

HAVADA DÜZGÜN ALANDA ELEKTROT YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DELİNME GERİLİMİNE ETKİSİ

Özcan KALENDERLİ

Murtaza FARSADI

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fak., Yüksek Gerilim Lab.,

Gümüşsuyu-İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada, havada, paralel düzlemsel elektrotlu düzgün alanlı elektrot sisteminde elektrot yüzey pürüzlülüğünün alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde delinme gerilimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla düzlemsel elektrotlardan biri üzerinde ve ortasında yapay yarı küresel bir pürüz oluşturulmuştur. Deneylerde bu yarı küresel pürüzün yapıçapı ve elektrot açıklığı değiştirilerek alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde delinme gerilimleri tesbit edilmiştir. Bulunan sonuçlar pürüzsüz durum için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneyler havada, ortam sıcaklığı ve basıncında yapılmış, doğru ve darbe gerilimlerinde hem pozitif hem de negatif kutbiyetli gerilimler kullanılarak kutbiyetin önemi araştırılmıştır.

Yapılan deneylerden genelde pürüzlülüğün delinme gerilimini azalttığı ve bu etkinin özellikle büyük açıklıklarda daha belirgin olduğu görülmüştür.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim tekniğinde, hava ve diğer gazlar bütün yalıtım problemlerinde az veya çok ölçüde yalıtıma katıldıklarından, gazların delinme dayanımının bilinmesi önemli olmaktadır. Enerji iletim hatları ve dağıtım istasyonlarının baraları topraktan ve birbirlerinden hava aralıkları ile ayrılmışlardır. Bu hava aralıklarının delinmesiyle bir arızaya sebep olabilen ve sistemi devre dışı bırakabilen kısa devreler oluşabilir. Hava hatları ve izolatörler, aynı şekilde ortam olarak havada bulunurlar.

Yıllar boyu düzgün ve düzgün olmayan alanlarda, çeşitli elektrot sistemleri için hava, azot, SF_6 veya karışık gazlar gibi yüksek gerilim tekniğinde yalıtım amacıyla kullanılan gazların alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde delinme gerilimlerinin ve dayanımlarının elektrot açıklığı, basınç, sıcaklık ve nem gibi değişkenlere bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Bu araştırmalardan elektrot yüzey pürüzlülüğünün etken olarak alanların sayısı diğerlerine göre azdır. Bu konu çeşitli gazlar ve alan durumları için incelemeye açıktır.

Bu çalışmada, havada, düzgün alanda, paralel düzlemsel elektrot sisteminde elektrot yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Elektrotlar üzerindeki pürüzler, elektrotların yapımı sırasında veya sonradan örneğin kötü kontak, arklar, çarpma gibi çeşitli nedenlerle veya hava içinde bulunup elektrot yüzeyine konan iletken toz veya parçacıklar sonucu oluşur. Çalışmamızda yapay olarak oluşturulan iletken değişik yarıçaplarda yarı küresel pürüzler sırayla paralel düzlemsel elektrot sisteminin alttaki düzlem elektrodunun merkezine yerleştirilerek, 50 Hz alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde elektrot açıklığı ile delinme geriliminin değişimi incelenmiştir. Deneyler pozitif ve negatif doğru ve darbe gerilimlerinde yapılarak pürüzlülüğün kutbiyetle olan ilişkisine bakılmıştır.

2. DENEY DÜZENEKLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Alternatif gerilim deneylerinde, 50 Hz'lik yüksek gerilim, bir fazlı, 0,22/100 kV, 5 kVA'lık bir deney transformatöründen elde edilmiştir. Transformatöre 10 megaohm'luk bir ön direnç bağlanmış ve gerilim sıfırdan başlayarak, sabit bir hızla, deney elektrotları arasında delinme olana kadar yükseltilmiştir. Delinme gerilimleri, bir kapasitif gerilim bölücü üzerinden bağlı (kV/ $\sqrt{2}$) cinsinden ölçen bir voltmetre ile $\pm 1\%$ hatayla ölçülmüştür.

