مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (6) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (6) 2018

تحسين الخواص الريولوجية للبيتومين (60-70) بإضافة البولي بروبلين

الدكتور بسام سلطان *

(تاريخ الإيداع 9 / 9 / 2018. قُبِل للنشر في 6/ 12 / 2018)

□ ملخّص □

يلعب البيتومين دور المغلف والرابط للحصويات في المجبول البيتوميني، و يتعرض لمجموعة من التغيرات التي تبدأ من مرحلة إنتاج المجبول البيتوميني إلى مرحلة استثماره تحت تأثير الحمولات المرورية والعوامل الجوية. يهدف هذا البحث إلى التحقق من إمكانية استخدام بوليمير البولي بروبلين لتعديل خواص الرابط البيتوميني ولزيادة مقاومته لدرجات الحرارة المرتفعة وزيادة ممانعته للظروف المناخية المختلفة ، من خلال تعديل عينات البيتومين بإضافة البولي بروبلين بنسب (1 ، 2 ، 3 ، 4 ،6 ، 8 %) ، ومن ثم إجراء الاختبارات على عينات البيتومين المعدل وتتضمن الغرز ، الاستطالة ، نقطة التمييع ، وحساب دليل الغرز . و باستخدام فرن الطبقة الرقيقة الدوار RTFOT قمنا بإجراء التقادم قصير الأمد على عينات البيتومين العادي والمعدل وحساب الفاقد بالحرارة و الغرز المتبقي ودليل التقادم ، كما قمنا بإجراء اختبار التركيب المجموعي لتحديد مركبات البيتومين . بينت نتائج الدراسة أن قيم الغرز تميل للانخفاض مع زيادة نسبة الاضافة بينما ترتفع درجة التمييع ، كما بينت النتائج زيادة ممانعة البيتومين المعدل للظروف الحرارية ، وأن النسبة المثالية لإضافة البولي بروبلين تتراوح بين (7 %) حيث يكون عندها دليل التقادم في الحالة الموجبة والفاقد بالحرارة في أدنى مستوى .

الكلمات المفتاحية : البيتومين – مؤشرات ريولوجية – بوليمير – بولي بروبلين – تقادم قصير الأمد

* أستاذ مساعد – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (6) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (6) 2018

Improve the rheological properties of asphalt (60-70) by adding polypropylene

Dr. Bassam Soultan*

(Received 9 / 9 / 2018. Accepted 6 / 12 / 2018)

□ ABSTRACT □

Asphalt plays the role of envelope and bonding in asphalt gable, and is exposed to a range of changes that start from the stage of production of asphalt mosses to the stage of investment under the influence of traffic loads and weather factors. The aim of this research is to investigate the possibility of using polypropylene polymer to modify the properties of the asphalt binder and to increase its resistance to high temperatures and different climatic conditions by modifying the asphalt by adding polypropylene by (1, 2, 3, 4, 6, 8%) And perform traditional tests on modified asphalt samples . Using Thin film oven test RTFOT test to perform the short-term Aging on normal and modified asphalt samples, heat loss, residual Penetration and aging index, And conduct a structural composition test to determine asphalt compounds. The results of the study showed that the values of Penetration tend to decrease with the increase of the percentage of addition while the degree of Softening point. The results showed increased resistance of asphalt modified to the thermal conditions. The optimum percentage of polypropylene is 7% Loss on heat at the lowest level.

Keywords: Asphalt - Rheological indices - Polymer - Polypropylene – Short Aging

* **Associate Professor , Department of Traffic and Transportation , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Syria .**

مقدمة :

يعتبر البيتومين ناتج تكرير البترول الخام المادة الأساسية لصناعة المجبول البيتوميني، حيث يلعب دور المغلف والرابط للحصويات، ومن هنا تبرز الأهمية الكبيرة في الحفاظ على خواصه قدر الإمكان، حيث يتعرض لمجموعة من التغيرات التي تبدأ من مرحلة إنتاج المجبول البيتوميني في درجات الحرارة المرتفعة، وتستمر هذه التغييرات إلى مرحلة استثماره تحت تأثير الحمولات المرورية والعوامل الجوية، وتؤدي هذه المتغيرات إلى منعكسات سلبية على أداء الرابط البيتوميني ضمن المجبول البيتوميني، مما يسبب فقدان البيتومين للكثير من خواصه الأولية، التي قد تصل به إلى درجة يصبح فيها المجبول الإسفلتي خارج الخدمة، وفي بعض الحالات يتطلب البيتومين التعديل، كي يحقق المواصفات المطلوبة [1].

