

Genetik Algoritma ile Kuru bir Trafonun Maliyet Optimizasyonu

Mehmed Çelebi¹

¹El-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Celal Bayar Üniversitesi

mehmed.celebi@bayar.edu.tr

Özet

Bu çalışmada daha önce analitik yöntemle tasarımı yapılmış 1.5 kVA'lık bir trafo (Boduroğlu, 1988) Genetik Algoritma (GA) ile maliyet optimizasyonu yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Trafo maliyeti açısından ağırlık önemli bir kriter olduğundan ağırlık minimize edilmek suretiyle demir kesiti azaltılmış olup, maliyet düşürülmeye çalışılmıştır. Buna bağlı olarak trafo matematiksel modeli çıkarılıp değişken tasarım parametreleri elde edilip, Genetik Algoritma uyarlanmıştır. GA uygulaması esnasında rasgele ve sınırlı olmak üzere iki farklı mutasyon operatörü kullanılmış, elde edilen farklı sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar 300 kere tekrar edilip ortalamaları alınmış ve bu şekilde daha sağlıklı bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, ağırlıkta yaklaşık olarak % 20 ile 30 civarında bir azalma gözlenmiştir.

Abstract

In this paper, the cost optimization of a 1.5 kVA dry transformer by Genetic Algorithm is proposed which it is designed previously (Boduroğlu, 1988) and the results are analyzed. The weight of a transformer is one of the basic criteria relating to the transformer cost, the cross section area of iron is reduced during the minimization process. The mathematical model of the transformer is proposed relating to the design parameters, and this model is adapted to GA simulation. Two different mutation operators, random and partial mutation operators are applied, and the results are compared.

1. Giriş

Mühendislik uygulamalarında optimizasyonun önemli bir yeri olmasına paralel, bilgisayarın ve uygulamalarının yaygınlaşmasıyla, analitik ve sayısal yöntemler yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, disiplinler arası yaklaşma ile birlikte, tıp bilim dallarının mühendislik alanında sayısal uygulamaları görülebilir. Buna örnek olarak yapay sinir ağları ve genetik algoritma verilebilir. Yapay sinir ağları, insan anatomisindeki sinir ağlarının ve işleyişinin, algoritmik olarak programlanması ve derlenmesidir. Disiplinler arası yaklaşma sonucu ortaya çıkan bir başka algoritma da 1970'lerde John Holland tarafından ortaya atılan ve öğrencileri tarafından geliştirilen Genetik Algoritmadır. GA'lar biyolojik süreci modelleyerek

fonksiyonları optimize eden evrim algoritmalarıdır ve temelini ise popülasyon genetiği oluşturur [1].

GA'nın elektrik makinelerine uygulanması pek de yeni değildir. Bu konuda oldukça fazla sayıda yayın yapılmıştır, bunlardan birkaç tanesi [2] ile [7] nolu kaynaklar arasında sıralanmıştır. Bu çalışma daha önce sunulan çıkık kutuplu senkron makinenin maliyet optimizasyonu ile ilgili yayının [5] devamı niteliğinde olup, evvelce tasarımı yapılmış 1.5 kVA'lık bir yağlı trafo [8] GA ile verim ve maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra elde edilen simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

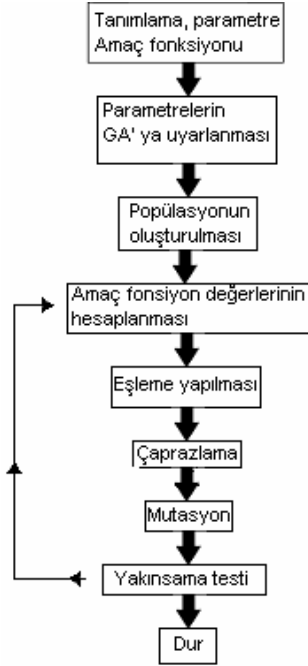
Trafo maliyeti açısından ağırlık önemli bir kriter olduğundan ağırlık minimize edilmek suretiyle demir kesiti azaltılmış olup, maliyet düşürülmeye çalışılmıştır. Buna bağlı olarak trafo matematiksel modeli çıkarılıp değişken tasarım parametreleri elde edilip, GA'ya uyarlanmıştır. GA uygulaması esnasında rasgele ve sınırlı olmak üzere iki farklı mutasyon operatörü kullanılmış, elde edilen farklı sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Genetik Algoritmalar

