مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (2) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (2) 2019

تجديد خواص الرابط الإسفلتي المتقادم باستخدام الزيت النباتي المعاد تدويره

الدكتور عماد فاضل[1]
محمود عبد الله[2]

(تاريخ الإيداع 4 / 3 / 2019. قُبِل للنشر في 15/ 4 / 2019)

□ ملخّص □

اتجهت الأبحاث الحديثة خلال السنوات القليلة الماضية نحو تجديد وتحسين خواص الرابط الإسفلتي المتقادم باستخدام الزيوت النباتية المعاد تدويرها والاستفادة من مواد الرصف المكشوطة وإعادة تدويرها.

يهدف هذا البحث إلى تحسين وتجديد الخواص الفيزيائية للرابط الإسفلتي المتقادم عن طريق تعديله بالزيت النباتي المعاد تدويره بحيث يصبح مشابهاً لخواص الرابط الجديد غير المتقادم، بالإضافة إلى الفوائد البيئة والاقتصادية المرجوة من هذا الاستخدام.

تم في هذه الدراسة إضافة الزيت النباتي المعاد تدويره إلى الرابط الإسفلتي المتقادم وفق أربعة نسب %(3, 4, 5, 6) من وزن الرابط الإسفلتي، ومن ثم تمت دراسة التغيرات الحاصلة في خواص الرابط الإسفلتي المتقادم المعدل وغير المعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره ومقارنتها مع خواص الرابط الإسفلتي الجديد غير المتقادم عن طريق إجراء اختبارات (الغرز عند درجة حرارة 25°C) قبل وبعد التعب قصير الأمد وحساب قيم دليل الغرز، الاستطالة، درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة).

تشير نتائج هذه الدراسة إلى الجدوى الفنية والاقتصادية والبيئية من استخدام الزيت النباتي المعاد تدويره في تجديد خواص الرابط الإسفلتي المتقادم وذلك عند نسب وزنية %(5, 6)، حيث يمتلك الرابط الإسفلتي المعدل عند هذه النسب خواصاً مشابهة لخواص الرابط الإسفلتي 60/70.

الكلمات المفتاحية: الرابط الإسفلتي، الإسفلت المتقادم، التعب قصير الأمد، الزيت المعاد تدويره.

[1] أستاذ – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
[2] مهندس– قسم هندسة المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (2) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (2) 2019

Rejuvenated Of Aged Asphalt Binder Properties By Using Waste Vegetable Oil

Dr. Imad Fadel[3]
Mahmoud Abdullh[4]

(Received 4 / 3 / 2019. Accepted 15 / 4 / 2019)

□ ABSTRACT □

In the last years, many researchers studied rejuvenated of aged asphalt binder properties by using waste cooking oil and recycling asphalt mixture with reclaimed asphalt pavement (RAP).
The purpose of this research is to study the use of waste cooking oil in physical properties of aged asphalt binder, in addition to economic and environment benefits.
waste cooking oil were used in asphalt binder with different percentages namely, (3, 4, 5 and 6%) by weight and to determine the effect of waste cooking oil on physical properties of asphalt binder, penetration at (25)°C before and after short term aging, softening, ductility were carried out on both modified and unmodified aged asphalt binder with waste cooking oil.
According to the results which obtained from the rheological test, the optimum dosage of waste cooking oil is determined to be between (5,6)%. compared with virgin asphalt. Therefore, waste cooking oil is of great potential to serve as an asphalt rejuvenator for rejuvenating aged asphalt

Key words: Asphalt binder, aged asphalt, Rejuvenator, Waste cooking oil.

[3] **Professor, Department of Managing and Constructing Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[4] **Engineer, Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

ازداد في السنوات الأخيرة استخدام مواد الرصف المعاد تدويره RAP في إعادة إنشاء الطرق وصيانتها نظراً للفوائد البيئية والاقتصادية المرجوة، حيث تنخفض تكلفة إنشاء الرصف الجديد بحدود %(34–14) عند استخدام مواد الرصف المعاد تدويرها بنسبة %(50–20) وتقل الحاجة لاستنزاف الموارد الخام الطبيعية واستهلاك الرابط الإسفلتي الجديد، لكن الأمر يتطلب دقة وعناية كبيرة إذ أن زيادة نسبة المواد المعاد تدويرها بشكل كبير يؤثر على قدرة الرصف في مقاومة تأثير المياه ويصبح أكثر عرضة لظهور شقوق التعب والشقوق الناتجة عن انخفاض درجات الحرارة [1,2].

يعتبر الرابط الإسفلتي من أهم مواد الرصف ويستخدم بشكل واسع في إنشاء الطرق (حوالي 110 مليون طن سنوياً في العالم) [3]، لكنه يتعرض للتعب بدءً من مرحلة إنتاجه في درجات الحرارة العالية ووصولاً إلى مرحلة استثماره ويصبح متقادماً وذي صلابة أكبر بعد عدة سنوات من الخدمة، وتعتمد درجة التقادم على عدة عوامل كالمناخ ودرجات الحرارة والتركيب الكيميائي للرابط الإسفلتي ومواصفات الحصويات ونسبة الفراغات الهوائية، وبالتالي تكون الخواص الفيزيائية للرابط المتقادم متدنية ويحتاج للتعديل لكي يحقق المواصفات المطلوبة [4,5].

يعتبر التخلص من الزيت النباتي المستهلك والناتج عن عمليات طهي وقلي الطعام عند درجات الحرارة المرتفعة في المطاعم والفنادق والمنازل مشكلةً بيئيةً كبرى، حيث يتم التخلص منه في مطامر النفايات المحلية وفي الممرات المائية دون أي معالجة فتنمو الطحالب والكائنات الدقيقة وتتكون على سطح البحيرات طبقة رقيقة من الزيت مما يعيق عمليات التركيب الضوئي وإيصال الأكسجين إلى الحياة المائية، وتعتبر الولايات المتحدة الأمريكية أكبر البلدان المستهلكة للزيت وينتج عن ذلك حوالي 10 مليون طن من نفايات الزيت المستهلك القديم وتليها الصين بحوالي 4.5 مليون طن، وتعتبر الطريقة المثلى للتخلص منها هي إعادة تدويرها، وتتكون هذه النفايات بشكل رئيسي من حمض الزيت والنخيل والكتان والشمع بالإضافة إلى كميات قليلة من حمض القنب، وتسمح هذه الأحماض بتقليل لزوجة الرابط الإسفلتي المتقادم عند خلطها معه، وهذا ما يسهل عملية الخلط مع مواد الرصف الجديدة [6,7,8].

