

Yağ Emdirilmiş Kağıtlı Kondenser (YEKK) Buşingler İçin Farklı Frekanslarda Kayıp Faktörü Ölçümü

Dissipation Factor Measurement in Different Frequencies to Oil-impregnated Paper (OIP) Bushings

Orhan Cengiz Usta

Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 10. Bölge Müdürlüğü, Samsun, Türkiye
orhancengiz.usta@teias.gov.tr

Öz

Yüksek gerilim güç trafosu buşinglerindeki nem, izolasyonun bozulmasına ve buşinglerin zarar görmesine neden olabilir. Uygulamada, güç trafolarında kullanılan buşinglerin izolasyon durumlarını tespit etmek amacıyla 50 Hz frekansta dielektrik kayıp faktörü ölçümü yapılmaktadır. Geleneksel 50 Hz frekansta dielektrik kayıp faktörü ölçüm metodu, buşingdeki nem durumunu tespit etmekte hassas olamayabilmektedir. Değişik frekanslarda kayıp faktörü ölçümü yapmak buşinglerin nem durumunu belirlemek için daha hassas bir değerlendirme imkanı sunmaktadır. Bu çalışmada, yağ emdirilmiş kağıtlı kondenser (YEKK) buşinglerin kayıp faktörlerinin geleneksel ölçüm metodundaki şebeke frekansından (50 Hz) farklı olarak, değişik frekanslarda (15-400 Hz arası) buşing kayıp faktörlerinin ölçülmesi yapılmakta ve bu sonuçlar başka çalışmalarda karşılaştırılmaktadır. Ölçümler yıllarca işletmede bulunan ve 50 Hz frekanstaki kayıp faktörü ölçümleri neticesinde kayıp faktöründe artış bulunan buşinglere uygulanmıştır. Anahtar kelimeler: Buşing, Kayıp Faktörü, Nem

Abstract

Moisture within a high voltage power transformer bushing can cause to the deterioration of insulation and bushings failures. In practice, in order to determine the insulation status of the bushings used in power transformers, dielectric loss factor measurement is performed at 50 Hz frequency. The traditional loss factor measurement at 50 Hz frequency method can not be sensitive to detecting the moisture in the bushing. To make measurement of loss factor at different frequencies in the bushing offers a more sensitive evaluation to determine moisture in bushing. Unlike the traditional frequency method of loss factors of bushings (50 Hz), in this study, the loss factors of oil-impregnated paper (OIP) bushings are measured in different frequencies (between 15 and 400Hz), and the results are compared with other studies. Measurements were performed in bushings, which have been in operation for many years and increased loss factors in 50

Hz frequency. Measurement results were compared with other similar studies.

Keywords: Bushing, Dissipation Factor, Moisture

1. Giriş

Elektrik enerjisinin iletilmesi amacıyla bir alternatif gerilim ve akım sistemini, aynı frekanstaki ve genellikle farklı değerlerdeki başka bir gerilim ve akım sistemine elektromanyetik indüksiyon yoluyla dönüştüren iki veya daha çok sargısı bulunan statik cihaz, güç transformatörü olarak tanımlanır[1].

Buşing, bir tank gibi bir bölme içinden bir veya birkaç iletkenin geçmesini sağlayan ve bu iletkenleri bölmeden yalıtan bir düzendir. Bölmeye tutturma düzenleri (flanş veya tespit düzeni) buşingin bir parçasını oluşturmaktadır[2,3]. Buşinglerin ilk fonksiyonu tanka veya boşluğa enerjili iletkenin bağlantısını yalıtmayı sağlamaktır. Buşing ayrıca diğer enerjili kısımlara destek olarak hizmet verebilir[4]. Alçak gerilimlerde katı buşingler, yüksek gerilimlerde ise kondenser tipi buşingler kullanılmaktadır[5].

Tüm trafo arızalarının % 10'undan fazlası buşing arızalarından kaynaklanmaktadır. Bir buşingin arızalanması tamamen trafonun zarar görmesine neden olabilir. Bundan dolayı düzenli ölçüm yapıp buşingin durumunu takip etmek, trafonun güvenli bir şekilde çalışma için önem arz etmektedir[6].

Kondenser buşingin yapısına bağlı olarak dielektrik kayıp faktörünün belirlenen standart değerlerde ve üreticilerin tespit ettiği aralıklarda bulunması gerekmektedir. Aksi takdirde buşing izolasyonu zayıflayacak ve buşingin hasar görmesi ve istenmeyen yangınlara neden olması, kaçınılmaz hale gelecektir. Buşinglerin izolasyon seviyesinin takibi açısından kayıp faktörü ölçümü ciddi bir önem kazanmaktadır. İzolasyon bozulmalarının veya zayıflamalarının saha testlerinde tespitinin yapılarak buşingin değiştirilmesi yada sorunun araştırılması gerekmektedir.

Geleneksel kayıp faktörü ölçümleri 50 Hz frekansta yapılmaktadır. Ancak yeni test ölçüm metodlarının geliştirilmesi farklı frekanslarda da kayıp faktörünün ölçülmesini ve buşing izolasyonu hakkında ayrıntılı bilgi edinilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)'a bağlı farklı trafo merkezlerindeki (TM) güç trafolarına ait buşinglerin kayıp faktörünün 50 Hz frekansta ölçülmesinin yanı sıra, alternatif gerilim (AC) izolasyon test cihazlarıyla ile farklı frekanslarda (15-400 Hz arası) kayıp faktörü ölçümleri yapılmıştır. Buşinglerin izolasyon durumları hakkında belirgin sonuçlara ulaşılmış ve bulunan sonuçların benzer çalışmalar ile karşılaştırılmaları yapılmıştır.

