



Gri Kurt optimizasyon algoritması ile güç ve dağıtım türü transformatörlerin ağırlık optimizasyonu

Weight optimization of power and distribution type transformer by Gray Wolf optimization algorithm

Murat Tören^{1,*} , Hakkı Mollahasanoglu² 

^{1,2} Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize, Türkiye

Öz

Elektromanyetik alan yoluyla elektrik enerjisinin aktarılması prensibine göre çalışan transformatörler, yüksek verimliliğe sahip elektrik makineleridir. Transformatörün verimliliğini etkileyen ağırlık ve boyut parametreleri, transformatörlerin tasarımında önemlidir. Bu çalışmada, elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtım aşamalarında aktif kullanılan ve farklı güç seviyelerine (50 kVA, 100 kVA ve 100 kVA) sahip transformatörlerin tasarımlarındaki ağırlık değerleri, sezgisel yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Literatürdeki güncel sezgisel yöntemlerden biri olan gri kurt algoritması kullanılarak, transformatör ağırlığına etki eden akım yoğunluğu (s) ve demir kesiti uygunluk faktörü (C) parametreleri optimize edilmektedir. Çalışma sonucunda, 50 kVA, 100 kVA ve 1000 kVA transformatörlerin ağırlıkları, sırasıyla, %31, %21 ve %9 oranında düşürülmektedir. Böylece dağıtım ve güç transformatörü türünde transformatör ağırlıklarının optimum değerlerle elde edilmesine yeni bir yaklaşım katılmakta ve ağırlıktan kaynaklı transformatör maliyetleri azaltılabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ağırlık optimizasyonu, Gri Kurt algoritması, Transformatörler, Verimlilik

1 Giriş

Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında güç transformatörleri ile dağıtım transformatörleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinin tüketicilere uygun formda aktarılması için, söz konusu transformatörler hayati bir öneme sahip olup, dolayısıyla da tasarımları oldukça önem arz etmektedir. Transformatör tasarımları, transformatörün tipine, yapısına, soğutma türüne ve yapısında kullanılan manyetik malzeme türüne göre değişiklik gösterebilmektedir [1]. Bu nedenle, yapılan çalışmalarda, transformatör tasarım parametreleri, optimum şekilde belirlenmeye çalışılarak, güç ve dağıtım transformatörlerinin verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, yapılan çalışmalarda, transformatör çekirdeğinin uygunluğu dikkate alınarak, transformatör tasarım parametreleri belirlenmiştir [2-3].

Transformatör ağırlığı, verimliliği ve maliyeti direkt olarak etkileyen parametrelere biridir. Bu nedenle,

Abstract

Transformers operating according to the principle of transferring electrical energy through the electromagnetic field are electrical machines with high efficiency. Weight and size parameters that affect the efficiency of the transformer are important in the design of transformers. In this study, the weight values in the designs of transformers with different power levels (50 kVA, 100 kVA and 100 kVA), which are actively used in the transmission and distribution stages of electrical energy, are realized by heuristic method. By using the gray wolf algorithm, which is one of the current heuristics in the literature, the parameters of current density (s) and iron cross section conformity factor (C) affecting the transformer weight are optimized. As a result of the study, the weights of 50 kVA, 100 kVA and 1000 kVA transformers are reduced by 31%, 21% and 9%, respectively. Thus, a new approach has been developed to optimize transformer weights in distribution and transmission transformer types and transformer costs due to weight can be reduced.

Keywords: Weight optimization, Gray Wolf algorithm, Transformers, Efficiency

transformatörlerin ağırlığını optimize etmek için de çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmada, 1600 kVA gücünde, kuru tip transformatörün çelik parçaları yeniden tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen tasarımda, transformatör üzerine etkileyen ağırlıklar simüle edilerek, transformatörün elektriksel değerleri optimize edilmiştir. Böylece transformatör ağırlık ve maliyetinin optimum olması amaçlanmıştır [4]. Ayrıca, farklı bir çalışmada, transformatör ağırlığını belirlemek için, bulanık tabanlı analiz yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemde, transformatörün; bakır, demir ve yağ ağırlığı dikkate alınmıştır [5]. Ancak son yıllarda, klasik yöntemlerin yanı sıra sezgisel optimizasyon algoritmaları da kullanılarak transformatör ağırlığını asgari seviyeye çekebilmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Sezgisel optimizasyon algoritmaları, klasik yöntemlerdeki pratik uygulama alanı bulamama probleminden dolayı, doğadaki canlıların davranışlarından esinlenerek geliştirilmektedir. Bu algoritmaların etkin ve

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: murat.toren@erdogan.edu.tr (M. Tören)

