دراسة خصائص زيوت التزليق المحليّة وتحسين هذه الخصائص باستخدام بعض الاضافات

محمد زعرور* حسن وسوف** عبد الإله الشيخ حمود***

الملخص :

تمَّ في هذا البحث دراسة لخصائص بعض أنواع زيوت محركات البنزين والديزل المتداولة في السوق المحلية في مدينة حمص لذلك تمَّ دراسة أربع عينات من زيوت محركات السيارات الأكثر استخداماً ذات الدرجة 10W40 المعروفة بالأسماء التجارية التالية : تي إكس تي و بترومين و توتال و سوبر روميلان . وتمَّ إجراء الإختبارات التالية : قياس اللزوجة عند درجة حرارة 40 C° و 100 C° ودليل اللزوجة – ثباتية القص – درجة الانصباب – درجة الوميض– رقم القلوية الكلية (T.B.N) – الرماد المكبرت – تآكل الصفيحة النحاسية – قابلية الإرغاء – فقدان الوزن بالتبخر – نسبة التوتياء المئوية – نسبة الكبريت المئوية ومقارنتها مع المواصفات القياسية السورية ، بعد ذلك تمَّ تحضير زيت 10w40 مخبرياً واستخدمت بعض الإضافات بنسب معينة لتحسين خصائص هذا الزيت بالمقارنة مع خصائص الزيوت المدروسة .

الكلمات المفتاحية : زيوت أساس – دليل اللزوجة – درجة الانصباب– رقم القلوية الكلية إضافات زيوت التزليق .

* طالب ماجستير كيمياء تطبيقية – قسم الكيمياء– كلية العلوم – جامعة تشرين
** أستاذ مساعد في قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة تشرين
*** أستاذ في قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة البعث

Studying the properties lubricants oil local and improve these properties using some additions

Abstract :

in this research the properties of some of the most commonly used gasoline and diesel engine oils were studied in the local market in homs so studied four samples of automotive engines oils the most commonly class 10w40 known the following brand names with a TXT – PETRO MIN-TOTAL-ROMELLAN . the following tests were performed measurement the viscosity is at 40 C˚and 100 C˚- viscosity index – shear stability – pour point flash point – total base number (TBN) – sulphated ash – copper strip corrosion – foaming – evaporation loss – zinc content – sulfur content and compare it with the syrian standar specification . after that oil was prepared 10W40 in laboratory some additives were used is specific rate to improve some properties of this oil compared with the

properties of previous oils .

Keywords :

base oils – viscosity index - pour point - total base number - additives lubricants oil .

المقدمة :

استخدم الإنسان منذ القدم الزيوت النباتية والشحوم الحيوانية لتزليق العجلات والقطع المتحركة كما استخدمت الزيوت والشحوم المعدنية الطبيعية التي كانت تستخرج من مناطق مختلفة ، ومع توصل العلم إلى استخراج النفط وتكريره وتكسيره منذ أوائل القرن التاسع عشر تنوعت منتجات النفط والزيوت المستخرجة منها وغدت ضرورة لا يستغنى عنها لتزليق مختلف القطع المتحركة في المركبات والمعدات والرافعات وغيرها.

يتمّ الحصول على قطفات زيوت التزليق بمختلف أنواعها من بواقي التقطير الجوي للنفط وذلك على ثلاثة مراحل أساسية [1]:

1- التقطير التخلخلي للحصول على القطفات الزيتية الخام : يتم في هذه المرحلة الحصول على القطفات الزيتية المختلفة اللزوجة ضمن مجالات الغليان الآتية (300 C°-C° 350) و (C°351- C° 420) و (C° 421- C° 450) وعلى بواقي التقطير التخلخلي .

2- تنقية القطفات الزيتية الخام والحصول على زيوت الأساس : تحتوي القطفات الزيتية الخام الناتجة عن التقطير التخلخلي مركبات غير مرغوب فيها مثل : المركبات الحمضية والأوليفينية ، المركبات العطرية متعددة الحلقات ذات السلاسل الجانبية القصيرة ، الهيدروكربونات الصلبة ، المركبات الكبريتية والآزوتية و الأوكسجينية المركبات الإسفلتية والراتنجية . ويتم في هذه المرحلة نزع الإسفلت من بواقي التقطير التخلخلي ، التنقية الانتقائية ، نزع البارافينات ، التنقية الهيدروجينية .

3- إنتاج زيوت التزليق التجارية : تمزج زيوت الأساس مع بعضها البعض بنسب محددة للحصول على منتج زيتي بخصائص محددة بعدها يتم مزجها مع الإضافات بنسب محددة أيضا لتحسين خواصها التشغيلية أو إكسابها خواص تتناسب مع مجال استخدامها.

إن وظيفة زيوت التزليق بشكل عام هي تشكيل طبقة رقيقة بين السطوح المنزلقة فهي تحوّل الاحتكاك الجاف (الذي ترافقه حرارة) إلى احتكاك لين (دون حرارة) نتيجة التزليق الجيد لسطوح الاحتكاك ويؤدي ذلك إلى توفير الطاقة الضائعة والحفاظ على جودة السطوح ومنع تآكلها أو جرحها أي يخفض التزليق من خسارة الطاقة والمواد بواسطة مادة زلقة فوق أماكن احتكاك قطع الآلات والمحركات [2] .

تصنيف زيوت التزليق [3] :

تصنف زيوت التزليق **<u>حسب اللزوجة</u>** وفقا لجمعية مهندسي السيارات الأميركية SAE إلى:

زيوت شتوية أحادية درجة اللزوجة هي SAE0W , 5W,10W,15W,20W,25W

زيوت صيفية أحادية درجة اللزوجة هي :SAE20,30,40,50,60 غير مخصصة للاستخدام في فصل الشتاء .

زيوت متعددة الدرجات مثال :SAE10W40 , SAE5W30 ..... إلخ وهي الأكثر انتشارا حيث تعدل لزوجتها لتلبية خصائص كل من درجات الحرارة العالية والمنخفضة .

تصنف زيوت التزليق **<u>حسب الأداء</u>** وفقا لمعهد البترول الأميركي API :

((S...)) API أي مخصص للمحركات التي تعمل بالبنزين .

((C...)) API أي مخصص للمحركات التي تعمل بالديزل .

خصائص زيوت التزليق [4]:

1- منع أو تقليل حدوث إحتكاك صلب بين الأسطح المعدنية المتحركة .

2- تبريد أجزاء المحرك بنقل الحرارة .

3- تنظيف وتشتيت الرواسب المختلفة الناتجة عن عملية الاحتراق .

4- منع التسرب (منع دخول الماء والاتربة وسد الشقوق والفراغات) .

5- حماية أجزاء المحرك من الصدأ والتآكل والأكسدة حيث تحدث الأكسدة لأسطح

المعادن .

6- يجب أن تؤدي هذه الزيوت عملها في مجال واسع من الحرارة وأن تحافظ على خصائصها عند الاستخدام.