درس Cao وآخرون عام 2018 تأثير استخدام الزيت النباتي المعاد تدويره والخالي من الأحماض الدهنية في خواص الرابط الإسفلتي المتقادم عند أربع نسب وزنية %(5, 10, 15, 20)، حيث تم اجراء اختبارات السلامة (نقطة الوميض والاشتعال) واختبارات التعب قصير الأمد وطويل الأمد وتم تقييم أداء الرابط الإسفلتي بالاعتماد على التجارب التقليدية والريولوجية، وأشارت النتائج ازدياد قيم الغرز والاستطالة ومقاومة التعب وتناقص درجات حرارة التميع ومقاومة التخدد مع زيادة نسبة الزيت المعاد تدويره، وتوصلت إلى نسبة إضافة مثالية 13.4% وإلى أن مقاومة التعب للرابط الإسفلتي المتقادم عند النسبة المثالية من الإضافة تماثل قيمة مقاومة تعب الرابط الأصلي غير المتقادم [9]، وتتفق دراسة Zhang مع الدراسة السابقة حيث أشار Zhang وآخرون عام 2017 إلى دور زيت الصويا النباتي المعاد تدويره في زيادة لزوجة الرابط الإسفلتي المتقادم واسترجاعه لدرجة غرزه الأساسية قبل التقادم وزيادة مقاومته للتعب وللشقوق الناجمة عن درجات الحرارة المنخفضة [10].

استخدم Chen وآخرون عام 2014 الزيت النباتي المعاد تدويره لتحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية والريولوجية للرابط الإسفلتي المتقادم، واستخدم الباحثون في دراستهم ثلاثة أنواع من الرابط الإسفلتي (ذي غزر 60/80، ذي غرز 40/60، ذي غرز 40/60 ومعدل ببوليمير SBS) والتي تم تعريضها للشيخوخة والتقادم عبر اجراء اختبار الطبقة الرقيقة الدوار RTFOT واختبار pressurized aging vessel (PAV) الذي يحاكي تعب الإسفلت أثناء الاستثمار،

ثم تم تعديلها بالزيت النباتي المعاد تدويره وفق نسب وزنية %(3, 4, 5, 6, 7) ودراسة خواصها، وأظهرت هذه الدراسة تحسن الخواص الفيزيائية والكيميائية والريولوجية للإسفلت المعرض للتقادم لتصبح مماثلة لخواص الإسفلت قبل التعرض للتقادم وذلك عند النسب المثالية من إضافة الزيت النباتي المعاد تدويره (6% للإسفلت 60/80 بعد التقادم، 5% للإسفلت 60/ 40 بعد التقادم، 4% للإسفلت 40/60 المعدل ببوليمير SBS بعد التقادم)، كما أظهرت تحسن مقاومته للتخدد والتعب وتناقص محتوى الإسفلتينات وكثافة الكاربونيل والسلفوكسيد للإسفلت المعرض للتقادم مع زيادة نسبة الزيت النباتي المعاد تدويره [11,12].

درس ASLI وآخرون عام 2012 إمكانية استخدام الزيت النباتي المعاد تدويره لتحسين خواص الرابط الإسفلتي المتقادم، حيث تم تحديد الخواص الفيزيائية للرابط الإسفلتي 80/100، ولثلاثة أنواع من الروابط الإسفلتية المتقادمة (50/60, 40/50, 30/40) قبل وبعد التعديل بالزيت النباتي المعاد تدويره عند نسب تتراوح بين %(5–1) من وزن الرابط، وتم إجراء تجارب الغرز واللزوجة ودرجة حرارة التميع، وأشارت النتائج إلى تحسن خواص الرابط المتقادم المعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره لتصبح مماثلة لخواص الرابط الإسفلتي 80/100، وتوصلت إلى نسبة إضافة مثالية 1% للرابط الإسفلتي المتقادم 50/60، ونسب مثالية %(4–3) للرابط الإسفلتي المتقادم 40/50، و%(5–4) للرابط الإسفلتي المتقادم 30/40 [13,14].

تستخدم نفايات الزيت النباتي أيضاً بانتاج ما يسمى بالـ bioasphalt، وهو عبارة عن نوع جديد من أنواع الإسفلت التي يتم انتاجها باستخدام الموارد المتجددة غير البترولية كالسكر والأرز والذرة والمطاط الطبيعي والزيوت النباتية والسيللوز وزيت النخيل...الخ [15]، وفي هذا الاتجاه أجريت العديد من الدراسات للتحقق من إمكانية استخدام bioasphalt كبديل عن جزء من الرابط الإسفلتي [16, 17, 18]، وفي العام 2013 درس Wen وآخرون مكانية استخدام bioasphalt المنتج باستخدام نفايات الزيت النباتي بعد المعالجة الحرارية كبديل الرابط الإسفلتي التقليدي المستخدم في تصميم الخلطات الإسفلتية عند نسب %(10, 30, 60) من وزن الرابط الإسفلتي، خلصت الدراسة إلى تحسن مقاومة الخلطات المصممة لدرجات الحرارة المنخفضة وزيادة مقاومتها للشقوق الحرارية وأظهرت مقاومة جيدة لتأثير الرطوبة وفق نتائج اختبار مقاومة الشد غير المباشر، وبالمقابل فقد تناقصت صلابة الخلطات الإسفلتية ومقاومتها للتعب والتخدد [19].

عدل Sun وآخرون عام 2016 خصائص الرابط الإسفلتي 40/60 باستخدام الزيت الحيوي المشتق من الزيت النباتي عند أربع نسب %(2, 4, 6, 8) من وزن الرابط، واعتمد الباحثون على دراسة السلوك الميكانيكي للرابط الإسفلتي عبر إجراء اختبارات الغرز واللزوجة الدورانية واختبارات القص الديناميكية (DSR) وخلصت الدراسة إلى ازدياد درجة حرارة التميع واللزوجة وتناقص قيم الغرز مع زيادة نسبة الزيت المضافة وإلى دور الزيت في تحسن مقاومة الرابط للشقوق الحرارية ومقاومة التشوه [20].

