Journal of Education and Science (ISSN 1812-125X), Vol: 29, No: 3, 2020 (85-101)

Modify the rheological properties of Daura asphalt by thermoplastic polyurethane using the microwave technique

Salam J. Marzina[1*], Khalid A. Owaid[2]

[1,2]Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq

E-mail: [1*]salamkarash@gmail.com, Khalid.a.waid73@gmail.com[2]

(Received February 09, 2020; Accepted May 01, 2020; Available online September 01, 2020)

DOI: 10.33899/edusj.2020.126651.1047, © 2020, College of Education for Pure Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:

There is a growing need to produce asphalt materials with high economic feasibility, that is the production of asphalt materials with rheological properties that differ from the base asphalt (unmodified asphalt), can be used in many fields such as the production of paving asphalt, where it is not appropriate to use ordinary asphalt.

This study included the modification of the rheological properties of Daura asphalt by catalytic chemical treatment with thermoplastic polyurethane (Used in the interior parts of cars) using a microwave oven at a power of (360) watts and at different periods of time. As well as treat asphalt samples with the thermoplastic polyurethane in the presence of sulfur.

The modified asphalt samples were studied in terms of ductility, penetration, softening point and penetration Index.

A sample with good rheological specification was selected (As_7) that are conform with the specifications of Iraqi Roads and Bridges Authority, The selected sample were studied in terms of conducting Marshall tests and comparing them with the original sample in order to demonstrate the possibility of using the modified sample as an paving asphalt. The obtained results showed good specifications in terms of crawl and stability values.

An aging test was also conducted on the sample (As_7) of the good rheological specifications.

Key world: modified-asphalt; thermoplastic polyurethane; rheological properties.

تحوير الخواص الريولوجية لأسفلت الدورة بالبولي يوريثان المطاوع للحرارة باستخدام تقنية المايكروويف

سلام ججو مارزينا[1*]، خالد احمد عويد[2]

[1و2]قسم الكيمياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

الخلاصة

نظراً للحاجة الماسة لإنتاج مواد إسفلتية ذات جدوى اقتصادية عالية تتمثل في إنتاج مواد اسفلتية تصلح للاستخدام في مجالات كثيرة كإنتاج إسفلت تبليط ذو صفات ريولوجية جيدة حيث من غير المناسب استخدام الاسفلت الأساس غير المحور.

تضمنت هذه الدراسة تحوير الخواص الريولوجية لأسفلت الدورة بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع البولي يوريثان المطاوع للحرارة (المستخدم في الاجزاء الداخلية للسيارات) باستخدام فرن المايكروويف بطاقة (360) واط وبفترات زمنية مختلفة ، كما تمت معالجة هذه الخواص مع البولي يوريثان المطاوع للحرارة بوجود الكبريت. ومن ثم تمت دراسة عينات الاسفلت المحورة (الخواص الريولوجية) من خلال إجراء فحوصات النفاذية ، والاستطالة ، ودرجة الليونة ودليل الاختراق.

تم اختيار عينة ذات المواصفات الريولوجية جيدة (As_7) والتي تتوافق مع مواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية، ودراسة العينة المختارة بإجراء اختبارات مارشال ومقارنتها بالعينة الأساسية من أجل إثبات إمكانية استخدام العينة المعدلة كأسفلت تبليط. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها مواصفات جيدة من حيث قيم الزحف والاستقرارية، كما وأجري ايضاً فحص التقادم على النموذج (As_7) ذي المواصفات الريولوجية الجيدة.

الكلمات المفتاحية: الإسفلت المحور، البولي يوريثان المطاوع للحرارة، الصفات الريولوجية.

المقدمة

يعرف الأسفلت بأنه مادة سائلة ثقيلة ذات لزوجة تزداد بانخفاض درجة الحرارة حتى تصل حدود الصلابة ويتكون بدرجة رئيسة من هيدروكاربونات ذوات تراكيب بارافينية ونفثينية وارومية، كما يشتمل على مركبات حلقية أو غير حلقية تحتوي على النتروجين، والكبريت، والأوكسجين فضلاً عن احتوائه على كميات قليلة من الفناديوم، والحديد والنيكل. تؤثر مركبات النتروجين والأوكسجين والكبريت مع العناصر المعدنية في الصفات الفيزيائية للاسفلت، إذ تعمل العناصر المعدنية القطبية على زيادة التداخل بين الجزئيات وتؤثر في درجة الغليان والذوبانية واللزوجة. يكون لون الاسفلت عادة أسود وينتج من تقطير النفط الخام ، إذ يتخلف في أبراج التقطير بهيئة مادة ثقيلة بعد أن يتم سحب المواد الخفيفة والمتطايرة [1, 2].

إن طبيعة الصفات الفيزيائية للاسفلت تحدد طبيعة الاستعمال أكثر من تلك الكيميائية ، وذلك بسبب استخدامه والمواد المصنَعَة منه في التطبيقات والأعمال الهندسية [3,4]. وهناك عدة مواصفات مُعتمَدَة للبتيومين قد تكون محلية أو دولية مثل (ASTM و AASHTO ، وغيرهما) تحدد مجالات استخدامه [5] .