يجب أن تتوفر في زيوت التزليق الخصائص الكيميائية والفيزيائية الآتية[2] :

1- الثبات الكيميائي (مقاومة الأكسدة بأكسجين الهواء): تتأكسد الزيوت عند الاستخدام وتزداد أرقام حموضتها وتسوء خواصها التشغيلية نتيجة تشكل المركبات الحمضية وتجمعها في الزيت ، حيث تزيد الحموض منخفضة الوزن الجزيئي من سرعة تآكل المعدن أما الحموض المرتفعة الوزن الجزيئي تؤدي إلى زيادة رقم حموضة الزيت والتي تؤدي في النهاية إلى زيادة لزوجة الزيت وفقد خواصه التزليقية .

2- الخواص التزليقية : أي مقاومة الاحتكاك بين السطوح المعدنية المتحركة ومنع التآكل الميكانيكي وتلافي التحام السطوح المعدنية ويتجلى ذلك بقدرة الزيت على تشكيل طبقة زيتية رقيقة على السطوح المتلامسة .

3- الخواص اللزوجية – الحرارية : وهي أن تحافظ لزوجة الزيت على الغشاء بين الأجزاء المتحركة و قدرة الزيت على التبريد ومنع تسربه أو ضياعه من الأماكن غير محكمة السد ، ولا يجب أن تكون عالية إلى الحد الذي لا يمكن للزيت أن ينساب بصورة جيدة لجميع أجزاء المحرك .

فاللزوجة العالية تساهم في هدر طاقة المحرك وتسبب له صعوبات عند بداية الحركة أما اللزوجة المنخفضة تعرض أجزاء المحرك للاهتراء والتآكل وتؤدي لتدهور المحرك .

4- الخواص الدفاعية و التآكلية : أي قدرة الزيت على حماية السطوح المعدنية من تأثير المركبات الآكالة مثل الحموض إضافة" إلى الحماية من الرطوبة الجوية .

5- الخواص المنظفة – المشتتة : وهي انخفاض ميل الزيت لترسيب نواتج الأكسدة على أجزاء المحرك وقدرتها على إبقاء هذه الرواسب على شكل جزيئات معلقة مشتتة .

6- نقطة الانصباب :هي أدنى درجة حرارة يمكن ان يسكب عندها الزيت بصورة جيدة لذلك قامت بعض المؤسسات الدولية والمحلية مثل جمعية مهندسي السيارات وجمعية مصنعي السيارات الأوروبية بوضع معايير الأداء الخاصة بزيوت التزليق .

وذلك بناء على متطلبات صناع المحركات وهذه المتطلبات تختلف باختلاف تقنية التصنيع والظروف التشغيلية حسب نوع المنتج .

دور الإضافات في تحسين جودة زيوت التزليق:

إن استخدام زيوت أساس صافية كمواد تزييت في محركات الاحتراق الداخلي غير ممكن حيث أن زيوت الأساس بشكلها الخام لا يمكنها أن تلبي المتطلبات الواجب توافرها فيها وأن تحقق شروط العمل الصحيح لأجزاء المحركات وبالتالي لا يمكن استخدامها لفترة طويلة وسوف تخرج بسرعة من الخدمة لفقدانها السريع لخصائصها لذلك لابد من إضافة مواد محسنة لعمل الزيوت تدعى الإضافات [5] .

وذلك من أجل تحسين الخواص التشغيلية لزيوت الأساس و تخفيض كمية الزيوت المستهلكة وإطالة فترة عملها وخفض تكاليف صيانة المعدات .

تعريف الإضافات : هي مواد كيميائية تضاف بنسب محددة إلى زيوت الأساس بحيث تحسن بعض خواصها التشغيلية أو تمنحها خواص جديدة غير موجودة فيها ويمكن للإضافات أن تحسن خاصة أو خاصتين أو أكثر عند إضافتها [2] .

تصنيف الإضافات : تصنف الإضافات حسب وظيفتها إلى ما يلي :

1 – الإضافات المانعة للأكسدة .

2- الإضافات المانعة للحت والاحتكاك .

3- الإضافات المانعة للتآكل .

4- الإضافات المخفضة لدرجة الانصباب .

5- الاضافات المحسنة لدليل اللزوجة .

6- الإضافات المنظفة المشتتة . [2]

وظائف الإضافات :

1- الإضافات المحسنة للزوجة : تضاف من أجل تلافي التغير السريع للزوجة مع تغيرات درجة الحرارة والمحافظة على سيولة الزيت في درجات الحرارة المنخفضة و تؤدي المحسنات إلى لزوجة عالية للزيت في درجات الحرارة العالية ولزوجة منخفضة للزيت في درجات حرارة منخفضة . محسنات اللزوجة عبارة عن مواد عضوية مختلفة ذات وزن جزيئي كبير (بولميرات خطية) مثل : بولي إيزوبوتيلين [2] .

2- الإضافات المنظفة المشتتة : والتي تمنع من ترسب المواد غير المنحلة والمتشكلة في الزيت عل أسطح أجزاء المحرك وتعمل على إبقائها على شكل دقائق صغيرة معلقة وبالتالي تبقى أجزاء المحرك نظيفة ومغسولة .

ومن هذه الإضافات أملاح الكالسيوم والباريوم والمغنيزيوم .....

أو المركبات ذات السلاسل الألكيلية الطويلة تتصف بألفتها للزيوت وتحوي على مجموعات قطبية ذات وظيفة هيدروكسيلية ، كربوكسيلية ، فوسفاتية ، فينولية [2] .

3- الإضافات المحسنة للخواص التزليقية (الإضافات المقاومة للحت والاحتكاك) :

وهي الإضافات التي تخفض معامل الاحتكاك والإضافات التي تعيق حت وخدش السطوح المعدنية المتلامسة وتعيق التآكل الميكانيكي .

والإضافات المانعة للحت تختلف عن المقاومة للاحتكاك بأنها لا تشكل طبقة ممتزة فقط وإنما ترتبط كيميائيا مع سطح المعدن ، ومن الإضافات المانعة للاحتكاك الدهون الحيوانية والنباتية والصابون ومنتجات أكسدة الهيدروكربونات البارافينية، وكإضافات مقاومة للحت تستخدم المركبات العضوية الحاوية مجموعة قطبية أو أكثر و الآزوت والكبريت والفوسفور [2] .

4- الإضافات المانعة للأكسدة : التي تستخدم بهدف إعاقة أو إنقاص أكسدة الزيوت عند التخزين أو الاستخدام ويدخل في تركيب هذه الإضافات المركبات الكبريتية والآزوتية والفوسفورية والمركبات الألكيلية – الفينولية وبعض المركبات العضوية المعدنية [2].

5 – الإضافات المانعة للصدأ و التآكل : تضاف الإضافات المانعة للصدأ والإضافات المانعة للتآكل لحماية المعدن من التآكل الكيميائي .

وتدخل في تركيب الإضافات المانعة للصدأ مشتقات الحموض الدسمة والحموض السلفونية والفوسفورية والأملاح الناتجة عن تعديل هذه الحموض مع أسس عضوية مثل الأمينات – سلفونات الباريوم اللامنحلة في الماء .

أما الإضافات المانعة للتآكل تتألف من مركبات كبريتية وآزوتية وفوسفورية ويمكن أن تتألف أيضا من الفينول المرتبط بمجموعات وظيفية مختلفة مثل أمين فينول أو نفتيل أمين [2] .

الخواص العامة للإضافات :

1- الذوبانية الجيدة في زيوت الأساس حيث يجب أن تذوب الإضافات مباشرة وبشكل جيد في الزيت .