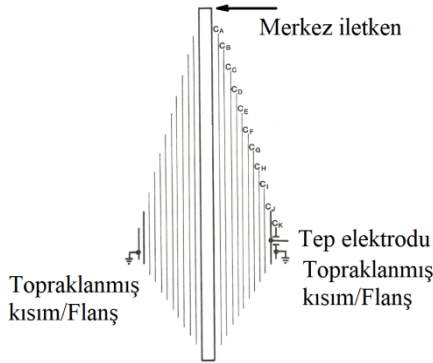
2. Teorik Çerçeve

2.1. Kondenser Buşing

Buşingler kullanılacakları yere metal flanşları aracılığıyla monte edilmektedir. Bu nedenle flanşlar buşinglerin toprak potansiyelindeki bir parçasını oluşturmaktadır. Buşinglerin havaya açık olan dış yüzeyi, elektrik gerilimi atlama direncini artırmak amacıyla yapılmış çok katlı siperlerden ya da eteklerden (pedigot) oluşmaktadır. Böylece yüzeyel kaçak yolu uzunluğunun da (krepaj mesafesi) büyük olması sağlanmaktadır[7].

2.1.1. Kondenser Buşing Yapısı

Yüksek gerilimde kullanılan kondenser buşingler, arkları önlemek ve delinme dayanıklılığını artırmak için kağıt izolasyon tabakaları içerisine belli aralıklarla birbirinden izole alüminyum yada bakır folyolar sarılarak şekil 1'de görüldüğü gibi kondenser tipte tasarlanmaktadır.

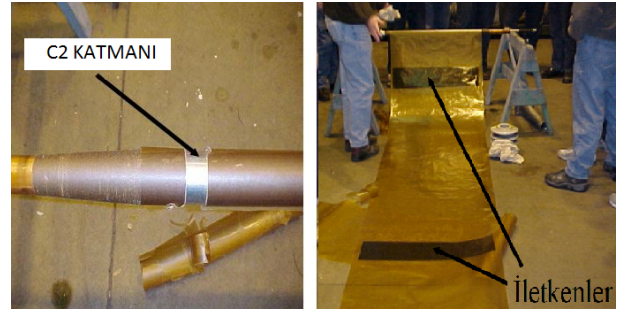


Şekil 1. Tipik kondenser buşing yapısı[4].

Sargının tanktan çıktığı noktada merkez iletken ile flanş arasında elektrik alan dağılımı buşing izolasyonunu zorlamaktadır. Bu nedenle elektrik alan dağılımı izolasyon içerisinde homojen hale getirilmelidir. Kondenser katlar, kapasitif olarak indüksiyon gerilimini bölerek merkez iletken ile flanş arasında homojen elektrik alan dağılımını sağlamaktadır. Kullanılan kağıdın elektrikselsel dayanımını ilaveten artırmak için kağıda izolasyon yağı emdirilmektedir. Merkez iletken ile dış pedigotlar arasında kalan kağıt ve kondenser katlar, izolasyon yağı ile kuşatılmış durumdadır. Bu yağ izolasyonu daha iyi hale getirmek ve kağıdın nem almasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yağın

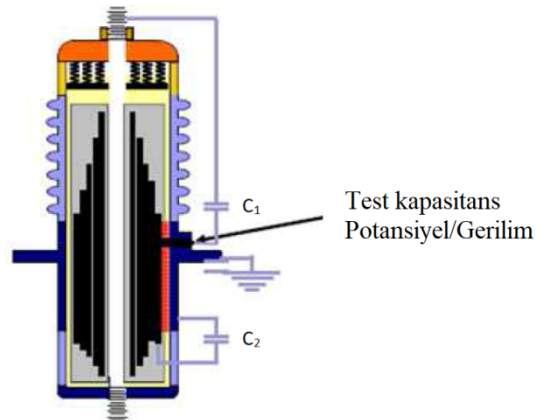
transformatör kazanındaki yağla herhangi bir teması bulunmamaktadır. Merkez iletkenin elektrik alanı, kondenser katlardan dışa doğru gidildikçe azalmakta, bütün kondenser katmanlara homojen olarak dağılmamaktadır. Kondenser katmanların üzerindeki elektrik alanının homojen olabilmesi için, silindirik şeklindeki kondenser katların, en ve boylarının belirli bir orantıda olması gerekmektedir. Bu tasarım ile kondenser katlar, merkez iletken ile flanş arasındaki izolasyon üzerinde, homojen bir elektrik alan dağılımı sağlamaktadır.

Resim 1'de görüldüğü gibi belli sayıda kağıt katmanı sarıldıktan sonra bir kat alüminyum (ya da bakır) folyo sarılmakta ve bunun tekrarlanması ile kondenser katmanlar oluşturulmaktadır. Kondenser katların kapasite değerleri aynıdır. Kapasite değeri katmanların boyları ile doğru orantılı, katmanların merkez iletkenine göre yarıçap oranlarının doğal logaritmik değeri ile ise ters orantılıdır. Dolayısıyla kapasite değerini katmanların yüzey alanları etkilemektedir. Alüminyum katmanların, dışa doğru gidildikçe sarım kalınlaştığından dolayı enleri büyümektedir. Yüzey alanını sabit tutabilmek için dışa doğru gidildikçe alüminyum katman boyları kısaltılmaktadır. Merkez iletkenine yakın olan katmanın eni küçük, boyu uzun iken en dıştaki katmanın eni büyük, boyu ise kısadır. Böylece kondenser katmanların yüzey alanları ve kapasiteleri eşitlenmektedir[8].



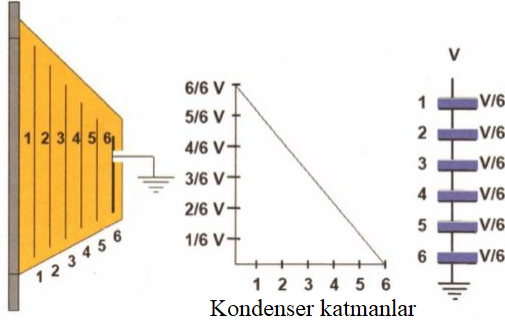
Resim 1. C2 katmanı (Sol), yağa emdirilmiş kağıt yalıtımının ana çekirdeğin sarılmamış durumu (Sağ)[8]

Şekil 2 'de görüldüğü gibi, yüksek gerilim buşingleri ana kapasite C_1 'den ve tep kapasitesi C_2 'den oluşmaktadır.