Geliş / Received: 08.06.2022 Kabul / Accepted: 06.10.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1127837

esnek olması sayesinde, her türlü problemin çözümüne katkı sağlamak için uygulanabilmektedir [6]. Bu yöntemler, farklı mühendislik problemlerinin çözümünün [7] yanı sıra transformatörlerin ağırlık optimizasyonu için de kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda; tabu arama algoritması [8], ateş böceği algoritması [9] ve genetik algoritma [10-11] optimizasyon metotları kullanılarak, kuru tip transformatörün ağırlık optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bazı çalışmalarda ise transformatör optimizasyonu için farklı sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılarak, karşılaştırma yapılmıştır [12]. Referans verilen çalışmada, ağaç tohum algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve benzetimli tavlama yöntemleri kullanılarak, üç fazlı kuru tip transformatörün optimizasyonu gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, literatürde yeni tanıtılan istilacı ot optimizasyonu ve ateş böceği algoritmaları kullanılarak üç fazlı kuru tip transformatörün ağırlık ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yaygın kullanıma sahip, parçacık sürü optimizasyonu performansı ile karşılaştırılmıştır [13]. Tüm bu çalışmalara bakıldığında, transformatörler için farklı sezgisel algoritmalar kullanılarak maliyet ve ağırlık optimizasyonu yapıldığı görülmektedir. Hatta yaptığımız ön çalışmada, 50 kVA dağıtım transformatörü ile 1000 kVA güç transformatörünün ağırlık optimizasyonu, literatürde yaygın kullanıma sahip; karınca kolonisi, arı ve ateş böceği algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ateş böceği algoritmasının diğer algoritmalarla göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir [14]. Ancak literatürde yeni tanıtılan gri kurt algoritmasının birçok pratik problemi çözmek için uygulandığı [15-16] ve tasarım/modelleme çalışmaları yapıldığı görülmektedir [17-18]. Hatta bazı elektrik makinaları uygulamalarında da gri kurt algoritması tercih edilmiş olup, yapılan çalışmada kalıcı mıknatıslı senkron motor tasarımı gri kurt algoritması ile gerçekleştirilmiştir [19]. Buna rağmen, yeni bir metot olan gri kurt algoritmasının transformatörlerin ağırlık optimizasyonunda kullanılmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada, literatüre katkıda bulunmak amacıyla, farklı güç seviyelerine sahip transformatörlerin (50-100-1000 kVA) optimum ağırlığının belirlenmesi amacıyla, literatürde güncel kullanıma sahip olan gri kurt algoritması (GKA) kullanılmaktadır.

2 Materyal ve metot

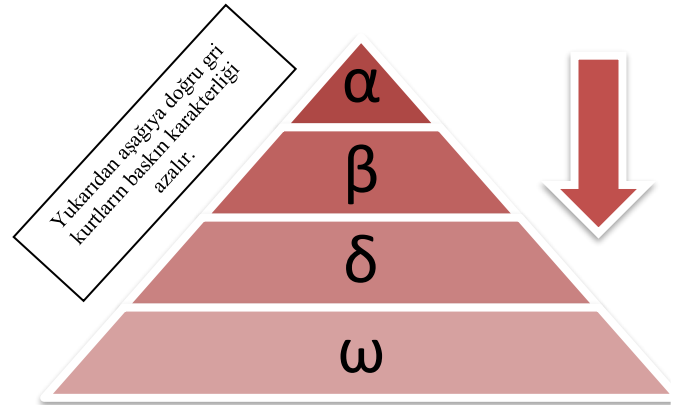
Bu çalışmada kullanılan farklı güç seviyesindeki transformatörlerin mevcut etiket ağırlığı, teorik veriler ve deneysel yaklaşımlarla güçlendirilmiş varsayımlardan elde edilen geleneksel hesaplama metodu ile belirlenmektedir. Hesaplama kullanılan ve değişken parametreler olan akım yoğunluğu (s) ve demir kesit (C) değerleri gri kurt algoritması ile optimize edilerek, en uygun transformatör ağırlık değerleri elde edilmektedir.

2.1 Gri kurt algoritması

Gri kurt algoritması, Mirjalili ve arkadaşları tarafından, gri kurtların liderlik hiyerarşisi ve avlanma sürecini dikkate alarak önerdiği, yeni bir sezgisel algoritmadır [20]. Bu algoritma, genetik algoritma, parçacık sürüsü optimizasyonu, ateş böceği algoritması gibi diğer yaygın

popülasyon tabanlı sezgisel algoritmalarından daha iyi yakınsama özelliklerine sahiptir. Ayrıca, Gri kurt algoritmasının optimizasyon sürecinde çalıştırılması basit ve uygulanması kolaydır.

Gri kurt algoritmasının uygulanması için kullanılan gri kurtların liderlik hiyerarşisini taklit etmek için dört farklı gri kurt grubu vardır. Şekil 1'de gösterilen liderlik hiyerarşisinde; ilk katman, alfa (α) olup, en güçlü ve en yetenekli olan baş kurdu temsil etmektedir. İkinci katmanda her alan beta (β) kurtlar, diğer alt düzey kurtları komuta edip, alfa kurtlar ile olan iletişimi sağlar. Optimizasyon algoritmasında, alfanın komutlarını güçlendirip alt düzey kurtlara iletip ve alfa kurda geri bildirimde bulunur. En alt katmanda ise omega kurtlar (ω) bulunur ve toplamın büyük bir kısmını kaplar ve esas olarak nüfusun iç ilişkilerini dengelemekten ve genç kurt nüfusunu korumak ve gözetlemekten sorumludur. Üçüncü tabakada yer alan kurtlar, diğer üç tabakada yer almayan ve alfa ile beta sınıfı kurtlara boyun eğmek zorunda olan ancak omega kurtlara hükmeden delta kurtlar (δ) olarak sınıflandırılmaktadır [21].



