Bitumen Modification Using Used Motor Oils to Reduce Short-and Long-term Aging

Dr. Bassam Sultan*
Okba Kerhali**

(Received 17 / 5 / 2023. Accepted 16 / 7 / 2023)

□ ABSTRACT □

Most of the research and road agencies in the world tend to make the most of the used materials in maintenance or construction operations, as the process of using them constitutes an added value to them as well, in addition to reducing the environmental impact of these materials.

In this research, the effect of certain additives (expendable materials) of the bituminous binder on its properties was studied, and the suitability of these additives for use in modifying the asphalt was determined, in order to resist the long-term fatigue that the asphalt binder is exposed to in hot climate conditions, which greatly affects the investment time. Reducing required maintenance.

The burnt oil material (resulting from the combustion of oils in internal combustion engines) was chosen for its ease of use and obtaining, in addition to the lack of the need for additional equipment in order to prepare it for use, as it was modified in three weight ratios, and its aging was monitored through a series of laboratory experiments that simulate operations Manufacture and investment of bitumen in asphalt mixtures. The results showed an improvement in the ring & ball temperature and Frass breaking point temperature, and an improvement in the field of thermal plasticity of bitumen after the laboratory aging stages.

Keywords: Asphalt, bitumen, modified asphalt, long-term fatigue, burnt oil

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.dr.bassamsultan@gmail.com**
** **Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.okbakerhali@tishreen.edu.sy**

تعديل البيتومين باستخدام زيوت المحركات المستهلكة للحد من التقادم القصير والطويل الأمد

د. بسام سلطان*

عقبه قرحالي**

(تاريخ الإيداع 17 / 5 / 2023. قُبِل للنشر في 16/ 7 / 2023)

□ ملخّص □

تتجه معظم الأبحاث ووكالات الطرق في العالم إلى الاستفادة القصوى من المواد المستهلكة في عمليات الصيانة أو عمليات الإنشاء، حيث تشكل عملية الاستفادة منها قيمة مضافة لها أيضاً، بالإضافة إلى تقليل الأثر البيئي لهذه المواد.

تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافات معينة (مواد مستهلكة) للرابط البيتومين على خصائصه، وتحديد مدى ملاءمة هذه الإضافات للاستخدام في تعديل البيتومين، من أجل مقاومة التعب طويل الأمد الذي يتعرض له الرابط البيتومين في ظروف المناخ الحار، مما ينعكس بشكل كبير على زمن الاستثمار وتقليل عمليات الصيانة اللازمة.

تم اختيار مادة الزيت المحروق (الناتجة عن احتراق الزيوت المعدنية في محركات الاحتراق الداخلي)، لسهولة استخدامها، والحصول عليها، بالإضافة إلى عدم الحاجة إلى تجهيزات إضافية من أجل تحضيرها للاستخدام، حيث تمت تعديل البيتومين باضافة ثلاث نسب وزنية من الزيت المحروق(من وزن البيتومين) ، ومتابعة اختبار تقادمها، ومتابعة تقادمها عبر سلسلة تجارب مخبرية تحاكي عمليات تصنيع واستثمار البيتومين في الخلائط البيتومينية، وقد أظهرت النتائج تحسناً في درجة حرارة التميع ودرجة حرارة الانكسار وتحسن مجال اللدونة الحرارية للبيتومين بعد مرحلة التقادم المخبرية.

الكلمات المفتاحية: أسفلت، بيتومين، البيتومين المعدل، التعب طويل الأمد، الزيت المحروق

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* أستاذ، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. dr.bassamsultan@gmail.com

** قسم هندسة النقل والمواصلات، كلية الهندسة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. okbakerhali@tishreen.edu.sy

مقدمة:

يتم تسخين البيتومين إلى درجات حرارة مرتفعة من أجل تأمين اللزوجة الكافية لتغليف الحصويات بشكل جيد، من ثم يترك المجبول البيتوميني ليبرد في درجة حرارة الجو، مما يؤدي لزيادة قساوته، وتستمر هذه الزيادة مع الزمن خلال الاستثمار، ويشار إلى هذه التقسية من خلال عدة مؤشرات منها الزمن حتى حصول التقسية والصلابة أو الهشاشة، وبتعبير أبسط بالتعب، والذي يمكن ملاحظته من خلال تصلب ولزوجة أكبر للبيتومين، وازدياد خاصية التقصف والهشاشة بشكل ملموس، كما أن البيتومين يصبح أكثر قابلية لحدوث التشوهات والعيوب نتيجة تأثير المياه والعوامل الجوية المختلفة [1]. وعلى الرغم من الآثار السلبية لتقسية البيتومين، فهي في بعض الأحيان تكون مفيدة للرصف البيتوميني المعرض للتشوهات [1] من خلال زيادة صلابة الرابط، حيث تكون قدرته أكبر على توزيع وتبديد الأحمال الناتجة عن مرور العربات ومقاومة أكبر للتشوهات الدائمة [2]. بشكل عام يتم تحديد البيتومين حسب خصائصه الفيزيائية، والتي بمعرفته يمكن التنبؤ بأداء البيتومين ضمن الخلطة البيتومينية، ومن هذه الخصائص الفيزيائية ظاهرة التعب (Bitumen Aging).

تعتبر الأبحاث التي تطرقت إلى ظاهرة التعب الذي يتعرض له المجبول البيتوميني قليلة، على الرغم من استخدام البيتومين منذ منتصف القرن الثامن عشر في أوروبا، واستخدامه في الولايات المتحدة الأمريكية في نهاية القرن الثامن عشر، إذ أن أغلب الأبحاث تركزت على تعب البيتومين فقط بشكل مستقل.

