

## KURU TİP TRANSFORMATÖRÜN TABU ARAMA ALGORİTMASI YÖNTEMİ İLE AĞIRLIK OPTİMİZASYONU

Salih TOSUN<sup>1\*</sup> Ali ÖZTÜRK<sup>2</sup> Hüseyin DEMİR<sup>1</sup> Leyla KURU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Böl., 81620, Düzce, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Böl., 81620, Düzce, TÜRKİYE

**Özet-**Transformatörler elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Bir transformatörün başlıca problemi ağırlığıdır. Transformatörün veriminden ve çalışma sisteminden taviz vermeden ağırlığının en aza indirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada da Tabu Arama Algoritması yöntemi kullanılarak kuru tip transformatörün yeniden tasarlanması ve ağırlığının optimum seviyeye düşürülmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda transformatörün ağırlığının düşürülebileceği görülmüştür. Uygulama için 1500 VA'lık üç fazlı, kuru, çekirdek tipi nüveli transformatör kullanılmış olup öncelikle matematiksel modeli çıkarılıp daha sonra transformatör değişkenleri olan akım yoğunluğu (s) ve demir kesiti uygunluk faktörü (C) optimize edilerek ağırlık optimum seviyeye çekilmiş ve sonuçları irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Elektrik güç sistemleri, Transformatörler, optimizasyon, Tabu Arama Algoritması.

## WEIGHT OPTIMIZATION OF DRY TYPE TRANSFORMER WITH TABU SEARCH ALGORITHM METHOD

**Abstract-** Transformers have an important role of producing transferring and consuming the electrical energy besides transformers are the electrical machines which amplify or reduce the electrical energy. Mass is the main problem which is caused by the iron core. There have been made many studies for to have a lower weight without compromising efficiency of the transformer and operating system. In this study it is aimed to re-design a dry type transformer and getting the weight to an optimum level by using the Tabu Search Algorithm method. As a result of this study it has been observed that the weight of the transformer can be reduced. At the last part by using the Tabu Search Algorithm method a 1500 VA, three-phased, dry, core-type core transformer's mathematical model is created and weight level is optimized. Finally the results obtained are compared.

**Key Words** - Dry type transformer, transformers, optimization, Tabu Search Algorithm method

---

\* [salihtosun@duzce.edu.tr](mailto:salihtosun@duzce.edu.tr)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmada 1,5 kVA'lık kuru tip bir transformatörün matematiksel modeli çıkarılarak, bir transformatörün ağırlık optimizasyonu, tabu arama algoritması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Transformatörlerde optimizasyon çalışmaları klasik yöntemler haricinde yakın zamanda başlamıştır. Elektrik güç sistemlerinin küçülerek günlük hayatımıza girmesiyle transformatörlerin ağırlığının optimize edilmesi gerektiği sonucu kaçınılmaz olmuştur. Günümüzde özellikle transformatörlerin ağırlığı ciddi bir problem haline gelmiştir. Transformatörlere uygulanan sezgisel yöntemlerin birçoğu transformatörlerin ağırlık veya dış görünüşünü optimize etme amacıyla uygulanmıştır. Transformatör ağırlığını düşürmeye yönelik yöntem tercihinde önemli olan optimum sonucu elde etmektir. Sezgisel en iyileşme yöntemlerinin birçoğu elektrik güç sistemlerine uygulanmıştır. Bu yöntemlerden Tabu Arama Algoritması çeşitli elektrik problemlerinin çözümünü başarı ile gerçekleştirmiştir [11,12,14-17].

Transformatörler ile ilgili yapılan çalışmalarda; farklı oranlarda silisyum içeren saclar kullanılarak transformatörün performans parametreleri analitik olarak incelenmiştir [1]. Kuru tip transformatör kullanılarak veriminin artırılabilceği simülasyon ortamında tespit edilmiştir. Transformatör nüvelerinin optimal tasarımında, genetik algoritma(GA) ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY)'nin ardışık kullanımı ile manyetik nüve geometrisinin optimize edilerek maliyetinin azaltılabileceğini incelenmiştir [13]. Bir başka çalışmada ise nüve olarak, ferrit çekirdekli transformatörlerin tasarım yöntemleri incelenmiştir [4]. Genetik algoritma kullanılarak transformatörün maliyeti düşürülmüş ve böylece GA'nın elektrik makineleri tasarımında kullanılabileceği gösterilmiştir [5]. Sezgisel yöntemler ile yapılan farklı bir çalışmada Parçacık sürü optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma ile kuru tip trafonun ağırlığı yaklaşık olarak % 28 oranında düşürülmüştür [6].

