



Doğrusal Olmayan Yüklerde Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Algoritması İle Optimal Değerli Kondansatör Seçimi ve Güç Kontrolü

Optimal Value Capacitor Selection and Power Control Using Continuous Time Ant Colony Algorithm in Nonlinear Loads

Ramazan Güngüneş¹, Volkan Ateş², Murat Lüy², İbrahim Eke²

¹Kırıkkale Üniversitesi, Keskin MYO, Elektrik Programı, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 22/10/2019

Kabul/Accepted: 06/12/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2019

Öz

Dünyamızda sürekli gelişen sanayi ve kentleşme ile birlikte ortaya çıkan tüketim ve enerji gerekliliği önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu sorun bir yandan sürekli olarak yeni enerji kaynakları aramaya yönlendirirken, bir yandan da var olan enerji kaynaklarının en verimli bir şekilde nasıl kullanılacağı ile ilgili araştırmaların yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu sorunları kısmen de olsa gidermek için yasal düzenlemeler yapılsa da, çoğu zaman yetersiz kaldığı görülmektedir. Elektrik enerji sistemlerinde işletmeyi rahatlatmak, sistem ve enerji verimliliğini arttırmak, maliyetleri düşürmek ve gerilim kararlılığını sağlamanın en etkili ve verimli yollarından biri reaktif güç kompanzasyonu yapmaktır. Bu çalışmada lineer kaynaklı bir güç sisteminde, sisteme etki eden nonlineer yüklerde oluşan harmoniklerin etkilerini azaltmak ve reaktif güç dengesini sağlayarak hatta meydana gelebilecek gerilim düşümünü minimumuma indirecek kompanzasyon için gerekli kondansatörün kapasite değerinin sürekli zaman karınca kolonisi algoritması ile optimum olarak seçilmesi sağlanmış ve minimum görünür güç, maksimum güç faktörü elde edilerek hattaki gerilim düşümü minimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Algoritması, Kompanzasyon, Doğrusal Kaynak, Doğrusal Olmayan Yükler, Harmonik Akımlar”

Abstract

The necessity of consumption and energy that emerged in our world with the ever-developing industry and urbanization has become an important problem. This problem has made it necessary to conduct research on how to use existing energy resources in the most efficient way while constantly directing new energy sources. Although legal regulations have been made to remedy these problems in part, they are often seen to be inadequate. One of the most effective and efficient ways to relieve operation in electrical energy systems, increase system and energy efficiency, reduce costs and ensure voltage stability is to make reactive power compensation. In this study, in a linear welded power system, it is ensured that the capacity value of the capacitor required for compensation is reduced to a minimum by reducing the effects of the harmonics in the nonlinear loads affecting the system and reducing the voltage drop which may occur even by minimizing the effect of reactive power and optimizing the minimum apparent power, the maximum power factor is obtained and the voltage drop in the line is minimized.

Key Words

“Continuous Time Ant Colony Algorithm, Compensation, Linear Source, Nonlinear Load, Harmonic Currents”

1. Giriş

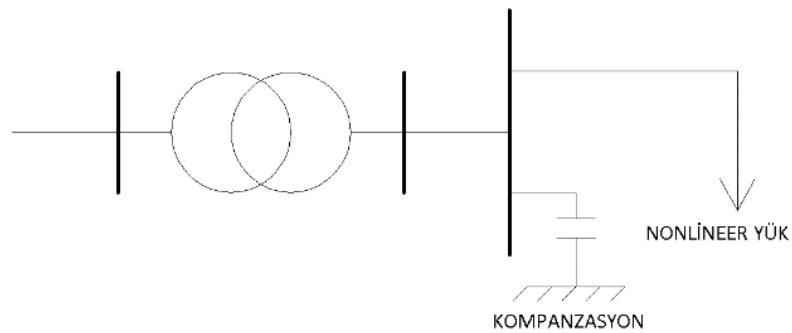
Elektrik enerjisine karşı sürekli artan talebin karşılanması ile birlikte üretilen ve iletilen elektrik enerjisinin kalitesinin de istenilen düzeyde olması tüketiciler tarafından beklenen bir durumdur. Bu beklentinin gerçekleşmesi, mevcut güç sistemlerinin çok iyi işletilmesi ve ileride meydana gelebilecek taleplerin doğru planlanması ile mümkün olacaktır. Yapılan araştırmalarda dağıtım seviyesinde meydana gelen kayıpların yaklaşık %13'ünün teknik kayıplar olduğu görülmüştür (Ng et al., 2000). Bu değer ihmal edilemeyecek büyüklükteki bir kayıptır. Reaktif güç ve gerilim kontrolü, belirtilen oranlardaki teknik kayıpların düşürülmesinde büyük bir öneme sahiptir. Bir güç sisteminin sorunsuz işletilebilmesi için sistem tasarımının sorunsuz yapılması ile birlikte işletme aşamasında takip edilmesi gereken bir takım etkenler de bulunmaktadır. Bu etkenler gerilim değişimi, akım değişimi, frekans değişimi, gerilim ve akımın dalga şekilleridir.

Elektrik enerjisinin verimliliğini etkileyen en önemli etkenlerden biri temel frekanslı sinüsoidal sinyalin, kaynağın ve yükün durumuna göre sinüs dalga şeklini kaybetmesidir. Tam bir sinüs özelliği göstermeyen bu sinyal, temel frekanslı sinüsoidal dalga ile genlik ve frekansları farklı sinüs sinyallerinin toplamlarından oluşmaktadır. Temel frekanslı sinyal haricindeki diğer sinyaller harmonik olarak isimlendirilmektedir.

Doğrusal olmayan karakteristikli yüklerin sistemde meydana getirdikleri harmonikler, enerji sistemi üzerinde büyük değişiklik meydana getirebilmektedir. Bir güç sisteminde gerilim ve akımın dalga şeklinin temel frekans ile aynı sinüsoidal bir değişime sahip olması beklenmektedir. Bu durumun gerçekleşmesi için ise sistemin lineer bir kaynaktan beslenmesi ve lineer bir yüke bağlı olması gerekmektedir. Akım ve gerilim karakteristikleri lineer olmayan çoğu güç elektroniği elemanlarından oluşan yüklerde sistemden çıktıkları sinüsoidal olmayan akımlar sebebi ile harmonik bileşenler oluşturmakta ve sistemde bozulmalara sebebiyet vermektedir (Sezer, 2006). Elektriksel sinyallerin Fourier analizi ile yüksek frekanslı bileşenleri elde edilebilmektedir. Lineer olmayan yüklerin sebep olduğu sinyal bozulma şekilleri de Fourier dönüşümü ile analiz edilebilmekte ve 50 Hz temel bileşen frekansının tam katı frekanslarda harmonik bileşenlere ayrılabilir (KOCATEPE et al., 2005).