ويتم تعديل الرابط البيتوميني من خلال استخدام إضافات متنوعة ، كالبوليميرات (المرنة أو اللدنة)، أو المواد المالئة (الإسمنت البورتلاندي– الكلس) أواستخدام الألياف الصناعية (البوليستيرين– الألياف الزجاجية..الخ) والإطارات التالفة، وغيرها من الإضافات وذلك لتحسين خواص البيتومين ، مع المحافظة على الميزات الأساسية للبيتومين [2].

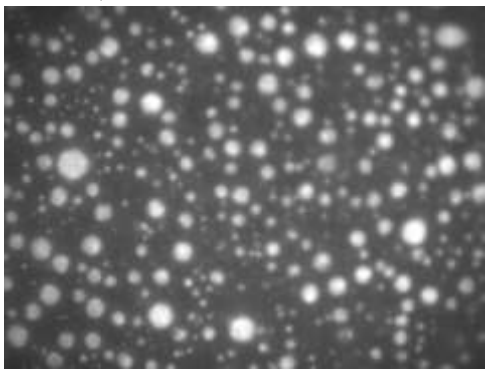
أجريت العديد من الدراسات والاختبارات ، كان الهدف منها تحسين سلوك البيتومين المعدل بالبوليميرات [4]، حيث يتعلق تحسين خواص البيتومين بنوعه وصنفه، كما يتعلق بنوع المواد البوليميرية المضافة وبكميتها، حيث تقوم البوليميرات التي تستخدم لتعديل خواص البيتومين، ببناء شبكة في البيتومين تشبه شبكة التسليح في البيتون، وتُظهر أنواع البيتومين المعدل بالبوليميرات خواصاً ملائمة أكثر من غير المعدلة في درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة على السواء، كما أن استخدام البيتومين المعدل بالبوليميرات في الخلطة يُكسب طبقات الرصف ثباتاً كافياً ضد التشوهات في درجات الحرارة العالية، ومرونة كافية في درجات الحرارة المنخفضة وكذلك مدة استثمار طويلة [2]، وإن أي إضافة تعدل في الخواص الكيميائية للبيتومين تؤدي إلى تغير في خواصه وقوامه وبنيته.

تشير الاختبارات إلى أن العديد من أنواع البوليميرات مناسبة للاستخدام مع البيتومين، ومن البوليميرات المصنعة لهذه الغاية بوليمير مركب من إيتلين فينيل الأسيتات (Copolymer Ethylene Venylacetat)، وله عدة أنواع تبعاً لتركيز فينيل الأسيتات وللوزن الجزيئي، وهناك نوع أخر يستخدم للتعديل هو بيتومين مركب ذو خواص لدنة بالحرارة (Thermo–Plastic Copolymer)، وأشهر أنواعه بوليمير ستيرين بوتادين ستيرين –Styrene– Butadiene) (Styrene، والذي يختلف تبعاً لتركيز الستيرين وللوزن الجزيئي وطبيعة تشكله، وبوليمير ستيرين إيزوبرين ستيرين) Styrene–Isoprene–Styrene) [6].

البولي بروبلين هي لدائن معالجة حراريا تصنع كيميائيا وتستخدم في نطاق واسع من التطبيقات تتضمن التغليف، القرطاسية، الحاويات البلاستيكية بمختلف الأحجام، والتجهيزات المخبرية، ومكبرات الصوت. البوليمر المصنوع من البولي بروبلين يكون قاسيا و مقاوما بشدة للعديد من المذيبات العضوية والأسس والحموض.

ومن أهم خصائص البولي بروبلين: انعدام الأكسدة ، قدرة العمل والتشكيل ، مقاومة عالية للمواد الكيميائية ، تخميد ممتاز وامتصاص للضجيج ، مقاومة للتأكل والاحتكاك ، كما أن مادة البولي بروبلين PP لها خواص الديمومة الطويلة والمقاومة العالية للإجهاد الميكانيكي . قدم Vargas وأخرون [3] دراسة للخواص الريولوجية والبنية المجهرية لخلائط البيتومين مع البولي ايثلين حيث بينت نتائج الدراسة أن نقطة التمييع للبيتومين المعدل تزداد بينما تتناقص قيمة الغرز . كما بينت نتائج دراسة البنية المجهرية أن بوليميرات البولي ايثلين غير قابلة للامتزاج بسهولة مع البيتومين كما هو مبين في االشكل (1) حيث أن البيتومين المعدل بالبوليمير له بنية ثنائية الطور ، كما بينت الاختبارات الريولوجية للبيتومين

المعدل بأن الخلائط البيتومينية تبدي أداء أفضل مقارنة مع خلائط البيتومين غير المعدل من حيث الثبات و مقاومة التخدد والزحف كما أن الخلائط البيتومينية المصنعة من اسفلت معدل تبدي ممانعة للظروف الحرارية المرتفعة .



