

AZ ORANDA SF₆ KATILMIŞ HAVANIN DELİNME KARAKTERİSTİKLERİ

Emel ÖNAL, Özcan KALENDERLİ, İzzet GÖNENÇ, Muzaffer ÖZKAYA

İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 Maslak - İSTANBUL

Anahtar Sözcükler: Gazlarda Boşalma Olayları, Kükürt Heksaflorür

ABSTRACT

AC breakdown strengths of mixtures of air + SF₆ containing a small amount of SF₆ in non-uniform field were experimentally investigated. The electrode gap spacing and the relative gas pressure were varied within the range of 5-25 mm and of 1-5 bars, respectively. At each gap spacing and gas pressure, 50 Hz AC breakdown voltages of mixtures of air + SF₆ containing 20 - 4 -1-0.5 % of SF₆ in a rod-plane gap were measured. The experimental results have shown that addition of relatively small amount of SF₆ to air causes a significant increase in the dielectric strength. For example the breakdown strength of air with 0.5 % SF₆ by volume is approximately twice that for pure SF₆ or 1.5 times higher than that for pure air at about pressures of 3-3.5 bars.

1. GİRİŞ

Gazlar, konuldukları hacme kolay uyum sağlamaları ve istenen teknik özellikleri ağırlık sorunu yaratmadan karşılamaları açısından yalıtkanlar içinde ayrı bir yere sahiptir. Yüksek gerilim aygıtlarının boyutlandırılması ve davranışı bakımından yalıtım ortamı sağlayan hava ve diğer gazların delinme karakteristiklerinin bilinmesi önemlidir. Bu amaçla gazlarla ilgili pek çok araştırma yapılmakta ve sonuçları literatürde yayınlanmaktadır /1, 2/.

Gazlar üzerinde bugüne kadar yapılan çalışmalar, gazların elektriksel dayanımının gaz basıncı, elektrot şekli, elektrot açıklığı, ortam koşulları, gaz özellikleri, gerilim türü ve kutbiyeti gibi pek çok etkene bağlı olduğunu göstermiştir /3, 4/. Gaz yalıtkanlar içinde üstün yalıtkanlık özellikleri nedeniyle kükürt hekzaflorür (SF₆)'nın ayrı bir yeri vardır. Çok kullanılan fakat pahalı bir elektronegatif gaz olan SF₆'nın bu durumu, diğer gazlarla karışımı yoluyla yeni ekonomik ve teknik çözümler aramaya yöneltmiştir /5-8/. Bu araştırmalar içinde hava + SF₆ karışımı incelemeleri de havanın bol bulunan ve ucuz bir gaz olması nedeniyle öncelikli yer almaktadır /7-9/. Bunun yanında, hava + SF₆ karışımlarında SF₆ miktarını daha da azaltarak elde edilecek gazların davranışını incelemek, gazlarla ilgili araştırmaların son zamanlardaki ilginç konularından birini oluşturmaktadır /10-14/.

Bu çalışmada, 50 Hz alternatif gerilimde ve düzgün olmayan alanda, içine az oranda SF₆ katılmış havanın delinme geriliminin, gaz basıncına, elektrot açıklığına ve hava+SF₆ gaz karışımındaki SF₆ oranına bağlı olarak değişimlerinin, deneysel olarak elde edilen sonuçları sunulmuştur. Deneylerde, çubuk-düzlem elektrot sistemi içinde havaya % 20-4-1-0,5 oranlarında SF₆ gazı katılarak 1-5 bar basınç aralığında ve 5-10-15-20-25 mm elektrot açıklıklarında delinme gerilimleri saptanmış ve U_d = f(p) eğrileri elde edilmiştir.