Şekil 2. Kondenser tip buşingin ana ve tep kapasitansı [5]
Kondenser katmanlar, merkez iletkenin oluşturduğu indüksiyon gerilimlerini bölerek tanka doğrudan deşarjı

önlemekte ve bölmüş oldukları indüksiyon gerilimini tep ucu vasıtası ile sıfır potansiyeldaki toprağa iletmektedirler. Şekil 3’ te görüldüğü gibi her kondenser katman, indüksiyon gerilimini bölmekte ve son kondenser katmana gelindiğinde gerilimi sıfır değerine indirmektedir.

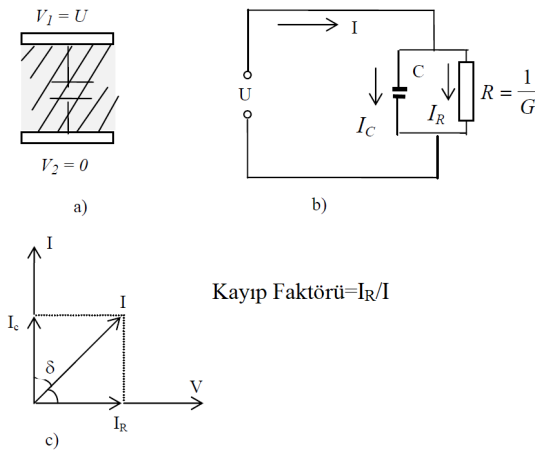


Şekil 3. Kondenser katmanların etkisi [8]

2.2. Dielektrik Kayıp Faktörü ($\tan\delta$ veya $\cos\phi$)

2.2.1. Genel Teori

Dielektrik kayıp faktörü, mevcut yalıtım sisteminin elektriksel özelliğini göstermektedir. Kayıp faktörü ve kapasitede olabilecek değişiklikler, mevcut yalıtım veya elektrot düzenindeki değişimlerden etkilenmektedir. Ayrıca nem, yalıtımdaki bozulmalar, yabancı parçacıklar ve iyonizasyon yalıtımın dayanımını etkileyen faktörlerdir. Kapasite, yalıtkan malzemenin özelliklerine ve elektrotların yapısına çok bağlıdır. Malzemenin özelliklerinde ve elektrot düzeninde bir değişme söz konusu olduğunda ölçülecek kapasitede dahi değişiklik meydana gelmektedir[9]. Uygulamada kullanılan tüm yalıtım malzemelerinde, nominal gerilimde ve nominal frekansta düşük dielektrik kayıplar bulunmaktadır. Bu kayıplar, iyi yalıtım malzemelerinde oldukça düşüktür[10].



Şekil 4. a) Yalıtkan b) Eşdeğer devre c) Vektör diyagramı [10]

Uygulamada kullanılan tüm yalıtkanların, normal çalışma gerilimi ve frekansında az da olsa bir miktar yalıtkanlık

kayıbı vardır. İyi yalıtkanlarda bu kayıplar çok küçüktür. Bu kayıp takriben uygulanan gerilimin karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bir basit kapasitenin, elektrod ve yalıtkan düzeninin yapısı ve eşdeğer şeması, devre elemanları cinsinden şekil 4’te gösterilmektedir. Şekil 4’te görüldüğü gibi yalıtkindan toplam “I” akımı akmaktadır. Bu akımın kapasitif “ I_C ” ve omik “ I_R ” şeklinde iki bileşeni mevcuttur. Kapasitenin değerinin yanında, toplam akım “I” ile kapasitif akım “ I_C ” arasındaki açı δ ve omik akım “ I_R ” arasındaki açı ϕ , yalıtkanın durumu hakkında bilgi veren temel faktörlerdir. Burada, $\tan\delta$, kayıp faktörü ve $\cos\phi$, güç faktörü (% PF) şeklinde tanımlanmaktadır [8]. Burada δ açısı çok küçük olduğundan $\tan\delta \approx \cos\phi$ (%PF)’dir.

Kayıp faktörü (açısı), yalıtım malzemesinin kalınlığına ve yüzeyine, yalıtkanın özelliğine, malzeme cinsine, (yalıtkan içerisinde iyonizasyona neden olan nem, yabancı maddeler, hava boşlukları v.b. gibi) bağlıdır. Şekil 4’ ten görüldüğü gibi kayıp faktörü, gerilimden bağımsızdır. Buşingin ölçülerinden de bağımsızdır. Buna rağmen sıcaklığa duyarlıdır. Yalıtkan, kullanımı ile birlikte yaşlanacak ve kayıpları da yükselecektir. Nem veya kimyasal etkilerle kayıplar artarken, olabilecek fiziksel bozulmalar da kayıpları etkilemektedir. Çoğunlukla yalıtkanın kayıplarını doğuran koşullar ve nedenler yalıtkanın dayanımının azalması sonucunu da doğurmaktadır. Bu nedenle belli bir frekansta yalıtkan maddesi hakkında, kayıp açısı ölçümü belirli bir fikir vermekte ve gelecekteki ölçümler için referans oluşturmaktadır. İşletme sırasında yapılacak ölçmeler de, yalıtımın genel durumunu gösteren önemli göstergelerden biri olup katı yalıtımın yaşlanması ve yağın bozulması durumu, tanı için arızanın yeri ve olası nedenleri hakkında bilgi vermektedir[9].

