

YÜK HARMONİKLERİNİN YAĞLI TİP GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDEKİ SICAK NOKTA SICAKLIĞINA DİNAMİK TERMAL MODEL ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

* Ali Burhan HALILOĞLU¹, ** Ali MAMİZADEH², ** İres İSKENDER³

* TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, ** Gazi Üniversitesi

¹ burhan.haliloglu@uzay.tubitak.gov.tr ² mamizadeh@gazi.edu.tr ³ iresis@gazi.edu.tr

ÖZET

Günümüzde kullanılan elektrik enerjisinin kalitesi oldukça önemlidir. İletimde ve dağıtımdaki güç kalitesi yetersizliklerinden kaynaklanan cihaz ve ekipman arızaları, ciddi derecede üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Yaşanan bu üretim kayıpları ülke ekonomisi açısından da büyük zararlar doğurmaktadır.

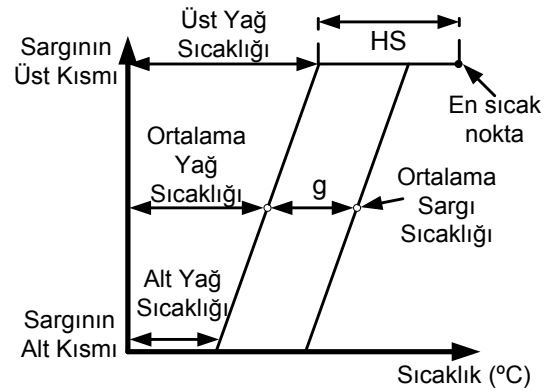
Maliyetinin fazlalığı ve tedarik süresinin uzun olması nedeniyle transformatörler, iletim ve dağıtım zincirinin en önemli yatırımlardan biri olarak görülürler. Bu nedenle ekonomik kayıplara sebep vermemek için, transformatörlerin izolasyon koşulları, faydalı çalışma ömürleri ve yüklenilme kapasiteleri iyi bilinmelidir. Transformatörlerin faydalı ömürlerini azaltan en önemli parametre, izolasyon malzemesinin hızlı yaşlanmasına neden olan yüksek sıcaklık seviyesidir. Elektrik sisteminde doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu harmonikler hem transformatörlerin fazla ısınmasına, hem de sistemde güç kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

TEİAŞ'a ait 2000 civarındaki güç transformatörünün çok büyük kısmında, sargı sıcaklığını ölçebilecek bir düzenek bulunmamaktadır. Bu bildiriye IEEE standartları baz alınarak transformatörün sıcak nokta sıcaklığını tahmin etme yöntemleri anlatılmıştır. Harmoniklerin kayıplar ve dolayısıyla üst yağ sıcaklık artışı, sıcak nokta sıcaklığı ve transformatörlerin faydalı ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Transformatör, En Sıcak Nokta Sıcaklığı, Üst Yağ Sıcaklığı, Harmonik

1-GİRİŞ

En sıcak nokta sıcaklığı; transformatörün yüklenme durumu, termal yapısı ve faydalı ömrü ile fikir sahibi olmamızı sağlayan en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle de bu değer en doğru şekilde bilinmesi gerekmektedir. [4] En sıcak nokta sıcaklığını ölçebilmek için birkaç yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi transformatör tasarım aşamasındayken, sargısının en sıcak bölgesine, fiber optik termal sensörler yerleştirilerek, bu bilgilerin transformatör tankının dış kısmına aktarılmasıdır. Ancak kullanımda olan birçok transformatörde bu düzenek mevcut değildir. Bu nedenle de en sıcak nokta sıcaklığının çok doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir.



Şekil-1- Temel Termal Model

Bir transformatör için temel model yukarıdaki gibidir. Sargıların içindeki yağ sıcaklığı sargının alt kısmından üst kısmına doğru lineer bir artış gösterir.