الشكل (1) توزع البولي ايثلين ضمن البيتومين [3]

درس Zhang [1] سلوك التقادم للرابط البيتوميني التقليدي والرابط البيتوميني المعدل ببوليمر SBS و الرابط البيتوميني المعدل ببوليمير SBR ، حيث تم إجراء اختبارات الغرز والاستطالة واللزوجة ونقطة التمييع ومقارنة النتائج ، كما أجريت اختبارات أداء الرابط البيتوميني وفق السوبربيف وتتضمن معامل (G*) و زاوية الطور (δ) ومعامل التخدد واختبار (zero shear viscosity ZSV) واختبارات التقادم قصير وطويل الأمد للتنبؤ بأداء الرابط البيتوميني ومقاومته على التخدد ، وبينت نتائج الدراسة أن الرابط البيتوميني المعدل ببوليمير SBS يعطي أفضل مقاومة للشيخوخة . كما قام Dekhli وأخرون [2] بدراسة السلوك الريولوجي لبيتومين الطرق المعدل ب EVA من خلال إجراء عمل مخبري لتقييم البيتومين المعدل ب EVA بنسب (3 ، 5 ، 7 %) باستخدام الطرق التقليدية و دراسة البنية المجهرية ، حيث وجدت الدراسة أن إضافة 7 % تعطي أفضل نتيجة المعدل . كما درس Ruan تأثير التقادم على خواص البيتومين المعدل ببوليمير البولي بروبلين وبينت النتائج أن لإضافة البولي بروبلين تأثير إيجابي واضح على التقادم طويل الأمد [9] .

أهمية البحث و أهدافه :

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل (مواد طبقات الرصف الطرقي) ويتخصص في تحسين مواصفات البيتومين . يهدف هذا البحث إلى التحقق من إمكانية استخدام البولي بروبلين لتعديل خواص الرابط البيتوميني ولزيادة مقاومته لدرجات الحرارة المرتفعة وزيادة ممانعته للظروف المناخية المختلفة ، حيث أن البيتومين المحلي يفقد الكثير من خواصه نتيجة التعب قصير الأمد الذي يتعرض له أثناء إنتاجه في درجات الحرارة المرتفعة .

طرائق البحث ومواده:

1- البيتومين: تم استخدام نوع واحد من البيتومين في تصميم عينات البحث ، البيتومين المستخدم في الدراسة هو بيتومين ذو صنف (60–70) وتم الحصول عليه من مصفاة بانياس و اختباره وفق المواصفات السورية.

2- المادة المضافة : مادة البولي بروبلين بشكل حبيبات و مواصفاتها وفق المصنع (الكثافة $0.957\ gr/cm^3$ و نقطة التمييع 133 درجة مئوية) ومبينة في الشكل (2) :

الشكل (2) مادة البولي بروبلين المستخدمة في البحث

العمل المخبري :

يستند البحث إلى دراسة مخبرية على عينات اسفلتية غير معدلة ، ومقارنتها مع عينات اسفلتية معدلة ، وفيما يلي تسلسل خطوات العمل المخبري :

- **اختبارات البيتومين** : وتشمل تجارب الغرز ، الاستطالة ، نقطة التمييع (الكرة والحلقة) ونقطتي الوميض والاشتعال بغرض التأكد من مطابقة البيتومين المستخدم في تحضير عينات الدراسة للمواصفات الفنية السورية المعمول بها .

- **اختبارات البيتومين المعدل** : بعد التحقق من صنف البيتومين المستخدم ، نقوم بتعديل عينات البيتومين بإضافة البولي بروبلين بنسب (1 ، 2 ، 3 ، 4 ،6، 8 %) وفق منهجية علمية لطريقة الخلط والإضافة بحيث نحصل على تجانس للعينات المعدلة ، ومن ثم إجراء الاختبارات على عينات البيتومين المعدل وتتضمن الغرز ، الاستطالة ، نقطة التمييع ، وحساب دليل الغرز ومن ثم استنتاج صلابة الرابط المعدل

