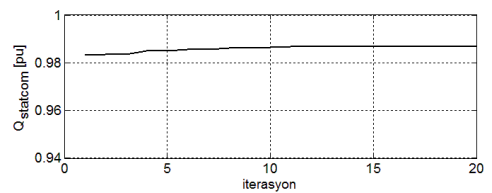
Şekil 13: YAK'ın 50 tekrar boyunca hesapladığı toplam kayıp değerlerinin değişimleri.



Şekil 14: YAK kullanılarak her bir tekrar sonunda elde edilen toplam kayıp değerleri.

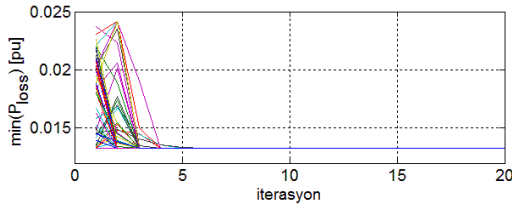


Şekil 15: YAK ile 50 tekrar boyunca elde edilen toplam kayıp değerlerinin ortalaması.

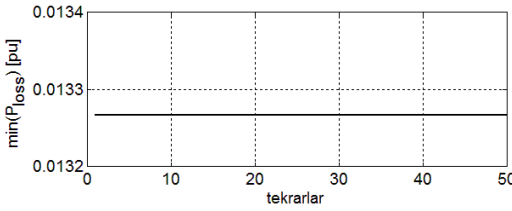


Şekil 16: YAK ile 50 tekrar boyunca elde edilen STATCOM tepkin güç çıkış değerlerinin ortalaması.

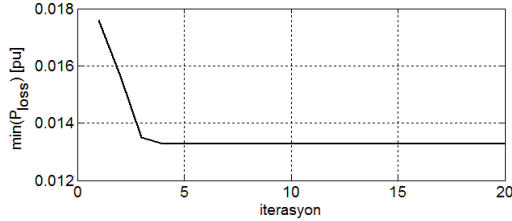
PSO kullanılarak elde edilen değerlerin değişimleri Şekil 17-20'de verilmiştir. Burada, Şekil 17 her bir tekrar boyunca elde edilen minimum kayıpların değişimlerini, Şekil 18 her bir tekrarın sonunda bulunan minimum kayıpların değişimlerini, Şekil 19 tüm tekrarlar boyunca elde edilen minimum kayıpların ortalamasını ve Şekil 20 bütün tekrarlar boyunca minimum kayıpları sağlayan STATCOM tepkin güç çıkışı değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Şekil 17'deki değişimler PSO'nun bu problemin çözümünde çok hızlı bir yakınsama gösterdiğini ortaya koymaktadır. Öyle ki problemin çözümü için 5 iterasyon yeterli olmaktadır. Şekil 18'e göre bütün tekrarlar aynı sonuca ulaşmaktadır. Bu sonuçlar PSO'nun YAA'ya ve YAK'a göre daha üstün bir başarıyı ortaya koyduğunu göstermektedir. Şekil 19'a göre toplam kayıpların minimum değeri 0.0132 pu civarındadır. Şekil 20'ye göre ise bu kayıpları elde etmek için STATCOM çıkışındaki tepkin gücün değeri yaklaşık olarak 1 pu olmalıdır.



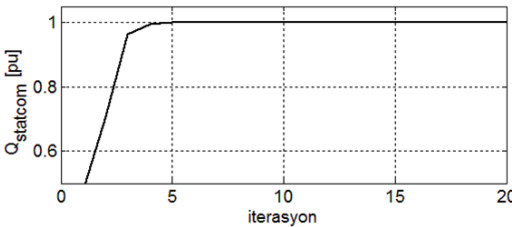
Şekil 17: PSO'nun 50 tekrar boyunca hesapladığı toplam kayıp değerlerinin değişimleri.



Şekil 18: PSO kullanılarak her bir tekrar sonunda elde edilen toplam kayıp değerleri.



