

DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA YALITKAN GAZLARIN ELEKTRİKSEL DELİNME KARAKTERİSTİKLERİ

Emel ÖNAL

onal@elk.itu.edu.tr

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

Özcan KALENDERLİ

ozcan@elk.itu.edu.tr

ABSTRACT

AC breakdown strengths of CO₂, N₂, SF₆, air in nonuniform field were experimentally studied. The experimental results have shown that the breakdown voltages of SF₆ is about two times that of CO₂, N₂, air at small electrode gap. However at 25 mm electrode gap spacing and 300 kPa the breakdown voltage of air is %7.8 higher than that of SF₆.

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 gazların delinme karakteristiklerinin bilinmesi önemlidir. Bu amaçla gazlarla ilgili pek çok araştırma yapılmakta ve sonuçları literatürde yayınlanmaktadır.

Gazlar üzerinde bugüne kadar yapılan çalışmalar, gazların elektriksel dayanımının gaz basıncı, elektrot şekli, ortam koşulları, gaz özellikleri, gerilim türü ve kutbiyeti gibi pek çok etkene bağlı olduğunu göstermiştir. Gaz yalıtkanlar içinde üstün yalıtkanlık özellikleri nedeni ile SF₆ (kükürt heksaflorür) gazının 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. N₂, CO₂ ve hava gibi yalıtım amaçlı kullanılan gazların delinme gerilimleri az oranda SF₆ katılımı ile yükseltilebilmekte ve saf SF₆'nın olumsuz özellikleri giderilmektedir.

Literatürde, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme karakteristiklerinin incelendiği pek çok çalışma bulunmaktadır [1-3]. Bu konudaki çalışmaların çoğunda düzgün ve yarı düzgün elektrot sistemleri kullanılmıştır. Ancak uygulamada çokça karşılaşılan düzgün olmayan alanlarda yapılan çalışmalar araştırmaya ağırdır.

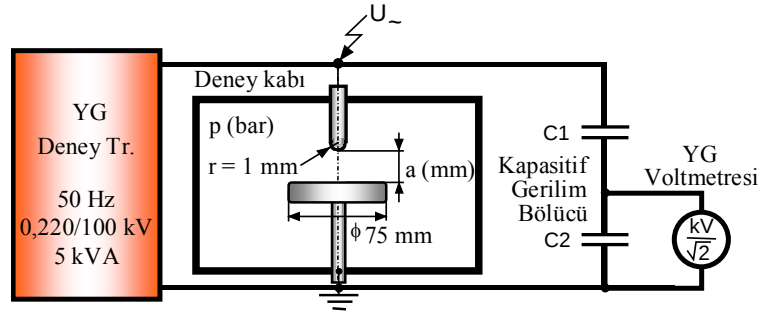
Daha önceki çalışmalarda, pozitif doğru ve darbe gerilimlerinde saf SF₆ için maksimum-minimum

davranışı gözlenmesine rağmen negatif gerilimlerde bu durum görülmemiştir [4-5]. Yüksek basınçlarda, sivri uç düzlem elektrot sisteminde negatif doğru gerilimde N₂'nin delinme gerilimi pozitif doğru gerilim değerlerinden daha büyüktür. Alçak basınçlarda pozitif ve negatif doğru gerilimlerde delinme gerilimleri yaklaşık olarak eşittir. Negatif darbe geriliminde ise N₂'nin delinme gerilimi değerleri pozitif darbe gerilimi değerlerinden büyüktür [6-8]. Negatif darbe geriliminde 50 kPa basınçta SF₆'nin delinme gerilimi N₂, CO₂ ve havanın delinme gerilimlerinin 3 katı iken basınç yükseldikçe 500 kPa'da SF₆'nin delinme gerilimi değeri diğerlerinden yaklaşık %10-20 daha büyüktür. Hava ve CO₂ için de negatif darbe gerilimi değerleri, pozitif darbe gerilimi değerlerinden daha yüksek bulunmuştur [9].

