University of Thi_ Qar Journal for Engineering Sciences ISSN 2075 – 9746

http://www.doi.org/10.31663/tqujes.10.1334(2019)

Vol10 No.1 (May 2019) Available at http://jeng.utq.edu.iq

engjrnal@jeng.utq.edu.iq

تنبؤ العمر المتبقي لزيت محولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/ 400 kV)

[1] م.د.وارد صايل وارد، [1] أ.م.د.باقر تركي عطية، [2] م. م.سمير عبد حجاي و[1] المهندس عماد علاوي محسن

[1] قسم الكهرباء، المعهد التقني الشطرة، الجامعة التقنية الجنوبية، ذي قار، العراق

[2] قسم السيارات، المعهد التقني الشطرة، الجامعة التقنية الجنوبية، ذي قار، العراق

Predict the Lifetime for (15.75 kV/400 kV) Transformers Oil of NASIRIYAH Power Plant

Abstract

The Nasiriyah thermal power plant considered to be within the aging stations of the Iraqi electric power grid which reflected on the performance of operating transformers. Recently, several cases of repeated transformer damage have been reported, which reinforce the need to investigate the causes behind that since the transformer ultimate importance in reliable power supplies for the consumers. As a result of that a priority of investigation have grown to calculate the remaining default life of transformer oil due to its vital role in the processes of insulation and cooling.

In this work, the lifetime for transformer oil of the Nasiriyah thermal power plant (15.75 kV/ 400 kV) four transformer that are similar in specification and different in loading values has been investigated. Some oil samples was drawn from the oil used in each transformer in order to conduct measuring tests of variables values (flashpoint, breakdown voltage, viscosity, acidity). All tests have been carried out at high voltage and chemical laboratories. The obtained result showed a widely change in the acidity values, coupled with its entry into bad oil classification, while it shows acceptable change with standard specification for remaining variables. An acidity limit of (0.3 mg KOH/g oil) has been recorded as a major variables to calculate oil lifetime according to the international (IEC-296) standard. Technique for acceleration test has been developed and employed to develop oil lifetime equation by testing the oil samples in high varying temperatures (130 °C, 140 °C, 150 °C) with continuous monitoring of the acidity limit.

The obtained results show the validity of these proposed equations to calculate the oil lifetime after their compliance with the four transformer loading rates. The results also show a presence of a serious decline in oil life time at the prevailing operating temperatures for all transformers especially for the highest load rate transformer (AT4) for range between (50 °C- 60 °C). For example, the lifetime prediction of transformer (AT4) a temperature of 60 °C is 3.5 years. A set of recommendations are suggested in order to evade transformer failure. It has been concluded that the oil used in transformer (AT4) should be replaced. Extra oil should be added to (AT1, AT2, AT3) transformers.

***Keywords*:** Transformer oil, Degradation, Acidity, Predication, Lifetime.

الخلاصة:

تعتبر محطة الناصرية الحرارية من ضمن المحطات المتقادمة في منظومة الطاقة الكهربائية العراقية الذي انعكس بدوره في الوقت الحاضر على أداء المحولات العاملة فيها، حيث سجلت عدة حالات متكررة لتلف هذه المحولات مما نمى الحاجة لتحري المسببات نظرا لأهميتها القصوى في وثوقية تجهيز الطاقة للمستهلك، وعلية تنامت أولوية التقصي عن المتبقي من العمر الافتراضي لزيت هذه المحولات لما تتمتع به من دور حيوي في عمليتي العزل والتبريد. تم في هذا البحث تخمين العمر المتبقي لزيت محولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/400 kV) والبالغ عددها أربع محولات متشابهة في مواصفاتها ومختلفة في قيم تحميلها، حيث تم سحب عينة من الزيت المستخدم في كل محولة بهدف أجراء فحوصات لقياس قيم متغيرات عديدة مثل (نقطة الوميض، الفولتية الانهيار، اللزوجة، الحموضة). تم أجراء جميع الفحوصات في مختبرات الضغط العالي، الكيميائي. بينت النتائج المستحصلة تغيرا واسعا في قيم الحموضة مقترنا مع دخوله حيز تصنيف الزيت الردئ، كما أظهرت أيضا تغيرا مقبولا ضمن المواصفات المسموح بها لبقية المتغيرات. تم الاعتماد على محدد الحموضة والبالغ (0.3 mg KOH/g oil) وحسب المواصفة العالمية المعمول بها حاليا

(IEC-296) كمتغير رئيسي لاحتساب عمر الزيت المتبقي. تم تطوير تقنيه للفحص المعجل وتوظيفها في استنباط معادلة الزمن المتبقي من خلال وضع عينات الزيت المأخوذة بدرجات حرارية عالية (130 °C, 140 °C, 150 °C) مع المراقبة المستمرة لقيم محدد الحموضة بهدف أيجاد المعادلات اللازمة لاحتساب العمر المتبقي لزيت كل محوله. لقد أكدت النتائج المستحصلة صلاحية هذه المعادلات المقترحة لاحتساب عمر الزيت المتبقي بعد توافقها مع معدلات تحميل المحولات الأربعة العاملة، كما لوحظ أيضا وجود انحدارا خطيرا في قيم أعمار الزيت المتبقية عند درجات الحرارة التشغيلية السائدة وخصوصا للمحولة (AT4) الأكثر تحميلا. أوصى البحث بعدة توصيات ضرورية لازمة لتحاشي تلف المحولات العاملة في المحطة بضمنها ضرورة استبدال زيت المحولة (AT4) بأعتبار كون نتائجها الاكثر خطورة وإضافة كمية مناسبة من الزيت للمحولة (AT1) و(AT2) و(AT3) باعتبار ان نتائجها كانت اقل خطورة.

***كلمات رئيسية* : زيت المحولات، التقادم، الحموضة، تنبؤ، العمر المتبقي.**

1.المقدمة

تعتبر محولات القدرة من أهم العناصر الأساسية في أنظمة الطاقة الكهربائية لما لها من دور حيوي في عمليتي النقل والتوزيع والذي يتطلب عملها بشكل امن ومستقر. تعد اعطال المحولات من بين أكثر أسباب الانقطاعات المتكررة في تجهيز الطاقة ولفترات طويلة مما يؤثر بشكل خطير ومباشر على استقرارية النظام ووثوقية تجهيز الطاقة للمستهلك بألاضافة الى الخسائر المادية الكبيرة في حالة تلف تلك المحولات بأعتبارها باهظة الكلفة. لقد اصبح من الضروري جدا مراقبة عمل المحولات عن كثب بهدف الكشف والتخمين المبكر لنوع العطل المحتمل في بداية نشوءه وتحديد مسبباته [1, 2]. يستخدم الزيت المعدني (Mineral Oil) في محولات القدرة لتأدية مهمة العزل والتبريد ويتعرض خلالها لعدة مؤثرات على شكل أجهادات حرارية وكهربائية وميكانيكية تؤدي مع مرور الزمن الى تقادمه ومن ثم فشله المتمثل بتلف المحولة. لقد تنامت معدلات تحميل محولات القدرة مع التزايد المضطرد في معدلات الاستهلاك والارتفاع القياسي في درجات حرارة المحيط (Ambient Temperature) والذي انعكس على زيادة درجة حرارة الزيت وانقياده للتقادم السريع المتمثل بأنخفاض قيمة العمر الافتراضي المتبقي [2, 3, 4]. يعد الزيت المعدني من ضمن أكثر المشتقات النفطية كلفة والمستحصلة عبر عملية تصفية معقدة لتحويل النفط الى نوعية الزيت المستهدفة وضمن المواصفات المطلوبه، حيث تصلح فقط نسبة (3%) من النفط الخام عبر العالم لاستحصال هذا النوع من الزيوت [٥].

تجرى عادة مجموعة من الفحوصات الدورية لزيت المحولات لغرض قياس قيم عدة خواص ولعل اهمها (اللزوجة، نقطة الوميض، رقم الحموضة، فولتية الانهيار)، ان استخدام تركيب من هذه الفحوصات التشخيصية يمكننا من معرفة التغيرات الطارئة على حالة الزيت وتحديد نوعيتها ومسبباتها وبالتالي معرفة سرعة تقادم الزيت التي تفيدنا في كل من عمليتي تحديد أمكانية أستخدام الزيت لاطول فترة ممكنه واتخاذ القرار المناسب فيما يخص أضافة الزيت او استبداله في حال الضرورة لتجنب العطل المفاجئ للمحولة [6, 7]. ان تعرض الزيت للحرارة يفقده استقراريته ويسرع من عملية تقادمه والمتمثل بأنحدار خصائصه الكهربائية وكفاءته في عملية التبريد وينتج عن ذلك نواتج التقادم (Ageing Products) المتمثلة بالحوامض الكربوكسيلية (Carboxylic Acids) والراوسب الطينية الناتجة عن تحلل الزيت والتي تضر الجزء الصلد من العزل المتمثل بورق المحولات [3, 7, 8, 9].