وبالرجوع الى الادبيات نجد العديد من الدراسات التي تناولت عملية تحوير مواصفات الاسفلت بطرائق مختلفة ومنها ما قام به Mohammed و Hussein [6] في امكانية تحسين أداء خصائص الأسفلت باستخدام البولي إثيلين تيريفثالات (PET) إذ درست الفحوصات الريولوجية للإسفلت فضلاً عن فحص ثباتية الخزن بدرجات حرارية عالية واستنتج أن اضافة البوليمر الى الاسفلت تودي الى زيادة درجة الليونة وتقليل النفاذية والاستطالة ، واستنتج أن النسبة المثالية للبوليمر كانت 4% ووجد إن إضافة البوليمر تودي إلى تقليل الحساسية الحرارية.

وفي بحثاً اخر [7] تم تحوير الخواص الريولوجية لإسفلت القيارة وباستعمال تقنية المايكروويف وعند طاقتي (180 و 360) واط على التوالي وباستعمال نسب وزنية مختلفة من مطاط الإطارات المعاد وباستخدام حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي وبنسب وزنية مختلفة مع نسب وزنية مختلفة من الكبريت وبعدها تمت دراسة الخواص الريولوجية من حيث الاستطالة، والنفاذية، ودرجة الليونة، ودليل

الاختراق. وأخذ أفضل انموذج من حيث الخواص الريولوجية والمطابق لمواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية كاسفلت تبليط وأجري عليه اختبار مارشال وكانت النتيجة جيدة من حيث قيم الزحف والاستقرارية.

ودرس Maharaj و Maharaj [8] الخواص الفيزيائية للإسفلت بإضافة البولي إيثيلين واطئ الكثافة ، وبولي كلوريد الفاينيل (PVC)، وزيت المحركات المستعمل . إذ بينت النتائج أنه بازدياد تركيز زيت المحركات المستعمل بنسب (0–30%) حصلت زيادة في صفة مقاومة تشققات الإجهاد ، ورافقه انخفاضٌ في مقاومة تشكل الأخاديد في الشارع.

وقام Dekhli [9] وجماعته بدراسة السلوك الريولوجي للإسفلت المحوَّر بإضافة إيثيلين فاينل أسيتيت (EVA)، أعطت الدراسة نماذج إسفلتية ذات مواصفات ريولوجية بالإمكان استعمالها في مجال التبليط . إذ كان هناك تغير إيجابي واضح في القياسات (درجة الليونة ، النفاذية ، الحساسية لدرجة الحرارة) .

وفي بحثاً اخر [10] تم تحسين الخلطات البتيومينية وتحسين الصفات الحرارية لطبقة التغطية السطحية من الرصف اللين إذ استخدمت الإسفلت المعدل بالبولي ستايرين بيوتاداين ستايرين(SBS) إذ أظهرت النتائج تحسناً من ناحية مقاومة التأثر الحراري الذي تتعرض له.

كما تمكن Thakre وجماعته [11] من تحوير الصفات الريولوجية للأسفلت بإضافة إيثيلين فاينل أسيتيت (EVA) ، وفتات المطاط . وأعطت الدراسة نماذج إسفلتية أكثر مقاومةً للإجهاد(fatigue)، والتشققات الحرارية ، والتعفن (Rutting) ، والحساسية لدرجة الحرارة . وبالإمكان استعمالها في مجال التبليط .

وتمكن Gama وجماعته [12] من دراسة الخواص الريولوجية للإسفلت المحوَّر بالبوليمرات من نوع (إيثيلين–ميثايل اكريليت–كلاسيديل ميثاكريليت)(GMA–EMA) Ethylene Methyl Acrylate - Glycidy Methacrylate. والبولي إيثيلين عالي الكثافة(HDPE) إضافة الى متعدد حامض الفسفوريك Acid Polyphosphoric

(PPA116%) وكان لاستخدام هذه البوليمرات معاً تأثيراً واضحاً في تحسين خواص المرونة للإسفلت المحوَّر مع أداء عالٍ في العمل في درجات الحرارة العالية والمتوسطة.

فضلاً عن ذلك ، قام كل من Shirini وImanisab [13] بدراسة الخواص الريولوجية للإسفلت المسامي المحوَّر بالمطاط ، بالمقارنة مع خلائط الأسفلت المسامي المحوَّر بالـ(SBS) . ووجد أن إضافة (10%) من فتات المطاط يؤدي إلى تحسين أداء الإسفلت المسامي في مقاومة التعفن مقارنة مع الإسفلت المحور بالـ(SBS).

وفي بحثاً اخر [14] تم تحسين المقاومة الحرارية وتقليل تأثير الاهتزازات في الخلطة الاسفلتية باستخدام مفروم الإطارات المستهلكة والبوليمرات إذ تمت إضافة مادة النوفولاك بنسب مختلفة من وزن إسفلت الدورة مع إضافة مفروم الاطارات المستهلكة بنسب مختلفة من وزن اسفلت الدورة وقد كانت النتائج بعد إجراء الفحوصات جيدة من ناحية زيادة قوة الثبات وانخفاض في قيمة الاختراق والسحب للإسفلت المحسن.

وتمكن Kareem [15] من دراسة تأثير تعديل البوليمرات على خواص الأسفلت الرابط باستخدام نوعين من البوليمرات، ستايرين بيوتاداين ستايرين (SBS) وإيثايل فانيل أسيتيت (EVA) بنسب وزنية مختلفة ومن ثم تقييم تأثير هذه التعديلات على خواص الأسفلت الرابط من خلال الاختبارات التقليدية مثل (النفاذية، درجة الليونة، اللزوجة، الاستطالة، والوزن النوعي) التي تم إجراؤها على الأسفلت الرابط المعدل والطبيعي ووجد بأن خواص الأسفلت الرابط المعدل كانت أفضل بكثير بالمقارنة مع الإسفلت الطبيعي.