2.2.2. Buşing Kayıp Faktörü Ölçüm Devresi ve Ölçümün Uygulanışı

Kapasite, $\tan\delta$, aktif kayıp ve $\cos\phi$ belirli gerilimlerde köprü yöntemleri (örneğin, schering veya transformator kolları köprüleri) veya ölçme cihazları (örneğin, kayıp faktörü/ $\cos\phi$ ölçme cihazları) ile ölçülebilmektedir. Bu köprü veya cihazlarla, uygulanan gerilim, akım, kapasite ve kayıp faktörü ölçülebilmekte ve hesap edilebilmektedir.

C_1 kayıp faktörü ölçümünde, transformatorün anma işletme gerilimine kadar herhangi bir gerilim seviyesi uygulanabilir. Ancak işletmedeki/sahadaki ölçmeler taşınabilir cihazlarla yapılabileceğinden, bunlarla ilgili üretilen cihazlar göz önüne alındığında, uygun ölçme gerilimi en fazla 10-12 kV’tur [9].

Ölçmeler sırasında, ortamın nem ve sıcaklığı ile transformatorün yağ sıcaklığının da kaydedilmesi gereklidir. Kayıp faktörü, sıcaklığa bağlı olarak çok değişmektedir. Bu nedenle daha sonra karşılaştırma yapılabilmesi için referans sıcaklığa (20° C referans sıcaklığı) bir çarpan kullanarak dönüştürülmesi gerekmektedir. Sıcaklık değeri olarak, ortam sıcaklığıyla buşing sıcaklığının ortalaması alınmaktadır[4,11].

Düzeltilme bağıntısı :

$$F_{20} = F_t / K$$

F_{20} : 20 °C'taki kayıp faktörü

F_t : t ölçme sıcaklığındaki kayıp faktörü değeri, K: düzeltme faktörü, üreticilere göre değişiklik göstermektedir. Her buşingin üreticisinden sıcaklık dönüştürme çarpanlarının alınması, değerlendirmeyi daha sağlıklı yapacaktır.

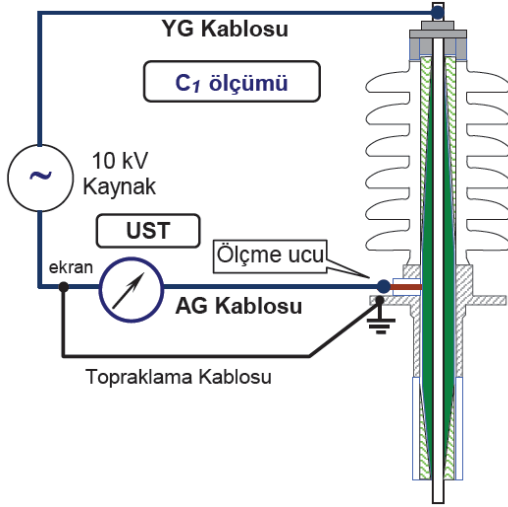
Aşırı nemli, yağışlı ve çok soğuk ortamlarda, sonuçlar çok olumsuz etkileneceğinden, ölçüm yapmaktan kaçınılmalıdır[9].

Şekil 4'e göre devrenin aktif kaybı ile ilgili bağıntı:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U^2 \cdot C \cdot \omega \cdot \tan \delta \quad \text{olmaktadır.} \quad (1)$$

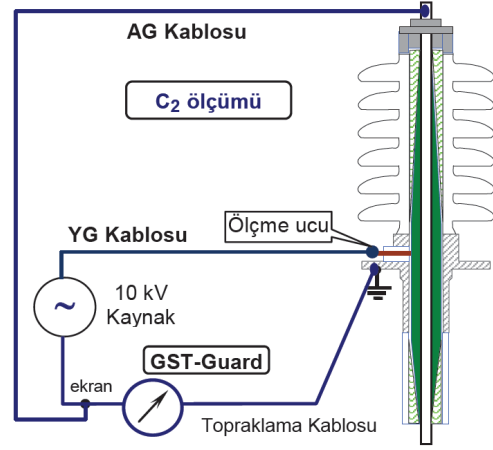
Güvenlik ve sargı endüktans etkilerini azaltmak için trafonun üzerindeki buşingler kısa devre edilmektedir[12]. Buşingler kısa devre edilmez ise sargı endüktansından dolayı buşinglerde potansiyel farklar oluşmaktadır[4]. Bu nedenle ölçümlerde yanlış sonuçlar alınmaktadır. Buşinglerde ölçümler iki noktadan yapılmaktadır. Bunlardan birincisi buşingin aktif kısmını içeren ana yalıtımda (C_1) ve diğeri ise ölçme (tep) ucunda (C_2) yapılan ölçümlerdir[9].

Şekil 5'te görüldüğü gibi, C_1 ölçümü yapılırken ölçme cihazı alçak gerilim (AG) kablosu tep ucunda, yüksek gerilim kablosu (YG) buşingin üst ucunda olacak şekilde bağlanmakta ve ölçme cihazı, topraklanmamış örnek testi (UST) pozisyonuna alınmaktadır. Bu durumda sadece C_1 kapasitesi ve $C_1 \%PF$ 'si ölçülür.



Şekil 5. C_1 ölçümü bağlantısı

Şekil 6'da görüldüğü gibi, C_2 ölçümü yapılırken ölçme cihazı AG kablosu, buşingin üst ucunda YG kablosu tep ucunda olacak şekilde bağlanmakta ve ölçme cihazı ekranlı topraklanmış örnek testi (GST-Guard) pozisyonuna alınmaktadır. Bu durumda sadece C_2 kapasitesi ve $C_2 \%PF$ 'si ölçülmektedir. C_1 kapasitesi ekranlanmaktadır.



Şekil 6. C_2 ölçümü bağlantısı

Buşingin merkez iletkeninin etrafındaki iç atlamalar, bütün sızdırmaz kademeli kapasiteli buşingler için gerçek ve ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

C_2 kayıp faktörü ölçümü, bazı durumlarda yağlı tip buşinglerde iç kirlenme için belirgin bir gösterge aracı olabilmektedir.