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada kullanılan tabu arama algoritması yöntemi, optimal veya optimala yakın çözümleri bulmak için çözüm uzayını araştıran, sezgisel optimizasyon tekniklerinden en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Tabu arama algoritması da benzer bir özellikte çalışır. Böyle bir aramada çözüm uzayında bazı noktalar tabu olarak tanımlandığında, bu noktalar algoritma sırasında incelenmez. Bir noktanın tabu olarak da belirlenebilmesi için gereken özellik de; bu noktanın daha önce incelenmiş olması ve bir daha incelenmesine gerek olmamasıdır.

Tabu Arama( TA ) kavramı ilk olarak Glover tarafından ortaya atılmıştır [7]. Yöntem Hansen tarafından geliştirilmiştir [9]. TA incelenmiş noktalar olmadığı sürece her çözümü araştıran süreçtir. Böylece yeni bir çözüm uzayının incelenmesi suretiyle yerel minimumdan kaçınılarak istenilen çözüme ulaşılabilmektedir. Algoritma yerel minimuma doğru harekete başlar. Daha önce yapmış olduğu hareketlere tekrar dönüş yapmayı engellemek için yöntem bir veya daha fazla tabu listesini hafızasında tutar. Eğer bir komşu çözüm adayı, tabu listesinde yer alan bir çözümle aynıysa, bu çözüm değerlendirme dışı bırakılmaktadır. Tabu listesi oluşturulurken her döngüdeki en iyi çözüm listeye alınmakta, listenin dolduğu durumda listedeki ilk kayıtlar listeden atılıp, son döngüler de elde edilen çözümler listeye alınmaktadır. Tabu Listesi ilk en iyi çözüm kümesinin oluşturularak hafızaya alınma yöntemi ile oluşturulur. Tabu listesi oluşturmanın önemli bir kuralı da giriş değerleri oluşturulurken çeşitli filtreli işlemlerinden geçirilmesidir [10].

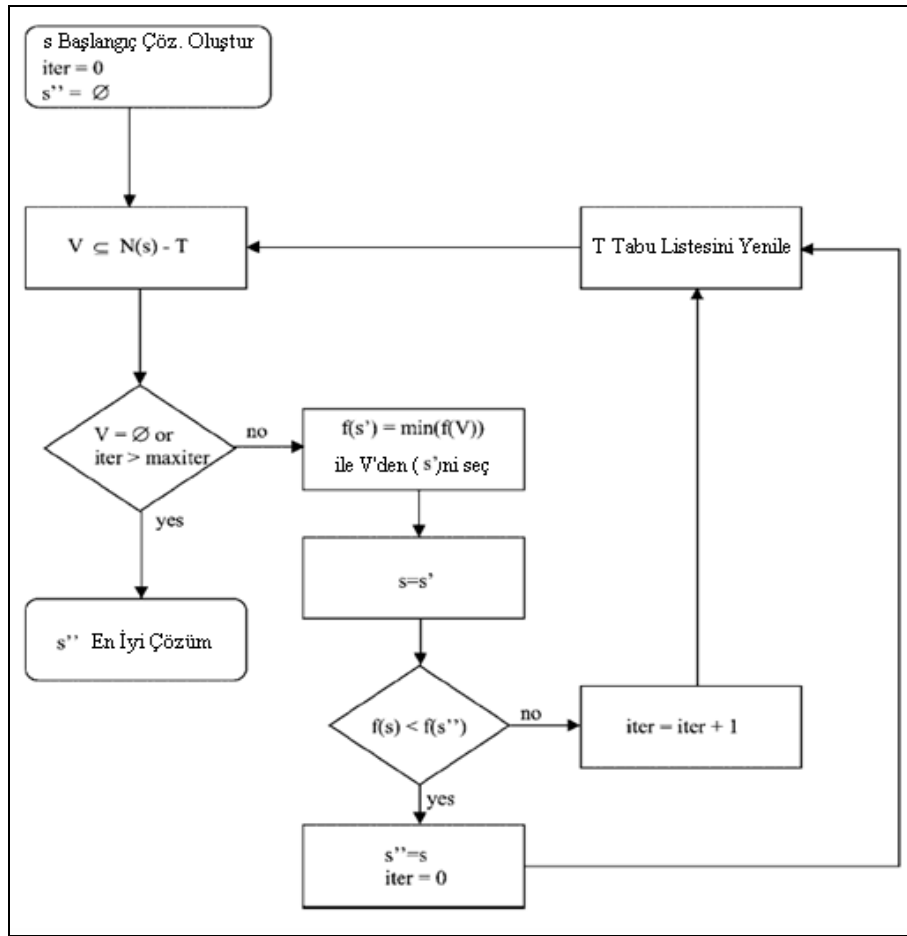
TA algoritmasının temel elemanları ve bunların işleyişi incelendiğinde;