وتعطى علاقة حساب دليل الغرز :

$$Pentration\ Index\ (PI) = \frac{20-500A}{1+50A}$$

$$A = \frac{log800-log(pen@T)}{T_{R\&B}-T}$$

حيث : T درجة حرارة اختبار الغرز ، $T_{R\&B}$ درجة حرارة التمييع (كرة وحلقة)

- اختبار التركيب المجموعي : يسمح تصنيف التركيب المجموعي (تصنيف Kolbanwski &Michwf) بتوقع سلوك المواد أثناء استخدامها على سطح الطريق، ويبين بنيتها بالإضافة إلى خواصها الريولوجية، ويقسم وفق هذا التصنيف كما هو مبين بالجدول (1) إلى ثلاثة أصناف هي:

الصنف الأول Zel : يتصف هذا الصنف بأنه سريع التأثر بالتعب، ويعود السبب في ذلك إلى كمية البيتومينين المرتفعة وكمية المالتين الغير كافية، ويتميز بمجال لدن كبير بسبب وجود كمية كبيرة من الزيت الذي يخفض من درجة الكسر لهذا البيتومين، ولا تتغير لزوجته بشكل كبير مع الحرارة وله دليل غرز كبير(Ip=0.6–4.4) وتماسك قليل.

الصنف الثاني Zol: يتصف هذا الصنف بأنه غير مقاوم للحرارة نظراً إلى بنيته التي تحوي على القليل من البيتومينين والكثير من المالتين، ويتميع بسهولة ودرجة تلينه صغيرة وعند انخفاض درجة الحرارة يصبح هشاً، إذ أن الكمية الكبيرة من المالتين تجعله ذو حساسية كبيرة للحرارة، فتتغير لزوجته بشكل كبير مع الحرارة، ويتعرض للتعب بسرعة.

الصنف الثالث Zol-Zel: يتميز بممانعته الجيدة للحرارة، ويحافظ على لدونته في درجات الحرارة المنخفضة، ويقاوم التشوهات في درجات الحرارة المرتفعة، ويظهر في حالته اللزجة المرنة تماسكاً كبيراً، بالإضافة إلى التطاول، ولا يتأثر بشكل كبير بالتعب.

الجدول(1) تصنيف وفق نتائج التركيب المجموعي

نوع	نسبة البيتومينين	نسبة المالتين	نسبة الزيوت
Zel	>25	<24	>50
Zol	<15	>36	<40
Zel-Zol	20-23	30-40	45-50

- إجراء اختبارات التقادم قصير الأمد على عينات البيتومين المعدل وغير المعدل للمقارنة ومن ثم إجراء اختبار الغرز المتبقي والاستطالة المتبقية وحساب دليل التقادم .

النتائج والمناقشة :

تم إجراء الاختبارات والتجارب على البيتومين (60-70) في مخبر المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين ونبين في الجدول (2) نتائج اختبار البيتومين غير المعدل

الجدول (2) نتائج اختبار البيتومين

نوع الاختبار	نتائج الاختبار	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز (Penetration Test) 77F(25C°)100g,5sec	63.0	60-70
استطالة البيتومين (الممطولية) (Ductility) 77F(25C°) 5cm/min ,cm	+ 137	min 100.0
نقطة التميع (Softening Point Test) (c°)	50.2	52-48
نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest) (Cleveland cup open) (C°)	درجة الوميض 291 C°	min 450(232 C°)
	درجة الاشتعال 298 C°	
الوزن النوعي	1.026	1.01-1.03
دليل الغرز PI	- 0.647	-
النقص في الوزن (%) (LOSS On Heating)	0.63	Max 1 %

من النتائج السابقة نجد أن البيتومين المستخدم في الدراسة قد أعطى قيمة غرز (63) وبالتالي هو من الصنف (60–70) وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002 .

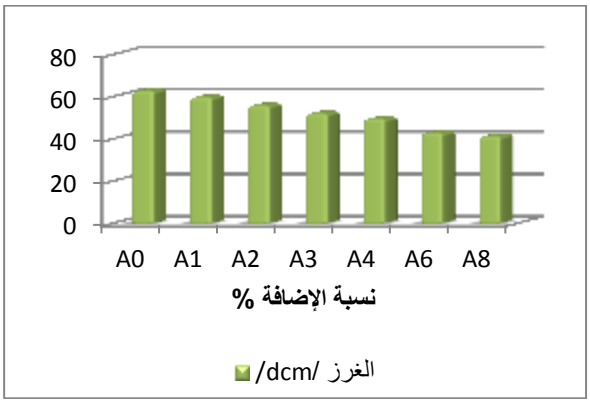
1- نتائج اختبار البيتومين المعدل بالبولي بروبلين :

بعد التحقق من صنف البيتومين المستخدم (60–70) ، تم تعديل عينات البيتومين باستخدام البولي بروبلين وبنسب مئوية مختلفة تتراوح (1 ، 2 ، 3 ، 4، 6 ، 8 %) .

