

YÜKSEK GERİLİM TEKNİĞİNDE TEK DEĞİŞKENLİ OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Özcan KALENDERLİ¹

Alper GÜÇLÜ²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul

²Net Mühendislik ve Otomasyon San. Tic. Ltd. Şti., Okmeydanı, İstanbul

¹e-posta: ozcan@elk.itu.edu.tr

²e-posta: alperg@netmuh.com.tr

Anahtar sözcükler: Yüksek Gerilim, Optimizasyon, Genetik Algoritma

ABSTRACT

In this paper, a lot of problems in high voltage technique were solved by using genetic algorithm (GA). For this purpose, GA was introduced and a new software based on GA with single objective function and with single variable was developed. By using this software, maximum and minimum electric fields of different electrode systems; radius of optimum system according to breakdown strength and economically minimum mass of insulating material and maximum electric fields of some protrusions; minimum breakdown voltage according to Townsend theory and peak value of the oscillating impulse current were determined. Results of the GA and solutions of analytical methods were compared. The obtained results have highly accuracy.

1. GİRİŞ

Gerilim düzeyi yükseldikçe, özellikle yüksek gerilimlere çıkıldıkça elektrik alanı önem kazanmaya başlar. Çünkü bir elektrik sistemindeki elektriksel zorlanma, zorlanan yalıtkanın delinme dayanımına eşit veya daha büyük olduğunda genellikle delinme ile sonuçlanan bir elektriksel boşalma olayı meydana gelir. Bu tür durumlardan sakınmak için elektrik sistemlerinin uygun şekilde tasarlanması gerekir. Bu iş sırasında karşımıza değişik bir çok optimizasyon problemi çıkar. Örneğin eş merkezli küresel veya eş eksenli silindrsel elektrot sistemleri gibi elektrot sistemlerindeki maksimum ve minimum elektrik alan şiddetlerinin denetim altında tutulması, maksimum alanı minimum yapacak eşdeğer açıklığın veya geometrik karakteristiğın bulunması veya ekonomik bakımdan en uygun (en az malzemenin kullanıldığı) boyutların saptanması bu optimizasyon problemlerinden bazılarıdır.

İletken malzemelerin yüzeyi üzerindeki değişik geometrilerdeki pürüzler, elektriksel alanı değiştirecek niteliktedir. Bu pürüzlerin varlığında maksimum elektrik alanının hesabı ve dolayısıyla denetimi bir başka optimizasyon problemidir.

Düşük basınçlı ve küçük elektrot açıklıklı sistemlerde gazlarda boşalma olayları Townsend boşalma teorisi ile açıklanmaktadır. Bu teoriye göre düzgün alanda ve sabit sıcaklıkta delinme gerilimi, gaz basıncı ile elektrot açıklığı çarpımının bir fonksiyonudur. Bu durum delinme gerilimi bağıntısı ile verilir. Bu bağıntıdan delinme gerilimini minimum yapan basınç veya elektrot açıklığı veya çarpımları bulunabilir. Dolayısıyla bu da boşalma olaylarında karşımıza çıkan bir başka optimizasyon problemi örneğidir.

Bir başka örnekte darbe gerilimi veya akımlarında tepe değerin yani gerçek maksimum değerin belirlenmesidir. Örneğin darbe akımı deneylerinde akım darbelerinin tepe değerlerinin ve bu değere ulaşma sürelerinin hesaplanması gerekir. Özellikle salınımlı darbe işaretlerinde gerçek maksimum değeri belirlemek zorluk gösterir.

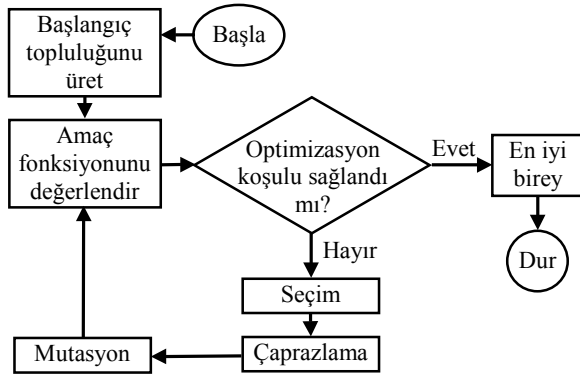
Yukarıda sözü edilen ve çoğaltılabilecek pek çok yüksek gerilim tekniği uygulamasında birer optimizasyon problemi olarak ele alınabilecek pek çok durum vardır. Bu problemlerin çözümü için değişik yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerden birisi de genetik algoritma (GA) yöntemidir. Son yıllarda pek çok alanda, genetik algoritma kullanımı ve geliştirilmesi için çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [1 - 7]. Bunun sonucu olarak da, genetik algoritmalar literatürde daha fazla yer almaya başlamış ve geniş uygulama alanlarına ulaşmıştır. Buna karşın, GA'nın yüksek gerilim tekniğindeki uygulamalarına henüz yok denecek kadar az rastlanmaktadır [8].

Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen motivasyonla, yüksek gerilim tekniğinde karşılaşılan birçok problem genetik algoritma yardımıyla çözülmüştür. Bu amaçla önce GA yöntemi tanıtılarak, tek amaç fonksiyonlu, tek değişkenli problemlerin çözümü açıklanmıştır. Sonrasında GA ile yapılan örnek çözümlemeler ve bunların sonuçları, analitik yöntemlerle bulunanlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2. GENETİK ALGORİTMALAR (GA)

Genetik algoritmalar Mendel'in genetiği ile Darwin'in doğal seçim ilkesini birleştiren ve bunları yapay sistemlerde kullanan bir optimizasyon yöntemidir [9 - 11]. Doğal seçim, çevre koşullarına uyum sağlamış olan canlıların yaşamlarını sürdürmesi, uyum sağlayamamış olanların ise elenmesi, yani ölmesi anlamına gelir. Doğal kalıtım ise, seçilmiş olan bireylerin birbirleriyle çiftleşerek yeni yavrular meydana getirmesidir.

Genetik algoritmada problem çözümüne kodlanmış noktalar topluluğu (kümesi) oluşturularak başlanır. Çözüm kümesini oluşturan her bir eleman "kromozom" veya "birey" olarak adlandırılır. Kromozomlar gen adı verilen sembol katarlarından oluşur. Topluluğu oluşturan her bir bireyin temsil ettiği değer "amaç fonksiyonu"nda yerine konularak bireylerin "uygunluk değerleri", yani bir sonraki nesilde yaşama olasılıkları bulunur. Bir sonraki adım, uygunluk değerleri göz önünde bulundurularak bir sonraki topluluğu meydana getirecek "ebeveynler" seçilmesidir. Önceden kabul edilen oranda ebeveyn çaprazlamaya girerek birbirleri ile gen alışverişinde bulunurlar ve ortaya bir sonraki topluluğun bireylerini oluşturacak olan "yavrular" çıkar. Yine önceden tanımlanmış mutasyon oranları nedeniyle ortaya çıkan yavrularda başkalaşım meydana gelir. Bu aşamadan sonra yeni topluluğu oluşturacak bireyler hazır. Şekil 1'de gösterilen bu döngü, istenilen koşullar sağlanıncaya kadar devam eder ve her bir yineleme işlemi sonunda ortaya "nesil" adı verilen yeni bir topluluk çıkar.



Şekil 1: Genetik algoritma akış çizelgesi.

Probleme başlarken kullanılacak topluluk, rasgele üretilir. GA, rastlantısal kuralları kullanarak gittikçe daha iyi bir çözüme yönelir. GA dört yönüyle diğer optimizasyon yöntemlerinden ayrılır:

- (1) GA'lar parametrelerin kendilerini değil, kodlanmış biçimini kullanırlar;
- (2) GA'lar aramaya tek bir noktadan değil, bir noktalar topluluğundan başlarlar;
- (3) GA'lar amaç fonksiyonunun türevlerini ve bir takım ek bilgilerini değil, doğrudan amaç fonksiyonun kendisini kullanırlar;
- (4) GA'lar deterministik kuralları değil, rastlantısal geçiş kurallarını kullanırlar.

Aramaya tek bir noktadan değil de birçok noktadan başlamanın en büyük yararı, yerel optimuma yakalanma olasılığının ortadan kaldırılmasıdır. Geleneksel yöntemler aramaya tek bir noktadan başladıkları için, ilk buldukları yerel optimuma takılırlar. Dolayısıyla birden çok optimuma sahip fonksiyonlar için kullanışlı değildir. Genetik algoritmalar ise, tüm yerel optimum noktalarını bularak bunları karşılaştırır ve fonksiyonun evrensel optimum noktasına ulaşırlar.