Başlangıç çözümünün elde edilmesi genellikle rastlantısal olarak elde edilir. Bu değerleri de elde etmek için bir algoritma kullanılabilir. Hareket Mekanizması mevcut bir çözümde yapılan bir değişiklik ile yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur. Hareket mekanizması algoritmanın etkinliği açısından önemli olduğu için problemin yapısına bağlı olarak uygun bir şekilde seçilmelidir. Hafıza, TA algoritmasının temel elemanlarından birisidir. Arama boyunca ortaya çıkan

durumlar, hafızaya kaydedilir. Bu hafıza kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır. Yapılmasına izin verilmeyen hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. Bu hareketler belli bir süre sonra tabu listesinden çıkarılırlar. Algoritmada Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması TA algoritmasının etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, eğer tüm mümkün hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu süresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir. Durdurma şartı, algoritmanın, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir. Bu koşullardan bazıları,

- Seçilen bir komşu çözümün komşusunun olmaması,
- Belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması,
- Belirli bir çözüm değerine ulaşılması,
- Algoritmanın bir yerde tıkanması ve daha iyi sonuç üretememesi olarak belirlenebilir.

TA algoritmasının işleyişindeki programlama mantığı şekil-1 'de verilmiştir.



Şekil 1. Tabu Arama Algoritması Akış Şeması (Flowchart of the Tabu Search Algorithm )

Burada iter iterasyon sayısını; s geçerli çözümü; (s'), s nin tüm komşularının en düşük değerleri ile çözümünü; (s'') elde edilen en iyi çözümü; V, s çözümlerinin tüm komşularını ifade eder. Burada T Tabu Listesini; maxiter bir iyileşme olmadan izin verilen maksimum iterasyon sayısını ifade etmektedir [8].

## 2.1. Klasik Yöntem ile Sorunun Çözümü (The Solution of the problem by classical method )

Kuru tip bir trafnsformatörde toplam ağırlık, sargı ve demir nüvenin ağırlığının toplamından oluşmaktadır. Bu bölümde yapılacak olan hesaplarda üç fazlı çekirdek nüveli kuru tip transformatör esas olarak alınmıştır.

Eşitlik 1,2,3’de üç fazlı bir transformatör için S görünür gücü, S2 sekonder görünür gücü ve S1 primer görünür gücü ifade etmektedir. U primer veya sekonder sargı gerilimlerini, I ise primer veya sekonder sargılarından geçen akımları ifade etmektedir.

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \quad \text{Volt Amper (VA)} \quad (1)$$

$$S_2 = \sqrt{3} \times U_2 \times I_2 \quad \text{Volt Amper (VA)} \quad (2)$$

$$S_1 = \sqrt{3} \times U_1 \times I_1 \quad \text{Volt Amper (VA)} \quad (3)$$

Eşitlik 4’te  $q_{fe}$ , çekirdek demir kesitini, C, transformatör demir kesiti uygunluğunu, S transformatör görünür gücünü ifade eder. C değeri kuru tip transformatörler için 5,9 ile 10,6 arasında değişmektedir [3].

$$q_{fe} = C \times \sqrt{\frac{1000 \times S}{3 \times f}} \quad \text{cm}^2 \quad (4)$$

Eşitlik 5’te transformatör nüve çekirdeğini çevreleyen dairenin çapı hesaplanır. Burada D çap, pi sabit sayıyı ifade eder [3].

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{q_{fe}}{0,677 \times \Pi}} \quad \text{cm} \quad (5)$$

Eşitlik 6 ve 7 ’de her bir bacak için gerekli olan sarım sayısı bulunur. Bu eşitliklerde 4,44 sabit sayıyı,  $\theta$  çekirdek kesitinden geçen toplam manyetik akıyı ifade eder [3].

$$w_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3} \times 4,44 \times f \times \theta \times 10^{-8}} \quad \text{sipir} \quad (6)$$

$$w_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3} \times 4,44 \times f \times \theta \times 10^{-8}} \quad \text{sipir} \quad (7)$$

Eşitlik 8-9’daki  $q_1$ ,  $q_2$  transformatörün primer ve sekonder sargı kesitlerini, s ise akım yoğunluğunu ifade eder [3].