Kullanımda olan transformatörlerde üst yağ sıcaklığı ve en sıcak nokta sıcaklığını

saptayabilmek için trafonun üreticisi tarafından sağlanan test raporlarındaki sınırlı verinin kullanılması önerilmektedir.

2- TRANSFORMATÖRÜN TERMAL MODELLENMESİ

IEEE Std C57.91-1995 'e [1,2] göre üst yağ sıcaklığını ve en sıcak nokta sıcaklığını hesaplarken yükün değişken durumları göz önüne alınarak basit hesaplamalar yapılır. Sıcaklıktaki değişimler neticesinde güç kaybında ve yağ akışkanlığında meydana gelen değişimleri hesaba katabilmek için transformatörün soğutma tipi de göz önüne alınarak bazı sabit değerler kullanılır.

Bu standart sıcaklık değişiminin değişken davranışı için 2 yöntem öneriyor.

Modelleme Yöntemi

Bu yöntemde göre en sıcak nokta sıcaklığının aşağıdaki üç bileşenden oluştuğu kabul edilir.

$$\Theta_H = \Theta_A + \Delta\Theta_{TO} + \Delta\Theta_H \quad (1)$$

$$\Theta_{TO} = \Theta_A + \Delta\Theta_{TO} \quad (2)$$

Θ_H :En sıcak nokta sıcaklığı (°C)

Θ_A :Ortam nokta sıcaklığı (°C)

Θ_{TO} :Üst yağ sıcaklığı (°C)

$\Delta\Theta_{TO}$:Üst yağ sıcaklık artışı (°C)

$\Delta\Theta_H$:En sıcak nokta sıcaklık artışı(°C)

Üst Yağ Sıcaklık Artışı

Bir yük çevrimi boyunca ortam sıcaklığı sürekli artış gösteriyor ise, hesaplamalarda anlık ortam sıcaklık değerleri kullanılabilir. Eğer ortam sıcaklığında azalma söz konusu ise hesaplamalarda, 12 saatlik bir zaman dilimindeki maksimum ortam sıcaklığı değeri kullanılabilir.

Ortam sıcaklığına göre üst yağ sıcaklık artışı, yükte meydana gelen bir değişimden sonra bir zaman sabiti de içeren üstel bir fonksiyon şeklinde ifade edilebilir.

$$\Delta\Theta_{TO} = (\Delta\Theta_{TO,U} - \Delta\Theta_{TO,I}) \left(1 - \exp^{-\frac{t}{\tau_{TO}}} \right) + \Delta\Theta_{TO,I} \quad (3)$$

Ölçüm yapılan zaman aralığı uzun ise bir önceki yük çevriminde hesaplanan $\Delta\Theta_{TO}$, bir sonraki çevrimde kullanılacak olan $\Delta\Theta_{TO,I}$ ye eşit olur.

$$\Delta\Theta_{TO,U} = \Delta\Theta_{TO,R} \times \left(\frac{K_u^2 R + 1}{R + 1} \right)^n \quad (4)$$

$\Delta\Theta_{TO,I}$:Başlangıçtaki üst yağ sıcaklık artış değeri (°C)

$\Delta\Theta_{TO,U}$:En son üst yağ sıcaklık artış değeri (°C)

t :Zaman (saat)

τ_{TO} :Yağ zaman sabiti (saat)

$\tau_{TO,R}$:Nominal yağ zaman sabiti (saat)

n : $\Delta\Theta_{TO}$ hesaplanırken yüke göre değişimler için kullanılan deneysel değişken(ONAN soğutmalı trafolar için 0.8, ONAF soğutmalı için 0.9)

Sargı Sıcaklık Artışı

Yağ sıcaklığına göre sargı sıcaklık artışı, yükte meydana gelen bir değişimden sonra bir zaman sabiti de içeren üstel bir fonksiyon şeklinde ifade edilebilir.