Genetik algoritmalarda diğer yöntemlerde olduğu gibi türev bilgilerine ve ek bilgilere gereksinim yoktur, yalnızca amaç fonksiyonu ve uygunluk değerleri yaklaşımın hangi yönde ilerleyeceğini belirler.

GA'lar rastlantısal geçiş kurallarına göre çalıştığından, model değiştirilme bile her çalıştığında farklı çözümler elde edilir. Geleneksel yöntemler ise aynı değerler ile her çalıştığında aynı çözüme ulaşırlar. Ayrıca, seçim, çaprazlama ve mutasyon aşamaları da genetik algoritmaları diğer yöntemlerden farklı kılar. Topluluktaki daha uygun bireylerin seçilerek daha sonraki nesillere aktarılması ve uygun olmayanların elenmesi, algoritmanın en iyi çözümü bulması için izlenmesi gereken bir süreçtir. Aynı şekilde çaprazlama sayesinde de bir önceki çözüm kümesindeki sonuçlar birbirleriyle karşılarak bir sonraki nesilde daha uygun sonuçları oluştururlar. Mutasyon ise algoritmanın bir kısır döngüye girmemesi için güvenlik aracı görevi görür. Herhangi bir yerel optimuma takılıp kalan bireyler, mutasyon ile başkalaşım geçirerek diğer çözümlere yönelebilirler.

2.1 GA İşlemcileri

2.1.1 Seçim

Çaprazlamaya girecek olan ebeveynler, topluluğu oluşturan bireyler arasından seçilir. Buradaki temel problem, çaprazlamaya girecek olan bireylerin nasıl seçileceğidir. Darwin'in evrim teorisine göre, daha uygun (uygunluk değeri yüksek) olan bireyler yaşamaya devam edip yavru oluşturabilirler. Bu ilke doğrultusunda, ebeveyn seçiminde rulet çarkı seçimi, Boltzman seçimi, turnuva seçimi, rank seçimi, kararlı hal seçimi... gibi birçok yöntem kullanılabilir. Bu çalışmada rulet çarkı seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ebeveynler uygunluk değerlerine göre seçilirler, dolayısıyla uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme olasılığı ($p_{\text{seçilme}}$) daha yüksek olur.

$$p_{\text{seçilme}} = u_i / \sum u \quad (1)$$

Burada u_i i. bireyin uygunluk değerini, $\sum u$ ise topluluktaki bireylerin uygunluk değerlerinin toplamını göstermektedir.

2.1.2 Çaprazlama

Çaprazlama olasılığı (p_c) göz önünde bulundurularak, uygunluk değerlerine bağlı olarak seçilen bireylerden bir kısmı ikili gruplara ayrılarak birbirleriyle gen alışverişinde bulunurlar. Bu işlem, çaprazlama olarak

adlandırılır ve genetik algoritmalarda çeşitliliği artırır. Birçok çaprazlama yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada tek-nokta çaprazlaması kullanılmıştır (Şekil 2).

Birey 1 111 001000
Birey 2 010 101011
Yavru 1 111101011
Yavru 2 010001000

Şekil 2: Tek-nokta çaprazlaması.

2.1.3 Mutasyon

Çaprazlama aşamasından sonra mutasyon olasılığına (p_m) bağlı olarak mutasyon işlemi meydana gelir. Mutasyon işlemi bireyi oluşturan bit'lerin 1 ise 0, 0 ise 1 olması olarak özetlenebilir (Şekil 3).

Mutasyon öncesi birey 1010101010
Mutasyon sonrası birey 1010001010

Şekil 3: Mutasyon işlemi.

Mutasyon sonucunda asıl (orijinal) toplulukta olmayan özellikler kazanılabilir, dolayısıyla bu genetik algoritmanın hızlıca bir sonuca ulaşmasını önler. Mutasyon olasılığı arttıkça algoritma öngörülen araştırma uzayından uzaklaşacaktır.