كما هو معروف إن البيتومين يتم تسخينه إلى درجات حرارة مرتفعة من أجل تأمين اللزوجة الكافية لتغليف الحصويات بشكل جيد، من ثم يترك المجبول البيتوميني ليبرد في درجة حرارة الجو، مما يؤدي لزيادة قساوته، وتستمر هذه الزيادة مع الزمن خلال الاستثمار، ويشار إلى هذه التقسية من خلال عدة مؤشرات منها الزمن حتى بلوغ المجبول قساوة وصلابة أو هشاشة معينين، وبتعبير أبسط حد التعب، والذي يمكن ملاحظته من خلال تصلب ولزوجة أكبر للبيتومين، وازدياد خاصية التقصف والهشاشة بشكل ملموس، كما أن المجبول الاسفلتي يصبح يصبح أكثر قابلية لحدوث التشوهات والعيوب نتيجة تأثير المياه والعوامل الجوية المختلفة. وعلى الرغم من الآثار السلبية لتقسية البيتومين فهي في بعض الأحيان تكون مفيدة للرصف البيتوميني المعرض للتشوهات من خلال زيادة صلابة الرابط، حيث تكون قدرته أكبر على توزيع وتبديد الأحمال الناتجة عن مرور العربات ومقاومة أكبر للتشوهات الدائمة [1,2,22].

يرى الباحث Whitman أن التقسية تحدث نتيجة الأكسدة، وتبخر المركبات الخفيفة، بالإضافة إلى ظاهرة البلمرة [3]. ويحدث التطاير أو التبخر بشكل أساسي في مزيج المجبول البيتوميني في الفترة الممتدة من عملية المزج حتى الانتهاء من عملية إنشاء الرصف، حيث يكون عندها مزيج المجبول البيتوميني في درجات حرارة مرتفعة، وهذا ما يسمى بالتعب قصير الأمد (Aging-Term-Short)[2].

ولا تقف عملية الأكسدة التي تؤدي إلى تحول الزيت إلى مالتين والمالتين إلى إسفلتين عند مرحلة التعب قصير الأمد، والتي تحدث عندها بشكل جزئي، وإنما تستمر وتتكثف مع الزمن بشكل كبير خلال استثمار الرصف، تحت تأثير العوامل المناخية المختلفة، وهذا ما يشار إليه بالتعب طويل الأمد (Aging-Term-Long) [3,22]. من هنا يمكننا أن نميز بين مرحلتين للتعب لهما خواص مختلفة، من حيث زمن التأثير والتعرض لمختلف العوامل، بالإضافة إلى عملية التعب الميكانيكي الناتجة عن رد الفعل [3]. كما نميز عاملين مؤثرين على عملية تعب البيتومين، هما المنشأ وتكنولوجيا الإنتاج، حيث تشير الأبحاث التي أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية إلى تأثر لزوجة بعض أنواع البيتومين بالحرارة أكثر من غيرها من العوامل المذكورة [4]. وبنتيجة التعب قصير الأمد وما يرافقه من تكثف لظاهرة

التبخر والتطاير للمركبات الخفيفة، فإن البيتومين المكسيكي يفقد حوالي 9.33% من الزيوت ويفقد البيتومين الألماني حوالي 2.39% والبيتومين الروسي حوالي 1.03% [5]. وتتأثر خواص تعب البيتومين تبعاً لطبيعة وحجم التغيرات التي يتعرض لها أثناء إنتاجه في وحدات التصنيع، والتي تكون في قيمتها الدنيا بالنسبة للبيتومين اللين، وتتدرج لتصل إلى قيم عظمى بالنسبة للبيتومين القاسي [3].

يتعرض البيتومين أثناء إنتاج المجبول البيتوميني إلى العديد من التغيرات، ويمكن تلخيص الأسباب المؤدية لتعب البيتومين بالأكسدة، والتبخر والتطاير، والزمن حتى إنشاء الرصف، والبلمرة، وتكثف الجزيئات، وتكثف البلمرة مع التسخين [1].

وتشير الأبحاث التي قام بها المركز الأمريكي لبحوث الطرق الاستراتيجي إلى أن البيتومين حين يتغلغل عبر ثقوب المواد الحصوية، أثناء وبعد عملية الخلط الساخن، فإن مكوناته تُمتص بشكل انتقائي، حيث أن الجزيئات الصغيرة تمتص من قبل الحصويات وتترك وراءها الجزيئات الكبيرة نسبياً، مما يؤدي إلى تغير تركيب البيتومين الممتص من قبل الحصويات عن غير الممتص، وبالتالي فإن عملية الامتصاص الانتقائية سوف تؤدي إلى خروج أقسام محددة من البيتومين، وبشكل أكثر دقة من المالتين كالمكونات العطرية والقطبية والمذيبات تاركة غشاءً بيتوميني أقسى وأغنى بالبيتومينين مما يؤدي إلى تعب مبكر للبيتومين، وبالتالي إلى ظهور الشقوق والتشوهات بشكل أسرع، ويلعب سطح الامتزاز للحصويات وطبيعة المواضع الفعالة المهيأة للالتحام بالبيتومين دوراً مهماً في عملية الامتصاص الانتقائية [8,9].

وهناك مجموعة من العمليات التي تساهم بشكل مشترك في حدوث التعب القصير الأمد والتعب طويل الأمد وهي الأكسدة، وعمليات التبخر والتطاير الناتجة عن فقدان المكونات الخفيفة الأولى خلال عملية إنتاج المجبول البيتوميني في درجات الحرارة المرتفعة، وكذلك عمليات الكربنة والبلمرة [10].