$$\Delta\Theta_H = (\Delta\Theta_{H,U} - \Delta\Theta_{H,I}) \left(1 - \exp^{-\frac{t}{\tau_w}} \right) + \Delta\Theta_{H,I} \quad (5)$$

Ölçüm yapılan zaman aralığı uzun ise bir önceki yük çevriminde hesaplanan $\Delta\Theta_H$, bir sonraki çevrimde kullanılacak olan $\Delta\Theta_{H,I}$ ye eşit olur.

$$\Delta\Theta_{H,U} = \Delta\Theta_{H,R} \times K_u^{2m} \quad (6)$$

Yağ Zaman Sabiti

Üstel sıcaklık denkleminin temeli transformatörün tüm kütesinin ortalama sıcaklık yükselişine dayanmaktadır.

$$\tau_{TO,R} = \frac{C_{TO}\Delta\Theta_{TO,R}}{P_{T,R}} \quad (7)$$

$$\tau_{TO} = \tau_{TO,R} \frac{\left(\frac{\Delta\Theta_{TO,U}}{\Delta\Theta_{TO,R}}\right) - \left(\frac{\Delta\Theta_{TO,I}}{\Delta\Theta_{TO,R}}\right)}{\left(\frac{\Delta\Theta_{TO,U}}{\Delta\Theta_{TO,R}}\right)^{1/n} - \left(\frac{\Delta\Theta_{TO,I}}{\Delta\Theta_{TO,R}}\right)^{1/n}} \quad (8)$$

$\Delta\Theta_H$:Sargı sıcaklık artış değeri (°C)

$\Delta\Theta_{H,I}$:Başlangıçtaki sargı sıcaklık artış değeri (°C)

$\Delta\Theta_{H,U}$:En son sargı sıcaklık artış değeri (°C)

τ_w :Sargı zaman sabiti (saat)

$\tau_{TO,R}$:Nominal sargı zaman sabiti(saat)

m : $\Delta\Theta_H$ hesaplanırken yüke göre değişimler için kullanılan deneysel değişken(ONAN ve ONAF soğutmalı trafolar için 0.8)

Transformatörün sargılarında sıcaklık bilgisi almamızı sağlayacak özel bir düzenek yoksa termal testler boyunca ısı göstergeleri ya da termokupllar transformatörün üst yağ sıcaklığı değerini kaydetmemizi sağlar.

Yağ zaman sabiti (τ_{TO}), trafonun bileşenlerinin ağırlığına göre sabit bir termal kapasite değeri (C_{TO}) bulunarak hesaplanır. Bu durumda bile zaman sabiti trafonun soğutma tipine göre farklılık gösterir.

C_{TO} :0.1323 (aktif kısım ağırlığı-kg)

+0.0882 (kazan ve teçhizat net ağırlığı-kg)

+0.3513 (yağ miktarı-litre)

(9)

Sargı zaman sabiti

Yağ sıcaklığındaki artışa göre sargı sıcaklığı artışı değerinin, yükteki değişim boyunca son artış $\Delta_{H,U}$ ile ilk artış $\Delta_{H,I}$ arasındaki farkın, %63.2 değerine ulaşmaya kadar geçen süredir. Sargı zaman sabiti termal testler sonucunda elde edilen direnç soğuma eğrisinden tahmin edilebilir ya da üretici tarafından verilen iletken malzemelerin kütle bilgisi kullanılarak hesaplanabilir.

C_H :0.3513 (yağ miktarı-litre)

(10)

$$\tau_{TW,R} = \frac{C_H\Delta\Theta_{H,R}}{P_{T,R}} \quad (11)$$

$$\tau_w = \tau_{TW,R} \frac{\left(\frac{\Delta\Theta_{H,U}}{\Delta\Theta_{H,R}}\right) - \left(\frac{\Delta\Theta_{H,I}}{\Delta\Theta_{H,R}}\right)}{\left(\frac{\Delta\Theta_{H,U}}{\Delta\Theta_{H,R}}\right)^{1/m} - \left(\frac{\Delta\Theta_{H,I}}{\Delta\Theta_{H,R}}\right)^{1/m}} \quad (12)$$

3- HARMONİKLERİN MODEL ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

IEEE Std C57.110-2008 'e [3] göre üst yağ sıcaklığını ve en sıcak nokta sıcaklığını hesaplarken yükteki harmonik durumu göz önüne alınır. Harmoniklerin etkisi ile transformatörün kayıpları ve dolayısı ile de sıcaklığı artar.

