مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (4) – 2025: 194-208

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (4) -2025: 194-208

مساهمة عملية لتقصي أثر استخدام الزيت المعدني السوري على اهتراء أجزاء محرك بنزيني مقارنة بالزيت الاصطناعي

محمد ماهر كلاّس*[1] محمد سعيد السابق[2] يونس ساعود[3]

[1*] . طالب دكتوراه، مهندس في هندسة المحركات والآليات، قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق. mhd.maher@damascusuniversity.edu.sy

[2] . أستاذ مساعد، دكتور في قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، آليات بناء وطرق. sabek@damascusuniversity.edu.sy

[3] . دكتور، مدير بحوث، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، علوم السطوح، دمشق. Saoud58@damascusuniversity.edu.sy.

الملخص:

يعتمد القطاع العام في القطر العربي السوري على زيوت المحركات المنتجة في معمل مزج الزيوت في شركة مصفاة حمص حصراً، وذلك بموجب القرار الصادر عن رئاسة مجلس الوزراء، المتعلق بالتبديل الدوري لزيوت المركبات والمحركات الثابتة البنزينية والديزل، وفق معايير محددة. وبناء عليه، من الأهمية بمكان دراسة أثر استخدامها على تآكل أجزاء المحرك.

يتضمن البحث الحالي دراسة تجريبية من أجل تقصي أثر استخدام الزيت المعدني السوري على تآكل أجزاء محرك بنزيني رباعي الشوط، ثم إجراء المقارنة مع زيت اصطناعي آخر. ولهذه الغاية تم تجهيز منصتين متماثلتين تحوي كل منهما محرك بنزيني ومجموعة توليد كهربائية. بعد ذلك جرى تشغيل محرك المنصة الأولى باستخدام الزيت المعدني السوري، بينما جرى تشغيل محرك المنصة الثانية باستخدام الزيت الاصطناعي. وفي أثناء الاختبار، استخدمت في المنصتين زيوت محركات تتمتع بدرجات لزوجة متعددة، وطبقت حمولات مختلفة على مرحلتين: المرحلة الأولى كانت بحمل ثابت مقداره 50% من معدل الاستطاعة حتى 900 ساعة عمل، والمرحلة الثانية كانت بحمولات متغيرة حتى 1200 ساعة عمل. تم تبديل الزيت دورياً من محركي المنصتين بعد كل 100 ساعة عمل، وأُخذت عينات مخبرية لتحديد أثر استخدام الزيت على اهتراء أجزاء المحرك. أخيراً، استخلصت النتائج التي أظهرت أفضلية الزيت الاصطناعي على الزيت المعدني نظراً لانخفاض محتوى معادن التآكل المدروسة والتي كانت بالنسب المئوية الآتية: الحديد 33%، وللنحاس 25.5%، وللكروم 29%، الامر الذي يزيد من العمر الفني للمحرك.

الكلمات المفتاحية: محرك الاحتراق الداخلي – زيت معدني – زيت اصطناعي – تحليل زيوت المحركات–تآكل أجزاء المحرك.

تاريخ الإيداع: 2023/5/12
تاريخ القبول: 2023/7/3

حقوق النشر: جامعة دمشق –سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

ISSN (online): 2789-6854
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

An Experimental Contribution to Investigate the Effect of Using Syrian Mineral Oil on the Wear of Gasoline Engine Parts Compared to Synthetic Oils

Mhd Maher Kallas*[1] Mhd Saeed Al Sabek[2] Younes Saoud[3]

*[1]. Student's Ph.D, Machines & Engines Engineering, Automobiles & Heavy Machines Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria. Mhd.maher@damascusuniversity.edu.sy.

[2] Associated Professor, Automobiles & Heavy Machines Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria, Road and Building Machinery. mhdsaed63.sabek@damascusuniversity.edu.sy.

[3] Professor - Higher Institute for Science & Technology, Damascus, Syria, Surface Science. Saoud58@damascusuniversity.edu.sy.

Received: 12/5/2023
Accepted: 3/7/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a
CC BY- NC-SA

Abstract

The public sector relies exclusively on Syrian engine oils produced from the oils blending plant in the Homs Refinery Company, according to the communication of the presidency of the council of ministers, which includes the oil drain intervals (ODI) for machinery, stationary, gasoline and diesel engines, according to specific standards. Therefore, it is extremely important to study the impact of their use on the wear of engine parts.

This research includes an experimental study to investigate the effect of using Syrian mineral oil on the wear of parts of a four-stroke gasoline engine, and then making a comparison with another synthetic oil. For this purpose, two identical platforms were prepared, each containing a gasoline engine and an electric generating set. After that, the engine of the first platform was operated using Syrian mineral oil, while the engine of the second platform was operated using synthetic oil. During the test, engine oils with multiple viscosities were used in the two platforms, and different loads were applied in two stages: the first stage was with a constant load of 50% of the power rating up to 900 working hours, and the second stage was with variable loads up to 1200 working hours. Oil drain intervals (ODI) from the engines of the two platforms were every 100 working hours, and laboratory samples were taken to determine the effect of using oil on the wear of engine parts. Finally, results were drawn that showed the preference of synthetic oil over mineral oil due to the low content of the studied wear metals, which were on average by the following percentages respectively: iron 33%, copper 25.5%, and chromium 29%, which prolongs the technical life of the engine.

Keywords: Internal Combustion Engine (ICE), Mineral Oil, Synthetic Oil, Used Oil Analysis (UOA), Parts Engine Wear.

المقدمة (Introduction):

إن التقليل من الاحتكاك يخفض من التآكل والضياعات ويحسن المردود في التجهيزات الميكانيكية بما فيها محركات الاحتراق الداخلي، إذ أن التآكل هو أحد أسباب خروج المحرك عن العمل، لذلك تُعدُّ دراسته من المواضيع المهمة حيث هنالك مساحة واسعة لمناقشة التآكل بأنواعه المختلفة مع مختلف الأسباب والحلول.

إن تطوير تكنولوجيا صناعة الزيوت ضرورية لمنع الاهتراء والسيطرة على الاحتكاك ما بين الأسطح المتحاكة، كما تُعدُّ تكنولوجيا الإضافات هي الأهم وخصوصاً تلك المانعة للاهتراء والأخرى المعدلة للاحتكاك والتي يمكن أن تشكل الطبقة الغشائية الرقيقة (Tribofilm) المناسبة على الأسطح المختلفة [1].

إن المحركات المكبسية الترددية هي أجهزة الدفع الرئيسية للطائرات الخفيفة والمروحيات ومعظم المركبات الآلية. ومن المتوقع أن تلبي الدراسات الحالية والمستقبلية رفع أداء المحرك ومتانته والاقتصاد باستهلاك الوقود ومتطلبات تشريعات انبعاثات العادم. كما أن واحدة من القضايا الرئيسية لهذه التوجهات هو الحد من الضياعات الداخلية الحرارية والميكانيكية والتآكل واستهلاك زيت التزليق. إلا أن معظم هذه الظواهر مشروطة بالسلوك الترايبولوجي لأجزاء المحرك الداخلية [2].