Şekil 1. Gri kurtların algoritması liderlik hiyerarşisi

Gri kurt algoritmasının uygulanması için kullanılan avlanma süreci ise avı izleme ve takip, çevreleme ve saldırma davranışları ile temsil edilmektedir. Gri kurt algoritmasında, en uygun çözüm alfa (α) olarak kabul edilirken, beta (β) ve delta (δ) sırasıyla en iyi ikinci ve üçüncü çözümler olarak varsayılmaktadır. Omega kurtlar (ω) ise bu üç kurdu takip etmektedir. Algoritmanın uygulanması için gri kurtlar avını takip edip, yerini belirler ve etrafını sarmaya başlar. Bu davranışı matematiksel olarak modellemek için Denklem 1 ve 2'den faydalanılır.

$$D_p = |CX_p(t) - X(t)| \quad (1)$$

$$X(t+1) = X_p(t) - AD_p \quad (2)$$

Burada, t yineleme sayısı olup, $X(t)$ gri kurdu temsil etmektedir. X_p ise avın mevcut konumudur. Transformatör ağırlığını optimize etmek için kullanılan gri kurt algoritmasında, gri kurt, demir kesit uygunluk faktörü (C) ile avın konumu ise transformatör akım yoğunluk değeri (s) ile ilişkilendirilmektedir. Denklem 1 ve 2'de, A ve C ilgili

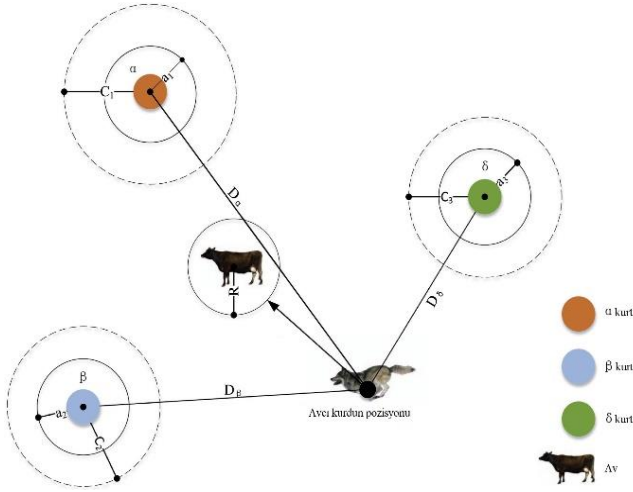
katsayılar olup, **Denklem 3** ve **4**'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$A = 2ar_1 - \alpha \quad (3)$$

$$C = 2r_2 \quad (4)$$

Burada, α iterasyon ilerledikçe, ikiden sıfıra doğru azalan katsayıyı ifade ederken r_1 ve r_2 ise sıfır ile bir arasında rastgele seçilen sayılardır.

Avını kuşatan gri kurtlar (α , β ve δ) daha sonra avını avlamaktadır. **Şekil 2**'de gri kurtların avlanma stratejisi verilmektedir.



Şekil 2. Gri kurtların avlanma stratejisi

Şekil 2'de verilen avlanma mekanizmasında gri kurtların pozisyonları **Denklem 5** ve **6** ile belirlenmektedir.

$$\begin{aligned} D_\alpha &= |C_1 X_\alpha - X(t)| \\ D_\beta &= |C_2 X_\beta - X(t)| \\ D_\delta &= |C_3 X_\delta - X(t)| \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} X_1 &= X_\alpha(t) - A_1 D_\alpha \\ X_2 &= X_\beta(t) - A_2 D_\beta \\ X_3 &= X_\delta(t) - A_3 D_\delta \end{aligned} \quad (6)$$

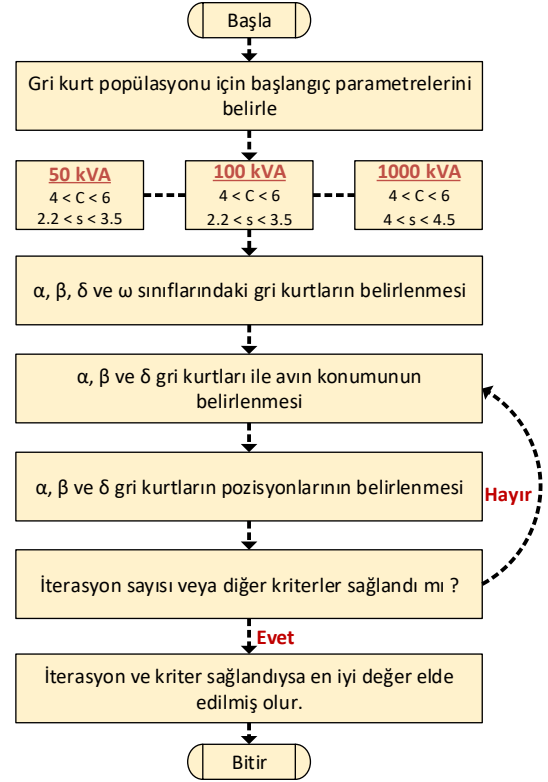
Bu denklemlerde, X_α, X_β ve X_δ gri kurtların pozisyonunu ifade etmektedir. Avlanma sonucunda, avın yeni konumu ise **Denklem 7**'de verilmektedir.