Literatürde güç sistemlerinde ortaya çıkan harmonik problemleri ile ilgili çok fazla çalışma bulunmaktadır. Varetzky ve Nakonechny, radyal güç dağıtım sistemlerindeki nonlineer yüklerde, sınırlı sayıda ölçüm cihazı ile harmonik kaynakların denetimi için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir (Varetzky and Nakonechny, 2005). Özdemir Engin ve arkadaşları aktif güç filtresi kullanarak harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu yapmışlardır (Özdemir et al., 2005). M. E. Balci ve M. H. Hocaoglu, uyguladıkları yöntemle, reaktif güç rölelerinde kompanzasyon kondansatörünün gücünü hesaplamışlardır (Balci and Hocaoglu, 2009). Adak, yaptığı çalışmada harmonik bozulmaların azaltılması için üçüncü harmonik enjekte yöntemini kullanmıştır (Adak, 2003). Surapong C. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ark fırınlarının termal verimliliği, voltaj düşümü ve harmonik etkiler incelenmiştir (Surapong et al., 2000).

Literatürde daha çok lineer yük durumları için yapılan kompanzasyon sistemlerinin aksine çalışmamızda lineer olmayan yükler için sürekli zaman karınca kolonisi algoritması kullanılarak optimal değerli kapasitörlerin seçimi yapılmış ve bu seçimin güç katsayısına ve aynı zamanda gerilim regülasyonuna etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada lineer olmayan yükler için oluşacak harmonik akımlarının, lineer kaynak geriliminin, reaktif güç kompanzasyonunun ve güç katsayısının hesaplanmasında referans olarak kullanılacak sistemin tek hat şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Sistemin temsili tek hat şeması

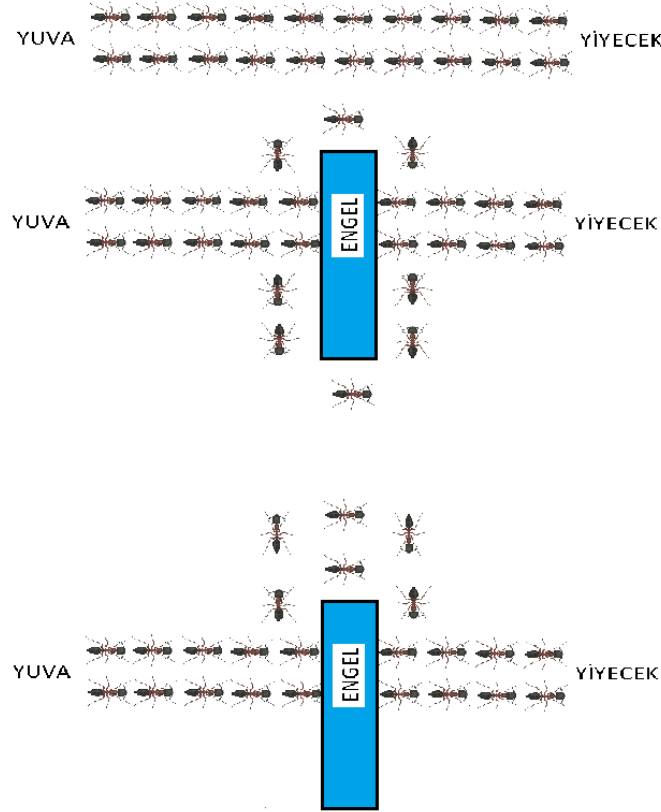
2. Materyal ve Metod

Genel anlamda kompanzasyon hesaplamalarında, yükün ve yüke uygulanan gerilimin lineer olduğu varsayımlarıyla işlemler yapılmaktadır. Fakat gerçekte lineer olmayan yüklerin varlığı bu hesaplamaların kısmen hatalı olduğu sonucunu doğurmaktadır. Bu bölümde sinüsoidal bir kaynağa bağlanan lineer olmayan bir yük olması durumunda maksimum güç katsayısını meydana getirecek kondansatör değerinin sürekli zaman karınca kolonisi algoritması ile çözümünü ele alınacaktır.

2.1. Karınca Kolonisi Algoritması

Herhangi bir problemin sonuçlarını etkileyen değerleri, belirli kısıtlara bağlı olarak tespit etmek ve olası sonuçlar içinde en iyi sonucu bulmak bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Problemlerin optimizasyonunu yapmak için uygulanan teknikleri sezgisel ve matematiksel teknikler olarak sınıflandırabiliriz. Matematiksel optimizasyon teknikleri, çözüm uzayı büyük olan problemlerin çözümünde uzun zaman alabilmektedir. Buna rağmen sezgisel optimizasyon teknikleri çözüm uzayının tamamı ile ilgilenmeden olası çözümler içerisinde en iyi sonuçlara bağlı olarak kısa bir sürede optimum çözüme ulaşabilmektedir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları genelde doğada yaşayan canlıların hareketleri, sezgileri ve sahip oldukları bir takım özelliklerden esinlenerek ortaya çıkarılmıştır (Eldem, 2014). Çalışmamızda optimal kapasitör seçiminde kullandığımız karınca kolonisi algoritması ise bu sezgisel algoritma türlerinden biridir. Karınca kolonisi algoritması ilk olarak Marco Dorigo tarafından 1992 yılında önerilmiştir (Dorigo, 1992). Gerçek karıncaların sahip oldukları kimyasal bir salgı türü olan feromon sayesinde yiyecek ve yuvaları arasındaki en kısa mesafeyi bulmaları özelliğinden yola çıkılarak, yapay karıncalar oluşturulmuş ve bu yapay karıncalara hafıza özelliği de kazandırılarak optimizasyon problemlerine uygulanmış ve başarılı olunmuştur. Alternatif yolların olması durumunda ise karıncalar, ilk önce yollara eşit olasılıklı olarak dağılır ve bir süre sonunda en kısa yolda bir artışın olduğu görülür. Bu olayın gerçekleşmesinde yollara bırakılan feromon miktarı etkili olmaktadır. Birim zamanda geçiş yapan karıncaların bıraktığı feromon miktarı, yolun uzunluğu ile ters orantılı olduğundan kısa olan yoldaki feromon miktarı, uzun olan yolun feromon miktarından fazla olacaktır. Bu durum kısa olan yolun seçilme olasılığı artırmaktadır (Boussaid, Lepagnot and Siarry, 2013). Gerçek karınca davranışlarının gösterimi Şekil 2’de verilmektedir.