2- اللاذوبانية وتثبيط التفاعلات في الأوساط المائية .

3- قليلة التبخر لكي لا تتبخر أثناء تعرض الزيوت للحرارة العالية .

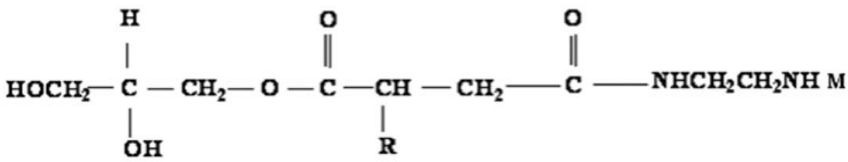
4- الثبات الكيميائي أثناء مزجها واستعمالها ونقلها وتخزينها .

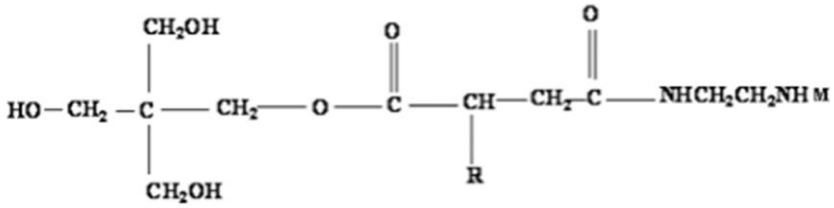
5- أن تكون متوافقة مع بعضها أي لا يؤدي إضافة عدة إضافات معا إلى تغيير في بعض خواص المنتج النفطي [2] .

الدراسات المرجعية :

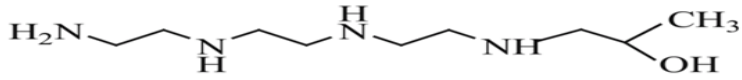
الإضافات المنظفة المشتتة والمضادة للأكسدة :

قامت كل من Nehal S.Ahmed,Amal M.Nasser,and Rasha S.Kamal في مصر عام 2011 [6] باستخدام مشتقات بولي إتيلين بولي أمين كإضافات منظفة ومشتتة في زيوت التزليق وأظهرت خواص جيدة بسبب زيادة الأساسية لهذه الإضافات والتي تؤدي إلى زيادة تحييد الحموض(منتجات الأكسدة) بالإضافة إلى إظهارها خواص مضادة للأكسدة .



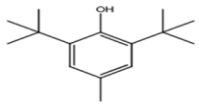
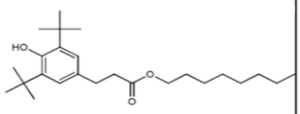
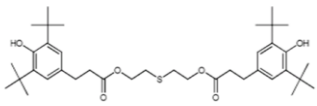


و قامت Nehal S .Ahmed و آخرون في مصر عام 2016 [7] باستخدام مشتقات الأمينات بعد مفاعلتها مع حموض عضوية مختلفة (سيتريك أسيد _ دودوسيل بنزن سلفونيك أسيد_ ثنائي– N – بوتيل ثنائي فوسفوريك أسيد) كإضافات منظفة مشتتة عديمة الرماد في زيوت التزليق ووجدوا أن المركبات المحضرة قابلة للذوبان في الزيوت بالإضافة أن لديها قوة ممتازة لتشتيت جزيئات الرواسب الناتجة عن أكسدة الزيت .



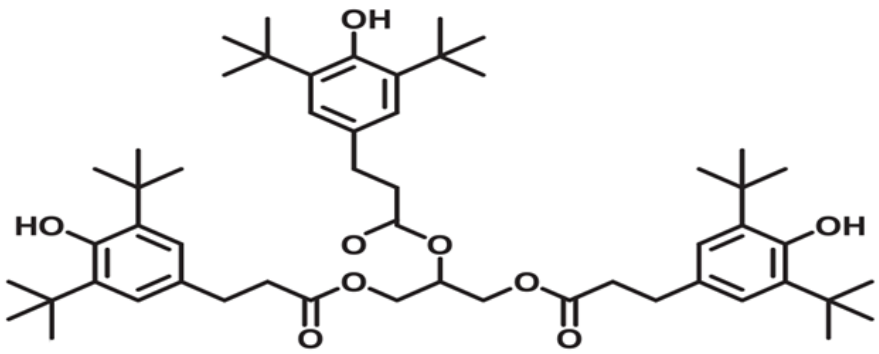
وقامت الباحثة Amal M.nassar و آخرون في مصر عام 2017 [8] باستخدام أملاح الكالسيوم المعتدلة و الأساسية والفوق الأساسية كإضافات منظفة و مشتتة ووجدوا أن لها قوة ممتازة للتشتت والتنظيف في زيوت التزليق وصلت من 80 إلى95 % .

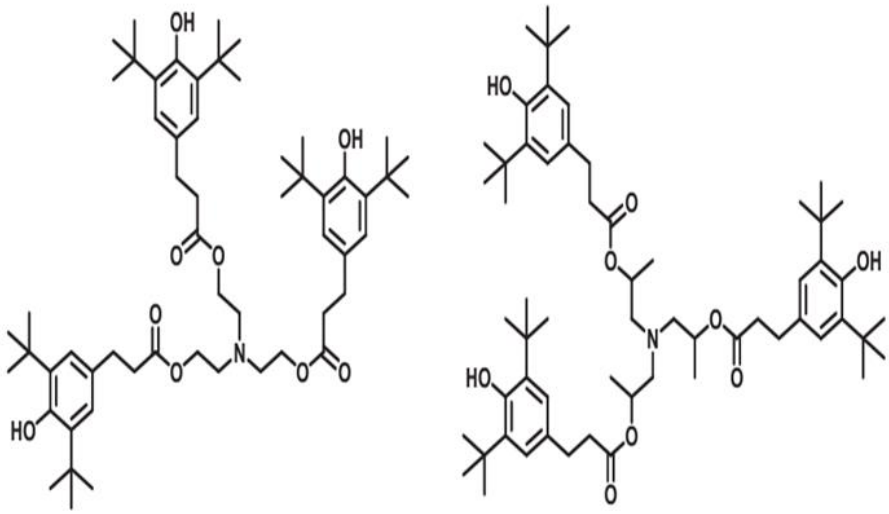
استخدم كل منK.T.Sutar و P.U.Singar في الهند عام 2018 [9] المركبات الفينولية المستبدلة في الموقع بارا بالألكيل والإستر والثيوايتر كمضادات أكسدة في زيوت التزليق .

2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol	Octyl-3,5-di-tert-butyl-4-hydroxy-hydrocinnamate	3,5-bis(1,1-dimethyl)-4-hydroxybenzenepropionic acid thiodi-2,1-ethanediyl ester
		
$C_{15}H_{24}O$	$C_{25}H_{42}O_3$	$C_{38}H_{58}O_6S$

وحضر كل من Clare L. Higgins وآخرون في الولايات المتحدة الأميريكية عام 2020 [10] مضادات أكسدة فينولية ثلاثية تحوي الوحدات التالية

(الغليسرين – مشتقات ثلاثي ايتانول أمين – ثلاثي ايزوبروبانول أمين) ووجدوا أن لها قدرة مضادة للأكسدة في زيوت التزليق حيث وجدو أنها أطالت من وقت تفاعل الأكسدة إلى 9 – 12 دقيقة للمضادات الحاوية على الغليسرين ومن 11 – 12 دقيقة لتلك التي تحوي على مشتقات الأمين بالمقارنة مع المضادات التقليدية (4–6) دقيقة فقط .