GA, biyolojik süreci modelleyerek fonksiyonları optimize eden evrim algoritmalarıdır. Her bir ferdi, kromozomlar şeklinde temsil eden popülasyonlardan oluşur. Popülasyonun uygunluğu belirli kurallar dahilinde maksimize veya minimize edilir. Bu metot uzun çalışmaların neticesinde ilk defa John Holland (1975) tarafından uygulanmaya başlandı ve onun öğrencisi olan David Goldberg popüler oldu. David Goldberg tezinde; gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemin çözümünü GA ile gerçekleştirdi. GA'nın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Sürekli ve ayrık parametreleri optimize eder.
- Türevsel bilgiler gerekmez.
- Maliyet fonksiyonu geniş bir spektrumda araştırır.
- Çok sayıda parametrelerle çalışma imkanı vardır.
- Paralel bilgisayarlar kullanılarak çalıştırılabilir.
- Global optimum değeri bulabilir.
- Birden fazla parametrelerin optimum çözümlerini elde edebilir.

GA' ların temel olarak izledikleri işlem sırası şu şekilde özetlenebilir:



Şekil 1: GA' nın işlem sırası.

GA parametreleri biyolojideki genleri temsil ederken, parametrelerin toplu kümesi de kromozomu oluşturmaktadır. Her yeni nesil rasgele bilgi değişimi ile oluşturulan, diziler içinde hayatta kalanların birleştirilmesi ile elde edilir. GA ikili veya gerçek sayılarla uygulanabilir. Bu çalışmada gerçek sayılarla simüle edilmiştir.

3. GA' nın Trafo Tasarımına Uygulanması

GA' da ilk bulunması gereken sisteme ait bir amaç fonksiyonu ve ona bağlı sınır şartlarıdır. Bu matematiksel bağıntı elde edildikten sonra, sınır şartları ile birlikte algoritmaya uyarlanır. Bu çalışmada pek tabi olarak girişe ait parametreler sabit olup tasarım kriterlerinde sınır şartları tespit edilecektir.

Bütün elektrik makineleri tasarımlarında maliyet en önemli faktörlerden biridir ve kullanılan malzeme yani ağırlık ile birebir ilişkisi vardır. Dolayısıyla, matematiksel modelimiz ağırlık fonksiyonu şeklinde elde edilip sınır şartları vs. ona göre tespit edilecektir.

Öncelikle trafonun görünür gücüne bağlı şekil 2 ve 3' teki karakteristiklerden [8] trafonun bakır ve demir kayıpları elde edilir. Bu değerler elde edildikten sonra kayıp oranı ξ ,

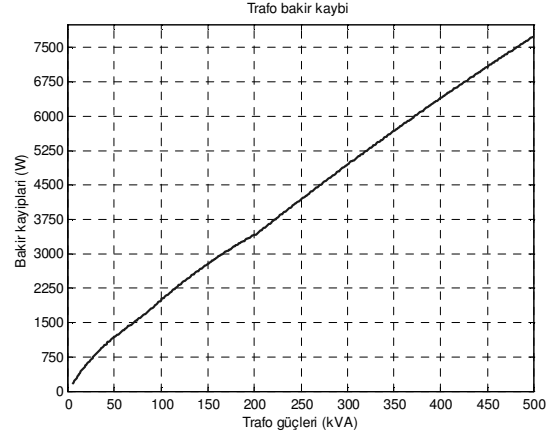
$$\xi = \frac{P_{cu}}{P_{fe}} \quad (1)$$