Doğru gerilim, alternatif gerilim deneylerinde de kullanılan deney transformatörünün çıkışına 50 kiloohm'luk bir ön direnç ve doğrultucu elemanlar bağlanarak elde edilmiştir. Bir omik gerilim bölücü üzerinden yaklaşık ± 140 kV'a kadar olan gerilimler bir doğru gerilim voltmetresi ile $\pm 1,5\%$ hatayla ölçülmüştür. Alternatif ve doğru gerilim deneylerinde her bir elektrot açıklığında birer dakika aralıklarla üç kere delinme gerilimi ölçmesi yapılmış ve sonuç olarak ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Darbe gerilimi deneylerinde, 1,2/50 μs 'lik pozitif ve negatif kutbiyetli yıldırım darbe gerilimleri, 1 kV, 10 kWs'lik, 6 katlı bir darbe generatöründen elde edilmiştir. Elektrot

sistemine uygulanan darbe gerilimleri, bir kapasitif gerilim bölücü üzerinden bir tepe değer voltmetresi yardımıyla ölçülmüş ve her bir elektrot açıklığına ilişkin % 50 delinme gerilimi değeri bulunmuştur. Darbeler arasında yaklaşık onbeşer saniyelik ara verilmiştir. Uygulanan darbelerin şekli ayrıca bir katot ışınlu osiloskop yardımıyla izlenmiştir.

Deneylerde 150 mm çapında, Rogowski profilili, krom kaplı pirinçten yapılmış düzlemsel elektrotlar kullanılmıştır. Gerilim üst elektroda uygulanmış, alt elektrot doğrudan topraklanmıştır. Elektrot açıklığı, birer cm'lik aralıklarla, 0-7 cm arasında, $\pm 0,1$ toleransla ayarlanarak, değiştirilmiştir. Elektrot yüzey pürüzlülüğü, yarıçapları $r_p=3,23-3,35-5,60$ ve $6,70$ mm olan ve alt elektrodun merkezine yerleştirilen çelikten yapılmış yarım kürelerle yapay olarak oluşturulmuştur.

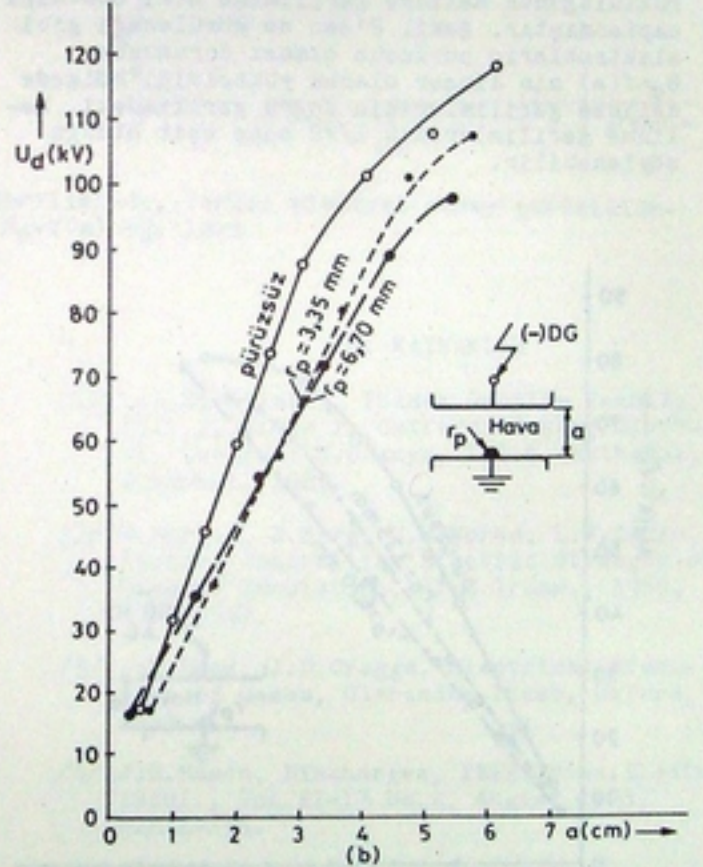
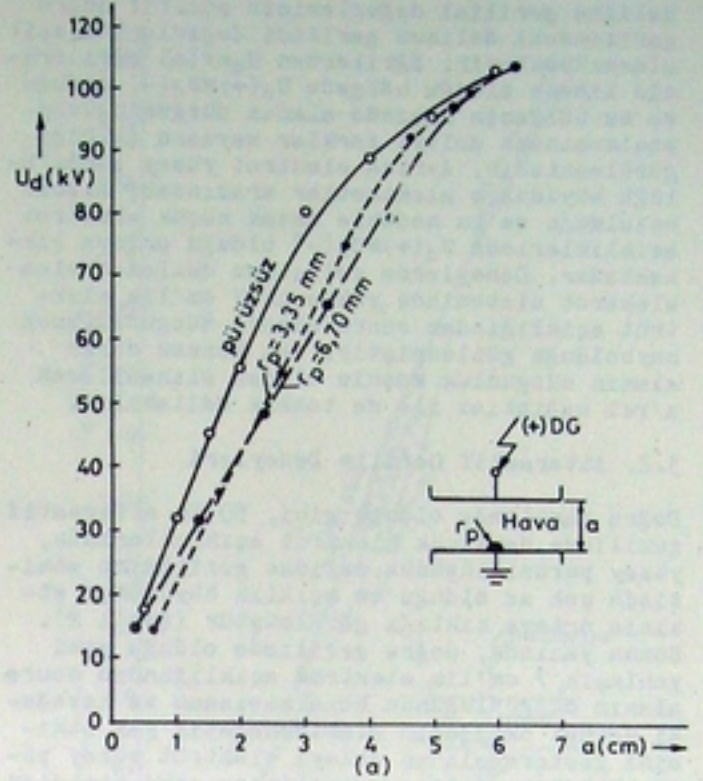
Deneyler, havada, ortamın hava sıcaklığında ve basıncında yapılmıştır. Deney sonuçları, normal hava koşullarına, bağlı hava yoğunluğu yardımıyla, irta edilerek verilmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Doğru Gerilim Deneyleri