تم في هذه الدراسة استخدام الزيت النباتي المعاد تدويره لتعديل الرابط الإسفلتي وفق نسب وزنية % (3, 4, 5, 6)، ودراسة التغيرات الحاصلة في خواص الرابط الإسفلتي.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى:

1. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الزيت النباتي المعاد تدويره في خواص الرابط الإسفلتي المتقادم وإمكانية استخدامه لتجديد خواصه وتحسين مواصفاته وتحديد النسب المثالية لإضافته للرابط الإسفلتي المتقادم.
2. التقليل من هذه النفايات وإعادة تدويرها، نظراً لخطورتها على صحة الإنسان والأراضي الزراعية والموارد المائية حيث أن غالون واحد من الزيوت المستهلكة قادر على تلويث مليون غالون ماء.
3. أهداف اقتصادية كتخفيض تكلفة إنتاج المجبول الإسفلتي، بالإضافة إلى توفير الأموال والجهد اللازمين للتخلص من هذه النفايات أو علاج المشكلات الناجمة عن التخلص غير الآمن منها.

طرائق البحث ومواده

1- مواد البحث Research materials:

1- إسفلت 60-70 من مصفاة بانياس مطابق للمواصفات ASTM.D-140، بحيث تكون ممثلة بشكل صحيح للاسفلت المنتج في سوريا، حيث تم حفظها في عينات معدنية خاصة.

2- إسفلت متقادم مضى على استخدامه سنوات عديدة وتعرض للتسخين والتبريد عشرات المرات.

3- الزيت النباتي المعاد تدويره: تم الحصول عليه بعد اسبوع من استخدام الزيت الجديد (زيت الصويا) في النشاطات التجارية الغذائية القائمة على القلي.

تم في هذه الدراسة تعديل الرابط الإسفلتي المتقادم عن طريق إضافة الزيت النباتي المعاد تدويره وفق أربع نسب %(3, 4, 5, 6) من وزن الرابط الإسفلتي ومقارنته مع الرابط غير المتقادم.

وقد تم ترميز الإسفلت بتراكيبه المختلفة المستخدمة في هذه الدراسة الرموز التالية:

A: يشير إلى الإسفلت 60-70 إنتاج مصفاة بانياس.

A_o: يشير إلى الإسفلت المتقادم 20/30.

Ao_3: يشير إلى الإسفلت المتقادم 20/30 المعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره بنسبة 3%.

Ao_4:يشير إلى الإسفلت المتقادم 20/30 المعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره بنسبة 4%.

Ao_5:يشير إلى الإسفلت المتقادم 20/30 المعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره بنسبة 5%.

Ao_6:يشير إلى الإسفلت المتقادم 20/30 المعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره بنسبة 6%.

2- العمل المخبري Laboratory Job :

اعتمد في هذا البحث سلسلة من الاختبارات المحددة بالمواصفات التالية:

1- تجربة الغرز Penetration وفق المواصفة ASTM D.5 عند درجة حرارة 25°C.

2- تجربة تحديد درجة حرارة التميع Softening Point (Ring & Bale) وفق المواصفة ASTM D.36.

3- تجربة قابلية السحب (المطاوعة) Ductility وفق المواصفة ASTM D.113.

4- تجربة تحديد نقطة الوميض Flash Point وفق المواصفة ASTM D92.

5- اختبار فرن الطبقة الرقيقة الدوار Rolling Thin-Film Oven (RTFO) وفق المواصفة ASTM D.2872-97

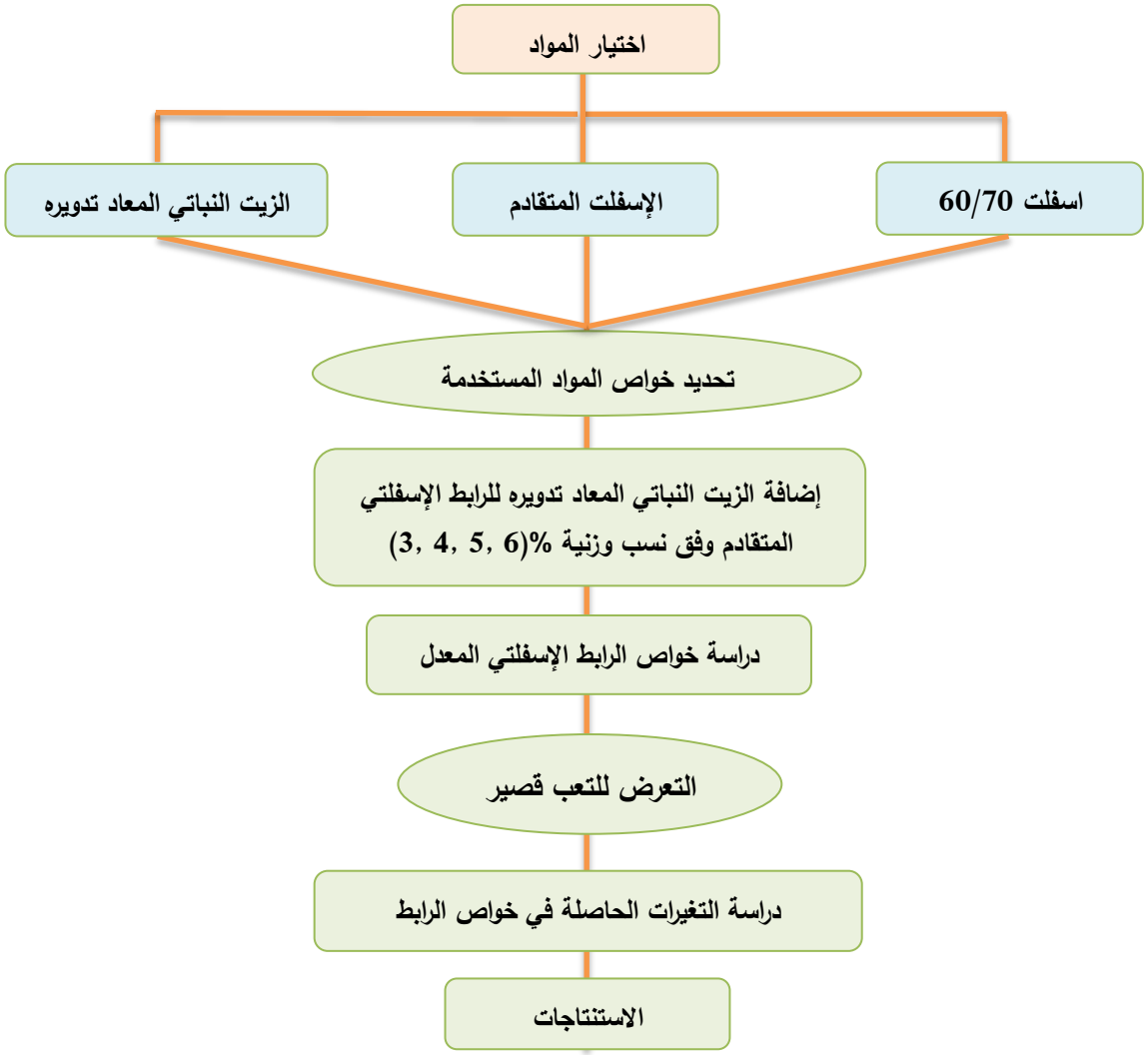
6- تجربة تجربة تحديد الوزن النوعي للاسفلت Specific Gravity وفق المواصفة ASTM D.3289.