Marco Dorigo tarafından 1992 yılında literatüre eklenen Karınca Algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon problemlerinin literatür incelemesinde, Dorigo ve Gambardella tarafından sınırlı düğümüne sahip problemlerin kısa bir sürede iyi sonuçlar elde etmesiyle Karınca Kolonisi Algoritması olarak geliştirilmiştir (Dorigo and Gambardella, 1997). 1999 yılında Bullnheimer ve arkadaşları, 1999 ve 2000 yıllarında Thomas Stutzle ve Holger H. Hoos, 2004 yılında Dorigo ve Stutzle, 2012 yılında Jun-man ve Yi Karınca Kolonisi Algoritmasını çeşitli problemlere uygulayarak iyi sonuçlar bulmuşlardır (Eldem, 2014).



Şekil 2. Gerçek karınca davranışları

Karınca kolonisi algoritmasında yol seçimi belli bir olasılıkla iki farklı şekilde yapılır. İlk Seçenek q_0 olasılıkla feromon miktarının en yoğun olduğu yolun seçilmesidir. Bu olasılık genelde %90'dır. i ve j noktaları arasındaki feromon miktarı $\tau(i, j)$, seçilebilirlik parametresi $\eta(i, j)$, noktalar arasındaki uzunluğun tersi $1/\delta(i, j)$, feromon artırma miktarı α ve feromon uçuculuk miktarı β olmak üzere tüm noktalar için yolların seçilme olasılığı $p_k(i, j)$ Denklem (1) de verilmiştir. (Keskinürk ve Söyler, 2006) (Stützle ve Hoos, 2000).

$$p_k(i, j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i, j)]^\alpha \times [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau(i, u)]^\alpha \times [\eta(i, u)]^\beta} & \text{eğer } j \in J_k(i) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1)$$

Feromon güncellenmesinde, tüm yollardaki feromonun belirlenen oranda buharlaştırılması ile bir önceki döngüde sonuçların önemi azaltılır. Alınan yol uzunluğunun tersi ile orantılı olarak feromon miktarının artırılması ile de iyi olan değerlerin önemi artırılmış olur. Bunun amacı çözüm uzayının taranmasıdır. Feromon güncellemesi lokal ve global feromon güncellemesi olarak iki şekilde yapılır. t. iterasyona kadar oluşan feromon miktarı $\tau_{ij}(t)$, t. iterasyondaki feromon miktarı $\Delta\tau_{ij}^k(t+1)$ ve feromon buharlaşma parametresi $\rho(0 \leq \rho \leq 1)$ olmak üzere lokal feromon miktarı Denklem (2) ve Denklem (3)'te gösterildiği şekliyle hesaplanmaktadır.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L^k(t+1)} & \text{karıncası(i, j) yolunu kullanmışsa,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2)$$

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (3)$$

Denlem (2)'de bulunan $L^k(t+1)$ "k" karıncasının toplam almış olduğu yol uzunluğudur.

Global feromon güncellemesi ise mevcut iterasyonda en iyi değere sahip olan karıncanın izlediği yolun bir sonraki iterasyona taşınması için feromon miktarının güncellenmesi prensibine dayanır. Global feromon güncelleme işlemi Denklem (4) ve Denklem (5)'te gösterildiği şekliyle hesaplanır (Bullheimer, Hartl and Strauss, 1999).

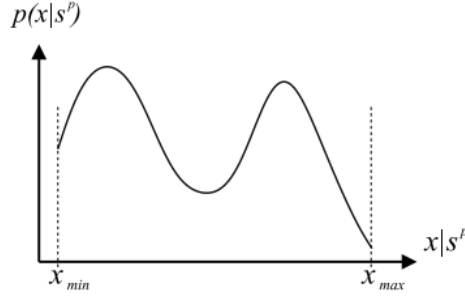
$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (4)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L_{best}(t+1)} & \text{i ve j yolu için en iyi tur} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

$L_{best}(t+1)$ mevcut iterasyondaki en iyi yol uzunluğudur.

2.2. Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Algoritması

Başlangıçta ayrık optimizasyon problemleri ile sınırlı olan karınca kolonisi optimizasyonu, daha sonraları sürekli optimizasyon problemleri için de genişletilmiştir (Ojha, Abraham and Snasel, 2015) (Socha and Dorigo, 2008). Sürekli zaman karınca kolonisi optimizasyonu son yıllarda tıbbi alanlar, akıllı sistemler, haberleşme sistemlerinde sinyal gücünün dağılımı gibi pek çok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, meta sezgisel bir optimizasyon tekniğidir (Chen, Zhou and Luo, 2017). Algoritmanın performansı parametrelerin uygun seçilmesi ile büyük ölçüde artırılabilir. Karıncaların yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilen ve popülasyon temelli bir algoritma olan karınca kolonisi algoritması (KKA), temel olarak bir çözüm uzayından seçilen bir örnekle Gaussian örnekleme kullanarak yeni çözüm değişkeni oluşturma esasına dayanır. Örnekleme için değişkenlerin seçilmesi aşaması karınca kolonisi algoritması için çok büyük önem arz etmektedir. Rulet Çarkı stratejisi ile çözüm oluşturma açısından daha geniş bir seçim kabiliyeti sağlanarak performans düzeyi artırılmaktadır (Ojha, Abraham and Snasel, 2015). Kombinasyonel bir optimizasyon algoritması için tanımlı bir model olduğu gibi sürekli zaman optimizasyon algoritmaları içinde bir model tanımlanabilir (Socha and Dorigo, 2008). $Q = (S, \Omega, f)$ bir sürekli zaman optimizasyon problemi modelini göstermektedir. Bu modelde, sürekli karar değişkenlerinin sonlu kümesi üzerinde tanımlı ve değişkenler üzerindeki kısıtlardan oluşan bir Ω kümesini kapsayan S arama uzayı, f ise $S \rightarrow R_0^+$ 'de tanımlı bir uyumluluk fonksiyonudur (Socha ve Dorigo, 2008). Herhangi bir sürekli zaman optimizasyon problemi için $X_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$ sürekli değişken kümelerinden oluşan S arama uzayında, $s \in S$ çözümü, Ω kümesindeki tüm kısıtları sağlayan ve tüm değişkenleri kapsayan bir çözümdür (Doğan ve Korürek, 2010). Bu durumla birlikte eğer $f(s^*) \leq f(s) \forall s \in S$ ise $s^* \in S$ global optimum çözüm olarak adlandırılır. Seçilen tüm global optimal çözümler $S^* \subseteq S$ şeklinde gösterilir. Sürekli zaman optimizasyon probleminin çözümü en az bir tane $s^* \in S$ içermelidir (Socha ve Dorigo, 2008). Sürekli zaman karınca kolonisi algoritmasında sürekli bir olasılık yoğunluk fonksiyonundan bahsetmek mümkündür. Olasılık yoğunluk fonksiyonu Şekil 3'te verilmiştir. (Doğan ve Korürek, 2010).

