

YALITKAN GAZ KARIŞIMLARINDA KORONA BAŞLANGIÇ GERİLİMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE HESABI

E. Önal¹

G. Kömürgöz²

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik, Elektronik Fakültesi, Maslak , 34469, İstanbul,

¹e-mail: onal@elk.itu.edu.tr ²e-mail: guven@itu.edu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Korona Başlangıç Gerilimi, Genetik Algoritma, Gerçek-değer kodlaması

ÖZET

Bu çalışmada, N_2+SF_6 gaz karışımlarında düzgün olmayan alanlarda alternatif gerilimde korona başlangıç gerilimlerinin hesabı verilmiştir. Elektrot açıklığı 5-25 mm, gaz basıncı ise 100-500 kPa arasında değiştirilmiştir. Sonuçlar önce deneysel olarak bulunmuş daha sonra Genetik Algoritma kullanılarak kestirim yapılmıştır. Deneysel ve hesaplanan sonuçlar arasında çok iyi bir uyum görülmüştür. Sonuç olarak Genetik Algoritma, korona başlangıç gerilimlerinin kestiriminde etkin bir alternatif olarak düşünülebilir.

1. GİRİŞ

Gaz yalıtkanlar içinde üstün yalıtkanlık özellikleri nedeni ile SF_6 (kükürt heksaflorür) gazının ayrı bir yeri vardır. SF_6 'nın sera etkisi yaratması, yüzey pürüzlülüğüne hassasiyetinin yüksek oluşu ve pahalı olması araştırmacıları diğer gazlarla karışımı yoluyla yeni ekonomik ve teknik çözümler aramaya yöneltmiştir. N_2 , CO_2 ve hava gibi yalıtım amaçlı kullanılan gazların delinme gerilimleri az oranda SF_6 katılarak yükseltilebilmekte ve saf SF_6 'nın olumsuz özellikleri giderilmektedir. Bu gazlar yüksek gerilim teknolojisinde yalıtım amaçlı kullanılan gazlardır.

Çeşitli araştırmacılar SF_6 , N_2 ve N_2+SF_6 karışımlarının delinme ve korona başlangıç gerilimlerine etkisini araştırmışlardır[1-2]. SF_6 'nın az orandaki karışımları ile düzgün olmayan alanda alternatif gerilimde delinme ve korona başlangıç gerilimleri hakkında bilgi halen daha yetersizdir. Saf N_2 gazı gaz yalıtımlı cihazlarda elektriksel dayanım açısından çok elverişli değildir bu yüzden az oranda SF_6 gazı katılımı ile endüstride kullanıma yakın hale getirilebilir. Bu çalışmada çeşitli N_2+SF_6 karışımlarında alternatif gerilimde düzgün olmayan alanda korona başlangıç gerilimlerinin hesabı verilmiştir. Önce deney sonuçları verilmiş daha sonra Genetik Algoritma ile yapılan hesaplarla sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Önceki araştırmacılar korona başlangıç gerilimi hesabını çığ tekniğine dayandırarak açıklamışlardır. Basit olarak çığ kriteri aşağıdaki formül ile izah dileyebilir. [3-4]

$$\int_0^{x_c} (\alpha-\eta) dx = K \quad (1)$$

Burada saptanan en küçük gerilim, SF_6 gazı için delinmeye veya korona başlangıç gerilimine karşılık gelir. α ve η are iyonizasyon ve birleşme katsayılarıdır. Bu katsayılar, elektrik alan ve gaz basıncına bağlı değişen büyüklüklerdir. Burada x_c , kritik çığ uzunluğunu verir. Bu, $\alpha=\eta$ olan nokta ile en çok zorlanan elektrot ucu arasındaki uzunluktur. Denklem (1), düzgün ve yarı düzgün alanlarda SF_6-N_2 karışımlarında boşalma gerilim değerini kestiren bağıntı olarak birçok raporda kullanılmıştır[5]. Nitta ve arkadaşları (1) bağıntısını esas alarak SF_6 gazında büyük elektrot açıklıklarında boşalma gerilimini saptayan daha basit bir metod geliştirmişlerdir [6]. Bu metodda elektrot açıklığında alan dağılımına ilişkin açıklayıcı bilgi gerekli değildir. Ortalama ve maksimum alan şiddetleri gerekli bilgilerdir. Delinme gerilim kriterinde $\alpha=\alpha-\eta$ değerinde $\alpha(E/p)=0$ için E/p 'nin $(E/p)_{lim}$ olduğu aralık ile ilgilenilmiştir. Bu aralıkta α/p 'nin E/p ile değişimi lineerdir [6]. Etkin iyonizasyon katsayısı α aşağıdaki şekilde gösterilebilir,

$$\alpha/p=\beta[(E/p)-(E/p)_{lim}] \quad (2)$$

β 'nin değeri 27 kV^{-1} $(E/p)_{lim}$ 'in değeri $877.5 \text{ V(cm.kPa)}^{-1}$ saf SF_6 için verilmiştir. Çığ delinme kriterine göre denklem (1), denklem (3) şeklini alır.