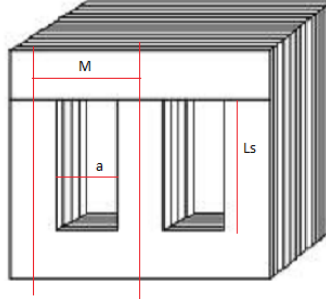
$$q_1 = \frac{I_1}{s} \quad \text{mm}^2 \quad (8)$$

$$q_2 = \frac{I_2}{s} \quad \text{mm}^2 \quad (9)$$

Eşitlik 10 transformatör pencere veya bacak yüksekliğini bulmak içindir. Burada As özgül amper sarımdır ve Tablo 1’ den elde edilir [3]. Eşitlik 10’daki  $L_s$  primer ve sekonder sargı yüksekliğini ifade eder ancak transformatör boyunduruğu ile sargı arasına koruyucu takozlar yerleştirileceği varsayılırsa

yaklaşık olarak 1'er cm'lik mesafenin  $L_s$  değerinden çıkarılıp sargı yüksekliğinin  $L$  ile ifade edilmesi daha doğru olacaktır.

$$L_s = \frac{2 \times w_1 \times I_1}{A_s} \quad cm \quad (10)$$



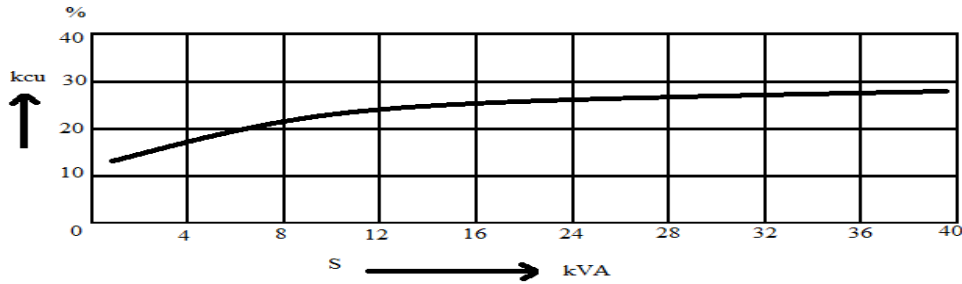
Şekil 2. Kuru tip transformatör nüvesi (Dry Type Transformator core)

Tablo 1.  $A_s$  değerleri ( $A_s$  Values)

S (kVA)	0,5	1	2	4	8	10	15	20	25	30
$A_s$ (A/cm)	80	90	100	110	123	127	135	142	147	150

Tablo 2. Sargılar için akım yoğunluğu (For Current Density)

Soğutma Şekli	Akım Yoğunluğu (s)
Hava ile soğutulan transformatörlerde	1.7-2.0
Kendi kendine soğutulan yağlı transformatörlerde	2.2-3.5
Sun' i olarak soğutulan transformatörlerde	3.5-5.0



Şekil 3. Pencere bakır doldurma faktörü (Copper Filling Factor Of The Window)

Eşitlik 11'de  $a$  ifadesi, çekirdek tipi transformatör için pencere genişliğidir. Burada  $kcu$  pencere bakır doldurma faktörüdür Şekil 3'den elde edilir.

$$a = 4 \times \frac{w_1 \times q_1}{(10 \times kcu \times L_s)} \quad cm \quad (11)$$

Eşitlik 12, 13 ve 14 kullanılarak ortalama sargı uzunlukları elde edilir. Bu eşitlikte  $a_2$  sekonder sargının yüksekliğidir [5].

$$Lm_1 = \pi \times (D + 3.32) \quad cm \quad (12)$$

$$Lm_2 = 10^{-2} \times \pi(10 \times D + 8 + a_2) \quad cm \quad (13)$$

$$M = 0,851 \cdot D + a \quad (14)$$

Transformatörün her üç bacağı için primer ve sekonder bakır ağırlığı eşitlik 15 ve 16'da belirtilmiştir.