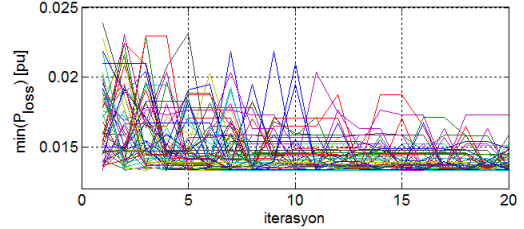
Şekil 19: PSO ile 50 tekrar boyunca elde edilen toplam kayıp değerlerinin ortalaması.



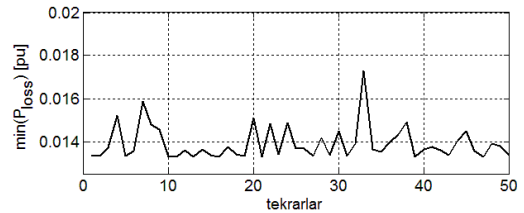
Şekil 20: PSO ile 50 tekrar boyunca elde edilen STATCOM tepkin güç çıkış değerlerinin ortalaması.

KKA kullanılarak elde edilen değerlerin değişimleri Şekil 21-24'te verilmiştir. Burada, Şekil 21 her bir tekrar boyunca elde edilen minimum kayıpların değişimlerini, Şekil 22 her bir tekrarın sonunda bulunan minimum kayıpların değişimlerini, Şekil 23 tüm tekrarlar boyunca elde edilen minimum kayıpların ortalamasını ve Şekil 24 bütün tekrarlar

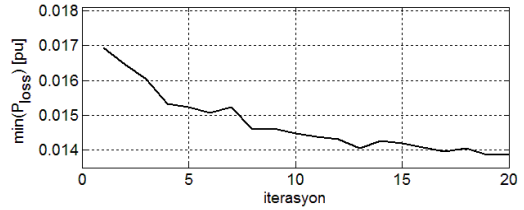
boyunca minimum kayıpları sağlayan STATCOM tepkin güç çıkışı değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Şekil 21'deki sonuçlar KKA'nın bu problemin çözümünde oldukça yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Öyle ki tekrarların çoğu 20 iterasyon sonunda bile yakınsayamamıştır. Şekil 22'ye göre tekrarların 20 iterasyon sonunda elde ettiği değerler arasında oldukça büyük farklılıklar vardır. Bu algoritmanın başarımının oldukça zayıf olduğu Şekil 23 ve Şekil 24'teki yakınsamaların yavaşlığından da anlaşılmaktadır.



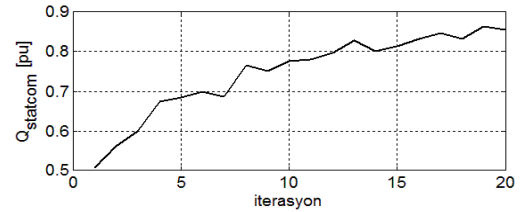
Şekil 21: KKA'nın 50 tekrar boyunca hesapladığı toplam kayıp değerlerinin değişimleri.



Şekil 22: KKA kullanılarak her bir tekrar sonunda elde edilen toplam kayıp değerleri.



Şekil 23: KKA ile 50 tekrar boyunca elde edilen toplam kayıp değerlerinin ortalaması.



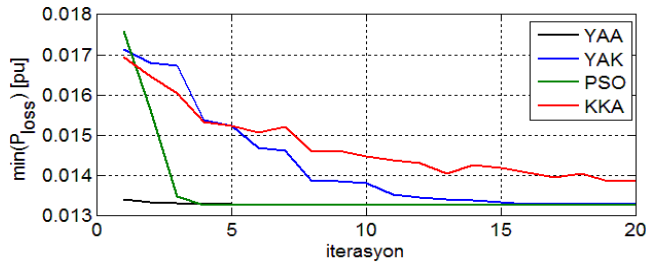
Şekil 24: KKA ile 50 tekrar boyunca elde edilen STATCOM tepkin güç çıkış değerlerinin ortalaması.