olur. Öte yandan özgül bakır kaybı,

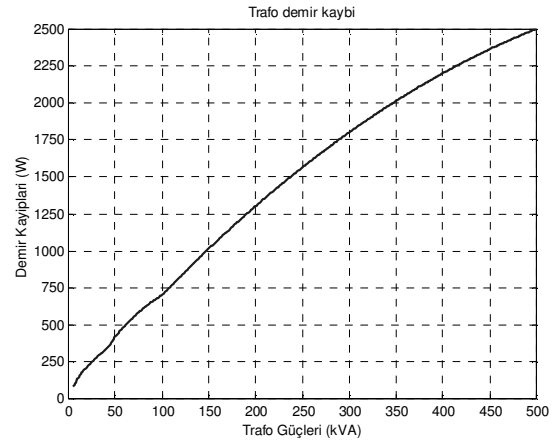
$$p_{cu} = 2.7s^2 \text{ (Watt/kg)} \quad (2)$$

dır. Burada s , akım yoğunluğudur ve 2.2 ile 3.5 A/cm² sınırları arasında değişmelidir [8]. Dolayısıyla GA optimizasyonu uygulamasındaki ilk sınır şartımız tanımlanmış olur.

$$2.2 < s < 3.5 \text{ (A/cm}^2\text{)} \quad (3)$$



Şekil 2: Trafonun görünür gücüne bağlı olarak bakır kayıpları.



Şekil 3: Trafonun görünür gücüne bağlı olarak demir kayıpları.

Özgül demir kayıpları ise,

$$p_{fe} = p_{10}\xi_2 \left(\frac{B}{10^4} \right)^2 \text{ (Watt / kg)} \quad (4)$$

dir ve burada, $p_{10} = 1.3$; kayıp faktörü, $\xi_2 = 1.15$; saçların işlenmesi sonucunda husule gelen ilave kayıp faktörü, B = yağlı trafolarla çekirdek endüksiyonudur (gauss). Trafo tasarımında önemli hesaplardan birisi de demir kesitinin elde edilmesidir. Demir kesiti aşağıdaki ifadede elde edilir [9].

$$q_{fe} = C \sqrt{\frac{10^3 S}{3f}} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (5)$$

Burada, q_{fe} demir kesiti (cm^2), f , frekanstır. C ise trafo demir kesiti uygunluk faktörüdür ve hava ile soğuyan bir trafo için aşağıdaki sınırlar arasında alınabilir:

$$5.9 < C < 10.6 \text{ (cm}^2\text{joule}^{-1/2}\text{)} \quad (6)$$

Dolayısıyla GA için ikinci sınır şartı da tanımlanmış olur. Demir çekirdeğinin çapı D ,

$$D = \sqrt{\frac{4q_{fe}}{0.677\pi}} \text{ (cm)} \quad (7)$$

dır. Boyunduruk bacak kesiti q_{fej} , bacak kesiti q_{fe} ' den % 20 daha fazla olması gerektiğinden,

$$q_{fej} = q_{fe} / 1.2 \text{ (cm}^2\text{)} \quad (8)$$

olur. Burada boyunduruk bacak endüksiyonu B_j , boyunduruk endüksiyonundan % 20 daha fazla olması gerektiğinden,

$$B_j = B / 1.2 \text{ (gauss)} \quad (9)$$

dur. Alt gerilim (ikincil) ve üst gerilim sargısı (birincil) sarım sayısı sırasıyla 10 ve 11 nolu eşitliklerde gösterilmiştir.