$$\beta \int_0^x E(x)dx -\beta.p.x_c. (E/p)_{lim} =K \quad (3)$$

Düğüen elektrik alanında, $E(x)$ sabittir ve x_c elektrot açıklığı olan a 'ya eşittir. Bu durumlarda (3) bağıntısı V_d delinme gerilim ifadesini aşağıdaki gibi verir.

$$V_d=E.d=K/\beta+(E/p)_{lim}.p.a \quad (4)$$

Düğüen ve yarı düğüen alanlar için (4) bağıntısı direkt olarak delinme gerilimini verir. Ancak düğüen olmayan alanlar için bu ifade geçerli değildir. Düğüensüzlük

faktörü büyük alanlarda ve alçak basınçlarda önce korona boşalması olur. Alanın düzgünlüğü arttıkça delinme gerilim değeri korona başlangıç gerilim değerinden o derece büyür. Bu durumlarda çığ formülü korona başlangıç değerine karşılık gelir. Düzgün olmayan alanlarda x_c toplam elektrot açıklığının küçük bir oranı kadardır. Alan şiddeti zorlanan elektrot boyunca aşağıdaki şekilde verilir [7].

$$E(x) = \frac{E_{max}}{(1 + x/R)^2} \quad (5)$$

burada E_{max} elektrodun ucundaki alan şiddetidir.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (6)$$

R_1 ve R_2 elektrotların eğrilik yarıçaplarıdır. $E(x_c)/p = (E/p)_{lim}$ 'den x_c

$$x_c = R \left(\sqrt{\frac{E_{max}}{(E/p)_{lim} \cdot p} - 1} \right) \quad (7)$$

Nitta ve Malik [6-7] düzgün olmayan alanlarda boşalma başlangıç gerilimini (3), (5) ve (7) eşitliklerinden aşağıdaki gibi açıklamıştır:

$$V_d = (E/p)_{lim} \cdot u \cdot p \cdot a \left(1 + \frac{C}{\sqrt{pR}} \right) \quad (8)$$

u, düzgünlük faktörü = E_{av}/E_{max}

$$C = \sqrt{\frac{4 \cdot K}{\beta \cdot (E/p)_{lim}}} \quad (9)$$

Düzgün alanlar için delinme değerlerinden SF_6 için $K=10.5$ bulunmuştur[7]. Yine saf SF_6 için C sabiti 1.33 (kPa.cm)^{0.5} dir. Eşitlik (4) ve (8) düzgün ve düzgün olmayan alanlarda düz yüzeyler için minimum boşalma gerilimini verir. SF_6-N_2 karışımları için etkin iyonizasyon katsayısı bilinirse denklem (1) delinme kriterini formüllemek için kullanılabilir. Bu ölçümlerde bu bilgiler literatürde açıklanmamıştır. Bu durumda SF_6-N_2 karışımları için (4) ve (8) bağıntılarından delinme gerilimi açıklanabilir. Düzgün alanlarda

$$V_d = \frac{K_m}{\beta_m} + (E/p)_{lim} \cdot p \cdot a \quad (10)$$

düzgün olmayan alanlarda,

$$V_d = \left(\frac{E}{p} \right)_{lim} \cdot u \cdot p \cdot a \left(1 + C_m / \sqrt{pR} \right) \quad (11)$$

$$C_m = f_3(z) = \sqrt{\frac{4 \cdot K_m}{\beta_m \cdot (E/p)_{lim}}} \quad (12)$$

Burada $K(SF_6)=10.5$ ve $5 < K(N_2) < 8$ dir. $K_m < K(SF_6)$ olduğu kabul edilmiştir. Biz hesaplamamızda $K_m < K(SF_6)$ kabulü ile denklem (12) den $(E/p)_{lim}$ ve C_m değerleri Tablo 2de verilmiştir. Bu çalışmada $(E/p)_{lim}$ ve C_m değerleri Genetik Algoritma ile bulunmuş sonra korona başlangıç gerilimleri bu katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

2. GENETİK ALGORİTMA

Genetik Algoritma (GA) Darwin'in evrim kuramına dayanan, optimizasyon problemlerinde kullanılan yöntemlerden biridir. Canlılarda yaşanan genetik süreç bilgisayar ortamında gerçekleştirilebilir. GA, karmaşık mühendislik problemlerinin optimizasyonu gibi bir çok farklı alandaki araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. Optimizasyon problemlerinde GA kullanmanın temel yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir [9].