∴:Kuru Tip Transformatörün Tabu Arama Algoritması Yöntemi İle Ağırlık Optimizasyonu∴:

$$Gcu_1 = 3 \times \gamma_{cu} \times w_1 \times q_1 \times Lm_1 \times 10^{-5} \quad kg \quad (15)$$

$$Gcu_2 = 3 \times \gamma_{cu} \times w_2 \times q_2 \times Lm_2 \times 10^{-5} \quad kg \quad (16)$$

Bu eşitliklerde yer alan  $\gamma_{cu}$ , bakır özgül ağırlığıdır ve  $75 \text{ } ^\circ\text{C}$  lik sıcaklık derecesinde 8,9 değerini alır. Ayrıca eşitlik 17 ve 18 'de bakır sargı direncini elde edilirken de kullanılacak olan  $\rho = 0.0216 \text{ mm}^2/\text{m}$  alınacaktır [3]. Bakır kayıplarını hesaplamak için eşitlik 17 ve 18 'de hesaplanan  $r_1$  ve  $r_2$  değerleri eşitlik 19 ve 20' de yerlerine yazılır.

$$r_1 = \rho \frac{Lm_1 \times w_1}{q_1} \quad ohm \quad (17)$$

$$r_2 = \rho \frac{Lm_2 \times w_2}{q_2} \quad ohm \quad (18)$$

$$Pcu_1 = 3 \times I_1^2 \times r_1 \quad watt \quad (19)$$

Eşitlik 20'deki k değeri, lehim yerlerinden ve akım yığılmasından ileri gelen kayıpları ifade eder ve ihmal edilebilir bir değerdir. Bulunan değerler eşitlik 21'deki gibi toplanarak üç fazlı kuru tip çekirdek nüveli bir transformatördeki toplam bakır kaybı elde edilir [3].

$$Pcu_2 = 3 \times I_2^2 \times r_2 \times k \quad watt \quad (20)$$

$$Pcu = Pcu_1 + Pcu_2 \quad watt \quad (21)$$

Transformatördeki diğer kayıp güç ise demir nüve üzerinden meydana gelmektedir. Demir kayıplarını elde etmek için demir ağırlığının hesaplanması gerekmektedir. Demir ağırlığı transformatörün boyunduruk ve bacak ağırlığı olarak ifade edilir. Eşitlik 22'deki  $Gfe_b$  transformatör üç adet bacağının ağırlığıdır. Bu değer eşitlik 23'te yerine koyulursa her üç bacağın demir kaybı elde edilmiş olur.

$$Gfe_b = 3 \times \gamma_{Fe} \times q_{fe} \times Ls \times 10^{-3} \quad kg \quad (22)$$

$$Pfe_b = Gfe_b \times p_{fe_b} \quad watt \quad (23)$$

Eşitlik 22'de yer alan  $\gamma_{Fe}$ , demir özgül ağırlığı olup 7,6 değerini alır.  $Gfe_b$  ise transformatör bacak ağırlığıdır. Diğer ağırlık ise transformatör boyunduruk ağırlığıdır.  $Gfe_j$  olarak eşitlik 24'te ifade edilmiştir [3].

$$G_{fej} = 3 \times \gamma_{fej} \times q_{fej} \times 2 \times (2 \times M + 0,8 \times D) \times 10^{-3} \quad kg \quad (24)$$

Eşitlik 25'te a pencere genişliği,  $b_{bacak}$  ise transformatör pencere yüksekliğini  $Ls$  ifade eder.

$$p_{fej} = \epsilon_2 \times p_{10} \times \left( \frac{Bj}{10000} \right)^2 \quad watt / kg \text{ dır.} \quad (25)$$

Eşitlik 25 'teki  $p_{fej}$  özgül boyunduruk demir kaybı,  $\epsilon_2$  ilave kayıp faktörü,  $Bj$  boyunduruk bacak endüksiyonudur. Bu eşitlik 26'da yerine yazıldığında transformatör boyunduruğunda oluşan demir kaybı hesaplanır.

$$Pfej = Gfej \times p_{fej} \quad watt \quad (26)$$

Elde edilen eşitlik 22 ve eşitlik 24 toplandığında transformatör demir ağırlığı elde edilmiş olur. Buda eşitlik 27'de yer almaktadır.

$$G_{fe} = G_{feb} + G_{fej} \text{ kg} \quad (27)$$

Bu toplamı denklem 28'de yerine yazıldığında watt cinsinden transformatör demir kaybı elde edilir.