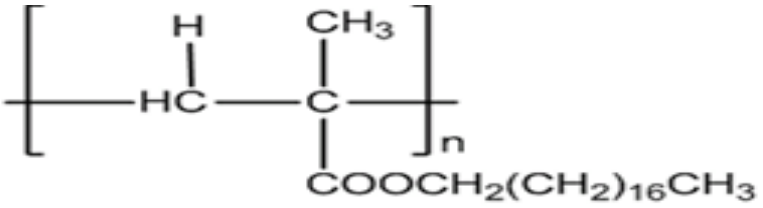




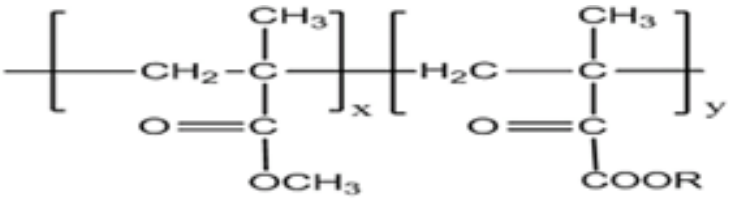
الإضافات المحسنة لدليل اللزوجة ودرجة الانصباب:

استخدم Mohammad.R.Ahmed,Abdul Halim A-K Mohammed Maysoon.A.hamad في العراق عام 2017 [11] كل من بولمير بولي أوكتاديسيل ميثاأكريلات و بولي أوكتاديسيل ميثا أكريلات –Co–ميثيل ميثا أكريلات بعد مزجها مع بعضها بنسب مولية وفق الآتي 30 : 70 50 : 50 70 : 30 .

كمادة محسنة لدليل اللزوجة ولنقطة الانصباب في الزيوت حيث أظهرت التجارب ازدياد دليل اللزوجة وانخفاض نقطة الانصباب مع زيادة الكمية المضافة .

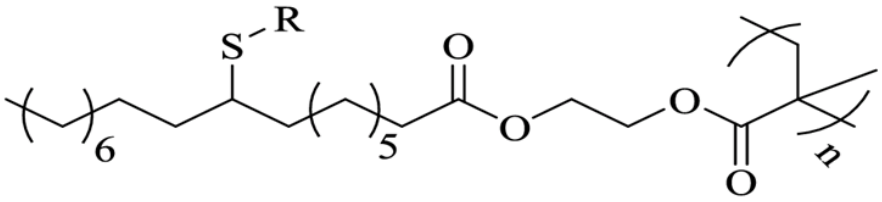


Poly n_Octadecyl methacrylate



poly methyl methacrylate_co_Octadecyl methacrylate

كما استخدم Juliette Lomege وآخرون في فرنسا عام 2020 [12] بولي ميثا أكريلات المشتقة من حمض الأولئيك والحاوية زمرة ألكيل سلفيد كمحسنات لدليل اللزوجة في زيوت التزليق بعد إضافتها بنسبة 5% وزنا بين درجات حرارة من (0 C˚ إلى 100 C˚) درجة مئوية .



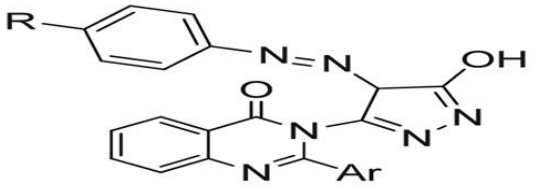
(R=$C_{12}H_{25}$)

(R=$C_{18}H_{37}$)

الإضافات المضادة للتآكل والمثبطة للاحتكاك:

درس Shiyu Ma وآخرون في الصين عام 2010 [13] الأداء المضاد للاحتكاك والتآكل لجسيمات ZrO_2 النانوية في زيوت التزليق وأظهرت النتائج أن متوسط معامل الاحتكاك للزيت انخفض بنسبة 27.34% وفقدان الوزن للحلقة كان سلبيا (لايوجد فقد) وأما الفاقد من الوزن بعد اختبارات التآكل لستة أحمال كان (0,02g) وذلك بعد إضافة (0,5 w)% من أوكسيد الزركونيم النانوي إلى الزيت .

قام كل من Ahmed El Mekabate and Osman M.O. Habib في مصر عام 2014 [14] بتحضير مشتقات كينازولون انطلاقا من البنزوكسازينون وبعض الأمينات العطرية الأولية والأمينات الحلقية الغير المتجانسة كما في الشكل :



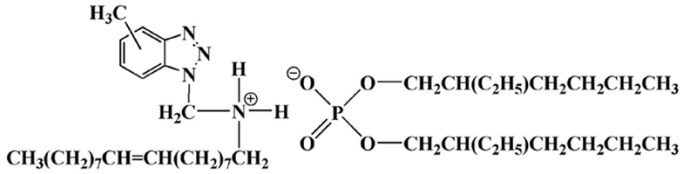
حيث $R = NO_2$

ووجدوا أن هذه المركبات مثبطة للتآكل في زيوت تزليق محركات البنزين وذلك من أجل 0,1 غرام لكل 1 ليتر من الزيت .

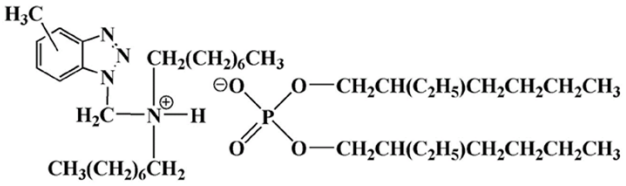
كما درس Li Wang وآخرون في الصين عام 2020 [15] إمكانية استخدام جسيمات الفضة الأحادية المشتتة بانتظام على صفائح الغرافين النانوية كإضافات في الزيوت للحد من التآكل والإحتكاك ووجدوا أن إضافة (0.1 %) وزنا من هذا المركب إلى الزيوت يقلل من معامل الاحتكاك نسبة 40% ويقلل قطر ندبة التآكل بنسبة 36% .

كما قام Rui Ma وآخرون في الصين عام 2020 [16] بتحضير سوائل أيونية قابلة للذوبان في الزيوت واستخدمت كإضافات متعددة الوظائف حيث تم تحضير المركبين (4أو 5- ميثيل – بنزو تريازول -1-يل ميثيل)- اوكتاديك-9-إنيل- امونيوم (2- ايثيل هيدروكسيل) فوسفات ((TTAOA)) و (4 أو 5 – ميثيل بنزو تريازول

-1- يل ميثيل) – ثنائي أوكتيل – أمونيوم (2- ايثيل هيدروكسيل) فوسفات ((TTADO))ووجدوا أن لها ذوبانا جيدا في مختلف زيوت الأساس . و أظهرت إختبارات التآكل والصدأ أن إضافة 0.1% فقط من هذه السوائل لزيوت الأساس عززت من الأداء المضاد للتآكل والصدأ ، كما أظهرت النتائج الريبولوجية بعد التحليلات السطحية للأسطح المتآكلة أن هذه المواد تحسن من قدرة زيوت الأساس على تحمل الحمولة العالية .