3. YÜKSEK GERİLİM TEKNİĞİNDE GA UYGULAMALARI

Bu bölümde birçok yüksek gerilim probleminin genetik algoritma ile çözümü açıklanacaktır. Her problemde ilgili amaç fonksiyonu verilecek ve bu amaç fonksiyonu kullanılarak yapılan hesaplardan bulunan sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

3.1 Eş Merkezli Küresel Elektrot Sistemi

Elektrot sistemlerinde maksimum ve minimum elektrik alan şiddetlerinin hesabı, optimizasyon problemidir. Yarıçapları r_1 , r_2 ve elektrotlar arasına uygulanan gerilimi U olan bir eş merkezli küresel elektrot sisteminde maksimum ve minimum elektrik alan şiddeti

$$E = U \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

denkleminde elde edilir. $r = r_1$ için alan maksimum ($E = E_{\max}$), $r = r_2$ için alan minimum ($E = E_{\min}$) olur [12]. GA çözümü için (2) denklemi amaç fonksiyonu olarak kullanılarak $r_1 \leq r \leq r_2$ aralığında çözüm aranır. Çizelge 1'de farklı topluluk sayılarına (n_{pop}) bağlı olarak elde edilen alan değerleri ve yapılan bağıl hatalar verilmiştir. GA hesaplarında, alt sınır $\min(r) = r_1 = 1$, üst sınır $\max(r) = r_2 = 15$, çaprazlama olasılığı $p_c = 0.2$, mutasyon olasılığı $p_m = 0.01$, nesil sayısı = 50 olarak alınmıştır. Çizelge 1'den de görüleceği gibi topluluk sayısı arttıkça çözüm doğruluğu artmış ve hatalar azalmıştır.

Çizelge 1: Eş merkezli küresel elektrot sistemi için n_{pop} 'a bağlı olarak GA yaklaşımı ile bulunan $E_{\max}$ ve $E_{\min}$ değerleri ve bağıl hatalar.

n_{pop}	Genetik Algoritma		Bağıl Hata*	
	$E_{\max}$ (V/m)	$E_{\min}$ (V/m)	$\varepsilon_{E_{\max}}$ (%)	$\varepsilon_{E_{\min}}$ (%)
20	75.3723	0.5097	29.65	7.035
35	85.3388	0.5460	20.35	14.66
50	106.9600	0.4851	0.17	1.869
100	107.1428	0.4768	0	0.126
200	107.1428	0.4762	0	0

*Analitik sonuçlar:

$$E_{\max} = 107.1428 \text{ V/m}, E_{\min} = 0.4762 \text{ V/m}$$

Dış küre çapı r_2 ve uygulanan gerilim U sabit kalmak koşuluyla $E_{\max}$ 'ın r_1 'e göre değişimi

$$E_{\max} = \frac{U}{(r_1/r_2)(r_2 - r_1)} = \frac{U}{\alpha} \quad (3)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada α eşdeğer açıklığı göstermektedir [12].

$$\alpha = (r_1/r_2)(r_2 - r_1) \quad (4)$$

α 'nın maksimum ($\alpha_{\max}$) olması durumunda ($E_{\max}$)_{min} olur yani sistem en az zorlanır. Bu değerler GA ile aranır, farklı çaprazlama olasılığı (p_c) değerleri için Çizelge 2'deki değerler elde edilir. Bu hesapta GA parametreleri: $\min(r) = r_1 = 1$, $\max(r) = r_2 = 15$, $n_{\text{pop}} = 250$, çaprazlama olasılığı $p_c = 0.15/0.25/0.40/0.60$, mutasyon olasılığı $p_m = 0.01$, nesil sayısı = 50 olarak alınmıştır. Doğruluk bakımından p_c 'nin %15-45 arasında olması yeterli gelmiştir.

Çizelge 2: Eş merkezli küresel elektrot sistemi için p_c 'ye bağlı olarak GA yaklaşımı ile bulunan $\alpha_{\max}$ ve ($E_{\max}$)_{min} değerleri ve bağıl hatalar.

p_c (%)	Genetik Algoritma		Bağıl Hata*	
	$\alpha_{\max}$ (m)	($E_{\max}$) _{min} (V/m)	$\varepsilon_{\alpha_{\max}}$ (%)	$\varepsilon_{E_{\max\min}}$ (%)
15	3.7498	26.6680	0.0053	0.0049
25	3.7500	26.6667	0	0
45	3.7499	26.6667	0.0026	0
60	3.7499	26.6672	0.0026	0.0019