$$P_{Fekayıp} = P_{feb} + P_{fej} \text{ watt} \quad (28)$$

Transformatörün toplam ağırlığı, primer sargı ağırlığının, sekonder sargı ağırlığının, boyunduruk ağırlığı ile bacak ağırlığının toplamına eşittir. Bu eşitlik denklem 29'de kısaca ifade edilmiştir.

$$G_{toplam} = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{feb} + G_{fej} \text{ kg} \quad (29)$$

Transformatördeki toplam kayıp, bakır kaybı ve demir kaybının toplanmasıyla denklem 30'dan elde edilir.

$$P_{kayıp} = P_{cu} + P_{Fekayıp} \text{ watt} \quad (30)$$

Hesabı tamamlanan transformatörün verimi ise yüzde olarak transformatörden alınan gücün transformatöre verilen güce oranlanması ile elde edilir. Bu oran denklem 31'de ifade edilmiştir [3].

$$Verim = \frac{(100 \times S2)}{S2 + P_{cu} + P_{fe}} \quad (31)$$

Elde edilen eşitlikler, 1,5 kVA'lık kuru tip bir transformatörün hesaplamasına uygulandığında elde edilen değerler Tablo 3'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

**Tablo 3.** Klasik Hesaplama Yöntemi Sonuçları (The Classical Method Results)

KLASİK HESAPLAMA YÖNTEMİ SONUÇLARI			
Değişkenler	Sembol	Birim	Değer
Demir kesiti uygunluk faktörü	(C)	cm <sup>2</sup> *joule <sup>-1/2</sup>	9,48
Sargılardaki akım yoğunluğu	(j)	A/mm <sup>2</sup>	2,2
Pencere genişliği	(a)	mm	58
Primer sargı kesiti	(q1)	cm <sup>2</sup>	0,018
Sekonder sargı kesiti	(q2)	cm <sup>2</sup>	0,036
Demir çekirdeğin çapı	(D)	cm	7,5
Primer sargı uzunluğu	(lm1)	cm	35
Sekonder sargı uzunluğu	(lm2)	cm	26
Primer sargı ağırlığı	Gcu1	kg	2,91
Sekonder sargı ağırlığı	Gcu2	kg	2,16
Transformatör bacak ağırlığı	Gfeb	kg	9,92
Transformatör boyunduruk ağırlığı	Gfej	kg	15,85
Transformatörün toplam ağırlığı	Gtoplam	kg	30,84
Verim	Ver	%	93

## 2.2. Tabu Arama Algoritması Yöntemiyle Problemin Çözümü (The Solution of the problem by Tabu Search Algorithm)

1,5 kVA'lık kuru tip bir transformatörün hesaplamak için, sezgisel yöntemlerden Tabu Arama algoritması söz konusu probleme uygulanmıştır. Algoritmada değişken olarak,  $C$  transformatör demir kesiti uygunluğu ve  $s$  akım yoğunluğu alınmıştır [3]. Değişkenlerin bu sınır değerleri transformatörlerin normal çalışma şartlarında alabilecekleri en alt ve üst değerler olarak belirlenir, bu değerler ise;

$5,9 < C < 10,6$  ve  $1,7 < s < 3,5$  olarak alınır.

Algoritmada amaç fonksiyonu olarak transformatörün ağırlığını veren eşitlik olan 29 nolu denklem alınır. Bu durumda amaç fonksiyonu eşitliği;

$$AF = Gcu_1 + Gcu_2 + Gfeb + Gfej \text{ olarak alınır.}$$

Algoritma çalışırken belli şartların da sağlanması istenmektedir. Bu şartlar kısıt olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada kısıt olarak transformatörün verimi ve trafonun pencere yüksekliğinin pencere genişliğine oranı olarak alınmıştır [3]. Bu kısıtları sınır değerleri ise;

$$0,9 < verim < 1 \quad \text{ve} \quad 2 < L/a < 4,5 \quad \text{olarak alınmıştır.}$$

Algoritmada, bir hareketin ne kadar süreyle tabu listesinde kalacağı belirten liste, tabu listesidir. Tabu listesinin uzunluğu önemlidir, eğer liste uzun olursa çoğu hareketler tabu olacağından algoritmanın hareket kabiliyeti azalır. Tersine kısa seçilirse lokal değerlere yakalanma riski artar. Burada tabu listesi uzunluğu sabit değer 100 olarak alınmıştır. İterasyon sayısı 1000, tabu yenileme, aspirasyon kriteri ise iterasyona bağlı olarak alınmıştır. Algoritmada hafıza olarak kısa dönemli hafıza kullanılmıştır.

