

Yer Çekimsel Arama Algoritması İle Değişik Çalışma Koşulları İçin Tranformatör Verim Optimizasyonu

¹ Yalçın Alcan, ² Ali Öztürk, ³ Önder Özmen

¹ Elektrik ve Enerji Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Türkiye

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

³ Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Özet

Teknolojinin hızla gelişmesi temiz, güvenilir ve sürekli enerjiye olan ihtiyacı da artırmıştır. Trafolar, elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Transformatör verimlerinin çeşitli yüklenme durumlarında olabildiğince yüksek olması istenir. Bu çalışmada; Transformatörün farklı yüklenme durumuna göre veriminin maksimum olduğu çalışma noktasının bulunması son zamanlarda geliştirilen optimizasyon tekniklerinden biri olan Yerçekimsel Arama Algoritması (YAA) ile gerçekleştirilmiştir. YAA, Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır. Burada, modern bir optimizasyon yöntemi olan YAA ve klasik yöntem (KY) ile farklı güç ve yapılarıdaki transformatörlere uygulanmış ve verim optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan YAA'nın transformatör verim optimizasyonu için alternatif bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Transformatör Verimi, Optimizasyon, Yer Çekimi Arama Algoritması

Abstract

The rapid development of technology has increased the need to clean, reliable and continuous energy. Transformers are the prominent components of electrical energy at the stages of generation, transmission, distribution and consumption. It is desirable that the efficiency of transformers to be high as much as possible at various loading conditions. In this work, in order to obtain the maximum efficiency point of transformer at different loading conditions, Gravitational Search Algorithm (GSA), is used which is a novel optimization technique. GSA is an optimization algorithm based on Newton's motion and gravitation laws. Here, GSA method which is a modern method and classical method have been applied to transformers at various rated powers and structures and efficiency optimization has been done. From the results, it has been proved that GSA is an alternative method for transformer efficiency optimization.

Key words: Transformer Efficiency, Optimization, Gravitational Search Algorithm

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi temiz, güvenilir ve sürekli enerjiye olan ihtiyacı da artırmıştır. Transformatörler, elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Verim; tüm teçhizatlar için önemli bir parametredir. Bunun için trafoların verimlerinin olabildiğince yüksek olması istenir. Optimizasyon, en iyileme anlamına gelmektedir. Var olan bir sorun için, verilen kısıt altında tüm çözüm kümeleri arasından en iyi çözümü elde etme işidir. Optimizasyon teknikleri birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Analitik yöntemler haricinde trafolarda optimizasyon çalışmaları çok yenidir. Ayrıca trafolara uygulanan sezgisel yöntemlerin birçoğu transformatörlerin ağırlık veya dış görünüşünü optimize etmek için yapılmıştır. Son zamanlarda klasik optimizasyon yöntemlerine ek olarak sezgisel optimizasyon yöntemleri, verilen şartlar altında en iyi, optimum, sonucu

