

# BASINÇLI SF<sub>6</sub> GAZININ DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA DARBE GERİLİMİ DAVRANIŞI

**Hasbi İSMAİLOĞLU**

Elektrik Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik Fakültesi  
Kocaeli Üniversitesi, 41040, İzmit, Kocaeli  
e-posta: [hasbi@kou.edu.tr](mailto:hasbi@kou.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: SF<sub>6</sub>, Düzgün Olmayan Alan, Darbe Gerilimi, Delinme Gerilimi*

## ÖZET

Çalışmada SF<sub>6</sub> gazının, düzgün olmayan alanda, standart yıldırım darbe geriliminde delinme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Düzgün olmayan alan, küre-düzlem ve küre-pürüzlü düzlem elektrot sistemleri ile karakterize edilmiştir. Söz konusu gazın, pozitif ve negatif kutbıyetteki yıldırım darbe gerilimi koşullarındaki davranışının incelenmesinde hem gaz basıncı, hem de elektrot açıklığı değişken olarak alınmıştır. Deneylerde gaz basıncı 0-4 bar (mutlak basınç olarak 1-5 bar) arasında; elektrot açıklığı ise 5-25 mm arasında değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, SF<sub>6</sub> gazının, özellikle küçük elektrot açıklıklarında negatif darbe gerilimi davranışının kritik olduğunu göstermektedir.

## 1. GİRİŞ

Şehirleşme ve sanayileşmeye paralel olarak elektrik enerjisine olan gereksinimdeki artış, iletim ve dağıtım sistemlerinde gerilim düzeylerinin yükselmesine ve boyutların büyümesine yol açmaktadır. Öte yandan yoğun yapılaşma, gerek maliyetler gerekse uygulanabilirlik bakımından, dağıtım merkezlerinin az yer kaplayacak biçimde tasarlanıp, gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. İletilen ve dağıtılan enerji miktarının büyümesi, işletme güvenliği ve güvenilirlik gibi kavramların önemini arttırmaktadır. Bu bakımdan sistemlerde yer alan tüm aygıtların güvenilirlikleri, özellikle yıldırım etkileri ve açma-kapama sonucu oluşan aşırı gerilimlerde delinme dayanımları önem kazanmaktadır.

Orta ve yüksek gerilim üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde ve bu sistemlerde yer alan aygıtların yalıtımında gazlar, çoğu zaman katı yalıtkanlarla birlikte yer alırken, kesici vb. aygıtlarda yalıtımın ana maddesi olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

Yalıtım malzemesi olarak kullanılacak gazların başında gelen SF<sub>6</sub> (kükürt-hegza-florür), orta ve yüksek gerilim enerji sistemlerinde, gaz yalıtımlı kablo, gazlı ayırıcı, yük ayırıcısı, kesici, şalt dolabı ve

genel olarak transformator istasyonlarında oldukça geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Normal koşullarda SF<sub>6</sub>, kimyasal olarak kararlı ve zehirsiz olup, 1 bar basınçta havaya göre yaklaşık olarak üç kat daha yüksek delinme dayanımına sahiptir. Delinme dayanımının yüksekliği, kimyasal kararlılığı, iyi ısıl iletkenliği, alev almayan ve elektronegatif bir gaz olması gibi üstün özellikleri ile SF<sub>6</sub> gazı, günümüzde yüksek gerilim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak kesici gibi aygıtlarda ark kesme sırasında zehirli bileşenlerine ayrıştığı unutulmaması gereken önemli bir noktadır [1, 2].