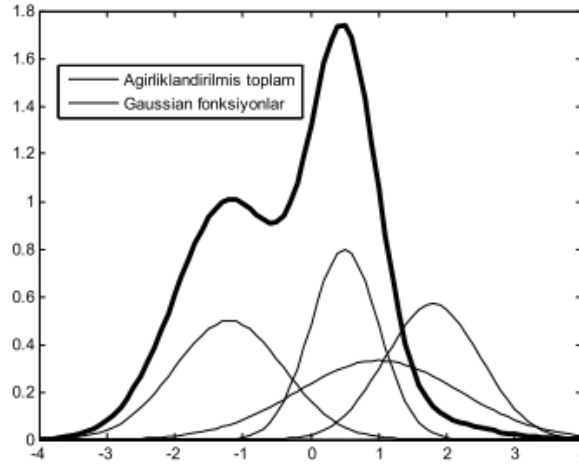


Şekil 3. Olasılık yoğunluk fonksiyonu(Socha and Dorigo, 2008)

Socha ve Dorigo genel olarak, bir olasılık yoğunluk fonksiyonunun $\int_{-\infty}^{+\infty} P(x)dx = 1$ şeklinde gösterilebileceği gibi birden çok Gaussian tabanlı olasılık yoğunluk fonksiyonunun ağırlıklandırılmış toplamından meydana gelen olasılık yoğunluk fonksiyonunu Denklem (6)'da gösterildiği şekliyle tanımlamışlardır ((Doğan ve Korürek, 2010; Socha and Dorigo, 2008).

$$G^i(x) = \sum_{l=1}^k w_l g_l^i(x) = \sum_{l=1}^k w_l \frac{1}{\sigma_l^i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_l^i)^2}{2\sigma_l^i{}^2}} \quad (6)$$

denklemden $i=1,2,\dots,n$ problemin boyutunu belirler. Gaussian Kernel fonksiyonunda üç önemli parametre vektörü vardır. ω , her bir Gaussian ağırlık vektörü, μ^i , ortalama vektörünü ve σ^i standart sapma vektörünü tanımlar (Socha and Dorigo, 2008). Birden fazla Gaussian fonksiyonunun ağırlıklandırılmış toplamından meydana gelen Gaussian çekirdek fonksiyonu ile birlikte her bir Gaussian fonksiyonu Şekil 4'te bir arada gösterilmiştir (Doğan ve Korürek, 2010).



Şekil 4. Gaussian fonksiyonları ve ağırlıklandırılmış toplamları(Doğan ve Korürek, 2010)

Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Optimizasyonu'nda (SKKO) feromon bilgisi bir tablo halinde gösterilebilir ve bu tablo içerisinde saklanabilir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi tablo, problemin muhtemel aday çözümlerini ve bu çözümlerin uyumluluk fonksiyonları olan $f(s_1)$ 'lerden oluşmaktadır. Çizelgede Gaussian çekirdek fonksiyonunu meydana getiren "k" adet Gaussian fonksiyonu bulunmaktadır ve uyumluluk fonksiyonları $f(s_1) \leq f(s_2) \leq \dots \leq f(s_k)$ şeklinde sıralanmıştır.

Çizelge 1. SKKO çözüm tablosu

s_1	s_1^1	...	s_1^i	...	s_1^n	$f(s_1)$	ω_1
s_2	s_2^1	...	s_2^i	...	s_2^n	$f(s_2)$	ω_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
s_l	s_l^1	...	s_l^i	...	s_l^n	$f(s_l)$	ω_l
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
s_k	s_k^1	...	s_k^i	...	s_k^n	$f(s_k)$	ω_k
	G^1		G^i		G^n		

Çizelge 1’de “n” boyutlu Gaussian çekirdek fonksiyonları $G^1, G^2, G^3, \dots, G^n$ şeklinde gösterilmiştir. μ^i , Gaussian çekirdek fonksiyonunun ortalamasıdır. μ^i , Denklem (7)’de verilmiştir (Socha and Dorigo, 2008).

$$\mu^i = \{\mu_1^i, \mu_2^i, \dots, \mu_k^i\} = \{s_1^i, s_2^i, \dots, s_k^i\} \quad (7)$$

Bulunan çözümler, SKKO çözüm tablosuna eklendikten sonra uygunluk sonuçlarına göre sıralanırlar. Ağırlık vektörü ω Denklem (8)’deki gibi tanımlanır.

$$\omega_l = \frac{1}{qk\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(1-l)^2}{2q^2k^2}} \quad (8)$$