وقد استطاع nekhoroshev [16] وجماعته من اضافة مادة البولي بروبيلين اتاكتك (APP) الى الأسفلت التي تم الحصول عليها عن طريق البلمرة ، حيث تمت عملية الاضافة عند 140°م حيث أدى ذلك الى اكسدة APP مما أدى الى انتاج أسفلت مقاوم للتدهور الحراري والتقادم والالتصاق العالي.

وفي بحثاً اخر [17] تم تحوير الخواص الريولوجية لإسفلت القيارة باستخدام الموجات فوق الصوتية وباستخدام مطاط الإطارات المعاد بنسب وزنية مختلفة وبوجود حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي بنسب وزنيه مختلفة مع نسب وزنية مختلفة من الكبريت ومن ثم دراسة الخواص الريولوجية الناتجة من حيث الاستطالة، والنفاذية، درجة الليونة، ودليل الاختراق. وأخذ أفضل نموذج من حيث الخواص الريولوجية والمطابق لمواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية كإسفلت تبليط وأجريت عليه اختبار مارشال وكانت النتيجة ممتازة من جهة قيم الزحف والاستقرارية .

وقام Yu وجماعته [18] بدراسة مقاومة التقادم قصير المدى للأسفلت من خلال اضافة بولي يوريثان المطاوع للحرارة(TPU) ، حيث وجدَ أن اضافة هذا البوليمر يعمل على تحسين الخواص الحرارية ، واستقرار التخزين في درجات الحرارة العالية، وايضاً أثبتت نتائج التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء تحسن في مقاومة التقادم الزمني للأسفلت.

وفي بحثاً اخر [19] تم تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت باستعمال الزيوت المستهلكة والأكسدة الهوائية وقد تم الحصول على نماذج إسفلتية ذات مواصفات ريولوجية تؤهلها للاستخدام في مجال التبليط وأخرى يمكن استعمالها كمواد مانعة للرطوبة وذلك اعتمادا على الفحوصات التي تم إجراؤها مثل الاستطالة، النفاذية ، درجة الليونة ، نسبة الاسفلتين و دليل الاختراق.

الجزء العملي

اولا:- <u>المواد المستعملة:</u> (Materials)

1. إسفلت الدورة الخام (الإسفلت الأساس) المنتج في مصفى الدورة يتميز بالمواصفات الموضحة في جدول(1).

جدول (1): الخواص الفيزيائية العامة لإسفلت الدورة (الأسفلت الأساس)

الخواص الفيزيائية العامة	القيمة
درجة الليونة (م°)	50
النفاذية (100غم، 5 ثا ، 25م°)	44.6
الاستطالة (سم، 25م°)	100+
دليل الاختراق(PI)	-1.448
نسبة الأسفلتين (%)	17.81

2. الكبريت إذ تمَ الحصول عليه من الشركة العامة لكبريت المشراق.
3. حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي المُجهز من شركة Fluka.
4. بولي يوريثان المطاوع للحرارة (المستخرج من المخلفات الداخلية للسيارات)

ثانيا: الأجهزة المستخدمة **Instruments Used**

1- جهاز قياس الاستطالة **Ductility Measurement Apparatus**

يعمل هذا الجهاز على قياس المسافة التي تستطيل بها المواد الأسفلتية عند تعرضها لتأثير سحبٍ وبسرعةٍ ثابتة، إلى أن ينقطع الأنموذج الأسفلتي. والجهاز ذو منشأ صيني من نوع(YUFENG).

2-جهاز قياس النفاذية **Penetrometer**

يعمل الجهاز على فحص نفاذية المواد البتيومينية الصلبة وشبه الصلبة. فالنفاذية هي مقياس لصلابة الأسفلت. والجهاز ذو منشأ صيني نوع(YUFENG).

3-جهاز قياس درجة الليونة **Ring and Ball Apparatus**

يعمل هذا الجهاز على قياس درجة الليونة للمواد الأسفلتية التي تتراوح ليونتها ما بين (30-200)مْ، ودرجة الليونة هي الدرجة الحرارية التي ينزل عندها الأنموذج الأسفلتي مسافة (2.54)سم عند تسخينه بسرعة (5مْ/ دقيقة) مع تجنب التسخين السريع (Fast heating).

4- جهاز معالجة الأسفلت **Asphalt Treatment Apparatus**

يتكون الجهاز من الأجزاء الآتية :

1. دورق زجاجي كبير بحجم 200مل ثلاثي الفتحات (Angled Three Neck Round Bottom Flask).
2. محرار مُثبت على أحد الفتحات الجانبية.
3. مُسخن كهربائي (Heating Mantle).
4. محرك ميكانيكي يُثبت على الفتحة الوسطى للدورق .
5. حامل حديدي مُزود بماسك لتثبيت الدورق.

والشكل الآتي(1) يوضح الجهاز الذي استعمل في عملية معالجة الإسفلت

الشكل(1): جهاز معالجة الإسفلت

5- فرن مايكروويف Microwave Oven

استخدم فرن المايكروويف ذو المنشأ الألماني من نوع(Tokiwa) وبقدرة (900 واط) وتردد(2450) MHz في عملية تحضير النماذج الأسفلتية المحورة.

6- جهاز الرج الكهربائي Electrical shaker

استخدم هذا الجهاز لرج محلول (أسفلت –هكسان اعتيادي) لغرض فصل الأسفلت، وهو من نوع Hamber Ggo Shaker Germany.