وقد تبين من خلال الدراسة المرجعية لهذا البحث أن أبحاث سابقة قد تناولت التآكل لأجزاء محددة من المحرك كالأسطوانة ومجموعة المكبس وحلقاته والعمود المرفقي والكامات ومضاجعه وآلية الصمامات ودلائلها وغيرها.

كما أظهرت بعض الدراسات أهمية تطبيقات زيوت المحركات الاصطناعية بصيغه المتعددة في توفير استهلاك الوقود مقارنة بالزيت المعدني التقليدي، كما بينت النتائج باستخدام تلك ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في دراسة أثر استخدام الزيوت المعدنية المنتجة في معمل مزج الزيوت بحمص على تآكل مجموعة أجزاء المحرك ومقارنتها بالزيوت التركيبية (الاصطناعية) الحديثة المنتجة محلياً والذي هو الهدف من هذا الصيغ في محرك وحيد الأسطوانة انخفاض الاحتكاك حتى 50% بالنسبة لزيت المحرك CF-5 SAE 5W-20 بينما أظهرت النتائج في محرك I- 4 انخفاضاً حتى 11%. [3]

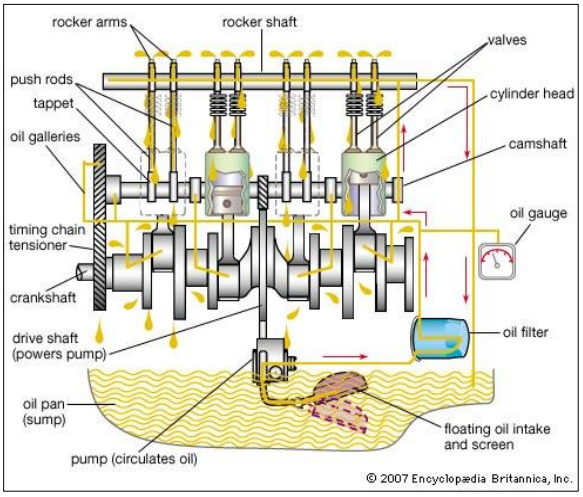
يستخدم القطاعان العام والخاص زيوت المحركات المنتجة من معمل مزج الزيوت في شركة مصفاة حمص، وتلتزم وزارات الدولة والجهات العامة كافة بتبديل زيوت محركات آلياتها بنزين ومازوت بالزيوت المنتجة من معمل مزج الزيوت بحمص حصراً وذلك بموجب القرار الصادر عن رئاسة مجلس الوزراء [4] الذي حدد بموجبه معايير تبديل الزيوت بمختلف أنواعها للآليات العاملة على البنزين والمازوت، حيث يُستخدم أحد النوعين /10W40-15W40/ للآليات ذات المحركات العاملة على البنزين، أما الآليات المحركات العاملة على المازوت فيتم استخدام أحد الأنواع /15W40/ أو /30-40-50/ شاق عالي.

وقد حدد القرار المسافة الكيلومترية لتبديل الزيوت في محركات آليات القطاع العام تبعاً للحالة الفنية للمحرك مقاسة بالمسافة الكلية المقطوعة للآليات المتحركة أو عداد ساعات العمل بالنسبة للآليات التي تعمل وهي متوقفة «من الثبات» ومحركات المجموعة الثابتة وذلك وفق قراءة المخزن الكلي لساعات العمل، وتعد كل ساعة عمل معادلة لمسافة 40 كيلومتراً للآليات العاملة على البنزين و30 كيلومتراً للآليات العاملة على المازوت.

وقد أورد القرار أن مركز الدراسات والبحوث العلمية بدمشق ومعمل مزج الزيوت بحمص هما الجهتان المعتمدتان لإجراء التحاليل المخبرية اللازمة لتحديد مواصفات وصلاحية الزيوت المستخدمة في الآليات الحكومية، لذا أُجريت جميع التحاليل المخبرية للزيوت المستخدمة في هذا البحث لدى مخبر الزيوت في مركز الدراسات والبحوث العلمية.

البحث، وقد اعتمدنا في بحثنا هذا على زيت المحركات المعدني السوري (ديلوكس) وهو صنف منتج حديثاً في معمل مزج الزيوت بحمص ذو مستوى أداء ودرجات لزوجة متعددة (SAE10W40 API:SL/CF) ومقارنته بزيت اصطناعي

محلي الصنع ماركة تريبتون لهما درجات لزوجة ومستوى أداء متماثل.



الشكل (1) دارة التزييت في محرك الاحتراق الداخلي

تؤمن دارة التزييت في محركات الاحتراق الداخلي التزييت اللازم للأجزاء المتحركة والمنزلقة على بعضها والتي تتجسد في المناطق الرئيسية من المحرك [5] الشكل (1) كحركة المكبس وحلقاته في الأسطوانة – دوران العمود المرفقي على مضاجعه – دوران النهاية الصغرى لذراع التوصيل على محور المكبس والنهاية الكبرى على العمود المرفقي – حركة الكامات على ذيل الصمام – حركة ساق الصمام في دليله مما ينتج عنه ما يسمى بالاحتكاك الرطب نظراً لوجود الزيت في تلك الأجزاء وتشكل تآكل بأنواعه الثلاثة (التآكل بالكشط والتآكل بالبري والتآكل الكيميائي) والذي سيؤدي إلى تآكل المعادن المتكونة منها تلك الأجزاء من حديد Fe ونحاس Cu وكروم Cr ونيكل Ni ورصاص Bb وقصدير Ku وغيره.

يمكننا من خلال اختبار وتحليل زيوت المحركات استقصاء تغير نسب تلك المعادن وتقدير الأثر الحاصل من الزيوت على تآكل أجزاء المحرك [5].

تستخدم مراقبة وتحليل زيوت المحركات للتحقق وتقييم الحالة الداخلية لمكونات المحرك وذلك منذ بداية العصر الصناعي، ففي البدايات تضمنت بعض الطرق البسيطة مثل شم رائحة الزيت للكشف عن الرائحة الغريبة الدّالة عن الحموضة الزائدة، أو فرك الزيت بين أطراف أصبعي السبابة والإبهام للتحقق من اللزوجة، ومراقبة صفاء لونه للاستدلال على تلوثه. أما اليوم فإن هنالك طرق وبرامج لتحليل زيوت المحركات باستخدام التكنولوجيا الحديثة والأدوات والتجهيزات المخبرية لتحديد حالة المحرك وأجزائه وقدرة الزيت على القيام بوظائفه على الشكل الأمثل وفق ظروف الخدمة المختلفة من عادية إلى شاقة ثم شاقة جداً [6] وهذا ما اعتمدناه في بحثنا الحالي.

1- مواد البحث Materials

1-2- زيوت المحركات Engine Oils

صنف معهد البترول الأميركي (API) زيوت الأساس إلى خمس مجموعات رئيسية يُصنع منها جميع أنواع الزيوت بعد مزجها بالإضافات الكيميائية المحسنة الأخرى [7] وهي:

المجموعة الأولى (Group I): صُنفت زيوت الأساس لهذه المجموعة بحيث تنخفض نسبة الجزيئات الهيدروكربونية المشبعة عن 90%، ونسبة الكبريت أكبر من 0.03%، ويتراوح دليل اللزوجة ما بين 80 إلى 120، ومجال درجة الحرارة لها ما بين °F (150÷30)، تُستخلص هذه المجموعة بالمذيبات فقط وهي أبسط وأرخص عمليات التكرير.