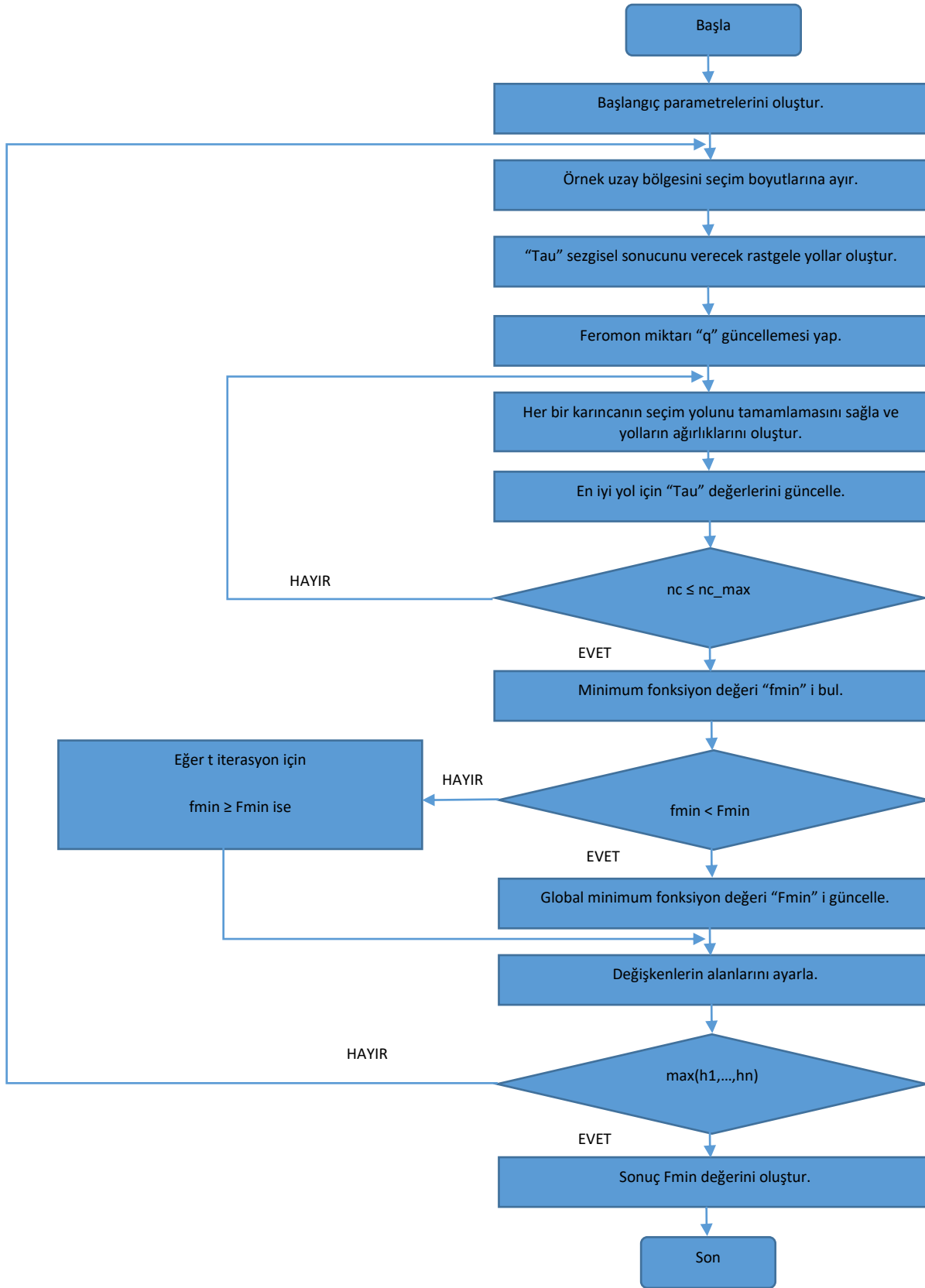
Ağırlık vektörü ω , ortalaması 1.0, standart sapması qk olan, l argümanlı bir Gaussian fonksiyonudur. Denklem (8)’de q değeri küçüldükçe daha iyi çözümlerin seçilme olasılıkları artar. SKKO çözüm tablosundaki herhangi bir çözümün seçilip güncellenmesi için, çözüm tablosundaki Gaussian fonksiyonları olan her bir satırın seçilme olasılığının, bu satıra ait ağırlık vektörü de göz önünde bulundurularak hesaplanması gerekir. Bu sonuca göre her bir satırın seçilme olasılığı Denklem (9)’da gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$p_l = \frac{\omega_l}{\sum_{r=1}^k \omega_r} \quad (9)$$

Çözümle ilgili olasılık değeri de göz önüne alınarak seçim işlemi yapıldıktan sonra, çözümle ilgili parametre güncellemeleri Denklem (10)’da verilen standart sapma değeri σ ile yapılır.

$$\sigma_l^i = \xi \sum_{e=1}^k \frac{|s_e^i - s_l^i|}{k-1} \quad (10)$$

σ , seçilen çözümün SKKO çözüm tablosunda bulunan diğer çözümlere olan ortalama uzaklıktır. $\xi > 0$ bilinen klasik karınca kolonisi optimizasyonundaki feromon buharlaşma katsayısına benzer bir katsayıdır. Dolayısı ile ξ değerinin artması algoritmanın en iyi çözüme yakınsamasını azaltır (Doğan ve Korürek, 2010). Şekil 5’te sürekli zaman karınca kolonisi optimizasyonuna ait akış şeması verilmiştir. Bu şemada genel olarak SKKO’ nun çalışma şekli anlatılmıştır. Şemada “t” değeri SKKO çözüm tablosuna eklenecek olası çözüm sayısını temsil etmektedir.



Şekil 5. Sürekli zaman karınca kolonisi algoritması akış şeması (Chen, Zhou and Luo, 2017)

Algoritmanın çalışma sistemi adım adım anlatılacak olursa;

Adım 1: Başlangıç problem verileri ve optimizasyon için gerekli parametreler tanımlanır.

Adım 2: Algoritma işleyişi için gerekli örnek uzak boyutları tanımlanır.

Adım 3: Ağırlık matrisi oluşturma ve seçim olasılıklarının hesaplanması için rastgele yollar oluşturulur.

Adım 4: Feromon güncellemesi yapılır ve her bir karınca yolu için ağırlık matrisi oluşturulur.

Adım 5: Her bir karınca için seçim olasılıkları güncellenir ve en iyi değerler tutulur.

Adım 6: En iyi Tau değerleri için güncellemeler yapılır. Bulunan yeni değer maksimum olması durumu karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucuna göre yeniden ağırlık oluşturulur yada değer fonksiyonda çalıştırılır.

Adım 7: Fonksiyon sonucunu karşılaştır. Bulunan değer daha önceki değerden büyükse iterasyon değişkenini artırılır ve bir sonraki iterasyona geçilir. Bulunan değer daha önceki değerden küçükse global minimum fonksiyon değeri güncellenir ve bir sonraki iterasyona geçilir.

Adım 8: İterasyon sayacı sona erdiğinde sonuç değeri minimum fonksiyon değeri oluşturulur. Bulunan bu değer görünür güç değerinin minimum, güç faktörünün maksimum olduğu değerdir.

2.3. Lineer Gerilim Kaynaklı Nonlineer Yük Durumu

Güç sistemlerinde elektrik enerjisinin kalitesi ve verimliliği, gerilim dalgalanmaları, gerilim ve akımın dalga şekilleri ve frekans değişimi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörlerin sabit bir değerde tutulamaması, sisteme bağlı olan lineer olmayan ve harmonik üreten, yüksek güçlü yarıiletken devre elemanlarının güç sistemine dahil edilmesi ile birlikte daha da önem kazanmıştır (Yalcinoz, 2005). Bunlarla birlikte sisteme dahil edilen yüklerin manyetik ve lineersizlik gibi birtakım özelliklerinden dolayı da tam bir sinüs sinyali elde edilememekte ve sinyalin dalga şeklinde sapmalar meydana gelmektedir (Filiz, 2006). Literatürde elektrik enerji sistemleri konu alınarak yapılan çalışmalarda genellikle kararlı durumlar ele alınmış ve sinüsoidal dalga formulu akım ve gerilime sahip enerji sistemleri incelenmiştir. Fakat elektrik enerji sistemlerinde, nonlinear karakteristiğe sahip elemanlar sisteme dahil olduğunda, bu elemanların neden olduğu harmonikler için gerekli çözümler, sistemin lineer olması durumu için önerilen çözümler tarafından yetersiz kalmaktadır (Gül, 2001).