7- جهاز اختبار مارشال Marshall Testing Apparatus

هذا الفحص يعطي دلالة عن مدى ملائمة الأسفلت للتبليط ، والجهاز ذو منشأ إنكليزي نوع (WYKEHAM FARRANCE).

8- جهاز اختبار الفرن لأغشية الأسفلت الرقيقة Thin Film Oven Test(TFOT)

يُبين هذا الفحص مدى تأثر أسفلت التبليط المُحور بظروف التقادم الزمني(Aging)، والجهاز ذو منشأ ياباني مُوديل(710812).

ثالثاً :- طريقة العمل: (Experimental Method)

1- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع بولي يوريثان المطاوع للحرارة باستخدام تقنية المايكروويف:

وضع وزن 250 غم من إسفلت الدورة في جهاز معالجة المادة الإسفلتية (الموضح في الفقرة 4 من الاجهزة المستخدمة)، وسُخن إلى درجة حرارة (100)م°، بعدها تمت إضافة (0.5)% من بولي يوريثان المطاوع للحرارة، ومن ثم إضافة كلوريد الألمنيوم اللامائي بعد أن تم تنقيتهُ آنياً وبنسبة (0.06)%، ومزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى (150) م° مع استمرار الرج لمدة (30دقيقة)، بعدها أُدخلت النماذج في فرن المايكروويف لأزمان مختلفة (15,10,5) دقيقة وعند طاقة (360) واط[7] ، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من البوليمر (1.5,1.0) %.

تم إجراء قياسات الاستطالة [20]، والنفاذية [21]، ودرجة الليونة [22] ودليل الاختراق [23] ، والنتائج مدرجة في الجدول (2).

2- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع بولي يوريثان المطاوع للحرارة باستخدام تقنية المايكروويف :

وضع وزن 250 غم من إسفلت الدورة في جهاز معالجة المادة الإسفلتية (الموضح في الفقرة 4 من الاجهزة المستخدمة)، وسُخن إلى درجة حرارة (100)م°، بعدها تمت إضافة (0.5)% من البولي يوريثان المطاوع للحرارة، ومن ثم إضافة (1)% كبريت وباستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي بعد أن تمت تنقيتهُ آنياً وبنسبة (0.06)%، ومزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى (150) م° مع استمرار الرج لمدة (30دقيقة)، بعدها أُدخلت النماذج في فرن المايكروويف لأزمان مختلفة (15,10,5) دقيقة وعند طاقة (360) واط [7]، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من البوليمر (1.5,1.0) %.

تم إجراء قياسات الاستطالة [20]، والنفاذية [21]، ودرجة الليونة [22] ودليل الاختراق [23] ، والنتائج مدرجة في الجدول (3).

3- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع بولي يوريثان المطاوع للحرارة بدون استخدام تقنية المايكروويف :

وضع وزن 250 غم من إسفلت الدورة في جهاز معالجة المادة الإسفلتية (الموضح في الفقرة 4 من الاجهزة المستخدمة)، وسُخن إلى درجة حرارة (100)م°، بعدها تمت إضافة (0.5)% من بولي يوريثان المطاوع للحرارة، ومن ثم إضافة كلوريد الألمنيوم اللامائي بعد أن تمت تنقيتهُ آنياً وبنسبة (0.06)%، ومزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى (150) م° مع استمرار الرج لمدة (30دقيقة)، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من البوليمر (1.5,1.0) %.

تم إجراء قياسات الاستطالة [20]، والنفاذية [21]، ودرجة الليونة [22] ودليل الاختراق [23] ، والنتائج مدرجة في الجدول (4).

4- فصل الإسفلتين Asphaltene separation

وضعت كمية من إسفلت الدورة الاصل(1غم) في داخل وعاء مخروطي ذي غطاء مُحكم وأُضيف لها (40 مل) هكسان اعتيادي بنسبة (40:1) (وزن : حجم) ورج المحلول لمدة(3 ساعات) باستخدام جهاز الرج الكهربائي بدرجة حرارة الغرفة وبعدها رُشح المحلول وغُسل المتبقي بالهكسان الاعتيادي إلى أن تُصبح قطرات الغسل عديمة اللون، ثم جُفف الراسب ووزن بدقة وتحسب النسبة المئوية للراسب (الإسفلتين), وبعدها طبقت عملية فصل الاسفلتين على جميع النماذج المحضرة.

5- فحص مارشال (Marshall) (التبليط بالإسفلت) :

لغرض معرفة مدى ملائمة النماذج الاسفلتية المحورة والمطابقة لموصفات هيئة الطرق والجسور العراقية (S.O.R.B) [24] من خلال حساب الاستقرارية والزحف للنماذج لكل من الأساس والمحور وحسب طريقة معهد الإسفلت الأمريكي [25] ، والنتائج مدرجة في الجدول (4).

6- اختبار الفرن لاغشية الاسفلت الرقيقة (Thin Film Oven Test) :

يبين هذا الفحص مدى تأثر الأسفلت المحور بظروف التقادم الزمني ، ومقارنته مع النموذج الأساس .

وقد اجري الفحص وفق المواصفات القياسية الامريكية (2002-1754 -D) ASTM [26] ، كما هو موضح في الجدول (6) .