منهجية البحث:

في البداية تم تحديد الخواص الأولية لعينات الاسفلت المتقادمة وغير المتقادمة، وذلك بإجراء تجارب الغرز عند درجة حرارة 25(°C)، والاستطالة، وتحديد درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة، وتحديد قيم دليل الغرز.

بعد التحقق من صنف الرابط الإسفلتي المستخدم، تم إضافة الزيت النباتي المعاد تدويره المفلتر والمصفى من الشوائب للرابط الإسفلتي المتقادم المسخن لدرجة حرارة 130°C وفق أربعة نسب وزنية %(3, 4, 5, 6)، واستمر التحريك حتى الحصول على مزيج متجانس. ثم تمت إعادة إجراء الاختبارات التقليدية (الغرز عند درجة حرارة 25(°C)، الاستطالة ، درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة) على الرابط الإسفلتي المتقادم والمعدل بالزيت النباتي المعاد تدويره .

بعد ذلك تم تعريض عينات الإسفلت المعدلة لاختبار التعب قصير الأمد بهدف محاكاة التغيرات التي يتعرض لها الإسفلت خلال مرحلة إنتاج المجبول الإسفلتي والتي تؤدي لفقدانه للكثير من خواصه الأولية، ومن ثم تم تحديد قيم الغرز المتبقي وحساب معدل الغرز بعد التعرض للإجهاد الحراري.



الشكل (1): مخطط العمل التجريبي

النتائج والمناقشة:

1 – تحديد خواص الرابط الاسفلتي:

1.1 – تحديد خواص الرابط الاسفلتي الجديد:

يظهر الجدول (1) خواص الرابط الإسفلتي الجديد 60/70، حيث أظهرت نتائج الاختبارات المجراة في مخابر جامعة تشرين تطابقه مع القيم المسموحة المحددة بالمواصفات العالمية ASTM.

الجدول(1): خصائص الرابط الاسفلتي 60/70

الخاصية	النتائج	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز بدرجة حرارة 25 °C	64.3	60–70
الاستطالة (cm)	140	>100

درجة حرارة التميع °C	49.5	45–55
دليل الغرز	−0.725	[−1, +1]
نقطة الوميض °C	294	min 232°C
الفاقد بالحرارة %	0.422	min 1%
الوزن النوعي (g/cm^3)	1.020	1.01–1.03

2.1 – تحديد خواص الرابط الاسفلتي المتقادم:

يظهر الجدول (2) خواص الرابط الإسفلتي المتقادم المستخدم في هذه الدراسة، ويتضح من النتائج بأنه فقد الكثير من خواصه وذي صنف 20/30.

الجدول(2): خصائص الرابط الاسفلتي المتقادم

الخاصية	النتائج
الغرز بدرجة حرارة 25 °C	24
الاستطالة (cm)	9
درجة حرارة التميع °C	58.6
دليل الغرز	−0.815

2 – تحديد خواص الزيت النباتي المعاد تدويره:

يظهر الجدول التالي الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت النباتي المعاد تدويره الذي تم استخدامه في هذه الدراسة:

الجدول (3): الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت النباتي (الصويا) المضاف

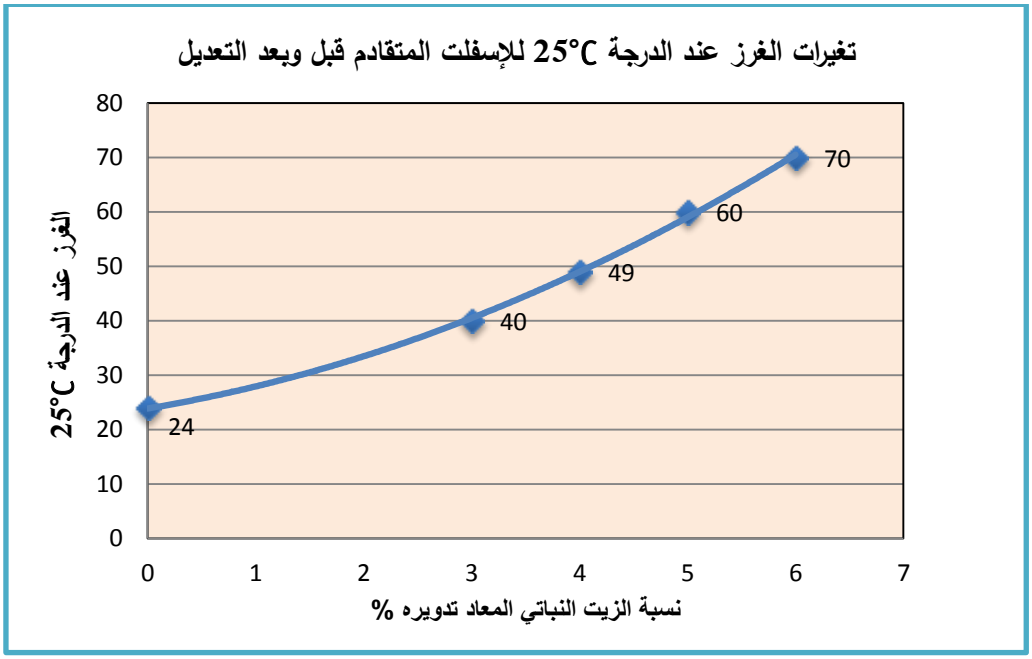
الخاصية	النتائج
الرقم الحمضي (mg KOH/g)	2.11
رقم البيروكسيد (meq/kg)	20.86
الكثافة (g/cm^3)	0.938
نقطة الوميض °C	280