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

$$w_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3} * 4.44 f . \phi . 10^{-8}} \quad (11)$$

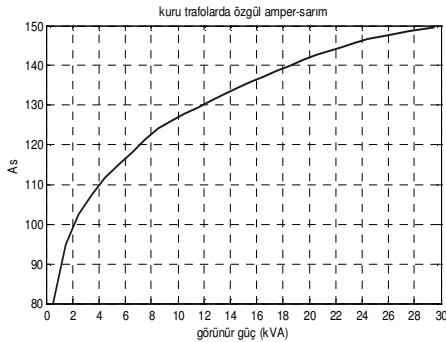
Alt ve üst gerilim sargısı sargı kesitleri sırasıyla,

$$q_2 = \frac{I_2}{s} \quad q_1 = \frac{I_1}{s} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (12)$$

olur. Pencere veya bacak yüksekliği,

$$L_s = 2 \frac{w_1 I_1}{A_s} \text{ (mm)} \quad (13)$$

dir. Buradaki A_s özgül amper-sarım değeri aşağıdaki karakteristikten elde edilir.



Şekil 3: Kuru Trafolarda özgül amper-sarım ilişkini gösteren karakteristik.

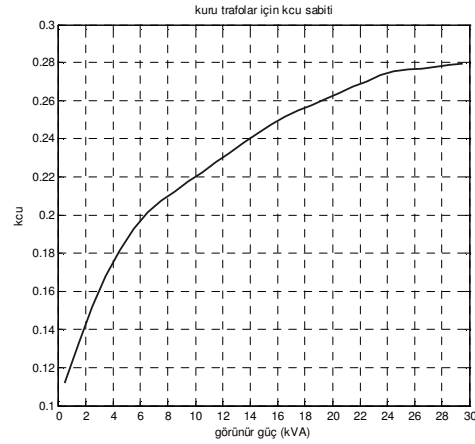
Takoz mesafesini hesaba katarsak sargı yüksekliği,

$$L = L_s - 2 \text{ (cm)} \quad (14)$$

olur. Trafodaki pencere genişliği a ,

$$a = 0.04 \frac{w_2 q_2}{0.1 k_{cu} L_s} \text{ (cm)} \quad (15)$$

olduğuna göre, pencere bakır doldurma faktörü k_{cu} aşağıdaki karakteristikten bulunur.



Şekil 4: Kuru Trafolarda pencere doldurma faktörüne ilişkin karakteristik.

Alt ve üst gerilim sargılarının ortalama uzunlukları,

$$l_{m2} = 0.01 * \pi(10 * D + 8 + a_2) \text{ (cm)} \quad (16)$$

$$l_{m1} = \pi(D + 2 * 0.4 + 0.01 * 12.2 + 2 * 1.2)$$

dir, a_2 = alt gerilim sargısının radyal yüksekliğidir (mm). Son olarak artık alt ve üst gerilim sargıları bakır ağırlıklarını bulunabilir,

$$G_{cu2} = 3.10^{-3} \gamma_{cu} w_2 q_2 l_{m2} \text{ (kg)} \quad (17)$$

$$G_{cu1} = 3.10^{-5} \gamma_{cu} w_1 q_1 l_{m1}$$

dir. Burada, $\gamma_{cu} = 8.9$, bakır özgül ağırlığıdır. Trafo maliyet hesabına ait olarak bakır ağırlıkları bulunmuş olur. Bakır kayıplarının elde edilmesi için, 75 °C' ye indirgenmiş alt ve üst gerilim sargısı dirençleri sırasıyla 18 nolu eşitlikte gösterilmiştir.

$$r_1 = \rho_0 \frac{l_{m1} w_1}{q_1} \quad r_2 = \rho_0 \frac{l_{m2} w_2}{q_2} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (18)$$

Daha sonra at ve üst gerilim sargıları bakır kayıpları pek tabi olarak,

$$P_{cu2} = 3 I_2^2 r_2 k \quad P_{cu1} = 3 I_1^2 r_1 \text{ (W)} \quad (19)$$

olur. Burada, k , akım yığılmalarından alt gerilim sargısında oluşan direnç artma faktörüdür. Toplam bakır kaybı ise,

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} \text{ (W)} \quad (20)$$

Toplam bakır ağırlığı 17 nolu eşitlikte elde edildikten sonra, toplam boyunduruk demir ağırlığı aşağıdaki gibidir.