المجموعة الثانية (Group II): تعرف هذه المجموعة من زيوت الأساس على أنها تحوي أكثر من 90% من الجزيئات الهيدروكربونية المشبعة، ونسبة الكبريت فيها أقل من 0.03%، ويتراوح أيضاً دليل اللزوجة فيها ما بين 80 إلى 120، تنتج من عمليات المعالجة الهيدروجينية، تمتاز بصفاء لونها ومقاومتها الجيدة ضد الأكسدة. هذه المجموعة هي الأكثر شيوعاً حالياً في الأسواق ويقترب سعرها من المجموعة الأولى.

المجموعة الثالثة (Group III): تكون فيها نسبة الجزيئات الهيدروكربونية أكبر من 90%، ونسبة الكبريت أقل من 0.03%، إلا أن دليل اللزوجة فيها أعلى من 120. تنتج هذه المجموعة بعملية التحطيم الهيدروجيني الشديد وبظروف عالية

من الحرارة والضغط لتعطي زيت أساس أكثر نقاوة وصفاء مما يجعلها على الرغم من أنها زيوت معدنية تبدو وكأنها اصطناعية.

المجموعة الرابعة (Group IV): زيوت الأساس في هذه المجموعة مركبات اصطناعية بولي ألفا أوليفينات (PAOs) تنتج من تفاعلات كيميائية وعمليات تركيبية وتصنيعية، تتمتع بمواصفات عالية لتجانس عدد وحجم وطول جزيئاتها، تتصف هذه المجموعة باستخدامها في مجال واسع من درجات الحرارة لارتفاع دليل لزوجتها، لذلك فهي كثيرة الاستعمال في درجات الحرارة المنخفضة والقاسية وفي تطبيقات الحرارة العالية.

المجموعة الخامسة (Group V): تصنف في هذه المجموعة أساس الزيوت الأخرى التي لم تذكر ضمن المجموعات الأربع السابقة، وهي زيوت أساس اصطناعية (تركيبية) تتضمن البولي أسترات (POE)، وبولي ألكان غليكول (PAG)، وبيرفلورو بولي ألكاليث (PFPAES)، والفوسفات إستر phosphateEster، والسيلكون silicone. إن الإسترات هي الأكثر استخداماً وشيوعاً في هذه المجموعة وتدخل في تركيب العديد من الزيوت لتحسين خواصها، إذ تتحمل الإفراط في الاستعمال عند درجات الحرارة العالية جداً وزيادة في ساعات العمل عند الاستخدام.

تؤثر عمليات المعالجة في إطالة العمر الاستثماري للزيت الأساس أثناء خدمته بتقليل ميوله للأكسدة وتحسين دليل لزوجته وخواصه الأخرى ونسب ما تحتويه من مركبات والتكلفة النسبية لها[3].

تسمى الزيوت المنتجة من المجموعات الأولى والثانية بالزيوت المعدنية mineral oils، ويمكن للمجموعة الثالثة أن تكون زيوت معدنية أو اصطناعية وذلك حسب تكنولوجيا مصفاة تكرير النفط، أما الزيوت المنتجة من المجموعة الرابعة والخامسة فتدعى بالزيوت الاصطناعية synthetic oils والتي تتصف بثبات حجم وطول جزيئاتها مما تكسبها خواص ومواصفات وجودة أداء عالية كما يسمح بتمديد فترة المسافات المقطوعة لاستبدالها.

أما الزيوت شبه الاصطناعية semi-synthetic oils والتي تدعى أيضاً بالزيوت الممزوجة فهي تنتج من مزج زيوت الأساس المعدنية مع زيوت الأساس الاصطناعية بحيث لا تتجاوز نسبة الأخيرة فيها عن 30%، والهدف منه الحصول على زيوت ذات نوعية جيدة ومواصفات عالية كتلك الموجودة في الزيوت الاصطناعية وذات كلفة منخفضة نسبياً كما هو الحال في الزيوت المعدنية.

أما بالنسبة لزيوت محركات الاحتراق الداخلي فإنها تُصنّف عالمياً وفق تصنيفين اثنين أساسيين، الأول حسب درجة اللزوجة وهو المعتمد من جمعية مهندسي السيارات (SAE)، والثاني حسب مستوى أداء وجودة الزيت المعتمد من معهد البترول الأميركي (API)، بالإضافة إلى تصنيف ثالث لابد من ذكره هو التصنيف وفق اتحاد المصانع الأوربية للسيارات (ACEA).

تم في دراستنا اعتماد زيت محركات الاحتراق الداخلي رباعي الشوط المعدني (ديلوكس) والمنتج من معمل مزج الزيوت بحمص المبين بالشكل (2)، أما الزيت الاصطناعي فهو من الزيوت المنتجة محلياً ماركة تريبتون ومطابق للمواصفات السورية القياسية بعد إجراء الاختبارات الأولية له.

الشكل (2) أصناف زيوت متعددة الدرجات المنتجة في معمل مزج الزيوت بحمص معبأة بالكالون

ينتج معمل مزج الزيوت بحمص زيوت المحركات المعدنية وحيدة الدرجة الصيفية والشتوية والزيوت متعددة درجات اللزوجة المختلفة والذي يوضحه الجدول (1).

الجدول (1) أنواع الزيوت المنتجة في معمل مزج الزيوت بحمص

	تسمية المنتج من معمل مزج الزيوت بحمص	التصنيف حسب SAE	التصنيف حسب API
1	زيت 10 شاق	SAE W10	API: CF
2	30 شاق عالي	SAE W30	API: CF
3	40 شاق عالي	SAE W40	API: CF
4	50 شاق عالي	SAE W50	API: CF
5	زيت مخصوص 15 ش/50	SAE 15W50	API: SG/CD
6	زيت مخصوص اكسترا 20ش/50	SAE 20W50	API: SG/CD
7	زيت ديلوكس 10ش/40	SAE 10W40	API: SL/CF
8	زيت سوبر 20ش/50	SAE 20W50	API: SL
9	زيت مخصوص 15ش/40	SAE 15W40	API: SF/CI-4

إن جميع الزيوت المستخدمة في هذا البحث لها درجة لزوجة ومستوى أداء متماثلة تماماً (SAE10W40 API:SL/CF) والتي تتوافق مع المواصفات القياسية السورية المحددة بالمواصفة القياسية السورية م ق س 2020:164 لزيوت تزييت محركات الاحتراق الداخلي متعددة الدرجات.

2-2-وقود البنزين Gasoline fuel

استخدم في هذا البحث وقود البنزين الممتاز الخالي من الرصاص (أوكتان 90) المنتج من مصافي التكرير السورية والذي يخضع للمواصفات القياسية السورية المحددة بالمواصفة القياسية السورية م ق س 2020:3473.