يعبر الرقم الحمضي عن عدد مليغرامات هيدروكسيد البوتاسيوم اللازمة لمعادلة الحموضة في غرام واحد من الزيت ويعبر رقم البيروكسيد عن محتوى الزيت من المركبات البيروكسيدية، وكما يتضح من النتائج فإن الزيت المدروس غير صالح للتغذية وله تأثير ضار على أنسجة وخلايا الجسم نتيجة الارتفاع الكبير في قيم البيروكسيد والرقم الحمضي، حيث ازداد الرقم الحمضي عن القيم المسموحة والتي تفترض بأن لا تزيد كتلة هيدروكسيد البوتاسيوم عن 0.6mg لكل غرام زيت، كما تجاوزت قيم البيروكسيد القيم المسموحة وهي 10 meq/kg[22].

تأثير الزيت النباتي المعاد تدويره في خواص الرابط الإسفلتي:

1- تأثير الزيت النباتي المعاد تدويره في درجة غرز الرابط الإسفلتي:

يظهر الشكل التالي نتائج تجارب الغرز عند درجة حرارة 25°C(25) للرابط الإسفلتي المتقادم قبل وبعد التعديل بالزيت النباتي المعاد تدويره.



الشكل (2): تغيرات الغرز عند الدرجة 25°C للإسفلت المتقادم قبل وبعد التعديل بالزيت النباتي المعاد تدويره

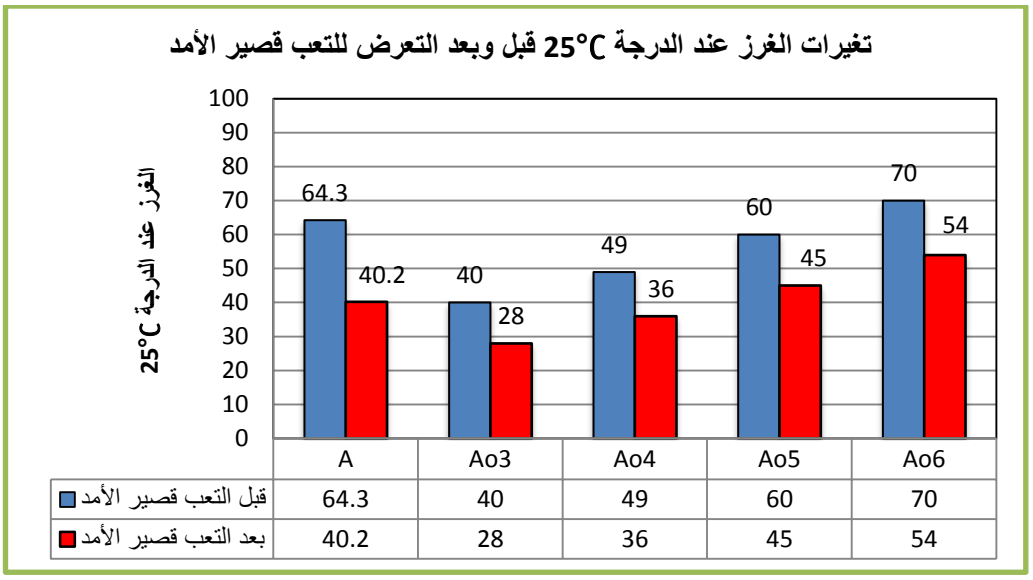
لوحظ من نتائج تجارب الغرز ازدياد قيم الغرز مع زيادة نسبة الزيت النباتي المعاد تدويره حتى وصلت قيم الغرز إلى المجال 60/70، حيث ارتفعت قيم الغرز للإسفلت Ao_3 (المتقادم والمعدل بنسبة 3% من الإضافة) بمقدار 66.7% بالمقارنة مع الإسفلت المتقادم غير المعدل Ao وللإسفلت Ao_4 بمقدار 104% وللإسفلت Ao_5 بمقدار 150% وللإسفلت Ao_6 بمقدار 191%، وهذا يشير إلى زيادة ليونة الإسفلت بزيادة نسبة الإضافة.

أعيدت بعد ذلك تجارب الغرز عند درجة الحرارة 25°C(25) لأنواع الإسفلت المستخدمة في هذه الدراسة (الإسفلت غير المتقادم A، الإسفلت المتقادم المعدل) بعد التعرض للتعب قصير الأمد وفق المواصفة ASTM D.2872-97 وذلك لتحديد التغيرات التي يتعرض لها الرابط خلال مرحلة إنتاج المجبول الإسفلتي ومن ثم تم تحديد قيمة الغرز المتبقي ومعدل الغرز Penetration ratio والذي يعبر عن النسبة بين قيمة الغرز عند درجة حرارة 25°C بعد التعرض للتعب قصير الأمد إلى قيمة الغرز عند درجة حرارة 25°C قبل التعرض للتعب قصير الأمد.