لقد عكف العديد من الباحثين على دراسة ألية تقادم الزيت وتطوير مجموعة من الموديلات الرياضية والفحوصات التشخيصية (Diagnostic Tests) بهدف تحديد المسببات الرئيسية لانحدار قيم خصائصه الكهربائية والكيميائية، ففي المصدر رقم [3] أقترح الباحث موديلا حراريا (Thermal Model) لتمثيل محولات القدرة عبر بارميترات محتسبة من خلال بيانات فحص أرتفاع الحرارة (Temperature Rise Test) وبألاعتماد ايضا على (IEEE Loading Guide) ليضع بعدها دليل عمل مناسب لامكانية التحميل المفرط لمحولات القدرة العاملة في احدى المحطات الرئيسية ذات (69 kV- 236 kV). اجرى الباحثون في المصدر رقم [7] دراسة احصائية لمسببات الاعطال في محولات القدرة لاحدى شبكات الطاقة الروسية ذات (110 kV). أظهرت الدراسة وجود نسبة عالية من الاعطال بلغت (25%) بسبب عدم اجراء الفحوصات التشخيصية اللازمة لدراسة الية تقادم الزيت بالاضافة الى الاخطاء الحادثة أثناء عمليات الصيانه. وضع الباحثون عدة اجراءات تساعد في أطالة العمر الافتراضي لعزل تلك محولات، كما طور الباحثون في المصدر رقم [1] طريقة للمراقبة الانية والكشف المبكر لاحتساب محتوى الرطوبة (Moisture Content) في الزيت من خلال استحداث موديل رياضي بالاعتماد على تقنية العناصر المحددة (Finite Element) احادية وثنائية الابعاد وتمثيلها بأستخدام برنامج (Matlab) وذلك لفهم ألية تقادم الزيت. في المصدر [2] اجرى الباحثون عدة فحوصات تشخيصية لتحديد حالة العزل كدالة للزمن عبر أجراء تحليل نوعية الغازات المتحللة في الزيت بضمنها (C_3H6, CH4, Co, Co_2, CH2)، اجريت الدراسة على ثمان محولات متشابهة المواصفات لاحدى شبكات القدرة الهندية. في المصدر رقم [١٠] استحدث الباحثون موديلا حراريا لاحتساب درجة حرارة النقطة الساخنة (Hot-Spot Temperature) وبالاعتماد على بيانات قيم درجة حرارة المحيط (Ambient Temperature) وقيم التحميل المفرط (Overloading) ومواصفات المحولات المستخدمة، استخدمت النتائج المستحصلة لايجاد افضل نظام تبريد للمحولات عند التحميل المفرط. طبقت هذه الطريقة على (28) محولة ذات (220 kV/ 400 kV). طور الباحثون في المصدر رقم [٤] موديلا رياضيا لاحتساب مقدار الخسارة في العمر الافتراضي لزيت المحولات بالاعتماد على مقدار التغير في درجة حرارة الزيت والمحيط ولعدة حالات من الحمل. تم الاستفادة من النتائج المستحصلة لتفسير ألية انتقال الحرارة في المحولات. قورنت النتائج المستحصلة مع عدة طرق اخرى وطبقت الطريقة المقترحة على ثمان محولات ذات (220 kV/ 500 kV) .اجرى الباحثون في المصدر رقم [٦] دراسة لبيان مدى تأثير التقادم على قيم خصائص زيت المحولات ((الفيزيائية، الكيميائية، الكهربائية)) وبأستخدام طرق فحص دولية متعددة. طبقت الدراسة على ستة محولات مختلفة في (معدلات التحميل، فترة الخدمة، ظروف العمل) وسجلت نتائج خصائص الزيت عبر فترة زمنية بلغت احدى عشر سنة والتي تضمنت عملية اضافة واستبدال الزيت وحسب حالة كل محولة. درس الباحثون في المصدر رقم [٩] بشكل مفصل تأثير كل من (محتوى الرطوبة، الاوكسجين، رقم الحموضة) على الية تقادم ورق عزل المحولات مختبريا وذلك عبر اخذ مجموعة مقاطع من هذا الورق وغمسها في زيت متقادم ذو رقم حموضة عالي ومن ثم تعريضها لدرجات حرارة عالية تحاكي ظروف التشغيل الحقيقية. ناقش الباحثون امكانية الاستفادة من النتائج المستحصلة في وضع استراتيجية افضل لصيانة المحولات. في المصدر رقم [11] استعرض الباحثون أليه جديدة لجدولة الصيانه الوقائية لمحولات القدرة بهدف ايجاد الفاصل الزمني المناسب لاجراء عملية الصيانه، أستعين بالبيانات المسجلة مسبقا (درجة حرارة المحيط، معدلات التحميل، نسب الغازات المتحللة، تاريخ حدوث الاعطال) بهدف وضع تصور واضح حول حالة العزل الانية ليتم الاستفاده منه في عملية اتخاذ القرار المناسب حول عملية الصيانه اللاحقة والتحميل الامثل للمحولة. اقترح الباحثون تطوير المرحل الخاص بتحسس قيمة التيار ليتضمن ايضا قراءة درجة المحيط والزيت ومن ثم ربطه بمعالج يستقبل هذه البيانات ويحتسب عمر المحولة المتبقي. اجرى الباحثون في المصدر رقم [12] دراسة لبيان تأثير كل من العمر المتبقي ومعدل التحميل على ماهية الغازات المتحللة في محولات القدرة. طبقت الدراسة على محولات ذات (20 kV/ 150 kV). كشفت الدراسة وجود معامل ارتباط عالي (High Correlation) بين محتوى جزيء (CO) و تقادم المحولة. كما أظهرت الدراسة ان المحولة ذات التحميل الاعلى تقوم بأنتاج جزيئات (CO) و (CO2) اكثر من المحولة ذات التحميل الاقل. أما في المصدر رقم [13] استخدم الباحثون كل من طريقة الطاقة المفعلة (Activation Energy) والمواصفة القياسية IEC 60216-1/2001 لاحتساب العمر المتبقي لمحولات قدرة تستخدم زيتا نباتيا (Vegetable Oil). اقترح الباحثون في المصدر رقم [١٤] طريقة تجديد (Regeneration) لزيت محولات القدرة المتقادم من خلال معاملتها بالكربون المنشط (Activated Carbon) المستنبط من المخلفات الزراعية. اظهرت الدراسة تحسن ملحوظا في

ذات (15.75 kV/ 400 kV) الحرارية

خصائص فولتية الانهيار واللزوجة ونقطة الوميض. استعرض الباحثون في المصدر رقم [١٥] طريقة لتقييم نوعية زيت محولات القدرة بأستخدام الاشعة تحت الحمراء والرنين المغناطيسي النووي(Nuclear Magnetic Resonance).

2.الهدف من البحث

تعد محطة كهرباء الناصرية الحرارية من أقدم محطات شبكة الطاقة الكهربائية العراقية حيث دخلت الى الخدمة الفعلية منذ العام ١٩٨٠. تلعب المحولات العاملة في المحطة دورا رئيسيا في عملية تجهيز الطاقة لخطوط الضغط الفائق ذات (400 kV) وعليه اصبح من الضروري اتخاذ الإجراءات الاحترازية لحماية هذا النوع من المحولات من جميع انواع العوارض بضمنها تلك الناتجة عن فشل زيت المحولات والذي يعد من اهم اسباب تلفها. حيث سجلت حالة احتراق احدى محولات (15.75 kV/6.3 kV) (UT3) الروسية المنشأ في صيف العام ٢٠١٠ ليتم استبدالها بمحولة كورية المنشأ.

يستهدف البحث دراسة عدة متغيرات لخصائص الزيت المستخدم حاليا في محولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/400 kV) والبالغ عددها أربع محولات روسية المنشأ وباستيعابية (250 MVA) لكل محولة بهدف رؤية مدى تطابقها مع المواصفة العالمية المعمول بها حاليا (IEC-296) [16]، وتخمين (تنبؤ) عمر الزيت المتبقي لكل محولة على حده بهدف طرح التوصية المناسبة واللازمة للحفاظ على ديمومة عملها.