النتائج والمناقشة : (Results and discussion)

1 - تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع بولي يوريثان المطاوع للحرارة باستخدام تقنية المايكروويف:

تهدف هذهِ الدراسة إلى تحوير اسفلت الدورة بالبولي يوريثان المطاوع للحرارة من أجل تحسين مواصفاته لجعلها تتلائم من استخدامه كأسفلت للتبليط، ويمكن تحقيق ذلك بأساليب مختلفة، الأول يعتمد على ربط جزيئة البوليمر مع جزيئة اسفلت الدورة وباستخدام(0.06%) من كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لهذهِ العملية وعند طاقة 360 واط حسب الدراسات السابقة [7] ، ويُبين الجدول (2) نتائج هذه المُعالجة .

الجدول (2): المواصفات الريولوجية لإسفلت الدورة المُحوّر مع نسب مختلفة من بولي يوريثان المطاوع للحرارة، وبوجود نسبة (0.06%) من حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي عند طاقة (360) واط وبأزمان مختلفة.

رقم الانموذج	بولي يوريثان المطاوع للحرارة (wt%)	الزمن (min)	الاستطالة (cm،25م°)	النفاذية،ملم (100غم،5ثا،25م°)	درجة الليونة (م°)	دليل الاختراق (PI)	نسبة الاسفلتين (%)
As_0	0	0	+100	44.6	50	−1.448	17.81
As_1	0.5	5	+100	41.8	58	0.197	21.25
As_2	1.0	5	+100	40.3	60	0.511	23.10
As_3	1.5	5	52	38.1	63.5	1.037	23.83
As_4	0.5	10	+100	43.2	54	−0.850	21.61
As_5	1.0	10	84	39.7	60	0.474	23.49
As_6	1.5	10	65	39.1	62	0.826	25.03
As_7	0.5	15	+100	41.9	59	0.405	20.01
As_8	1.0	15	89	40.1	61.5	0.791	20.59
As_9	1.5	15	67	38.3	63	0.964	24.48

As_0:اسفلت الدورة غير المحور(أسفلت الأساس).

يتضح لنا من الجدول (2)، أنه بزيادة نسبة بولي يوريثان المطاوع للحرارة تقل قيم النفاذية وتزداد قيم الليونة، لذلك تفضل القيم المنخفضة من البوليمر، وهذا ما أكدتهُ الدراسات الحديثة التي تبين أنَ النسب الواطئة من البوليمر هي النسب المفضلة في إجراء التحويرات الريولوجية، حيث يكون طور البوليمر منتشراً في نظام طور الإسفلت المستمر [27].

اما بالنسبة للإسفلتين فنلحظ من الجدول (2) أن بزيادة نسبة البوليمر المضاف مع زيادة زمن التعرض لأشعة المايكروويف تزداد نسبة الإسفلتين مقارنة مع أسفلت الاساس اذ ان زيادة نسبة البوليمر المضاف ادت الى زيادة الوزن الجزيئي للإسفلت بسبب ارتباط الجزيئات البوليمرية ذات الاوزان الجزيئية العالية بالإسفلت، أما فيما يتعلق بالحساسية الحرارية للنماذج التي تم تحضيرها إذ تم حساب دليل الاختراق (PI) فظهرَ أن جميع النتائج المحصلة عليها كانت ضمن الحدود (+2_2−) وهذا يثبت على أن النظام الإسفلتي بأنه من نوع(Sol_Gel_Asphalt) [23].

2- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع بولي يوريثان المطاوع للحرارة باستخدام تقنية المايكروويف :

يعتمد هذا الأسلوب من التحوير على ربط جزيئة البولي يوريثان المطاوع للحرارة مع جزيئة الإسفلت بوجود الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لهذهِ العملية، ويُبين الجدول(3) نتائج هذه المعالجة.

الجدول (3): المواصفات الريولوجية لإسفلت الدورة المُحوّر مع نسب مختلفة من بولي يوريثان المطاوع للحرارة، وبوجود نسبة (1)% كبريت ونسبة (0.06%) من حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي وعند طاقة (360) واط وبأزمان مختلفة.

رقم الانموذج	بولي يوريثان المطاوع للحرارة (wt%)	الزمن (min)	الاستطالة (25م°،cm)	النفاذية،ملم (100غم،5ثا،25م°)	درجة الليونة (م°)	دليل الاختراق (PI)	نسبة الاسفلتين (%)
As_0	0	0	+100	44.6	50	-1.448	17.81
As_{10}	0.5	5	+100	41.3	58	0.166	21.40
As_{11}	1.0	5	+100	41.7	58.5	0.295	25.92
As_{12}	1.5	5	70	38.2	61	0.585	28.20
As_{13}	0.5	10	+100	40.2	58	0.107	21.72
As_{14}	1.0	10	+100	41.4	59.5	0.478	26.46
As_{15}	1.5	10	64	37.8	62	0.748	29.10
As_{16}	0.5	15	+100	42.9	57	0.050	21.56
As_{17}	1.0	15	+100	41.8	59	0.398	27.81
As_{18}	1.5	15	95	40.6	60.3	0.585	28.50

As_0:أسفلت الدورة غير المحور (أسفلت الأساس).