*Analitik sonuçlar:

$$\alpha_{\max} = 3.75 \text{ m}, (E_{\max})_{\min} = 26.6667 \text{ V/m}$$

3.2 Eş Eksenli Silindrisel Elektrot Sistemi

Silindrisel elektrot sistemleri uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde de örneğin maksimum ve minimum elektrik alan şiddeti hesabı optimizasyon problemidir. Yarıçapları r_1 ve r_2 ve elektrotları arasına uygulanan gerilimi U olan eş eksenli silindrisel elektrot sisteminde maksimum ve minimum elektrik alan şiddeti

$$E = \frac{U}{r \cdot \ln(r_2/r_1)} \quad (5)$$

denkleminde elde edilir. $r = r_1$ için alan maksimum ($E = E_{\max}$), $r = r_2$ için alan minimum ($E = E_{\min}$) olur [12]. GA çözümü için (5) denklemi amaç fonksiyonu olarak kullanılarak $r_1 \leq r \leq r_2$ aralığında çözüm aranır. Çizelge 3'te farklı mutasyon olasılığına (p_m) bağlı olarak elde edilen alan değerleri ve yapılan bağıl hatalar verilmiştir. GA hesaplarında, $\min(r) = r_1 = 1$, $\max(r) = r_2 = 15$, $n_{\text{pop}} = 100$, çaprazlama olasılığı $p_c = 0.25$, mutasyon olasılığı $p_m = 0.01/0.005/0.001$, nesil sayısı = 100 olarak alınmıştır. Çizelge 3'ten de görüleceği gibi p_m değeri arttıkça çözüm doğruluğu azalmıştır.

Çizelge 3: Eş eksenli silindrsel elektrot sistemi için p_m 'ye bağlı olarak GA yaklaşımı ile bulunan $E_{\max}$ ve $E_{\min}$ değerleri ve bağıl hatalar.

p_m (%)	Genetik Algoritma		Bağıl Hata*	
	$E_{\max}$ (V/m)	$E_{\min}$ (V/m)	$\varepsilon_{E_{\max}}$ (%)	$\varepsilon_{E_{\min}}$ (%)
0.1	36.83512	2.53709	0,2475	3,0582
0.5	36.61504	2.46446	0,8436	0,1084
1.0	32.93092	2.46291	10,820	0,0454

*Analitik sonuçlar:

$$E_{\max} = 36.92654 \text{ V/m}, E_{\min} = 2.46180 \text{ V/m}$$

Eş eksenli silindrsel sistemlerin en çok karşılaşılan örneklerinden biri de bir damarlı kablolardır. Yüksek gerilim kabloları boyutlandırılırken ya delinme bakımından ya da ekonomik bakımdan en elverişli düzen göz önünde bulundurulur. Bir diğer çözüm de iki çözüm arasında bir ara çözüm bulunmasıdır.

Dış yarıçapı sabit tutulan ve delinme bakımından en elverişli düzene göre boyutlandırılmış bir sistemde kullanılacak yalıtkan madde miktarı iç silindir yarı çapına bağlıdır. Uygulanan U gerilimi ve yalıtkan malzemenin E_d delinme dayanımı sabit kabul edilerek malzeme kullanımının en az olduğu sisteme ilişkin $p = r_2/r_1$ geometrik karakteristik değeri hesaplanabilir [12].

$$G = \pi \gamma \left(\frac{U}{E_d} \right)^2 \frac{p^2 - 1}{(\ln p)^2} = K \frac{p^2 - 1}{(\ln p)^2} \quad (6)$$

$$K = \text{sabit} = \pi \gamma \left(\frac{U}{E_d} \right)^2$$

Burada γ malzemenin özağırlığını, G de sistemin birim uzunluğuna düşen yalıtkan malzeme miktarını (ağırlığını) göstermektedir. Çizelge 4'te kablo ağırlığını minimum yapan p değeri hesap sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4: Kablo ağırlığını minimum yapan p değeri.

Geometrik karakteristik	Analitik Hesap	Genetik Algoritma	Bağıl Hata (%)
p	2.219	2.217	0.09

(6) denkleminin amaç fonksiyonu olarak kullanıldığı GA hesaplarında, $\min(r) = r_1 = 1$, $\max(r) = r_2 = 5$, $n_{\text{pop}} = 200$, çaprazlama olasılığı $p_c = 0.2$, mutasyon olasılığı $p_m = 0.001$, nesil sayısı = 50 olarak alınmıştır.