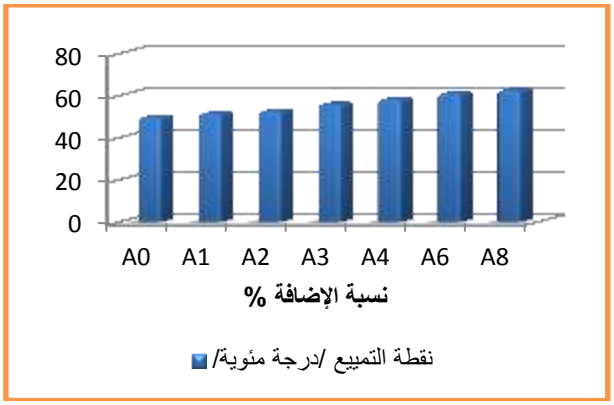
تم تسخين عينات البيتومين بدرجة حرارة (130°C) أي أعلى من درجة الكرة والحلقة مضافاً (80°C) ، ومن ثم إضافة نسبة البولي بروبلين إلى البيتومين مع التحريك المستمر ، ثانياً تمت محاولات متكررة لتسخين وتحريك بمعدل 3 دقائق تحريك و 10 دقائق تسخين ، ولمدة ساعة على الأقل والمحافظة على درجة الحرارة حتى نحصل على انسجام البولي بروبلين مع عينات البيتومين ، ثالثاً تم رفع درجة الحرارة إلى (165 °C) ومن ثم التسخين لمدة 5 دقائق وتحريك المزيج لمدة 5 دقائق مع استمرار عملية التسخين ، وتستمر عملية المزج لمدة ساعة . بعد إعداد عينات البيتومين تم إجراء اختبارات الغرز ،الاستطالة ، الكرة والحلقة وتم تحديد دليل الغرز والفاقد بالحرارة على العينات والنتائج موضحة في الجدول (3) .

الجدول (3) نتائج اختبارات البيتومين المعدل

نسبة التعديل %	الغرز dcm	الاستطالة Cm	نقطة التميع °c	دليل الغرز IP	الوزن النوعي	الفاقد بالحرارة %
0	63.0	137	50.2	−0.596	1.026	0.63
1	60.0	119	51.9	−0.294	1.024	0.60
2	56.1	110	53.0	−0.199	1.020	0.54
3	52.3	106	56.3	0.372	1.018	0.51
4	49.7	101	58.7	0.751	1.015	0.43
6	43.0	90	61.5	0.952	1.013	0.35
8	41.5	82	63.0	1.149	1.012	0.26

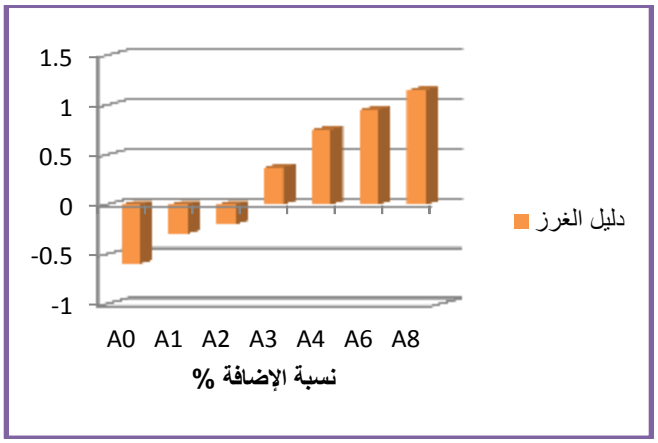


الشكل (3) قيم الغرز بالعلاقة مع نسب الإضافة



الشكل (4) قيم نقطة التمييع بالعلاقة مع نسب الإضافة

يلاحظ من الشكل (3) انخفاض قيم الغرز مع زيادة نسبة الإضافة ووصلت قيمة الغرز إلى 41.5 نسبة إضافة 8 % من البولي بروبلين أي انخفاض بنسبة مئوية (34.13 %) ، ويعود سبب انخفاض الغرز إلى قساوة البيتومين بزيادة نسبة الاضافة ، وبالمقابل نرى من الشكل (4) أن قيم درجة حرارة الكرة والحلقة تزداد بزيادة نسبة الإضافة ووصلت أعلى قيمة لنقطة التمييع (63 درجة مئوية) عند نسبة إضافة 8 % ، والنسبة المئوية للزيادة بمقدار هو (25.5 %) ويعود ذلك إلى زيادة نسبة الإسفلتين في تلك المرحلة .