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (7)$$

Gri kurt algoritmasında, avın yeri belirlendikten sonra, avın hareketi durduktan sonra saldırı aşamasına geçilir. **Denklem 3**'te verilen A değeri, α iterasyon ilerledikçe, ikiden sıfıra doğru r rastgele değişkenlerine bağlı olarak azalır. Böylece A değeri, $[-2\alpha, 2\alpha]$ arasında değerler alır. A değerlerine bakıldığında, eğer A değeri birden büyükse, gri kurtlar daha uygun av aramaya başlar, eğer A değeri birden

küçükse, gri kurtlar asgari değerlere ulaşıncaya kadar ava saldırıya zorlanır [22].

Bu çalışmadaki farklı güç seviyesindeki transformatörlerin ağırlığını optimize etmek için kullanılan gri kurt algoritması blok diyagramı **Şekil 3**'te verilmektedir.



Şekil 3. Gri kurt algoritması akış şeması

3 Bulgular ve tartışma

Bu bölümde farklı güç seviyesindeki transformatörlerin ağırlık hesabı yapılmaktadır. Farklı güç seviyesindeki transformatörlerin, geleneksel yöntemler ile elde edilen ağırlıkları gri kurt algoritması ile optimize edilmektedir.

3.1 Geleneksel yöntemler ile transformatör ağırlık hesabı

Transformatörlerin ağırlıklarının hesaplanmasında veriler ve ampirik yaklaşımlarla desteklenen varsayımlardan elde edilen geleneksel hesaplama yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan transformatörlerin ağırlıkları [23]'den faydalanılarak belirlenmiştir. Farklı güç seviyesindeki transformatörler için belirlenen ağırlık değerleri, gri kurt algoritması ile optimize edilerek, optimum transformatör ağırlıkları belirlenmektedir. Bir transformatörün demir ve bakır parçaları, bir transformatörün ağırlığını etkileyen iki temel parametredir. Toplam ağırlık (G_T), demir ağırlığı (G_{fe}) ile bakır ağırlığının (G_{cu}) toplamı olarak ifade edilmekte olup, **Denklem 8**'de verilmektedir.

$$G_T = G_{cu} + G_{fe} \quad (8)$$

Toplam bakır ağırlığı, birincil sargı (G_{cu1}) ile ikincil sargı ağırlığının (G_{cu2}) toplamıdır. Toplam demir ağırlığı ise transformatörün boyunduruk ağırlığı (G_{fej}) ve üçayak ağırlığının (G_{feb}) toplamı olarak ifade edilebilir. Bu değerler [Denklem 9-16](#)'da verilmiştir.

$$G_{cu} = G_{cu1} + G_{cu2} \quad (9)$$

$$G_{fe} = G_{feb} + G_{fej} \quad (10)$$

$$q_1 = \frac{I_1}{s} \quad (11)$$

$$q_2 = \frac{I_2}{s} \quad (12)$$

$$G_{cu1} = 3.10^{-5} \gamma_{cu} \omega_1 q_1 L_{m1} \quad (13)$$

$$G_{cu2} = 3.10^{-5} \gamma_{cu} \omega_2 q_2 L_{m2} \quad (14)$$

$$G_{feb} = 3.10^{-3} \gamma_{fe} q_{fe} L_s \quad (15)$$

$$G_{fej} = 3.10^{-3} \gamma_{fe} q_{fej} 2(2M + 0.8D) \quad (16)$$

Belirtilen eşitliklerde, ω_1 ve ω_2 sırasıyla birinci ve ikinci sargının sarım sayılarını, q_{fe} (cm^2) ve q_{fej} (cm^2) sırasıyla, transformatörün ayakları ile çekirdeğin alt-üst kısmı arasındaki demir kesiti parametrelerini ifade etmektedir. Bu parametreler, [Denklem 17-20](#)'de belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır. Ayrıca, q_1 ve q_2 sırasıyla birinci ve ikinci sargı kesitlerini, s akım yoğunluğunu, γ_{cu} bakır özgül ağırlığını, γ_{fe} demir özgül ağırlığını, L_{m1} ve L_{m2} ise sargıların ortalama uzunluklarını ifade etmektedir. Son olarak, transformatörün nüve çekirdeğini çevreleyen dairenin çapı D ile ifade edilmiştir.

$$q_{fe} = C \sqrt{\frac{10^3 S}{3f}} \quad (17)$$

$$q_{fej} = 1.1 q_{fe} \quad (18)$$

$$w_1 = \frac{U_1}{4.44 \sqrt{3} f \theta 10^{-8}} \quad (19)$$

$$w_2 = \frac{U_2}{4.44 \sqrt{3} f \theta 10^{-8}} \quad (20)$$

[Denklem 21](#)'de gösterildiği gibi, transformatörün birincil ve ikincil sargı ağırlığı ile boyunduruk ve bacak ağırlığının toplamı, transformatörün toplam ağırlığını vermektedir.

$$G_{Toplam} = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{feb} + G_{fej} \quad (21)$$

Bu çalışmada kullanılan, 50 kVA, 100 kVA ve 1000 kVA yağlı tip transformatörlerin geleneksel yöntemle hesaplanan

ağırlıkları [Tablo 1](#)'de görüldüğü gibi sırasıyla 332.28 kg, 436.3 kg ve 1664 kg'dır.