3.النتائج والمناقشة

3.1 فحوصات زيت المحولات

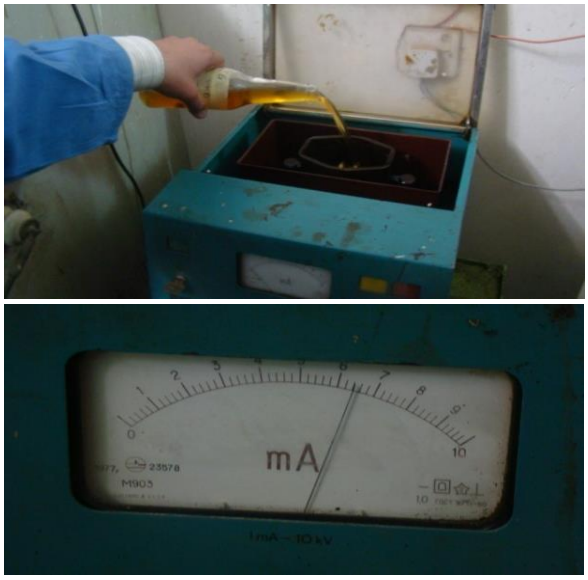
تكتسب عملية الفحص الدوري لمواصفات زيت المحولات اهمية عالية في عملية اتخاذ القرار المناسب والخاص بمدى صلاحيه الزيت المستخدم للعمل الامن وبوثوقية عالية، حيث اعتمدت مؤخرا المواصفة العالمية الواسعة الاستخدام
(IEC-296) كمواصفة قياسية لزيوت المحولات العاملة في محطات شبكة الطاقة الكهربائية العراقية، ان هدفنا من اجراء هذه الفحوصات لايقتصر فقط على دراسة مدى مطابقة الزيت للمواصفات المذكورة انفا بل يستهدف ايضا الكشف عن اكثر المحددات تغيرا في المحولات الاربعة وبدلالة المقارنة فيما بينها بمعدلات التحميل ليتم لاحقا الاعتماد علي هذا المحدد في عملية ايجاد المعادلات الخاصة بتنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولات. يبين الجدول رقم (١) المواصفات الخاصة بمحولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/ 400 kV).

تم سحب عينه بحجم (٥) لتر من زيت كل من المحولات الاربعة ذات (15.75 kV/ 400 kV) في منتصف شهر تموز صيف العام 2016 بهدف نقل تلك العينات لكل من المختبرات (الضغط العالي، الكيميائي) التابعة لمحطة الناصرية الحرارية وبهدف اجراء فحوصات زيوت المحولات الاساسية وهي (فولتية الانهيار، نقطة الوميض، اللزوجة، الحموضة). يبين الجدول رقم (٢) معدلات التحميل للمحولات الاربعة ودرجة حرارة الزيت ساعة الذورة ذلك اليوم، كما تبين الصورة رقم (١) عملية سحب عينه الزيت لاحدى المحولات.

صورة رقم (١) تبين احدى عمليات سحب عينة الزيت لمحولة (15.75 kV/ 400 kV)

3.1.1 فحص قيمة فولتية الانهيار (Break Down Voltage Test)

تم اجراء فحص قيم فولتية الانهيار لعينات زيت المحولات الاربعة في مختبر الضغط العالي التابع للمحطة وعبر استخدام الجهاز (ANM-80) الروسي المنشأ الذي يوفر لنا امكانية قياس فولتية الانهيار لغاية (100 kV)، تتمثل عملية الفحص بتفريغ عينة الزيت وبحجم (0.5 L) في حوض صغير مزود بكرات معدنية يفصل بينهما مسافة (2.5 mm) ليتم بعدها زيادة قيمة الفولتية المسلطة عبر لوحة التحكم وصولا الى الفولتية التي عندها ينهار الزيت. تبين الصورة رقم (٢) عملية تفريغ احدى عينات الزيت في جهاز الفحص مع احدى القراءات المستحصلة من فحص قيم فولتية الانهيار لعينة من زيت المحولات (15.75 kV/ 400 kV)، كما يبين الشكل رقم (١) قيم فحص فولتية الانهيار لعينات زيت المحولات الاربعة ومنه نلاحظ ان قيم فولتية الانهيار كانت جميعها ضمن المواصفة (IEC-296) التي تنص على ان لاتقل قيم فولتية الانهيار عن (50 kV)، كما لاحظنا ايضا عند المقارنه بين القيم الاربعة المستحصلة وجود تغيرا طفيفا فيما بينها وصل في اكبرها حالاته الى (5 kV) وعلى الرغم من الاختلاف الكبير في معدلات التحميل للمحولات الاربعة، بالاضافة الى تناسب قيم فولتية الانهيار عكسيا مع معدلات التحميل فكلما ازداد الحمل على المحولة انخفضت قيمة فولتية انهيار الزيت.



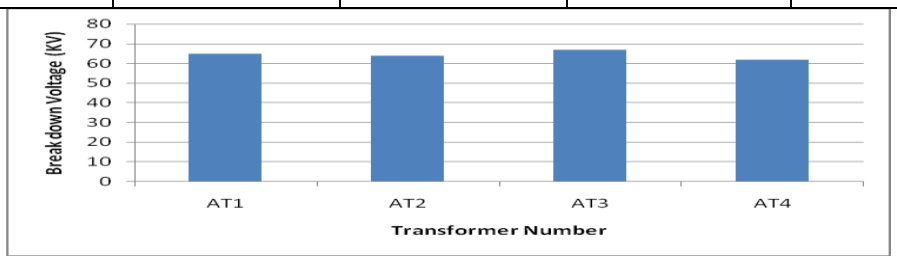
صورة رقم (٢) تبين عملية تفريغ زيت المحولات في جهاز الفحص واحدى القراءات المستحصلة لفولتية الانهيار

الجدول رقم (١) يبين المواصفات الخاصة بمحولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/ 400 kV)

رقم المحولة	AT1	AT2	AT3	AT4
الفولتية المقننة	(15.75 kV/ 400 kV)	(15.75 kV/ 400kV)	(15.75 kV/ 400 kV)	(15.75 kV/ 400 kV)
الطاقة الاستيعابية القصوى	250 MVA	250 MVA	250 MVA	250 MVA
المنشأ	روسي	روسي	روسي	روسي
سنة الدخول للخدمة	١٩٨٠	١٩٨٠	١٩٨٠	١٩٨٠
نوع الزيت المستخدم الحالي	Crown (تم استبدال زيت المنشأ في عام ٢٠٠١)	TNB 982.68 الروسي	TNB 982.68 الروسي	TNB 982.68 الروسي
المواصفات المعمول بها حاليا	IEC-296	IEC-296	IEC-296	IEC-296
ترتيب المحوله من حيث قيم	3	2	4	1

الجدول رقم (٢) يبين معدلات التحميل للمحولات (15.75 kV/ 400 kV) ودرجة حرارة الزيت ساعة الذروة

رقم المحولة	AT1	AT2	AT3	AT4
معدل التحميل (MW)	105	125	85	180
درجة الحرارة (°C)	55	57	53	60



شكل رقم (١) يبين قيم فولتية الانهيار المستحصلة لعينات زيت محولات (15.75 kV/ 400 kV)

3.1.2 فحص اللزوجة الحركية (Kinematic Viscosity Test)

تعرف اللزوجة الحركية (v) بانها الممانعة التي يبديها أي سائل ضد الجريان ووحدة قياسها (Centistoke) وتكتب اختصارا (cSt). حيث ان (1cSt =1 mm^2/s). تم اجراء هذا الفحص في المختبر الكيمياوي التابع للمحطة ولعينات زيت المحولات الاربعة طبقا للمواصفة القياسية (ASTM D2161) [17]. تمثلت العملية بوضع كمية (50 mL) من عينة الزيت في جهاز قياس اللزوجة (Saybolt Universal Tester) وهو عبارة عن أنبوب معايرة زجاجي ذي أنبوبة شعرية. تسخن عينة الزيت لدرجة حرارة (50 °C) عن طريق وضع الاداة في قارورة ماء ساخنة ومن ثم يسجل زمن أنسياب الزيت عبر الجهاز بفتح الصمام من الاعلى وعليه يمكن أحتساب قيمة اللزوجة الحركية من خلال المعادلة الاتية :-

$$v = \eta/\rho$$

(1)حيث ان:-

η: اللزوجة الديناميكية ويمكن قياسها بأستخدام (Poiseuille's Law) [18] وتقاس بوحدة poise . حيث ان (1 poise= 1/10 N s/m^2).

ρ : كثافة الزيت وتقاس بوحدة g/cm^3.

يتم احتساب قيمة اللزوجة الديناميكية (η) من خلال المعادلة الاتية:-

$$\eta = t\pi r^4 \rho h g / 8LV$$

(2) حيث ان:-

t: زمن الانسياب (s).