Bazı durumlarda ise negatif kayıp faktörü ölçümü söz konusu olabilmektedir. Negatif direnç söz konusu olmadığına göre, bu durum, buşing yüzeylerinde (özellikle yağ içindeki alt kısımda) oluşan kirlilikler, ölçme cihazı, çekirdek ve ölçüm yapılan transformatörün topraklamasının kötü oluşu ve buşing iç kısmında ölçme ucu bağlantılarının çözülmesi veya iç kopukluklar nedenlerinden kaynaklanmaktadır [9].

2.2.3. Buşing C_1 Kayıp Faktörü Limitleri

Buşing kayıp faktörü limitleri üreticiler tarafından belirlenmektedir[13]. IEEE 62-1995 ve IEEE C57.19.01 standartlarında buşingler için limit değerler belirlenmiştir[13,14].

Tablo 1. IEEE kayıp faktörü limit değerleri [13,14]

	Kayıp Faktörü ($\tan\delta$) Limit değerleri (20 °C)		
	Yeni	Eski	Uyarı alarm
Buşing(YEKK)	<0,5 %	<1%	>1 %

M. Ohlen ve P. Werelius, ölçülen C_1 % PF değerinin, buşing etiket değerinin 2 katına kadar normal kabul edilebileceğini söylemekte, ölçülen bu değer, etiket değerinin 2 ile 3 katı arasında ise buşing yakın takip edilmeli, 3 katın üzerine çıkması durumunda ise buşingin servisten kaldırılması gerektiğini ifade etmektedirler [15].

Çoğu modern buşinglerin C_1 %PF' si %1'i aşarsa sorgulanmaktadır. Ayrıca farklı buşing markaları için % PF değerlendirmeleri farklılık göstermektedir. Örneğin Asea marka buşinglerde C_1 %PF'si, C_1 %PF etiket değerinin %75'ini aşarsa, Haefely Trech marka buşing (Cot) tipi C_1

%PF'si, C_1 %PF etiket değerinin 2 katını aşarsa değiştirilmesi gerektiği buna karşılık, Passoni Villa marka buşinglerde (PNO,PAO tipi) C_1 %PF'si 0,7'yi aşarsa yakın takibe alınması gerektiği belirtilmektedir[11].

Yağ emdirilmiş kağıtlı kondenser yeni buşingler için IEC 60137 standardında C_1 %tanδ, maksimum 0,7'nin kabul şartı olduğu ifade edilmektedir[2].

Yeni bir YEKK buşing için C_1 %tanδ 0,2-0,4 olarak kabul edilmektedir. IEEE ve IEC standartlarında belirtilen kayıp faktörü değerleri, 20 °C sıcaklığına irca edilmiş değerlerdir[6].

CIGRE bakım tavsiyesi olarak, buşinglerin 30 yıl sonunda değiştirilmesi gerektiğini söylemektedir[16].

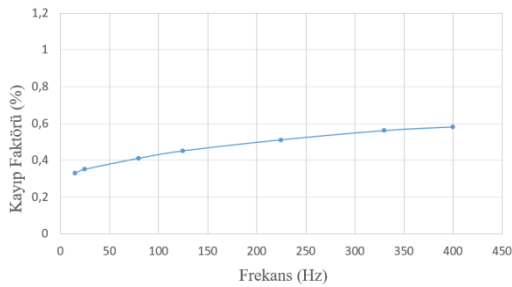
Abb buşing firması ise kendi buşingleri için C1 izolasyonu %PF değerlerinde fabrika değerlerine göre %25-40 arasındaki artışları, harici enterferans etkilerine ve buşing içerisine yağ seviye göstergesi contalarından nem girişlerine bağlamaktadır. C1 izolasyonu %PF değerlerindeki artışlar %40-75 arasında ise ölçümlerin her ay tekrarlanması ve buşinglerin takip edilmesi, artışın %75'i geçmesi durumunda buşinglerin işletmeden kaldırılması gerektiği belirtilmektedir. Ancak artışın %75'i geçmesine rağmen %PF değeri 0,4'ten küçük ise buşingın işletmede kalmasına izin verilebileceği ifade edilmektedir[8].

3. Farklı Frekanslarda Kayıp Faktörü Ölçümü

Farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçümü, yağ emdirilmiş katı selüloz malzemede yüksek nem ve genel izolasyon durumu hakkında değerlendirmeye imkan vermektedir.

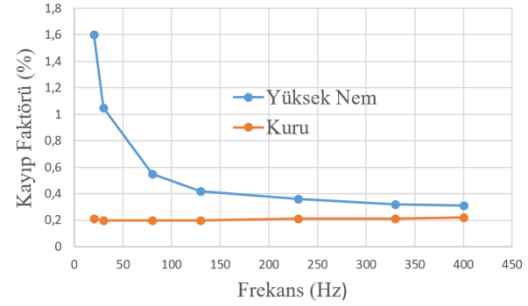
3.1. Test Metodu ve Literatür Çalışmaları

Farklı frekanslardaki kapasite ve kayıp faktörü ölçüm bağlantısı ve test pozisyonu, aynen şekil 5'teki gibi yapılmaktadır. Şekil 5'teki ölçümden farklı ölçüm frekansının 15 Hz'den başlayarak 400 Hz'e kadar farklı frekanslarda ve 2 kV'da ölçüm yapılmıştır[16]. Şekil 7'de yeni bir YEKK yüksek gerilim buşingın kayıp faktörünün frekansla değişim eğrisi gösterilmektedir[6]. Şekil 7'den görüldüğü gibi eğriler oldukça düzdür. Minimum eğriler en düşük test frekansı 15 Hz'in altındadır.