[TTAOA][DEHP]



[TTADO][DEHP]

الهدف من البحث : تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لبعض أنواع زيوت المحركات المحلية الأكثر استخداما ومقارنتها مع المواصفات القياسية السورية ومن ثم إختيار مجموعة من الإضافات التي تضاف إلى الزيوت الممزوجة من قبل شركات تصنيع زيوت المحركات السورية لتحسين نوعية وجودة الزيوت المستخدمة و تحديد النسب الملائمة لهذه الإضافات في الزيت .

أهمية البحث: تكمن أهمية البحث في تحسين خصائص زيوت التزليق المنتجة محلياً (الزيت SAE10W40)عن طريق اختيار زيوت الأساس و تحديد النسب المناسبة من هذه الزيوت للمزج ثم اختيار الاضافات و تحديد النسب المناسبة منها .

1- المواد والأجهزة المستخدمة وطرق البحث :

1-1- جمع العينات : تم جمع أربع عينات من زيوت محركات السيارات عشوائيا من بعض المحلات في مدينة حمص وتم التركيز على الدرجةSAE10W40 باعتبارها الأكثر استخداما في السوق على حسب المعلومات التي تمَّ الحصول عليها من البائعين لتلك المنتجات وهي : تي إكس تي و بترومين و سوبرروميلان و توتال وذلك لدراسة خصائص هذه الزيوت ومقارنتها مع المواصفات القياسية السورية كما تمَّ اختيار نوعين من زيوت الأساس زيت أساس خفيف SN 150 وزيت أساس متوسط SN 500 اللازمان لتحضير الزيت SAE 10W40 وتحليلهما والمقارنة مع المواصفات القياسية السورية .

1-2- المواد المستخدمة : زيوت محركات SAE 10w40 – حمض الخل الثلجي كلور البنزن – كاشف 1- نفتول بنزن – تولوين – كحول إيزوبروبيلي – حمض الكبريت – زيت أساس خفيف SN150 – زيت أساس متوسط SN500 – إضافات كيميائية مختلفة .

1-3- الأجهزة المستخدمة وطرق البحث :

جهاز قياس اللزوجة – جهاز قياس درجة الانصباب – جهاز قياس ثباتية القص – جهاز قياس درجة الوميض – جهاز قياس التآكل – جهاز قياس التبخر جهاز قياس الرغاء – جهاز قياس الرماد المكبرت- فرن كهربائي – محرك مغناطيسي جهاز قياس نسبة الكبريت جهاز الامتصاص الذري – جهاز قياس (TAN – TBN) – أدوات زجاجية مختلفة .

ويوضح الجدول (1) متطلبات المواصفات القياسية السورية رقم 164 للعام 2020 لزيوت محركات الاحتراق الداخلي متعددة الدرجات للعيار 10W40 المستخدم في الدراسة .

الجدول (1) – متطلبات المواصفات القياسية السورية رقم 164 للعام 2020 :

الاختبار	الحدود المطلوبة	طرائق الاختبار
اللزوجة في الدرجة C° 100	حد أدنى 12.5 حد أعلى 16.3	ASTM-D-445
اللزوجة في الدرجة C° 40	----------	ASTM-D-5293
دليل اللزوجة	حد أدنى 135	ASTM-D-2270
ثباتية القص اللزوجة في الدرجة C° 100 بعد 30 دورة فقدان اللزوجة %	 حد أدنى 12.5 حد أعلى 10	CEC-L-14-A-ASTM-D-7190
درجة الانصباب	حد أعلى 33-	ASTM-D-97
درجة الوميض	حد أدنى 200	ASTM-D-92
رقم القلوية الكلية (T.B.N)	حد أدنى زيوت محركات البنزين 7 حد أدنى زيوت محركات الديزل 10	ASTM-D-2896
الرماد المكبرت (% وزنا)	حد أعلى 1.8	ASTM-D-874
تآكل الصفيحة النحاسية 3 ساعات / C° 100	حد أعلى 2a	ASTM-D-130
قابلية الارغاء (مل) الميل/الثباتية 1 – عند الدرجة C° 24 2 – عند الدرجة C° 93.5 3 – عند الدرجة C° 24	حد أعلى 10/0 50/0 10/0	ASTM-D-892
فقد الوزن بالتبخر بعد ساعة / C° 250 %وزنا	حد أعلى 15	ASTM-D-5800
نسبة التوتياء (% وزنا)	حد أعلى 0.1	ASTM-D-4628
نسبة الكبريت (% وزنا)	حد أعلى 0.5	ASTM-D-4951 ASTM-D-2622

1-4- طريقة العمل :

1 -4- 1- دراسة اللزوجة حسب ASTM-D-445 للدرجة C° 100 وحسب ASTM-D-5293 للدرجة C° 40 ودليل اللزوجة حسب ASTM-D-2270 : تم حقن 1 سم^3 من كل من عينات الزيت السابقة في جهاز قياس اللزوجة وتم قياس اللزوجة عند درجة حرارة C° 40 ثم C° 100 بالإضافة إلى قياس معامل اللزوجة .

1-4-2- قياس الرقم القاعدي الكلي حسب ASTM-D-2896 : تم وزن 1 غرام من كل عينة من عينات الزيت وأضيف لها 60 مل مزيج (1 حجم حمض الخل الثلجي + 2 حجم كلور البنزن) مع التحريك جيدا ثم وضعت عدة نقاط من كاشف /1- نفتول بنزن/ وتمت المعايرة باستخدام حمض بيروكلوريك 0.1 نظامي .

ويحسب من العلاقة : الحجم المستهلك من حمض بيروكلوريك X 0.1 X 56.1

وزن عينة الزيت

1-4-3- قياس درجة الوميض حسب ASTM-D-92 : وضعت عينة الزيت في كوب الاختبار في جهاز قياس الوميض وتم تسخين العينة بسرعة في البداية ثم بمعدل ثابت بطيء عند الاقتراب من نقطة الوميض وخلال فترات زمنية محددة يتم تمرير شعلة اختبار صغيرة فوق الكوب ويتم أخذ أدنى درجة حرارة تشتعل فيها الأبخرة فوق سطح السائل حتى الدرجة C° 220 وتأخذ القراءة عندما يتشكل بخار الزيت ويبدأ بالاشتعال .

1-4-4- قابلية الإرغاء حسب ASTM-D-892 : ويتم على ثلاثة مراحل في المرحلة الأولى وضعت 200 مل من عينة الزيت في سلندر ويوضع فيه كرة لبعثرة الهواء أعلى من القاع مسافة 1 ملم ثم في الحجرة الأولى لجهاز قياس الارغاء وذلك في حمام مائي وعندما وصلت درجة الحرارة إلى C° 24 تم الانتظار لمدة (10 – 20) دقيقة ليتمّ بعدها ضخ الهواء بضغط 94 بار في عينة الزيت لمدة 5 دقائق لتشكيل الرغوة وتم قياس حجم الرغوة وبعدها تم الانتظار لمدة 10 دقائق وتقرأ ثباتية الرغوة .