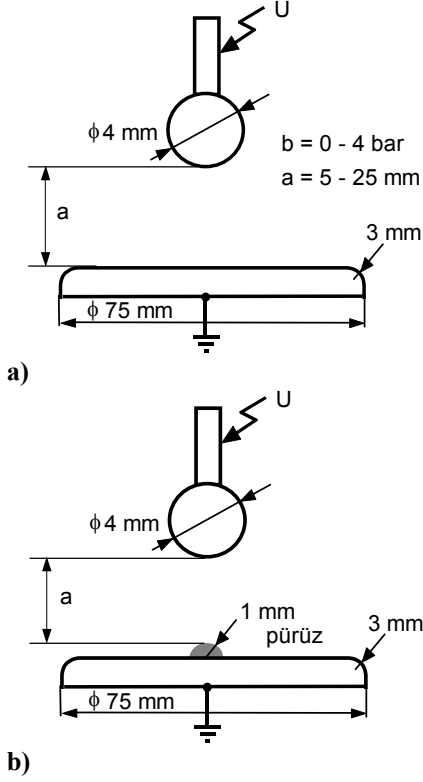
Başta SF<sub>6</sub> olmak üzere gaz yalıtkanların ve uygun gaz karışımlarının, düzgün ve düzgün olmayan elektrik alanlarında alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde davranışlarının elektrot açıklığı, biçimi, malzemesi, yüzey durumu ve gaz basıncı gibi değişkenlere bağlılığı uzun zamandır incelenmektedir [3-6].

Çalışmada düzgün olmayan elektrik alan dağılımına sahip küre-düzlem ve küre-pürüzlü düzlem elektrot sistemlerinde SF<sub>6</sub> gazının, standart yıldırım darbe geriliminde, delinme gerilimlerinin elektrot açıklığı, gaz basıncı ve gerilim kutbıyetine bağlı değişimleri deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. DENEY DÜZENİ

Çalışmada, düzgün olmayan elektrik alan dağılımına sahip küre-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Elektrot sistemi, 4 mm çapında küresel bir elektrot ve 75 mm çapında, 15 mm kalınlığında, kenarları yuvarlatılmış (eğrilik yarıçapı 3 mm) düzlemsel bir elektrot olarak seçilmiştir. Düzgün olmayan elektrik alan dağılımına sahip elektrot sisteminde pürüz etkisini de görebilmek amacıyla deneyler, küre-pürüzlü düzlem elektrot sisteminde yinelenmiştir. Bu durumda elektrot boyutları değiştirilmeksizin, pürüz etkisi oluşturmak üzere elektrot düzeni ekseninde, düzlemsel elektrodun küreye bakan yüzeyine, 1 mm yarıçaplı yarı küresel bir pürüz yerleştirilmiştir. Elektrot düzenleri Şekil-1'de şematik olarak gösterilmiştir.

Basınç hücresi olarak silindirik biçiminde saydam pleksiglas gövdeli, 6 bar basınca dayanabilen bir basınç kabı kullanılmıştır. Elektrot açıklığı, basınç kabını açmaksızın değiştirebilmek ve bu sırada gaz kaçağını önleyebilmek amacı ile basınç hücresi, uygun biçimde donatılmıştır. Her iki elektrot düzeninde düzlemsel elektrot hücre içine sabitlenmiş, küre elektrot ise farklı elektrot açıklıkları elde etmek üzere düzen ekseninde hareket olanağı sağlanabilecek biçimde yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Elektrot düzenleri,  
a) Küre-düzlem elektrot düzeni,  
b) Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeni.

Deneylerde, darbe gerilimi kaynağı olarak, gerilim tepe değeri 280 kV, enerjisi 200 J olan iki katlı standart yıldırım darbe gerilimi (1,2/50 $\mu$ s) üretici kullanılmıştır. Darbe gerilimlerinin tepe değerleri, kapasitif bir gerilim bölücüsü üzerinden dijital darbe gerilimi tepe değeri voltmetresi ile ölçülmüştür.