Transformatör verimi ise çıkış gücünün giriş gücüne oranlanması ile [Denklem 22](#)'de belirtildiği gibi belirlenmektedir.

$$\text{Verim} = \frac{P_{giris}}{P_{çiktis}(P_{giris} + P_{kayıp})} \times 100 \quad (22)$$

Transformatördeki kayıplar ($P_{kayıp}$), demir kayıpları ve sargılardaki akım kaynaklı bakır kayıplarından oluşmaktadır.

Tablo 1. Farklı güç seviyesindeki transformatörlerin parametre değerleri

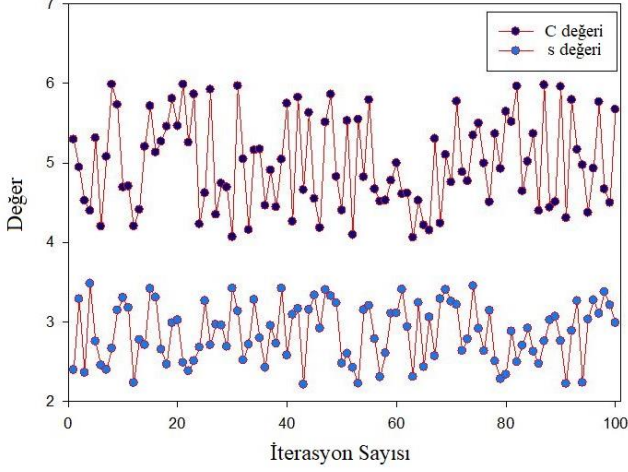
Parametre	Birim	50 kVA	100 kVA	1000 kVA
Demir kesit uygunluk değeri (C)	$cm^2 joule^{-1/2}$	4.6	5-6	4.6
Akım yoğunluk değeri (s)	A/mm^2	2.2	2.6	4-4.5
Birincil sargı dönüşü	turn	5798	2675	420
İkincil sargı dönüşü	turn	70	31	16
Birincil sargı ağırlığı	kg	68.2	63.1	198
İkincil sargı ağırlığı	kg	45.6	46.2	126
Transformatörün üçayaklı ağırlığı	kg	105.8	132.5	652
Transformatörün boyunduruk ağırlığı	kg	112.8	194.5	688
Transformatörün toplam ağırlığı	kg	332.28	436.3	1664
Verim	%	95	92	98.04

3.2 Gri kurt algoritması ile transformatör ağırlık hesabı

Bu çalışma ile farklı güç seviyelerindeki transformatörlerin ağırlığını optimize etmek için gri kurt algoritması, Python yazılımı kullanılarak uygulanmaktadır. Bu algoritma ile transformatörlerin demir parçası değişken parametreleri olan, akım yoğunluğu (s) ve kesit uyumluluk faktörü (C) kullanılmaktadır. 10000 iterasyon gerçekleştirilerek yapılan optimizasyon çalışmasında, s limit değerleri, 50 ve 100 kVA transformatörler için 2.2 ila 3.5 A/cm^2 ve C limit değerleri ise 4 – 6 $cm^2 joule^{-1/2}$ aralığında, 1000 kVA güç transformatörü için ise s değeri 4-4.5 A/cm^2 ve C değeri yine 4 – 6 $cm^2 joule^{-1/2}$ aralığında alınmaktadır. Algoritmanın iterasyonu tamamlama süresi ise kısa ve uygun bir süre olarak değerlendirilen, 20731 ms'dir. Sezgisel algoritmalar yinelemeli hesaplamalar yaparken belirli koşulların karşılanması gerekir. Bu nedenle transformatörlerden elde edilen verim değerinin % 90-99 arasında olması gerekmektedir. Yapılan çalışmada bu durumlara dikkat edilmiştir.

Gri kurt algoritması kullanılarak yapılan 50 kVA ve 100 kVA dağıtım tipi transformatörlerin ağırlık optimizasyonunda 100 gri kurt algoritmaya dahil edilmiş ve

verilen parametreler 10000 iterasyon ile kullanılmıştır. Dağıtım tipi transformatörlerin, gri kurt optimizasyonu sonucunda elde edilen akım yoğunluğu (s) ve kesit uyumluluk faktörü (C) değerlerinin iterasyon sayısına bağlı değişimi Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Dağıtım tipi transformatörlerin C ve s değerlerinin iterasyon sayısına göre değişimi

Tablo 2 ve 3'te ise 50 kVA ve 100 kVA dağıtım transformatörünün optimizasyon sonrasında elde edilen parametre değerleri verilmektedir.

Tablo 2. 50 kVA transformatörünün optimizasyon sonucu elde edilen parametre değerleri

Parametre	Birim	Klasik	GKA
Demir kesit uygunluk değeri	$cm^2 joule^{-1/2}$	4.6	3.02
Akım yoğunluk değeri	A/mm^2	2.2	2.4
Birincil sargı dönüşü	turn	5798	3287
İkincil sargı dönüşü	turn	70	44
Birincil sargı ağırlığı	kg	68.2	47
İkincil sargı ağırlığı	kg	45.6	31.4
Transformatörün üçayaklı ağırlığı	kg	105.8	76.86
Transformatörün boyunduruk ağırlığı	kg	112.8	78.82
Transformatörün toplam ağırlığı	kg	332.28	229.47
Verim	%	95	95.1

