Journal of Education and Science (ISSN 1812-125X), Vol: 29, No: 2, 2020 (26-44)

Rheological modifications of the asphalt-polymer system using microwave technology

Rand Raad Matti[1*]; Khalid Ahmed Owaid[2]

Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq

Email: 1* randraad919@yahoo.com, [2] Khalid.a.waid73@gmail.com

(Received January 24, 2019; Accepted April 10, 2019; Available online June 01, 2020)

DOI: 10.33899/edusj.2020.165298, © 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

This research aimed to prepare different types of asphaltic materials having a good rheological properties compared with the non-modified asphaltic materials. Different polymers and microwaves were used to prepare the modified asphalt in different ways. The first method is based on the modification of asphalt with reclaim tire rubber using anhydrous aluminum chloride catalyst at 360 watt at different times, The second method depends on the same principle of the first method with the introduction of sulfur as an additive and the third method is based on the same principle of the first method but the change of polymer added to the polyamethyl methacrylate and with the introduction of sulfur as an additive. The latter method is the same principle of the first method but the change of polymer added to mixtures of (1:1)(polymer_polymer)(recycled tire rubber polyamethyl methacrylate)with the introduction of sulfur as an additive. The above methods we obtained asphaltic materials which can be used in paving and mastic depending on the measured (ductility, penetration , softening point).

Key world: Rheological Modification, Microwave, Polymers , Asphalt.

Journal of Education and Science (ISSN 1812-125X), Vol: 29, No: 2, 2020 (26-44)

التحويرات الريولوجية لنظام (اسفلت– بوليمر) باستخدام تقنية المايكروويف

رند رعد متي, خالد احمد عويد

قسم الكيمياء, كلية التربية للعلوم الصرفة, جامعة الموصل, الموصل, العراق

المخلاصة

تهدف هذه الدراسة إلى تحضير أنواع مختلفة من المواد الإسفلتية, وبالأخص الأنواع التي تمتلك خواص ريولوجية جيدة بالمقارنة مع المواد الإسفلتية غير المحورة. واستُخدِمتَ بوليمرات مختلفة وتقنية المايكروويف لتحضير الإسفلت المُحور وذلك بأساليب مختلفة, يعتمد الاسلوب الأول على تحوير الإسفلت مع مطاط الإطارات المُعاد باستخدام حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي عند طاقة (360) واط وبأزمان مختلفة, أما الأسلوب الثاني فيعتمد على نفس مبدأ الاسلوب الأول مع إدخال الكبريت كمادة إضافية, في حين يعتمد الاسلوب الثالث على نفس مبدأ الأسلوب الأول ولكن بتغير البوليمر المضاف إلى البولي مثيل ميثاكريلات, مع إدخال الكبريت كمادة إضافية, أما الأسلوب الأخير فهو نفس مبدأ الأسلوب الأول لكن بتغير البوليمر المضاف إلى مزائج من (مطاط الإطارات المعاد– بولي مثيل ميثاكريلات) بنسبة1:1(بوليمر _ بوليمر) مع إدخال الكبريت كمادة إضافية, وتم الحصول من الأساليب أعلاه على نماذج إسفلتية ذات مواصفات ريولوجية, بالإمكان استخدامها في مجال التبليط وأخرى يمكن استخدامها كمواد مانعة للرطوبة اعتماداً على القياسات التي تم اجراؤها (الاستطالة والنفاذية ودرجة الليونة).

الكلمات المفتاحية: التحويرات الريولوجية, المايكروويف, البوليمرات, الإسفلت.

المقدمة

الإسفلت هو عبارة عن مادة هيدروكاربونية ذات لون أسود أو بني غامق ذي قابلية تطاير قليلة نسبياً[1], صلب أو شبه صلب ويمتاز بكونه ذا لزوجة عالية, ويعتبر من المواد المطاوعة للحرارة, أي أنه يتحول إلى الحالة السائلة في درجات الحرارة المرتفعة ويعود إلى حالته الصلبة الطبيعية في درجات الحرارة المنخفضة. بصورة عامة يتكون الإسفلت من مركبات هيدروكاربونية بارافينية ونفثينية وارومية ذات اوزان جزيئية عالية تقترب قيمها من (200-3000)غم/مول، ويشتمل كذلك على مركبات حلقية أو غير حلقية تحتوي على النيتروجين والكبريت والأوكسجين، فضلاً عن احتوائهِ على كميات قليلة من ذرات الفناديوم والحديد والنيكل. تتأثر صفات الإسفلت الفيزيائية مثل درجة الغليان، الذوبانية واللزوجة[2]. . . الخ

