

GENETİK ALGORİTMA İLE YAĞLI BİR TRAFONUN MALİYET OPTİMİZASYONU

Mehmed ÇELEBİ

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, El-Elektronik Bölümü, 45140, Manisa, TÜRKİYE.

Özet : Bu çalışmada daha önce analitik yöntemle tasarımı yapılmış 100 kVA'lık bir trafonun 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 trafonun matematiksel modeli çıkarılıp değişken tasarım parametreleri elde edilip, Genetik Algoritmaya 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 % 10 civarında bir azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Genetik Algoritma, Elektrik Makineleri Tasarımı, Mutasyon.*

THE COST OPTIMISATION OF A OIL TRANSFORMATOR BY GENETIC ALGORITHM

Abstract : In this paper, the cost optimization of a 100 kVA oil transformer by Genetic Algorithm is proposed which it is designed previously 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. The simulations are repeated 300 times, then a more accurate analyze is considered. A reduction of 10 % in weight is determined according to the simulation results.

Keywords : *Genetic Algorithm, Design of Electric Machines, Mutation.*

Geliş Tarihi: 16.03.2006

Kabul Tarihi: 31.05.2006

GİRİŞ

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. Genetik algoritmalar biyolojik süreci modelleyerek fonksiyonları optimize eden evrim algoritmalarıdır ve temelini ise popülasyon genetiği oluşturur [1].

Bu çalışma daha önce sunulan çıkık kutuplu senkron makinenin maliyet optimizasyonu ile ilgili [2] yayının devamı niteliğinde olup, evvelce tasarımı yapılmış 100 kVA' lık bir yağlı trafonun [3] GA ile verim ve maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra elde edilen simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

GENETİK ALGORİTMALAR

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 Genetik Algoritma (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.

Genetik algoritmaların temel olarak izledikleri işlem sırası şu şekilde özetlenebilir:

- Amaç fonksiyonunu tanımla
- Parametrelerin GA' ya uyarlanması
- Popülasyonun oluşturulması
- Amaç fonksiyon değerlerinin hesaplanması
- Eşleme yapılması
- Çaprazlama
- Mutasyon
- Yakınsama testi (tekrar başa dön veya bitir)
- Bitiş

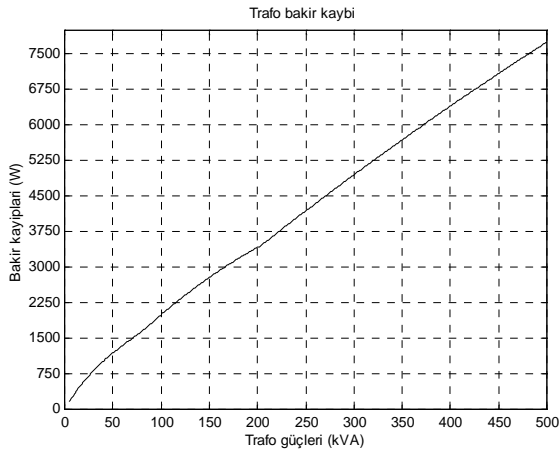
GA parametreleri biyolojideki genleri temsil ederken, parametrelerin toplu kümesi de kromozomu oluşturmaktadır. Her yeni nesil rasgele bilgi değişimi ile oluşturulan, diziler içinde hayatta kalanların birleştirilmesi ile elde edilmektedir [4]. GA ikili veya gerçek sayılarla uygulanabilir. Bu çalışmada gerçek sayılarla simüle edilmiştir.

GA' NIN TRAFİKO TASARIMINA UYGULANMASI

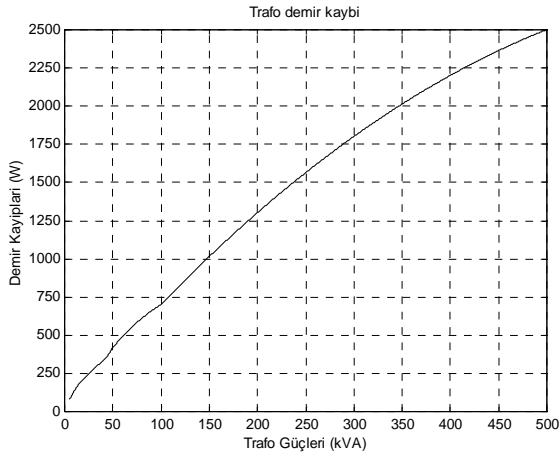
Genetik algoritmada ilk bulunması gereken sisteme ait bir amaç fonksiyonu ve ona bağlı sınır şartlarıdır. Bu matematiksel bağıntı elde edildikten sonra, sınır şartları ile birlikte algoritmaya uyarlanır. Bu çalışmada pek tabii olarak girişe ait parametreler sabit olup tasarım kriterlerinde sınır şartları tanımlanacaktır.