ذات (15.75 kV/ 400 kV) الحرارية

r: نصف قطر أنبوب المعايرة الزجاجي (mm).

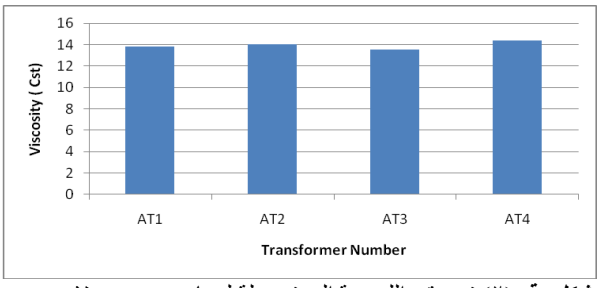
h: ارتفاع الزيت في أنبوب المعايرة (cm).

g: التعجيل الأرضي.

L: طول أنبوب المعايرة (cm).

V: حجم عينة الزيت (mL).

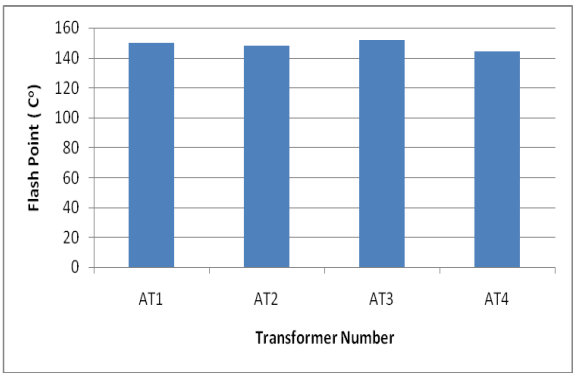
يبين الشكل رقم (2) قيم اللزوجة المستحصلة لعينات الزيت الاربعة ومنه نلاحظ ان قيم اللزوجة كانت ضمن المواصفات المعمول بها والتي تنص على ان لاتزيد قيم اللزوجة عن (16.5 cSt)، كما لوحظ ايضا وجود اختلاف قليل في قيم اللزوجة وصل في اعلى حالاته الى (0.9 cSt) عند المقارنه فيما بينها على الرغم من الاختلاف الكبير في معدلات التحميل للمحولات الاربعة، بالاضافة الى تناسب قيم اللزوجة طرديا مع معدلات التحميل فكلما ازداد الحمل على المحولة ازدادات قيم اللزوجة للزيت المستخدم.



شكل رقم (٢) تبين قيم اللزوجة المستحصلة لعينات زيت محولات (15.75 kV/ 400 kV)

3.1.3 فحص نقطة الوميض (Flash Point Test)

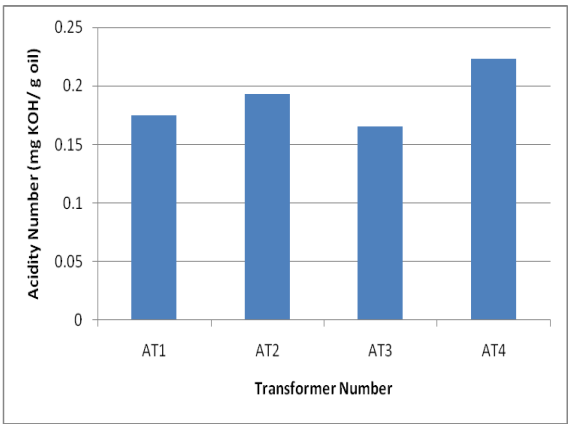
وهي درجة الحرارة التي عندها يشتعل الزيت وتقاس بوحدة (°C) ويعد هذا الفحص من الفحوصات المهمة بحيث لاتقل قيم نقطة الوميض عن (130 °C)وكما هو معمول به في المواصفة (IEC-296). تم اجراء هذا الفحص لعينات الزيت الاربعة في المختبر الكيميائي التابع للمحطة وبأستخدام الجهاز (PENSKY-MARTENS)، حيث تتمثل عملية الفحص بتفريغ عينة من الزيت بحجم (75 mL) في جفنة الجهاز ليتم بعدها زيادة درجة حرارة الزيت مع المراقبة المستمرة وصولا الى الدرجة التي عندها يشتعل الزيت. يبين الشكل رقم (٣) قيم نقطة الوميض المستحصلة ولعينات الزيت الاربعة ومنه نلاحظ ان القيم كانت ضمن المواصفة المعمول بها، كما لوحظ ايضا وجود اختلاف قليل عند المقارنة بين القيم المستحصلة لم يزد عن (8 °C) على الرغم من اختلاف معدلات التحميل للمحولات الاربعة. كما لوحظ ايضا تناسب قيم نقطة الوميض عكسيا مع معدل التحميل فعلى سبيل المثال كانت درجة الوميض (144 °C) للمحولة (AT4) الاكثر تحميلا واصبحت (152 °C) للمحولة (AT3) الاقل تحميلا.



شكل رقم (٣) يبين قيم نقطة الوميض المستحصلة لعينات زيت محولات (15.75 kV/400 kV)

3.1.4 فحص الحموضة (Acidity Test)

هو الوزن بالملغم لمادة (KOH) اللازم لمعادلة حامضية المواد او ذلك الذي يمتص من قبل ١ غم من الزيت ووحده قياسه هي (mg KOH/g oil) حيث يجب ان لاتزيد قيمة حموضة الزيت المستخدم عن (0.3 mg KOH/g oil) وحسب المواصفة القياسية (IEC-296). تم اجراء هذا الفحص لعينات الزيت الاربعة في المختبر الكيمياوي التابع للمحطة، حيث يبين الشكل رقم (٤) قيم الحموضة المستحصلة لعينات زيت المحولات ومنه نلاحظ ان القيم تراوحت مابين (0.165-0.223). تصنف هذه القيم ضمن حيز الزيت الردئ الذي يتراوح مابين (0.16-0.4) وحسب المواصفة القياسية (IEC-296) والذي يؤشر لدينا قصر الفترة الزمنية المتوقعة لتجاوز محدد الحموضة المسموح بها. يمكن ايضا ملاحظة وجود تباين كبير في قيم الحموضة متناسبا ايضا بشكل طردي مع قيم معدلات التحميل للمحولات الاربعة. مما يؤكد امكانية اعتبار قيمة الحموضة كمتغير اساسي في عملية احتساب عمر الزيت المتبقي بعد ملاحظة وجود تغير قليل في المتغيرات (نقطة الوميض، فولتية الانهيار، اللزوجة) على الرغم من اختلاف معدلات التحميل وسنوات الخدمة الطويلة.



شكل رقم (٤) يبين قيم الحموضة المستحصلة لعينات زيت محولات (15.75 kV/400 kV)

ذات (15.75 kV/ 400 kV)الحرارية

3.2/حتساب العمر المتبقي لزيت محولات (15.75 kV/400 kV)

بناءا على ما تقدم في الفقرة السابقة تم اختيار قيمة الحموضة كمعيار أساسي للكشف عن مستوى تردى نوعية الزيت المستخدم نتيجة تقادم العمر بعد ان لاحظنا وجود ارتباط قوي مابين قيم الحموضة من جهة و (معدل تحميل المحولة، درجة حرارة الزيت) من جهة اخرى وهذا الذي لم يلاحظ في بقية المتغيرات التي تم احتسابها انفا وهي (فولتية الانهيار، نقطة الوميض، اللزوجة)، تم في هذا البحث الاعتماد على قانون (Dakin-Arrehenius Law) لغرض عملية تنبؤ العمر المتبقي (Lifetime) لزيت محولات (15.75 kV/ 400 kV) الاربعة، حيث يرتكز هذا القانون على اظهار تأثير درجة الحرارة على سرعة التفاعل الكيميائي والذي يعرف بألية التقادم الحراري للزيت (Thermal Degradation Phenomena) وكما هو مبين في القانون الموضح في ادناه [١٩]:-

$$t = A\,e^{B/T}$$

(3)حيث ان :-

t: الزمن المتبقي (Lifetime) من عمر الزيت (الزمن اللازم لبلوغ محدد المعيار المعتمد وهو الحموضة وعند درجة حرارة معينة) ويقاس بالساعات.

A,B : ثوابت المعادلة وتعتمد على (نوع المادة أي الزيت المستخدم، ماهية محدد العمر المتبقي، طبيعة الفحص المعجل).

T: درجة الحرارة السائدة في ظروف التشغيل وتقاس بوحدة (°C).