الشكل (5) قيم دليل الغرز بالعلاقة مع نسب الإضافة

يبين الشكل (5) قيم دليل الغرز بحسب نسبة الإضافة من مادة البولي بروبلين حيث نجد ان جميع قيم دليل الغرز ضمن المجال المسموح [1+ , 1-] للبيتومين الخاص بالطرق باستثناء قيمة دليل الغرز عند نسبة إضافة 8 % ، وهذا يشير إلى إمكانية استخدام هذا النوع من البيتومين المعدل بالبولي بروبلين في الأعمال الطرقية .

2- اختبار التركيب المجموعي :

من أجل تحديد التركيب المجموعي للبيتومين تم استخدام محلات البنزين والأسيتون حيث نحدد في البداية وزن المادة البيتومينية وبإضافة البنزين والتقطر باستخدام حمام مائي يتبقى الإسفلتين والمالتين، وبإضافة الأسيتون نقوم بفصل الإسفلتين عن المالتين وتحديد نسب كل منها، و نبين في الجدول (4) نتائج اختبار التركيب المجموعي للبيتومين غير المعدل والبيتومين المعدل بالبولي بروبلين

الجدول(4) نتائج اختبار التركيب المجموعي للبيتومين

نسب إضافة البولي بروبلين % PP	نسبة الإسفلتين % asphalten	نسبة المالتين Malten %
0	18.13	29.26
1	21.44	28.10
2	21.05	28.34
3	20.83	28.76
4	20.41	28.89
6	20.10	28.92
8	20.07	29.11

يلاحظ من الجدول (4) أن نسبة الإسفلتين ازدادت عند إضافة بوليمير البولي بروبلين بعدها تناقصت نسبة الإسفلتين مع زيادة نسبة الإضافة من بوليمر البولي بروبلين وهذا مما يعني أن إضافة البولي بروبلين تعمل على زيادة الممانعة الحرارية ، وهذا واضح من زيادة نسبة المالتين عند زيادة نسبة الإضافة ، وتفسير تناقص المالتين عن القيمة الأولية عند نسبة إضافة (1 % PP) بسبب التقادم قصير الأمد نتيجة التسخين .

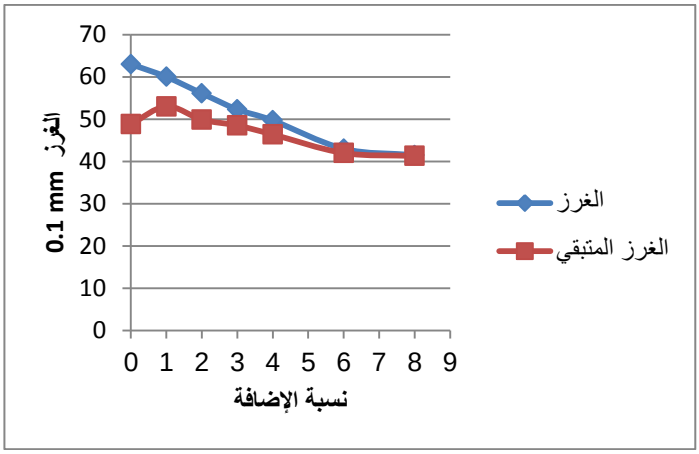
3- نتائج بعد التقادم قصير الأمد :

باستخدام فرن الطبقة الرقيقة الدوار RTOFT قمنا بإجراء التقادم قصير الأمد على عينات البيتومين العادي والمعدل وحساب الفاقد بالحرارة و الغرز المتبقي ودليل التقادم ونبين نتائج الاختبارات في الجدول (5)

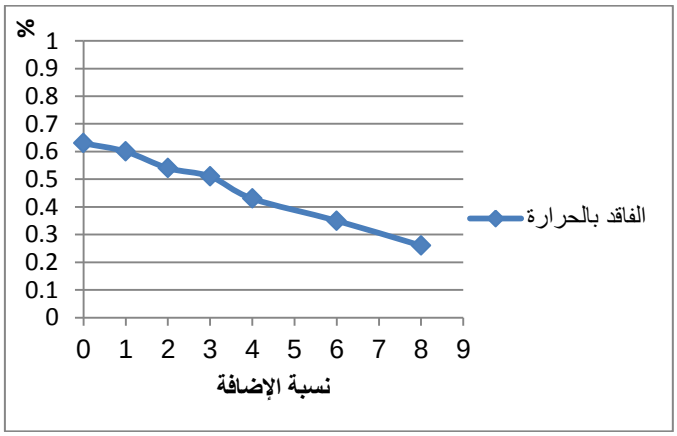
يحسب دليل التقادم من العلاقة : دليل التقادم AI = الغرز المتبقي بدرجة حرارة 25 درجة مئوية / الغرز الأولي