### 3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylerde kullanılan elektrot düzenleri, CCl<sub>4</sub> (karbon-tetra-klorür) ile silinip, temizlendikten sonra elektrot açıklığı için bir referans belirlenmiş ve basınç hücresine yerleştirilmiştir. Hücre, yüksek basınçlarda gaz kaçağını önleyecek biçimde sıkıca kapatılmış ve vakum pompası ile  $\sim 10^{-1}$  mmHg basıncında 30 dakika süre ile vakum yapılmıştır. Ardından basınç hücresi deney için istenen basınçta SF<sub>6</sub> gazı ile doldurulmuştur. Deneylere başlamadan önce, basınç hücresine doldurulan SF<sub>6</sub> gazının kararlı hale gelmesi

için, belirli bir süre beklenmesi gerektiği göz önüne alınarak, 30 dakika kadar beklenmiştir [7].

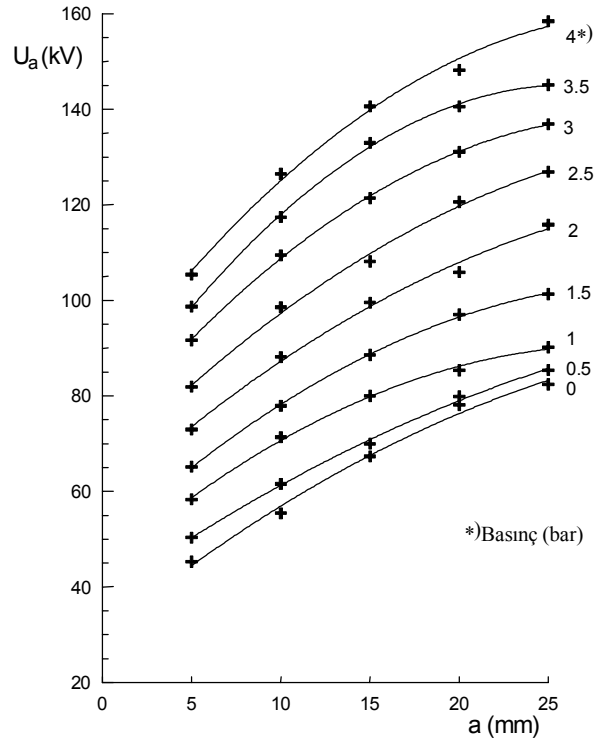
Elektrot düzenlerinde küre gerilim kaynağına bağlanmış, düzlem elektrot ise topraklanmıştır. Darbe delinme gerilimlerinin ölçülmesine geçmeden önce, elektrotları koşullamak amacıyla darbe geriliminde uygun sayıda atlama yaptırılmıştır. Aynı basınçta, ele alınan tüm elektrot açıklıklarında darbe delinme gerilimleri ölçülmüş ardından gaz basıncı değiştirilmiş ve yukarıda tanımlanan süreç yinelenmiştir.

Darbe delinme gerilimi ölçümleri küre-düzlem ve küre-pürüzlü düzlem elektrot düzenlerinde pozitif ve negatif standart yıldırım darbe gerilimlerinde yapılmıştır.

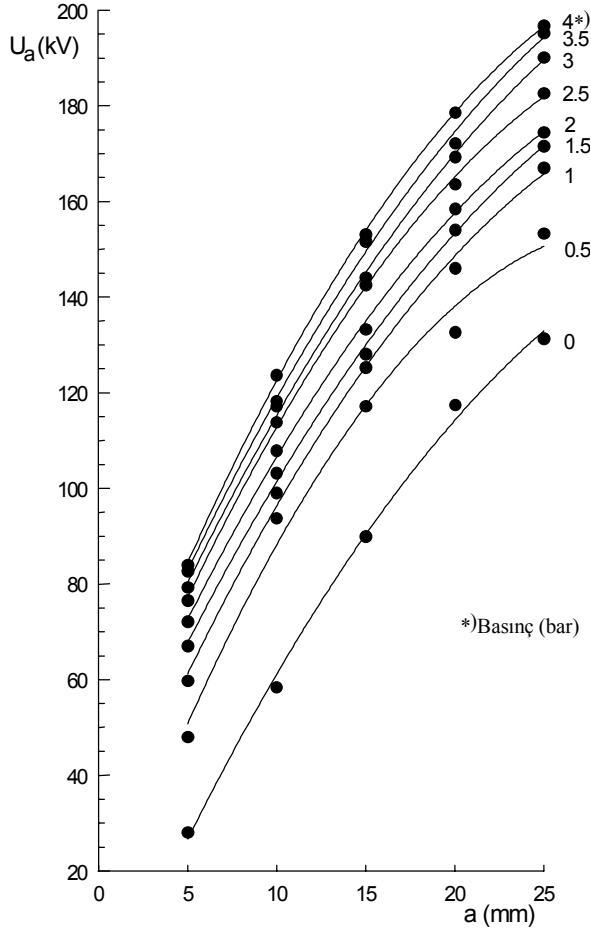
Delinme gerilimi olarak, %50 darbe delinme gerilimi esas alınmıştır. Bu değer belirlenmesinde, en küçük kareler yöntemine dayanan birinci dereceden eğri (doğru) bulma yönteminden yararlanılmıştır [8,9]. Yöntemin doğruluğu, alışlagelen yöntemlerle elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılarak sınanmıştır.