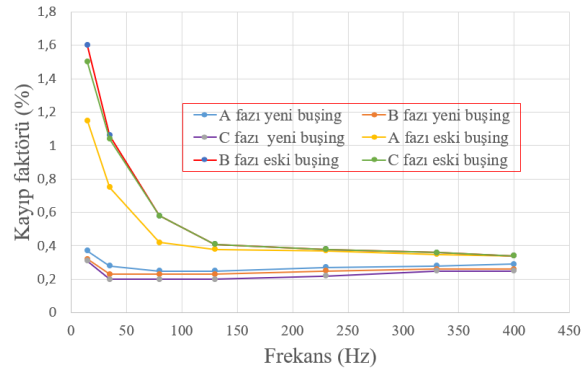
Şekil 7. Yeni YEKK buşingın dielektrik cevabı [6]

CIGRE grup çalışmasında, yüksek gerilim buşing uygulamasında, düşük frekanslarda kayıp/güç faktörü ölçümünün yüksek hassasiyette nemin belirlenmesine olanak sağladığı belirtilmiştir. Şekil 8'de YEKK buşingın 20-400 Hz arası yapılan kayıp faktörü ölçümünde kayıp faktörünün tipik neme duyarlılığı gösterilmektedir[16]. Şekil 8'den görüldüğü gibi düşük frekanslarda kayıp faktörü artış göstermekte yüksek frekanslardaki ölçümlerde kayıp faktörü düşmektedir.



Şekil 8. YEKK buşinglerde farklı frekanslarda kayıp faktörü ölçümü[16]

M. Kruger ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yeni ve eski buşingler 15'den 400 Hz'e 30 °C'de test edilmiştir. Özellikle düşük frekanslarda şekil 9'da gösterildiği gibi yüksek farklılıklar ölçülmüştür. Bu çalışma, açık bir şekilde düşük frekanslarda kayıp faktörü ölçümünün yüksek hassasiyette, buşingdeki nemi tespit edebildiğini göstermektedirler[6]. A,B,C fazı eski buşinglerin kayıp faktörü ölçümlerinde düşük frekanslarda yüksek kayıp faktörü ölçüldüğünden buşingler işletmeden kaldırılmıştır.A,B,C fazı yeni buşinglerin farklı rekanslardaki kayıp faktörü ölçüm değerleri farklılık göstermediğinden buşingın durumunun iyi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9. Farklı nemlerde 30 °C'de kayıp faktörü [6]

Carl Pankratz yaptığı çalışmada, C1 kayıp faktörü değeri %1'in üzerinde olan 2 adet buşingde, farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçümleri yapmış ve alçak frekanslarda yüksek kayıp faktörü ölçümleri tespit etmiştir. Buşing C1 kayıp faktörü değeri normal olan diğer bir buşingın, farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçüm sonuçlarında tüm frekanslarda kayıp faktörü değerlerinin yakın değerler olduğunu belirlemiştir[17].

3.2. Farklı Frekanslarda Kayıp Faktörü Limitleri

Farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçümü standart bir ölçüm olarak düşünülebilir. Düşük frekanslardaki ölçümler (15 Hz) nemin hassas değerlendirilmesine imkan tanımaktadır. Yüksek frekanslardaki ölçümler, ölçü tep ucunda veya en iç katman bağlantısında kontak problemlerinin veya sıralı katmanlar arası yüksek dirençli kısmi bozulmaların hassas bir şekilde değerlendirmesine katkıda bulunmaktadır. Tablo 2’de yeni ve eski buşinglerin farklı frekanslardaki tipik %PF limitleri gösterilmektedir. Tüm testler 2 kV test geriliminde yapılmıştır[6].

Tablo 2. YEKK buşing için 2 kV’da farklı frekanslarda tipik kayıp faktörü limitleri [6]

Yağ Emdirilmiş Kağıtlı Kondenser Buşing (YEKK)		
Frekans (Hz)	Yeni	Eski
15 Hz	<0,5 %	<0,7 %
50/60 Hz	<0,4 %	<0,5 %
400 Hz	<0,5 %	<0,7 %

4. Bulgular

Bu çalışmada TEİAŞ’a bağlı trafo merkezlerinde bulunan güç trafolarındaki buşinglerin izolasyonunun durumunun tespit edilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla çalışmada TEİAŞ’a bağlı olan iki adet trafo merkezindeki izolasyonu zayıflamış bulunan buşingler seçilmiş ve bunların üzerinde farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçümü yapılmıştır. TEİAŞ’a bağlı farklı iki (A ve B) trafo merkezlerinde bulunan güç trafoları buşinglerinde, 2 kV gerilimde (15,20,35,50,135,220, 305 ve 400 Hz) 8 farklı frekansta, Omicron Tetrano600 AC izolasyon test cihazıyla kayıp faktörleri ölçülmüştür.

4.1. A TM’deki Güç Trafosu Buşinglerinde Yapılan Ölçümler

Güç trafosunun YEKK buşinglerinde (A,B,C fazları ve Nötr Buşingleri: ASEA-Brown Boveri, 170 kV, 1250 A, Tip:GOB750) yapılan geleneksel kayıp faktörü ölçüm sonuçları tablo 3’te gösterilmektedir. 2009-2012 yıllarındaki ölçümleri, Doble M2H marka AC izolasyon test cihazı ile, 2015-2018 yılı ölçümleri Doble M4100 marka AC izolasyon test cihazıyla yapılmıştır.

