

LÜLETAŞININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Özcan KALENDERLİ

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik - Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
80626 Maslak/İstanbul
ozcan@elk.itu.edu.tr

Hasbi İSMAİLOĞLU

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi
41040 İzmit/Kocaeli
hasbi@kou.edu.tr

ABSTRACT

Meerschaum is a mineral, hydrous silicate of magnesium, of organic origin. Composed of the fossilized shells of tiny sea creatures that fell to the ocean floor millions of years ago, meerschaum is found in red clay deposits. In this study, relative permittivity ϵ_r and dielectric loss factor $\tan \delta$ of the meerschaum were measured as a function of sample temperature at alternating voltage, using Schering Bridge. The results, obtained on specimens of meerschaum, are reported and compared with those of well-known solid insulator materials.

1. GİRİŞ

Katı yalıtkan maddeler, her türlü elektrik devre, tesis ve aygıtında yalıtıcı ve taşıyıcı olarak kullanılan malzemelerdir. Elektriksel amaçlı kullanılan iyi bir katı yalıtkan malzeme, düşük dielektrik kaybına, yüksek mekanik dayanıma sahip olmalı, ısı ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalı, içinde gaz boşluğu ve nem bulunmamalıdır [1].

Katı yalıtkanlar maddeler, sıvı ve gaz yalıtkan maddelere göre daha yüksek delinme dayanımına sahiptir. Elektriksel yalıtımla ilgili çalışmalarda, katı yalıtkan maddelerde delinme üzerine çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Delinme koşulları ortadan kalktığına, delinmeye uğramış gaz ve sıvı yalıtkanlar gibi özönarımli maddeler, delinme dayanımlarını tamamen veya kısmen yeniden kazanırken; katı yalıtkan maddelerdeki bozulma kalıcı olmaktadır.

Yalıtım sistemleri genellikle gaz, sıvı veya katı yalıtkan malzemelerden oluşur. Bu tür sistemler özellikle yüksek gerilimde, havanınkinin birkaç katı delinme dayanımına sahip olmak zorundadır. Uygulamada, bu malzemelerin yalnızca fiziksel özellikleri değil aynı zamanda teknolojik ve yapısal özellikleri de göz önüne alınmalıdır [2].

Yalıtım sistemlerinin ve yalıtkan malzemelerin özelliklerini ve farklı koşullar altında davranışlarını saptamak için pek çok çalışma yapılmaktadır [3]. Son eğilimler, farklı ve yeni tür malzemeler geliştirmeye ve bu malzemelerin özelliklerini belirleyip, uygun koşullarda kullanmaya yöneliktir. Bu eğilimler yönünde, sunulan bu çalışmada da amaç, doğal bir malzeme olan lületaşının elektriksel özelliklerini incelemek, elde edilecek sonuçlara

göre bir elektriksel malzeme veya bir yalıtkan olarak kullanılabilme olanaklarını irdelemektir.

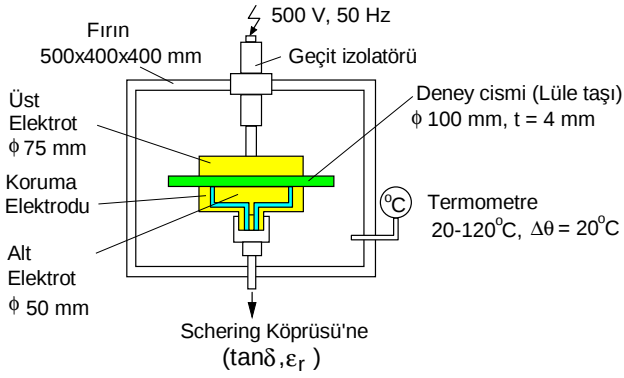
Lületaş, yabancı dillerde "Meerschaum" olarak bilinen Almanca'da deniz köpüğü anlamına gelen, yaygın olarak süs eşyası yapımında kullanılan bir malzemedir. Lületaşına, köpük gibi hafif ve beyaz olması nedeniyle deniz köpüğü anlamı yüklenmiştir. Lületaş, gözenekli ve nem tutucu doğal bir madde olup, magnezyum hidrosilikat ($Mg_8(H_2O)4(OH)4Si_{12}O_{30}$) türü, kristal yapılı bir mineraldir. Milyonlarca yıl öncesinde okyanusların altında kalmış deniz canlılarının fosilleşmiş kabuklarından oluşan lületaş, yerin altında kırmızı kil tabakasında bulunur. En yüksek kaliteli lületaş, dünyada yalnızca bir yerde, Eskişehir'de bulunur. Lületaş yatakları, çok dar bir bölgede bulunmaktadır.