### 4. DENEY SONUÇLARI

Küre-düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar (mutlak basınç olarak 1-5 bar) basınç aralığında pozitif ve negatif darbe delinme gerilimlerinin elektrot açıklığı ile değişimleri, sırasıyla Şekil-2 ve Şekil-3'te gösterilmiştir.



Şekil-2. Küre-düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar basınç aralığında pozitif darbe delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişimi.

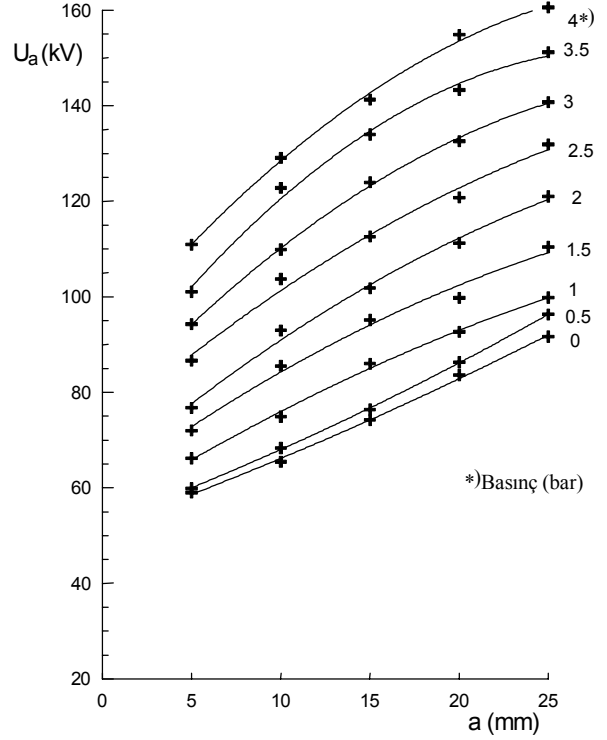


Şekil-3. Küre-düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar basınç aralığında negatif darbe delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişimi.

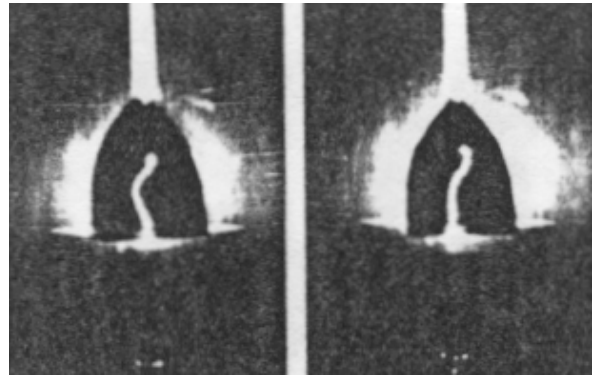
Küre-düzlem elektrot düzeninde SF<sub>6</sub> gazının incelenen basınç aralığında her iki kutbideki darbe delinme gerilimleri, elektrot açıklığına bağlı olarak doğrusal bir yükselme göstermektedir. Negatif darbe delinme gerilimi değerleri, küçük elektrot açıklıklarında, ele alınan tüm basınçlarda, pozitif darbe geriliminde elde edilen değerlere göre çok küçük olmaktadır. Ancak elektrot açıklığı büyüdükçe, özellikle 15 mm ve daha büyük elektrot açıklıklarında negatif darbe delinme gerilimi değerlerinin, pozitif darbeye elde edilenlere göre büyük olduğu görülmektedir.

Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar basınç aralığında pozitif darbe delinme gerilimlerinin elektrot açıklığı ile değişimleri Şekil-4'te gösterilmiştir. Bu elektrot düzeninde, 1 bar basınçlı SF<sub>6</sub> gazında, 25 mm elektrot açıklığı durumunda, pozitif darbe geriliminde çekilen delinme fotoğrafları Şekil-5'te verilmiştir.

Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar basınç aralığında negatif darbe delinme gerilimlerinin elektrot açıklığı ile değişimleri ise Şekil-6'da gösterilmiştir.



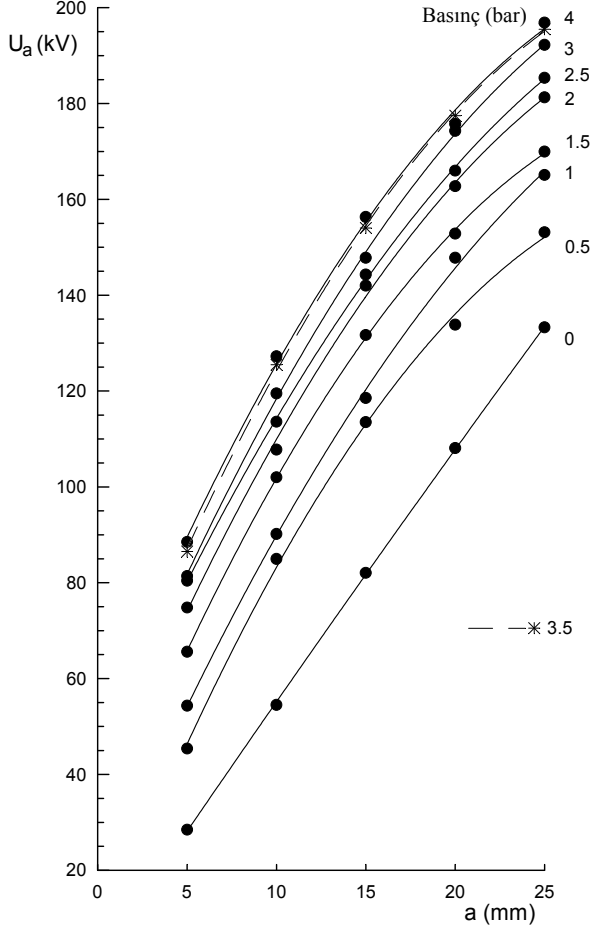
Şekil-4. Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar basınç aralığında pozitif darbe delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişimi.



Şekil-5. Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde, pozitif darbe geriliminde, 1 bar gaz basıncı ve 25 mm elektrot açıklığında boşalma fotoğrafları.

Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde elde edilen pozitif darbe delinme gerilimlerinin, gaz basıncı ve elektrot açıklığı ile değişimleri, küre-düzlem elektrot düzenindekilerle benzer değişim göstermektedirler. Ancak, pürüzlü düzende incelenen tüm elektrot açıklıkları ve gaz basınçlarında elde edilen pozitif darbe delinme gerilimleri, küre-düzlem düzenindeki karşılıklarına göre %5-10 kadar daha yüksektir. Pürüzlü durumda delinme gerilimlerinin yükselmesi, pürüzlü elektrik alan dağılımını değiştirmesine, etkin elektrot açıklığının büyümesine ve boşalma yolunun eğrisel olmasına bağlanabilir. Boşalma yörüngesinin

eğrisel olduğu, delinme anında çekilen fotoğraflarda açık olarak görülmektedir. Bunun yanında, boşalma yörüngesinin başlama ve bitiş noktaları da elektrot düzeninin eksenini üzerinde olmayıp, çoğu kez küre ile pürüzlü düzlemin herhangi bir noktası üzerinde olabilmektedir. Buna göre delinme sırasında, ortaya çıkan uzay yükleri etkin bir olmaktadır.