$$G_{fej} = 10^{-3} \gamma_{fe} (0.3L_s q_{fe} + 2(2M + 0.8D)q_{fej}) \text{ (kg)} \quad (21)$$

Burada, $\gamma_{fe} = 7.6$; demir özgül ağırlığı, $M = 0.851D + 0.1L_s$ dir. Bacaktaki özgül demir kaybı,

$$p_{feb} = p_{10} \xi_2 (10^{-5} B)^2 \text{ (Watt/kg)} \quad (22)$$

dır. Burada, $\xi_2 = 1.15$; saçların işlenmesi sırasında husule gelen ilave kayıp faktörü, p_{10} , kayıp faktörüdür. Bu durumda her üç bacağın ağırlığı,

$$G_{feb} = 3 \cdot 10^{-4} \gamma_{fe} q_{fe} L_s \text{ (kg)} \quad (23)$$

olursa, her üç bacağın demir kaybı,

$$P_{feb} = G_{feb} p_{feb} \text{ (W)} \quad (24)$$

dır. Özgül boyunduruk demir kaybı ise,

$$p_{fej} = p_{10} \xi_2 (10^{-4} B_j)^2 \text{ (W)} \quad (25)$$

şeklindedir. Bütün boyunduruktaki demir kaybı,

$$P_{fej} = G_{fej} p_{fej} \text{ (W)} \quad (26)$$

ve demir gövdede meydana gelen toplam demir kaybı son olarak,

$$P_{fe} = P_{feb} + P_{fej} \text{ (W)} \quad (27)$$

dır. Trafonun toplam kaybı ise,

$$P_k = P_{cu} + P_{fe} \text{ (W)} \quad (28)$$

dır. GA uygulaması birincil ve ikincil maliyet fonksiyonlarımız olan trafonun verimi ve toplam ağırlığı sırasıyla 29 ve 30 nolu eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\text{verim} = \frac{S}{S + 10^{-3} P_k} \quad (29)$$

$$G_{top} = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{fej} + G_{feb} \text{ (kg)} \quad (30)$$

Sonuç olarak 3, 6, 29 ve 30 nolu eşitlikleri kullanarak GA için uygulanacak matematiksel model 31 nolu eşitlikte gösterilmiştir.

$$x_1 = s; x_2 = C;$$

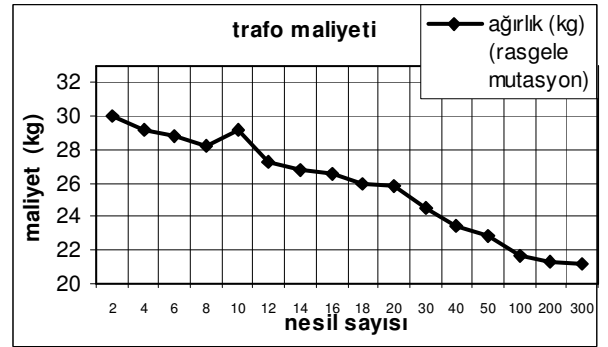
$$X = [x_1; x_2] \in \begin{cases} 2.2 < x_1 < 3.5 \\ 5.9 < x_2 < 10.6 \end{cases} \quad (31)$$

$$M(X) = \begin{cases} \eta(X) = \frac{S}{S + 10^{-3} P_k} \\ G(X) = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{fej} + G_{feb} \end{cases}$$

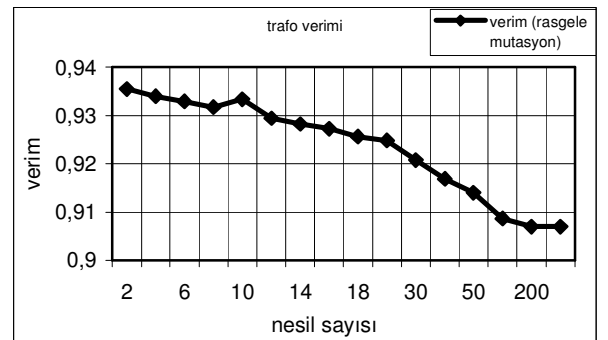
şeklinde elde edilmiş olur. Burada $M(X)$, verim ve ağırlıktan oluşan maliyet fonksiyonudur.