Bütün elektrik makineleri tasarımlarında maliyet en önemli faktördür 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 1 ve 2' deki karakteristiklerden [3] trafonun bakır ve demir kayıpları elde edilir.



Şekil 1. Trafonun görünür gücüne bağlı olarak bakır kayıpları.



Şekil 2. Trafonun görünür gücüne bağlı olarak demir kayıpları.

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 [3]. Dolayısıyla GA optimizasyonu uygulamasındaki ilk sınır şartımız tanımlanmış olur.

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

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 trafolarında çekirdek endüksiyonudur (gauss). Trafo tasarımında önemli hesaplardan birisi de demir kesitinin elde edilmesidir. Demir kesiti aşağıdaki ifadeden elde edilir [5].

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

Burada, q_{fe} , demir kesiti (cm²), f , frekanstır (Hz). S trafonun görünür gücünü (kVA) ifade eder, C ise trafo demir kesiti uygunluk faktörüdür ve aşağıdaki sınırlar arasında değişir.

$$4 < C < 6 \text{ (cm}^2\text{joule}^{-1/2}\text{)} \quad (6)$$

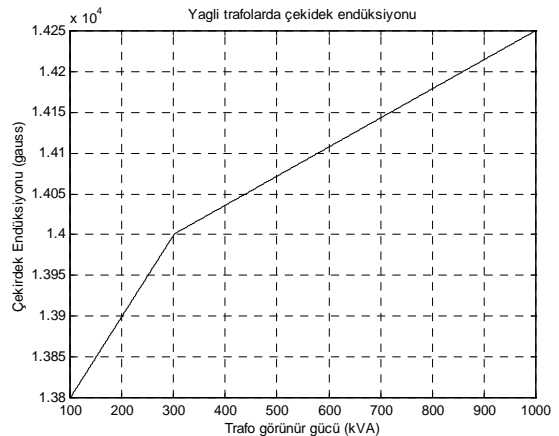
Dolayısıyla GA için ikinci sınır şartı da tanımlanmış olur. Demir çekirdeğinin çapı D ,

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

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. Trafonun çekirdeği boyunduruk endüksiyonu B , Şekil 3' teki karakteristikten [3] elde edilir.



Şekil 3. Trafolarında görünür güce bağlı olarak çekirdek endüksiyonu.

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.

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

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

Burada U_1 ve U_2 sırasıyla alt ve üst gerilimleri (V), f frekansı (Hz), ϕ trafo sargılarından akan akıyı gösterir. 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. Burada I_1 ve I_2 trafonun birincil ve ikincil akımlarıdır. Alt gerilim sargısı yüksekliği,

$$L = w_2 b_2 \text{ (mm)} \quad (13)$$

dir. Burada b_2 , seçilen iletkenin yalıtkan ile beraber yüksekliğidir ve birimi mm' dir. Pencere veya bacak yüksekliği,

$$L_s = L + 2 * 33 \text{ (mm)} \quad (14)$$

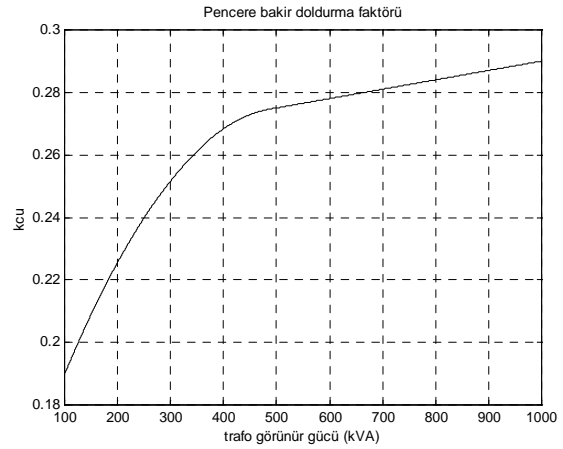
dir. Burada 33 mm sargıları sabitleyen takoz yüksekliğidir. Bacak yüksekliğine göre özgül amper-sarım,

$$A_s = 0.02 \frac{w_1 I_1}{L_s} \text{ (A)} \quad (15)$$

dir. Trafodaki pencere genişliği a ,

$$a = 0.04 \frac{w_2 q_2}{0.1 k_{cu} L_s} \text{ (cm)} \quad (16)$$

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



Şekil 4. Trafolarda pencere doldurma faktörüne ilişkin karakteristik.