Bu çalışmada, 50 Hz alternatif gerilimde ve düzgün olmayan alanda, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme gerilimlerinin basınç ve elektrot açıklığı ile değişimleri sunulmuştur. Deneyisel olarak elde edilen bu karakteristikler, söz konusu gazların delinme gerilimlerinin, elektrot açıklığına bağlı olarak, basınç ile değişimlerini vermektedir. Deneylerde çubuk-düzlem elektrot sistemi içinde SF₆, CO₂, N₂ ve havanın 100-500 kPa basınç aralığında ve 5-10-15-20-25 mm elektrot açıklıklarında delinme gerilimleri saptanmış ve $U_d = f(p)$ eğrileri elde edilmiştir.

2. DENEY DÜZENİ

Deneylerde, 1 mm yarıçaplı yarı küresel 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 sabit elektrot açıklıklarında yapılmıştır. Elektrotlar, 664 mm uzunluğunda, 120 mm çapında, 600 kPa'lık basınca dayanıklı, pleksiglastan yapılmış bir deney kabı içine yerleştirilmiştir. Çubuk elektrot yüksek gerilim kaynağına bağlanmış, düzlem elektrot topraklanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Deney düzeni.

Deney kabı, deney yapılacak gaz doldurulmadan önce 30 dakika kadar vakumlanmış ve daha sonra deney yapılacak basınca kadar gaz ile doldurulmuştur. Gaz doldurma işleminden sonra ortamdaki gazın homojen dağılması ve kararlı duruma gelmesi için en az 30 dakika beklenmiştir. Deneylerde, deney kabı içindeki gaz basıncı 100 kPa'dan 500 kPa'ya kadar 50 kPa'lık basınç artırımları ile değiştirilmiştir. Gaz basıncı değişikliklerinden sonra deneye geçilmeden önce, 30 dakika beklenmiştir. Gaz ve vakum basıncı deney kabı üzerindeki manometreler yardımıyla ölçülmüştür. Deneylerde doğal hava ve ticari saflıkta diğer gazlar kullanılmıştır.

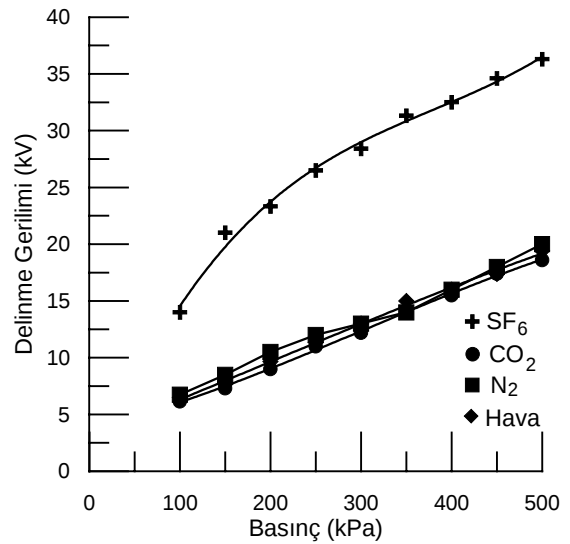
50 Hz frekanslı yüksek alternatif gerilim, 100 kV, 5 kVA'lık bir yüksek gerilim deney transformatöründen elde edilmiştir. Delinme gerilimleri, bir kapasitif gerilim bölücü ve değerleri etkin değer cinsinden gösteren bir yüksek gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür. Beş farklı elektrot açıklığında ve her basınç basamağında delinme gerilimi değeri, 10 delinme gerilimi ölçmesinin aritmetik ortalamasından belirlenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde SF₆, CO₂, N₂ ve hava için elde edilen deney sonuçları, delinme gerilimi-basınç eğrileri şeklinde sunulmuştur (Şekil 2-6). Şekillerde, ayrı ayrı 5-10-15-20 ve 25 mm elektrot açıklıkları için 500 kPa basınca kadar delinme gerilimleri gösterilmiştir.