Harmonik içeren bir fazlı enerji sisteminde, devamlı durum akım ve geriliminin zamana bağlı ifadeleri Denklem (11) ve Denklem (12)'de verilmiştir (Gül, 2001).

$$v(t) = \sum_{n=1}^n \sqrt{2}V_n \cos(n\omega t + \varphi_n) \quad (11)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^n \sqrt{2}I_n \cos(n\omega t + \beta_n) \quad (12)$$

Denklemlerde bulunan $v(t)$ gerilimin ani değerini gösterirken $i(t)$ akımın ani değerini göstermektedir. V_n ve I_n , sırası ile gerilim ve akımın n . harmoniklerinin etkin değerini, φ_n ve β_n , harmonikli gerilim ve akımın faz açılarını ifade etmektedir (Gül, 2001).

Gerilim ve akımın efektif değerleri ile ani güç ve aktif güç için gerekli ifadeler Denklem (13, 14, 15 ve 16)'da sırası ile verilmiştir.

$$V^2 = \sum_{n=1}^n V_n^2 \quad (13)$$

$$I^2 = \sum_{n=1}^n I_n^2 \quad (14)$$

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (15)$$

$$P = \sum_{n=0}^n V_n I_n \cos(\varphi_n - \beta_n) \quad (16)$$

Bu denklemlerde, harmoniklerin ortalama güce bir etkisinin olduğu görülmektedir. Ortalama gücün temel güç ile karşılaştırılması durumunda oldukça küçük olduğu ve farklı frekanslardaki akım ve gerilimin ortalama güce katkısının söz konusu olmadığı anlaşılmaktadır (Gül, 2001).

Dalga şeklinin bozulması ile meydana gelen, farklı frekanslardaki akım ve gerilim harmoniklerinin sebep olduğu bozulma güç değeri "D", reaktif güç "Q" ve görünür güç "S" olmak üzere, S Denklem (17)'de, Q Denklem (18)'de ve D ise Denklem (19)'da verilmektedir (Gül, 2001).

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (17)$$

$$Q = \sum_{n=0}^n V_n I_n \sin(\varphi_n - \beta_n) \quad (18)$$

$$D^2 = S^2 - P^2 - Q^2 \quad (19)$$

Güç faktörü (PF) ile gösterilmek üzere Denklem (20)'deki gibi hesaplanır.

$$PF = \frac{P}{S} \quad (20)$$

Yapılan incelemelerde doğrusal ya da doğrusal olmayan bir sisteme nonlineer bir gerilim uygulandığında veya doğrusal olmayan bir yüke lineer bir gerilim uygulandığında nonsinüsoidal dalgaların meydana geldiği görülmüştür (Kocatepe et al., 2003). Güç sistemlerinde nonsinüsoidal dalgaların incelenmesinde fourier serisinin elde edilmesi yani harmonik analizi yapılması gerekmektedir (Kocatepe et al., 2003). Bir $f(t)$ fonksiyonunun Fourier dönüşümü, Denklem (21)'de verilmiştir.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (21)$$

Şeklinde gösterilebilir ve fonksiyonun ters Fourier dönüşümü ise,

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} dt \quad (22)$$

şeklinde ifade edilir.

Nonsinüsoidal periyodik bir sinyalin Fourier analizi sonucu zaman domeninde ifade edilmesi Denklem (23)'teki şekli ile tanımlanabilir (Kocatepe et al., 2003).

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(nt + \phi_n) \quad (23)$$

Denklemden "n" pozitif tamsayı olarak harmonik mertebesini, elektrik enerjisi sistemlerinde " ω " olarak kullanılan bağımsız değişkeni, A_0 ortalama değer olarak bilinen sabit bir terimi, $(A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_n)$ gibi katsayılar ise harmonik katsayıları göstermektedir. Literatürde A_0 yerine genelde $A_0/2$ kullanılır (Kocatepe et al., 2003).

Şekil 1'de görülen devreye paralel olarak bağlanan kondansatör, kaynaktan çekilen aktif güç P_s 'yi etkilememektedir. Dolayısıyla kaynaktan çekilen akımın efektif değerini veya görünür güç değerini minimum, güç faktörünü maksimum yapacak kapasite değeri C'nin optime edilmesi gerekmektedir. Güç faktörünü maksimum yapan C değeri matematiksel olarak Denklem (24)'te gösterildiği şekliyle hesaplanabilir (Erkan, 1996).

$$CS = \frac{\sum_{n=1}^{n1} E_{n1} \cdot I_{n1} \cdot n1 \cdot \sin\varphi_{yn1}}{\omega \cdot \left(\sum_{n=1}^{n1} E_{n1}^2 \cdot n1^2 + \sum_{n=1}^{n2} E_{n2}^2 \cdot n2^2 \right)} \quad (24)$$

Kaynaktan çekilen minimum görünür güç Denklem (25)'te gösterildiği şekliyle hesaplanabilir.

$$S_{\min}^2 = (\sum_1^{n1} E_{n1}^2 + \sum_1^{n2} E_{n2}^2) \left[(E_{n1}^2 n_1^2 w^2 C_s^2 + I_{yn1}^2 - 2 \cdot E_{n1} \cdot I_{yn1} \cdot n_1 \cdot w \cdot C_s \cdot \sin\phi_{yn1}) + (\sum_1^{n2} (E_{n2} \cdot n_2 \cdot w \cdot C_s)^2) + (\sum_1^{n3} I_{yn3}^2) \right] \quad (25)$$

Saf kapasitanstan oluşan maksimum güç faktörü Denklem (26)'daki gibi hesaplanabilir.

$$\cos\phi_{\max} = \frac{\sum_1^{n1} E_{n1} \cdot I_{yn1} \cdot n_1 \cdot \cos\phi_{yn1}}{\sqrt{(\sum_1^{n1} E_{n1}^2 + \sum_1^{n2} E_{n2}^2) \cdot I_{smin}^2}} \quad (26)$$

Maksimum güç faktöründe bulunan I_{smin}^2 Denklem (27)'deki gibi hesaplanabilir.

$$I_{smin}^2 = \sum_1^{n1} (E_{n1}^2 \cdot n_1^2 \cdot w^2 \cdot C_s^2 + I_{yn1}^2 - 2 \cdot E_{n1} \cdot I_{yn1} \cdot n_1 \cdot w \cdot C_s \cdot \sin\phi_{yn1}) + \sum_1^{n2} (E_{n2} \cdot n_2 \cdot w \cdot C_s)^2 + \sum_1^{n3} I_{yn3}^2 \quad (27)$$