يلاحظ من الجدول (3) إن إضافة الكبريت إلى النماذج الإسفلتية المُحوّرة بواسطة بولي يوريثان المطاوع للحرارة يعمل على زيادة قابلية تذاوب البوليمر مع الإسفلت، وزيادة الترابط ما بين المكونات. ونلاحظ من خلال الجدول ايضاً أن بزيادة نسبة البوليمر المضاف تقل قيم كل من النفاذية والاستطالة وتزداد قيم الليونة. اما بالنسبة للإسفلتين فنلحظ من الجدول (3) أن بزيادة نسبة البوليمر المضاف مع زيادة زمن التعرض لاشعة المايكروويف تزداد نسبة الإسفلتين مقارنة مع أسفلت الاساس اذ ان زيادة نسبة البوليمر المضاف ادت الى زيادة الوزن الجزيئي للإسفلت بسبب ارتباط الجزيئات البوليمرية ذات الاوزان الجزيئية العالية بالإسفلت، أما فيما يتعلق بالحساسية الحرارية للنماذج التي تم تحضيرها أذ تم حساب دليل الاختراق (PI) فظهرَ أن جميع النتائج المحصلة عليها كانت ضمن الحدود (−2_+2) وهذا يثبت على أن النظام الإسفلتي بأنه من نوع(Sol_Gel_Asphalt) [23].

3- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع بولي يوريثان المطاوع للحرارة بدون استخدام تقنية المايكروويف :

يعتمد هذا الأسلوب من التحوير على ربط جزيئة البولي يوريثان المطاوع للحرارة مع جزيئة الإسفلت باستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لعملية التحوير بدون فرن المايكروويف ، ويُبين الجدول(4) نتائج هذه المعالجة.

الجدول (4): المواصفات الريولوجية لإسفلت الدورة المُحوّر مع نسب مختلفة من بولي يوريثان المطاوع للحرارة ، وبوجود نسبة (0.06%) من حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي وبدون استخدام فرن المايكروويف

رقم الانموذج	بولي يوريثان المطاوع للحرارة (wt%)	الزمن (min)	الاستطالة (25م°،cm)	النفاذية،ملم (100غم،5ثا،25م°)	درجة الليونة (م°)	دليل الاختراق (PI)	نسبة الاسفلتين (%)
As_0	0	0	+100	44.6	50	−1.448	17.81
As_{19}	0.5	30	+100	40.8	60.5	0.634	18.51
As_{20}	1.0	30	75	38.1	64	1.127	19.24
As_{21}	1.5	30	46	35.2	66	1.303	19.83

As_0:أسفلت الدورة غير المحور (أسفلت الأساس).

يلاحظ من الجدول (4) ان زيادة نسبة البوليمر سوف يؤدي ذلك الى تدهور المواصفات الريولوجية، ويلاحظ من خلال الجدول ايضاً أن بزيادة نسبة البوليمر المضاف تقل قيم كل من النفاذية والاستطالة وزيادة قيم الليونة، مما يفسر حصول تكتلات في مزيج التفاعل نتيجة ارتباط عدد كبير من البوليمر مع جزيئات الاسفلت بمساعدة كلوريد الالمنيوم اللامائي .

كما يلاحظ من الجدول (4) ان النتائج المستحصلة بدون استخدام المايكروويف كانت اقل كفاءة مما في حال استخدام المايكروويف، كما أن استعمال أشعة المايكروويف في التسخين يخفض كمية الغازات المنبعثة أثناء المعالجة مما يؤدي إلى تقليل التلوث البيئي، كانت النسبة 0.5% من البولي يوريثان المطاوع للحرارة هي النسبة الأفضل في تحوير الخواص الريولوجية لإسفلت الدورة، إذ لوحظ أن زيادة نسبة البوليمر المُضافة للأسفلت تُؤدي إلى تدهور المواصفات الريولوجية، من الصعوبة جداً أن تكون هناك علاقة ثابتة تربط بين المتغيرات التي تطرأ على الأنظمة الإسفلتية أثناء معالجتها بالبوليمرات، وذلك لأن طبيعة التفاعل معقدة جداً.

4- فحص مارشال (Marshall) (التبليط بالأسفلت):

لغرض معرفة مدى مُلاءمة النماذج المحورة بتقنية المايكروويف (As_7) لأغراض التبليط تم إجراء فحص مارشال (التبليط بالأسفلت) للنماذج التي أظهرت كانت مواصفاتها مُطابقة لمواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية (S.O.R.B) لعام 2001 كأسفلت تبليط [24]، وللإسفلت الأساس أيضاً، إذ تم الفحص كما هو مُبين في الجدول (5) .

الجدول (5): يوضح قيم الاستقرارية والزحف لإسفلت الدورة المُحوّر والمقارنة مع إسفلت الدورة الأساس، ومواصفات هيئة الطرق والجسور (S.O.R.B).

رقم الانموذج الإسفلتي	نسبة الإسفلت (%) المضاف إلى الركام	الإستقرارية (KN)	الزحف (mm)
As_0	4.5	11.3	5.1
As_7		21.3	3.2
مواصفات (S.O.R.B)	5.5-3	7 Minimum	4-2

يتضح من الجدول (5) أن قيم الاستقرارية للإسفلت الأساس كانت ضمن مواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية (S.O.R.B) كإسفلت تبليط [24]، ولكن قيم الاستقرارية للنموذج الإسفلتية المحورة كانت أفضل بكثير من قيمة الاستقرارية للإسفلت الأساس إذ يلاحظ ارتفاع قيمتها وهذا مؤشر جيد على قدرة مقاومة التبليط للتشوه الناجم عن تعرض الطريق للأحمال المُتكررة لوسائط النقل .