bulmak için geliştirilmiştir[1]. YAA sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. YAA, Rashedi ve arkadaşları tarafından bulunan Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır[2]. Trafolarında, sezgisel algoritmalarla optimizasyon çalışmaları yakın zamanda başlamıştır. Genetik algoritma ve sezgisel yöntemler ile yapılan çalışmalarda farklı yapılarıdaki trafolar için ağırlık optimize edilmiştir [3-4-5]. [6-7-8]'de yapılan çalışmalarda, *genetik algoritma* (GA) ve *sonlu elemanlar yöntemi* (SEY) ile farklı tip trafoların farklı verimlerdeki maliyet-ağırlık optimizasyonu nesil sayısına bağlı olarak incelenmiştir. [9]'da doğrultucu güç trafosu tasarımı optimizasyonunda GA'nın tavlama benzetimi yöntemine göre üstün olduğu gösterilmiştir. [10]'da güç trafosu tasarım maliyetini minimize etmek için *karınca kolonisi algoritması* ile optimizasyon yapılmış ve elde edilen sonuçlar geleneksel tasarım teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yöntemin başarısını ortaya koymuştur. [11]'de *parçacık sürü optimizasyonu* (PSO) metodu kullanılarak sabit miktatsız senkron motorun parametreleri tayin edilmiş ve sonuçlar GA ile karşılaştırılmıştır. Bazı çalışmalarda ise, *biyocoğrafya tabanlı optimizasyon* ve *hibrid GA* ile asenkron motorun değişkenleri belirlenmiştir [12-13]. [14]'te trafo boyutları optimum seçimi için *karınca kolonisi algoritması* ile çözüm önermişler ve çalışmalarlarıyla hem enerji kaybı hem de maliyeti düşürmeyi başarmışlardır. Bu çalışmada; modern bir optimizasyon yöntemi olan YAA farklı güç ve yapılarıdaki transformatörlere uygulanmış ve verim optimizasyonu yapılmıştır. Ayrıca elde edilen optimizasyon sonuçları klasik yöntem (KY) sonuçları ile karşılaştırılarak YAA'nın transformatör verim optimizasyonu için alternatif bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

2. Yerçekimsel Arama Algoritması (YAA)

YAA, Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [2-15]. 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 kütlede oluşacağı belirlenir. N kütlede oluşan arama uzayında i. kütle pozisyonunun elde edilişi, eşitlik 1 ile ifade edilmiştir.

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

dir. x_i^d , i. kütleinin 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 edilmesi Eşitlik 2 ile ifade edilmiştir.

$$G(t)=G_0 * e^{-\alpha \frac{t}{T}} \quad (2)$$

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 3-4 kullanılarak elde edilir.

$$\text{best}(t)=\max_{i=1}^{n_{\text{mass}}}\{\text{fit}_i(t)\} \quad (3)$$

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

ile bulunur. $\text{fit}_j(t)$, j. kütleinin t anındaki uygunluğu, $\text{best}(t)$, en iyi çözüm, $\text{worst}(t)$ ise t anındaki en kötü çözümdür. Arama uzayında bulunan kütleinin yerçekimsel (M_{ai}), pasif yerçekimsel (M_{pi}) ve eylemsizlik kütleleri (M_i) eşit alınarak Eşitlik 5-6-7 kullanılarak tüm kütleler hesaplanır.

$$M_{ai}=M_{pi}=M_{ii}=M_i \quad (5)$$

$$m_i=\frac{\text{fit}_i(t)-\text{worst}(t)}{\text{best}(t)-\text{worst}(t)} \quad (6)$$

$$M_i(t)=\frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (7)$$

Eşitlik 8-9'de toplam kuvvet hesabı yapılır. Bunun için, iki noktasal kütleinin arasındaki Öklid mesafesini;

$$R_{ij}(t)=\|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (8)$$

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

$$F_{ij}^d(t)=G(t)\frac{M_{pi}(t)*M_{aj}(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}(x_j^d(t)-x_i^d(t)) \quad (9)$$

$F_{ij}^d(t)$, t anında d. boyutta i ve j kütleleri arasındaki kuvvet, $M_{aj}(t)$ t anındaki j. Kütleinin 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 10-11 kullanılarak kütlelerin ivmeleri bulunur;

$$a_i^d(t)=\frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (10)$$

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

$$a_i(t) = G(t) \sum_{j=1}^{n_{mass}} \text{rand}_j \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t)+\epsilon} (x_j - x_i) \quad (11)$$