Lületaş el araçları ile çıkarılan ve işlenmesi aileden gelen eğitimle sürdürülen bir uğraştır. Lületaş yerin yaklaşık 70-90 m kadar derinliklerinden çıkarılır. Madenciler kaba (ham) lületaş parçalarını çıkardıktan sonra yıkar ve kalitesine göre altı kategoriye ayırır. Bu altı kategorinin her biri, daha sonra boyutuna, rengine, gözenekliliğine ve homojenliğine göre alt kategorilere ayrılır [4].

Bu çalışmada, lületaşının, dielektrik kayıp faktörü ve bağıl dielektrik katsayısı gibi elektriksel özellikleri deneysel olarak incelenmiş ve yapılan çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgiler sunulmuştur.

2. DENEY BİLGİLERİ

Lületaşının elektriksel özelliklerinden bağıl dielektrik katsayısı ve dielektrik kayıp faktörü deneysel olarak belirlenmiştir. Deneyler, işlenmemiş, ham lületaş örnekleri (numuneleri) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Lületaş örneklerinin hazırlanmasında,, ham lületaşının 15-30 dakika kadar suda tutulması durumunda yumuşamasından ve bu durumda da kolay işlenebilmesinden yararlanılmıştır. Bu yolla işlenebilecek hale getirilen örneklerden, yaklaşık 100 mm çapında, 4 mm kalınlığında disk şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Islatılarak hazırlanmış olan bu numuneler, deneyden önce nemlerini almak ve kurutmak amacıyla yaklaşık 2 saat süre ile, yaklaşık 120°C sıcaklığındaki bir fırın içinde tutulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeni.

Deneylerde, pirinç malzemeden yapılmış düzlem-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Kullanılan elektrot sisteminin üst elektrodu, 75 mm çapında, 15 mm yüksekliğinde, kenarları yuvarlatılmış disk şeklinde bir elektrot, alt elektrodu ise elektrot kenar etkisini azaltmak amacıyla bir koruma halkası ile çevrilmiş, 50 mm çapında yine disk şeklinde bir elektrottur. Deney cismi (lüle taşı numunesi) bu iki elektrot arasına yerleştirilmiştir. Bu düzen, 500x400x400 mm boyutlarında termostatlı, sıcaklığı 250°C'ye kadar ayarlanabilen bir fırın içine yerleştirilmiştir.

Elektrot sisteminin üst elektrodu, 100 kV, 5 kVA, 50 Hz'lik bir fazlı yüksek gerilim kaynağına (yüksek gerilim deney transformatörüne), alt elektrodu Schering köprüsüne bağlanmıştır. Alt elektrot çevresindeki koruma elektrodu (halkası) ise topraklanmıştır.

Lüle taşı, ısıya dayanıklı ve hafif bir malzeme olmasından dolayı ağırlık, pipo gibi süs eşyalarının yapımında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Çalışmada lüle taşının bu özellikleri dikkate alınarak lüle taşının elektriksel özelliklerini sıcaklıkla ilişkili olarak incelenmesi uygun bulunmuştur. Bu inceleme sonunda yüksek sıcaklıklarda kullanmaya uygun, hafif ve iyi bir yalıtkan seçeneği elde edebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle numunelerin sıcaklığı, oda sıcaklığından 120°C'ye kadar yaklaşık 20°C'lik sıcaklık artışları ile değiştirilmiştir. Her sıcaklık basamağında, ölçmelerden önce, numunelerin kararlı sıcaklığa ulaşması için yaklaşık 1 saat süreyle beklenmiştir. Sıcaklıklar yaklaşık 2°C doğruluklu bir termometre ile ölçülmüştür.