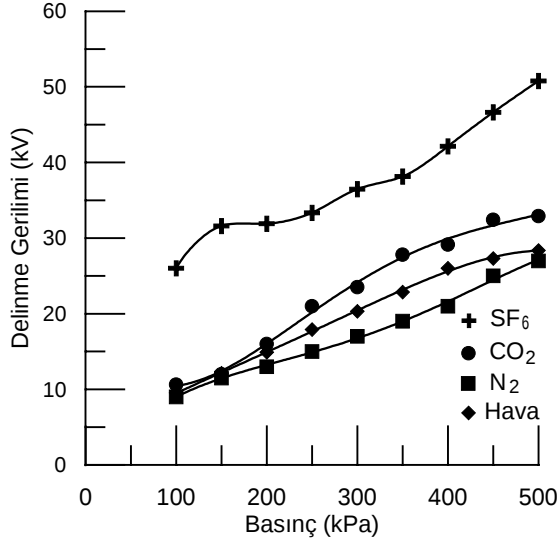
Deneysel sonuçlara göre, SF₆ için maksimum minimum davranışı elektrot açıklığının 15 mm'den büyük olduğu durumlarda söz konusudur. Küçük açıklıklarda elektrotlar düzlem-düzlem elektrot davranışı gösterirler. SF₆'nın maksimum-minimum davranış göstermesi, boşalmaların elektrotlar arasında kavisli bir yol izlemesi sonucunda ortaya çıkar. Boşalmanın kavisli yol izlemesi radyal yönde boşalma kanalında elektrik alan şiddetinin büyüdüğünü göstermektedir. Düzgün alanlı olmayan elektrot sistemlerinde ortaya çıkan bu durumun gerilimin kutbiyeti ile ilgili olduğunu ileri sürebiliriz. Başka araştırmacılar pozitif sivri uç-düzlem elektrot sisteminde darbe ve doğru gerilimde CO₂ ve N₂ için de delinme geriliminin basınca göre değişiminde

maksimum minimum davranışını görmüşlerdir. Bu durum bizim çalıştığımız basınç aralıklarından daha yüksek basınçlarda gerçekleşmiştir. Alternatif gerilimde de delinme olayı pozitif yarı dalgada olduğundan verilen açıklamalar pozitif doğru ve darbe gerilimindekine benzer olacaktır.



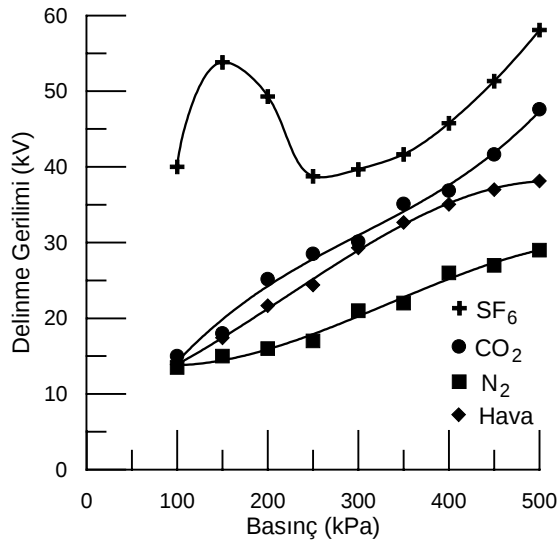
Şekil 2. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5 mm elektrot açıklığında, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

Şekil 2'den görüldüğü gibi, 5 mm elektrot açıklığı için N₂, CO₂ ve havanın delinme gerilimleri yaklaşık olarak eşittir ve basınçla lineer artmaktadır. 5 mm elektrot açıklığında tüm basınçlarda SF₆'nın delinme gerilimi diğer gazların delinme gerilimlerinden yaklaşık 2 kat daha büyüktür. SF₆ moleküllerinin büyük, serbest yollarının küçük olması ve elektronların SF₆ moleküllerine konması özelliklerinden dolayı SF₆ gazı diğer gazlara göre iyonizasyon ve delinme olayı için daha büyük bir alan şiddeti ve gerilime ihtiyaç gösterir.