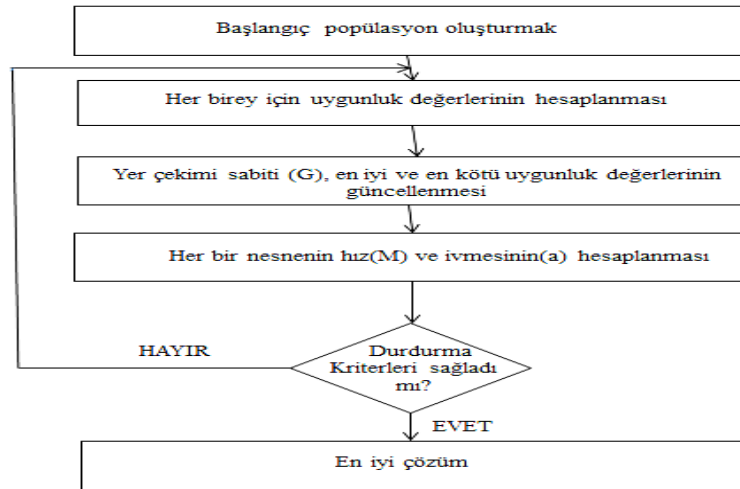
kütteleler etkileşim sonucunda karşılıklı ivme kazandırırılar. Eşitlik 12’de kütlelerin o andaki hızı ile o anda oluşan hız değişiminin toplamını verir.

$$V_i^d(t+1) = \text{rand}_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (12)$$

rand_i [0,1] aralığında rastgele atanan bir sayıdır. Eşitlik 13’te hız değişimiyle birlikte her bir kütlelerin sistemdeki yerinin konum güncellemesi yapılmaktadır.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (13)$$

İstenilen durum sağlandığında algoritma durdurulur, sağlanmıyorsa algoritmanın yerçekimi sabitinin güncellendiği eşitlik 2 ‘ye geri dönülerek sonlandırma kriterine sağlayana kadar arama devam ettirilir.



Şekil 1: YAA akış şeması

3. Klasik Yöntemle Sorunun Çözümü (KY)

Daha önce KY ile çözümlenmiş, tasarımı yapılmış olan 3 fazlı 100 kilo Voltamper (kVA) ‘lık yağlı ve 1,5 kVA’lık kuru, çekirdek tipi trafolar [16] için tasarım parametreleri için kullanılan formüller;

Eşitlik 14’de, özgül bakır kaybı P_{cu} , akım yoğunluğu s , (A/cm^2),

$$P_{cu} = 2,7 * s^2 \quad (\text{Watt/ kg}) \quad (14)$$

dır. Eşitlik 15’te özgül demir kayıpları P_{fe} , p_{10} : kayıp faktörü [17-18]. ϵ_2 : 1.15; trafo saçlarının işlenmesi sırasında oluşan ilave kayıplar için, B Endüksiyon [16]. Eşitlik 16’da boyunduruk bacak endüksiyonu B_j , bacak endüksiyonundan % 20 küçük olacaktır.

$$p_{fe} = p_{10} * \epsilon_2 * \left(\frac{B}{10000}\right)^2 \text{ (Watt/ kg)} \quad (15)$$

$$B_j = B/1,2 \quad \text{(gauss)} \quad (16)$$

dur. Eşitlik 17’de bulunacak demir kesiti, eşitlik 18’de boyunduruk demir kesiti bulunmasında kullanılır. C ($\text{cm}^2 * \text{joule}^{-1/2}$) [19] demir kesiti uygunluk faktörü, $S(\text{VA})$ trafo görünür güç, f , frekans dır.

$$q_{fe} = C * \frac{\sqrt{1000 * S}}{3 * f} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (17)$$

$$q_{fej} = q_{fe} * 1.1 \text{ (cm}^2\text{)} \quad (18)$$

Çekirdek kesitinden geçecek olan toplam manyetik alan toplamı, eşitlik 19’da hesaplanarak eşitlik 22-23’deki primer ve sekonder sarım sayılarını bulunmasında kullanılmıştır.