ملاحظة: لقد تم الاعتماد على محدد الحموضة والبالغ (0.3 mg KOH/g oil) وحسب المواصفة القياسية (IEC-296) كمحدد لمعيار العمر المتبقي (Lifetime) لزيت محولات (15.75 kV/400 kV).

ومن خلال ملاحظة المعادلة رقم (٣) نجد انه يمكن ايجاد عمر الزيت المتبقي (t) عند أي درجة حرارة تشغيلية لكن هذا الامر يتطلب منا ايجاد قيم الثوابت (A, B) والتي تعتمد كما ذكرنا انفا على حالة الزيت المستخدم في كل محولة، لذا تم اخذ اللوغارتم الطبيعي لطرفي المعادلة رقم (٣) كما هو موضح ادناه:-

$$\ln t = \ln A + \ln e^{B/T} \qquad (4)$$

من خلال التبسيط نحصل على:-

$$\ln t = \ln A + B/T \qquad (5)$$

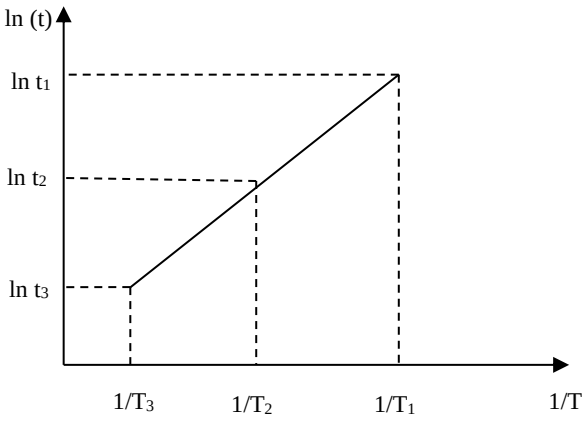
ومن المعادلة رقم (5) نلاحظ وجود علاقة خطية مابين لوغارتم العمر المتبقي (ln t) ومقلوب درجة الحرارة (1/T)، لذا يمكن ايجاد قيم الثوابت (A, B) لزيت كل محولة على حده من خلال اخذ حالتين للمعادلة رقم (5) على الاقل وهذا الامر لايتأتى الا عبر استخدام مايسمى بتقنية فحص التقادم المعجل (Accelerated Ageing Test) التي نستهدف منها ايجاد قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت (ln t) ولعدة درجات حرارة. تم في هذا البحث تطوير تقنية للفحص المعجل عبر اخذ ثلاث حالات للمعادلة رقم (5) وكما هو مبين ادناه:-

$$\ln t_1 = \ln A + B/T_1 \qquad (6)$$

$$\ln t_2 = \ln A + B/T_2 \qquad (7)$$

$$\ln t_3 = \ln A + B/T_3 \qquad (8)$$

ليتم تمثيلها لاحقا وحسب المخطط رقم (١) الموضح ادناه:-



المخطط رقم (١) يبين علاقة قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي مع مقلوب درجة الحرارة والمستخدم في تقنية الفحص المعجل

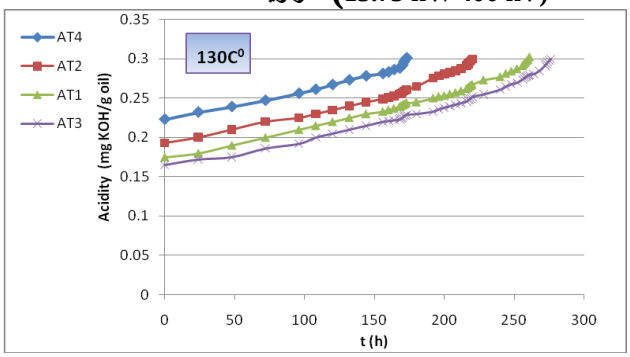
تمثلت عملية فحص التقادم المعجل بوضع عينه بحجم (١ لتر) من زيت كل محولة من محولات (15.75 kV/ 400 kV) الاربعة دفعة واحدة في احد افران المختبر الكيمياوي التابع للمحطة ولثلاث درجات حرارة عالية على التوالي (130 °C, 140 °C, 150 °C) بهدف الحصول على نتائج العمر المتبقي (Lifetime) بأسرع وقت ممكن وعند هذه الدرجات من الحرارة لغرض الاستفاده منها لاحقا لايجاد معادلة العمر المتبقي لزيت كل محولة. تم وضع برنامج زمني خاص لسحب الكمية اللازمة من عينات الزيت الاربعة وتحت درجة الحرارة المستخدمة لغرض اجراء عملية فحص قياس الحموضة وكما هو مبين في الجدول رقم (٣) وبهدف المراقبة المستمرة لقيم حموضة عينات الزيت وصولا الى الزمن الذي عنده تصل حموضة العينة لقيمة المحدد المعمول به (0.3 mg KOH/g oil) كمعيار لعمر الزيت المتبقي.

الجدول رقم (٣) يبين البرنامج الزمني الخاص بعملية سحب عينات الزيت لغرض اجراء فحص الحموضة

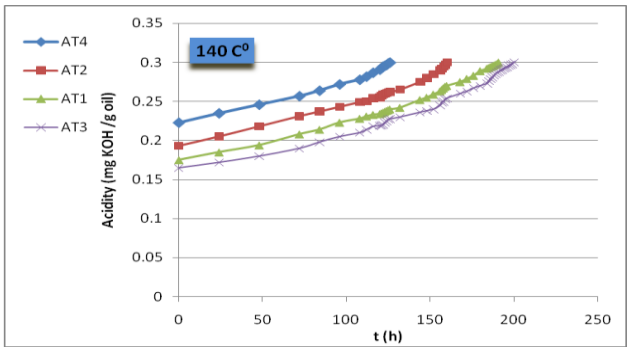
ت	قيم الحموضة (mg KOH/g oil)	الفترة الزمنية لسحب عينة الزيت (h)
1	**الحموضة < 0.2**	36
2	**0.25 > الحموضة > 0.2**	24
3	**0.275 >الحموضة> 0.25**	12
4	**0.29 > الحموضة >0.275**	4
5	**0.3 > الحموضة >0.29**	1

تبين الاشكال (7,6,5) قيم الحموضة المحتسبة لعينات زيت المحولات (15.75 kV/ 400 kV) وصولا لقيم محدد الحموضة (0.3 mg KOH/g oil) وعند درجات الحرارة (130 °C,140 °C, 150 °C)، ففي الشكل رقم (5) وعند درجة حرارة (130 °C) نجد ان قيمة العمر المتبقي (Lifetime) لعينة الزيت كانت (173 h) للمحولة (AT4) الاكثر تحميلا و(220 h) للمحولة (AT2) و(261 h) للمحولة (AT1) و(276 h) للمحولة (AT3) الاقل تحميلا. في الشكل رقم (6) وعند درجة حرارة (140 °C) نجد ان قيمة العمر المتبقي (Lifetime) لعينة الزيت كانت (126 h) للمحولة (AT4) الاكثر تحميلا و(160 h) للمحولة (AT2) و(191 h) للمحولة (AT1) و(200 h) للمحولة (AT3) الاقل تحميلا، وفي الشكل رقم (7) وعند درجة حرارة (150 °C) نجد ان قيمة العمر المتبقي (Lifetime) لعينة الزيت كانت (96 h) للمحولة (AT4) الاكثر تحميلا و (121 h) للمحولة (AT2) و(145 h) للمحولة (AT1) و(151 h) للمحولة (AT3) الاقل تحميلا.