2. DENEYLERDE KULLANILAN AYGITLAR VE ÖZELLİKLERİ

Deneylerde, 1 mm yarıçaplı yarıküresel uçlu çubuk elektrot ile 75 mm çapında, 6 mm kalınlığında, kenarları yuvarlatılmış disk şeklinde bir düzlem elektrottan oluşan bir çubuk-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Deneyler, 5, 10, 15, 20 ve 25 mm'lik sabit elektrot açıklıklarında yapılmıştır. Elektrot açıklıkları basınç kabının dışından ±% 0,1 duyarlıklı özel mastarlarla ayarlanmıştır. Elektrotlar, 664 mm uzunluğunda, 120 mm çapında, 6 bar'lık basınca dayanıklı, pleksiglastan yapılmış bir deney kabı içine yerleştirilmiştir. Çubuk elektrot yüksek gerilim kaynağına bağlanmış, düzlem elektrot topraklanmıştır.

Deney kabı, deney yapılacak gaz doldurulmadan önce 30 dakika vakumlanmış ve daha sonra deney yapılacak basınca kadar gaz ile doldurulmuştur. Gaz doldurma işleminden sonra ortamın kararlı duruma gelmesi için tek gaz ile yapılan deneylerde en az 30 dakika, gaz karışımlarında ise en az 2 saat beklenmiştir. Deneylerde, deney kabı içindeki gaz basıncı 1 bar'dan 5 bar'a kadar 0,5 bar'lık basınç artımları ile değiştirilmiştir. Gaz basıncı değişikliklerinden sonra, deneye geçilmeden önce, 30 dakika beklenmiştir. Gaz ve vakum basıncı deney kabı üzerindeki manometreler yardımıyla ölçülmüştür.

Deneyler, hava, SF₆ ve içinde % 20-4-1-0,5 oranlarında SF₆ bulunan hava+SF₆ gaz karışımları ile yapılmıştır. Az oranda SF₆ içeren hava+SF₆ karışımları seyreltme yöntemi ile elde edilmiştir. Deneylerde doğal hava ve ticari saflıkta SF₆ kullanılmıştır.

50 Hz frekanslı alternatif gerilimler 100 kV, 5 kVA'lık

bir yüksek gerilim deney transformatöründen elde edilmiştir. Delinme anındaki akımı sınırlamak ve elektrot yüzeylerinin aşınmasına engel olmak amacıyla elektrot sistemi ile deney transformatörü arasına 50 k Ω luk bir ön direnç bağlanmıştır. Gerilim 2 kV/s'lik hızla delinme olana kadar yükseltilmiştir. Delinme gerilimleri, bir kapasitif gerilim bölücü ve değerleri kV/ $\sqrt{2}$ cinsinden gösteren bir yüksek gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür.

Beş farklı elektrot açıklığında ve her basınç basamağında delinme gerilimi değeri, 10 delinme gerilimi ölçmesinin aritmetik ortalamasından belirlenmiştir. Gerilim ölçmeleri arasında yaklaşık 3'er dakika beklenmiştir. Deneyler, 18-22°C'lik oda sıcaklığında yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI

Burada, hava, SF₆ ve hava+SF₆ gaz karışımları için elde edilen deney sonuçları delinme gerilimi-basınç eğrileri şeklinde sunulmuştur. Şekil 1'de hava, Şekil 2'de SF₆, Şekil 3-6'da ise hava+SF₆ karışımları için elde edilen eğriler verilmiştir.