$$\Phi = B * q_{fe} \text{ (maxwell)} \quad (19)$$

Eşitlik 20.21’de üç fazlı bir transformatör için S görünür gücü, S_2 sekonder görünür gücü ve S_1 primer görünür gücü ifade etmektedir. U_1 primer, U_2 sekonder sargı gerilimlerini, I_1 ise primer, I_2 sekonder sargılarından geçen akımları ifade etmektedir.

$$S_1 = \sqrt{3} * I_1 * U_1 \text{ Volt amper (VA)} \quad (20)$$

$$S_2 = \sqrt{3} * I_2 * U_2 \text{ Volt amper (VA)} \quad (21)$$

Eşitlik 22.23 w_1 primer, w_2 sekonder sargı sayıları ve eşitlik 24.25 q_1 primer, q_2 sekonder sargı kesitleri hesaplanarak eşitlik 26’daki pencere veya bacak yüksekliği L_s ‘de kullanılmıştır. A_s trafo görünür gücüne bağlı olarak seçilen amper-iletken değeridir [16].

$$w_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3} * 4.44 * f * \phi * 10^{-8}} \quad (22)$$

$$w_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3} * 4.44 * f * \phi * 10^{-8}} \quad (23)$$

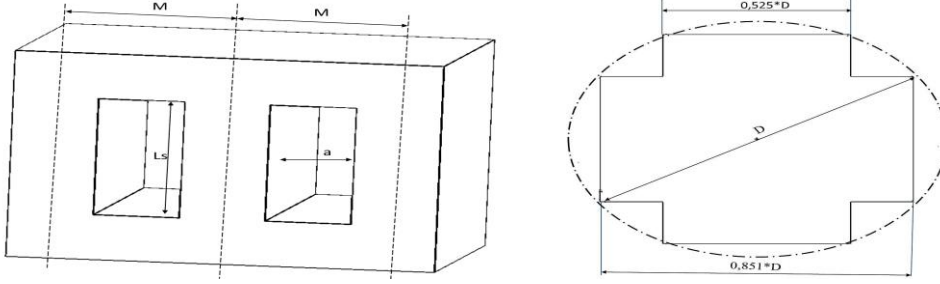
$$q_1 = \frac{I_1}{s} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (24)$$

$$q_2 = \frac{I_2}{s} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (25)$$

$$L_s = 0.2 * \frac{w_1 * I_1}{A_s} \text{ (mm)}. \quad (26)$$

Şekil 2’de trafo tasarımında kullanılan parametreler şekil üzerinde gösterilmiştir. Eşitlik 27’de pencere genişliği a , eşitlik 28’de çekirdeğin çapı hesaplanır. Bu değerler eşitlik 29-30’daki primer

ve sekonder sargı uzunlukları L_{m1} , L_{m2} hesaplanır. Çekirdeğin üzerine sarılan ızelasyon malzemesinin kalınlığı K_{yg} , sekonder sargı yalıtkan kalınlığı K_{ag} primer ve sekonder sargı arası boşluk, C_p , primer gerilim sargısının ızelasyon dahil çapı alınmıştır [16].



Şekil 2: Çekirdek boyutları

$$a = 0.04 * \frac{w_2 * q_2}{k_{cu} * L_s} \quad (\text{cm}) \quad (27)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * q_{fe}}{0.677 * \pi}} \quad (\text{cm}) \quad (28)$$

$$L_{m1} = \pi * (D + 2 * K_{yg} + 2 * a_2 + 2 * \text{Bosluk} + 2 * C_p) \quad (29)$$

$$L_{m2} = \pi * (D + 2 * K_{ag} + a_2) \quad (30)$$

$$r_1 = \rho_0 * \frac{L_{m1} * w_1}{q_1} \quad (31)$$

$$r_2 = \rho_0 * \frac{L_{m2} * w_2}{q_2} \quad (32)$$

Eşitlik 31.32 primer ve sekonder sargı dirençleri, bakır özgül direnci ρ_0 . Eşitlik 33-43 trafodaki kayıpları bulmak için verilmiştir. Primer ve sekonder sargı bakır kayıpları P_{cu1} , P_{cu2} , k ; akım yığılmasından kaynaklı direnç artırma faktörü [16]. Toplam bakır kaybı P_{cu} , demir gövde, bacak ve boyunduruk demir ağırlığı G_{fe} , G_{feb} , G_{fej} (kg), demir gövde, bacak ve boyunduruk demir kaybı P_{fe} , $P_{febacak}$, P_{fej} hesaplarını verir.