- Sürekli veya ayırık parametreleri kullanarak optimizasyon yapabilir.
- Çok sayıda parametreyi kullanarak inceleme yapabilir.
- Herhangi bir türev bilgisi gerektirmez.
- Sayısal olarak üretilmiş veriler, deneysel veriler veya analitik fonksiyonları kullanarak çalışabilir.
- Çok karışık amaç fonksiyonlarını kullanarak da parametreler optimize edebilir.
- Sadece bir tek çözümü değil, aynı zamanda optimum parametrelerin listesini sunabilir.

Genetik algoritmanın çalışmasını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz. GA rastgele bir toplum oluşturulmasıyla başlar. Çözümler kromozomlarla temsil edilir. Daha sonra kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulmakta kullanılan uygunluk fonksiyonu belirlenir. Her kromozomun ne kadar uygun olduğu bulunur. Yeni bir toplum oluşturmak için bu kromozomlar eşlenerek yeniden kopyalama ve değiştirme operatörleri uygulanır. Yeni bir birey oluşturmak için, kromozomların eşlenmesi kromozomların uygunluk değerlerine ve çaprazlama olasılığına göre yapılır. Çaprazlama toplumda çeşitliliği sağlar. İyi özelliklerin bir araya gelmesini kolaylaştırarak en iyiyi yaklaşmayı sağlar. Mutasyon kromozomun bir parçasının dışarıdan değiştirilmesi şeklinde tanımlanır. Mutasyon olasılığıyla oluşturulan Yeni birey yeni toplumda yer alır. Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar ortadan kaldırılır. Oluşan yeni toplumdaki tüm kromozomlar yeniden hesaplanarak yeni toplumun başarısı bulunur. Bu şekilde genetik algoritma defalarca çalıştırılarak çok sayıda toplum oluşturulup hesaplanır.

Toplumların hesaplanması sırasında en iyi bireyler saklandığı için o ana kadar bulunmuş en iyi sonuç problemin çözümüdür.

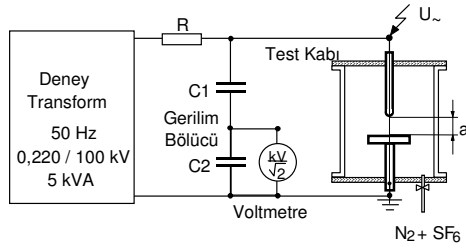
Bu çalışmada sürekli parametrelili genetik algoritma, $(E/p)_{lim}$ ve C_m sabitlerini belirlemek için bir yüksek gerilim ölçme sistemine uygulanmıştır. Bu çalışmada belirlenen uygunluk fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Uygunluk Fonksiyonu} = \frac{1}{\sum (V^m - V^p)} \quad (13)$$

Burada, V^m ve V^p ölçülen ve tahmin edilen değerleri göstermektedir. Ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki fark küçüldükçe uygunluk fonksiyonunun değeri büyür. Büyük Uygunluk Fonksiyonu, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın minimumlaştırılmasıyla sağlanır. Tek bir kritik elektrot açıklığı hesaplamak zorunludur. Çalışmada ilk önce, N_2+SF_6 karışımı için korona başlangıç gerilimlerini deneysel olarak belirlenmiş ve daha sonra GA ile delinme gerilimleri tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalarla karşılaştırılabilir. GA'nın çalıştırılması sırasında kullanılan parametreler sırasıyla aşağıdaki gibi seçilmiştir. Toplumdaki birey sayısı 150, çaprazlama olasılığı 0.7, mutasyon olasılığı 0.01, turnuva olasılığı 0.7.

3.DENEY DÜZENİ

Deneyler çubuk-düzlem elektrot sistemi kullanılarak yapılmıştır. Çubuğun eğrilik yarıçapı 1 mm düzlem elektrodun çapı 75 mm'dir (Şekil. 1).



Şekil-1. Deney Devresi

Tüm deneylerde elektrot açıklığı 5-25 mm, basınç 100-500 kPa arasında değişir. Elektrotlar 120 mm çaplı 600 mm uzunluğundaki basınç kabı içine yerleştirilmiştir.