Alt ve üst gerilim sargılarının ortalama uzunlukları,

$$l_{m2} = 0.01 * \pi(10 * D + 8 + a_2) \quad (cm) \quad (17)$$

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

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

$$G_{cu2} = 3.10^{-3} \gamma_{cu} w_2 q_2 l_{m2} \text{ (kg)} \quad (18)$$

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

dir. Burada, $\gamma_{cu} = 8.9 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, 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 19 ve 20 nolu eşitliklerde gösterilmiştir.

$$r_1 = \rho_0 \frac{l_{m1} w_1}{q_1} \quad r_2 = \rho_0 \frac{l_{m2} w_2}{q_2} \quad (19)$$

ρ_0 , bakırın özgül direncidir ve birimi Ωmm^2 dir. Daha sonra at ve üst gerilim sargıları bakır kayıpları pek tabi olarak,

$$P_{cu2} = 3I_2^2 r_2 k \quad P_{cu1} = 3I_1^2 r_1 \quad (20)$$

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

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} \quad (21)$$

Toplam bakır ağırlığı 18 nolu eşitlikte elde edildikten sonra, toplam demir ağırlığı aşağıdaki gibidir.

$$G_{fe} = 10^{-3} \gamma_{fe} (0.3L_s q_{fe} + 2(2M + 0.8D)q_{fej}) \quad (22)$$

Burada, $\gamma_{fe} = 7.6$ (gr/cm³); demir özgül ağırlığı, $M = 0.851D + 0.1L_s$. Bacaktaki özgül demir kaybı,

$$P_{feb} = p_{10} \xi_2 (10^{-5} B)^2 \text{ (Watt/kg)} \quad (23)$$

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

$$G_{feb} = 3.10^{-4} \gamma_{fe} q_{fe} L_s \text{ (kg)} \quad (24)$$

olursa, her üç bacağın demir kaybı,

$$P_{febacak} = G_{feb} P_{feb} \text{ (W)} \quad (25)$$

dır. Özgül boyunduruk demir kaybı ise,

$$P_{fej} = p_{10} \xi_2 (10^{-4} B_j)^2 \text{ (W)} \quad (26)$$

şeklinde. En nihayetinde toplam boyunduruk ağırlığı,

$$G_{fej} = 2.10^{-3} \gamma_{fe} q_{fej} (2a + b_{bacak}) \text{ (kg)} \quad (27)$$

Yukarıdaki ifadede, b_{bacak} , bacak genişliğidir ve $0.851D'$ ye eşittir. Bütün boyunduruklardaki demir kayıpları,

$$P_{fej} = G_{fej} P_{fej} \text{ (W)} \quad (28)$$

ve demir gövdede meydana gelen toplam demir kaybı son olarak,

$$P_k = P_{febacak} + P_{fej} \text{ (W)} \quad (29)$$

dır. Trafonun toplam kaybı ise,

$$P_k = P_{cu} + P_{fe} \text{ (W)} \quad (30)$$

dır. GA uygulaması birincil ve ikincil maliyet fonksiyonlarımız olan trafonun verimi ve toplam

ağırlığı sırasıyla 31 ve 32 nolu eşitliklerde gösterilmiştir.

$$\text{verim} = \frac{S}{S + 10^{-3} P_k} \quad (31)$$

$$G_{top} = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{fe} + G_{feb} \text{ (kg)} \quad (32)$$

Sonuç olarak 3, 6, 31 ve 32 nolu eşitlikleri kullanarak GA için uygulanacak matematiksel model 33 nolu eşitlikte gösterilmiştir.