Tablo 2'de, 50 kVA transformatörünün optimizasyon sonucu ağırlığının 332.28 değerinden 229.47 kg değerine düştüğü görülmektedir. Böylece transformatör ağırlığı %31 oranında azaltılmıştır. Literatüre bakıldığında, aynı güç seviyesine sahip transformatör için Ateş Böceği Algoritması ile yapılan ağırlık optimizasyonunda transformatör ağırlığı %11 oranında düşürülmüştür [9,24]. Söz konusu çalışma ile

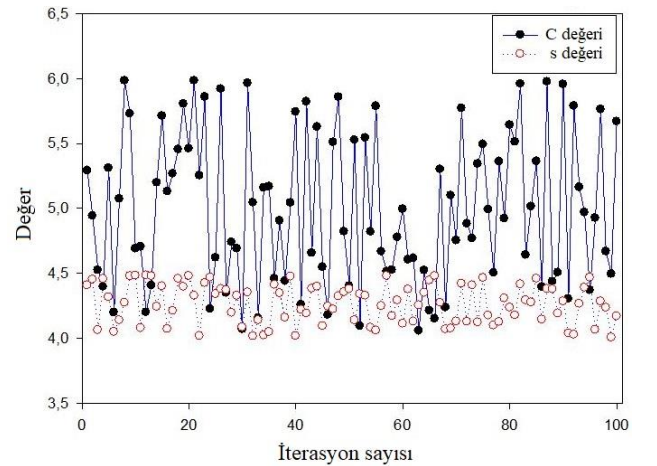
karşılaştırıldığında, gri kurt algoritmasının dağıtım türünde %31 oranları ile daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Tablo 3. 100 kVA transformatörünün optimizasyon sonucu elde edilen parametre değerleri

Parametre	Birim	Klasik	GKA
Demir kesit uygunluk değeri (C)	$cm^2 joule^{-1/2}$	5-6	4.7
Akım yoğunluk değeri (s)	A/mm^2	2.6	2.7
Birincil sargı dönüşü	turn	2675	2060
İkincil sargı dönüşü	turn	31	24
Birincil sargı ağırlığı	kg	63.1	48.8
İkincil sargı ağırlığı	kg	46.2	36.1
Transformatörün üçayaklı ağırlığı	kg	132.5	101.8
Transformatörün boyunduruk ağırlığı	kg	194.5	151.6
Transformatörün toplam ağırlığı	kg	436.3	338.3
Verim	%	92	92.1

Tablo 3'te, 100 kVA transformatörünün, optimizasyon sonucu, ağırlığının 436.3 değerinden 338.3 kg değerine düştüğü görülmektedir. Böylece transformatör ağırlığı %22 oranında azaltılmıştır. Literatüre bakıldığında, aynı güç seviyesine sahip transformatör için İstilacı Ot Optimizasyonu ve Ateşböceği Algoritması ile yapılan çalışma [10,13] ile karşılaştırıldığında, hem güç değerleri hemde yapılan optimizasyon türünde gri kurt algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

1000 kVA güç transformatörünün ağırlık optimizasyonunda ise 100 gri kurt algoritmaya dahil edilmiş ve verilen parametreler 10000 iterasyon ile kullanılmıştır. 1000 kVA güç transformatörünün, gri kurt optimizasyonu sonucunda elde edilen akım yoğunluğu (s) ve kesit uyumluluk faktörü (C) değerlerinin iterasyon sayısına bağlı değişimi Şekil 5'te verilmektedir.



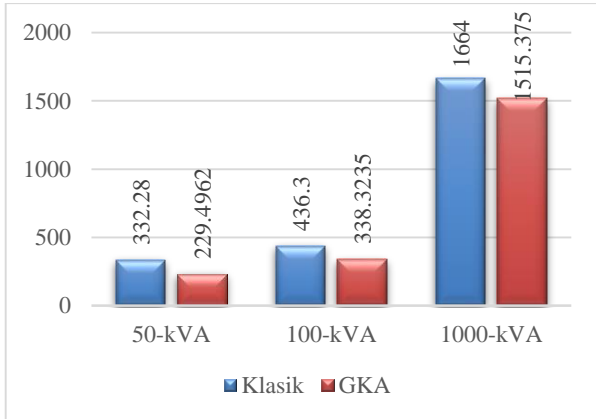
Şekil 5. 1000 kVA güç transformatörünün, C ve s değerlerinin iterasyon sayısına göre değişimi

Tablo 4’te ise 1000 kVA transformatörün optimizasyon sonrasında elde edilen parametre değerleri verilmektedir.

Tablo 4. 1000 kVA transformatörün optimizasyon sonucu elde edilen parametre değerleri

Parametre	Birim	Klasik	GKA
Demir kesit uygunluk değeri (C)	$cm^2 \cdot joule^{-1/2}$	4.6	4.2
Akım yoğunluk değeri (s)	A/mm^2	4-4.5	4.7
Birincil sargı dönüşü	turn	420	380
İkincil sargı dönüşü	turn	16	15
Birincil sargı ağırlığı	kg	198	181
İkincil sargı ağırlığı	kg	126	115
Transformatörün üçayaklı ağırlığı	kg	652	594
Transformatörün boyunduruk ağırlığı	kg	688	626
Transformatörün toplam ağırlığı	kg	1664	1515
Verim	%	98.04	98

Gri kurt algoritması ile elde edilen farklı güç seviyelerine sahip transformatörlerin ağırlık değerleri, klasik yöntem kullanılarak hesaplanan ağırlık değerleri ile kıyaslanarak, Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6. Optimizasyon sonucu farklı güç seviyesindeki transformatörlerin toplam ağırlık değerleri

Şekil 6 incelendiğinde, gri kurt algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda, 50 kVA, 100 kVA ve 1000 kVA transformatörlerin ağırlıkları, sırasıyla, %31, %22 ve %9 oranında azaltıldığı görülmektedir.