3-منهجية (طرائق) البحث Methods

تم في هذا البحث اعتماد الطريقة التجريبية العملية والمخبرية من خلال تجهيز منصتي اختبار متماثلتين تتضمن في أجزاء كل منهما محركين ثابتين متماثلين أيضاً بالمواصفات الفنية والتصميمية وتشغيلهما بالظروف الاستثمارية والمحيطية والمناخية نفسها وبآن واحد حيث أُستخدم في المحرك الأول زيت معدني سوري (ديلوكس) وفي الثاني زيت اصطناعي كلاهما لهما أيضاً درجات لزوجة متعددة واحدة ومستوى أداء نفسه (SAE10W40 API: SL/CF)، تم تشغيل المنصتين على مرحلتين اثنتين بأحمال مختلفة حتى 1200 ساعة عمل.

3-1-اختبارات زيوت المحركات:

Engines Oil Tests

إن تحليل الزيت عبارة عن سلسلة من الاختبارات المخبرية المستخدمة لتقييم حالة زيوت التزليق ومكونات التجهيزات والمعدات ومنها محركات الاحتراق الداخلي.

يمكننا بدراسة نتائج اختبارات تحليل الزيت المخبرية تحديد حالة العناصر وأجزاء المحرك، ومن مبدأ العلاقة بين السبب والنتيجة فإن حالة عينة الزيت المأخوذة من زيوت التجربة ستعكس تماماً حالة عناصر ومكونات المحرك.

كما يمكن من خلال تحليل الزيت الحصول على معلومات وبيانات قيمة ومهمة تؤدي إلى موثوقية أكبر لعمل المحرك وتحديد الحالة الفنية والعمر الاستثماري لذلك المحرك وتحقيق فترة أطول لعمل وخدمة كل من الزيت والمحرك بآن واحد.

كما يمكن من خلال التحليل الدوري والمنتظم للزيت الحصول على مخططات تمكننا من عدة تفسيرات للحالة واستكشاف الأخطاء والأعطال وإصلاحها وتوصيف المشاكل والتوصية بالحلول مما يعزز من تطبيق الصيانة التنبؤية والصيانة الوقائية [2].

ولابد هنا من سرد أهم تلك الاختبارات [4] والتي اعتمدت في بحثنا وهي:

3-1-1-اللزوجة الحركية Kinematic Viscosity

تعبر اللزوجة عن مقاومة السائل للجريان خلال زمن وحرارة معينة حيث تؤخذ للزيت عند الدرجتين 40°C و100°C.

تحدد اللزوجة الحركية للزيوت بقياس الزمن الذي يستغرقه انسياب حجم محدد من السائل تحت تأثير الجاذبية خلال

أنبوب شعري معاير موجود في مقياس اللزوجة، تقارن قيمة لزوجة الزيت المستعمل بالزيت الجديد (القيمة الصفرية) لتحديد تغيرات اللزوجة زيادةً أو نقصاناً.

3-1-2-رقم القلوية الكلية

Total Base Number (TBN)

يعبر رقم القلوية الكلية عن كمية المكونات القلوية الموجودة في الزيت والتي يمكنها معادلة النواتج الحمضية المتشكلة عن الاحتراق، إذ يبدأ الزيت الجديد برقم قلوية كلي عالي ثم ينخفض خلال الخدمة. إن رقم القلوية الكلية عنصر جوهري وأساسي في توطيد فترة استخدام الزيت ومؤشر إلى قابلية وقدرة الإضافات على تزويد المحرك بالحماية الكافية، كما يدل على مدى التغيرات النسبية التي تحدث في الزيت خلال الاستعمال بغض النظر عن لون الزيت وخواصه الأخرى.

3-1-3- نقطة الوميض Flash Point

وهي درجة الحرارة التي يبدأ عندها الزيت بالاشتعال عند تعرضه للهب أو الشرارة. تُعدُّ نقطة الوميض إحدى الخصائص المهمة للزيوت لئلا يشتعل الزيت في المحرك أثناء الاستثمار تحت الظروف القاسية في عمله من درجة حرارة وضغط عاليين. يُعدُّ تغيرها بشكل كبير عن القيمة المحددة في الزيت الجديد مؤشراً على تسرب الوقود أو الماء إلى دارة التزييت في المحرك.

3-1-4- تحليل معادن الاهتراء

Wear Metals Analysis

يستخدم التحليل العنصري لتقييم العناصر المعدنية والعناصر المضافة للزيت وعناصر تلوثه وتحديدها. يتم تحليل معادن التآكل لتصويب مناطق الخلل من خلال أثرها في التحليل، كما يتم تحليل عناصر التلوث لتحديد صلاحية زيت التزليق وتحديد أسباب المشكلات التي تشير إليها نتائج الاختبارات الأخرى.

يوضح الجدول (2) مصادر العناصر التي يتم تحليلها ووظيفتها في المحرك [2]

الجدول (2) مصادر المعادن في المحرك ووظائفها

العنصر	المصدر	الوظيفة
الحديد Fe	كتلة المحرك، المسننات، حلقات المكبس، الأعمدة، المحامل، جدار الأسطوانة، القمصان، رأس الأسطوانة، الصدأ	نظراً لمتانة الحديد فإنه يدخل في أساس تركيب الفولاذ في العديد من أجزاء المحرك، وبسبب قابليته للصدأ يتم سباكته بخلائط معادن أخرى (كروم، نيكل، ألمنيوم،...إلخ) ليكوّن الفولاذ
الكروم Cr	الأعمدة والمحاور، حلقات المكبس، دارة تبريد المحرك	نظراً لقساوته ومتانته تطلى الأعمدة وحلقات المكبس به ويكون مترافقاً مع الفولاذ (أطرى)، كما يُسبك خلائطياً مع الحديد والفولاذ لتقويته
النحاس Cu	محامل الأعمدة، الجلب، مشع الزيت (مبرد الزيت)، مشع تبريد المحرك (مبرد الماء)	يستعمل النحاس ليتآكل أولاً ويحمي باقي المكونات من التآكل، ونظراً لطواعيته بالتشكيل فإنه يستخدم بجلب مضاجع العمود المرفقي

4-الأدوات والتجهيزات المستخدمة

Instrument & equipment

يبين الجدول (3) أدناه الأجهزة المستخدمة في هذا البحث لإجراء اختبارات الزيت وأنواعها والطريقة القياسية المتبعة لكل اختبار والتي أنجزت في مخبر الزيوت لدى مركز الدراسات والبحوث العلمية والذي يعد الجهة المعتمدة لإجراء الدراسات العلمية والتحاليل المخبرية اللازمة لتطوير الزيوت بالتعاون مع معمل مزج الزيوت بحمص فيما يتعلق بزيوت المحركات.

الجدول (3): أجهزة اختبارات البحث

اسم الجهاز	نوعه	الشركة الصانعة	الاختبار المنجز	الطريقة المتبعة
مقياس اللزوجة Viscometer	يدوي Manual/Ostwald	Cannon/ Fenske	اللزوجة الحركية عند درجتي الحرارة 40 و100 م°	ASTM D445

مقياس رقم الحموضة والقلوية الكلية Potentiometer	أتوماتيكي Automatic	Metrohm	رقم القلوية الكلية (TBN)	ASTM D2896
			رقم الحموضة الكلية (TAN)	ASTM D664
جهاز مطيافية الامتصاص الذري Atomic absorption spectroscopy	أتوماتيكي Automatic	Pye Unicam SP	تحديد تركيز العناصر المعدنية في الزيوت بطريقة مطيافية الامتصاص الذري	ASTMD2788 – D3605
مقياس نقطة الوميض flash point test meter	يدوي ذو الكأس المفتوح Manual/Cleveland Open Cup	SUR-Berlin	نقطة الوميض	ASTM D92

5-التجارب العملية Experiments

يقتضي مقارنة أثر استخدام كلاً من زيت المحرك المعدني والاصطناعي على تآكل أجزاء محرك بنزيني إجراء تجارب تشغيل عملية تجريبية على محركي احتراق داخلي ثابتين يعملان بوقود البنزين وأخرى اختبارات تحليلية مخبرية دورية لزيوت محركات التجارب العملية حيث يُملأ حوض علبة المرفق للمحرك الأول بزيت محرك معدني والمحرك الثاني بزيت اصطناعي.