4. Simülasyon Sonuçları

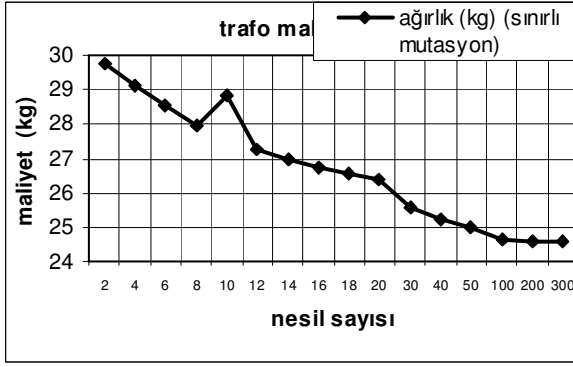
Simülasyonlar 300. nesil sayısına kadar yapılmış olup, daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için her bir nesil sayısında 300 yüz kere simüle edilmiş ve ortalama değerleri şekil 5-8 arasında gösterilmiştir. Maliyet fonksiyonumuz trafonun ağırlığı ve veriminden oluştuğu için ağırlık (maliyet) ve verim sonuçları ayrı ayrı gösterilmektedir. Şekil 5 ve 6' da rasgele mutasyon işlemi, şekil 7 ve 8' de ise sınırlı mutasyon, yani kromozomun bir değişkeni mutasyona uğratılmıştır. Şekillerde görüldüğü gibi trafonun ağırlığı nesil sayısı artışına bağlı düşmekte, dolayısıyla maliyetinde azalma olmaktadır. Bunun yanında, verimlerde çok küçük miktarda azalma gözlenmektedir. Fakat bu azalma binde 1 ile 3 civarında değiştiği için kayda değer değildir.



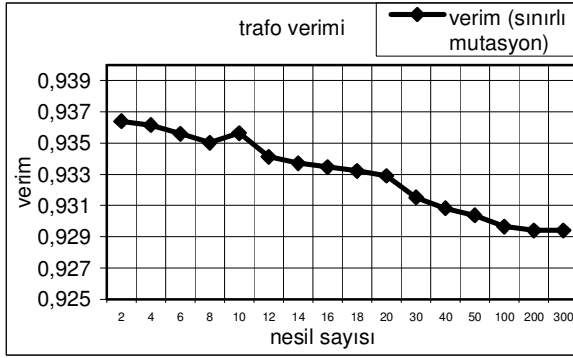
Şekil 5: Trafo ağırlığının nesil sayısına bağlı değişimi (rasgele mutasyon).



Şekil 6: Trafo veriminin nesil sayısına bağlı değişimi (rasgele mutasyon).

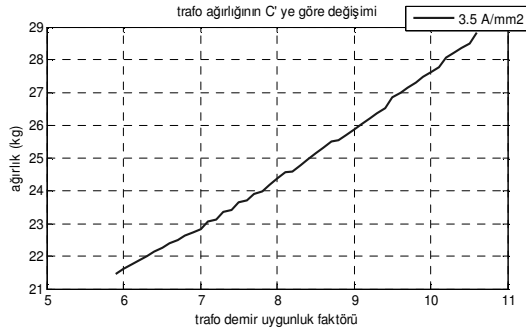


Şekil 7: Trafo ağırlığının nesil sayısına bağlı değişimi (sınırlı mutasyon).