Şekil-6. Küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde 0-4 bar basınç aralığında negatif darbe delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişimi.

Negatif darbe gerilimlerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, pürüzlü durumdaki delinme gerilimlerinin, küre-düzlem elektrot düzeninde elde edilen değerlerden genel olarak daha yüksek olduğu, ancak yükselme miktarının %5'i aşmadığı görülmektedir.

### 3. SONUÇ

Her iki elektrot düzeninde, küçük açıklıklarda, incelenen tüm basınçlarda, SF<sub>6</sub> gazının negatif darbe delinme gerilimi değerleri, pozitif darbe geriliminde elde edilenlere göre çok küçük olmakta; elektrot açıklığı büyüdükçe, pozitif darbe delinme gerilimi değerlerini aşmaktadır.

Gerek pozitif gerekse negatif darbe gerilimlerinde, küre-pürüzlü düzlem elektrot düzeninde delinme gerilimleri değerlerinin, küre-düzlem elektrot düzeninde ölçülen değerlerden, genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak yükselme miktarları %10'dan küçük olmaktadır.

Pürüzlü durumda delinme gerilimlerinin yükselmesi, pürüzün elektrik alan dağılımını değiştirmesine, etkin elektrot açıklığının büyümesine ve boşalma yolunun eğrisel olmasına bağlanabilir. Buna göre delinme sırasında, ortaya çıkan uzay yükleri önemli rol oynamaktadır.

Küçük elektrot açıklıklarında negatif darbe gerilimleri pozitif darbe gerilimlerine göre daha kritik olmaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] Brunt, R. J. Van, Herron, J. T., Fundamental Processes of SF<sub>6</sub> De-composition and Oxidation in Glow and Corona Discharges, IEEE Trans. on Electrical Insulation Vol.25, No.1, pp.75-94, Febr. 1990.
- [2] Sauers, I., Ellis, H. W., Christophorou, L. G., Neutral Decomposition In Spark Breakdown Of SF<sub>6</sub>, IEEE Trans. on Electrical Insulation Vol.EI-21, No.2, pp.111-20, April 1986.
- [3] Takuma, T., Discharge Characteristics Of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electrical Insul., Vol. EI-21, No.6, pp.855-67, Dec. 1986.
- [4] McAllister, I.W., On The Concept of Electrode Surface Roughness with Reference to Discharge Phenomena in Strongly Electronegative Gases, IEEE Tr. On Electr. Ins., Vol.EI-21, No.4, pp.659-61, August 1986.
- [5] Christophorou, L. G. and Pinnaduwege, L. A., Basic Physics of Gaseous Dielectrics, IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol. EI-25 No.1, pp.55-74, February 1990.
- [6] Christophorou, L. G. and Van Brunt, R. J., SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> Mixtures-Basic and HV Insulation Properties, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2, No.5, pp. 952-1003, October 1995.
- [7] Suzuki, T., The Determination of The Diffusion Rate of SF<sub>6</sub> into Nitrogen, IEEE Tr. on Electr. Ins. Vol. EI-17, No.1, pp.34-38 Feb.1982.
- [8] İsmailoğlu, H., Darbe Geriliminde Sıkıştırılmış Gazlarda Delinme, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- [9] İsmailoğlu, H., Kalenderli, O., Ozkaya, M., Gonenc, I., Determination of impulse breakdown voltage using least squares method, IEEE 1997 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP'97), Vol. I, pp. 246-249, Minneapolis, USA, October 19-22, 1997.