## 3. BULGULAR (FINDINGS)

1,5 kVA'lık kuru tip bir transformatörün hesaplamak için, sezgisel yöntemlerden Tabu Arama algoritması uygulandığında elde edilen değerler Tablo 4'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

**Tablo 4.** Tabu Arama Algoritması Sonuçları (Tabu Search Algorithm Results)

TABU ARAMA ALGORİTMASI SONUÇLARI			
Değişkenler	Sembol	Birim	Tabu Arama
Demir kesiti uygunluk faktörü	(C)	$\text{cm}^2 \cdot \text{joule}^{-1/2}$	6,72
Sargılardaki akım yoğunluğu	(j)	$\text{A/mm}^2$	2,8
Pencere genişliği	(a)	mm	45
Primer sargı kesiti	(q1)	$\text{cm}^2$	0,014
Sekonder sargı kesiti	(q2)	$\text{cm}^2$	0,028
Demir çekirdeğin çapı	(D)	cm	6,3
Primer sargı uzunluğu	(lm1)	cm	246
Sekonder sargı uzunluğu	(lm2)	cm	123
Primer sargı ağırlığı	Gcu1	kg	2,87
Sekonder sargı ağırlığı	Gcu2	kg	2,04
Transformatör bacak ağırlığı	Gfeb	kg	9,848
Transformatör boyunduruk ağırlığı	Gfej	kg	8,79
Transformatörün toplam ağırlığı	Gtoplam	kg	23,55
Verim	Ver	%	92,3

## 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Transformatöre uygulanan tabu arama algoritması ile elde edilen sonuçlar Tablo 5'te klasik yöntemle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Transformatöre uygulanan Tabu Arama algoritması yönteminin klasik hesap yöntemine göre daha avantajlı olduğu Tablo 5'teki karşılaştırmadan

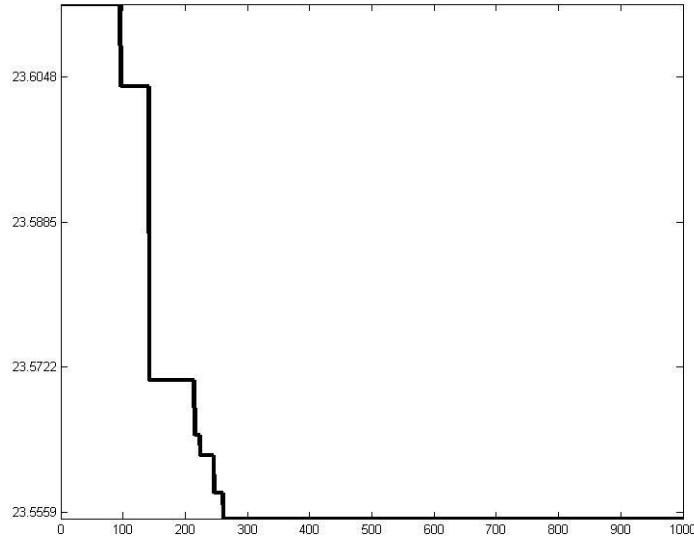


anlaşılabilir. Görüldüğü gibi klasik yöntemle göre hem 7 kg civarında daha az demir çekirdek kullanılarak maliyet düşürülmüş oluyor hem de fiziksel olarak transformatör küçülmüş oluyor. Ayrıca verim farkı da bu çalışmanın amacına ulaştığını ifade etmektedir.

**Tablo 5.** Tabu Arama Algoritması ve Klasik Yöntemin Karşılaştırılması (Comparison Of Tabu Search Algorithm and The Classical Method)

TABU VE KLASİK METODUN KARŞILAŞTIRMASI				
Değişkenler	Sembol	Birim	Klasik Yöntem	Tabu Arama
Demir kesiti uygunluk faktörü	(C)	cm <sup>2</sup> *joule-1/2	9,48	6,72
Sargılardaki akım yoğunluğu	(j)	A/mm <sup>2</sup>	2,2	2,8
Pencere genişliği	(a)	mm	58	45
Primer sargı kesiti	(q1)	cm <sup>2</sup>	0,018	0,014
Sekonder sargı kesiti	(q2)	cm <sup>2</sup>	0,036	0,028
Demir çekirdeğin çapı	(D)	cm	7,5	6,3
Primer sargı uzunluğu	(lm1)	cm	35	246
Sekonder sargı uzunluğu	(lm2)	cm	26	123
Primer sargı ağırlığı	Gcu1	kg	2,91	2,87
Sekonder sargı ağırlığı	Gcu2	kg	2,16	2,04
Transformatör bacak ağırlığı	Gfeb	kg	9,92	9,848
Transformatör boyunduruk ağırlığı	Gfej	kg	15,85	8,79
Transformatörün toplam ağırlığı	Gtoplam	kg	30,84	23,55
Verim	Ver	%	93	92,3