Genel olarak bakıldığında burada göz önüne alınan optimizasyon probleminin çözümünde YAA'nın ve PSO'nun kullanılabilir yöntemler olarak öne çıktığı anlaşılmaktadır. YAK'ın ve KKA'nın başarımlarının hem yakınsama hızı bakımından hem de doğru sonuca ulaşma bakımından zayıf olduğu görülmektedir.

Şekil 10 ve Şekil 18 göz önüne alınarak YAA ile PSO karşılaştırıldığında YAA'nın her tekrarın sonunda birbirine yakın ama farklı sonuçlar verdiğini ama PSO'nun her tekrar sonunda aynı sonucu verdiği görülür. Bu da PSO'nun yalnızca tek bir tekrar ile sonuca ulaşmayı sağladığını belirtir. Söz konusu her iki sezgisel yöntemin bütün tekrarlarının diğer iki yöntemle göre 10 iterasyona ulaşmadan yakınsaması her iki

yöntemin az sayıda iterasyon ile sonuca ulaştığı anlamına gelmektedir. Bu durum aynı zamanda az sayıda hesaplama ile sonuca ulaşmayı sağlayan bu yöntemlerin gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılabilir olduğunu da gösterir. Şekil 13 ve Şekil 21'den de görülebileceği üzere YAK ve KKA ile bazı tekrarların 20 iterasyonu sonunda bile sonuca ulaşamamaktadır. Bu durum, bu yöntemlerin bu tip problemlerin çözümünde yetersiz olduğunu gösterir.

Bütün yöntemlerin tekrarlarının 20 iterasyon boyunca elde ettiği toplam sistem kayıplarının ortalaması Şekil 25'te toplu olarak gösterilmiştir. Bu şekil, bu çalışmanın bir özeti olarak algoritmaların hesapladığı toplam kayıp değerlerinin karşılaştırmalı değişimlerini içermektedir. Bu şekilden, KKA'nın en kötü performansa sahip olduğu ve PSO ile YAA'nın en az kayıp değerlerini bulduğu sonucuna varılabilir.



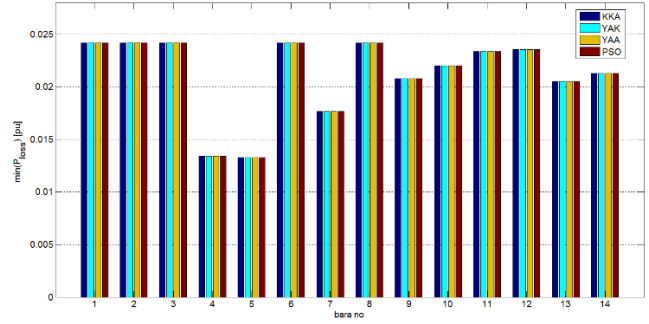
Şekil 25: Algoritmaların 50 tekrar boyunca elde ettiği toplam kayıp değerlerinin ortalaması.

Tablo 1'de algoritmaların 50 tekrarın sonunda bulunduğu toplam kayıpların en iyi, en kötü ve ortalama sayısal değerleri verilmiştir. Bu tablodaki değerlerden PSO'nun her tekrar sonunda aynı değeri bulunduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu da çok sayıda tekrarın bu yöntem için gereksiz olduğunu gösterir. En iyi sonuç ile en kötü ve ortalama sonuçlar arasındaki en yüksek fark KKA'da elde edilmiştir. Bu durum, bu yöntemin sonuca ulaşmadaki başarımının yetersiz olduğunu gösterir. Yakınsama hızı, sonuçlara ulaşma ve tekrarlar arasındaki fark gibi kriterler de göz önüne alındığında en iyi iki yöntemin PSO ve YAA olduğu ve en kötü iki yöntemin YAK ve KKA olduğu bu sonuçlarla daha net bir şekilde görülmektedir.