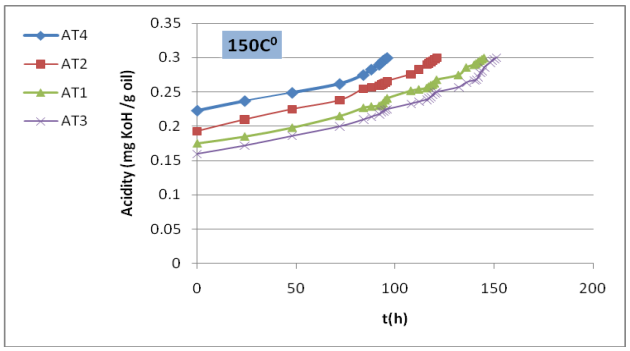
ذات (15.75 kV/ 400 kV) الحرارية



شكل رقم (5) يبين قيم الحموضة المحتسبة لعينات زيت المحولات (15.75 kV/ 400 kV) وصولا لقيم محدد الحموضة عند درجة حرارة (130 °C)



شكل رقم (6) يبين قيم الحموضة المحتسبة لعينات زيت المحولات (15.75 kV/ 400 kV) وصولا لقيم محدد الحموضة عند درجة حرارة (140 °C)



شكل رقم (7) يبين قيم الحموضة المحتسبة لعينات زيت المحولات (15.75 kV/400 kV) وصولا لقيم محدد الحموضة عند درجة حرارة (150 °C)

وعند المقارنه ما بين النتائج المستحصلة في الاشكال (7,6,5) نلاحظ تناقص قيم العمر المتبقي (Lifetime) لزيت المحولات الاربعة مع زيادة درجة حرارة فحص التقادم المعجل مما يؤكد صحة اعتبار درجة الحرارة كمتغير رئيسي لاحتساب عمر الزيت المتبقي وكما هو مبين سابقا في معادلة (Dakin-Arrehenius Law). يلاحظ ايضا من نفس الاشكال تناسب النتائج المستحصلة لقيم العمر المتبقي عكسيا مع معدل تحميل كل محولة، حيث سجلت اقل قيم العمر المتبقي لزيت المحولة (AT4) الاكثر تحميلا وسجلت اعلى قيم العمر المتبقي للمحولة (AT3) الاقل تحميلا، كما نلاحظ ايضا ان مدى نتائج قيم العمر المتبقي (Lifetime) تراوحت ما بين (96 h) للمحولة (AT4) وعند درجة الحرارة (150 °C) و(276 h) للمحولة (AT3) عند درجة حرارة (130 °C) ، مما يشير الى صحة اختيار درجات الحرارة الخاصة بفحص التقادم المعجل بهدف تقليل فترة الحصول على النتائج. تم الاستفاده من نتائج قيم العمر المتبقي (Lifetime) لزيت المحولات (15.75 kV/ 400 kV) والمبينه انفا في الاشكال (7,6,5) لايجاد العلاقة مابين قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي ($\ln t$) ومقلوب درجة الحرارة (1/T) بهدف ايجاد قيم الثوابت (A,B) الخاصة بمعادلة العمر المتبقي لزيت (Dakin-Arrehenius Law). تم اخذ اللوغارتم الطبيعي لجميع نتائج العمر المتبقي لزيت المحولات الاربعة المبينه مسبقا في الاشكال (7, 6, 5) ولدرجات الحرارة (150 °C, 140 °C, 130 °C)، حيث تظهر الحقول المظللة في الجداول (4, 5, 6, 7) تلك النتائج، تم رسم العلاقة ما بين قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي ($\ln t$) ومقلوب درجة الحرارة (1/T) وكما هو مبين في الاشكال (8, 9, 10, 11). يبين الشكل رقم (8) هذه العلاقة لزيت المحولة (AT4) الاكثر تحميلا والمأخوذة بياناتها من الحقول المظللة في الجدول رقم (4) لنحصل على ثلاث نقاط في الشكل رقم (8) يمكن تمثيلها حسب المعادلات (8, 7, 6) المذكوره سلفا بهدف ايجاد معادلة العمر المتبقي لزيت المحولة (AT4) حيث نلاحظ من الشكل رقم (8) وجود علاقة خطية مابين قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي ($\ln t$) ومقلوب درجة الحرارة (1/T) مما يؤيد صحة معادلة (Dakin-Arrehenius Law). لقد تم ترميز درجات الحرارة المستخدمة في فحص التقادم المعجل (150 °C, 140 °C, 130 °C) بالرموز (T_1=130 °C, T_2= 140 °C, T_3=150 °C) ليتم استخدامها في المعادلات (8, 7, 6)، حيث تم اختيار المعادلتين (7, 6) لغرض عملية ايجاد قيم الثوابت (A, B) الخاصة بمعادلة تنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولة (AT4) الاكثر تحميلا بأعتبار انها تمثل النقاط (3, 2) في الشكل رقم (8) الاقرب الى درجات الحرارة التشغيلية السائدة وكما هو مبين ادناه:-

$$\ln t_1 = \ln A + {}^{B}/_{T_1} \qquad (6)$$

$$5.15329159 = \ln A + {}^{B}/_{130} \qquad (9)$$

$$\ln t_2 = \ln A + {}^{B}/_{T_2} \qquad (7)$$

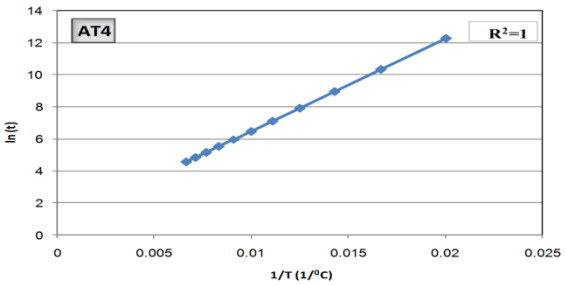
$$4.8362819 = \ln A + {}^{B}/_{140} \qquad (10)$$

تم حل المعادلتين (9, 10) انيا لنحصل على قيم الثوابت الخاصة بمعادلة عمر الزيت المتبقي للمحولة (AT4) الاكثر تحميلا وكما هو مبين في ادناه:-

$$A = 2.044497126$$
$$B = 576.9582073$$

ليتم بعدها تعويض قيم تلك الثوابت في المعادلة رقم (3) لنحصل على المعادلة الخاصة بتنبؤ عمر الزيت المتبقي للمحولة (AT4) الاكثر تحميلا وكما هو مبين ادناه:-

$$t = 2.044497126\, e^{{}^{576.9582073}/_{T}} \qquad (11)$$



ذات (15.75 kV/ 400 kV) الحرارية

شكل رقم (8) يبين علاقة قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي مع مقلوب درجة الحرارة للمحولة (AT4)

وبنفس الطريقة المستخدمة ومن الاشكال ذات رقم (9, 10, 11) التي تبين العلاقة مع بين قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي (ln t) مع مقلوب درجة الحرارة (1/T) للمحولات (AT3, AT1, AT2) على التوالي والمأخوذة بياناتها من الحقول المظللة في الجداول رقم (5, 6, 7) على التوالي لنحصل ايضا على ثلاث نقاط يمكن تمثيلها حسب المعادلات (6, 7, 8) المذكوره سلفا وبهدف ايجاد معادلة العمر المتبقي لزيت المحولات (AT3, AT1, AT2) حيث نلاحظ ايضا وجود علاقة خطية مابين قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي (ln t) ومقلوب درجة الحرارة (1/T) مما يؤيد مرة اخرى صحة معادلة (Dakin-Arrehenius Law)، ليتم بنفس الطريقة الاعتماد على المعادلتين (6, 7) وحلهما انيا لايجاد قيم الثوابت (A, B) الخاصة بمعادلة تنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولات (AT3, AT1, AT2)، لنحصل على المعادلة (١٢) الخاصة بتنبؤ عمر الزيت المتبقي للمحولة (AT2) وكماهو مبين ادناه :-

$$t = 2.54791432\, e^{579.5857904/T} \qquad (12)$$

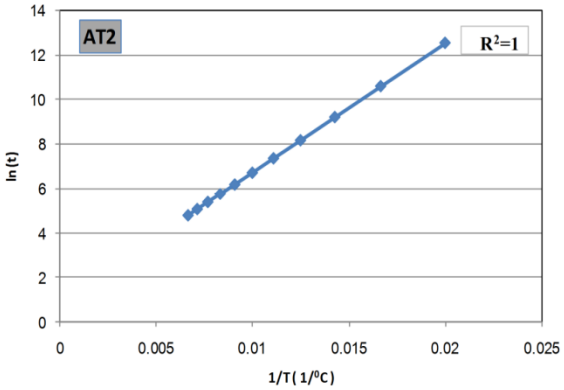
والمعادلة رقم (١٣) الخاصة بتنبؤ عمر الزيت المتبقي للمحولة (AT1) وكماهو مبين ادناه :-

$$t = 3.297150591\, e^{568.2900706/T} \qquad (13)$$

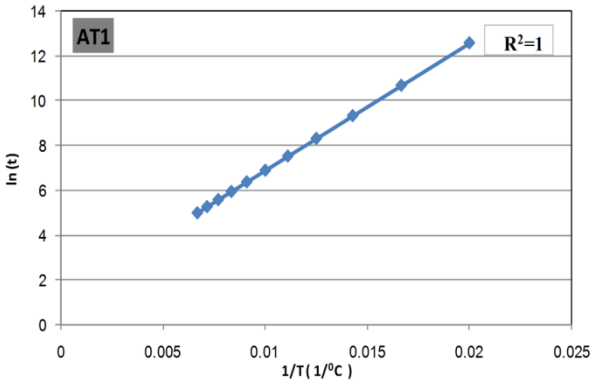
والمعادلة رقم (١٤) الخاصة بتنبؤ عمر الزيت المتبقي للمحولة (AT3) وكماهو مبين ادناه :-