يُشغّل المحركان على التوازي بآن واحد ضمن الشروط الاستثمارية والمحيطية والمناخية السائدة في سوريا.

يتطلب ذلك اختبار الزيتين بشكل دوري عند عدد ساعات عمل متواترة كل 100 ساعة عمل وذلك على مرحلتين بإجرائيات محددة سيأتي شرحها بالتفصيل لاحقاً، يتم تفريغ الزيوت من أحواض محركي المنصتين دورياً بعد كل مائة ساعة عمل متعاقبة وتؤخذ عينات مخبرية لاختبار مواصفات الزيت الفيزيائية والكيميائية من خلال تحليل الزيت لدى مركز الدراسات والبحوث العلمية للوصول إلى أثر استخدام كلاً من الزيت المعدني السوري والاصطناعي على تآكل الأجزاء الداخلية للمحرك، مع التحقق في كل عينة من عدم انهيار أو اقتراب قيم أحد نتائج الاختبارات من الحدود الاحترازية الأكثر أماناً والمعتمدة عالمياً معياراً لصلاحية الزيت [8] كما هي موضحة في الجدول (4) مع الحفاظ على مستوى الزيت في حوض المحرك بشكل ثابت تقريباً.

الجدول (4) القيم الاحترازية المعتمدة معياراً لصلاحية الزيت

المواصفات	الحدود الاحترازية المعتمدة عالمياً
اللزوجة الحركية عند الدرجتين 100℃و40℃	±35%
رقم القلوية الكلية	انخفاض > 2
نسبة الحديد	200(PPM) <
نسبة النحاس	40 (PPM) <
نسبة الكروم	20 (PPM) <

5-1-تنفيذ خطة التجارب العملية

تجهيز منصتي الاختبار:

تم تجهيز وتشغيل منصتي اختبار متماثلتين تماماً تتضمن الواحدة منهما مجموعة توليد كهربائية لها المواصفات الفنية المبينة في الجدول (5) بالإضافة إلى الأحمال الكهربائية ومجموعة مبينات وأجهزة قياس كما يوضحه الشكل (3) لمكوناتها التفصيلية.

الجدول (5) مواصفات مجموعة التوليد الكهربائية

الطراز	SUNSHOW SS1800
التواتر	50 HZ
الاستطاعة العظمى	KVA 1.1
معدل الاستطاعة	850 VA
التوتر	220 – 230 V
الطور	أحادي
الوقود	بنزين
الصانع	Shanghai Sunshow Mechanical & Electrical Ltd. Co.,
بلد المنشأ	الصين

سعة حوض التزييت	0.4 L
الرقم المميز لمحرك المنصة الأولى	EA01765
الرقم المميز لمحرك المنصة الثانية	EA01722

تجهيز زيوت التجارب العملية

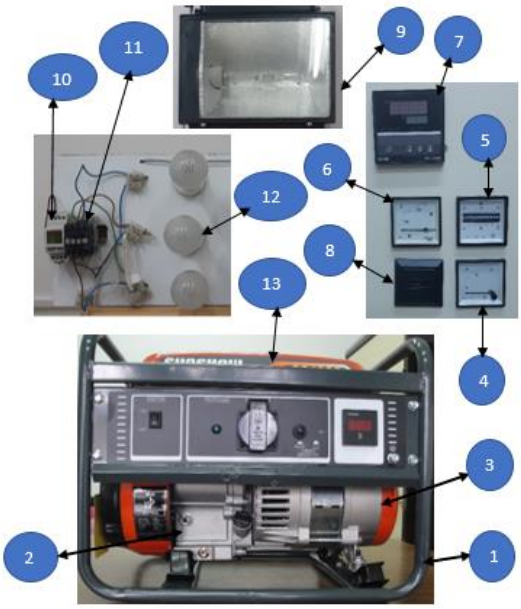
تم ملء أحواض علبة المرفق لمحركي منصتي الاختبار بزيوت محركات لهما درجات لزوجة واحدة ومستوى أداء نفسه SAE 10W40 API: SL/CF حيث وُضع في محرك المنصة الأولى زيت محرك معدني (ديلوكس) المنتج في معمل مزج الزيوت بحمص وفي محرك المنصة الثانية زيت محرك اصطناعي منتج محلياً ماركة تريبتون بغية المقارنة، وقد بلغ التشغيل الكلي لكل من المنصتين /1200/ ساعة عمل وفق مرحلتي اختبار وذلك خلال عام ونيف من فترة إجراء التجارب.

التشغيل وأخذ عينات زيوت الاختبارات

تم تشغيل المنصتين على التوازي بأحمال مختلفة على مرحلتين لتحقيق ظروف عمل متعددة لمحركات التجربة من ظروف تشغيل عادية إلى ظروف تشغيل شاقة لاستنباط النتائج بكلا الحالتين وسنوضح فيما يلي هاتين المرحلتين بالتفصيل على النحو التالي:

المرحلة الأولى: تشغيل المنصتين على التوازي بحمل ثابت ومستقر مساوٍ 50% من معدل الاستطاعة لمنصات الاختبار عند عدد دورات ثابت 3000 د/د للعمود المرفقي للوصول إلى 900 ساعة عمل وبذلك نحقق ظروف عمل عادية للمحرك في هذه المرحلة.

المرحلة الثانية: تشغيل المنصتين على التوازي بعد انتهاء المرحلة الأولى مباشرة بحمل كهربائي متغير من خلال المؤقت الزمني والفاصل الواصل الكهربائي (10 و11 من الشكل 3) وفق المخطط الزمني المبين في الشكل (4).

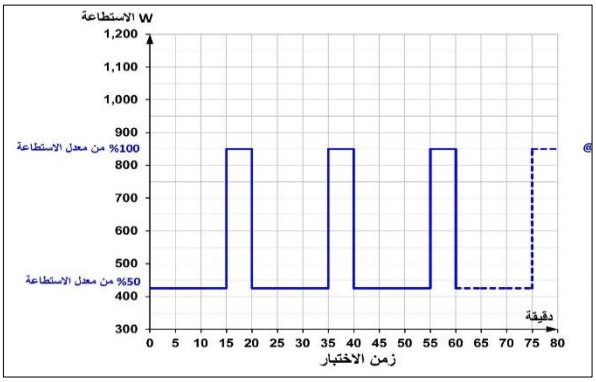


الشكل (3) الأجزاء التفصيلية لواحدة من منصتي الاختبار حيث أن: 1 مجموعة توليد كهربائية، 2 محرك بنزين، 3 منوبة كهربائية، 4 مقياس تيار، 5 مقياس تواتر، 6 مقياس توتر، 7 مقياس حرارة، 8 عداد ساعات العمل، 9 حمل كهربائي أساسي= 50% من معدل الاستطاعة، 10 مؤقت زمني، 11 فاصل واصل كهربائي، 12 مجموعة أحمال كهربائية إضافية = 50% من معدل الاستطاعة، 13

تتضمن كلاً من منصتي الاختبار محرك احتراق داخلي بنزيني له المواصفات الفنية والتصميمية نفسها إلا أن لكلٍ منهما رقم تسلسلي مصنعي مميز كما يبينه الجدول (6)، وهذا أمر بالغ الأهمية عند اختيارنا لمجموعات التوليد الكهربائية إذ يدل ذلك على الجودة المطلوبة والسمعة الجيدة للشركة الصانعة ويحقق الموثوقية اللازمة خلال إنجاز التجارب العملية.