Tablo 3. A TM’deki güç trafosunun 50 Hz’de kayıp faktörü değerleri

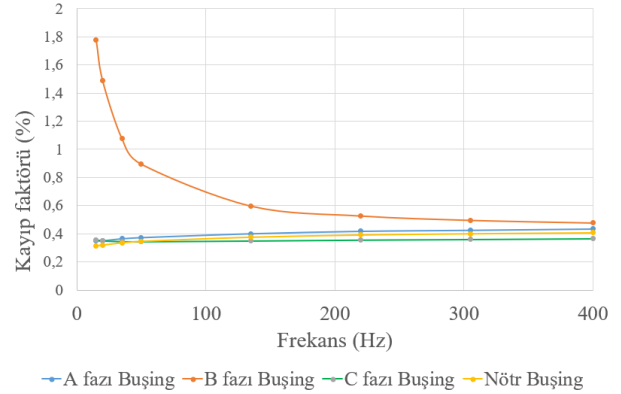
Faz	12.06.2018		15.11.2015		04.09.2012		24.06.2009	
	%PF	°C	%PF	°C	%PF	°C	%PF	°C
A	0,37	25	0,41	18	0,50	14	0,38	30
B	1,06	25	0,91	18	0,97	14	0,37	30
C	0,35	25	0,37	18	0,54	14	0,38	30
N	0,35	25	0,40	18	0,38	14	0,37	30

Tablo 3’den görüldüğü gibi A,C fazları ve nötr buşingin kayıp faktörü ölçüm sonuçları 2009 yılı ile diğer yıllardaki ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında artış yönünde ciddi bir değişiklik

görülmemektedir. Ancak B fazı buşingi 2009 yılındaki ölçüm sonuçları (0,38) ile 2018 yılındaki ölçüm sonuçları (1,06) karşılaştırıldığında kayıp faktöründe ciddi bir artış söz konusudur. Farklı frekanslarda (15 ile 400 Hz arası) Omicron Tetrano600 marka AC izolasyon test cihazıyla 12.06.2018 tarihinde ve 24 °C sıcaklıkta yapılan buşing kayıp faktörü ölçümüne ait değerler tablo 4’te gösterilmektedir. Kayıp faktörüne ait grafik şekil 10’da gösterilmektedir.

Tablo 4. A TM’deki güç trafosu buşinglerinin farklı frekanslarda yapılan kayıp faktörü ölçüm değerleri

Frekans(Hz)	Kayıp Faktörü (%)			
	A fazı buşing	B fazı buşing	C fazı buşing	Nötr buşing
15	0,350	1,777	0,358	0,315
20	0,352	1,488	0,351	0,319
35	0,366	1,076	0,346	0,335
50	0,374	0,896	0,345	0,346
135	0,401	0,598	0,35	0,376
220	0,418	0,528	0,356	0,392
305	0,425	0,497	0,36	0,401
400	0,434	0,478	0,365	0,408



Şekil 10. A TM’deki güç trafosu buşinglerinde farklı frekanslarda yapılan kayıp faktörü ölçüm grafiği

Tablo 3’ten görüldüğü gibi, 50 Hz ile yapılan kayıp faktörü ölçüm sonuçlarından kayıp faktörünün arttığı tespit edilmektedir. Şekil 10’dan görüldüğü gibi farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçüm sonuçlarına göre ise, B fazı buşingin düşük frekanslardaki kayıp faktörleri yüksektir. Yüksek frekanslarda ise kayıp faktörleri düşük değerler gösterdiğinden B fazı buşingin nem aldığı frekans taramasından görülmektedir.

4.2. B TM’deki Güç Trafosu Buşinglerinde Yapılan Ölçümler

Güç trafosunun YEKK buşinglerinde (A fazı: Passoni Villa, 170 kV,800A,Tip:PNO170750800,Üretim yılı:2011), B ve C fazları: ASEA,145 kV, 1250 A, Tip:GOB 650) yapılan geleneksel kayıp faktörü ölçümleri tablo 5’te gösterilmektedir. 2014 yılı ölçümleri Doble M2H, 2015-2017 yılı ölçümleri Doble M4100 marka AC izolasyon test cihazıyla, 2018 yılı ölçümleri Omicron Tetrano600 AC izolasyon test cihazıyla yapılmıştır.

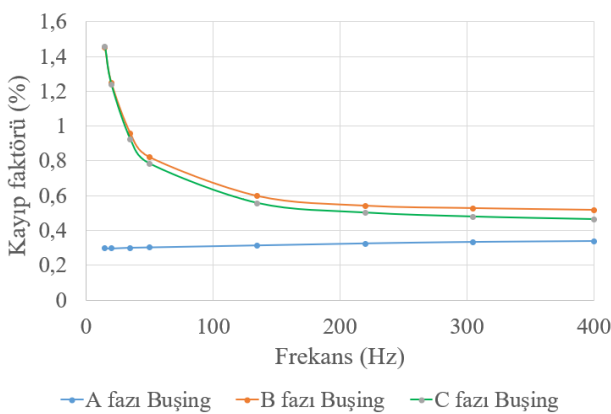
Tablo 5. B TM'deki güç trafosunun 50 Hz'de kayıp faktörü değerleri

	04.06.2018		25.12.2017		30.04.2015		20.04.2014	
Faz	%PF	°C	%PF	°C	%PF	°C	%PF	°C
A	0,31	30	0,54	12	0,34	20	0,34	25
B	0,99	30	0,76	12	0,53	20	0,40	25
C	0,94	30	0,64	12	0,57	20	0,39	25

Tablo 5'ten görüldüğü üzere A fazı buşingin 2014 yılı ile diğer yıllardaki ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında ciddi bir değişiklik görülmemektedir. A fazı için 2017 yılındaki yükseklik testin yapıldığı tarihteki sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. B ve C fazı buşingin 2014 yılı ile 2018 yılı kayıp faktörü ölçümleri karşılaştırıldığında ciddi bir artış söz konusudur. Farklı frekanslarda (15 ile 400 Hz arası) Omicron Testrano 600 marka AC izolasyon test cihazıyla 04.06.2018 tarihinde ve 30 °C sıcaklıkta yapılan buşing kayıp faktörü ölçümüne ait ölçümüne ait değerler tablo 6'da gösterilmektedir. Kayıp faktörüne ait grafik şekil 11'de gösterilmektedir.