Şekil 6’da belirtilen transformatör ağırlıklarının maliyet yüzdeleri Tablo 5’te verilmektedir [25]. Transformatörün çekirdek ve sargı ağırlıkları, toplam transformatör ağırlığının, sırasıyla % 48.2 ve % 22’lik kısmını oluşturmaktadır.

Tablo 5. Dağıtım transformatörlerin imalatında kullanılan malzemelerin maliyet yüzdeleri

Transformatör malzemesi	Maliyet (%)
Manyetik çelik	48.9±5.5
Sargılar (Bakır ve Alüminyum)	22±6
Yalıtım	14.1±5.5
Fabrikasyon parçaları	15±9
Toplam	100

Bu maliyet oranları dikkate alındığında, uluslararası standartlara uygun üretilen farklı güç seviyesindeki dağıtım transformatörlerin, gri kurt algoritması kullanılarak elde edilen optimum ağırlıkları göre belirlenen güncel maliyetleri Tablo 6’daki gibi olmaktadır. Dağıtım transformatörlerinin birim ağırlık maliyeti 14.37 € olarak belirlenmektedir [26].

Tablo 6. Farklı güç seviyesindeki transformatörlerin üretim maliyetleri

Parametre	50 kVA		100 kVA		1000 kVA	
	Klasik	GKA	Klasik	GKA	Klasik	GKA
Toplam Transformatör Ağırlığı (kg)	332.28	229.4	436.3	338.3	1664	1515
Birim Ağırlık maliyeti (€)	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37
Toplam ağırlık maliyeti (€)	4774	3296	6270	4861	23911	21770

Tablo 6 incelendiğinde, gri kurt algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda, 50, 100 ve 1000 kVA transformatörlerin ağırlık parametrelerinin sebep olduğu üretim maliyetleri de sırasıyla, %31, %22 ve %9 oranında azaltıldığı görülmektedir. Dağıtım türü transformatörlerin endüstride % 80-85 oranında sayıları olduğu gözetildiğinde ağırlıktaki bu oranda azalma maliyetlerde gözle görülür azalmayı sağlayabilecektir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında yaygın kullanıma sahip farklı güç seviyelerindeki transformatörlerin ağırlıklarının optimize edilebilirliği incelenmiştir. Güncel bir sezgisel metot olan gri kurt algoritması; dağıtım türü transformatör güçlerinden 50 kVA ile 100 kVA gücündeki transformatör ağırlığı için ve güç transformatörü olarak da 1000 kVA transformatöre uygulanmıştır. Optimizasyon sonucunda; 332.28 kg olan 50 kVA transformatörün ağırlığı, 229.49 kg, 436.3 olan 100 kVA transformatörün ağırlığı, 338.32 kg ve 1664 kg olan 1000 kVA güç transformatörün ağırlığı 1515.37 kg olarak optimize edilmiştir. Böylece, söz konusu transformatörlerin ağırlıkları sırasıyla, %31, %21 ve %9 oranında azaltılmıştır. Literatürde transformatör ağırlık optimizasyonu tek tür transformatör ve tek bir güç değeri üzerinden değerlendirilirken, bu çalışmada özgün olarak farklı tür ve farklı güç değerlerinde sezgisel algoritmanın nasıl etkinlik gösterdiği de belirlenmektedir. Ayrıca transformatör ağırlık optimizasyonu ile işletme maliyetinde de nasıl bir değişim

olacağı belirlenmektedir. 50 kVA transformatör için 1476 €, 100 kVA transformatör için 1351 € ve 1000 kVA güç transformatörü için ise 2141 € maliyet azalışı sağlanmaktadır. Bu çalışma ile elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında kullanım sayısı olarak oransal çoğunluğa sahip güç ve dağıtım transformatör türleri için optimum ağırlık ve buna bağlı maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Gri kurt algoritması ile elde edilecek yeni tasarım parametreleri ile tasarlanan transformatörlerin işletme maliyetini azaltacağı, tasarım planlamalarında iyi sonuçlar elde edilebileceği gözetilerek kullanımının artıracığı ve farklı çalışma alanlarında da uygulanacağı değerlendirilmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %1