Dış silindir çapı r_2 'nin ve U'nun sabit olduğu durumda $E_{\max}$ 'ın r_1 'e göre değişimi,

$$E_{\max} = \frac{U}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1)} = \frac{U}{\alpha} \quad (7)$$

ile incelenebilir. Burada α eşdeğer açıklığı göstermektedir. α 'nın maksimum ($\alpha_{\max}$) olması durumunda $(E_{\max})_{\min}$ olur yani sistem en az zorlanır. $U = 100 \text{ V}$, $r_2 = 15 \text{ m}$ olan bir silindrsel elektrot sistemi için $\alpha_{\max}$ ve $(E_{\max})_{\min}$ hesabı yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5: Bir eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde $\alpha_{\max}$ ve $(E_{\max})_{\min}$ değerleri ve bağıl hatalar.

	Analitik Hesap	Genetik Algoritma	Bağıl Hata (%)
$\alpha_{\max} \text{ (m)}$	5.51819	5.51793	0.00471
$(E_{\max})_{\min} \text{ (V/m)}$	18.12188	18.12276	0.00485

GA hesaplama parametreleri: $\min(r) = 1$, $\max(r) = 15$, $n_{\text{pop}} = 200$, çaprazlama olasılığı $p_c = 0.25$, mutasyon olasılığı $p_m = 0.01$, nesil sayısı = 50 olarak alınmıştır.

3.3. Düzgün Alanda Delinme Gerilimi

Düzgün alanda ve sabit sıcaklıkta delinme gerilimi, p basıncı ile a elektrotlar arası açıklık çarpımının bir fonksiyonudur [12]:

$$U_d = \frac{Bpa}{\ln \left[\frac{Apa}{\ln(1 + 1/\gamma)} \right]} = f(pa) \quad (8)$$

Bu ifade de A ve B gazın türüne bağlı sabitler, γ ise E/p ve elektrot malzemesine bağlı olan bir büyüklüktür. (8) denklemi amaç fonksiyonu olarak kullanılarak p sabit tutulup a'ya veya a sabit tutulup p'ye göre de minimum delinme gerilimi hesaplanabilir. Çizelge 6'da böyle bir hesaba ilişkin sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 6: Bir gaz için hesaplanan $(p \cdot a)_{kr}$ ve $(U_d)_{\min}$ değerleri.

	Analitik Hesap	Genetik Algoritma	Bağıl Hata (%)
$(p \cdot a)_{kr} \text{ (mmHg.cm)}$	0,89	0,889999	$1.12 \cdot 10^{-4}$
$(U_d)_{\min} \text{ (V)}$	325,0877	325,0878	$3.07 \cdot 10^{-5}$

GA ile hesapta $\min(p \cdot a) = 0$, $\max(p \cdot a) = 3$, $n_{\text{pop}} = 100$, çaprazlama olasılığı $p_c = 0.2$, mutasyon olasılığı $p_m = 0.01$, nesil sayısı = 50 alınmıştır.

3.4 Pürüzlerin Elektrik Alanı

Bir yüksek gerilim aracını oluşturan malzemelerin yüzey düzgünlüğü, elektriksel zorlanma ve boşalma olayları bakımından önemlidir. Malzeme üzerinde var

olabilecek farklı özellikteki bazı pürüzlerin alan bağıntıları aşağıda verilmiştir.

R yarıçaplı iletken yarıküre pürüz için elektrik alan bağıntısı:

$$E = E_0 \left(1 + 2 \frac{R^3}{x^3}\right) \quad (9)$$

R yarıçaplı yalıtkan yarıküre pürüz için elektrik alan bağıntısı:

$$E = E_0 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - \epsilon_0}{2\epsilon_0 + \epsilon} \frac{R^3}{x^3}\right) \quad (10)$$

Dik elipsoid pürüz için elektrik alan bağıntısı:

$$E = E_0 + E_{\max} \frac{ab^2}{c^3} \left(\frac{cx}{x^2 - c^2} - \frac{1}{2} \ln \frac{x+c}{x-c} \right) \quad (11)$$

Bu bağıntılarda E_0 düzgün alan şiddetini, ϵ pürüzün dielektrik katsayısını, a , b , c elipsoidin eksen uzunluklarını belirtmektedir. Bu bağıntıların her biri x 'e bağlı amaç fonksiyonu olarak kullanılarak GA ile maksimum alan şiddetleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7: Değişik pürüzlerin maksimum elektrik alanı.