المرحلة الثانية نفس الطريقة السابقة في الحجرة الثانية للجهاز لكن يتم التسخين حتى درجة حرارة 94 C° بدلا من 24 C° ويتم ضخ الهواء لمدة 10 دقائق بدل 5 دقائق .
المرحلة الثالثة تعاد العينة للحجرة الأولى وبنفس شروط المرحلة الأولى .

1-4-5- اختبار التآكل حسب ASTM-D-2896 : أخذت صفيحة نحاسية وتم تنظيفها جيدا بمسحها ببرادة الحديد ثم وضعت الصفيحة في انبوب اختبار وغمر في الزيت ثم وضع في القنبلة ووضع في جهاز فحص التآكل في حمام زيتي حيث درجة حرارة الحمام الزيتي 100 C° لمدة ثلاث ساعات وبعدها أخذت الصفيحة ليقارن لونها مع الألوان القياسية لتآكل صفيحة النحاس .

1-4- 6- قياس درجة الانصباب حسب ASTM-D-97 : تم وضع العينة في جهاز الاختبار وتم تبريدها بمعدل محدد وفحصها على فترات كل 3 درجات مئوية لمعرفة درجة الانصباب.

1-4-7- قياس ثباتية القص حسب ASTM-D-7190 : يعتبر هذا الاختبار هام لمعرفة اللزوجة بعد الأداء حيث يعرض الزيت لإجهاد يحاكي عمل المحرك ، وضع حوالي 135 مل من الزيت في الجهاز لمدة 30 دقيقة عند الدرجة 25 C° وبعدها تم قياس اللزوجة عند الدرجة 40 C° و 100 C° ودليل اللزوجة .

1-4-8- تحديد الفاقد بالتبخر حسب ASTM-D-5800 : وضعت العينة حوالي 65 غ زيت في كوب الاختبار وتم تسخينها للدرجة C° 250 لمدة ساعة كاملة تحت الضغط 194 باسكال ثم أخرجت من الجهاز وتم تبريدها لمدة 30 دقيقة ووزنت العينة .

1-4-9- تحديد الرماد المكبرت حسب ASTM-D-874: وزن 3.5 غ من الزيت ووضعت العينة في الجفنة بعد ذلك تم حرق العينة وتركت لتنطفأ ذاتيا، بعد الحرق تم إضافة 2 $سم^3$ من حمض الكبريت المركز وتم حرق العينة مرة أخرى ، ثم وضعت العينة في الفرن عند درجة حرارة C° 550 لمدة ربع ساعة بعدها أخرجت من الفرن وتم إضافة 10 نقاط من حمض الكبريت الممدد و 5 نقاط من الماء المقطر ثم وضعت الجفنة على نار هادئة بعد ذلك وضعت بالفرن لمدة نصف ساعة عند الحرارة C° 750 ثم في المجفف لمدة 10 دقائق ثم حسبت نسبة الرماد حسب المعادلة :

((وزن الجفنة بعد الحرق – وزن الجفنة قبل الحرق) / وزن الزيت) × 100

1-4-10- تحديد نسبة الكبريت حسب ASTM-D-4951 /ASTM-D-2622 :
وضعت العينة في جهاز خاص لهذه الغاية مدة تحليل العينة 200 ثانية تؤخذ القراءة الأولى بعد 100 ثانية والقراءة الثانية بعد 100 ثانية وتؤخذ قيمة المتوسط .

1-4-11- تحديد نسبة الزنك حسب ASTM-D-4628 : تم ذلك في جهاز الامتصاص الذري على المراحل التالية :

1- تم وزن 5 غ من الزيت وأضيف لها 5 مل حمض الكبريت 98% ثم تم التسخين على سخانة كهربائية حتى طرد حمض الكبريت .

2- تم وضع العينات في فرن كهربائي وتسخينها إلى الدرجة C° 550 لمدة 3 ساعات حتى ترميد العينات .

3- تم إضافة حوالي 3 مل حمض كبريت مركز و 0.5 مل حمض أزوت مركز ثم سخنا حتى انحلال العينات .

4- تم إضافة القليل من الماء المقطر ثم كررنا نفس الخطوة السابقة (3) ثم تم إتمام الحجم بالماء المقطر في دورق 25 مل حتى العلام .

5- تم القياس في جهاز الامتصاص الذري وحسبت النتيجة من العلاقة التالية :

القراءة × 25 مل

وزن العينة (5غ)

1-4-12- تحديد محتوى الرماد حسب ASTM-D-482 : تم وزن 2 غ من كل نوع من زيوت الأساس ووضعت العينة في الجفنة وتم الحرق بواسطة اللهب حتى احتراق العينة بالكامل وتوقف ظهور الدخان ثم تركت الجفنة لتبرد ووضعت في الفرن بدرجة حرارة C° 750 لمدة ساعتين بعدها تم إخراج الجفنة من الفرن وتركت لتبرد ووزن الرماد المتبقي داخلها . إن الفرق في الوزن قبل الحرق وبعد الحرق هو النسبة المئوية للرماد .

1 – 4 – 13- تحديد النسبة المئوية للكربون المتبقي حسب ASTM-D-189:

وزن حوالي 4 غ من كل نوع من زيوت الأساس ووضعت العينات في جفنة ثم في الفرن عند درجة حرارة C° 550 تم تسخين العينات حتى التخلص من كل المواد المتطايرة وتبقي البقايا الأثقل حيث تم سحقها جيدا ثم تم تبريد العينات ووزنها مرة أخرى وتم حساب البقايا المتبقية كنسبة مئوية من العلاقة التالية :

$$C\% = \left(m_1 \setminus m_2 \right) \times 100$$

حيث m_1 : وزن العينة بعد الحرق .

m_2 : وزن العينة قبل الحرق .

1-4-14- قياس رقم الحموضة الكلي TAN حسب ASTM-D-664 :

تم وزن 1غ من كل نوع من زيوت الأساس وأضيف لها 100 مل مذيب (مزيج من التولوين 500 مل وكحول إيزوبروبيلي 495 مل وماء 5 مل) مع التحريك جيدا ثم وضعت عدة نقاط من كاشف /1- نفتول بنزن/ وتمت المعايرة باستخدام محلول هيدروكسيد البوتاسيوم 0.1 نظامي . ويحسب من العلاقة :

الحجم المستهلك من KOH X 56.1 X 0.1

وزن العينة

1-5- النتائج والمناقشة :

يبين الجدول (2) نتائج تحليل الزيت 10W40 المستخدم في الدراسة للشركات الأربعة المذكورة والمواصفات القياسية السورية المطلوبة لهذا الزيت .