Trafo kayıplarını demir kayıpları ve bakır kayıpları olmak üzere ikiye ayırır.

$$\begin{array}{l} \text{Transformatör} \\ \text{Kaybı} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Bakır} \\ \text{Kaybı} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Demir} \\ \text{Kaybı} \end{array} \quad (15)$$

$$P_{LL} = I^2R + P_{EC} + P_{OSL}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}$
 Sargı Girdap Akımları Kaybı Diğer Kayıplar ya da İlave Girdap Akımları Kaybı

(13)

Girdap akımları kaybı trafonun sargılarında çekirdeğinde, çekirdek parçalarında, manyetik zırhında ya da trafo tankında başıboş dolaşan elektromanyetik akıdan meydana gelen kayıptır. Sargı girdap akımları kaybı ve ilave girdap akımları kaybı olmak üzere ikiye ayrılır.

Transformatör imalatçıları girdap akımları kaybını ölçmek için ayrı bir test yapmamaktadırlar. Bu nedenle trafonun sertifikalı test raporundan aşağıdaki veriler alınarak hesaplamalar yapılabilir.

P_{NL-R} :Transformatör boшта çalışma kaybı nominal değeri (watt)

P_{LL-R} :Transformatör nominal yükte çalışma kaybı değeri (watt)

R_1 :Yüksek gerilim terminalleri arasındaki DC direnci (ohm)

R_2 :Alçak gerilim terminalleri arasındaki DC direnci (ohm)

I_{1-R} :Yüksek gerilim tarafı nominal akım değeri (Amper)

I_{2-R} :Alçak gerilim tarafı nominal akım değeri (Amper)

$\Delta\Theta_{TO,R}$:Nominal üst yağ sıcaklık artış değeri (°C)

$\Delta\Theta_{H,R}$:Nominal sargı sıcaklık artış değeri (°C)

$$P_{TSL-R} = P_{LL-R} - K \left[(I_{1-R})^2 \times R_1 + (I_{2-R})^2 \times R_2 \right] \quad (14)$$

$$P_{EC-R} = 0.33 \times P_{TSL-R}$$

$$P_{OSL-R} = P_{TSL-R} - P_{EC-R} \quad (16)$$

P_{TSL-R} :Nominal toplam girdap akımları kaybı (watt)

P_{EC-R} :Nominal girdap akımları kaybı (watt)

P_{OSL-R} :Nominal ilave girdap akımları kaybı (watt)

K :Tek fazlı trafolar için 1, üç fazlı trafolar için 1.5 alınır

Harmonik Akımlarının Sargı Girdap Akımları Kaybına Etkisi:

Güç frekans spektrumunda; sargı girdap akımları kaybı frekansın ve yük akımının karesi ile doğru orantılıdır. Bu yüzden harmonikli yük akımlarının bulunduğu trafoların sargılarında aşırı derecede sargı girdap akımları kaybı oluşur. Bu kayıp yüzünden de sargılar anormal derecede ısınır.

Harmonik Akımlarının İlave Girdap Akımları Kaybına Etkisi:

Trafo çekirdeğindeki, çekirdek kelepçelerindeki, trafonun diğer yapısal parçalarındaki ilave girdap akımları kaybı; yük akımının karesi ile orantılı olarak belli bir değere kadar artar. Fakat ilave girdap akımları kaybı, sargı girdap akımları kaybında olduğu gibi frekansın karesi ile artmaz. İmalatçıların ve diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmalar neticesinde; 0.8 ya da daha az bir harmonik katsayısı ile orantılı olarak arttığını göstermiştir.