Tablo1. u, çeşitli elektrot sistemlerinde düzgünlük faktörü

a(cm)	u
2,5	0.054
2,0	0.066
1,5	0.085
1,0	0.120
0,5	0.210

Ölçmeler yüksek hassasiyetli osiloskop ile yapılmıştır. Deneylerde, %4, 10, 20, 100 SF_6 'lı SF_6+N_2 gaz karışımları kullanılmıştır. u, düzgünlük faktörü Stenbigler teorisinden bulunmuştur [10].

4. UYGULAMA ve DENEY SONUÇLARI

Korona başlangıç gerilimlerinin deneysel ve teorik değerleri için alternatif gerilimde 100-500 kPa basınç aralığında sivri uç-düzlem elektrot sistemi için SF_6-N_2 karışımları için bağıntılar verilmiştir. Görüldüğü gibi SF_6+N_2 gaz karışımlarının korona başlangıç gerilimleri, elektrot açıklığı, gaz basıncı, gaz karışım oranına bağlıdır. Ölçülen korona başlangıç gerilimleri teorik olarak çık teoriden (denklem 11) bulunan sonuçlarla uyum içindedir. Bağıntı (11)'deki $(E/p)_{lim}$ ve C_m değerleri Genetik Algoritma kullanılarak bulunmuştur. SF_6-N_2 karışımları için düzgün olmayan alanlarda korona başlangıç gerilim değerleri deneysel verilerle uyum içindedir. Korona başlangıç geriliminin farklı basınç aralıkları için elektrot açıklığına bağlı değişimleri Şekil.2-5' de verilmiştir.

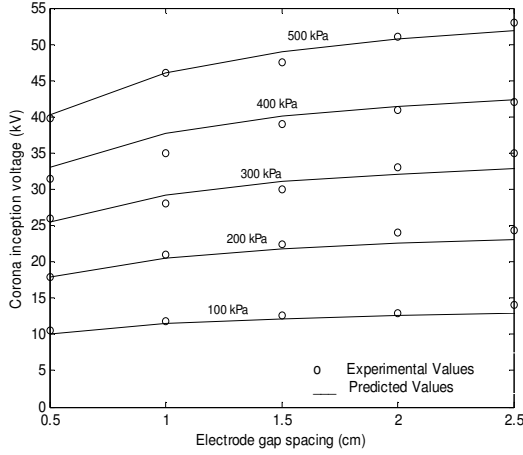
Tablo 2. SF_6-N_2 karışımlarında farklı SF_6 oranları için $(E/p)_{lim}$ ve C_m değerleri

$z = \frac{p(SF_6)}{p} \%$	$\left(\frac{E}{p}\right)_{lim} V(cm.kPa)^{-1}$	$C_m (kPa.cm)^{0.5}$
100	873.4481	1.7197
20	611.3772	2.70
10	534.0088	3.0898
4	456.7999	4.4369

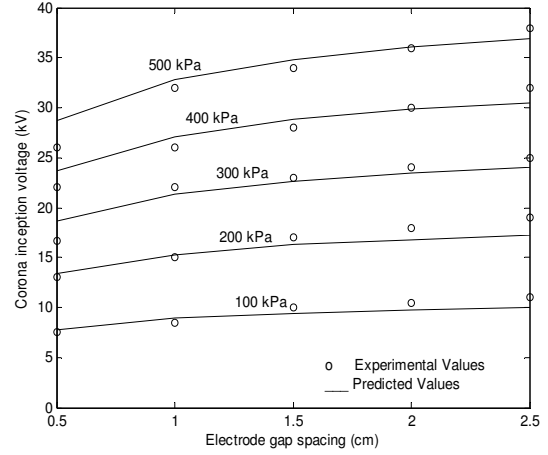
Burada $(E/p)_{lim}$ ve C_m gaz oranına bağlı olarak değişir ve bu değerler SF_6-N_2 karışımları için Genetik Algoritma kullanılarak bulunan sabitlerdir. $u = E_{av}/E_{max}$ alan düzgünlük faktörünü gösterirken p, gaz basıncı (kPa), a, elektrot açıklığı (cm) R çubuk elektrodun yarıçapını (cm) göstermektedir.