الجدول (2) نتائج تحليل عينات الزيوت المستخدمة في الدراسة

العينات / الاختبارات	تي إكس تي (بنزين)	بترومين (ديزل+ بنزين)	توتال (بنزين)	سوبرروميلان (بنزين)	المواصفات القياسية السورية
اللزوجة عند 40 C°	79 .5	108.52	117.1	128.2	----
اللزوجة عند 100 C°	12.5	15.15	15.1	15.2	حد أدنى 12.5 حد أعلى 16.3
دليل اللزوجة	135.1	146.1	135	135	حد أدنى 135
نقطة الوميض (C°)	226.7	225 C°	241 C°	247 C°	حد أدنى 200 C°
درجة الانصباب	-27 C°	-27 C°	-24 C°	-24 C°	حد أعلى -33 C°
T.B.N	7	11.19	7.17	7.9	حد أدنى لمحركات البنزين 7 حد أدنى لمحركات الديزل 10
الرماد المكبرت	1.2	1.01	1.2	1.3	حد أعلى 1.8
اختبار التآكل	1a	1a	1a	1a	حد أعلى 2a
اختبار الرغاء	0/0 0/0 0/0	0/0 0/0 0/0	0/0 0/0 0/0	0/0 0/0 0/0	حد أعلى قابلية الإرغاء مل/ الثباتية 0/10 عند الدرجة 24C° 0/50 عند الدرجة 93.5C° 0/10عند الدرجة 24C°
فقدان الوزن بالتبخر %	2.49	6.94	2.77	0.55	حد أعلى 15%
نسبة الكبريت (%وزنا)	0.4998	0.5	0.50	0.4989	حد أعلى 0.5 %
نسبة التوتياء (%وزنا)	0.0148	0.0407	0.012	0.0251	حد أعلى 0.1 %
ثباتية القص اللزوجة عند الدرجة 100C°	12.51	12.732	13.34	13.539	حد أدنى 12.5

وبمقارنة النتائج مع المواصفات القياسية السورية نجد أن مجال اللزوجة عند الدرجة 100 C˚ (12.5 – 16.3) .

وبالتالي فإن لزوجة عينة تي إكس تي عند الحد الأدنى .

أما دليل اللزوجة حسب المواصفات القياسية السورية فهو (135) وبالتالي نجد أن دليل اللزوجة لعينة تي إكس تي و توتال وسوبر روميلان عند الحد الأدنى.

وبالنسبة للرقم القاعدي الكلي فهو (7) كحد أدنى حسب المواصفات القياسية السورية لزيوت محركات البنزين وبالتالي فإن الرقم القاعدي الكلي لعينة تي إكس تي وتوتال عند الحد الأدنى أيضا .

وحسب المواصفات القياسية السورية فإن نسبة الكبريت يجب أن لا تتجاوز 0.5 % وبالتالي فإن نسبة الكبريت في العينات الأربعة السابقة تعتبر عند الحد الأعلى .

1-5-1- اختيار زيوت الأساس : تم اختيار نوعين من زيوت الأساس البارافينية حيث تتمتع هذه الزيوت بدليل لزوجة مرتفع ودرجة وميض مرتفعة وهما زيت أساس خفيف SN 150 وزيت أساس متوسط SN 500 حيث تعتبر هذه الزيوت متوفرة وذات تكلفة منخفضة بالمقارنة مع غيرها .

ويبين الجدول (3) المواصفات القياسية السورية رقم 2919 للعام 2007 لزيوت الأساس الخفيفة SN150 وزيوت الأساس المتوسطة SN500 :

الجدول (3) المواصفات القياسية السورية رقم 2919 للعام 2007

الاختبارات	الحدود المطلوبة SN 150	الحدود المطلوبة SN 500	طريقة الاختبار
اللزوجة عند 100 C°	5.5 – 4.5	12–10	ASTM–D–445
معامل اللزوجة حد أدنى	90	90	ASTM–D–2270
درجة الوميض حد أدنى	190	225	ASTM–D–92
درجة الانصباب حد أعلى	9–	6–	ASTM–D–97
محتوى الرماد %وزنا حد أعلى	0.01	0.01	ASTM–D–482
الكربون المتبقي %وزنا حد أعلى	0.10	0.2	ASTM–D–189
محتوى الكبريت % وزنا حد أعلى	1	1.5	ASTM–D–4294
تآكل صفيحة النحاس 3 ساعات/ 100C° حد أعلى	1a	1a	ASTM–D–130
رقم الحموضة الكلية حد أعلى	0.05	0.05	ASTM–D–664
رقم القلوية الكلية حد أعلى	0.3	0.3	ASTM–D–2896
قابلية التبخير حد أعلى	20	4	ASTM–D–5800

كما يبين الجدول (4) نتائج تحليل زيوت الأساس SN 150 و SN 500 اللذان استخدما في الدراسة وتعد هذه النتائج جيدة ومطابقة للمواصفات القياسية السورية رقم 2919 للعام 2007 :

الجدول (4) نتائج تحليل زيوت الأساس المستخدمة في الدراسة

الاختبار	الطريقة ASTM	SN 150	SN 500	الواحدة
اللزوجة عند 40 C°	D-455	30.008	89.53	cSt
اللزوجة عند 100 C°	D-455	5.3109	10.64	cSt
دليل اللزوجة	D-2270	109.7	101.8	-----
نقطة الوميض	D-92	224	270	C°
درجة الانصباب	D-97	- 15	- 12	C°
محتوى الكبريت	D-4294	0.0024	0.003	W%
محتوى الرماد	D-482	لايوجد	لايوجد	W%
الكربون المتبقي	D-189	لايوجد	لايوجد	W%
تآكل الصفيحة النحاسية	D-130	1a	1a	3h/100 c°
رقم الحموضة الكلي	D-664	0.01	0.027	Mg KOH/g
الرقم القاعدي الكلي	D-2896	0.026	0.16	Mg KOH/g
اللون	D-1500	0	0	---------

1-5- 2- اختيار الاضافات وتحديد نسبتها :

1-5-2-1- إضافة محسن دليل اللزوجة : يجب أن يكون زيت المحرك سميكا في درجات الحرارة العالية من أجل منع التآكل وأن يكون رقيقا في درجات الحرارة المنخفضة من أجل سهولة التزييت في الطقس البارد ، دليل اللزوجة يدل على تأثير تغير درجة الحرارة في اللزوجة أي أن دليل اللزوجة المرتفع يعني أن اللزوجة سوف تتغير تغيرا كبيرا بتغير درجة الحرارة . تم

استخدام الإضافة KIM5026L إلى زيوت الأساس وذلك وفق الجدول (5) :

الجدول (5) نسب كل من زيوت الأساس والإضافة المحسنة لدليل اللزوجة

العينة	نسبة % SN150	نسبة % SN500	نسبة % KIM5026L	اللزوجة عند درجة حرارة 40 C˚	اللزوجة عند درجة حرارة 100 C˚
1	% 68	%32	% 0	44.3	6.73
2	% 64	%34	%2	58.91	9.2
3	% 62	%32	%6	76.51	11.81
4	%59	%29	% 12	104.58	15.5

1-5-2-2- إضافة محسن الرقم القاعدي الكلي (T.B.N) : يجب أن يمتلك زيت التزليق القدرة على معادلة الأحماض المتشكلة بعد فترة من التشغيل التي تتكون بسبب عمليات الأكسدة التي تطرأ على الزيت ويعبر عن هذه القدرة بمحتوى القلوية الكلي في الزيت الذي يشيرإلى مدى جودة الزيت وشدة التدهور لذلك تضاف مواد قلوية داعمة للزيت من أجل إطالة عمر استخدام الزيت .

تم استخدام الإضافة KT 33166 وهي إضافة رئيسية وتشمل الاضافات المنظفة والمشتتة والمضادة للبكتيريا والمضادة للاحتكاك والتآكل والمضادة للرغاء وتضاف بنسبة ثابتة في الزيت .