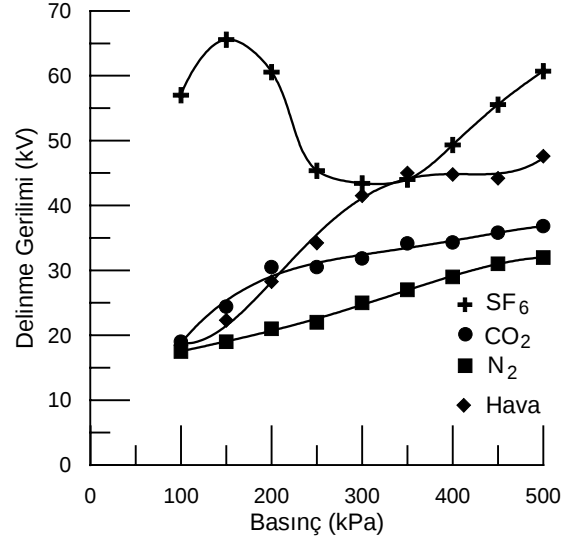
Şekil 3. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 10 mm elektrot açıklığında, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

10 mm elektrot açıklığı için N₂, CO₂ ve havanın delinme gerilimleri özellikle yüksek basınçlarda birbirinden farklıdır. 10 mm elektrot açıklığında delinme gerilimlerinin izlediği şekil, L. D. Chalmers'in çalışmasında belirtilen pozitif darbe gerilimlerinin izlediği şekle benzemektedir. Yalnız o çalışmada SF₆'nın delinme gerilimi 200 kPa'dan sonra doyuma ulaşmaktadır [10]. 15 mm elektrot açıklığında, 500 kPa basıncında CO₂'nin delinme gerilimi, SF₆'nın delinme geriliminden yaklaşık %17 daha küçüktür. Bu açıklıkta ve basınçta havanın delinme geriliminden daha yüksek olan CO₂ gazı için 15 mm elektrot açıklığı kritik bir değerdir.



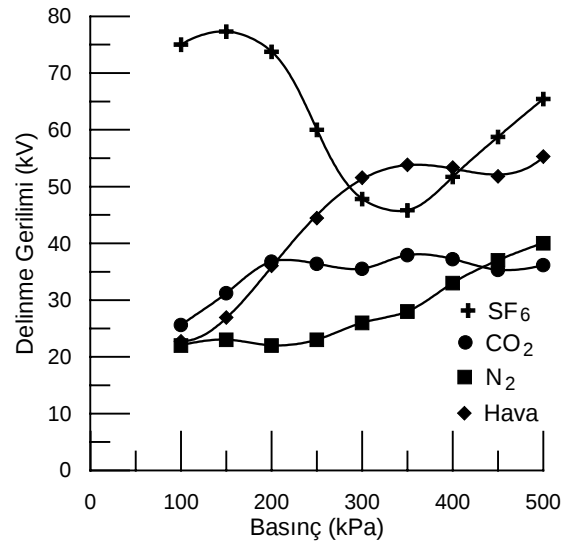
Şekil 4. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 15 mm elektrot açıklığında, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

Daha önceki araştırmalarda da düzgün olmayan alanlarda CO₂ gazına ilişkin pozitif darbe delinme gerilimi-basınç eğrilerinde delinme geriliminin maksimum olduğu kritik bir alan gözlenmiştir [11]. Bu çalışmada da böyle bir durum söz konusudur. Bu kritik alan, pozitif uzay yüklerinin, negatif uzay yükleri tarafından nötralize edilmesi sonucu ortaya çıkan korona kararlılığının etkisidir.



Şekil 5. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 20 mm elektrot açıklığında, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

20 mm elektrot açıklığında CO₂'nin delinme gerilimi 200 kPa basıncından sonra havanın delinme geriliminin altına düşmektedir. 350 kPa'da SF₆ ve havanın delinme gerilimleri birbirine eşittir.