Harmoniklerin Üst Yağ Sıcaklık Artışı Üzerindeki Etkisi:

Yağlı tip transformatörün yükü, harmonikli ise, toplam yük kaybı arttığı gibi üst yağ sıcaklık yükseliş değeri de artar. İlave girdap akımları kaybındaki küçük bir miktar artış

bile üst yağ sıcaklık artış değerini önemli derecede etkiler.

Sargı Girdap Akımları Kaybı için Harmonik Kayıp Faktörü:

Trafonun yükü besleyebilme kabiliyetini ifade edebilmek için tek bir sayı tanımlamak hesapları oldukça kolaylaştırır. F_{HL} harmonik yük akımlarından kaynaklanan ve asıl ısı artışına sebebiyet veren, sargı girdap akımları kaybına uygulanan orantısallık faktörüdür. F_{HL} harmoniklerden kaynaklanan toplam girdap akımları kaybının (P_{EC}), hiç harmonik olmadığı durumdaki girdap akımları kaybına (P_{EC-O}) oranıdır. F_{HL} in harmonik akımlarının gerçek RMS değerleri cinsinden hesaplanması aşağıdaki şekildedir.

$$F_{HL} = \frac{P_{EC}}{P_{EC-O}} \times \frac{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} I_h^2 h^2}{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} I_h^2} \quad (17)$$

Birçok ölçüm cihazı hesaplamaları yaparken aşağıdaki formülde olduğu gibi harmoniklerin ana bileşene normalize edilmiş hallerini kullanır.

$$F_{HL} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 h^2}{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (18)$$

F_{HL} diğer standartlarda tanımlanan K faktörüne benzer ancak tamamen aynı değildir.

İlave Girdap Akımları Kaybı için Harmonik Kayıp Faktörü:

İlave girdap akımları kaybindan kaynaklanan ısınma miktarı kuru tip trafolar için fazla önemli olmasa da yağlı tip trafolarında azımsanmayacak derecede önemlidir. Sargı girdap akımları kaybı için olan harmonik kayıp faktörü ilave girdap

akımları kaybı içinde geçerlidir ve benzer bir tutum sergiler.

Bara bağlantıları, yapısal parçalar, tank vb. kısımlardan oluşan kayıplar yük akımının karesi ile ve frekansın 0.8. kuvveti ile orantılıdır.

$$F_{HL-STR} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 h^{0,8}}{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (19)$$

Hesaplanan bütün nominal trafo kaybı verilerini, ölçülen akım değerlerine normalize etmek için aşağıdaki formül kullanılır ve yük durumuna göre düzeltilmiş trafo kaybı verileri elde edilir.

$$P_{LL(pu)} = \left(\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \right) \times \left(\frac{I}{I_{rated}} \right)^2 \quad (20)$$

Kayıp Türü	Nom. Kayıp	Yük Kaybı	Harmonik Çarpanı	Düzeltilmiş Kayıp
P_{NL}	α	α		A
I^2R	β	β' $=\beta \times P_{LL}$		β'
P_{EC}	γ	γ' $=\gamma \times P_{LL}$	γ'' $=\gamma' \times F_{HL}$	γ''
P_{OSL}	λ	λ' $=\lambda \times P_{LL}$	λ'' $=\lambda' \times F_{HL-STR}$	λ''
P_{TL}	P_{TL} $=\alpha+\beta$ $+\gamma+\lambda$	P_{TL}' $=\alpha+\beta'$ $+\gamma'+\lambda'$		P_{TL}'' $=\alpha+\beta'+$ $\gamma''+\lambda''$

Çizelge -1 Yük ve Harmonik Durumuna göre Düzeltilmiş Transformator Kayıp Değerleri Tablosu

Elde edilen verilere göre yukarıdaki tablo oluşturulur ve yükün değişken durumuna göre nominal kayıp değerleri $P_{LL(pu)}$ değerleri ile çarpılarak yük kaybı sütunu oluşturulur.