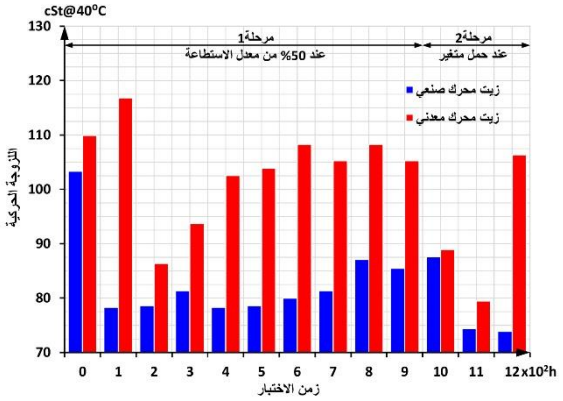
الجدول (6) مواصفات محرك الاحتراق الداخلي

الطراز	SS154FO
عدد الأسطوانات	واحدة
النوع	رباعي الشوط تبريد هوائي
سعة الأسطوانة	78 cm^3
الشوط × قطر الأسطوانة	54 × 38 mm
سرعة الدوران	3000 rpm
الوقود	بنزين خالي من الرصاص



الشكل (4) المخطط الزمني لتغير الحمل خلال ساعة عمل واحدة

حيث يتم التشغيل بشكل متواتر خلال ساعة العمل الواحدة بحمل مساوٍ 50% من معدل الاستطاعة لمنصة الاختبار لمدة 15 دقيقة، ثم بحمل مساوٍ 100% من معدل الاستطاعة لمدة 5 دقائق وهكذا دواليك للوصول إلى 1200 ساعة عمل وذلك عند عدد دورات ثابتة 3000 د/د للعمود المرفقي للمحرك، وبذلك يتغير الحمل بشكل مفاجئ 6 مرات خلال ساعة العمل الواحدة مما يحقق ظروف خدمة شاقة للمحرك في هذه المرحلة. يتم خلال مرحلتي التجارب العملية تفريغ وتبديل زيت أحواض المرفق للمحركين كل 100 ساعة عمل بعد توقف المحرك عن العمل مباشرة ووضعها في عبوات بلاستكية معقمة حيث تُرسل كعينات مخبرية لإجراء سبعة اختبارات لكل عينة زيت (لزوجة حركية عند الدرجة 100°C وعند الدرجة 40°C، رقم قلوية كلي، ودرجة وميض، واختبارات تحليل عناصر التآكل المعدنية من حديد Fe ونحاس Cu وكروم Cr.

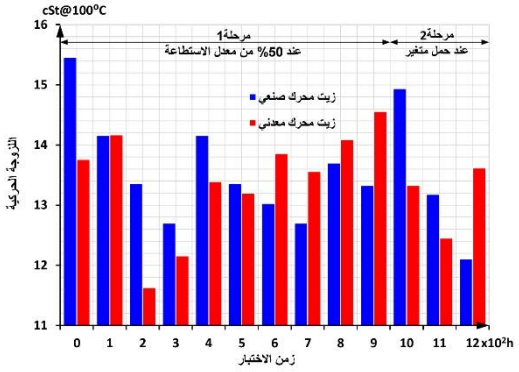


الشكل (5) منحنيات تغيرات اللزوجة الحركية عند درجة الحرارة 40°م بدلالة عدد ساعات العمل

ولابد من التنويه هنا أن الغاية من اختبارات اللزوجة ونقطة الوميض ورقم القلوية الكلي هو التحقق ونفي عدم انهيار أو تراجع قيم أي منها والتي قد تكون سبباً في حدوث تآكل أو خلل في التجارب العملية وصحة النتائج، كما يُراعى عند كل عملية لتبديل الزيت تنظيف المحرك من الداخل بزيت جديد وتشغيله مدة 5 دقائق وتفريغه مجدداً وتعبئة زيت جديد تحضيراً للتشغيل للمائة ساعة عمل اللاحقة لضمان عدم وجود بقايا من الزيت المستعمل السابق.

5-2-النتائج والمناقشة

Results and discussion



الشكل (6) منحنيات تغيرات اللزوجة الحركية عند درجة الحرارة 100°م بدلالة عدد ساعات العمل

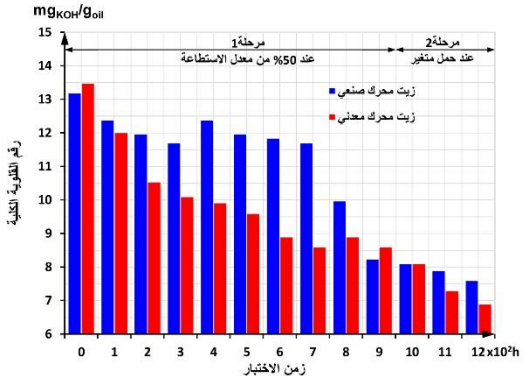
بعد إجراء الاختبارات والتحاليل المخبرية على جميع عينات زيوت التجربة للزيت المعدني السوري (ديلوكس) والزيت الاصطناعي المحلي والمأخوذة من محركي منصتي التجربة العملية دورياً كل مائة ساعة عمل للوصول حتى 1200 ساعة عمل وفق مرحلتي التجربة فقد تم رسم المخططات البيانية من قيم نتائج التحاليل المخبرية لكل من اللزوجة ورقم القلوية الكلية ونقطة الوميض وعناصر التآكل (الاهتراء) المعدنية من حديد Fe ونحاس Cu وكروم Cr بدلالة عدد ساعات العمل التشغيلية ومقارنتها بالحدود الاحترازية المعتمدة عالمياً ومناقشة تلك النتائج وفق المخططات والمنحنيات الآتية:

5-2-1-المنحنيات البيانية للزوجة الحركية:

تذبذبت اللزوجة خلال مرحلتي التجربة باتجاه الزيادة والنقصان وبقيت ضمن الحدود الاحترازية المقبولة والتي لا تؤثر بأية حالة منها على نتائج التآكل للمحرك كما هو موضح في الشكلين(5 و6) ويعود سبب هذا التذبذب باتجاه الانخفاض إلى أن اللزوجة انعكاس لتأثيرات وعوامل عديدة ومختلفة منها حرارة المحرك بظروف متغيرة وزيادة الأحماض المتشكلة في الزيت والتي يرافقها انخفاض الإضافات القلوية واستنزاف الإضافات المانعة للأكسدة مما يتيح أكسدة وتفكك الزيت، ومن جهة أخرى يرافق ذلك استنزاف للإضافات المانعة للاهتراء والتي ستزيد من إجهادات القص المطبقة على الزيت مما يخفض اللزوجة، وبالتالي نلاحظ من الشكل (5) أن اللزوجة للزيت الاصطناعي قد تذبذبت بشكل واضح باتجاه الانخفاض عند درجة الحرارة 40 ºC وبشكل واضح خلافاً للزيت المعدني الذي تذبذب باتجاه الزيادة والنقصان.