Şekil 6. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 25 mm elektrot açıklığında, SF₆, CO₂, N₂ ve havanın delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

25 mm elektrot açıklığında ise 250-400 kPa arasında havanın delinme gerilimi SF₆'nın delinme geriliminden daha büyüktür. 300 kPa basıncında havanın delinme gerilimi SF₆'nın delinme geriliminden %7.8 daha büyüktür. 500 kPa'da CO₂'nin delinme gerilimi N₂'nin delinme geriliminin altına düşmüştür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, küçük elektrot açıklıklarında N₂, CO₂ ve havanın delinme gerilimlerinin yaklaşık olarak eşit olduğu ve SF₆'nın delinme gerilimlerinin bunlardan oldukça büyük olduğu gözlenmiştir. 20-25 mm elektrot açıklıklarında küçük basınçlarda (100-200 kPa) CO₂'nin delinme geriliminin N₂ ve havaya göre daha yüksek olmasına rağmen 500 kPa basıncında CO₂'nin delinme gerilimi en küçüktür. 25 mm elektrot açıklığında 250-400 kPa arasında havanın delinme gerilimi SF₆'nın delinme geriliminden bile daha yüksektir. Bu çalışma, yalıtkan gazların delinme gerilimlerinin yalnızca basınca ve elektrot açıklığına bağlı değişimlerini göstermektedir. Bu değişimler ayrıca elektrot şekli, gerilim türü ve kutbiete de bağlıdır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Malik, N. H., Qureshi, A. H., "Breakdown gradients for SF₆+N₂, SF₆+CO₂ and SF₆+air mixtures", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 15, No. 5, 1980, pp. 413-418.
- [2] Cookson, A. H., Pedersen, B. O., "High voltage performance of mixtures of SF₆ with N₂, air and CO₂ in compressed gas insulated equipment", *Proceedings Fifth Int. Conf. on Gas Discharges*, 1978, pp. 161-164.
- [3] Qiu, Y., Xiao, D. M., "Dielectric strength of the SF₆+CO₂ gas mixture in different electric fields", *Ninth International Symposium on High Voltage Engineering*, Graz, Sept. 1995, Paper 2255-1-4.
- [4] Malik, N. H., Qureshi, A. H., Safar, Y. A., "DC voltage breakdown of SF₆+air and SF₆+CO₂ mixtures in rod plane gaps", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 18, No. 6, December 1983, pp. 629-635.
- [5] Kuffel, E., Yializis, A., "Impulse breakdown of positive and negative rod plane gaps in SF₆-N₂ mixtures", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, No. 6, Nov-Dec 1978, pp. 2359-2366.
- [6] Malik, N. H., Qureshi, A. H., "A review of electrical breakdown in mixtures of SF₆ and other gases", *IEEE Trans. Electrical Insulation*, Vol. EI-14, No. 1, Feb 1979, pp. 1-11.
- [7] Malik, N. H., Qureshi, A. H., Theophilus, G. D., "Static field breakdown of SF₆-N₂ mixtures in rod-plane gaps", *IEEE Trans. Electrical Insulation*, Vol. EI-14, No. 2, April 1979, pp. 61-70.
- [8] Yializis, A., Malik, N. H., Qureshi A. H., Kuffel, E., "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, Sep-Oct 1979, pp. 1832-1839.
- [9] Safar, Y. A., Malik, N. H., Qureshi A. H., "Impulse breakdown behavior of negative rod plane gaps in SF₆+N₂, SF₆+air and SF₆+CO₂ mixtures", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 17, No. 5, October 1982, pp. 441-449.
- [10] Chalmers, L. D., Qiu, X. Q., Coventry, P., "The Study of SF₆ Mixtures with Buffer Gases", *Gaseous Dielectrics VIII*, 1998, pp. 189-195.
- [11] Rajendran, T. V., Lakshminarasimha, C. S., Naidu M. S., "Effect of electrode geometry on positive impulse breakdown in carbon dioxide", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. EI-18, No. 4, August 1983, pp. 455-457.