Daha sonra sargı girdap akımları kaybı P_{EC} harmonik kayıp faktörü (F_{HL}) ile, ilave girdap akımları kaybı (P_{OSL}) ilave girdap akımları kaybı için harmonik faktörü (F_{HL-STR}) ile çarpılarak, yük akımının harmonik dağılımı hesaba katılmış olur. Elde edilen son sütundaki kayıp değerleri, hem yükün durumuna hem de harmoniklerin durumuna göre normalize edilmiş değerlerdir. Düzeltilmiş kayıp verileri kullanılarak aşağıdaki formüle göre üst yağ sıcaklık değeri elde edilir.

$$\Theta_{TO} = \Delta\Theta_{TO} \times \left(\frac{P'_{TL}}{P_{TL}} \right)^n + \Theta_A \quad (21)$$

$$I_2^2 R = (K \times I_{2-R}^2 \times R_2) \times P_{LL} (pu) \quad (22)$$

$$\Theta_g = \left(\Delta\Theta_{H,R} - \Delta\Theta_{TO,R} \right) \times \left(\frac{I_2^2 R + \gamma'' \times 2.4}{(K \times I_{2-R}^2 \times R_2) + \gamma'' \times 2.4} \right)^n$$

Θ_g :En sıcak nokta sıcaklık artış değeri (°C)

$$\Theta_H = \Theta_{TO} + \Theta_g$$

(24)

4- TRANSFORMATÖR FAYDALI ÖMRÜ ve YAŞLANMASI

DeneySEL veriler Arrhenius Kanunu'na göre, zaman ilerledikçe trafonun yalıtım malzemelerindeki bozulma ile sıcaklık arasında bir ilişki olduğunu kanıtlar.

IEEE standardına göre trafonun yaşlanma denklemi şu şekildedir;

$$\text{Per Unit Life} = 2.00 \times 10^{-18} \text{EXP} \left[\frac{15000}{\Theta_H + 273} \right] \quad (25)$$

Güvenli bir şekilde kullanılan iletim transformatörlerinin yaklaşık faydalı ömrü 40–50 yıl civarındadır. Termal dayanaklılığı arttırılmış selülozun ömrünü 1 birim daha arttırabilmek için en sıcak nokta sıcaklığı en fazla 110 °C olmalıdır. Varsayılan ortam sıcaklığı 30 °C, ortam sıcaklığı üzerinden ortalama sargı sıcaklık değişimi 65 °C ve ortalama sargı sıcaklığı üzerinden en sıcak nokta sıcaklığı değişimi 15 °C 'nin toplamı 110 derecelik en sıcak nokta sıcaklığını vermektedir. Trafonun en sıcak nokta sıcaklığını 110 derecede tutmak 1 birimlik ömrünün uzamasına bedeldir ve eğer en sıcak nokta sıcaklığı 110 derecenin altında tutulursa trafonun ömrü 1 birimden çok daha fazla uzatılmış olur. Dağıtım ve güç transformatörleri ile yapılan testler neticesinde, sürekli 110 °C'lik en sıcak nokta sıcaklığında çalıştırılan trafoların ömürlerinin yaklaşık 20.55 yıl olması gerektiği beklenmektedir.

IEEE birimle ifade edilen trafo ömrü yerine, göreceli yaşlanma derecesi fikrini ortaya koymuştur.

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{B}{(\Theta_{H,R} + 273)} - \frac{B}{(\Theta_H + 273)} \right]} \quad (26)$$

F_{AA} :Yalıtım yaşlanmasını hızlandırma faktörü

B :Yaşlanma oranı sabiti (15000)

$\Delta\Theta_{H,R}$:Nominal sargı sıcaklık artış değeri (°C) (Eğer $\Delta\Theta_{W/A,R} = 55^\circ\text{C}$ ise 95°C , $\Delta\Theta_{W/A,R} = 65^\circ\text{C}$ ise 110°C dir)

Eğer F_{AA} 'nın değeri 1 'den büyük ise, hızlı yaşlanma söz konusu olur ve en sıcak nokta sıcaklığı 110 °C'den daha fazla olur.