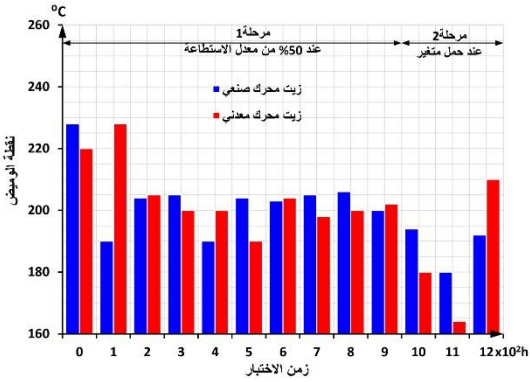
5-2-2- المنحنيات البيانية لرقم القلوية الكلية:

يبين الشكل (7) انخفاض رقم القلوية الكلية بدلالة عدد ساعات العمل خلال المرحلة الأولى من التجارب العملية والتي بدأت بقيمة عالية للزيت الجديد والتي تعبر عن كمية الإضافات القلوية الموجودة في الزيت وقدرتها على معادلة النواتج الحمضية المتشكلة فيه نتيجة تلامس الزيت بنواتج غرفة احتراق المحرك، وهذه النواتج ستخفض الإضافات القلوية وتستنزفها لتصل إلى أدنى قيمة لها إلا أنها بقيت أكبر من القيمة الاحترازية المسموح بها عالمياً. إن هذا الانخفاض التدريجي المقبول نتيجة زيادة النواتج الحمضية المتشكلة ستؤدي لاستنزاف الإضافات القلوية وستزيد من التآكل (الاهتراء) ونلاحظ أن انخفاض رقم القلوية الكلي للزيت المعدني أشد منه للزيت الاصطناعي في المرحلة الأولى. أما في المرحلة الثانية من التجارب العملية فقد كان الانخفاض أكبر نسبياً بشكل واضح لكلا الزيتين.



الشكل (7) منحنيات رقم القلوية الكلية بدلالة عدد ساعات العمل

5-2-3 المنحنيات البيانية لنقطة الوميض:



الشكل (8) منحنيات رقم نقطة الوميض بدلالة عدد ساعات العمل.

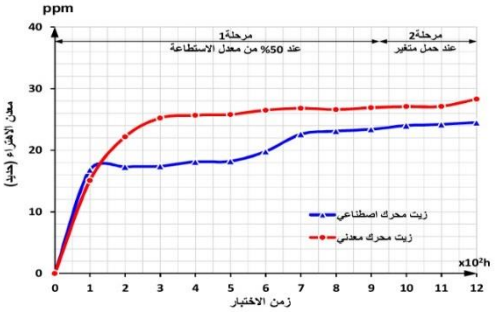
انخفض مؤشر نقطة (درجة) الوميض كما يوضحه الشكل (8) بشكل تدريجي طفيف وضمن الحدود المقبولة مما يدل على عدم تسرب للوقود إلى دارة تزييت المحرك، حيث أن انخفاض نقطة الوميض بنسبة أكبر من 30% دليلاً على ذلك ومؤشراً على الحالة الفنية للمحرك.

5-2-4 المنحنيات البيانية لنسب معادن وعناصر (التآكل) الاهتراء:

أنجزت اختبارات مطيافية الامتصاص الذري بدلالة عدد ساعات العمل لتحديد نسبة العناصر والمعادن المتآكلة في محركي منصتي الاختبار والتي تصوّب نحو الهدف المنشود من هذا البحث فكانت النتائج على النحو الآتي لكل من العناصر التالية:

5-2-4-1-الحديد Fe:

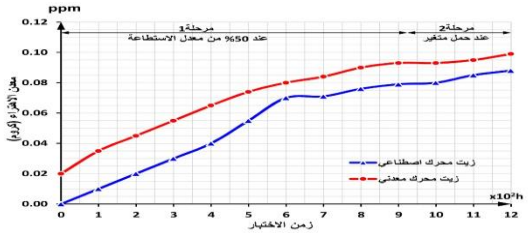
يتضح من الشكل (9) أن تغير نسبة اهتراء معدن الحديد Fe للزيت الاصطناعي أقل منه للزيت المعدني على كامل فترة التشغيل البالغة 1200 ساعة عمل حيث ابتدأت المنحنيات في المرحلة الأولى بشكل خطي بقيمة عالية نسبياً حتى 100 ساعة عمل الأولى والذي يبرره فترة الترويض (الرواج) لمحركي التجربة خلال بداية التشغيل بساعات العمل المائة الأولى، كما نلاحظ بعدها استقرار معدل التآكل للحديد بشكل انسيابي وتدريجي مع تقدم عدد ساعات العمل وذلك خلال مرحلتي التجارب العملية وبقيت جميع القيم لكافة الزيوت ضمن الحدود الاحترازية المعتمدة عالمياً والمسموح بها.



الشكل (9) منحنيات نسبة الحديد Fe بدلالة عدد ساعات العمل

5-2-4-2- الكروم Cr:

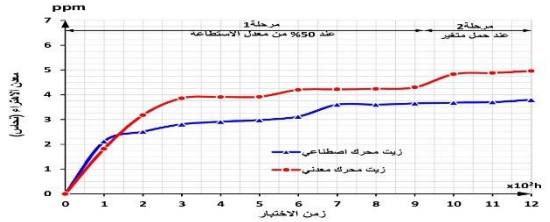
يتضح من الشكل (10) أن تغير نسبة اهتراء معدن الكروم Cr ضئيلة جداً مقارنة بمعدن الحديد وهذا يفسره أن الكروم أقسى من الحديد والذي بدوره يقاوم الاهتراء بشكل أكبر. كما نلاحظ أن الازدياد في المرحلة الثانية باطراد لكلا الزيتين، وبقيت قيم الزيت الاصطناعي أقل منها للزيت المعدني. كما نلاحظ أن جميع القيم لكلا الزيتين بقيت ضمن الحدود الاحترازية المعتمدة عالمياً والمسموح بها.



الشكل (10) منحنيات نسبة الكروم Cr بدلالة عدد ساعات العمل

5-2-4-3-النحاس Cu:

يتضح من الشكل (11) أن تغير نسبة اهتراء معدن النحاس Cu للزيت الاصطناعي أقل منه للزيت المعدني على كامل فترة التشغيل البالغة 1200 ساعة عمل.