Doğru gerilim deneyleri, hem pozitif hem de negatif kutbiyette yapılmıştır. Şekil 1a ve b'de sırasıyla pozitif ve negatif doğru gerilimde, havada, 765,7 mmHg hava basıncı ve 20,5°C hava sıcaklığında, elektrotların pürüzsüz ve 3,35 mm ve 6,70 mm yarıçaplı elektrot yüzey pürüzlülüğü durumlarında elde edilen elektrot açıklığı ile delinme geriliminin değişimi verilmektedir. Eğriler incelendiğinde, küçük elektrot açıklıklarında elektrot yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimini çok fazla etkilemediği ve elektrot açıklığı büyüdükçe pürüzlülüğün etkisinin ortaya çıktığı görülmektedir. Buna karşılık örneğin pozitif doğru gerilimde yaklaşık 5,4 cm'lik elektrot açıklığından sonra yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimine hemen hemen hiç etki etmediği görülmüştür. Pozitif doğru gerilimde havadaki oksijen büyük açıklıklarda elektronegatif gaz etkisi göstermekte ve bu nedenle $U_d=f(a)$ eğrisinin eğiminde bir azalma olmaktadır. Hatta eğrinin eğiminin negatif olması beklenmektedir. Bu durumda boşalmanın eğrisel bir yol izleyerek katoda varması, elektrot yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimine etkisini yoketmektedir. Elektrot yüzey pürüzlülüğünün yüksekliği, (eğrilik yarıçapı) arttıkça $U_d=f(a)$ eğrisinin daha büyük açıklıklarda pürüzsüz durumdaki değerlere yaklaştığı saptanmıştır. Örneğin pürüzsüz durumdaki $U_d=f(a)$ eğrisi 3 cm'lik elektrot açıklığına kadar lineer olarak yükselmekte ve daha sonrasında eğiminde bir azalma olmaktadır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünün yarıçapı, $r_p=3,35$ mm iken $a=4,6$ cm, ve $r_p=6,7$ mm iken de $a=5,4$ cm den sonra olmaktadır.