$$P_{cu1} = 3 * I_1^2 * r_1 \quad (33)$$

$$P_{cu2} = 3 * I_2^2 * r_2 * k \quad (34)$$

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} \quad (35)$$

$$G_{fe} = \gamma_{fe} * ((3 * L_s / 10 * q_{fe}) + 2 * (2 * M + 0,8 * D) * q_{fej}) * 10^{-3} \quad (36)$$

$$G_{feb} = 3 * \gamma_{fe} * q_{fe} * L_s / 10 * 10^{-3} \quad (37)$$

$$G_{fej} = \gamma_{fe} * q_{fej} * 2 * (2 * a + 3 * b_{bacak}) * 10^{-3} \quad (38)$$

$$P_{febacak} = G_{feb} * p_{feb} \quad (39)$$

$$p_{fej} = p_{10} * \gamma_2 * (B_j / 10^4)^2 \quad (40)$$

$$P_{fej} = G_{fej} * p_{fej} \quad (41)$$

$$P_{fe} = P_{febacak} + P_{fej} \quad (42)$$

$$P_k = P_{fe} + P_{cu} \quad (43)$$

Eşitlik 35 ve 42 hesaplanan bakır ve demir kayıplarından faydalanarak trafonun yüklenme oranı ε , hesaplanır. Ayrıca hangi yüklenme oranı ve güç faktörünün de daha fazla verim, eşitlik 45-46 'da hesaplamalarla bulunmuştur [20].

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cu}}} \quad (44)$$

$$\text{verim} = S * 10^3 * \cos \varphi_2 / (S * 10^3 * \cos \varphi_2 + P_k) \quad (45)$$

$$\text{verim}_{\max} = 1 - ((P_{fe}) / (0,5 * \varepsilon * S * 10^3 * \cos \varphi_2 + P_{fe})) \quad (46)$$

4. Yercekimsel Arama Algoritması (YAA) ile Sorunun Çözümü

İki farklı trafo için [16]'de hesaplanmış olan verimin maksimum olduğu yüklenme oranını bulma problemi bu çalışmada bir amaç fonksiyonu olarak alınmış ve değişkenlere göre verim optimizasyonu YAA'ya göre yapılmıştır. Yüklenme oranları hesaplanırken farklı güç faktörleri de kullanılmış ve her bir güç faktörü değeri için verimin maksimum olduğu yüklenme oranları hesaplanmıştır.