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

$$X = [x_1; x_2] \in \begin{cases} 2.2 < x_1 < 3.5 \\ 4 < x_2 < 6 \end{cases} \quad (33)$$

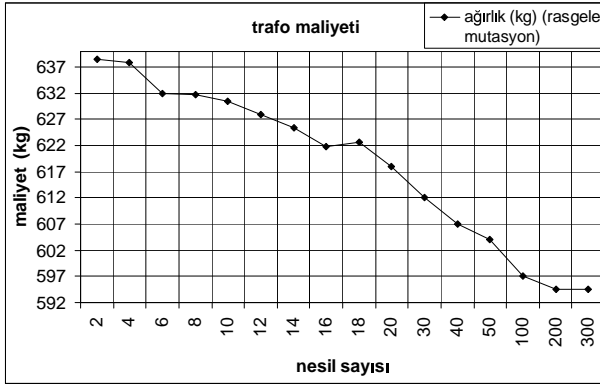
$$M(X) = \begin{cases} \eta(X) = \frac{S}{S + 10^{-3} P_k} \\ G(X) = G_{cu1} + G_{cu2} + G_{fe} + G_{feb} \end{cases}$$

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

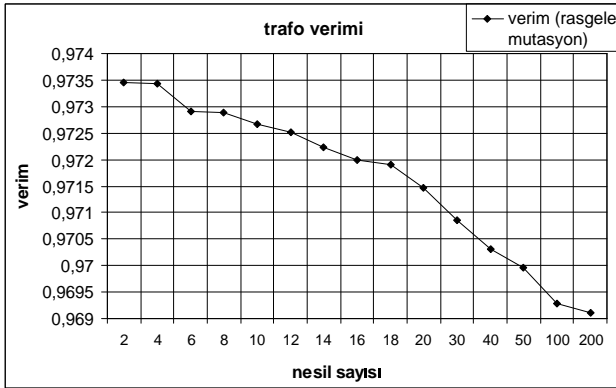
SİMÜLASYON SONUÇLARI

Daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için GA, her bir nesil sayısında 300 yüz kere simüle edilmiş ve alınan ortalama değerler 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 uygulanırken, Şekil 7 ve 8'de ise sınırlı mutasyon, yani kromozomun bir değişkeni mutasyona uğratılmıştır. Simülasyonlar ağırlık için rasgele mutasyonda 300. nesil sayısına kadar yapılırken, sınırlı mutasyonda 600 nesil sayısına çıkmıştır. Bunun sebebi Şekil 5'ten görüleceği üzere 200 ve üzeri nesil sayılarında ağırlıktaki azalma durmaktadır. Sınırlı mutasyonda ise, 100. nesil ve üzeri değerlerde ağırlıkta fazla bir değişim görülmemekte ve sistem tıpkı bir rezonans durumu göstermektedir. Dolayısıyla, rasgele mutasyon için optimum nesil sayısı 200 olurken, sınırlı mutasyonda bu sayı 100'dür. Bunun yanı sıra Şekil 5 ve 7'den görülebileceği gibi, rasgele mutasyonda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Verimdeki değişimler çok küçük olduğundan (Şekil 6 ve 8) dikkate değer değildir. Bunun yanında, verimlerde çok küçük miktarda azalma gözlenmektedir. Fakat bu azalma binde 1 ile 3

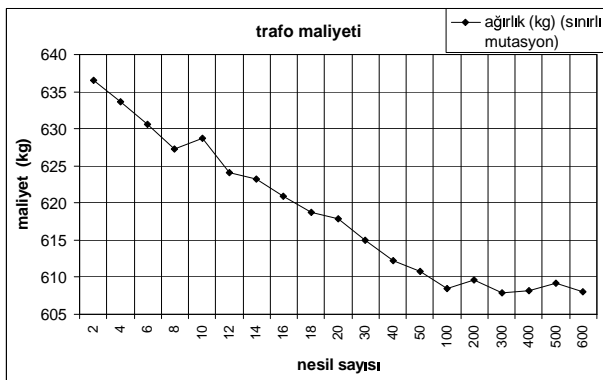
civarında değiştiği için kayda değer değildir. Şekil 5 ve 7' den görüldüğü gibi trafonun ağırlığı nesil sayısı artışına bağlı olarak düşmekte, dolayısıyla maliyetinde azalma olmaktadır.