Algoritma sonucunda iterasyona bağlı amaç fonksiyonun veya bir başka ifadeyle transformatör ağırlığının değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Elde edilen grafikten de görüleceği üzere 23,55 kg'lık transformatör ağırlığı en uygun değer olarak karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 4.** Transformatör ağırlığının Tabu Arama Algoritması ile değişimi (The Transformer Weight Curve)

Kuru tip transformatörler, Sezgisel Algoritmalarından, Tabu Arama algoritması kullanılarak optimize edildiklerinde, daha az nüve ve bu sayede daha az demir kaybı olarak, enerji ve maliyet tasarrufu sağladıkları bu çalışma ile görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda yüksek güçlü kuru tip transformatörlerin Tabu Arama algoritması kullanılarak optimizasyonuna yönelik araştırmalar yapılabilir. Ayrıca aynı yöntemle yağlı tipte transformatörler ele alınarak optimizasyon çalışması yapılabilir.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Aybar, S., (2008). *Statik Elektrik Makinelerinde Farklı Oranlarda Silisyum İçeren Saclar Kullanılarak Makinenin Performans Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2]. Belgin, Ö., (2007). *Haberleşme Şebekelerinin Tasarımında Sezgisel Yaklaşımlar: Değişken Komşu Arama, Kuş Sürüsü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3]. Boduroğlu, T., (1981). Elektrik makineleri Dersleri Cilt 1, *Transformatörler*, Beta Basım, İstanbul.
- [4]. Çapanoğlu S., (2006). *Ferrit Çekirdekli Trafo Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5]. Çelebi, M., (2007). *Genetik Algoritma İle Yağlı Bir Trafonun Maliyet Optimizasyonu*, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt (1) ,41-48.
- [6]. Demir H., (2011). *Kuru Tip Transformatörün Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi İle Ağırlık Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7]. Glover F.,(1986). Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, *Computers and Operations Research*,5:533-549.
- [8]. Hageman J. A, Streppel M., Wehrens R. and Buydens L.M.C (2003). Wavelength selection with Tabu Search, *JOURNAL OF CHEMOMETRICS*, 427–437.
- [9]. Hansen P.,(1986). The steepest ascent mildest descent heuristic for combinatorial programming, *Congress on Numerical Methods in Combinatorial Optimization*, Italy.
- [10]. Mori H. and Usami, (1998). Unit Commitment Using Tabu search with Restricted Neighborhood, *Proc. of ISAP'96*, No.0221, Orlando, Florida, USA, 422-427.
- [11]. Mori H., Usami, (1996). Unit Commitment Using Tabu search with Restricted Neighborhood, *Proc. Of ISAP'96*, No.0221, May, Orlando, Florida,USA, 422-427.
- [12]. Musirin I, Rahman Tka, (2002a). Novel fast voltage stability index (FVSI) for voltage stability analysis in power transmission system. *IEEE International Student Conference of Research and Development SCORED*, 265-268.
- [13]. Sarıkaya, T., (2006). *Küçük Güçlü Toroidsel Transformatör Nüvelerinin Optimal Tasarımında Genetik Algoritmaların Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14]. Tosun S., Yalçın M.A. ve Öztürk A.,(2010). Elektrik Güç Sistemlerinde Kritik Bara Değerlerinin Tabu Arama Algoritması İle Belirlenmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Kayseri & Cappadocia, TURKEY, 153-157.
- [15]. Tosun S., Öztürk A., ve Yalçın M.A., (2010). Investigation of critical bus values in electric power system using simulated annealing and Tabu search algorithms, *Scientific Research and Essays*, 5 (18), 2673-2680.
- [16]. Yalçınöz T., Yavuzer T. ve Altun H., (2002). Tabu araştırması uygulanarak ekonomik yük dağıtım problemi çözümünü, *Eleco'2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Elektrik-Bilgisayar*, 30-34.
- [17]. Yavuzer T., Yalçınöz T.,(2003). An application of tabu search to economic dispatch problem, *UPEC 2003 Universities Power Engineering Conference*, Thessaloniki, Greece, 445-448.