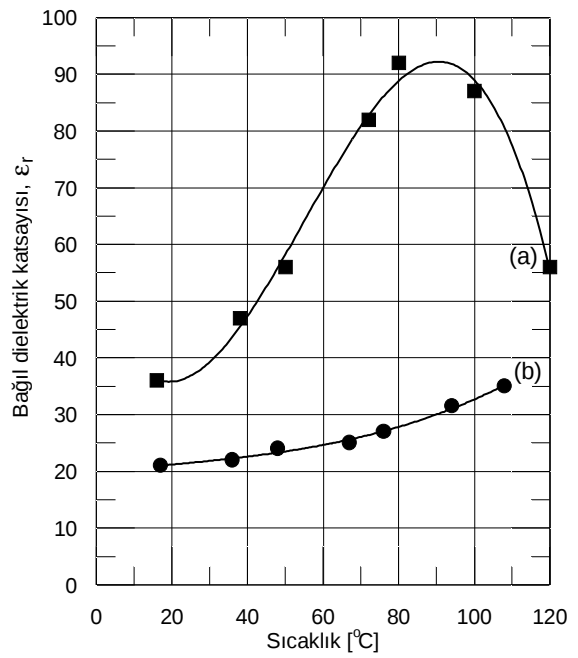
Ayarlanan her bir sıcaklıkta, lüle taşı numunesinin dielektrik kayıp faktörü ve bağıl dielektrik katsayısı ölçülmüştür. Böylelikle, ölçülen büyüklüklerin sıcaklıkla değişimi elde edilmiştir.

Lüle taşı numunelerinin dielektrik kayıp faktörü ve bağıl dielektrik katsayısı ölçmeleri, 500 V etkin değerli alternatif gerilimde yapılmıştır. Çalışmada, dielektrik kayıp faktörü ölçme alt sınırı 10^{-6} , doğruluğu ise $\pm \%1$ olan Schering köprüsü kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Lüle taşının ϵ_r bağıl dielektrik katsayısı ve $\tan \delta$ dielektrik kayıp faktörü, Schering köprüsü ile sabit alternatif gerilimde numune sıcaklığının işlevi olarak ölçülmüştür.

Şekil 2 ve 3'de, sabit gerilimde (500 V_{etkin}), iki farklı lüle taşı numunesinin ϵ_r bağıl dielektrik katsayısının ve $\tan \delta$ dielektrik kayıp faktörünün sıcaklığa bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Bu şekillerde, (a) ve (b) eğrileri, lüle taşı numunelerinin, iki farklı sürede ön koşullandırılması sonrasında elde edilen sonuçları göstermektedir. Ön koşullandırma süresi olarak, yaklaşık 120°C sabit sıcaklıkta, (a) eğrisi için 2 saat, (b) eğrisi için 4 saat alınmıştır.



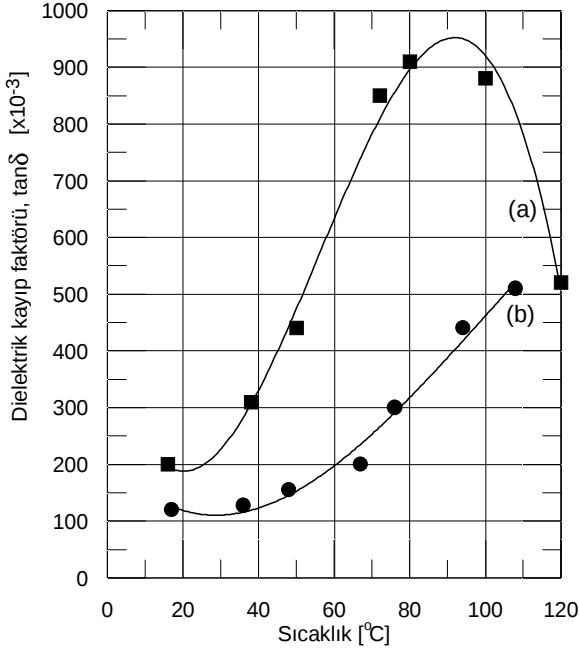
Şekil 2. Lüle taşının ϵ_r bağıl dielektrik katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi.

(a) ~120°C'de 2 saat kurutmadan sonra,
(b) ~120°C'de 4 saat kurutmadan sonra.

Lüle taşının, Şekil 2'de verilen, ϵ_r bağıl dielektrik katsayısı, aşağıdaki bağıntıdan elde edilmiştir.

$$\epsilon_r = C_x / C_0 \quad (1)$$

Bu bağıntıda C_x deney numunesinin (elektrotlar arasında lüle taşının bulunduğu durumda) Schering Köprüsü ile ölçülen kapasitesini, C_0 ise elektrotlar arasında lüle taşı yerine vakum olduğu varsayıldığı durumundaki kapasiteyi (geometrik kapasiteyi) göstermektedir. Geometrik kapasite denklem (2)'den hesaplanmıştır.