الجدول(4): نتائج اختبار الغرز لأنواع الإسفلت المستخدمة (غير المتقادم، المتقادم المعدل) قبل وبعد التعرض للتعب قصير الأمد

نوع الإسفلت		A	Ao_3	Ao_4	Ao_5	Ao_6
قيمة الغرز (25°C, 0.1 mm)	قبل التعب قصير الأمد	64.3	40	49	60	70
	بعد التعب قصير الأمد	40.2	28	36	45	54
معدل الغرز%		62.5	70	73.5	75	77.1

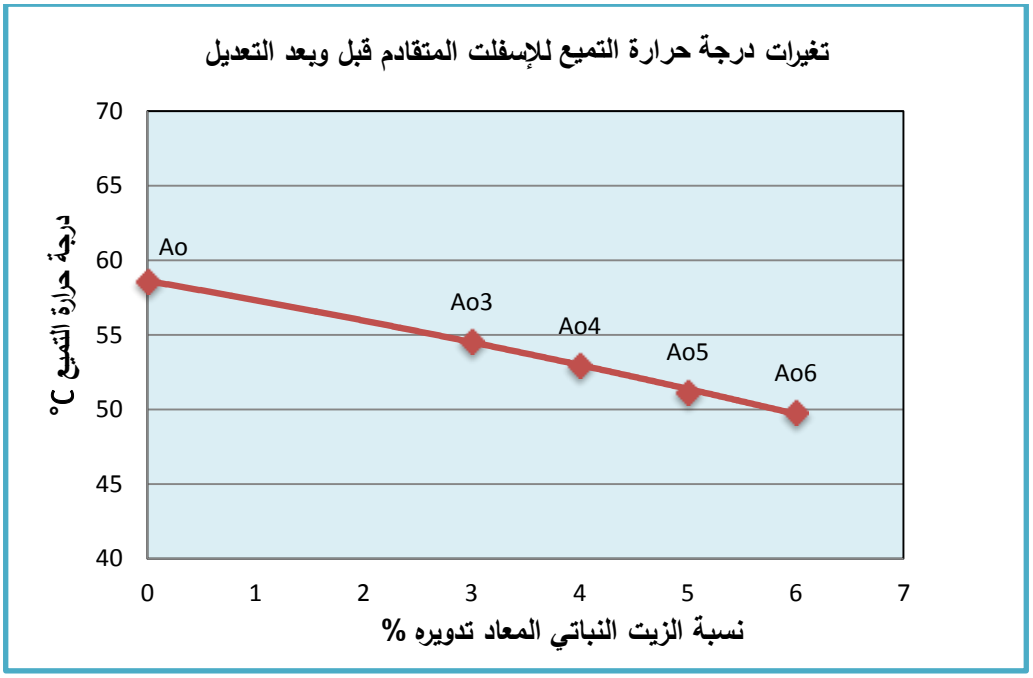
أشارت نتائج قيم معدل الغرز إلى ازدياد قيم معدل الغرز مع زيادة نسبة الإضافة، وهذا يُشير إلى زيادة مقاومة الإسفلت المعدل للتعب.



الشكل(3): قيم الغرز قبل وبعد التعرض للتعب قصير الأمد لأنواع الإسفلت المستخدمة (غير المتقادم، المتقادم المعدل)

2- تأثير الزيت النباتي المعاد تدويره في درجة حرارة تميع الرابط الإسفلتي:

يظهر الشكل التالي نتائج تجارب درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة للرابط الإسفلتي المتقادم قبل وبعد التعديل بالزيت النباتي المعاد تدويره.



الشكل (4): تغيرات درجة حرارة التميع عند الدرجة 25°C للإسفلت المتقادم قبل وبعد التعديل بالزيت النباتي المعاد تدويره

لوحظ من نتائج تجارب درجة حرارة التميع للإسفلت المتقادم تناقص قيم حرارة التميع مع زيادة نسبة الزيت النباتي المعاد تدويره، حيث تناقصت للإسفلت Ao_3 بمقدار 6.8 % وللإسفلت Ao_4 بمقدار 9.6% وللإسفلت Ao_5 بمقدار 12.6%،

وللإسفلت Ao_6 بمقدار 15%، وهذا يشير إلى تناقص لزوجة الرابط الإسفلتي، ويعزى ذلك إلى الدور الذي لعبه الزيت في تقليل قساوة الرابط واستعادته لخواصه حيث ترافق انخفاض درجة حرارة التميع مع ازدياد قيم الغرز.

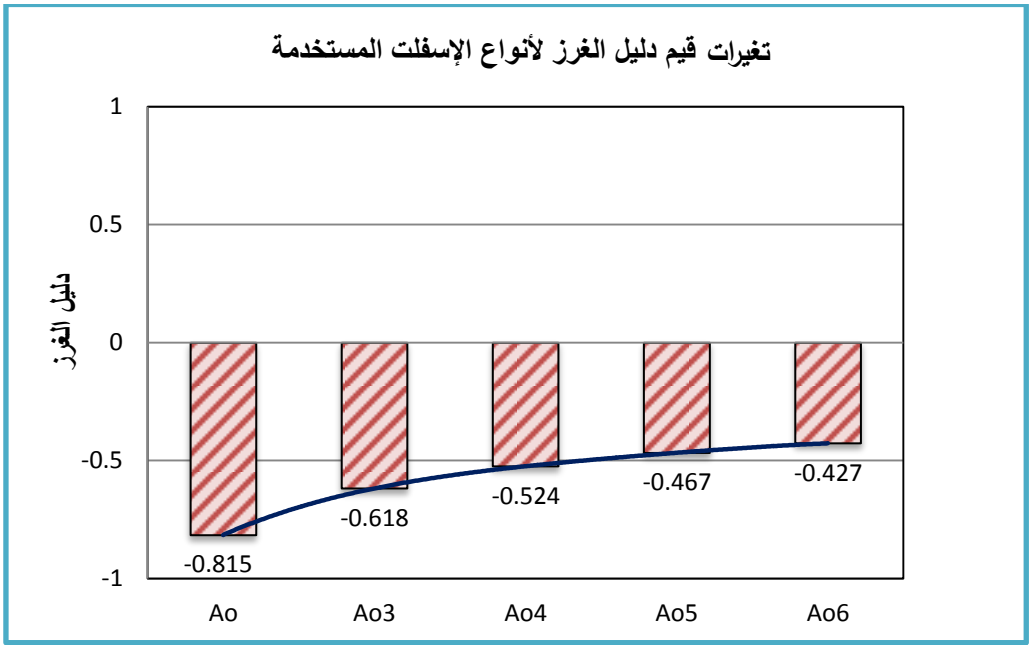
3- تأثير الزيت النباتي المعاد تدويره في قيم دليل الغرز (Penetration Index (IP:

يحسب على أساس نتائج درجة الغرز في الدرجة $25C°$ وذلك من العلاقة التالية:

$$Ip = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$$

حيث يتم حساب A من العلاقة:

$$A = \frac{Log(800) - Log(pen(25)C°)}{ASTM\ \ softening\ point - 25}$$ [23]

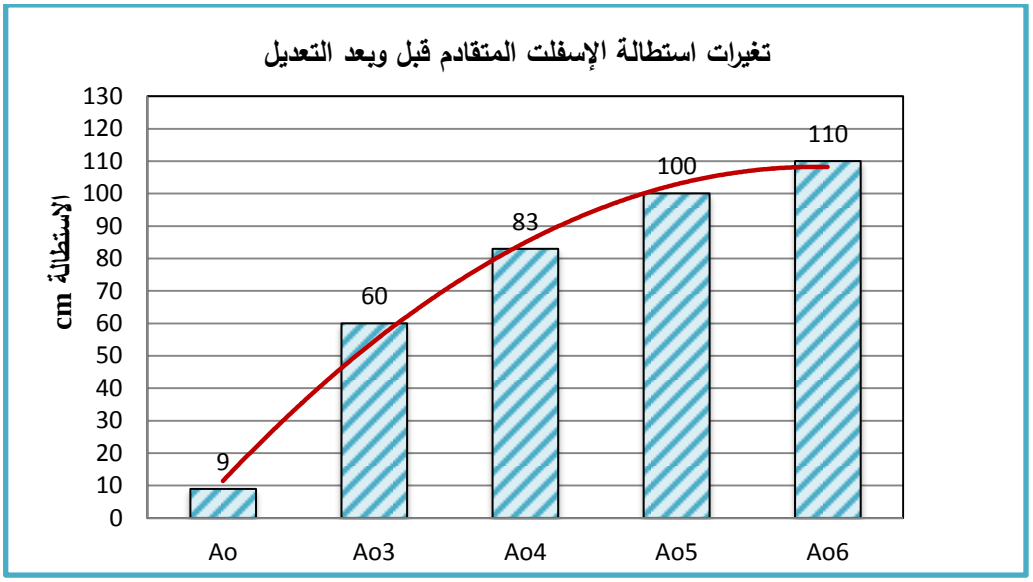


الشكل (5): تغيرات قيم دليل الغرز للإسفلت المتقادم المعدل وغير المعدل

نلاحظ بأن قيم الغرز لجميع أنواع الإسفلت ضمن حدود المجال المسموح [1+ ,1−]، كما يتضح انخفاض الحساسية الحرارية للإسفلت المدروس مع زيادة نسبة الإضافة، ويعزى ذلك إلى التغيرات الحتصلة في قيم الغرز ودرجة حرارة التميع بعد التعديل بالزيت.

4- تأثير الزيت النباتي المعاد تدويره في استطالة الرابط الإسفلتي:

يظهر الشكل التالي نتائج تجارب قابلية السحب (المطاوعة) للرابط الإسفلتي المتقادم قبل وبعد التعديل الزيت النباتي المعاد تدويره.



الشكل (6): تغيرات الاستطالة عند الدرجة 25°C للإسفلت المتقادم قبل وبعد التعديل بالزيت النباتي المعاد تدويره

لوحظ من نتائج تجارب الاستطالة للإسفلت المتقادم ازدياد قيم الاستطالة مع زيادة نسبة الزيت النباتي المعاد تدويره، وهذا مؤشر على زيادة مقاومة الإسفلت للشقوق الحرارية، وتعزى هذه الزيادة في قيم الاستطالة إلى الدور الذي لعبه الزيت في استعادة مرونة الرابط الإسفلتي.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- أشارت نتائج هذه الدراسة إلى ارتفاع قيم الغرز والاستطالة وتناقص درجة حرارة التميع مع زيادة نسبة الزيت النباتي المعاد تدويره كما يلي:

- ازداد مجال الغرز للإسفلت إلى المجال 40/50 عند النسبتين (3,4)% من الإضافة، وترافق ذلك مع انخفاض درجة حرارة التميع بمقدار 6.8% عند النسبة 3% من الإضافة وبمقدار 9.6% عند النسبة 4% من الإضافة، في حين ازدادت قيم الاستطالة إلى القيمتين (60, 83)cm عند النسبتين (3,4)% من الإضافة على التوالي.
- ازداد مجال الغرز للإسفلت إلى المجال 60/70 عند النسبتين (5,6)% من الإضافة، وترافق ذلك مع انخفاض درجة حرارة التميع بمقدار 12.6% عند النسبة 5% من الإضافة وبمقدار 15% عند النسبة 6% من الإضافة، في حين ازدادت قيم الاستطالة إلى القيمتين (100, 110)cm عند النسبتين (5,6)% من الإضافة على التوالي.

2- انخفاض الحساسية الحرارية للرابط الإسفلتي المتقادم مع زيادة نسبة الإضافة وفقاً لنتائج قيم دليل الغرز.

3- ارتفاع مقاومة الرابط الإسفلتي للتعب مع زيادة نسبة الإضافة والتي يعبر عنها بارتفاع قيم معدل الغرز بعد التعرض للتعب قصير الأمد.

4- إمكانية تحسين خواص الرابط الإسفلتي المتقادم (الغرز، دليل الغرز، حرارة التميع، الاستطالة، معدل الغرز) ليماثل نظيره غير المتقادم باستخدام الزيت النباتي المعاد تدويره.

5- النسب المثالية لإضافة الزيت النباتي المعاد تدويره للرابط الإسفلتي المتقادم (في دراستنا ذو غرز 20/30) تتراوح بين %(5, 6)، حيث يمتلك الرابط الإسفلتي المعدل عند هذه النسب خواصاً مشابهة لخواص الرابط الإسفلتي 60/70.