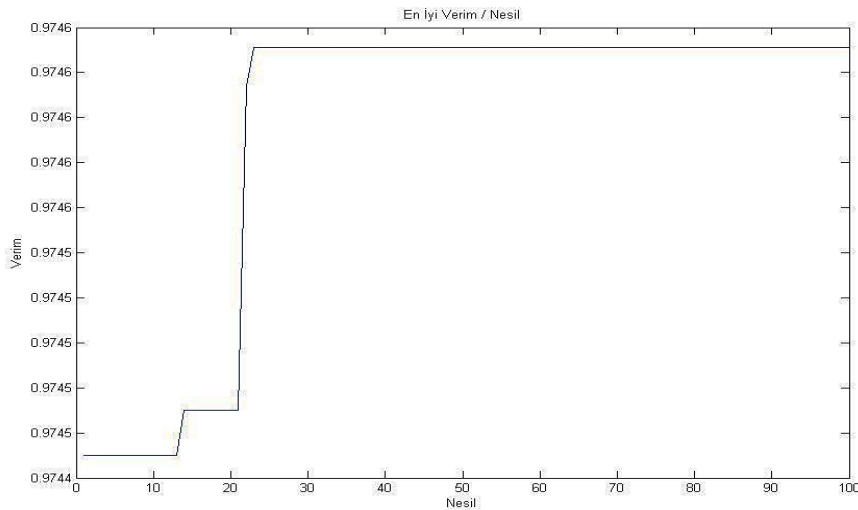
Değişkenlerimiz, akım yoğunluğu [A/cm^2], $2,2 < s < 3,5$ yağlı, $1,7 < s < 2$ kuru trafolar içindir. Demir Kesiti uygunluk faktörü [$cm^2 \text{Joule}^{-1/2}$], $4 < C < 6$ yağlı $5,9 < C < 10,6$ kuru trafolar için alınmıştır. Verimin yüksek olması istediğimiz için $0,9 < \text{verim} < 1$ arasında alınmış, çekirdek tipi trafo olduğu için pencere yüksekliği (L_s) ile pencere genişliği (a) arasındaki oran $2 < L_s / a < 4,5$ kabul edilmiştir [16].

5.Sonuçlar

Trafolarla uygulanan yerçekimsel arama algoritması ve klasik yöntemle elde edilen parametreler Tablo 1’de gösterilmiştir.

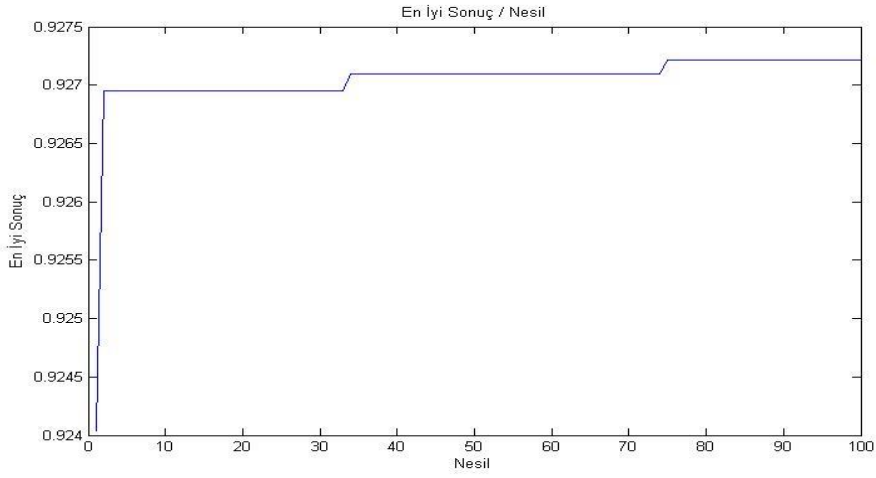
Tablo 1: YAA ve Klasik Yöntemin Karşılaştırılması

YAA VE KLASİK YÖNTEMLE SORUNUN ÇÖZÜMÜ						
Değişkenler	Sembol	Birim	Klasik (Yağlı)	YAA (Yağlı)	Klasik (Kuru)	YAA (Kuru)
Demir kesiti uygunluk faktörü	(C)	cm ² *joule-1/2	5.6	4.0309	9.5	5.9751
Sargılardaki akım yoğunluğu	(s)	A/mm ²	2.6	2.6581	2.2	2.1868
Pencere genişliği	(a)	cm	1.56	1.5652	5.8	5.7
Özgül demir kayıpları	(pfe)	Watt/kg	2.72	1.8863	1.573	1.0890
Özgül bakır kayıpları	(pcu)	Watt/kg	18.2	18	11.88	11.73
Demir çekirdeğin çapı	(D)	cm ²	16.5	16.3	7.5	5.9777
Primer sargı uzunluğu	(Lm1)	cm	77.2	77	35	29.7187
Sekonder sargı uzunluğu	(Lm2)	cm	58.2	58.1	26	21.6448
Demir kesiti	(qfe)	cm ²	2.72	1.88	2.91	1.9
Trafo toplam demir kaybı	(Pfe)	Watt	727	502	43.4	26.1730
Trafo toplam bakır kaybı	(Pcu)	Watt	1874	1850	60	70
Verim	(η)	%	97	97.46	92	92.724