في منتصف الثمانينات تم تطوير بوليميرات جديدة في أوربا وبدأت التقنيات الأوربية بالظهور في الولايات المتحدة وذلك للتقليل من ظاهرة التعب قصير الامد [5,6,7]، وبنفس الوقت زاد الاهتمام الاقتصادي بالتعب الطويل الأمد، وفي أستراليا تضمنت مواصفات البيتومين الإرشادات والخصائص مع الأخذ بالاعتبار استعمال الروابط المعدَّلة بالبوليميرات [5,6].

إن الخلائط البيتومينية التي يتم تعديل رابطها يجب أن تتمتع بقدرة كبيرة لمقاومة التخدد، والشقوق الحرارية، ومقاومة أكبر لظاهرة التعب، وزيادة قدرتها على الالتصاق بالحصويات، وحساسيتها الحرارية.

تستخدم الخلائط المعدلة في الأماكن التي تتعرض لإجهادات عالية كالتقاطعات في الشوارع المزدحمة، والمطارات، والمواقف [11]، وتعود مقاومة الخلائط للعيوب السابقة للرابط المستخدم، وقد تبيَّن أن الروابط البيتومينية المعدلة بالبوليميرات، والاضافات كزيوت المحركات وزيوت المطاعم ذات التصنيف الواحد تصبح أكثر مقاومة للتعب والتخدد من الروابط نفسها بدون عملية تعديل [23,4,5,6].

يستخدم العديد من البوليميرات SBS، SBR،EVA وغيرها في تعديل الرابط والخلائط البيتومينية، وتستخدم لتحسين الخصائص التاليَّة مثل المرونة المتبقيَّة، درجة حرارة تميُّع عالية، ولزوجة أكبر، ومقاومة التصاق كبيرة ومطاوعة أكبر[11,12,23].

في عام 2003 أظهرت دراسةٌ أن جميع الروابط البيتومينية المعدلة بالبوليميرات لها لزوجة أعلى بقليل من الرابط غير المعدل عند الدرجة 60 مئوية، على الرغم من تغير قيمة الاختراق بشكل خفيف في جميع درجات الحرارة [13].

وفي عام 2003 أشار الباحث Newcomb للفكرة المعروفة، بأن ظهور الشقوق الناتجة عن التعب أمر حتمي، بأنها غير صحيحة، إذ أنه توجد أماكن تم فيها الرَّصف باستخدام رصف كامل من الخلائط البيتومينية منذ 30 – 40 عام،

ولم تظهر فيها شقوق التَّعب، وقد أظهر أن استخدام الروابط المعدَّلة بالبوليميرات في أسفل الطبقة البيتومينية يساهم في عدم ظهور شقوق التعب لفترة طويلة من الزمن [13].

وفي نفس العام أوضحت دراسة أمريكية أنَّه من أجل الخيار الاقتصادي لاختيار البوليمير أو الإضافات كالزيوت المستعملة في تعديل البيتومين، فإن البوليمير الأفضل هو البوليمير الذي يقلل العيوب المختلفة كالتَّخدد والتعب، والشقوق الحراريَّة، والتأثير الضَّار للمياه [14]. يستخدم البوليمير SBR لتحسين خصائص الخليط البيتومينى، والمطاوعة في درجات الحرارة المنخفضة، حيث يساهم في زيادة اللزوجة، والمرونة المتبقيَّة، وكذلك التماسك الداخلي، والالتصاق مع الحصويات، وسبب هذا الحبيبات الناعمة جداً والمنتظمة للبوليمير والتي تساهم في جعل عملية التعديل أكثر كفاءة، وتجعل من الرابط المعدل يشكل مزيجاً متجانساً [16].

في عام 1990 وجد أن التعديل بالـ SBS أكثر كفاءة من التعديل بمادة EVA من حيث المرونة المتبقية والمطاوعة الناتجة، وهذا ما أكدته منظمة الرصف البيتومينى الأسترالية في عام 1997، أنه من أجل تركيز خفيف جداً من مادة الـ SBS يساعد على زيادة المرونة المتبقية ويرفع درجة حرارة التميُّع واللزوجة، ويزيد من قدرة الرابط على الالتصاق بالحصويات [17].

وفي عام 1997 تبيَّن وجود علاقة بين مقاومة التَّخدد في الخلطة البيتومينية وبين وجود البوليمير فيها، في حين لم يظهر أي ترابط واضح بين وجود البوليمير وبين درجة حرارة التميع أو المرونة المتبقية [18].

وقد وجد أن التجارب قد تفيد في تأكيد وجود البوليمير، وليس في معرفة أدائه في الحقل [18، 19].

كما أوصى الباحث Yetkin Yildirim باستخدام التجارب التي تعتمد على تعيين درجة المرونة المتبقية للبيتومين المعدل بالـ SBS، لأنها تعطي قياس جيد عن مدى مساهمة البوليمير في تشكيل الرابط [20].

وفي عام 2009 وضح فريق من الباحثين، أنه وبعد عملية التعب الطويل الأمد للبيتومين المعدل بالـ SBS تحصل التغيرات التالية في الرابط البيتومينى [21]: 1) تتشكل مجموعات كربونية وكبريتية وقطع جزئية من البوليمير، وهذا يدل على حصول عملية الأكسدة للبيتومين وتفسخ في أجزاء البوليمير. 2) ظهور كريات من الأسفلتين بعد عملية التعب، وهذا يدل على أن الشبكة الإنشائية التي تظهر في الرابط المعدل تختفي بعد عملية التعب طويل الأمد. 3) إن أثر البوليمير SBS يظهر فقط في المرحلة الأولى من عمر الرابط البيتومينى المعدل. 4) إن عملية التعب تحث على التغييرات في بنية البيتومين الأساسي وتؤدي إلى تفسخ في الروابط المعدلة بالـSBS. 5) إن وظيفة البوليمير قد تخرَّبت حيث أن الشبكة الإنشائية الأولية، التي ظهرت في بداية التعديل، قد تخرَّبت بعد عملية التعب، وأصبحت الخصائص الميكانيكية والريولوجية للرابط المعدَّل مشابهة لخصائص الرابط نفسه بدون عملية التعديل.