	$E_{\max}$ (V)		Bağıl Hata (%)
	Analitik Hesap	Genetik Algoritma	
İletken Yarı Küre Pürüz	30	29,99599	0.01337
Yalıtkan Yarı Küre Pürüz	15.71428	15.71624	0.01247
Dik elipsoidal Pürüz	18.11649	18.11637	0.00066

3.5 Darbe Akımının Tepe Değeri

Darbe akımları değişik şekillerde ortaya çıkmaktadır. Tepe değerlerine bağlı olarak elektrikli aygıtlarda ısınmalara ve mekanik zorlanmalara neden olurlar. Burada

$$i(t) = (U_m / \omega L) \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega t \quad (12)$$

bağıntısıyla verilen salınımlı (çok sayıda maksimuma sahip olan) bir darbe akımının tepe değeri ve tepe değere ulaşma süresi, bu bağıntı [13] amaç fonksiyonu olarak kullanılarak GA ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Darbe akımı tepe değeri ve tepe süresi hesabı.

	Analitik Hesap	Genetik Algoritma	Bağıl Hata (%)
t (μ s)	260	264.2697	1.642
$I_{\max}$ (kA)	10.13	10.1318	0.017769

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yüksek gerilim tekniğinde karşılaşılan bazı problemler, farklı bir yaklaşım olarak genetik algoritma ile çözülmüştür. Çözümlerde çalışma kapsamında özel olarak geliştirilen görsel bir programdan yararlanılmıştır. Her bir uygulamada farklı hesaplama parametreleri (alt sınır, üst sınır, mutasyon olasılığı, çaprazlama olasılığı, topluluk sayısı, nesil sayısı) seçilmiş ve parametrelerin hesap sonuçlarına etkisi incelenmiştir (Çizelge 1, 2 ve 3'e bakınız).

Yapılan çalışmalar, yüksek gerilim tekniğindeki tek amaç fonksiyonlu tek değişkenli bu uygulamalar için, genetik algoritmaların kullanılmasının, etkili ve kesin sonuçlar verdiğini göstermektedir. Genetik algoritma kullanılarak, doğrusal olmayan sistemler için daha kolay ve hızlı şekilde çözüm bulunabilir. Genetik algoritma ile bulunan sonuçlar ile analitik hesap ile bulunan sonuçların uyumu, bulunan bağıl hataların %1'den küçük olması yöntemin doğruluğunu göstermektedir. Ele alınan problemler karmaşıklıkla birlikte yöntemin doğruluk ve hız bakımından daha uygun ve anlamlı olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar, çok amaç fonksiyonlu ve çok değişkenli uygulamalar için genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Haida, T., Akimoto, Y., "Genetic algorithms approach to voltage optimization", First International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, pp. 139 – 143, 1991.
- [2] Iba, K., "Reactive power optimization by genetic algorithm", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 2, pp. 685 – 692, 1994.
- [3] Karr, C. L., Freeman, M., Industrial Applications of Genetic Algorithms, CRC, New York, 1999.
- [4] Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S., Halang W.A., Genetic Algorithms for Control and Signal Processing, Springer-Verlag, London, 1997.
- [5] Johnson, J. M., Rahmat-Samii, V., "Genetic algorithms in engineering electromagnetics", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 39, No. 4, pp. 7 – 21, 1997.
- [6] Yarushkina, N. G., "Genetic algorithms for engineering optimization: theory and practice", ICAIS 2002 Inter. Conf. on Artificial Intelligence Sys., pp. 357–362, 2002.
- [7] Herrmann, J. W., "A genetic algorithm for minimax optimization problems", Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, p. 1103, 1999.
- [8] Wenzel, D., Borsi, H., Gockenbach, E., "A new approach for partial discharge recognition on transformers on-site by means of genetic algorithms", IEEE Inter. Symposium on Electrical Insulation, Vol. 1, pp. 57 – 60, 1996.
- [9] Holland, J., Genetic Algorithms, Scientific American, 44-50, 1992.
- [10] Gen, M., Cheng, R., Genetic Algorithms and Engineering Design, Wiley, New York, 1997.
- [11] Golberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Longman Inc., Boston, 1989.
- [12] Özkaya, M., Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1 ve 2, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [13] Naidu, M. S., Kamaraju, V., High Voltage Engineering, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1997.