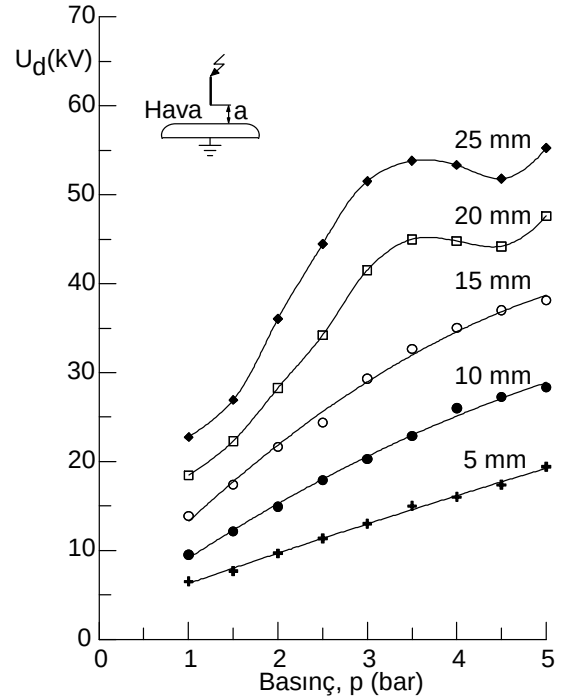
Şekil 1'den, havanın delinme geriliminin artan basınç ve elektrot açıklığı ile arttığı görülmektedir. Şekildeki eğrilerin düşük basınç ve küçük elektrot açıklıklarında birbirine yaklaştığı buna karşılık yüksek basınç ve büyük elektrot açıklıklarında ise uzaklaştığı görülür.

SF₆ gazında yapılan deneyler sonucunda bulunan ve Şekil 2'de gösterilen $U_d=f(p)$ eğrilerinin eğiminin belirli basınç aralıklarında işaret değiştirdiği yani delinme geriliminin basınçla maksimum ve minimum davranışı gösterdiği görülmektedir. Yine bu eğriler incelendiğinde alçak basınçlardan başlayarak delinme geriliminin belli bir değere kadar basınçla birlikte yükseldiği ve bir maksimumdan geçtikten sonra azalarak p_{min} basıncında U_{dmin} değerini aldığı, p_{min} 'un üstündeki basınçlarda ise delinme geriliminin basınçla tekrar arttığı görülmektedir.

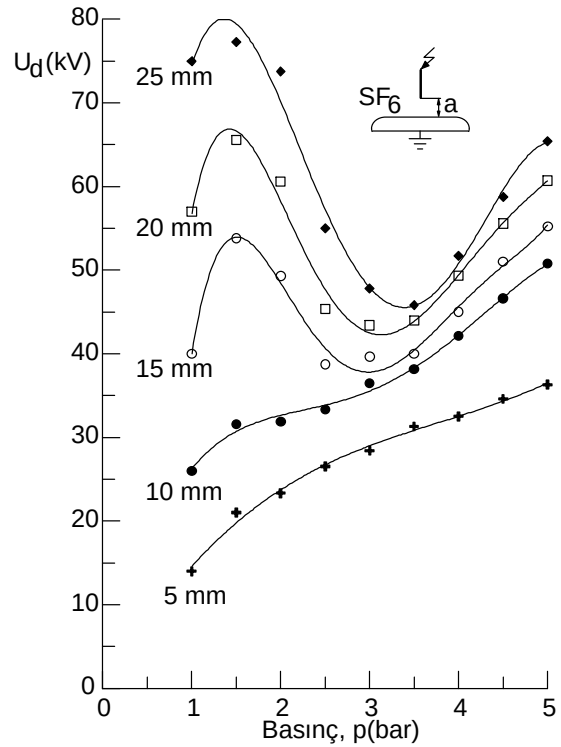
Maksimum minimum davranışı özellikle 15-20-25 mm elektrot açıklıklarında görülmüştür. 5-10 mm elektrot açıklıklarında böyle bir durum söz konusu değildir. Düzgün olmayan alanlı elektrot sistemlerinde ortaya çıkan bu durumun gerilimin kutbiyeti ile ilgili olduğu söylenebilir. Maksimum delinme gerilimine karşı düşen basınç 1,5 bar, minimum delinme gerilimine karşı düşen basınç ise yaklaşık 3-3,5 bardır. Delinme gerilimi değerleri elektrot açıklığının artmasına bağlı olarak artmaktadır.