مما سبق نلاحظ دوماً تراجعاً في أداء الرصف مع الزمن، وعلى الرغم من التعديل بالبوليمير SBS، وغيره الذي ينصح به الكثير من الأبحاث، فقد تبيَّن أنه يتعرض للتفكك والتفسخ نتيجة للتعب الطويل الأمد، ويعتبر المسبب الأكثر مساهمة في حصول التَّعب للرابط هو خروج المالتين والمواد الزيتية والعطرية، وبقاء غشاء بيتومينى قاسي وغنيّ بالأسفتين [9].

وفي الوقت الحاضر زادت أهمية الحفاظ على البيئة وعلى المواد المستهلكة لإعادة تدويرها أو استخدامها في مجالات أخرى، لما لها من توفير في الكلفة والتقليل من أثارها البيئية المتراكمة.

تم في هذا البحث استخدام مادة زيتية كتعويض عن فقد أحد المكونات الأساسية، والتي عند فقدانها، من الرابط يحصل التعب.

كل ماسبق يقودنا الى التفتيش عن بدائل البوليميرات الا وهيا مواد ممكن تدويرها كزيت نواتج اعداد الاطعمة وزيوت السيارات المستعمل والذي اثبتت الابحات جدوى استخدامه في تحسين خصائص البيتومين[24,25]. وتم اختيار مادة الزيت المحروق (الناتجة عن احتراق الزيوت المعدنية في محركات الاحتراق الداخلي)، لسهولة استخدامها، والحصول عليها، بالإضافة إلى عدم الحاجة إلى تجهيزات إضافية من أجل تحضيرها للاستخدام، وعدم الحاجة إلى أية معالجة قبل استخدامه، حيث تم في بادئ الأمر تحديد النسبة الوزنيَّة الأولية في عملية التعديل ليبقى الرابط البيتوميني ضمن الحدود المقبولة للاستخدام في عملية تعديل البيتومين.

البرنامج الاختباري: Program Experimental

استخدم في هذا البحث البيتومين ذو التصنيف 60-70 ناتج مصفاة حمص، وفق المواصفات ASTM.D 140- بحيث تكون ممثلة بشكل صحيح للبيتومين المنتج في سوريا، وتم استخدام مادة الزيت المحروق)، كإضافة للبيتومين لمعرفة تأثيرها على خواص البيتومين المستخدم. وتم استخدام الرموز التالية:

Aoil0.5 يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة حمص بعد إضافة الزيت بنسبة 0.5%وزناً.

Aoil1 يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة حمص بعد إضافة الزيت بنسبة 1% وزناً.

Aoil1.5 يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة حمص بعد إضافة الزيت بنسبة 2% وزناً.

A.Foil0.5 يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة حمص بعد إضافة الزيت بنسبة 0.5% وزناً وبعد التعرض للتقادم.

A.Foil1 يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة حمص بعد إضافة الزيت بنسبة 1% وزناً وبعد التعرض للتقادم.

A.Foil1.5 يشير إلى البيتومين 60-70 إنتاج مصفاة حمص بعد إضافة الزيت بنسبة 1.5% وزناً وبعد التعرض للتقادم.

تحضير العينات Samples Preparation:

تم إضافة الزيت المحروق وفق ثلاث نسب وزنية إلى البيتومين هي (0.5-1-1.5)% حيث تم تسخين البيتومين إلى درجة الحرارة التي توصي بها المواصفات أثناء تحضير العينات، من ثم أُضيف الزيت بشكل تدريجي مع التحريك المستمر، مع المحافظة على درجة حرارة الخلط واستمرت عملية الخلط حتى توزع الزيت بشكل متجانس.

منهجية العمل والاختبارات: Laboratory Job

اعتمد في هذا البحث سلسلة من الاختبارات المحددة بالمواصفات التالية:

1-تجربة الغرز Penetration وفق المواصفات ASTM D.5 في درجة الحرارة 25.

2-تجربة تحديد درجة التلين (Softening Point (Ring & Bale وفق المواصفات ASTM D.36.

3-تجربة الممطولية Ductility وفق المواصفات ASTM D.113.

4-تجربة الفاقد بالحرارة Loss Of Heating وفق المواصفات ASTM D.1754.

5-التعب طويل الأمد وفق منهجية تجريبية مخبرية تمكننا من محاكاة التعب طويل الأمد، ومؤلفة من مرحلتين أساسين لمحاكاة عملية التقادم، حيث تتألف المرحلة الأولى من عملية التقادم من ثلاثة أطوار هي:

1-الطور الأول: حيث توضع العينات بالفرن بالدرجة 50 مئوية بتأثير هواء ساخن لمدة 336 ساعة.

2-الطور الثاني: حيث توضع لمدة 168 ساعة بالماء.

3-الطور الثالث: حيث توضع العينات لمدة 336 ساعة بالفرن بالدرجة 50 مئوية بتأثير الهواء، ويتم في هذا القسم قياس تغيرات الكتلة في كل طور من الأطوار، وتغيرات درجة حرارة الكسر وتغيرات درجة حرارة التميع (الكرة والحلقة).

تأتي بعدها المرحلة الثانية من محاكاة التعب طويل الأمد، حيث تتعرض العينات الناتجة عن المرحلة الأولى إلى تأثير منبع حراري (أشعة تحت الحمراء) يعطي درجة حرارة تصل لسبعين درجة مئوية، حيث تتعرض العينات فيها لهذه الحرارة مدة زمنية تصل إلى 672 ساعة، ويتم خلالها وبعد 336 ساعة الأولى تسجيل تغيرات، الكتلة، الغرز، درجة حرارة التميع، درجة حرارة الكسر.