$$t = 3.038085942\, e^{586.1925544/T} \qquad (14)$$

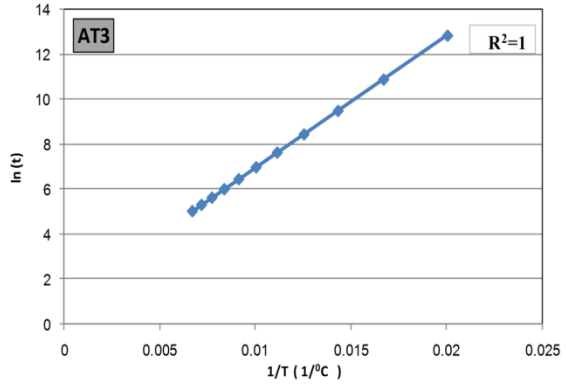
لقد تم استخدام المعادلات المستحصلة لتنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولات الاربعة (11, 12, 13, 14) لاستكمال ايجاد العلاقة مابين قيم اللوغارتم الطبيعي مع مقلوب درجة الحرارة في الاشكال (8, 9, 10, 11) المبينه اعلاه ابتداء من النقطة الرابعة وصعودا ولاجل اظهار تلك القيم عند درجات الحرارة التشغيلية السائدة، لقد تمثلت الفائدة من استخدام اللوغارتم الطبيعي لتمثيل الزمن عبر امكانية رسم مدى واسع وواضح من نتائج بدلا من استخدام الزمن والذي يقاس بالساعات مم يشكل صعوبة بالغة في التمثيل .تم ايضا استعراض النتائج المستحصلة في الاشكال (8, 9, 10, 11) عبر الجداول (4, 5, 6, 7) والتي تبين كل من نتائج الفحص المعجل والمبينه عبر الحقول المظللة والتي تم ايجادها عمليا والحقول الغير المظللة والتي تم ايجادها نظريا عبر معادلات العمر المتبقي لزيت المحولات الاربعة. لقد تراوحت درجات الحرارة التشغيلية السائدة لمحولات (15.75 kV/ 400 kV) مابين (60 °C) و(50 °C) وحسب المعلومات المستقاة من سجلات قسم المحولات في المحطة، حيث يبين الجدول رقم (4) نتائج الفحص المعجل ومعادلة العمر المتبقي لزيت المحولة (AT4) الاكثر تحميلا وعند ملاحظة قيم العمر المتبقي والمقاسة بالسنوات نلاحظ انها كانت (3.5 years) عند درجة الحرارة (60 °C) والتي تعتبر اعلى درجات الحرارة المسجلة مما يؤشر لدينا خطوره وضع الزيت المستخدم في تلك المحولة كما كانت نتيجة العمر المتبقي هي (23.959 years) والتي تعتبر ايضا قليلة مقارنة مع عمر الزيت الافتراضي، وبشكل عام كانت النتائج المستحصلة لعمر زيت المحولة (AT4) ضمن المستوى الخطير وعلى طول مدى درجات الحرارة (60 °C) و(50 °C) مما يؤشر لدينا وجوب استبدال الزيت لهذه المحولة لتجنب تلفها. يبين الجدول رقم (5) نفس النتائج لزيت المحولة (AT2) حيث كانت قيمة العمر المتبقي هي (4.5589 years) عند درجة الحرارة (60 °C) وهي ايضا تعتبر نتيجة خطرة، كما اصبحت قيمة العمر المتبقي (31.47 years) عند درجة الحرارة (50 °C) مما يعطي مؤشرا مقبولا .يبين الجدول رقم (6) نفس النتائج لزيت المحولة (AT1) حيث كانت قيمة العمر المتبقي هي (4.88 years) عند درجة الحرارة (60 °C) وهي ايضا تعتبر نتيجة خطرة، كما اصبحت قيمة العمر المتبقي (32.489 years) عند درجة الحرارة (50 °C) وهي ايضا نتيجة مقبولة . عند مقارنه النتائج المستحصلة للمحولة (AT2) و(AT1) نلاحظ تقارب قيم عمر الزيت المتبقي ولجميع درجات الحرارة التشغيلية وكما هو واضح في الجدولين (5, 6) ويعود السبب لتقارب قيم تحميل المحولتين، كما يبين الجدول رقم (7) نفس النتائج لزيت المحولة (AT3) الاقل تحميلا حيث كانت قيمة العمر المتبقي هي (6 years) عند درجة الحرارة (60 °C) وهي ايضا تعتبر نتيجة خطرة، كما اصبحت قيمة العمر المتبقي (42.8 years) وهي نتيجة جيدة مقارنة مع بقية المحولات باعتبارها الاقل تحميلا في الوقت الحالي.



شكل رقم (9) يبين علاقة قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي مع مقلوب درجة الحرارة للمحولة (AT2)



شكل رقم (10) يبين علاقة قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي مع مقلوب درجة الحرارة للمحولة (AT1)



شكل رقم (11) يبين علاقة قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي مع مقلوب درجة الحرارة للمحولة (AT3)

الجدول رقم (4) يبين النتائج المستحصلة من الفحص المعجل ومعادلة العمر المتبقي لزيت المحولة (AT4)

الزمن t	ln (t)	الزمن t	1/T	(°C)
0.0000012	4.564348	96	0.00666	150
0.01438	4.836281	126	0.00714	140
0.019748	5.153291	173	0.00769	130
0.02858	5.523136	250.419	0.00833	120
0.044257	5.960225	387.697	0.00909	110
0.07477	6.484732	655.063	0.01	100
0.14196	7.125796	1243.638	0.01111	90
0.31637	7.927126	2771.451	0.0125	80
0.88643	8.9574	7765.207	0.01428	70
3.501408	10.33111	30672.33	0.01666	60
4.1212	10.49409	36101.83	0.01694	59
4.878	10.66270	42731.91	0.01724	58
5.80818	10.83721	50879.71	0.01754	57
6.9588	11.01796	60959.76	0.01785	56
8.3925	11.20529	73518.67	0.01818	55
10.192	11.39955	89282.1	0.01851	54
12.4684	11.60114	109223.2	0.01886	53
15.37194	11.81049	134658.2	0.01923	52
19.107855	12.02805	167384.8	0.01960	51
23.959	12.25430	20883.64	0.02	50

الجدول رقم (5) يبين النتائج المستحصلة من الفحص المعجل ومعادلة العمر المتبقي لزيت المحولة (AT2)

الزمن t	ln (t)	الزمن t	1/T	(°C)
0.013	4.79579	121	0.006666	150
0.018	5.07517	160	0.0071428	140
0.025	5.3936	220	0.0076923	130
0.036	5.76515	318.989	0.0083333	120
0.056	6.20418	494.814	0.0090909	110
0.095	6.73113	838.096	0.01	100
0.182	7.37511	1595.779	0.01111	90
0.407	8.18	3569.2	0.0125	80
1.146	9.215	10047.43	0.0142857	70
4.558	10.595	39936.2	0.016666	60
5.369	10.758	47040.45	0.0169491	59
6.360	10.92813	55722.19	0.0172413	58
7.579	11.10344	66399.19	0.0175438	57
9.089	11.285	79620	0.017857	56
10.97	11.47319	96105.2	0.0181818	55
13.33	11.66834	116814.8	0.018518	54

16.32	11.8708	143036.6	0.0188679	53
20.15	12.08115	176514.0	0.0192307	52
25.07	12.2997	219630.6	0.0196078	51
31.47	12.5269	275678.6	0.02	50

الجدول رقم (6) يبين النتائج المستحصلة من الفحص المعجل ومعادلة العمر المتبقي لزيت المحولة (AT1)

الزمن t	ln (t)	الزمن t	1/T	(°C)
0.016552	4.976733	145	0.006666	150
0.021803	5.252273	191	0.0071428	140
0.029794	5.564520	261	0.0076923	130
0.042888	5.928809	375.706	0.0083333	120
0.065965	6.359332	577.860	0.0090909	110
0.110582	6.875934	968.704	0.01	100
0.207929	7.507392	1821.45	0.01111	90
0.457825	8.296684	4010.55	0.0125	80
1.26305	9.311488	11064.4	0.0142857	70
4.887146	10.66455	42811.4	0.016666	60
5.73818	10.82509	50266.4	0.0169491	59
6.774815	10.99116	59347.3	0.0172413	58
8.04546	11.16305	70478.2	0.0175438	57
9.61326	11.34109	84212.2	0.017857	56
11.56119	11.52560	101276.	0.0181818	55
13.99916	11.71694	122632.	0.018518	54
17.074	11.91552	149568.	0.0188679	53
20.984	12.1217	183820.	0.0192307	52
25.9987	12.33600	227749.	0.0196078	51
32.489	12.55886	284605.	0.02	50