İçinde % 20-4 oranlarında SF₆ bulunan hava+SF₆ karışımlarının delinme gerilimi-basınç değişimlerinde maksimum minimum davranışı görülmekle birlikte karışımda SF₆ oranı azaldıkça bu durumun ortadan kalktığı görülmektedir. % 20-4 SF₆'lı karışımlarda 3 bar basınçta görülen maksimum delinme gerilimi

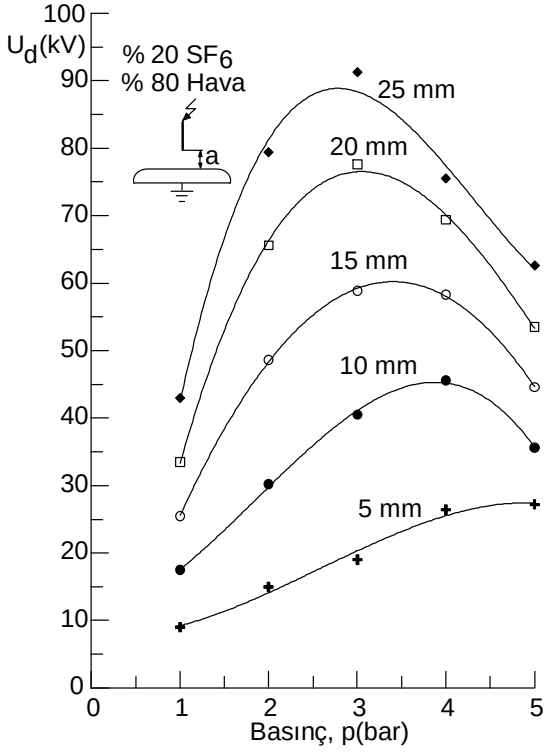
değerleri, birbirine çok yakın ve 90 kV civarındadır. 5 bar'daki delinme gerilimi değerleri ise % 4 SF₆'lı karışımda % 20 SF₆'lı karışımdakine göre daha küçüktür (Şekil 4 ve 5).



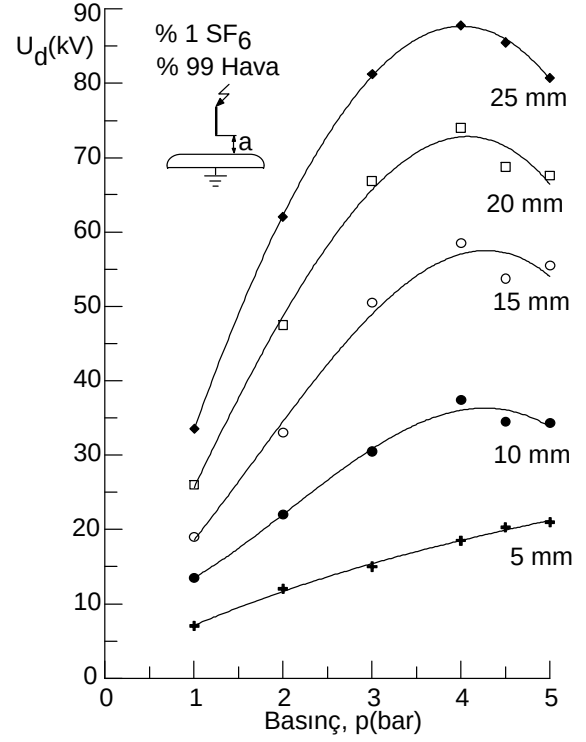
Şekil 1. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25 mm elektrot açıklığında, havanın delinme geriliminin basınçla değişimi.