تحديد مواصفات الزيت المحروق (المستهلك) الذي تم استخدامه:

تم تحليل الزيت وتحديد مواصفاته، والجدول التالي يبين مواصفاته:

الجدول (1) يبين مواصفات الزيت المحروق المستخدم.

property	القيمة	الخاصية
KV at 40 cST	47.85	(اللزوجة الكينماتيكية) معدل التدفق عند درجة حرارة 40
KV at 100 cST	7.92	(اللزوجة الكينماتيكية) معدل التدفق عند درجة حرارة 100
VI (viscosity Index)	135.64	دليل اللزوجة
TBN (Total Base Number)	3.89	الرقم القاعدي الإجمالي (الكمية المتبقية من الفعالية للزيت)
%Soot	none	سخام
Fuel dilution	%0	النسبة المئوية للوقود المتبقي في الزيت
Flash point	176	درجة حرارة الوميض
Insoluble	none	مواد أخرى غير منحلة

تحديد خواص البيتومين الأولية:

في البداية تم تحديد الخواص الأولية لعينات البيتومين المختبرة وهو بيتومين 60-70 ناتج مصفاة حمص، وذلك بإجراء تجربة الغرز في درجة الحرارة 25 وتحديد درجة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة، الممطولية، اللزوجة، ثم أعيدت التجارب ذاتها على البيتومين المعدل المستخدم في هذه الدراسة.

أجريت بعد ذلك اختبار الفاقد بالحرارة على أنواع البيتومين المستخدمة ثم أعيدت نفس الاختبارات السابقة (الغرز في درجة الحرارة 25، درجة حرارة التميع، الممطولية) على البيتومين بعد اختبار الفاقد، ثم أعيدت نفس التجارب عند كل مرحلة من مراحل التقادم، وفيما يلي جدول يبين نتائج الاختبارات قبل وبعد التعب طويل الأمد للبيتومين الأصلي قبل إجراء أي تعديل.

الجدول (2) نتائج الاختبارات قبل وبعد التعب القصير الأمد للبيتومين المستخدم A.

	التجربة		البيتومين A
قبل التعب قصير الأمد	اللزوجة pa.s	عند الدرجة المئوية 60	856
		عند الدرجة المئوية 90	212
		عند الدرجة المئوية 135	2
	الغرز، P	25 ^{0}c – 100 gr – 5 Sec	67
	درجة حرارة الكرة والحلقة (التلدن) مئوية		50.5
	درجة حرارة الكسر مئوية		16.5-
	الاستطالة (الممطولية) cm في الدرجة 25 مئوية		150

	الفاقد بالتسخين %		0.27−
	مجال اللدونة الحرارية (درجة مئوية)		67
بعد التعب قصير الأمد	اللزوجة pa.s	عند الدرجة المئوية 60	1150
		عند الدرجة المئوية 90	358
		عند الدرجة المئوية 135	4
	الغرز، P	Sec 5 −gr 100 − ^{0}c 25	56
	درجة حرارة الكرة والحلقة (التلدن) مئوية		54.5
	درجة حرارة الكسر مئوية		14−
	الاستطالة (الممطولية) cm في الدرجة 25 مئوية		136.5
	مجال اللدونة الحرارية		68.5

نلاحظ من النتائج ما يلي:

1−درجة تلين ضمن حدود المواصفات للبيتومين المستخدم ودرجة حرارة انكسار منخفضة.

2−رقم كبير لدليل الغرز 4.552، والذي يحسب من المعادلة [26].

$$IP=(20-500A)/(1+50A)$$

$$A= [Log(pen(25Co))- Log(pen(4Co))]/21$$

3−مجال لدن كبير يصل إلى 67 مئوية.

ونلاحظ تأثر البيتومين المستخدم بالتعب قصير الأمد، وهذا بسبب الأكسدة وتبخر المكونات الطيارة حيث تظهر النتائج التغيرات التالية:

1− تناقص قيم الغرز عند درجات الحرارة 25 و15 و4 مئوية بنسبة 16.4% ونسبة 34.7 % ونسبة 25% على التوالي.

2−تناقص ضئيل في الكتلة بمقدار وسطي 0.27 %.

3−تزايد في قيمة درجة حرارة التلين مقداره 7.9%.

4−ارتفاع درجة حرارة الكسر بمقدار 15.2%.

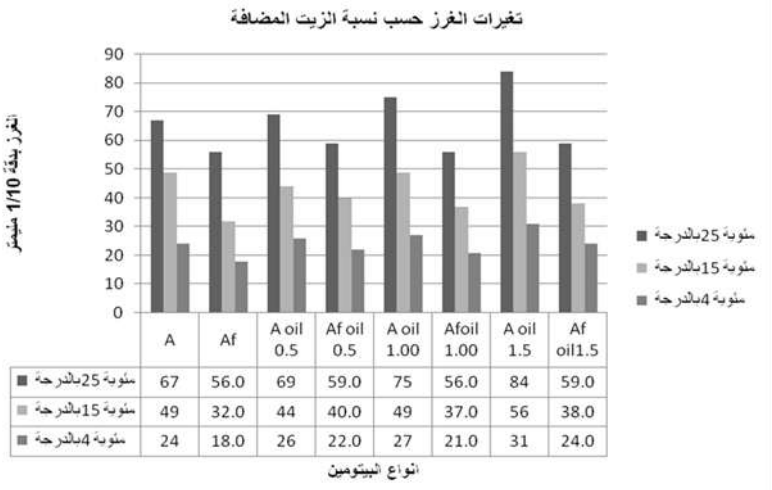
5−ارتفاع درجات حرارة المجال اللدن، وإزاحته نحو الأعلى بمقدار درجة ونصف تقريباً.