الجدول (5) نتائج اختبار التقادم قصير الأمد

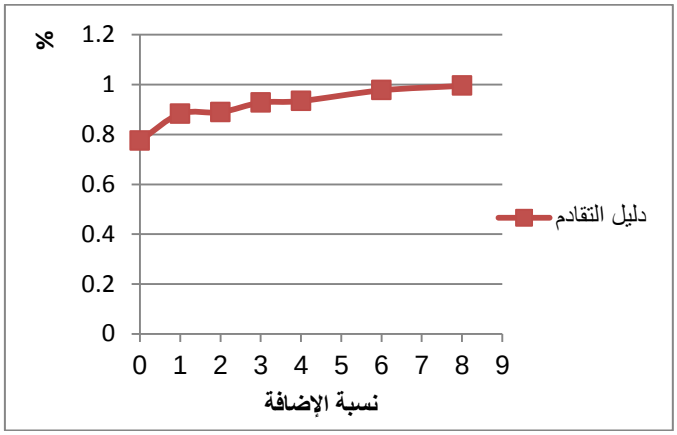
نسبة التعديل %	الفاقد بالحرارة %	الغرز المتبقي dcm	الاستطالة المتبقية cm	نقطة التمييع °c	دليل التقادم AI
0	0.63	48.8	112	52.0	0.775
1	0.60	53.0	106	55.1	0.883
2	0.54	49.9	98	58.0	0.889
3	0.51	48.5	82	59.3	0.928
4	0.43	46.4	75	62.4	0.934
6	0.35	42.0	66	65.7	0.977
8	0.26	41.3	54	68.0	0.995



الشكل (6) العلاقة بين الغرز والغرز المتبقي بدلالة نسب الإضافة



الشكل (7) قيم الفاقد بالحرارة بحسب نسب الإضافة



الشكل (8) قيم دليل التقادم بحسب نسب الإضافة

من النتائج المبينة في الجدول (5) نلاحظ أن زيادة نسبة الإضافة من بوليمر البولي بروبلين أثرت سلباً على ممطولية البيتومين المتبقية بعد اختبار الفاقد بالحرارة حيث تناقصت قيم الاستطالة المتبقية بنسبة (52 %) ، وأثرت إيجاباً على نقطة التمييع (الكرة والحلقة) بعد التقادم قصير الأمد حيث ازدادت بنسبة (31 %) وبالتالي تزداد ممانعة البيتومين المعدل للتشوهات في درجات الحرارة العالية من خلال ازدياد المجال الحراري اللزج – المرن للبيتومين . كما نرى التغير الإيجابي لإضافة البوليمر PP من خلال دليل التقادم AI حيث يلاحظ ازدياد قيم دليل التقادم واقترابها من (1) عند

ازدياد نسبة إضافة (PP) كما هو مبين في الشكل (8) . أما بالنسبة لقيم الفاقد بالحرارة فيلاحظ من الشكل (7) تناقص قيم الفاقد بالحرارة مع ازدياد نسبة الإضافة حيث وصلت نسبة التحسن بقيم الفاقد بالحرارة إلى (59 %) وهذا ما يؤشر على التأثير الإيجابي لإضافة البولي بروبلين .

الاستنتاجات والتوصيات :

1- بينت النتائج أن الغرز بدرجة حرارة (25 °c) يتناقص مع زيادة نسبة بوليمير البولي بروبلين، مما يساعد على مقاومة القص من درجة حرارة متوسطة إلى عالية .

2- إن ارتفاع درجة حرارة نقطة التمييع والذي بلغ (25.5 %) عند إضافة البوليمير يشير إلى تحسن في مقاومة المادة البيتومينية للتشوه في درجات الحرارة المرتفعة .

3- لم يكن لإضافة المادة البوليميرية بولي بروبلين (PP) تأثير سلبي يذكر على ممطولية المادة البيتومينية من الصنف (70−60) حيث وصلت قيمة الاستطالة إلى (82) عند نسبة إضافة (8%) ، وليس لهذه الخاصية أهمية تذكر في البلدان ذات المناخ الدافئ .