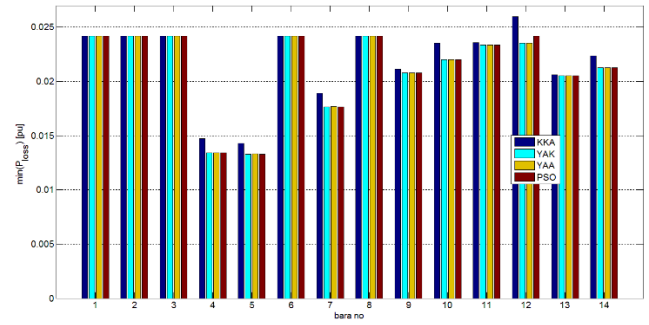
Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28'de sırasıyla her bir yöntemin bütün baralar için elde ettiği en küçük toplam sistem kayıplarının en iyi, en kötü ve ortalama değerleri bar grafik olarak verilmiştir. Bu şekillerden 1, 2, 3, 6 ve 8 numaralı baraların değerleri aynı çıkmıştır. Bu sonuçlar bu baraların generatör barası olmasından ileri gelmektedir. Yani STATCOM'un bu baralara bağlanması zaten tepkin güç üretimi yapabilen bu baralardaki değerlerin değişimini etkilememektedir. Bulunan kayıp değerleri sistemde herhangi bir STATCOM olmaması durumundaki kayıplar ile aynıdır. Benzetimlerin hızlı sonuca ulaşması adına bu baraların benzetimler boyunca göz ardı edilmesi uygun olur. Aynı şekillerden, en düşük sistem kayıplarının elde edildiği baraların 4 ve 5 numaralı baralar olduğu anlaşılmaktadır. Yine de 5 numaralı baraya STATCOM bağlanması çok az da olsa 4 numaralı baraya göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 1: Algoritmaların bulduğu minimum kayıpların en iyi, en kötü ve ortalama değerleri.

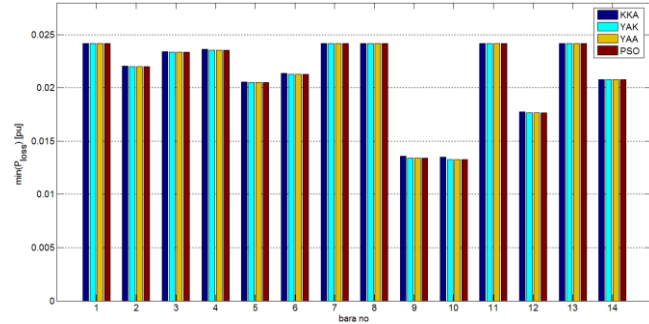
	YAA	YAK	PSO	KKA
En iyi sonuç	0.013266404522935	0.013266307789999	0.013266307789999	0.013275936729167
En kötü sonuç	0.013319291000936	0.013658375262354	0.013266307789999	0.017300716513288
Ortalama sonuç	0.013277335618856	0.013289842610580	0.013266307789999	0.013898024559043



Şekil 26: Algoritmaların her bir bara için bulunduğu en iyi sonuçların bar grafiği değişimleri.



Şekil 27: Algoritmaların her bir bara için bulunduğu en kötü sonuçların bar grafiği değişimleri.



Şekil 28: Algoritmaların her bir bara için bulunduğu sonuçların ortalamalarının bar grafiği değişimleri.

6 Sonuçlar

Bu çalışmada, IEEE-14 baralı test sistemi üzerinde benzetim çalışmaları kullanılarak toplam şebeke kayıplarının en küçük değerinin elde edilmesini sağlayacak uygun STATCOM konumunun ve tepkin güç çıkış değerinin dört farklı sezgisel yöntem kullanılarak bulunması karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Konumların ve tepkin güç çıkış değerlerinin bulunmasında kullanılan sezgisel yöntemler sırasıyla yerçekimsel arama algoritması, yapay arı kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyonu algoritması ve karınca kolonisi algoritmasından oluşmaktadır.