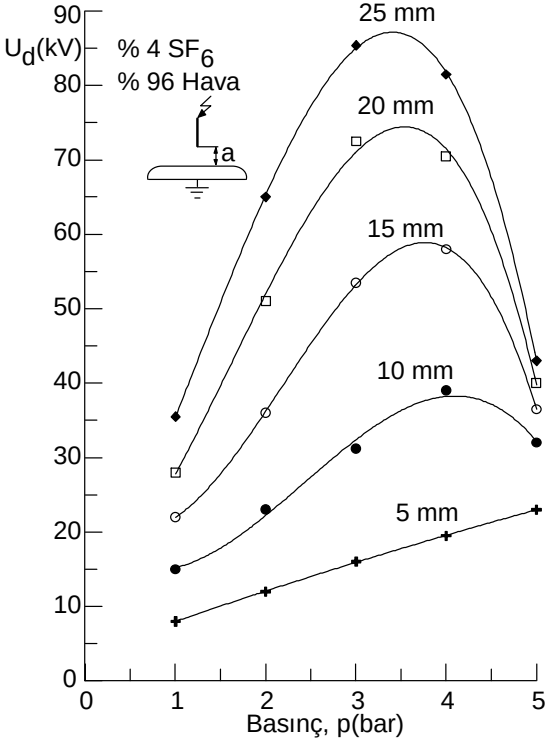
Şekil 2. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25 mm elektrot açıklığında, SF₆'nın delinme geriliminin basınçla değişimi.



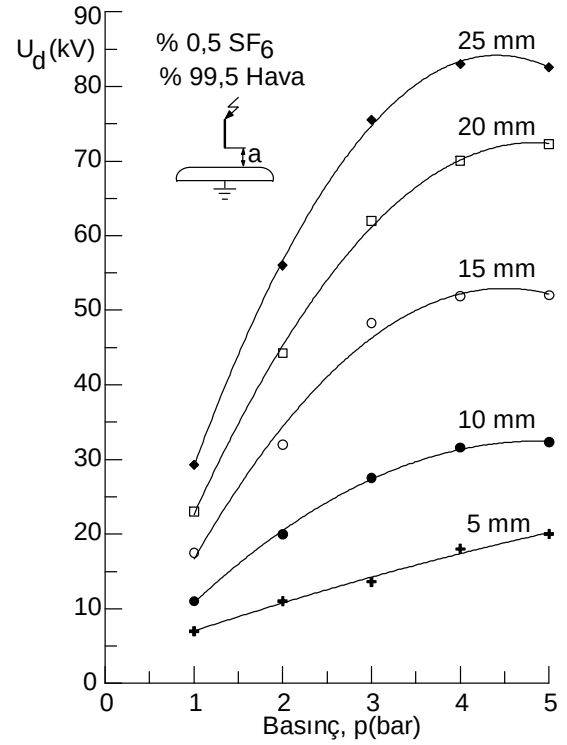
Şekil 3. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25 mm elektrot açıklığında (% 20 SF₆ + % 80 Hava) -nın delinme geriliminin basınçla değişimi.



Şekil 5. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25mm elektrot açıklığında (% 1 SF₆ + % 99 Hava) -nın delinme geriliminin basınçla değişimi.



Şekil 4. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25 mm elektrot açıklığında (% 4 SF₆ + % 96 Hava) -nın delinme geriliminin basınçla değişimi.



Şekil 6. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25 mm elektrot açıklığında (% 0,5 SF₆ + % 99,5 Hava) -nın delinme geriliminin basınçla değişimi.

% 1-0,5 SF₆+hava karışımlarında ise delinme gerilimi minimum değer almamakta, maksimum değer ise SF₆ oranı azaldıkça küçülmektedir. Bu karışımlarda genel olarak havanın delinme karakteri görülmektedir (Şekil 5-6).

Şekil 5 ve 6'dan görüldüğü gibi delinme geriliminin maksimum değeri karışımdaki SF₆ oranı arttıkça büyümektedir. Saf SF₆'da 3,5 bar basıncında delinme gerilimi, minimum değerler alarak havanın delinme geriliminden bile daha küçük değerler almaktadır. % 1 SF₆'lı karışımın maksimum delinme gerilimi, saf SF₆'ninkinden % 88 daha büyüktür. 3 bar basınçta % 20 SF₆+hava karışımının delinme gerilimi de saf SF₆'ninkine göre 2 kat daha büyüktür.

Bu sonuçlara göre 1,5-5 bar basınç aralığında SF₆+hava karışımı, saf SF₆'ya göre oldukça yüksek delinme gerilimi değerleri vermektedir.