4- إن تغيير قيم دليل الغرز من السالب إلى الموجب بإضافة بوليمير البولي بروبلين إلى البيتومين يشير إلى انخفاض الحساسية الحرارية وهذا يعني أنه أصبح أقل تأثراً بالحرارة مما يعطيه ممانعة للظروف الحرارية المرتفعة .

5- إن النسبة المثالية للمادة المضافة بولي بروبلين هي (7 %) ، فعند هذه النسبة انتقل دليل التقادم إلى الحالة الموجبة والفاقد بالحرارة في أدنى مستوى ، وهذا يعني الدور الإيجابي للوسيط المضاف في الحد من التغييرات الناجمة بتأثير الحرارة .

6- أكدت نتائج اختبار التركيب المجموعي أن إضافة بوليمر البولي بروبلين يزيد من الممانعة الحرارية وهذا واضح من الحد في تحول المواد المالتينية والزيتية إلى إسفلتين ، وبالتالي التخفيف التأثير السلبي لعملية التقادم قصير .

7- نوصي بدراسة الخواص الريولوجية للرابط البيتومين المعدل بالبولي بروبلين وفق اختبارات الأداء في طريقة السوبربيف

8- نوصي بدراسة خواص الخلطة البيتومينية للرابط البيتومين المعدل ومقارنتها مع خواص الخلطة التقليدية.

المراجع :

1- Henglong Zhang, Zihao Chen, Guoqing Xu, Caijun Shi. Evaluation of aging behaviors of asphalt binders through different rheological indices . Fuel 221 (2018) 78–88

2- Samy Dekhli, Khedidja Ait Mokhtar, Ferhat Hammoum and Djaffar Si Bachir . Rheological Behaviour of Ethylene-Vinyl-Acetate (EVA) Modified Road Bitumen . Journal of Applied Sciences Volume 15 (3): 444-455, 2015

3- Maria A. Vargas , Miguel A. Vargas , Antonio Sanchez-Solis , Octavio Manero . Asphalt/polyethylene blends: Rheological properties, microstructure and viscosity modeling . Construction and Building Materials 45 (2013) 243–250

4- S.A. Elkholy, A.M.M. Abd El-Rahman, M. El-Shafie, Z.L. Abo-Shanab, Physical and Rheological Properties of Modified Sulfur Asphalt Binder, International Journal of Pavement Research and Technology (2018) . 07.005

5- Qin Q, Schabron JF, Boysen RB, Farrar MJ. Field aging effect on chemistry and rheology of asphalt binders and rheological predictions for field aging. Fuel 2014;121(2):86–94.

6- Xiao FP, Amirkhanian S, Wang HN, Hao PW. Rheological property investigations for polymer and polyphosphoric acid modified asphalt binders at high temperatures. Constr Build Mater 2014;64(12):316–23.

7- Yeh PH, Nien YH, Chen WC, Liu WT. Evaluation of thermal and viscoelastic properties of asphalt binders by compounding with polymer modifiers. Polym Compos 2010:1–7.

9- Ruan Y, Davison RR, Glover CJ. The effect of long-term oxidation on therheological properties of polymer modified asphalts. Fuel 2013;82:1763–73.

10- Ali, A. Ismail, N. I. M. Yusoff, M. R. Karim, R. A. Al-Mansob and D. I. Alhamali, "Physical and Rheological Properties of Acrylate-styrene-acrylonitrile Modified Asphalt Cement," Construction and Building Materials, vol. 93, pp. 326-334, 2015.

11- Ziari, H., Goli, A., and Farahani, H. (2016). Application of rheological characteristics of modified bitumen to prediction the fatigue life of asphalt mixtures. *Pet. Sci. Technol.* 34(6):505–511.

12- Wang, S. F., Wang, Q., Wu, X. Y., and Zhang, Y. (2015). Asphalt modified by thermoplastic elastomer based on recycled rubber. *Constr. Build. Mater*. 93:678–684.
13- Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, in *ASTM D5 / D5M - 13*. 2013. American Society for Testing and Material: Philadelphia, USA.

14- Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and- Ball Apparatus), in *ASTM D36 / D36M* - 12 2012, American Society for Testing and Material: Philadelphia, USA.

15- Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), in *ASTM D2872 - 12e1* 2012. American Society for Testing and Material: Philadelphia, USA.

16- Standard method of test for determining the rheological properties of asphalt binder using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), in *AASHTO T315-09*. 2009. American Association of State Highway and Transportation Officials: USA.