6−ارتفاع قيمة اللزوجة عند الدرجة 60 و 90 مئوية بنسبة 34% و 69% على التوالي، وهذا الازدياد يعطي صفة إيجابية للاستخدام في المناطق ذات المناخ الحار، حيث أن ازدياد اللزوجة يزيد من ممانعة وثبات البيتومين ضد التشوهات وحمولات محاور العربات وخصوصاً في المراحل الأولى من الاستخدام.

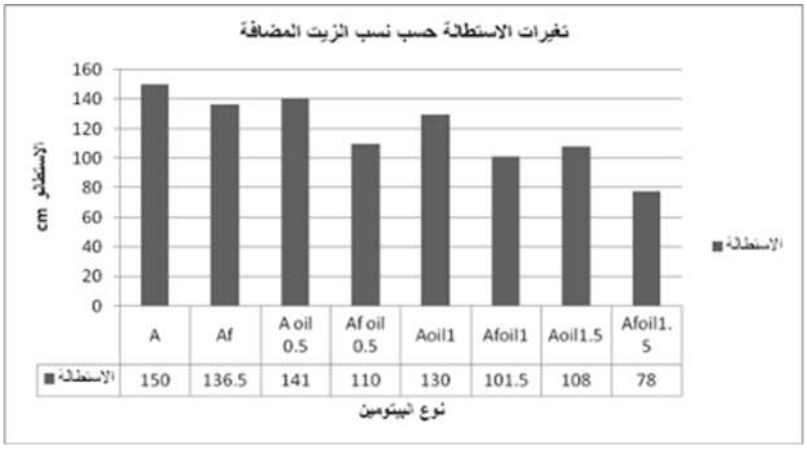
مما سبق نستنتج أن البيتومين المستخدم يتمتع بخواص ريولوجية جيدة من خلال دليل الغرز الكبير، وقيمة عامل الحساسية الحرارية المنخفضة، ولكن الحفاظ عليها خلال مرحلة الاستخدام يصبح غير ممكناً، ما يستدعي البحث عن مواد لتعديله ليصبح أكثر قدرة على الثبات والمقاومة في مرحلة الاستخدام، من أجل ذلك قمنا بإضافة بالزيت المحروق (الناتج عن محركات الاحتراق الداخلي في المحركات).

موجز النتائج عند التعديل بالزيت:

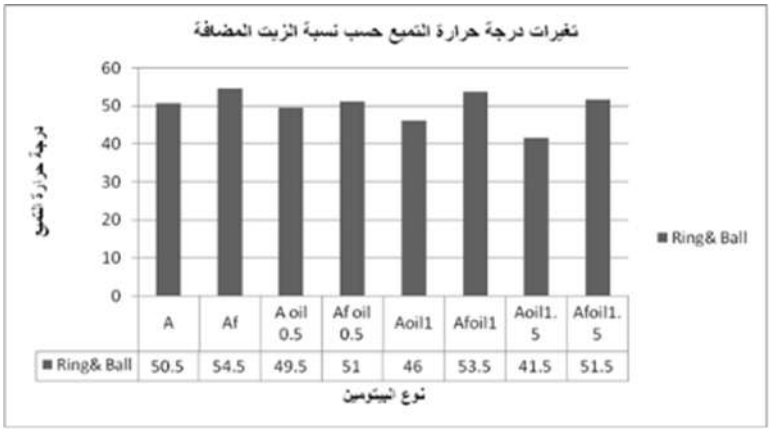
تظهر الأشكال التالية التغييرات الحاصلة على الرابط البيتوميني بعد التعديل بالزيت.



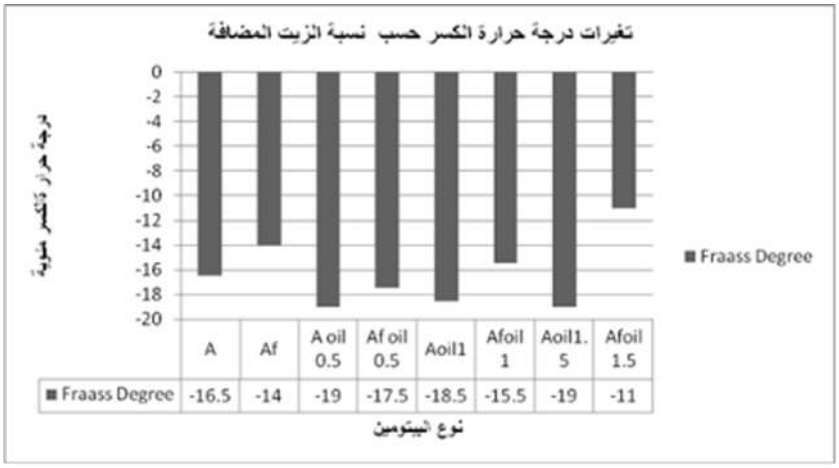
الشكل (1): تغيرات الغرز حسب نسبة الزيت المضافة



الشكل (2): تغيرات الاستطالة حسب نسبة الزيت المضافة



الشكل (3): تغيرات درجة حرارة التميع حسب نسبة الزيت المضافة



الشكل (4): تغيرات درجة حرارة الكسر حسب نسبة الزيت المضافة.

نتائج مراحل التقادم

المرحلة الأولى والمؤلفة من ثلاثة أطوار (I, II, III Phase) والمرحلة الثانية والمؤلفة من طور واحد (Phase I).