التوصيات:

1. نوصي بدراسة تأثير الزيت النباتي في محتوى الإسفلتينات وفق إختبار التركيب المجموعي للإسفلت.
2. كما نوصي بمتابعة دراسة الخواص الريولوجية والكيميائية للرابط الإسفلتي المعدل ودراسة خواص الرابط المعدل بعد التعرض للتعب طويل الأمد.
3. بعد التحقق من الجدوى الفنية لاستخدام الزيت النباتي المعاد تدويره في تعديل الرابط الإسفلتي المتقادم، يجب دراسة خواص الخلطات الإسفلتية المصممة باستخدام الرابط المعدل ودراسة التغيرات المرافقة.

المراجع:

1) Cao, XI; Wang, H; Cao, XU; Sun, W; Zhu, H; Tang, B. *Investigation of rheological and chemical properties asphalt binder rejuvenated with waste vegetable oil*. Construction and Building Materials 180, 2018, 455–463.

2) Chen, X; Wang, H. *Life cycle assessment of asphalt pavement recycling for greenhouse gas emission with temporal aspect*. J. Cleaner Prod. 187, 2018, 148-157.

3) Mathur, H; Lata, Mr; Nagar, B. *Preparation of BC Mix using Waste Cooking Oil as Rejuvenator for RAP*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Volume 6 Issue VIII, 2018, 709-724.

4) MAHREZ, A; IBRAHIM, M; KARIM, M; KATMAN, H. *Prospects of Using Waste Cooking Oil as Rejuvenating Agent in Bituminous Binder*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.7, 2009.

5) Holleran, G; Wieringa, T; Tailby, J. *Rejuvenation Treatments for Aged Pavements*. 8th Annual conference New Zealand Institute of Highway Technology (NZIHT), 2006.

6) Maharaj, R; Harry, V; Mohamed, N. *The Rheological Properties of Trinidad Asphaltic Materials Blended With Waste Cooking Oil*. Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, Vol. 31, No. 4, 2015, 265-280.

7) Huh, J. Do. *Temperature-Adjusted and Modified Recycled ASCON Composition for Reusing 100% of Waste ASCON for Road Pavement, and Method for Manufacturing Same.* US Patent 20120167802 A1, 2012.

8) Kulkarni, M.G; Dalai, A.K. *Waste Cooking Oils An Economical Source for Biodiesel: A Review*. Industrial and Engineering Chemical Research, 45, 9, 2006, 2901–2913.

9) Cao, XI; Cao, XU; Boming, T; Yuanyuan, W; Xiaolong, L. *Investigation on Possibility of Waste Vegetable Oil Rejuvenating Aged Asphalt*. Applied Sciences, 8, 765, 2018.

10) Zhang, D; Chen, M; Wu, S; Liu, J; Amirkhanian, S. *Analysis of the Relationships between Waste Cooking Oil Qualities and Rejuvenated Asphalt Properties*. Materials, 10, 508, 2017.

11) Chen, M**;** Leng, B**;** Wu, S**;** Sang, Y. *Physical, chemical and rheological properties of waste edible vegetable oil rejuvenated asphalt binders*. Construction and Building Materials, 66, 2014, 286–298.
12) Chen, M**;** Xiao, F**;** Putman, B**;** Leng,, B**;** Wu, S. *High temperature properties of rejuvenating recovered binder with rejuvenator, waste cooking and cotton seed oils*. Construction and Building Materials, 59, 2014, 10–16.
13) ASLI, H; AHMADINIA, E; ZARGAR, M; KARIM, M. R. *Investigation on physical properties of waste cooking oil – Rejuvenated bitumen binder*. Construction and Building Materials 37, 2012, 398-405.
14) Zargar, M; Ahmadinia, E; Asli, H; Karim, M.R. *Investigation of the possibility of using waste cooking oil as a rejuvenating agent for aged bitumen*. J. Hazard. Mater, 233–234, 2012, 254–258.
15) Vignesh, H; Ramesh, N.G; Manivasagan, V; Suganya, S; Eajas, M. *Emerging Trends in Greener Pavements*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 2 Issue 2, 2013, 1-14.
16) Fini, H. E; Yang, H. S; Xiu, S. *Characterization and application of manure based bio-binder in asphalt industry*. Transportation Research Board 89th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, DC, 2010.
17) ohnson, C; Wen, H; Bahia, H. *Practical application of viscoelastic continuum damage theory to asphalt binder fatigue characterization*. J. Assoc. Asphalt Paving Technol, 78, 2009, 597–638
18) Yang, X; You, Z.P; Dai, Q.L. *Performance evaluation of asphalt binder modified by bio-oil generated from waste wood resources*, Int. J. Pavement Res. Technol. 6 (4) 2013, 431–439.
19) Wen, H; Brusal, S;Wen, B. *Laboratory evaluation of waste cooking oil-based bioasphalt as an alternative binder for hot mix asphalt*. Journal of Materials in Civil Engineering, 25, 2013, 1432–1437.
20) Sun, Z; Yi, J; Huang, Y; Feng, D; Guo, C. *Properties of asphalt binder modified by bio-oil derived from waste cooking oil*. Construction and Building Materials, 102, 2016, 496–504.
21) Water Protection Practices Bulletin. *Managing Above Ground Storage Tanks to Prevent Contamination of Drinking Wate*r. The mission of EPA, USEPA East (EPA East) [Old ICC Building], 1201 Constitution Avenue N.W, Washington, DC 20004, 2010.
22) Thabet, H; Al – Ashqar, N. *Acid Value, Peroxide Value and Saponification Number for some Local and Imported Edible Oil Samples*. Islamic University Journal, Gaza, plestin, 9, 1, 2001, 1-8.
23) OLUGBENGA. E; OLUGBENGA. F; GONATHAN. G. *Softening point and penetration Index of bitumen from parts Southwestern Nigeria*. NAFTA, 2012, 319-323.
24) ASTM, 2003. *Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures*. Annual Book of ASTM Standard, D3515-01, Vol. 04.03.
25) Transportation Ministry. *Standard Specifications for Roads and Bridges*, Damascus, Syria, 2002.