ولكن قيمة الزحف للإسفلت الأساس كانت خارج مواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية (S.O.R.B) كأسفلت تبليط وهذا ما يفسر تعرض الشوارع المبلطة بأسفلت الدورة دون معالجة الى التَشَكُّل والتخدد مما يسبب تبعات اقتصادية سيئة لدى استخدامه في التبليط من دون اجراء المعالجات والتحويرات اللازمة لهُ.

في حين أن قيم الزحف للنموذج الأسفلتي المحور كان افضل بكثير من قيمة الزحف للأسفلت الأساس إذ يلاحظ انخفاض قيمتها مما يجعلهُ أكثر مقاومة وثباتاً للتَشَكُّل (الزحف) عند تعرض الطريق للأحمال المُتكررة لوسائط النقل وهذا يعطي مؤشراً يُشير إلى أن المزيج ذو نسبة فراغات قليلة، مما يؤكد أفضلية نماذج أسفلت الدورة على الأسفلت الأساس الذي يكون عرضة للتشوه الابتدائي [24]، وهذا ما يُفسر تعرض الكثير من الطرق المُبلطة اليوم بهذا النوع من الإسفلت للزحف والتخدد وعدم الاستقرارية.

5- اختبار الفرن لاغشية الاسفلت الرقيقة (Thin Film Oven Test)

تم اجراء الدراسة هذه على كل من النموذج الأساس والمحور، والنتائج موضحة في الجدول (6).

الجدول (6): تفيير الموصفات الريولوجية لأسفلت الدورة المحور واسفلت الدورة الأساس بعد اخضاعهما لفحص الفرن لأغشية الاسفلت الرقيقة (TFOT)

رقم النموذج	وصف النموذج	الصفات الريولوجية	قبل الفحص	بعد الفحص	الفرق
As_0	الأساس	الاستطالة (cm،25م°)	+100	+100	
		النفاذية،ملم(100غم،5ثا،25م°)	44.6	41.3	3.3
		درجة الليونة (م°)	50	53	3
		دليل الاختراق (PI)	-1.448	-0.909	
		نسبة الفقدان بالوزن %	-----	0.05	
As_7	المحور	الاستطالة (cm،25م°)	+100	+100	
		النفاذية،ملم(100غم،5ثا،25م°)	41.9	40.1	1.8
		درجة الليونة (م°)	59	61	2
		دليل الاختراق (PI)	0.409	0.695	
		نسبة الفقدان بالوزن %	-----	0.029	

يلاحظ من الجدول (6) ان نسبة تأثر الاسفلت المحور بظروف التقادم الزمني من درجة حرارة و اوكسجين بشكل عام تكون قليلة هذا يعد امراً ايجابياً ويستدل منه على ان النموذج الاسفلتي المحور يمتاز بمقاومة كبيرة للاجهادات وذو تشققات اقل فضلاً عن العمر التشغيلي الطويل ، وان التأثر المحدود للنموذج الاسفلتي المحور بظروف التقادم الزمني يعزى الى ما يتمتع به البولي يوريثان المطاوع للحرارة الذي يعمل على تحسين الخواص الميكانيكية والمتمثلة بزيادة متانة النموذج الاسفلتي وتحمله للاجهادات وتقليل التكسير الحراري وزيادة مقاومته لتكوين الاخاديد [28,29].

وبالرجوع إلى الجداول السابقة (2) و(3) و(4) نجد أن بعض النماذج تميزت بدرجات ليونة عالية وقيم نفاذية واستطالة واطئة تؤهل استخدامها في إنتاج الماستك (Mastic) المستخدم كمادة عازلة للرطوبة (Water Proofing)، ونماذج أُخرى بالإمكان استخدامها كإسفلت يُستعمل في التسطيح بعد إخضاعها للاختبارات الهندسية.

والجدول (7) يبين قيم النفاذية والاستطالة ودرجة الليونة للإسفلت المستعمل كماستك عازل للرطوبة وحسب المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM(D491-88 المعتمدة عالمياً [30].

الجدول (7): المواصفات القياسية الامريكية (ASTM(D491-88 للإسفلت المستعمل لإنتاج الماستك.

القياسات الريولوجية	الحد الأدنى	الحد الأعلى
درجة الليونة (م°)	54	65
النفاذية، ملم (100غم، 5ثا، 25م°)	20	40
الاستطالة (سم، 25م°)	15	.

أما المواصفات القياسية العراقية للإسفلت المستعمل لأغراض التسطيح فيُبينها الجدول (8) [31].

الجدول (8): المواصفات القياسية العراقية للإسفلت المستعمل في التسطيح.

القياسات الريولوجية	الحد الأدنى	الحد الأعلى
درجة الليونة (م°)	57	66
النفاذية، ملم (100غم، 5ثا، 25م°)	18	40
الاستطالة (سم، 25م°)	10	.

والجدول (9) يبين الخواص الريولوجية لإسفلت التبليط حسب مواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية (S.O.B.R) لعام 2001 [24].

الجدول (9): الخواص الريولوجية للاسفلت المستعمل في التبليط.