Düzgün alanda negatif doğru gerilimdeki

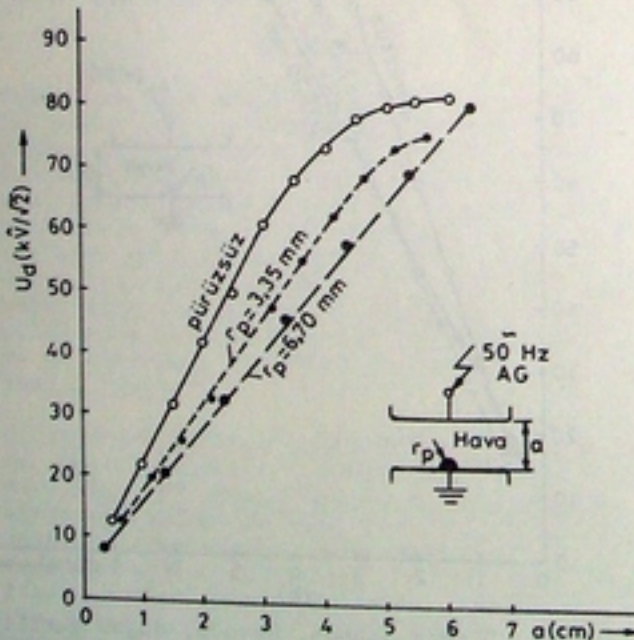


Şekil 1. Düzgün alanda, havada, doğru gerilimde, farklı elektrot yüzey pürüzlülükleri ($r_p=0-3,35-6,70$ mm) için $U_d=f(a)$ eğrileri
a) Pozitif doğru gerilimde,
b) Negatif doğru gerilimde.

delinme gerilimi değerlerinin pozitif doğru gerilimdeki delinme gerilimi değerlerine eşit olması beklenir. Eğrilerden $U_d=f(a)$ eğrilerinin lineer olduğu bölgede $U_d(+)=U_d(-)$ olduğu ve bu bölgenin dışında alanın düzgünlüğünün azalmasından dolayı farklar meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca elektrot yüzey pürüzlülüğü büyüdükçe elektrotlar arasındaki alanın bozulduğu ve bu nedenle ancak küçük elektrot açıklıklarında $U_d(+)=U_d(-)$ olduğu ortaya çıkmaktadır. Deneylerde çalışılan düzlem-düzlem elektrot sisteminde yaklaşık 7 cm'lik elektrot açıklığından sonra alanın düzgünlüğünün kaybolduğu gözlenmiştir. Söz konusu durum alanın düzgünlük koşulu olarak alınabilecek a/r_p bağıntısı ile de tahkik edilebilir.

3.2. Alternatif Gerilim Deneyleri

Doğru gerilimde olduğu gibi, 50 Hz alternatif gerilimde de küçük elektrot açıklıklarında, yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimine etkisinin çok az olduğu ve açıklık büyüdükçe etkinin ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 2). Bunun yanında, doğru gerilimde olduğu gibi yaklaşık 7 cm'lik elektrod açıklığından sonra alanın düzgünlüğünün bozulmasından ve havadaki mevcut oksijenin elektronegatif gaz etkisini göstermesinden dolayı elektrot yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimine etki etmediği saptanmıştır. Şekil 2'den de görüleceği gibi elektrotların pürüzsüz olması durumunda, $U_d=f(a)$ nin lineer olarak yükseldiği bölgede delinme gerilimlerinin doğru gerilimdeki delinme gerilimlerinin $1/\sqrt{2}$ sine eşit olduğu söylenebilir.



Şekil 2. Düzgün alanda, havada, 50 Hz alternatif gerilimde, farklı elektrot yüzey pürüzlülükleri ($r_p=0-3,35-6,70$ mm) için $U_d=f(a)$ eğrileri.