Sinusoidal bir kaynağa uygulanan nonlinear bir yük olması durumunda, yük akımı temel elemanı ve tek haneli harmonikleri içerecektir. Bu durumda Denklem (24) maksimum güç faktörünü verecek kapasite değeri Denklem (28)'de gösterildiği şekliyle hesaplanabilir.

$$C_s = \frac{I_{yn1} \cdot n_1 \cdot \sin\phi_{yn1}}{\omega \cdot E_1} \quad (28)$$

Nonlinear yükün kaynaktan çektiği minimum akım ve minimum görünür güç değeri sırası ile Denklem (29) ve Denklem (30) ile hesaplanabilir

$$I_{smin}^2 = I_{y1}^2 \cdot \cos\phi_{y1}^2 + \sum_1^{n3} I_{yn3}^2 \quad (29)$$

$$S_{smin} = E \cdot \sqrt{I_{y1}^2 \cdot \cos\phi_{y1}^2 + \sum_1^{n3} I_{yn3}^2} \quad (30)$$

Verilen denklemler kullanılarak, maksimum güç faktörü Denklem (31) de gösterildiği şekliyle hesaplanabilir.

$$\cos\phi_{\max} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum_1^{n3} I_{yn3}^2}{I_{y1}^2 \cdot \cos\phi_{y1}^2}}} \quad (31)$$

Bu çalışmada sinusoidal gerilim beslemeli nonlinear yük durumu için oluşan harmonikli akıma karşı yüke bağlanması gereken kondansatörün sürekli zaman karınca kolonisi algoritması ile optime edilmesi ve bu optimal kapasite değerli kondansatörün güç faktörü ve gerilim düşümü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 1'de verilen bir fazlı bir devrede sisteme uygulanan gerilim Denklem (32)'de, devreden akan ve yüke uygulanan harmonikleri içeren akım Denklem (33)'te verilmiştir (Filiz, 2006).

$$e = V_m \cdot \sin\omega t = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin\omega t \quad (32)$$

$$e = \sqrt{2} * 220 * \sin \omega t$$

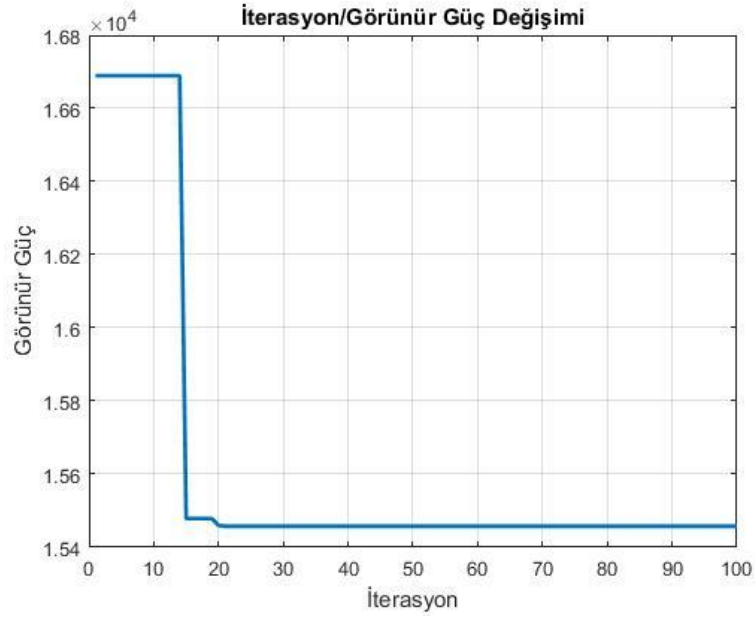
$$i = \sqrt{2} \sum_{n=1}^N I_n \cdot \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (33)$$

Sinusoidal bir kaynağa bağlı nonlineer bir yük ve sisteme paralel bağlı bir kompanzasyon kondansatörünün olması durumu için yük akımı Denklem (34)'te verilmiştir.

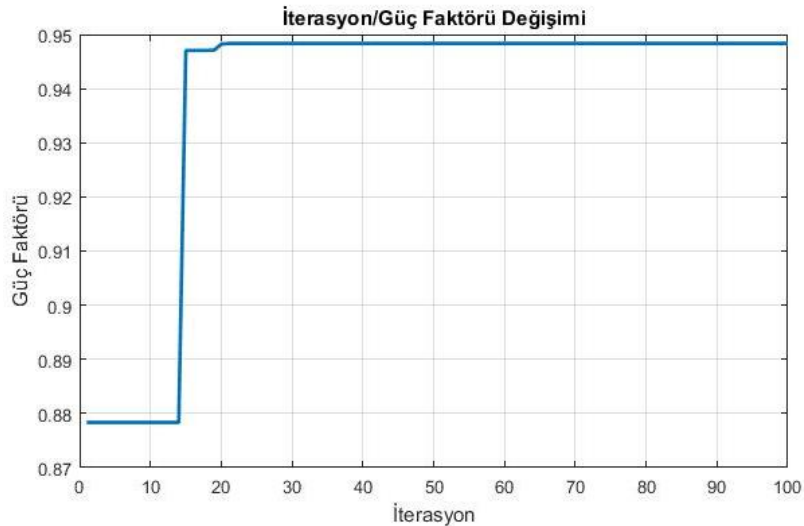
$$i_y = \sqrt{2} * [71 * \sin\theta(\omega t - 20,2) + 16 * \sin\theta(3\omega t + 3,2) + 10 * \sin\theta(5\omega t + 187,5) + 7,5 * \sin\theta(7\omega t - 1,20) + 6 * \sin\theta(9\omega t + 1,5) + 4,5 * \sin\theta(11\omega t + 3) + 4 * \sin\theta(13\omega t + 188,5) + 3,5 * \sin\theta(15\omega t - 0,5)] \quad (34)$$

Kompanzasyon yapılmadan önceki durumda verilen denklemler sonucunda, yükün gücü 14659.26 W, reaktif güç 5393.56 VAR, harmoniklerinin sebep olduğu bozulma güç değeri 4903,36 VA ve toplam görünür güç 16371.53 VA olarak hesaplanabilir. Bu durumda kompanzasyon yapılmadan önceki güç faktörü 0.89 olarak hesaplanmaktadır.