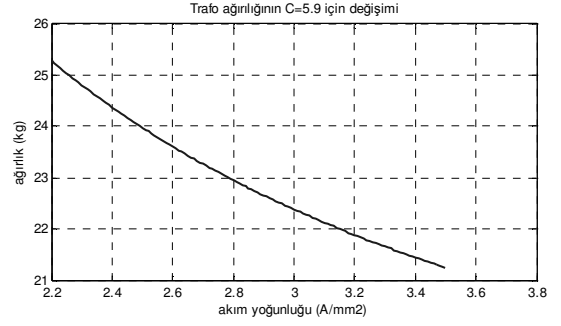


Şekil 8: Trafo veriminin nesil sayısına bağlı değişimi (sınırlı mutasyon).

Yapılan simülasyonlarda rasgele mutasyon için elde edilen en küçük ağırlık 21,24 kg olup bunu sağlayan kromozom yaklaşık olarak [3,5 5,9] iken, sınırlı mutasyonda elde edilen en küçük ağırlık 24,54 kg olup bunu sağlayan kromozom yaklaşık olarak [2,358 5,9]' dir. Şekil 9' a bakıldığında gerçekte akım yoğunluğunun artmasına bağlı olarak en küçük ağırlığın demir kesitinin en düşük değerlerinde elde edildiği aşıkardır. Şekil 10' da ise trafo ağırlığının elde edilen demir kesiti faktörü değeri $C = 5.9$ için akım yoğunluğuna göre değişimi verilmiştir. Bu durumda GA, trafo için en küçük ağırlığı elde etmiştir denebilir.



Şekil 9: Trafo ağırlığının demir kesiti uygunluk faktörü C' ye göre $s = 3.4 \text{ A/mm}^2$ için değişimi.



Şekil 10: Trafo ağırlığının $C = 5.9$ için akım yoğunluğuna göre değişimi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada 1.5 kVA' lık hava ile soğuyan bir trafonun GA ile simüle edilip maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Yöntemde rasgele ve sınırlı mutasyon metotları kullanılmıştır. Bu yol ile ağırlıkta rasgele mutasyonda 9 – 10 kg arası, sınırlı mutasyonda ise 4 – 5 kg arası azalma sağlanmış olup yaklaşık % 33 ile % 20 oranına denk gelmektedir. Kilo bazında bu kazanım küçük miktarda gözükse de trafonun gücüne göre düşünülürse gayet tatminkardır. Böylelikle, GA' nın elektrik makineleri tasarımı optimizasyonunda kullanılabileceği gösterilmiştir. İlerideki çalışmalar için parametre sayısı arttırılırsa daha gerçekçi bir optimizasyon yapılabilir.

6. Kaynaklar

- [1] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, New York, 1989.
- [2] Angeline, P.J., "Evolution revolution: An introduction to the special track on genetic and evolutionary programming", *IEEE Expert Intelligent Systems and their Applications*, 10, 6-10, 1995.
- [3] Bianchi, N., Bolognani, S., "Brushless DC motor design: An optimization procedure based on genetic algorithms", *IEE, EMD97*, 1997.
- [4] Bianchi, N., Bolognani, S., "Design optimization of electric motors by genetic algorithms", *IEE Proc.-Electr. Power App.*, 145, No 5, 1998.
- [5] Çelebi, M., "Cost Optimization of Salient Pole Synchronous Machine by Genetic Algorithms", *International Conference on Mathematical and Computational Applications, ICMCA*, 2002.
- [6] Palko, S., "Structural Optimization of Induction Motor using a Genetic Algorithm and a Finite Element Method", *Acta Polytechnica Scandinavica, Electrical Engineering Series*, 10-12, 1996.
- [7] Sim, D.-J., Cho, D.H., Chun, J.-S., Jung, H.-K., Chung, T.-K., "Efficiency optimization of interior permanent magnet synchronous motor using genetic algorithms", *IEEE Trans. On Magnetics*, 33, No. 2, 1997.
- [8] Boduroğlu, T., *Elektrik makineleri Dersleri Cilt 1, Transformatörler*, Beta Basım, İstanbul, 1988.
- [9] Richter, R., *Elektrische Maschinen Bd. III*, Verlag Birkhaeurer, Basel, Stuttgart, 1954.


```
ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND:

STACK:
```