SONUÇ

Deney sonuçları, düzgün olmayan alanda havaya az oranda SF₆ gazı katmanın havanın delinme dayanımını önemli oranda yükselttiğini göstermiştir. Gaz yalıtımlı sistemlerde delinme dayanımının yüksek olması ve az miktarda SF₆ kullanılması teknik ve ekonomik açıdan istenen bir özellik olduğundan bu sonuç, göz önüne almaya değer bir sonuçtur. Özellikle 3 bar'dan daha yüksek basınçlarda içine az oranda SF₆ katılmış SF₆+hava karışımlarının kullanılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

- /1/ L. G. Christophorou, L. A. Pinnaduwa, "Basic physics of gaseous dielectrics", IEEE Trans. on Electrical Insul., Vol. EI-25, No. 1, pp. 55-74, 1990.
- /2/ T. Takuma, "Discharge characteristics of gaseous dielectrics", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-21, No. 6, pp. 855-867, 1986.
- /3/ H. M. Ryan, W. L. Watson, "Factors affecting the insulation strength of SF₆ filled systems", Int. Conf. of High Voltage Electrical Systems Proc. of the 26th Session (CIGRE), Vol. 1, 15.02, 1976.
- /4/ S. Sangkasaad, "Corona inception and breakdown voltages in nonuniform fields in SF₆", Int. High Voltage Symposium, Zurich, pp. 378-384, 1975.
- /5/ N. H. Malik, A. H. Qureshi, "A review of electrical breakdown in mixtures of SF₆ and other gases", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-14, No. 1, pp. 1-11, Feb. 1979.
- /6/ M. C. Siddagangappa, C. S. Lakshminarasimha, M. S. Naidu, "Synergism factor in binary mixtures of electronegative and buffer gases", Conference of Electrical and Dielectric Phenomena, New York, Annual Report, pp. 42-47, 1983.
- /7/ N. H. Malik, A. H. Qureshi, "Breakdown gradients in SF₆-N₂, SF₆-air, SF₆-CO₂ mixtures", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-15, No. 5, pp. 413-418, Oct. 1980.
- /8/ A. H. Cookson, B. O. Pedersen, "Analysis of the high voltage breakdown results for mixtures of SF₆ with CO₂, N₂ and air", Third Int. Symp. on HV Engineering, Milan, Paper 31.10, 1979.
- /9/ W. S. Zaengl, K. Petcharaks, "Application of streamer breakdown criterion for inhomogeneous fields in dry air and SF₆", The 7th Int. Symposium on Gaseous Dielectrics, Tennessee, pp. 153-159, 1994.
- /10/ A. Yializis, N. H. Malik, A. H. Qureshi, E. Kuffel, "Impulse breakdown and corona characteristics for rod-plane gaps in mixtures of SF₆ and nitrogen with less than 1% of SF₆ content", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No.5, pp. 1832-1839, Sept./Oct. 1979.
- /11/ Y. Qiu, E. Kuffel, "The breakdown strengths of gas mixtures containing a small amount of electronegative gas in non-uniform field gaps", 7th Int. Conference on Gas Discharge and Their Applications, London, 1982.
- /12/ M. F. Frechette, S. Kamel, R. Bartnikas, R. Y. Larocque, "Negative corona discharge in air with small SF₆ content", Int. Symposium on Electrical Insulation, Montreal, pp. 801-805, 1996.
- /13/ K. Mardikyan, Ö. Kalenderli, O. Ersen, E. Canarslan, "Ac breakdown strength of N₂, SF₆ and a mixture of N₂+SF₆ containing a small amount of SF₆", International Symposium on Electrical Insulation, Montreal, pp. 763-765, 1996.
- /14/ Ö. Kalenderli, K. Mardikyan, "50 Hz alternatif gerilimde düzgün olmayan alanda % 1 SF₆ içeren kuru havanın delinme dayanımı", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi, Ankara, s. 657-659, 8-14 Eylül 1997.