الجدول رقم (7) يبين النتائج المستحصلة من الفحص المعجل ومعادلة العمر المتبقي لزيت المحولة (AT3)

الزمن t	ln (t)	الزمن t	1/T	(c^0)
0.0172	5.017279	151	0.006666	150
0.0228	5.298317	200	0.0071428	140
0.0315	5.6204	276	0.0076923	130
0.0458	5.996163	401.884	0.0083333	120
0.0715	6.440249	626.5632	0.0090909	110
0.1218	6.973151	1067.582	0.01	100
0.2337	7.624475	2047.707	0.01111	90
0.5276	8.438631	4622.225	0.0125	80
1.5029	9.4854	13166.12	0.0142857	70
6.0687	10.881	53161.94	0.016666	60
7.1616	11.04668	62735.88	0.0169491	59
8.4997	11.21798	74457.96	0.0172413	58
10.148	11.3953	88903.02	0.0175438	57
12.194	11.57894	106824.8	0.017857	56

ذات (15.75 kV/ 400 kV)الحرارية

14.751	11.76926	129219.4	0.0181818	55
17.969	11.96663	157414.6	0.018518	54
22.054	12.17145	193195.4	0.0188679	53
27.281	12.38415	238984.5	0.0192307	52
34.029	12.60519	298102.3	0.0196078	51
42.824	12.83507	375146.2	0.02	50

الاستنتاجات والتوصيات

أ- لوحظ وجود ارتباط قوي مابين قيم حموضة الزيت من جهة و (معدل تحميل المحولة، درجة حرارة الزيت) من جهة اخرى وهذا الذي لم يلاحظ في بقية المتغيرات مما دعانا الى اعتبار الوصول الى محدد قيمة الحموضة كمعيار أساسي لتنبؤ عمر الزيت المتبقي.

ب- وجود علاقة خطية مابين قيم اللوغارتم الطبيعي لعمر الزيت المتبقي (lnt) ومقلوب درجة الحرارة والتي تم ايجادها عمليا ولزيت جميع المحولات الاربعة مما يؤكد صحة استخدام معادلة (Dakin-Arrehenius Law) لتنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولات.

ج- لقد كانت النتائج الخاصة بتنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولة (AT4) الاكثر تحميلا ضمن التصنيف الخطير ولزيت المحولة (AT2) و(AT1) بدرجة خطوره اقل نسبيا، اما النتائج الخاصة بالمحولة (AT3) فقد كانت الاقل خطورة مقارنة مع نتائج بقية المحولات بأعتبارها الاقل تحميلا.

د- لوحظ تقارب نتائج تنبؤ عمر الزيت للمحولة (AT2) والمحولة (AT1) نظرا لتقارب معدلات التحميل مما يؤكد العلاقة الوثيقة لمعدل التحميل مع قيمة العمر المتبقي لزيت.

ه- لقد كانت قيم النتائج الخاصة بتنبؤ العمر المتبقي لزيوت المحولات اكثر خطوره عند درجات الحرارة التشغيلية السائدة مابين (C^0 57-C^0 60) في حالة استمرارية عمل تلك المحولات تحت هذه الدرجات من الحرارة خصوصا مع التزايد المضطرد في معدلات درجات الحرارة في السنوات القليلة الماضية وهذا الذي ترجم عبر تلف اكثر من محولة.

وعليه نوصي بما يلي:-

أ- أستبدال زيت المحولة (AT4) بأعتبار كون نتائجها الاكثر خطورة وبهدف الحفاظ عليها.

ب- اضافة كمية مناسبة من الزيت للمحولة (AT1) و(AT2) و(AT3) باعتبار ان نتائجها كانت اقل خطورة .

ج- زيادة عدد مرات اجراء الفحوصات الخاصة لزيوت المحولات الاربعة خلال السنة الواحدة وخصوصا فحص قياس الحموضة باعتباره المؤشر الاخطر لتقادم الزيت المستخدم.

د- أجراء عملية صيانة وترميم لعزل المحولات الصلد (الورق) من خلال غسله اولا بالماء المعقم ومن ثم بالزيت المطعم بقواعد عضوية ضعيفة مثل (الميلامين ، اليوريا، Dicyandiamide) بهدف أبطال مفعول الاحماض الناتجة عن عملية تأكسد الزيت وتحسين خواص العزل للفائف المحولات وتحسين بنية العازل الورقي (السليلوز البلوري) بالاضافة الى رفع شدة العزل الميكانيكية مما يؤدي بالحاصل الى زيادة عمر المحولة.

References

[1] Hribernik, W., Kubicek, B., Pascoli, G., Frohlich, K., "Verification of a model-based diagnosis system for on-line detection of the moisture content of power transformer insulations using finite element calculations," in *2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, 2008, pp. 475-478.

[2] Pradhan, M. K., Ramu, T. S., "On the estimation of elapsed life of oil-immersed power transformers," *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2005, Vol. 20, pp. 1962-1969.

[3] Thasananutariya, T.," Evaluation of power transformer loss of life in MEA'S terminal," in *the 18th Conference of Electric Power Supply Industry*, CEPSI, Taipei, Taiwan, October 24-28, 2010.

[4] Popescu, O. S., Liliana, N., "Modeling of oil-filled transformer" *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 2009, Vol. 3, No. 4, pp. 346-355.

[5] Meyers, S. D., Kelly, J. J., Parrish, R. H., " A guide to transformer maintenance ", IRN 122670, Edn., SD Myers Inc., ISBN: -10: 0939320002, 1981, PP: 836.

[6] Sayed, M. M., Mohamed, R. S., Wael, A. A.," Predication of the characteristics of transformer oil under different operation conditions" *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2009, Vol. 53, pp. 764-768.

[7] Smekalov, V. V., Dolin, A. P., "Condition assessment and life time extension of power transformer" CIGRE, Report 12-102, Session 2002.

[8] Wilson, M. P., Macgregor, S. J., Given, M. J., Timoshkin, I. V., Sinclair, M. A., Thomas, K. J., Lehr, J. M., "Surface flashover of oil-immersed dielectric materials in uniform and non-uniform fields," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2009, Vol. 16, pp. 1028-1036.

[9] Lundgaard, L. E., Hansen, W., Linhjell, D., Painter, T. J., "Aging of oil-impregnated paper in power transformers," *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2004, Vol. 19, pp. 230-239.

[10] Firouzifar, S., Rakhhan, F., Firouzifar, M. S.," Evaluation of power transformer cooling with simulation," *in 24th International Power System Conference*, August 2009, Tehran, Iran.

[11] Moxley, R., Guzman, A., "Transformer maintenance interval management " CIGRE, Report 118, Session 2005.

[12] Diwyacitta, K., Prasojo, R. A., Suwarno, Gumilang, H., "Effects of lifetime and loading factor on dissolved gases in power transformers," in *2017*

International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), 2017, pp. 243-247.

[13] Ciuriuc, A., Notingher, P. V., Setnescu, R., Dumitran, L. M., Setnescu, T., "Lifetime estimation of vegetable oil for transformers," in *2014 ICHVE International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 2014, pp. 1-4.

[14] Rathna, M. T., Maheswari, R. V., Pakkianathan, P. S., "Enhancing the properties of used mineral oil by regeneration process," in *2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)*, 2017, pp. 311-315.

[15] Godinho, M. S., Blanco, M. R., Gambarra Neto, F. F., Lião, L. M., Sena, M. M., Tauler, R., de Oliveira, A. E., "Evaluation of transformer insulating oil quality using NIR, fluorescence, and NMR spectroscopic data fusion," *Talanta*, 2014, Vol. 129, pp. 143-149.

[16] IEC 296 Specification for New Insulating Oils for Transformer and Switchgears, 1982.

[17] ASTM D2161-17, Standard Practice for Conversion of Kinematic Viscosity to Saybolt Universal Viscosity or to Saybolt Furol Viscosity, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

[18] Sutera, S. P.*;* Skalak, *R. (1993).* "The history of Poiseuille's law". Annual Review of Fluid Mechanics. ***25****: 1–19. Bibcode:1993AnRFM..25....1S.doi:10.1146/annurev.fl.25.010193.000245*.

[19] Dakin, T. W., "Electrical Insulation Deterioration Treated as a Chemical Rate Phenomenon," *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* , 1948, Vol. 67, pp. 113-122.