كما استخدمت الإضافة KT 1107 وهي إضافة داعمة لل (T.B.N) وذلك وفق الجدول (6) :

الجدول (6) نسبة كل من الإضافة الرئيسية والإضافة الداعمة لل TBN في الزيت

العينة	نسبة الزيت %	نسبة الإضافة الداعمة %	الإضافة الرئيسية %	قيمة ال T.B.N
1	100	0	4	0.04
2	97.8	0.2	4	10.3
3	96.6	0.4	4	11.2
4	95.4	0.6	4	12.8

1-5-2-3- إضافة محسن درجة الانصباب : تحتوي زيوت المحركات المعدنية على كميات من الشمع التي توجد في النفط الخام والتي يصعب التخلص منها بسبب التكلفة العالية لإزالتها لذلك يتم إضافة محسنات لدرجة الانصباب التي تخفض من نقطة تشكل بلورات الشمع وتقيد نمو هذه البلورات تم استخدام الإضافة P.P.D710 وفق الجدول (7) :

الجدول (7) نسبة الإضافة المحسنة لدرجة الانصباب في الزيت

العينة	نسبة الزيت %	نسبة الإضافة %	درجة الانصباب
1	100	0	14-
2	99.75	0.25	17-
3	99.55	0.45	32-

1-5-3- تحضير المنتج النهائي : تم بعد سلسلة التجارب السابقة تم تحضير الزيت 10W40 وفقا للتركيبة في الجدول (8):

الجدول (8) النسب المئوية لكل من زيوت الأساس والإضافات في الزيت المحضَّر

اسم المادة	نوع المادة	النسبة المئوية
SN-150	زيت خفيف	% 55.17
SN-500	زيت وسط	% 27.5
KIM 5026 L	محسن معامل اللزوجة	% 12
KT 33166	إضافة رئيسية	% 4
KT 1107	إضافة داعمة لل(T.B.N)	% 0.63
KT 3319	إضافة مشتتة	% 0.25
P.P.D 710	إضافة محسنة لدرجة الانصباب	% 0.45

تم خلط زيوت الأساس مع بعضها وتسخينها للدرجة 60 C° مع التفريغ لإزالة الرطوبة منها ثم تم وضع الإضافات وفق النسب السابقة وجرى الخلط لمدة ربع ساعة لإتمام عملية المزج .

تم بعد ذلك تحليل المنتج ومقارنته مع المواصفات القياسية السورية ومع الزيوت السابقة وكانت النتائج كالتالي الجدول (9) :

الجدول (9) نتائج تحليل الزيت المحضَّر

الإختبار	الطريقة	النتيجة
اللزوجة عند الدرجة 100 C°	ASTM D-445	15.93
اللزوجة عند الدرجة 40 C°	ASTM D-445	120.12
دليل اللزوجة	ASTM D-2270	141
نقطة الوميض	ASTM D-92	226
درجة الانصباب	ASTM D-445	32-
الرماد المكبرت	ASTM D-874	1.65
تآكل الصفيحة النحاسية	ASTM D-130	1a
الرقم القاعدي الكلي	ASTM D-2896	12.90
اختبار الارغاء	ASTM D-892	المرحلة 1 : 0/0 المرحلة 2 : 0/0 المرحلة 3 : 0/0
فقدان الوزن بالتبخر	ASTM-D-5800	% 2.52
اختبار القص	CEC-L-14-A-ASTM-D-7190	13.989

الاستنتاجات :

1- نلاحظ من نتائج الاختبارات أن خواص الزيت المحضر مطابق للمواصفات القياسية السورية وبالمقارنة مع الزيوت السابقة المحلية نجد أن مواصفات الزيت المحضر كانت أفضل من مواصفات تلك الزيوت مثل اللزوجة – دليل اللزوجة – قيمة ال T.B.N درجة الانصباب .

2- يمكن استخدام الزيت الناتج لمحركات الديزل والبنزين .

التوصيات :

1- دراسة الجدوى الاقتصادية للزيت المحضَّر لإنتاجه صناعيا كونه يتمتع بمواصفات جيدة .

2- دراسة امكانية تحسين أنماط أخرى من الزيوت ذات درجات لزوجة مختلفة .

المراجع :

1-SAKROUJ F,GHATA A,2020-studing the production of lubricating unit with hydrogen cracking technology,chemical and petroleum engineering faculty,albaath university.

2-عماد،أحلام،2011،النفط والغاز .جامعة البعث.الجمهورية العربية السورية،380ص.

3-LYNCH T,2007- Process chemistry of lubricant Base Stocks.CRC Press taylor& francis group.New York,390p.

4-SAEED M,AOAD ALLA B,ABD ALLA ESH,2014- evaluation of the physical and chemical properties of some gasoline engine oils used in sudan,faculty of science,sudan university of scince and technology.

5-DAYOUB M,2019-studing the effect of some different additives on the physico –chemical properties of oil of the internal combustion engine,tishreen university journal for research and scientific studies,engineering sciences series,41(1).

6-Nehal S.Ahmed,Amal M.Nasser,and Rasha S.Kamal, 2011 influenceof some compounds as antioxidants and detergents/dispersants for lube oil. Journal of dispersion science and technology, 32,1067-1074.

7-AHMED N,NASSAR A,ABDEL HAMEED H,ELKAFRAWY A, 2016-Preparation characterization and evaluation of some ashless detergent/dispersant additives for lubricating Engine oil,Appi petrochem ,Res 6,49-58.

8-NASSAR A,AHMED N,ELSHAZLY R,ABD EL MENEM Y,2017 Preparation and evaluation of the mixtures of sulfonate and phenate as lube oil additives,Int J ind Chem, 8,383-395.

9- SUTAR K, SINGARE P,2018- STUDY OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF HINDERED PHENOLS IN BULK OIL AND THIN FILM OXIDATION CONDITIONS IN LUBRICANTS,RASAYAN J.Chem,11(2),465-474.

10-Clare L.Higgins and other.(2020).Synthesis,characterisation,and performance evaluation of tri-armed phenolic antioxidants.ELSEVIER.Tetrahedron Letters 61.

11- AHMED M,MOHAMMED A,HAMAD M, 2017-Synthesis, Characterization and Performance Evaluation of Poly Octadecyl Methacrylate and Poly Octadecyl Methacrylate-Co- Methyl methacrylate as an Additive for Lubricating Oil. IOSR Journal of Applied Chemistry,10 (4), 50-58.

12- Juliette Lomège and other.(2020). Synthesis of Alkyl Sulfur-Functionalized Oleic Acid-Based Polymethacrylates and Their Application as Viscosity Index Improvers in a Mineral Paraffinic Lube Oil.Journal of the American Oil Chemists' Society, Springer Verlag. 97 (3),309-318.

13- MA M,ZHENG SH,CAO D,GUO H, 2010- Anti-wear and friction performance of Zro2 nanoparticles As lubricant additive, PARTICUOLOGY, 8 ,468-472.

14- MEKABATE A,HABIB O,2014-Synthesis and evaluation of some novel additives as antioxidants and corrosion inhibitors for petroleum fraction.pet.sci. 11,161-173

15-Li Wang and other.(2020). Mono-dispersed Ag/Graphene nanocomposite as lubricant additive to reduce friction and wear. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106228.

16- Rui Ma and other.(2020). Synthesis and evaluation of oil-soluble ionic liquids as multifunctional lubricant additives. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106446.