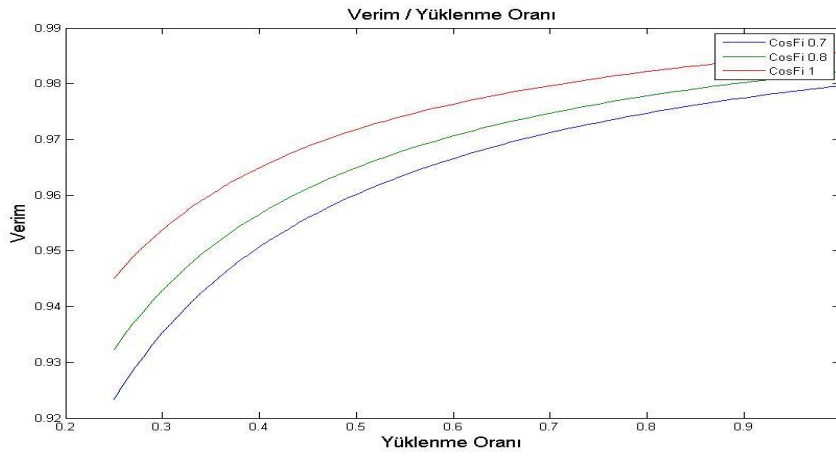


Şekil 3: Yağlı tip trafo için En iyi ortalama Verim-Nesil ilişkisi.

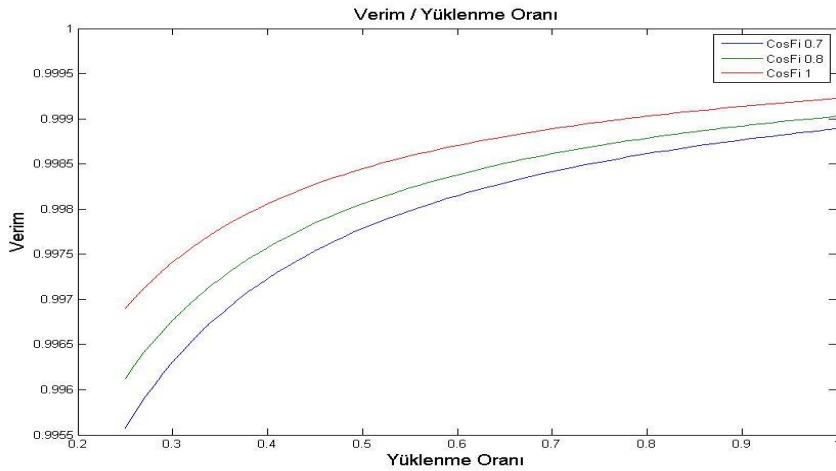
Şekil 3'te yağlı tip trafo, şekil 4'te ise kuru tip trafo için en iyi ortalama verim-nesil ilişkisi ilk 100 iterasyon için gösterilmiştir. Yağlı tip trafo problemi için 24. iterasyon anında problem için en iyi ortalama verim sonucu bulunmuştur. Kuru tip trafo için ise en iyi ortalama verim 76. iterasyon anında bulunmuştur. Ayrıca yapılan çalışmada iki trafo için farklı güç faktöründe, trafo yüklenmelerine göre verim ilişkisi şekil 5'te ve şekil 6 'da verilmiştir. Yüklenme oranı arttıkça verim de bir artış olduğunu fakat bu artışın belirli bir noktadan sonra değişmediği de görülmüştür. Sonuç olarak; YAA 'nın bulmuş olduğu parametreler ile verim optimizasyonu için uygulanabilir ve alternatif bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4: Kuru tip trafo için En iyi ortalama Verim-Nesil ilişkisi.