Verilen 1 μF ile 1000 μF arasındaki kondansatör değerleri ve Denklem (34)'te verilen yük akımı için, sürekli zaman karınca kolonisi algoritması çalıştırılarak yapılan optimizasyon yöntemiyle Şekil 6 ve Şekil 7'de görülen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6. Her bir iterasyonda bulunan görünür güç değerleri



Şekil 7. Her bir iterasyonda bulunan güç faktörü değerleri

3. Sonuç ve Tartışmalar

Yapılan çalışmada sinüs kaynaklı bir elektrik enerjisi sistemine uygulanan nonlineer karakteristiğe sahip bir yükün, kompanzasyonsuz durumda sistem üzerinde meydana getirdiği reaktif güç kaybı ve güç faktörü ele alınmış, sürekli zaman karınca kolonisi algoritması ile verilen bir aralıktaki kondansatör değerleri optimize edilmiş ve maksimum güç faktörü için seçilmesi gereken optimum kapasitif değeri tespit edilmiştir. Bu tespit neticesinde enerji sisteminin güç faktörü optimum düzeyde iyileşmiş ve bu iyileşmeye bağlı olarak yükün sistemden çektiği reaktif akım ve güç minimuma indirilmiştir. Böylelikle harmoniklerden oluşan akım bileşenleri minimize edilerek yükün kararlı çalışabileceği gerilim aralığının sabit olması sağlanmıştır. Algoritmanın çalıştırılması sonucunda başlangıç iterasyonlarında algoritma rastgele bir seçim ile işleme başladığından çok iyi olmayan görünür güç ve güç faktörü ile karşılaşmış, sonraki iterasyonlarda sürekli zaman karınca kolonisi algoritması sayesinde en iyi sonuçlar öğrenilmiş ve alınan kapasite değerleri bu değerlere yakınsayarak olması gereken en iyi kapasite değerini bulmuştur. Algoritmanın çalışması sonucu, optimum kapasite değeri 353.65 μ F, görünür güç değeri 15458 VA, güç katsayısı ise 0.9484 olarak bulunmuştur. Kompanzasyondan önceki değerler ile sürekli zaman karınca kolonisi algoritması sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında sistemde net bir iyileşmenin olduğu görülmektedir.

Referanslar

- Adak, S., (2003), "*Enerji sistemlerinde harmonik distorsiyonunun azaltılması*". Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.
- Balci, M. E. ve Hocaoglu, M. H. (2009) "Reaktif Güç Rölelerine Uygulanmak Üzere Kompanzasyon Kapasitesi Gücünün Hesabı için Yeni Bir Metot", *EMO Konferansı*, December 2009, 1–5.
- Boussaï D, I., Lepagnot, J. ve Siarry, P. (2013) "A survey on optimization metaheuristics", *Information Sciences*. Elsevier, Cilt 237, 82–117.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F. ve Strauss, C. (1999) "A new rank based version of the Ant System. A computational study." *A Computational Study. Central European Journal of Operations Research*. Cilt 7. 25-38.
- Chen, Z., Zhou, S. ve Luo, J. (2017) "A robust ant colony optimization for continuous functions". *Elsevier Ltd*, 81, pp. 309–320. doi: 10.1016/j.eswa.2017.03.036.
- Doğan, B. ve Korürek, M. (2010) "EKG Vurularının Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu Yardımıyla Sınıflandırılması ECG Beat Classification Using Ant Colony Optimization for Continuous Domains", *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, Bursa, 2010, pp. 497-501.
- Dorigo, M. (1992) "Optimization, learning and natural algorithms", PhD Thesis, Politecnico di Milano.
- Dorigo, M. ve Gambardella, L. M. (1997) "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem", *IEEE Transactions on evolutionary computation*. *IEEE*, 1(1), pp. 53–66.
- Eldem, H. (2014) "*Karınca Koloni Optimizasyonu (KKO) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algortimaları Temelli Bir Hiyerarşik Yaklaşım Geliştirilmesi*", Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erkan, E. (1996) "*Nonlineer Yüklerde Güç Faktörünün İyileştirilmesi*", 'Yüksek Lisans Tezi', Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Filiz, C. (2006) "*Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Filtrelemelerin İncelenmesi*", Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Gül, Ö. (2001) "*Faz Bileşenleri Ve Çok-uçlu Eleman Kavramı Yardımı İle 3-fazlı Dağıtım Şebekelerinin Harmonik Analizi*". Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İSTANBUL
- KESKİNTÜRK, T. ve SÖYLER, H. (2006) "GLOBAL KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4).
- Kocatepe, C. et al. (2003) '*Elektrik tesislerinde harmonikler*', Birsen Yayınevi, İstanbul.
- KOCATEPE, C. et al. (2005) "Nonlineer Yükleri İçeren Enerji Sistemleri İçin Filtreli Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sistemin MATLAB & Simulink Modeli ile Simülasyonu", *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK)*.
- Ng, H. N. et al. (2000) 'Classification of Capacitor Allocation Techniques', *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, no. 1, pp. 387-392, Jan. 2000. doi: 10.1109/61.847278
- Ojha, V. K., Abraham, A. ve Snasel, V. (2015) "ACO for Continuous Function Optimization: A Performance Analysis", *2014 14th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, (February 2015), pp. 145–150. doi: 10.1109/ISDA.2014.7066253.

Özdemir, E. et al. (2005) , “Harmonic and reactive power compensation with shunt active power filter under non-ideal mains voltage” [*Electric Power System Research* 14 (2005) 363–370]. ELEC POWER SYST RES. 76. 600-600. 10.1016/j.epsr.2005.10.001.

Sezer, M. (2006) "*Üç Fazlı Sistemlerde Paralel Aktif Filtre*". Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İSTANBUL

Socha, K. ve Dorigo, M. (2008) ‘Ant colony optimization for continuous domains’, *European Journal of Operational Research*, 185, pp. 1155–1173. doi: 10.1016/j.ejor.2006.06.046.

Stütze, T. ve Hoos, H. H. (2000) "MAX–MIN ant system", *Future generation computer systems. Elsevier*, 16(8), pp. 889–914.

Surapong, C. et al. (2000) "Minimization of the effects of harmonics and voltage dip caused by electric arc furnace", *Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE. IEEE*, pp. 2568–2576.

Varetsky, Y. ve Nakonechny, T. (2005) ‘Monitoring Harmonic Sources in Distribution System by Neural Network Estimator’, *2005 IEEE Russia Power Tech*, St. Petersburg, 2005, pp. 1-6. doi: 10.1109/PTC.2005.4524736

Yalcinoz, T. (2005) ‘Reaktif Güç Kompanzasyonunun Gerilim Regülasyonuna Etkisinin Deneysel Olarak ve Matlab Ortamında Gerçekleştirilmesi’, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, 17–19 Kasım 2005