Bütün yöntemler 16 birey, 50 tekrar ve her bir tekrarda 20 iterasyon olacak şekilde Matlab ortamında çalıştırılmıştır. Bu problemin çözümünde, genel olarak, PSO en iyi performansı gösterirken KKA en kötü sonuçları sergilemiştir. Genel olarak sezgisel algoritmaların söz konusu problemin çözümlerinde tutarlılık görülmektedir. Bütün yöntemler, 14-baralı test sisteminin 5 numaralı barasını en uygun bara olarak bulmuş ve en uygun STATCOM tepkin güç çıkışı değerinin 1.0 civarında olması gerektiğini işaret etmişlerdir. Buna karşın elde edilen STATCOM tepkin güç çıkışı değerlerinin ve buna bağlı olarak toplam şebeke kayıplarının değerlerinin bulunmasında çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. PSO ve YAA, yakınsama hızı bakımından daha tatmin edici sonuçlar vermiştir. Öyle ki, her iki yöntem 10 iterasyona ulaşmadan bütün tekrarların sonunda hızlı bir biçimde yakınsama göstermiştir. YAK ve KKA'nın tekrarlarının sonuca ulaşması 20 iterasyon sonunda hep mümkün olamamıştır. Genel olarak KKA bu problemin çözümünde oldukça yetersiz kalmaktadır. PSO'nun bütün tekrarlarında aynı en iyi sonuca ulaşması bu yöntemin sadece bir tekrar kullanılarak gerçek zamanlı uygulamalar için de uygun olduğunu göstermektedir.

7 Kaynaklar

- [1] Oliveira EJ, Marang JW, Pereira JLR. "Flexible AC transmission system devices: allocation and transmission". *Electrical Power and Energy Systems*, 21(2), 111-118, 1999.
- [2] Jordehia AR, Jasni J, Wahab NA, Kadir MZ, Javadi MS. "Enhanced leader PSO (ELPSO): A new algorithm for allocating distributed TCSC's in power systems". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 771-784, 2015.
- [3] Sarker J, Goswami SK. "Solution of multiple UPFC placement problems using Gravitational Search Algorithm". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 531-541, 2014.
- [4] Eslamia M, Shareefa H, Khajehzadeh M. "Optimal design of damping controllers using a new hybrid artificial bee colony algorithm". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 52, 42-54, 2013.
- [5] Padmavathi V, Sahu SK, Jayalaxmi A. "Comparison of hybrid differential evolution algorithm with genetic algorithm based power system security analysis using FACTS". *Journal Electrical Systems*, 11(2), 189-202, 2015.
- [6] Bhattacharyya B, Gupta VK, Das S. "Evolutionary programming for reactive power planning using FACTS devices". *Wseas Transactions on Power Systems*, 9, 1-6, 2014.
- [7] Burade B, Helonde JB. "Congestion management Incorporation of FACTS devices using ant colony optimization". *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 1(2), 139-150, 2012.
- [8] Sreejith S, Chandrasekaran K, Simon P. "Application of touring ant colony optimization technique for optimal power flow incorporating thyristor controlled series compensator". TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference, Singapore, 23-26 November 2009.
- [9] Vijay Kumar B, Srikanth NV. "Optimal location and sizing of unified power flow controller (UPFC) to improve dynamic stability: A hybrid technique". *International Journal of Electrical Power & Energy System*, 64, 429-438, 2015.
- [10] Sree Renga Raja T, Mangaiyarkarasi SP. "Optimal location and sizing of multiple static var compensators for voltage risk assessment using hybrid PSO-GSA algorithm". *Arabian Journal for Sciences and Engineering*, 39(11), 7967-7980, 2014.
- [11] Kaveh A, Talatahari S. "A particle swarm ant colony optimization for truss structures with discrete variables". *Journal of Constructional Steel Research*, 65(8-9), 1558-1568, 2009.
- [12] Safari A, Ahmadian A, Golkar MA. "Comparison of honey bee mating optimization and genetic algorithm for coordinated design of pss and STATCOM based on damping of power system oscillation". *Journal of Electrical Engineering*, 64(3), 133-142, 2013.
- [13] Safari A, Ahmadian A, Golkar MAA. "Controller design of STATCOM for power system stability improvement using honey bee mating optimization". *Journal of Applied Research and Technology*, 11(1), 144-155, 2013.
- [14] Idris RM, Khairuddin A, Mustafa MW. "Optimal allocation of facts devices for atc enhancement using bees algorithm". *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 3(6), 1295-1302, 2009.
- [15] Sreejith S, Simon SP, Selvan MP. "Analysis of FACTS devices on security constrained unit commitment problem". *Electrical Power and Energy Systems*, 66, 280-293, 2015.
- [16] Satheesh A, Manigandan T. "Maintaining power system stability with FACTS controller using bees algorithm and NN". *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 49(1), 38-47, 2013.
- [17] Abacı K, Yamaçlı V, Akdağlı A. "Optimal power flow with SVC devices by using the artificial bee colony algorithm". *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 341-353, 2016.
- [18] Padmavathi V, Sahu SK, Jayalaxmi A. "Application of gravitational search algorithm to improve power system security by optimal placement of FACTS". *Journal Electrical Systems*, 11(3), 326-342, 2015.
- [19] Jordehi RA. "Brainstorm optimisation algorithm (BSOA): An efficient algorithm for finding optimal location and setting of FACTS devices in electric power systems". *Electrical Power and Energy Systems*, 69, 48-57, 2015.
- [20] Dutta S, Roy KP, Nandi D. "Optimal location of STATCOM using chemical reaction optimization for reactive power dispatch problem". *Ain Shams Engineering Journal*, 1, 1-15, 2015.
- [21] Alcan Y, Öztürk A, Dirik H, Demir M. "Minimum kayıplar için güç şebekelerinde STATCOM yerinin ve değerinin yerçekimsel arama algoritması kullanılarak belirlenmesi". *3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Valencia, Spain, 3-5 June 2015.
- [22] Sirjani R, Mohamed A, Shareef H. "Optimal placement and sizing of shunt FACTS devices in power systems using heuristic optimization techniques: A comprehensive survey". *Przegląd Elektrotechniczny*, 88(10), 335-341, 2012.