موجز نتائج مرحلتي التقادم الأولى والثانية:

الجدول (3) تغيرات درجة حرارة التميع خلال مرحلتي التقادم

جدول نتائج تغير درجة حرارة الكرة والحلقة للمرحلة الأولى والمؤلفة من ثلاثة أطوار						المرحلة الثانية	
نوع البيتومين	***Phases***	***None***	***Phase I***	***Phase II + Phase III***	***Part II at 70 C***		
	Hours	(hours) 0	(hours)336	504=168+336	672	336
(A (C	**50.5**	**50.5**	**53**	**56**	**58**	**60**
	نسبة التغير	*%0.000*	*%4.950*	*%10.891*	*%14.851*	*%18.812*
(A f (C	**54.5**	**54.5**	**56**	**57.5**	**60**	**62**
	نسبة التغير	*%0.000*	*%2.752*	*%5.505*	*%10.092*	*%13.761*
(C) %0.5–Aoil	**49.5**	**49.5**	**51**	**53**	**55**	**58**
	نسبة التغير	*%0.000*	*%3.030*	*%7.071*	*%11.111*	*%17.172*
(C) %1–Aoil	**46**	**46**	**48**	**50**	**53**	**59**
	نسبة التغير	*%0.000*	*%4.348*	*%8.696*	*%15.217*	*%28.261*
(C) %1.5–Aoil	**41.5**	**41.5**	**43**	**45**	**48**	**52**
	نسبة التغير	*%0.000*	*%3.614*	*%8.434*	*%15.663*	*%25.301*

الجدول (4) تغيرات درجة حرارة الكسر خلال مرحلتي التقادم

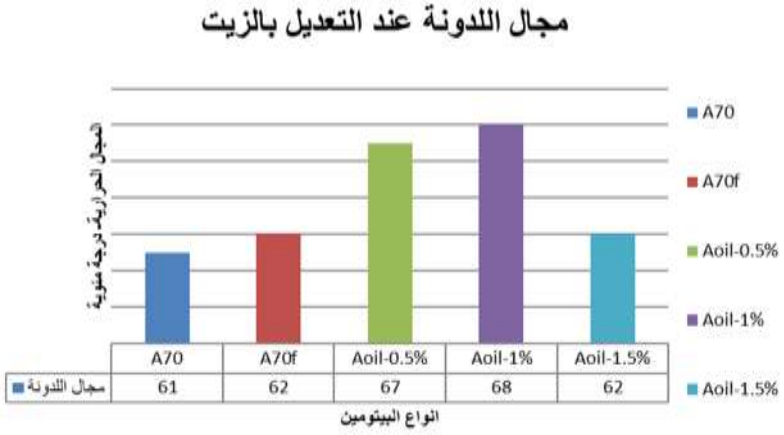
نتائج تغير درجة حرارة الكسر للمرحلة الأولى والمؤلفة من ثلاثة أطوار					المرحلة الثانية
نوع البيتومين	***None***	***Phase I***	***Phase II***	***Phase III***	***Part II at 70 C***
	h (hours) 0	h 336	h 504	h 336+504	h 672+336+504
(A (c	**16.5–**	**9–**	**6–**	**3–**	**1–**
(Af (c	**14–**	**7–**	**3–**	**1–**	**0**
(c) %0.5–Aoil	**18.5–**	**16–**	**13–**	**11–**	**9–**
(c) %1–Aoil	**18.5–**	**17–**	**15–**	**12–**	**9–**

10-	13-	16-	17.5-	19-	(c) %1.5-Aoil

الجدول (5) تغير مجال اللدونة خلال مرحلتي التقادم لكل نوع بيتومين

نوع البيتومين	None	Phase I	Phase II	Phase III	Phase I at 70 C
	h (hours) 0	h 336	h 504	h 336+504	h 672+336+504
(A (c	16.5-	9-	6-	3-	1-
(A(c-R&B	50.5	53	56	58	60
مجال اللدونة	67	62	62	61	61
Af	14-	7-	3-	1-	0
(Af (c -R&B	54.5	56	57.5	60	62
مجال اللدونة	68.5	63	60.5	61	62
%0.5-Aoil	18.5-	16-	13-	11-	9-
(c) 0.5-Aoil -R&B	49.5	51	53	55	58
مجال اللدونة	68	67	66	66	67
%1-Aoil	18.5-	17-	15-	12-	9-
(c) 1-Aoil -R&B	46	48	50	53	59
مجال اللدونة	64.5	65	65	65	68
%1.5-Aoil	19-	17.5-	16-	13-	10-
(c) 1.5-Aoil -R&B	41.5	43	45	48	52
مجال اللدونة	60.5	60.5	61	61	62

والشكل التالي يبين التغير في مجال اللللدونة في نهاية مرحلة التقادم للبيتومين المعدل بالزيت



الشكل (5) تغير مجال اللدونة في نهاية مرحلة التقادم للبيتومين المعدل بالزيت

الاستنتاجات والتوصيات:

نلاحظ من النتائج السابقة في نهاية مرحلتي التقادم ما يلي:

- تحسن في درجة حرارة التميع بمقدار 17.2 % عند التعديل بنسبة 0.5% زيت، وبنسبة 28.3 % عند التعديل بنسبة 1.00% زيت، وبنسبة 25.3 % عند التعديل بنسبة 1.5% زيت.
- تراجع في درجة حرارة الكسر بمقدار 51.4 % عند التعديل بنسبة 0.5% زيت، وبنسبة 51.4 % عند التعديل بنسبة 1.00% زيت، وبنسبة 47.4 % عند التعديل بنسبة 1.5% زيت.
- نلاحظ أن التراجع الحاصل في درجة حرارة الكسر عند التعديل بالزيت لأنه يقلل من لزوجة البيتومين المعدل به.
- تقارب مجال اللدونة للبيتومين A قبل وبعد الفاقد.
- تحسن مجال اللدونة الحراري عند جميع النسب التي تمت فيها إضافة الزيت.
- إن إضافة الزيت والتي أشرنا إلى سلبيتها في تخفيض درجة الليونة، قد حافظت على دليل الغرز، وبالتالي قد يكون ذلك دافعاً لاستخدام مادة أخرى معها مثل الكلس في أبحاث لاحقة.
- يمهد البحث لعمل أبحاث لاحقة باستخدام الزيت مع مواد أخرى تشكل توازناً في عمل الرابط البيتومين طوال فترة استثماره.