المواصفات الريولوجية	الحد الأدنى	الحد الأعلى
الاستطالة (25،cm م°)	100	.
النفاذية ملم، (100 غم.5ثا.25م°)	40	50
درجة الليونة (م°)	54	60

الاستنتاجات :

a) إن استخدام تقنية التسخين بالمايكروويف (Microwave) في التسخين يخفض كمية الغازات المنبعثة أثناء المعالجة مما يؤدي إلى التقليل التلوث البيئي.

b) إن نسبة (0.5)% من البولي يوريثان المطاوع للحرارة تمثل النسبة الأمثل في تحوير الخواص الريولوجية لأسفلت الدورة.

c) إن إضافة (1)% من الكبريت تعمل على تحسين الخواص الريولوجية لأسفلت الدورة بصورة واضحة وهذا يتوافق مع دراسات سابقة[32].

d) من الصعوبة أن نجد علاقة ثابتة تربط بين المتغيرات التي تطرأ على الأنظمة الأسفلتية أثناء معالجتها بالبوليمرات وذلك لأن طبيعة التفاعل الذي يحدث يكون معقدة جداً.

e) إن نجاح بعض العينات المُحورة في اختبارات مارشال والتقادم تعد مؤشراً إيجابياً على إمكانية استخدامه في التبليط إذ إن قيم الزحف والاستقرارية للأسفلت المُحور كانت أفضل بكثير من قيم الزحف والإستقرارية للأسفلت الأساس.

شكر وتقدير :

يتقدم الباحثون بالشكر والتقدير لقسم الكيمياء في كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة الموصل وكلية الهندسة جامعة الموصل لتقديم التسهيلات اللازمة لاكمال هذا البحث .

المصادر

1- Henglein, F.A., "Chemical Technology", Pergamon Press, London,pp.811-812,(1969).

2- Hobson, G.D. "Modern Petroleum Technology".4th ed., Ltd. Britain, pp.804-806,(1973).

3- Lesueur D., "The Colloidal Structure of Bitumen, Consequences on the Rheology and on The Mechanisms of Modification", Advances in Colloid and Interface Science, pp. 145, 28-42,(2009).

4- "Introduction to Asphalt" , Asphalt institute manual series No. 5 (MS-5) P.2, 9-11 14, 61, (2001).

5- Asphalt Institute Inc. and European Bitumen Association, Eurobitume, The Bitumen Industry, A Global Perspective, 3rd ed., USA (2015).

6- Dhirar T.M., Zaid H. H., International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, Vol. 3 Issue 9, pp: (114-121), (2014).

7- Al-Altwahi, H.S., Master Thesis, University of Mosul,(2014).

8- Maharaj, R., and Maharaj, C., progress in Rubber and Recycling Technology, Vol. 31. 3. (2015).

9- Dekhli, S., Mokhtar, K., A., Hammoum, F. and Bachir, D., S., Journal of Applied sciences Vol. 15, No. (3), PP. 444 – 455, (2015).

10- Murshid, D.A.M , Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, Volume (37), No. (1), pp. 331-317, (2015).

11- Thakre, N., Mangrulkar, D., Janbandhu, M. and Saxena, J., IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering Vol. 13, Issue 6 , PP. 120-128, (2016).

12- Gama D. A., Rosa J. M., Melo T. J. A., and Rodrigues J. K. G., Constr. Build. Mater. 106, 290 – 295, (2016).

13- Shirini, B., & Imaninasab, R., Construction and Building Materials, 107, 165-171, (2016).

14- Abbas, TH.K., Saeed, S.M., Kamel, F.H., Khaled, Sh.L., and Numan, R., Iraqi Industrial Research Journal, Volume (3), No. (1), pp. 45-41, (2016).

15- Kareem, U.N.A., Diyala Journal of Engineering Sciences, Volume (9), No. (3), pp. 1-11, (2016).

16- Nekhoroshev, V. P., Nekhoroshev, S. V., Nekhorosheva, A.V., and Tarasova, O. I., Petroleum Chemistry, 57(8), 643-648. (2017).

17- Muhammad, M.K.P., Master Thesis, University of Mosul,(2017).

18- Yu, R., Zhu, X., Zhang, M., & Fang, C. , *Polymers*, *10*(11), 1189. (2018).

19- Hussein, A.A., and Hamdoon, A.A., Journal of Education and Science, Volume (28), No. 40-49,(2019).

20- ASTM D113-99, " Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials", Annual Book of ASTM Standards,Vol. 04.03, (1999).

21- ASTM D5-97, "Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, (2002).

22- ASTM D36-95, "Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.04, (2000).

23- Traxler, R. N., " Asphalt: Its Composition, Properties in Uses", Reinhold Publishing Co., London, p. 3. 72, (1961).

24- "Specifications of the Roads and Bridges Authority (S.O.R.B)", Republic of Iraq - Ministry of Construction and Housing - Department of Studies and Designs, Baghdad (2001).

25- Asphalt Institute, "Mix Design Method for Asphalt Concrete and other Hot – Mix Design". MANUAL SERIES NO. 02 (MS-2), Seventh Edition 2014.

26- ASTM D1754-97, "Standard test method for effect of heat and air on asphaltic materials (Thin Film Oven Test)'' , Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03,(2002).

27- Brule, B., "Polymer Modified Asphalt Cement Used in the Road Construction Industry: Basic Principles", Transportation Research Board. 75th Annual Meeting. Washington, D.C., Paper No. 960167,(1996).

28- Navarro F.J., Partal P. and Martinez- Boza F ., "Thermo- Rheological behavior and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens" , Fuel,2041-2049, (2004).

29- Becker Y. ;Menderz M.p. and Rodriguez Y., Vision Technological , Vol. 9, No. 1,pp 39-50, (2001) .

30- ASTM D491-88, "Specification for Asphalt Mastic Used in Waterproofing".

31- Standard Specifications No. 1196 of 1988 issued by the Central Agency for Measurement and Quality Control of the bitumen used for flatness.

32- Salah, L.A., Master Thesis, University of Mosul. (1992).