Tablo 6. B TM'deki güç trafosu buşinglerin farklı frekanslarda yapılan kayıp faktörü ölçüm değerleri

Frekans (Hz)	Kayıp Faktörü (%)		
	A fazı buşing	B fazı buşing	C fazı buşing
15	0,296	1,450	1,458
20	0,296	1,249	1,239
35	0,300	0,957	0,923
50	0,302	0,821	0,784
135	0,313	0,597	0,557
220	0,324	0,541	0,502
305	0,332	0,527	0,479
400	0,337	0,517	0,464



Şekil 11. B TM'deki güç trafosu buşinglerinde farklı frekanslarda yapılan kayıp faktörü ölçümü

Tablo 5'te görüldüğü gibi, 50 Hz frekans ile yapılan kayıp faktörü ölçüm sonuçlarından B ve C fazlarının 2018 değerleri ile 2014 yılındaki ölçüm değerleri karşılaştırıldığında kayıp faktörünün arttığı tespit edilmektedir. Farklı frekanslardaki kayıp faktörü ölçüm sonuçlarına göre ise B ve C fazı buşinglerinin düşük frekanslarda yüksek kayıp faktörü

değerleri görülmektedir. Şekil 11'den görüldüğü gibi B ve C fazı buşinglerin nem aldığı anlaşılmaktadır. B ve C fazları izolasyonu zayıfladığından A fazına göre kayıp faktörü değerleri daha fazla yükseklik göstermektedir. A fazının ise 2014 yılı ile 2018 yılları arası 50 Hz frekansındaki kayıp faktörü ölçümlerinde değişiklik gözlenmemektedir. A fazının farklı frekansındaki kayıp faktörü ölçüm sonuçları da farklı frekanslarda değişiklik göstermemektedir. Bu ölçüm sonuçlarından A fazı buşinginin durumunun normal olduğu anlaşılmaktadır.

5. Sonuçlar

Buşing kayıp faktörü ölçümlerinde 50 Hz'de yapılan kayıp faktörlerinin yanı sıra farklı frekans aralıklarında yapılan kayıp faktörü ölçümleri, buşingin izolasyon durumu hakkında, nem alıp almadığı konusunda ilave bilgiler vermektedir. Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere farklı frekanslarda gerçekleştirilen ölçümlerde buşing izolasyon durumu hakkında daha net bilgi sahibi olunabilmektedir. Nem aldığı düşünülen buşinglerde yapılan ölçümlerde, düşük frekanslarda ölçülen kayıp faktörünün yüksek, yüksek frekanslarda düşük olması noktası diğer çalışmaları [6,16,17] destekliyi niteliktedir.

Bu çalışmada, güç trafosunda bulunan buşinglerin izolasyon durumları ölçülmeye çalışılmıştır. Yeni gelişen teknolojilere göre yeni ölçüm metodu olan farklı frekanslarda kayıp faktörü ölçümü yapılarak türkçe literatüre katkı sağlanmak istenmiştir. Diğer farklı tip buşinglere de uygulanmak suretiyle yeni ölçüm yönteminin farklı sahalarda uygulanması sağlanabilir.

Özellikle 50 Hz frekansında ölçülen kayıp faktörü değerlerinde artış olan buşinglerde farklı frekanslarda da ölçümlerin gerçekleştirilmesi, daha sağlıklı değerlendirmeler yapılabilmesine katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın ölçümleri TEİAŞ olanakları ile gerçekleştirilmiştir. TEİAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1] TSE EN60076-1 Güç Transformatörleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [2] IEC 60137, Insulated Bushings for Alternating Voltages Above 1 000 V, Edition 7.0, 2017.
- [3] TS EN 60137, Yalıtkan Geçit İzolatörleri - 1 kV'nın Üzerindeki Alternatif Gerilimler İçin, 2000.
- [4] Doble M2H Instruction Manual, Doble Engineering Company, Watertown, Massachusetts, USA, 1988.
- [5] Suwnansri, T., Pongmanee, A., and Suwanasri, C., "On-line Monitoring for Bushing of Power Transformer", Gmsarn International Journal 8, Thailand, pp.47- 52, 2014.
- [6] Kruger, M., Kraetge, A., Koch, M., Rethmeier, K., Pütter, M., Hulka, L., Muhr, M., Summereder, C., "New Diagnostic Tools For High Voltage Bushing", Cigre VI Workspot-Internaional Wuokshop On Power Transformers, 25-28 April 2010.
- [7] Yazgaç, İ., Güç Transformatörleri Arızalar ve Saha Testleri, TEİAŞ Yayını, Ankara, 2017.

- [8] Pustu, M., Güç Trafoları ve Saha Testleri, EMO Yayınları, Ankara, 2013.
- [9] Odođlu, H., Transformatör ve Şönt Reaktör Deneyleri, Emo Yayınları, Ankara, 2013.
- [10] Alstom Saha Test Klavuzu Güç Transformatörleri, STM-Rev.004 – Kocaeli, 2011.
- [11] Horning, M., Basic Instruction Notes, Doble Engineering Company, Watertown, Massachusetts, USA, 2012.
- [12] ABB Brochure, Bushing Diagnostics and Conditioning, Ludvika, Sweden, 2000.
- [13] IEEE Std 62 -1995: Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus- Part 1: Oil Filled Regulators and Reactors, 1995.
- [14] IEEE Std C57.19.01: Performance Characteristics and Dimensions for Outdoor Apparatus Bushings, 2000.
- [15] Ohlen, M., and Werelius, P., "Bushing Insulation Diagnostics Based on Dielectric Response", Electricity+Control, South Africa: Crown Publications, pp. 50-59, 2011.
- [16] Cigre Guide for Transformer maintenance Working Group.A2.34, February 2011.
- [17] Pankratz, C., "Bushing Power Factor Testing Training", 85th International Conference of Doble Client, Massachusetts USA, April 8-13, 2018.



Orhan Cengiz USTA,

1981 yılında Trabzon' da doğdu. Lisans ve yüksek lisansını sırasıyla 2003 ve 2010 yıllarında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü' nde tamamladı. 2007 yılından beri Türkiye Elektrik İletim A.Ş. kurumunda test başmühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır. Çalışma konuları: Enerji iletim hatları, güç trafoları, reaktör, oto trafo, yüksek gerilim şalt teçhizatları testleridir.