الشكل (11) منحنيات نسبة النحاس Cu بدلالة عدد ساعات العمل

كما نلاحظ كما في الحديد أن المنحنيات ابتدأت بشكل خطي بقيمة عالية نسبياً حتى 100 ساعة عمل الأولى والذي يبرره فترة الترويض (الرواج) لمحركي التجربة خلال بداية التشغيل بساعات العمل المائة الأولى، كما نلاحظ بعدها استقرار معدل التآكل للنحاس بشكل انسيابي وتدريجي مع تقدم عدد ساعات العمل، كما يلاحظ زيادة في قيم الزيت المعدني نسبياً عن الزيت الاصطناعي وبشكل واضح. إلا أن جميع القيم لكلا الزيتين بقيت ضمن الحدود الاحترازية المعتمدة عالمياً والمسموح بها.

وبالمجمل تبين نتائج التجربة العملية والتحاليل المخبرية والمنحنيات البيانية لمرحلتي التجارب ولكلا محركي التجربة أن جميع القيم ضمن الحدود المقبولة والمسموح بها لصلاحية الزيت مقارنة بالقيم الاحترازية المعتمدة عالمياً وأن الزيت الاصطناعي تصدر التفوق على الزيت المعدني حيث انخفضت قيم تآكل المعادن للزيت الاصطناعي عنه للزيت المعدني بنسب مختلفة لكل معدن من معادن التآكل المدروسة، إذ انخفضت بشكل وسطي بالنسب الآتية: للحديد 33%، للنحاس 25.5%، وأخيراً الكروم 29% وذلك على مرحلتي التجارب العملية بأحمال مختلفة عادية وشاقة ولمحرك بنزيتي ثابت الدوران 3000 د/د، وبهذا نكون قد توصلنا إلى الهدف والغاية المنشودة من هذا البحث.

وهذا يفسره اختلاف تركيب وبنية الزيتين إذ أن الزيت الاصطناعي هو زيت تركيبي يتصف بثبات حجم وطول جزيئاته وتجانسها مما يقلل من الاحتكاك والتآكل، أما الزيت المعدني بتركيبه عبارة عن سلاسل هيدروكربونية مختلفة الأطوال والجزيئات يتخلله عناصر غير مرغوب بها.

6-خلاصة البحث (الاستنتاجات)

Conclusion:

نستخلص من هذا البحث الاستنتاجات الآتية:

1) أن أثر استخدام الزيت الاصطناعي على تآكل المحرك أفضل من الزيت المعدني السوري (ديلوكس) بدرجة لزوجة متعددة ومستوى أداء نفسه (SAE10W40 API:SL/CF) وذلك لمحركات البنزين الثابتة صغيرة الاستطاعة ذات سرعة الدوران الثابتة عند 3000 د/د وعند حمولات متغيرة وفق منهجية وطريقة هذا البحث، حيث أظهرت جميع القيم لنسب تآكل المعادن المدروسة انخفاضاً نسبياً لها، إذ انخفضت بشكل وسطي بالنسب الآتية: للحديد 33%، للنحاس 25.5%، وأخيراً للكروم 29%.

2) حافظ الزيت المعدني السوري (ديلوكس) على قيم جيدة ومقبولة بعيدة عن القيم الاحترازية من خلال نتائج التحاليل المخبرية وهذه نتيجة إيجابية له.

3) تُعدُّ نتائج هذا البحث مهمة لمعمل مزج الزيوت بحمص وللشركات السورية المنتجة لزيوت المحركات وللقطاعين العام والخاص.

4) يساهم هذا البحث في تعزيز الصيانة التنبؤية للمحركات إذ يمكننا من خلال اختبارات زيوت المحركات معرفة الحالة الفنية لمحرك الاحتراق الداخلي والعمر الفني له دون فكه وتحديد الإصلاح الرئيسي للمحرك (عمرة المحرك) مما يخفض من تكاليف الصيانة ويوفر كلاً من الوقت والجهد.

7-التوصيات والمقترحات

Recommendation&Suggestions:

(1) ضرورة دراسة انعكاس الجدوى الاقتصادية على هذه الاستنتاجات والتي قد تظهر تفوق الزيت المعدني السوري (ديلوكس) على الزيوت الأخرى.

(2) إجراء اختبارات على محركات تعمل على وقود البنزين وأخرى تعمل على الديزل وذلك عند سرعات دوران متغيرة ومختلفة.

(3) إجراء مقارنة وفق منهجية البحث المتبعة على زيوت محركات متطورة حديثة أخرى منتجة في معمل مزج الزيوت بحمص وذلك على أسطول من الآليات الحديثة توضع للتجربة العملية مما يساهم في تحديد أثرها على العمر الفني لمحركات تلك الآليات.

مسرد المصطلحات والاختصارات والرموز:

Glossary (Nomenclature)
ACEA: Association des Constructers Europeans' d' Automobiles.
API: American petroleum institute.
ASTM: American Society for Testing and Materials.
C: Commercial.
Cr: Chromium.
cSt: Centi Stockes
Cu: Copper.
Fe: Iron.
ICE: Internal combustion engine.
hr.: Hour
ODI: Oil drain intervals.
ppm: Part per million.
rpm: Revolutions Per Minute
S: Service.
SAE: Society of Automotive Engineers.
TAN: Total acid number.
TBN: Total base number.
UOA: Used oil analysis.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

References:

[1] Devlin, M., Guevremont, J., Hewette, C., Ingram, M. et al., "Effect of Metallurgy on the Formation of Tribofilms and Wear Prevention," SAE Technical Paper 2017-01-2357, 2017.

[2] The effect of cylinder liner surface topography on abrasive wear of cylinder-piston assembly in combustion engine; Wear; Volume 271, Issues 3–4, 3 June 2011, Pages 582-589; https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.05.006Get rights and content

[3] Cuthbert, J., Gangopadhyay, A., Elie, L., Liu, Z. et al., "Engine Friction and Wear Performances with Polyalkylene Glycol Engine Oils," SAE Technical Paper 2016-01-2271, 2016, https://doi.org/10.4271/2016-01-2271

[4] عرنوس حسين، *بلاغ رئاسة مجلس الوزراء* رقم 15/17/د تاريخ 29/11/ 2020

[5] كلاس محمد ماهر، وسلام ثائر، وساعود يونس. *"تحديد العمر الاستثماري للزيت السوري المعدني المستخدم في محرك بنزيني يعمل على الغاز الطبيعي المضغوط"*، 2013، ص 162، درجة الماجستير في هندسة المحركات والآليات. قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة. كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية. جامعة دمشق، سوريا.

[6]Oil Analysis Technical Guide, Analysis Plus Test Predictors, Copyright© 2007, p25, ConocoPhillips Company, USA.

https://www.phillips66.com/analysisplus/test-predictors/. 13,1,2023.

[7] Noria Corporation, Base Oil Groups Explained, Machinery Lubrication (10/2012); http://www.machinerylubrication.com/Read/29113/base-oil-groups, 13,1,2023.

[8]Denis, J; Briant, J; Hipeaux, C. Lubricant properties analysis and testing, Editions Technip, p: 432, Paris, France, 2000.

[9]Donald J, and Shirley E, *Lubrication* Engineering, Automotive engine oil condition monitoring, September 1994.

[10] Sunshow Owner's manual SS1800& SS1800-D, Shanghai Sunshow Mechanical & Electrical Co., Ltd, p: 22, Shanghai, China.