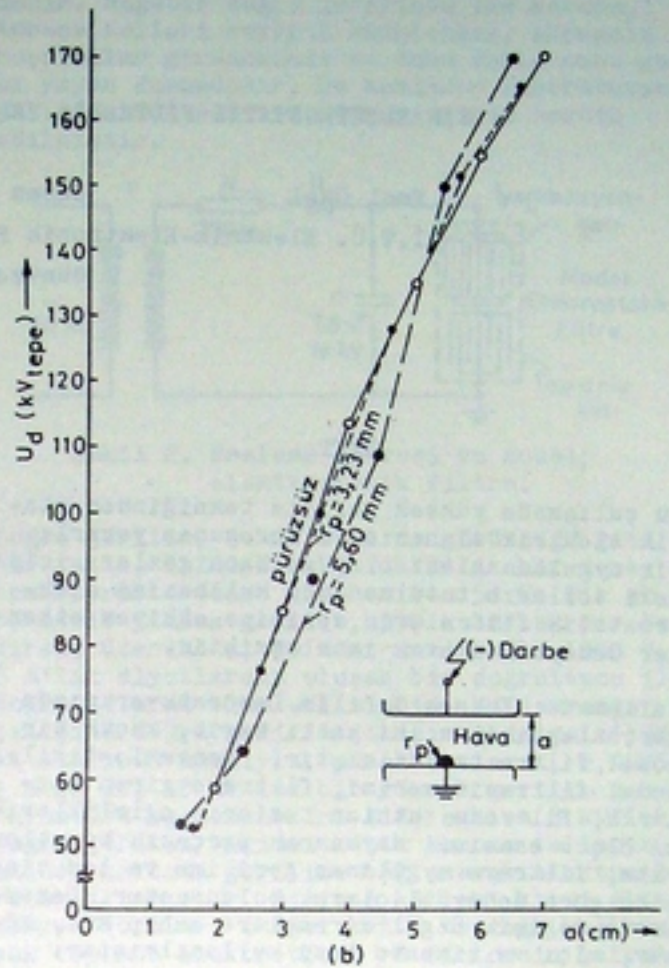
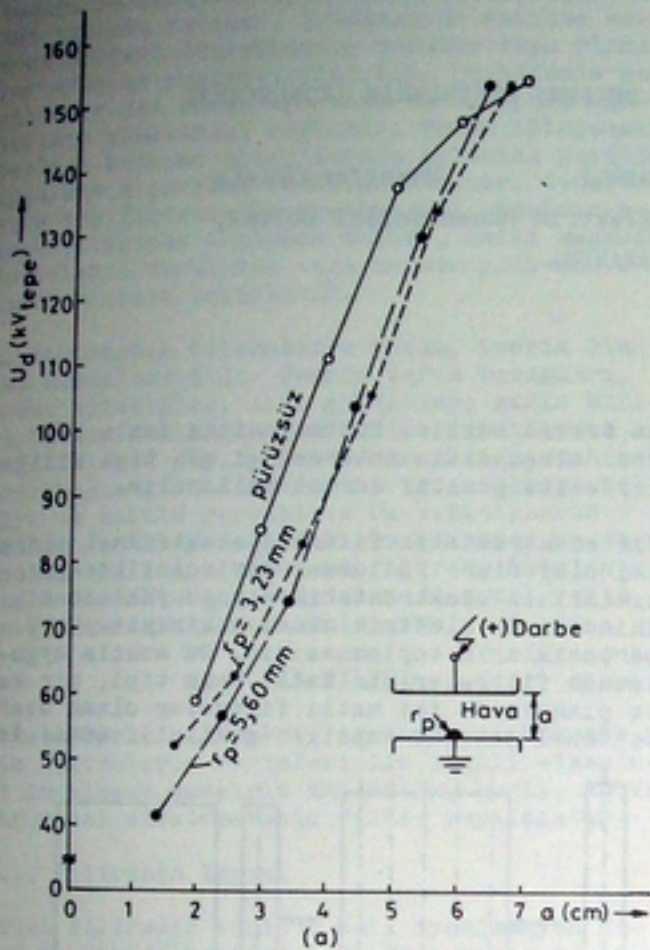
Yüzey pürüzlülüğü elektrodlar arasındaki alanı bozduğundan alternatif gerilimdeki delinme gerilimleri ancak çok küçük elektrod açıklıklarında doğru gerilimdeki delinme gerilimlerine eşit olmaktadır. Alternatif gerilimde, pürüzsüz durumda 5-6 cm'lik elektrot açıklıklarında delinme geriliminin elektrot açıklığı ile fazla değişmediği ve pürüzlülük büyüdükçe bu durumun daha büyük açıklıklarla ortaya çıkacağı anlaşılmaktadır.

3.3. Darbe Gerilimi Deneyleri

Şekil 3a ve b'de pozitif ve negatif 1,2/50 μ s lik darbe gerilimlerinde, havada, 758,3 mmHg hava basıncı ve 27,8°C hava sıcaklığında, elektrotların pürüzsüz ve 3,23 mm ve 5,60 mm yarıçaplı elektrot yüzey pürüzlülüğü durumlarında elde edilen elektrot açıklığı ile delinme geriliminin değişimi verilmektedir. Eğriler incelendiğinde genelde çalışılan elektrot açıklıklarında ve yüzey pürüzlülükleri durumunda gerek negatif gerekse pozitif darbe gerilimlerinde delinme geriliminin elektrot yüzey pürüzlülüklerinden etkilenmediği görülmektedir. Bununla beraber pürüz yarıçapı büyüdükçe çok az da olsa delinme geriliminin düştüğü ve bu etkinin pozitif darbe geriliminde daha belirgin olduğu saptanmıştır. Pozitif darbe geriliminde elektrot yüzey pürüzlülüğünün yarıçapına bağlı olmaksızın delinme gerilimlerinin düştüğü yani $r_p=3,23$ mm ve $r_p=5,60$ mm yüzey pürüzlerinin delinme gerilimini aynı oranda düşürdüğü saptanmıştır. Negatif darbe geriliminde pürüzsüz ve pürüzlü elektrot durumlarında delinme gerilimlerinin yaklaşık birbirlerine eşit ve elektrot açıklığı ile lineer olarak değiştiği ortaya çıkmıştır. Pozitif darbe geriliminde ise özellikle pürüzsüz elektrotlar durumunda, $U_d=f(a)$ eğrisinin yaklaşık 5 cm'lik elektrot açıklığından sonra eğiminde bir azalma olduğu gözlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ YORUMU