Kaynaklar

- [1] E. I. Amoiralis, P. S. Georgilakis, M.A. Tsili, and A. G. Kladas, Global transformer optimization method using evolutionary design and numerical field computation. IEEE transactions on magnetics, 45(3), 1720-1723, 2009. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2012795>.
- [2] M. I. Abdelwanis, A. Abaza, R. A. El-Sehiemy, M. N. Ibrahim and H. Rezk, Parameter Estimation of Electric Power Transformers Using Coyote Optimization Algorithm With Experimental Verification. IEEE Access, 8, 50036-50044, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2978398>.
- [3] S. Bogarra, A. Font, I. Candela and J. Pedra, Parameter estimation of a transformer with saturation using inrush measurements, Electr. Power Syst. Res., 79(2), 417-425, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.08.009>.
- [4] I. Beyin, Kuru tip transformatörlerin çelik parçalarında şekil optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [5] H. Malik and R. K. Jarial, Fuzzy-Logic Applications in Cost Analysis of Transformer's Main Material Weight, 2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, pp. 386-389, Gwalior, India, 2011.
- [6] Ö. Sevim ve M. Sönmez, Geliştirilmiş yapay arı koloni algoritması ile kafes ve düzlemsel çelik yapıların optimum tasarımı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(2), 8-51, 2016. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.239368>.
- [7] H. Rezaei, O. Bozorg-Haddad and X. Chu, Grey wolf optimization (GWO) algorithm. In Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms, 81-91, 2018. <https://doi.org/10.35378/gujs.820885>
- [8] S. Tosun, A. Öztürk, H. Demir ve L. Kuru, Kuru tip transformatörün tabu arama algoritması yöntemi ile ağırlık optimizasyonu, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1(1), 17-26, 2012.
- [9] T. Demirdelen, Kuru tip transformatör optimizasyonuna yeni bir yaklaşım: Ateş böceği algoritması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(1), 87-96, 2018, <https://doi.org/10.21605/cukurovau mmfd.420675>.
- [10] M. Çelebi, Genetik algoritma ile kuru bir trafonun ağırlık optimizasyonu ve sonlu elemanlar metodu ile analizi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (2) , 30-36, 2009.
- [11] L. Yang, X. Liu, and J. Yang, A new compensation method for insulated core transformer power supply and its optimization using genetic algorithm, Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip, 960, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.163585>.
- [12] S. Kül, S. A. Celtek ve İ. İskender, Metaheuristic algorithms based approaches for efficiency analysis of three-phase dry-type transformers, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(4), 889-903, 2021. <https://doi.org/10.36306/konjes.946496>
- [13] I.Ö. Aksu and T. Demirdelen, A comprehensive study on dry type transformer design with swarm-based metaheuristic optimization methods for industrial applications. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 40(14), 1743-1752, 2018. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1486908>.
- [14] M. Tören and H. Mollahasanoglu, Comparison of Heuristic Approaches in Weight Optimization of Different Power Levels Transformers. IETE Journal of Research, 1-15. 2022. <https://doi.org/10.1080/03772063.2022.2098188>
- [15] J. Liu, X. Wei and H. Huang, "An Improved Grey Wolf Optimization Algorithm and its Application in Path Planning," in IEEE Access, 9, 121944-121956, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3108973>.
- [16] J. Dhikary and S. Acharyya, Randomized Balanced Grey Wolf Optimizer (RBGWO) for solving real life optimization problems. Applied Soft Computing, 117, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108429>.
- [17] S. Arıkan ve F. Latifoğlu , "Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 26, pp. 472-476, Jul. 2021, [doi:10.31590/ejosat.960637](https://doi.org/10.31590/ejosat.960637)
- [18] H. Ç. Kılınç and Y. Öztürk , "Hibrit Gri Kurt Optimizasyonu ile Kapılı Tekrarlayan Birim Modeli Kullanılarak Günlük Akım Tahmini", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 35, pp. 259-267, May. 2022, [doi:10.31590/ejosat.1062777](https://doi.org/10.31590/ejosat.1062777)
- [19] M. Mutluer, Design Optimization of PM Synchronous Motor Using Gray Wolf Optimization Algorithm, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 24, 274-278, 2021. <https://doi.org/10.31590/ejosat.898907>.
- [20] H. Ç. Kılınç ve Y. Öztürk, Hibrit gri kurt optimizasyonu ile kapılı tekrarlayan birim modeli kullanılarak günlük akım tahmini, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 35, 259-267, 2022, <https://doi.org/10.31590/ejosat.1062777>
- [21] S. Mirjalili, S.M. Mirjalili and A. Lewis A, Grey wolf optimizer. Adv Eng Softw 69(3), 46-61, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3310-y>.
- [22] F. A. Şenel, A. S. Yüksel, F. Gökçe ve T. Yiğit , "Gri kurt optimizasyon algoritması ile iki boyutlu dizilim yazılımının geliştirilmesi", Balıkesir Üniversitesi Fen

- Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2). 293-306, 2018.
<https://doi.org/10.25092/baunfbed.433321>.
- [23] T. Boduroglu, Elektrik Makinaları Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1994.
- [24] M. Akdağ ve M. Çelebi , "Ateş Böceği Algoritması ile Yağlı Tip Transformatörün Ağırlık Optimizasyonu", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, vol. 13, no. 2, pp. 169-180, Jun. 2022, [doi:10.24012/dumf.1075008](https://doi.org/10.24012/dumf.1075008)
- [25] J. C. Olivares-Galvan and P.S. Georgilakis, "Core lamination selection for distribution transformers based on sensitivity analysis," *Electrical Engineering*, 95(1), 33-42, 2013.
- [26] A. Safigianni and V. Sarris, "Economical Estimation of the Maintenance of Distribution Transformers," *Proc. Eighth IASTED Int. Conf. Power Energy Syst. Eur.*, 23-25, 2008.