- [23] Baghaee RH, Vahidi B, Jazebi S, Gharehpetian BG, Kashefi A. "Power system security improvement by using differential evolution algorithm based FACTS allocation". *Power System Technology and IEEE Power India Conference*, New Delhi, India, 12-15 October 2008 2008.
- [24] Rashedi E, Nezamabadi-pour H, Saryazdi S. "GSA: A gravitational search algorithm". *Information Sciences*, 179, 2232-2248, 2009.
- [25] Rashedi E, Nezamabadi-pour H, Saryazdi S. "Binary gravitational search algorithm". *Natural Computing*, 9, 727-745, 2010.
- [26] Karaboğa D. "An İdea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization". Engineering Faculty Computer Engineering Department, Erciyes University, Kayseri, Turkey, Technical Report, TR06, 2005.
- [27] Karaboğa D, Baştürk B. "Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems". *Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing*, 4529, 789-798, 2007.
- [28] Karaboğa D, Baştürk B. "On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm". *Applied Soft Computing*, 8(1), 687-697, 2008.
- [29] Kennedy J, Eberhart R. "Particle swarm optimization". *IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, USA, 27 November-1 December 1995.
- [30] Dorigo M, Maniezzo, V., Colorni, A., "The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process". Tech. Rep. No. 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy, 1991.
- [31] Dorigo M, Stützle T. "The ant colony optimization metaheuristic: Algorithms, Applications and Advances". *International Series in Operations Research & Management Science*, 57, 250-285, 2003.
- [32] Dirik H. STATCOM ve SSSC Denetleyicilerinin Güç Sistemi Gerilim Kararlılığı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 2006.
- [33] Li D, Gao L, Zhang J, Yang L. "Power system reactive power optimization based on adaptive particle swarm optimization algorithm". *6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, China, 21-23 June 2006.
- [34] Losi A, Rossi F, Russo M, Verde P. "New tool for reactive power planning". *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 140(4), 256-262, 1993.