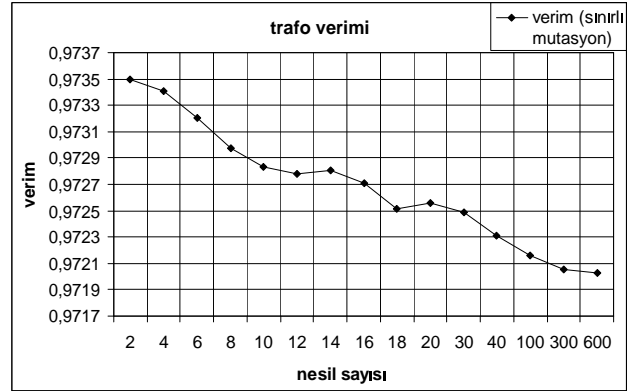
Şekil 5. Trafo ağırlığının nesil sayısına bağlı değişimi (rasgele mutasyon).



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

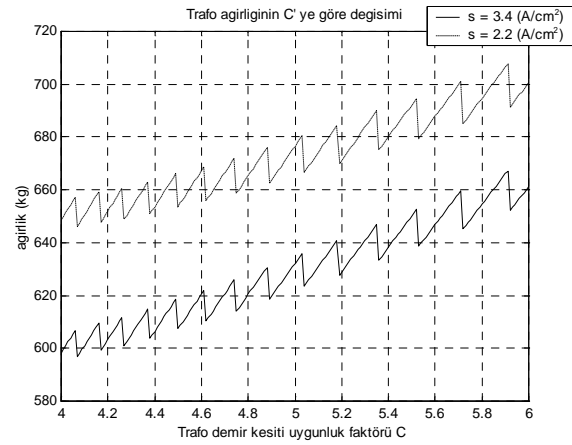


Şekil 7. Trafo ağırlığının nesil sayısına bağlı değişimi (sınırlı mutasyon).

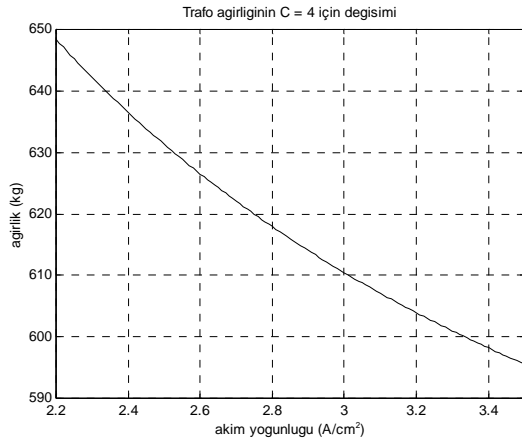


Şekil 8. Trafo veriminin nesil sayısına bağlı değişimi (sınırlı mutasyon).

Yapılan simülasyonlarda rasgele mutasyon için elde edilen en küçük ağırlık 593,1272 kg olup bunu sağlayan kromozom yaklaşık olarak [3,5 4,063] iken, sınırlı mutasyonda elde edilen en küçük ağırlık 595,3565 kg olup bunu sağlayan kromozom yaklaşık olarak [3,4133 4,063]' dir. Şekil 9' a bakıldığında gerçektende akım yoğunluğunun artışına 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 $C = 4$ 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 $s = 3.4$ ve $s = 2.2$ (A/cm²) için değişimi.



Şekil 10. Trafo ağırlığının C = 4 için akım yoğunluğuna göre değisimi.

SONUÇ

Bu çalışmada 100 kVA'lık yağlı bir trafonun GA ile simüle edilip maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Bu yol ile yaklaşık olarak 50 - 60 kg arası ağırlık azaltılmıştır. Her ne kadar bu kazanım küçük miktarda olsa da GA'nın elektrik makineleri tasarımı optimizasyonunda kullanılabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, New York, (1989).
- [2] Çelebi, M., "Cost Optimization of Salient Pole Synchronous Machine by Genetic Algorithms", International Conference on Mathematical and Computational Applications, ICMCA, Konya, (2002).
- [3] Boduroğlu, T., Elektrik makineleri Dersleri Cilt 1, Transformatörler. Beta Basım, İstanbul, (1988).
- [4] Angeline, P.J., "Evolution revolution: An introduction to the special track on genetic and evolutionary programming", IEEE Expert Intelligent Systems and their Applications, 6-10, (1995).
- [5] Richter, R., Elektrische Maschinen Bd. III. Verlag Birkhaeurer, Basel, Stuttgart, (1954).