Deneyler atmosfer basıncında yapıldığı için elektrot yüzeyinin durumuna göre delinme gerilimleri arasındaki farklar az olmuştur. Bu farkın özellikle yüksek basınçlarda daha büyük olacağı ve pürüzlülüğün delinme karakteristiklerini önemli ölçüde etkileyeceği beklenebilir. Elektrot yüzey pürüzlerinin delinme öncesinde dikkate değer bir akıma sebep olduğu bilinmektedir. Bu durumun uzay yüklerinin oluşumuna yol açarak elektrotlar arasındaki alanın bozulmasına dolayısıyla havanın iyonizasyonunu ve boşalmanın yolunu etkileyerek daha düşük gerilimlerde delinme oluşmasına yolaçtığı kabul edilebilir. Uzay yüklerinin etkisinin arttığı elektrot açıklıklarında boşalma yolunun elektrotların orta bölgesinden yan bölgeye kayması yüzey pürüzlülüğünün etkisini azaltmaktadır. Bu olay deneyler sırasında da gözlenmiştir. Ayrıca 1,2/50 μ s lik darbe geriliminde boşalma için gerekli elektrikli parçacıkların oluşum ve birikim süresinin kısalığı kutbiyetin ve pürüzlülüğün etkisinin az olmasına yol açmıştır.



Şekil 3. Düzgün alanda, havada, darbe geriliminde, farklı elektrot yüzey pürüzlülükleri ($r_p=0-3,23-5,60$ mm) için $U_d=f(a)$ eğrileri
a) Pozitif darbe geriliminde,
b) Negatif darbe geriliminde.

5. SONUÇLAR

Havada, düzgün elektrik alanında, ortam hava basıncı ve sıcaklığında, doğru, alternatif ve darbe gerilimlerinde makroskopik sayılabilecek büyük boyutlu yapay pürüzlerle yapılan deneylerden elektrot yüzey pürüzlülüğünün delinme gerilimine çok az da olsa etki ettiği saptanmıştır. Bu etkinin elektrot açıklığı büyüdükçe ve pürüz yarıçapı arttıkça fazla olduğu görülmüştür. Elektrot pürüzlülüğü ile uygulanan gerilimin kutbiyeti arasında önemli bir ilişki bulunmamıştır. Bununla beraber pürüzlülük etkisinin özellikle negatif kutbiyetli doğru gerilimde daha belirgin ortaya çıktığı, pozitif ve negatif kutbiyetli darbe gerilimlerinde ise deneylerin yapıldığı hava basıncı, sıcaklığı ve elektrot açıklığı bölgesinde bu etkinin yok denecek kadar az olduğu saptanmıştır. Alanın düzgün olduğu aralıkta alternatif, pozitif ve negatif doğru ve darbe gerilimlerinde elde edilen $U_d=f(a)$ eğrilerinin uyum içinde olduğu ve gerek pürüzsüz gerekse pürüzlü elektrot durumlarında delinme gerilimlerinin elektrot açıklığı ile lineer olarak değiştiği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- /1/ L.I.Sirotinski, Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1, Kısım 1, Gazlarda Deşarj Olayları, Çeviren: M.Özkaya, İ.T.U. Matbaası, İstanbul, 1964.
- /2/ P.Narbut, D.Berg, C.N.Works, L.W.Dakin, Factors Controlling Electric Strength of Gaseous Insulation, AIEE Trans., 1959, s.505-547.
- /3/ J.M.Meek, J.D.Craggs, Electrical Breakdown of Gases, Clarendon Press, Oxford, 1953.
- /4/ J.H.Mason, Discharges, IEEE Trans.Electr. Insul., Vol.EI-13 No.4, August 1978, s.211-238.
- /5/ E.Kuffel, M.Abdullah, High-Voltage Engineering, Pergamon Press Ltd., Oxford, 1978.