5. SONUÇ

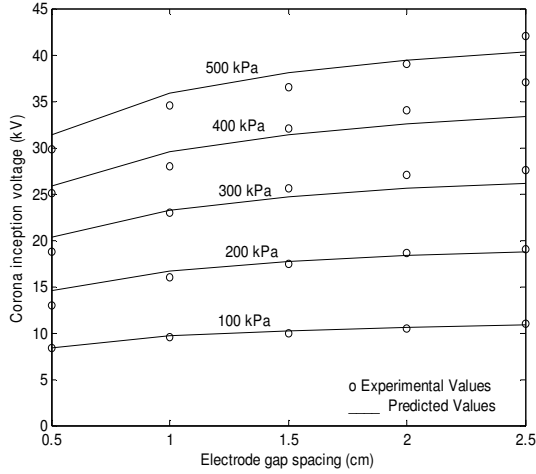
Bu çalışmada SF_6+N_2 karışımları için korona başlangıç gerilimlerinin hesabı incelenmiştir. Açıklanan hesaplar Genetik Algoritmaya uyarlanmıştır. Çubuk-düzlem elektrot sistemi kullanılarak yapılan deneyde bulunan korona başlangıç değerleri deneysel ve teorik sonuçlarla uyum içindedir. Deneylerde farklı basınç aralıkları ve farklı elektrot açıklıkları kullanılmıştır. Genetik Algoritma kullanılarak kestirilen değerlerle bulunan sonuçlarla deneysel veriler arasındaki doğruluk yaklaşık 5.5 % dir. Bu yaklaşım, sonuç bulmada birçok deneysel çalışmada alternatif bir araç olarak kabul edilebilir.



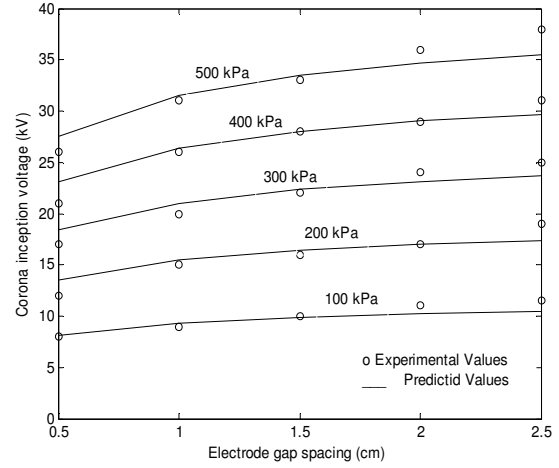
Şekil-2. 100% SF₆ için korona başlangıç geriliminin elektrot açıklığına bağlı değişimi



Şekil-4. 10% SF₆+90% N₂ için korona başlangıç geriliminin elektrot açıklığına bağlı değişimi



Şekil-3. 20% SF₆+80% N₂ için korona başlangıç geriliminin elektrot açıklığına bağlı değişimi



Şekil-5. 4% SF₆+96% N₂ için korona başlangıç geriliminin elektrot açıklığına bağlı değişimi

KAYNAKLAR

- [1] N.H. Malik and A.H. Qureshi, "A Review of Electrical Breakdown in Mixtures of Sulphur-Hexafluoride and other Gases". IEEE Trans. On Electrical Insulation. Vol EI-14, No.1, 1979.
- [2] E.Kuffel, A.Yializis., "Impulse Breakdown of Positive and Negative Rod-Plane Gaps in SF₆-N₂ Mixtures", IEEE Trans. on Pow. App. Sys., PAS-97, No. 6. Nov/Dec. 1978, pp. 2359-2366.
- [3] H. Raether, Electron Avalanches and Breakdown in Gases, Butterworth and Co. 1964.
- [4] J. M. Meek and J. D. Craggs, Electrical Breakdown of Gases, Clarendon Press, Oxford, 1953.
- [5] M. Ermel, "Das N₂-SF₆ Gasgemisch als Isoliermittel der Hochspannungstechnik", ETZ-A, BD. 96, H.5, 1975, pp. 231-235.
- [6] T.Nitta and Y. Shibuya, "Electrical Breakdown of long gaps in Sulphur-Hexafluoride", IEEE Trans. on PAS, PAS-90, No.3, 1971, pp.1065-1071.
- [7] N. H. Malik, A. H. Qureshi, "Calculation of Discharge Inception Voltages in SF₆+ N₂", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-14, No.2, pp.70-76, 1979.
- [8] K.Kayomada, Y. Yamada, T. Nishio, H. Kotera, "Compact Modeling Approach Genetic Algorithms for Accurate Thermal Simulation", Heat Transfer-Asian Research 30(1), 2001.
- [9] R. Haupt, S. Haupt, Practical Genetic Algorithms, John Wiley & Sons, 1998.
- [10] H.Steinbigler, Anfangsfeldstarken und Ausnutzungsfaktoren rotationssymmetrischer elektrodenanordnungen in Luft, Technische Hochschule, Dissertation, München, 1969.