Şekil 3 Lületaşının $\tan \delta$ dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi.
(a) ~120°C'de 2 saat kurutmadan sonra,
(b) ~120°C'de 4 saat kurutmadan sonra.

$$C_0 = \epsilon_0 A / t \quad (2)$$

Bu denklemde, $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m vakumun dielektrik sabitini, A elektrotların etkin yüzey alanını, t ise elektrot açıklığını veya numune kalınlığını göstermektedir. Çapı D olan, daire kesitli bir elektrodun etkin yüzey alanı,

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (3)$$

bağıntısından hesaplanır.

Hem bağıl dielektrik katsayısı hem de dielektrik kayıp faktörü, ~90°C'ye kadar sıcaklıkla hızla artmaktadır. Bu sıcaklığın üstünde (a) numunesi için bu büyüklüklerde yavaşça azalma görülmektedir. Diğer yandan, bu değerler, (b) numunesi için, çalışılan sıcaklık bölgesinde bir maksimum göstermeksizin sıcaklıkla düzenli olarak artmaktadır.

Lületaşının dielektrik katsayısının sıcaklığa bağlılığı, iyonik kutuplanmaya bağlanabilir. Bu olay nedeniyle, ϵ_r bağıl dielektrik katsayısı, artan sıcaklıkla artar. Düşük sıcaklıklarda, malzemenin molekülleri yönlenebilir. Sıcaklık arttığında dipoller yönlendirilir ve bu da dielektrik katsayısını artırır. Sıcaklık, düzensiz ısı salınımlarına yol açar, moleküller

yoğunlaşır ve yönlendirme düzenlerinde bozulma olur. Bu ϵ_r eğrisinin bir maksimumdan geçmesine ve maksimumdan sonra bir azalmaya sebep olur. Yaklaşık 90°C sıcaklıkta (a) numunesi için bu maksimuma erişilir (Şekil 2'deki (a) eğrisi). Diğer yandan, (b) numunesi için, bu maksimum, çalışılan sıcaklık aralığından daha yüksek sıcaklıklarda görüleceği benzetilmektedir.

Dielektrik kayıp faktörü $\tan \delta$, yukarıda ϵ_r için açıklanan aynı etkiden dolayı artan sıcaklıkla yavaşça yükselir. Kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi, elektriksel iletim kayıpları ile dielektrik kayıplarının toplamına bağlıdır.

4. SONUÇLAR

120°C sıcaklıkta yaklaşık 2 saat süreyle kurutulan lüle taşı numunesi için hem bağıl dielektrik katsayısı hem de dielektrik kayıp faktörü, ~90°C sıcaklığa kadar artan sıcaklıkla hızla artmakta, bu sıcaklıktan sonra yavaşça azalmaktadır. Diğer yandan, bu büyüklükler, aynı sıcaklıkta 4 saat kurutulan numune için, çalışılan sıcaklık bölgesinde bir maksimum göstermeksizin, artan sıcaklıkla daha yavaş bir artış göstermektedir. Bağıl dielektrik katsayısının ve dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimleri, iyonik kutuplanmaya bağlanabilir.

Lületaşının hem dielektrik kayıp faktörü hem de bağıl dielektrik katsayısı, özellikle yüksek sıcaklıklarda, pek çok katı yalıtkan maddeninkinden daha yüksektir. Deneylerde kullanılan lületaşının hacimsel öz direnci yaklaşık 5.10^7 $\Omega \cdot m$ mertebesinde ölçülmüştür. Lüle taşı, ısı etkilere dayanıklı bir malzemedir. Lüle taşı, elektrik mühendisliğinde, hem yüksek dielektrik katsayısı hem de ısı dayanıklılığı ile pratik kullanımda bir seçenek olarak ortaya çıkabilir.

Lületaşının delinme dayanımı, yüzeyel öz direnci... gibi diğer elektriksel özelliklerinin yanında, mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin araştırılması ve elde edilecek sonuçlar, lüle taşına olan ilgiyi artırabilir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Naidu, M. S., Kamaraju, V., *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill Publ. Co. Ltd., New Delhi, 1989.
- [2] Kind, D., *High-Voltage Experimental Technique-Textbook for Electrical Engineers*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1978.
- [3] H. J. Wintle, "Basic Physics of Insulators", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 25, No. 1, pp. 27-44, February 1990.
- [4] *Türk Standardı*, TS 9561, "Süs Malzemesi Olarak Kullanım için Lüle Taşı (Meerschaum-For Use as Gems Material)", Kasım 1991.
- [5] <http://www.encyclopedia.com/articles/08282.html>
- [6] <http://www.pipeshop.com/lg/story/html/story.htm>
- [7] <http://www.meerschaum.com/faq.htm#what>