Yalıtım ömrü birikimli bir süreç olduğu için eşdeğer yaşlanma faktörü, toplam geçen süre boyunca, farklı zaman aralıklarının toplamının ortalaması alınarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$F_{EQA} = \frac{\sum_{n=1}^N F_{AA,n} \Delta t_n}{\sum_{n=1}^N \Delta t_n} \quad (27)$$

F_{EQA} :Tüm zaman periyodu için eşdeğer yaşlanma faktörü

Δt_n :1 saat içindeki zaman aralığı

N :Zaman aralıklarının toplam sayısı

$F_{AA,n}$: Δt_n zaman aralığı süresince devam eden sıcaklık değeri için yaşlanmayı hızlandırma faktörü

5- SONUÇ

Ülkemizde TEİAŞ'a ait 2000 civarındaki transformatörde üst yağ sıcaklığı mekanik basit bir termometre ile ölçülebilmektedir. En sıcak nokta sıcaklığı ise büyük bir kısmında ölçülememektedir. IEEE standartlarına göre tahmin yapılabilmektedir.

Transformatörlerin yükleme yöntemi, en sıcak-nokta sıcaklık hesabına dayanarak yapılmaktadır. En sıcak-nokta sıcaklığı, yalıtım katı malzemesinin normal koşullar altında beklenen faydalı ömrünü sağlayacak şekilde hesaplanır. Yalıtım malzemesinin yaşlanma hızı her 6 °C sıcaklıkta iki katına çıkmaktadır. Bu konuda, serbest ortamda çalışan transformatörler için IEC ve IEEE standartlarının sunduğu yöntemler temel alınmaktadır. Bu yöntemlerde, transfor-

matörlerin yüklenebilme kapasitelerinin hesaplanmasıyla ilgili açıklamalar bulunmaktadır.

IEEE Std. C57.12.002' e göre 60-65 °C'lik bir transformatör, 30 °C'lik ortam sıcaklığında ve anma gücünde en sıcak-nokta sıcaklığı 110 °C' dir. Burada normal koşullar altında en sıcak-nokta sıcaklığının, üst-yağ sıcaklığının 20°C üzerinde olduğu görülmektedir.

Son yıllarda lineer olmayan akım çeken yüklerin sayısı hızla artmıştır. Lineer olmayan akım çeken yüklerin sayısının artması, mevcut sistemlerde enerji kalitesinde değişikliklere neden olmuştur. Aynı zamanda lineer olmayan yükleri besleyen transformatörlerde harmonikli akımlar transformatörlerde kayıpların artmasına neden olmaktadır.

Çalışma sonuçlarından da görüldüğü gibi bu kayıplar ısı artışını doğrudan etkilemektedir.

Bu hususlar dikkate alındığında; harmonikli yüklerin azaltılması, harmoniklerin elenmesi ve transformatörlerin yükünün harmonik durumuna göre seçilmesi başlıkları dikkat çekmektedir.

KAYNAKLAR

- 1- IEEE Std C57.91-1995 – IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers
- 2- C57.91TM-1995/Cor 1-2002
- 3- IEEE Std C57.110-2008 – IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid-Filled and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents
- 4- Yağlı Tip Transformatörlerin Doğrusal Olmayan Dinamik Termal Modellenmesi-2010 Yüksek Lisans Tezi - Ali Mamizadeh-Gazi Üniversitesi
- 5- Transformer Hot Spot Temperature Calculation using IEEE Loading Guide – 2008- Mohd Taufiq Ishak and Zhongdong Wang