References:

-1Aggregate-*Laboratory Aging of Asphalt* ،.Bell, C. A., Wieder, A. J., and Fellin, M. J1- .Report No ،*Mixtures Field Validation*SHRP-A- 390, Strategic Highway Research Program, National Research Coun- cil, Washington, D.C., 1994.

2- Bell, C. A., AbWahab, Y., Christi, M. E., and Sosnovske. D., *Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures*, Report No. SHRP-A-383, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994.

3- SULTAN, BASSAM. "The Durability of Asphalt Mixtures Used in Tropical Countries." .(PhD thesis. (In Arabic .1991-University of Warsaw

4- CLARKSON, OGSLEY. " Road engineering". Translated by Dr. Ali Suleiman Sad, Dr. Tariq Youssef Al-Raidi. Dragon, Wiley and Sons. third edition (in Arabic).

5- COLLINS, J. *Thermoplastic block copolymers for the enhancement of asphaltic binders in paving applications*. Presented at the Paving and Transportation Conference ، Albuquerque ،NM.1986 ،

6- SARGAND SM, Kim SS. *Performance evaluation of polymer modified and unmodified Superpave mixes*. Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, Auburn, AL, 2001.

7- BRULE B. *Polymer-modified asphalt cements used in the road construction industry: Basic principles*. Transportation Res Record 1996; 1535.

8- HERBERT ABRAHAM- *Asphalt's and Allied Substance. Volume Five. Methods Of Testing Fabricated Bituminous Products*. Sixth Edition. D.Van Norsrand Company, INC.

9-SHARP-A-341 *Fundamental Properties of Asphalt – Aggregate Interaction Including Adhesion and Absorption*. Highway Research Program. National Research Council Washington, Dc1993.

10-EXXON COMPANY. *Petroleum Encyclopedia for the Users of Petroleum Products*. Exxon website http://www.exxondist.com.(1997) .

11-KING G et al. *Additives in asphalt*. J Assoc Asphalt Paving Technology A 1999; 68:32–69.

12-BATES R ،WORCH R. *Engineering Brief No. 39 ،Styrene–butadiene rubber latex modified asphalt*. Federal Aviation Administration ،Washington ،DC1987.
13-NEWCOMB D. *Limit the strain at the bottom of an asphalt pavement ،and what do you get? A perpetual pavement*. Hot Mix Asphalt Technol 2003;8(6):30–2.
14-PARTL MN ،NEWMAN JK. *Flexural beam fatigue properties of airfield asphalt mixtures containing styrene–butadiene-based polymer modifiers*. The Sixth International Rilem Symposium ،Zurich، Switzerland 2003, P 357–63.
15-BECKER Y ،ME´NDEZ M ،RODRI´GUEZ Y. *Polymer modified asphalt.* Vision Technology, 2001; 9(1): P39–50.
16-HICKS RG ،EPPS JA. *Life cycle cost analysis of asphalt–rubber paving materials*. The First International Conference on the World of Asphalt Pavements, Sydney, Australia 2000, p. 69–88.
17-VALKERING CP ،VONK W. *Thermoplastic rubbers for the modification of bitumen: Improved elastic recovery for high deformation resistance of asphalt mixes*. 15th Australian Road Research Board Conference ،Vermont South ،Australia1990،. p. 1–19.
18-OLIVER JWH. *Development of PMB specifications for asphalt rut resistance*. In: Proceedings of AAPA International Flexible Pavements Conference ،vol. I ،Kew ، Australia1997.
19-BAHIA H ،HISLOP WP ،ZHAI H ،RANGEL A. *Classification of asphalt binders into simple and complex binders*. J Assoc Asphalt Paving Technol 1998; 67:1–41.
20-YETKIN YILDIRIM. *Polymer modified asphalt binders. Construction and Building Materials* 21 (2007), p66–72.
21-SHAO-PENG WUA, LIAN-TONG MOA, YONG-CHUN CHEN, GUO-JUN ZHU, *Influence of aging on the evolution of structure, morphology and rheology of base and SBS modified bitumen,* Construction and Building Materials 23 (2009) 1005–1010.
22-JOHN R, DAVID W, SHELL BITUMEN. *The Shell Bitumen Handbook*. London: Thomas Telford, 2003.
23-GIOVANNI POLACCO, SARA FILIPPI, FILIPPO MERUSI, GEORGE STASTNA, A *review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility*, Advances in Colloid and Interface Science, Volume 224, 2015, Pages 72-112, ISSN 0001-8686.
24- Uz VE, Gökalp *Sustainable recovery of waste vegetable cooking oil and aged bitumen: Optimized modification for short- and long-term aging cases Waste Management,* Volume 110, 1 June 2020, Pages 1-95.
25- Haibin Li, Bo Dong, Wenjie Wang, Guijuan Zhao, Ping Guo and Qingwei Ma" *Effect of Waste Engine Oil and Waste Cooking Oil on Performance Improvement of Aged Asphalt*". Appl. MDPI Sci. 2019, 9, 1767; doi:10.3390/app9091767.
26-John Read and David Whiteoak (2003): The Shell Bitumen Book, PP.135-138