Şekil 5: Kuru tip trafo için, farklı güç katsayı-yükleme oranlarında verim



Şekil 6: Yağlı tip trafo için, farklı güç katsayı-yükleme oranlarında verim

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] Demir, H., Öztürk, A., Kuru, L., & Kuru, E. Weight optimization of a dry type core form transformer by using particle swarm optimization algorithm. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* 2012;2:1063-1072.
- [4] Öztürk, A., Demir, H., Kuru, L., Kuru, E., & Tosun, S. Weight optimization of a core form oil transformer by using heuristic search algorithms . *Journal of Engineering Research and Applied Science* 2012;1: 44-54.
- [5] Tosun, S., Öztürk, A., Demir, H., & Kuru, L. Kuru Tip Transformatörün Tabu Arama Algoritması Yöntemi İle Ağırlık Optimizasyonu. *Journal of Advanced Technology Sciences* 2012:17-26.
- [6] Çelebi, M. Genetik Algoritma ile Yağlı bir Trafonun Maliyet Optimizasyonu. C.B.U. *Journal of Science* 2007:41- 48.
- [7] Çelebi, M. Genetik Algoritma ile Kuru bir Trafonun Maliyet Optimizasyonu. *ELECO*,2008: 189-193.
- [8] Çelebi, M. Genetik Algoritma ile Kuru Bir Trafonun Ağırlık Optimizasyonu ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi. *KSU Journal of Engineering Sciences* 2009: 30-36.
- [9] Rao, K. R., & Khairul Nisak Md Hasan. Rectifier Power Transformer Design by Intelligent Optimization Techniques. *IEEE*:2008;4244-2895.
- [10] Fouzai, M., & Zouaghi, T. Ant Colony Algorithm applied to power transformer optimization., *Electrical Engineering and Software Applications.ICEESA..2013*;1-5
- [11] Mutluer, M., & Bilgin, O. Design Optimization of PMSM by Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm. *INESTA*:2012;978-1:4673-1448.
- [12] Mutluer, M., Bilgin, O., & Çunkaş, M. Parameter determination induction machines by using hybrid genetic algorithm. 11th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information & Engineering Systems. İtalya;KES2007 .
- [13] Saraçoğlu, B.,Güvenç, U.,Dursun, M.,Poyraz, G.,&Duma, S. Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon Metodu Kullanılarak Asenkron Motor Parametre Tahmini.*Journal of Advanced Technology Sciences* 2013;1:46-54,.
- [14] Amoiralis, E., Tsili, M., Georgilakis, P., & Kladas, A. Ant colony solution to optimal transformer sizing problem. *EPQU . 9th International Conference*:2007; 1-6.
- [15] Rashedi, E., Hossein Nezamabadi-pour, & Saeid Saryazdi. BGSA: binary gravitational search algorithm. *Natural Computing*,2010;9:727-745.
- [16] Boduroğlu, T.. *Elektrik Makinaları Dersleri/Transformatörler*. İstanbul: İTÜ;1978
- [17] Georgilakis, P. S., Nikolaos D. Doulamis, Anastasios D. Doulamis , Nikos D. Hatziargyriou, & Stefanos D. Kollias. .A Novel Iron Loss Reduction Technique for Distribution Transformers Based on a Combined Genetic Algorithm—Neural Network Approach.*IEEE*; 2001;31:16-34.
- [18] Ray, S. Prediction of hysteresis losses produced by distorted flux in low-loss silicon-iron transformer core laminations. *IEEE*:1993;229-236.
- [19] R.Richter, *Elektrische Maschinen Bd. III*. Basel/Stuttgart. Verlag Birkhaeuser;1954.
- [20] Şerifoğlu, A. N. *Elektrik Makinaları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım. 2007.