كثيرا بمركبات الكبريت والنيتروجين والأوكسجين والعناصر المعدنية, إذ تعمل الذرات غير المتجانسة القطبية على التداخل بين الجزيئات. وإن للإسفلت استخدامات كثيرة ومتنوعة في الصناعة والبناء وأعمال الهندسة [3] نظراً لما يتمتع به من خمول كيميائي ولزوجة, وقوة ومتانة عاليتين, ومقاومة كبيرة للعديد من الحوامض والأملاح والقلويات, وايضاً لكونه لايذوب بالماء, إن تحسين الخواص الريولوجية للإسفلت تتم بطرق مختلفة وبأساليب متعددة تبعاً للغرض المستخدم فيه, لذلك فإن إضافة البوليمرات تعتبر طريقة جيدة في تحسين خواص الإسفلت ونوعيته, إذ تمثل البوليمرات المضافات الأكثر استعمالا في التحوير[4] وإن عملية التحوير لخواص الإسفلت الريولوجية خواص الريولوجية بالمواد البوليمرية فوائد كثيرة, فهي تعمل على زيادة صلابة وتماسك الإسفلت وبذلك تحسن مقاومته لدرجات الحرارة وتزيد من مقاومة المزيج للأكسدة والتآكل وللظروف الجوية (التعتيق), وتزيد من استقرارية المزيج وقوته ويحسن من خواص التلاصق و التماسك[5] واختزال تكاليف الرصف أو التبليط قدر الامكان[6], إن أول من اقترح فكرة إضافة المطاط المستهلك (Waste rubber) كمادة محورة للإسفلت هو العالم (Mcdonald,1966), إذ تمت إضافة مطاط الإطارات التالفة بطريقتين وكلتاهما تتضمن تشكيل المطاط بأبعاد صغيرة لاتتجاوز 2.5 mm وبنسب مطاط بين (18-25)% للطريقة الرطبة (Wet process) و (0.5-5)% للطريقة الجافة (Dry process) والاختلاف الجوهري بين هاتين الطريقتين, هو أنه في الأولى تمزج حبيبات المطاط مع الإسفلت بحدود حرارية (175- 200)°م ولمدة (1-2) ساعة, بعدها يمزج مع الحصى والرمل, في حين تمزج الحبيبات المطاطية مع الرمل والحصى في الطريقة الجافة, وتضاف مباشرة إلى اسفلت التبليط الساخن, ولاحظ أن هذه الخلائط لها عمر اقصر في خدمات التبليط مقارنة مع الإسفلت غير المعالج, إلا أنه يمكن استخدام المزيج المحضر بالطريقة الرطبة لتغطية طبقات الطرق القديمة والمعرضة إلى إجهادات, ولاحظ أنها تعطي خصائص الإسفلت الكونكريتي نفسه, إن دور المطاط في هاتين الطريقتين يكون كمواد مالئة (filler), أي يبقى المطاط محافظاً على تركيبه الشبكي المفلكن, ولا يحصل له ذوبان أو إزالة للبلمرة Depolymerization[7]. ودرست التمر[8] إضافة مطاط الإطارات التالفة بدرجة حرارية معينة وبنسب وزنيه مختلفة إلى الإسفلت وبثلاث معالجات مختلفة إذ تم في الأولى إجراء مزج فيزيائي بين الإسفلت ومطاط الإطارات التالفة, وفي الثانية مزج الإسفلت مع مطاط الإطارات المفلكن في درجة حرارة (165– 170)°م لمدة ساعة ونصف, مع(1%) وزناً من كلوريد الألمنيوم اللامائي $AlCl_3$ كحفاز. وفي المعالجة الثالثة تم إضافة الكبريت بنسبة (1%) وزناً إلى مزيج الإسفلت ومطاط الإطارات التالفة بإضافة (1%) من كلوريد الألمنيوم اللامائي $AlCl_3$ كمحفز وبدرجة (165–170)° م لمدة ساعة ونصف, وقد أعيدت هذه الدراسة باستخدام الايزوبرين الصناعي بنسب وزنية مختلفة وبالمعالجات السابقة نفسها, وأعطت

الدراسة نماذج ذات خواص ريولوجية جيدة جداً, في حين عانى القسم الآخر تدهوراً في المواصفات. وخلال الثلاثين سنة الأخيرة ازداد ميل الباحثين تجاه استعمال الكبريت لتحسين الاستقرارية والتوافق لمزائج إسفلت بوليمر [9] حيث يعتقد ان الكبريت يرتبط كيميائياً بالبوليمر والاسفلت من خلال تكوين أواصر الكبريتيد sulfid bonds (RSR) أو كبريتيدات متعددة polysulfide-bonds (RS_XR), كما يعمل الكبريت كعامل تشابك cross linking agent[10]. أما عن استعمال تقنية المايكروويف فكانت البحوث متنوعة في هذا المجال, حيث درست الباحثة (الاعرجي) [11] الخواص الريولوجية لإسفلت تبليط بيجي باستخدام تقنية المايكروويف, وذلك من خلال معاملة الإسفلت مع نسب مختلفة من الكبريت, إذ استخدمت موجات مايكروويفية ذات طاقات مختلفة وبأزمان مختلفة, وأعيدت الدراسة نفسها باستخدام كلوريد الالمنيوم ($AlCl_3$) اللامائي بوصفه حفازاً وتحت الظروف نفسها وتم الحصول على نتائج جيدة من حيث درجة الليونة، والنفاذية، وقابلية الاستطالة ومعامل الاختراق. كما تمكن الباحث (ألفي) [12] من تحوير الخواص الريولوجية لكل من إسفلت بيجي وإسفلت القيارة باستخدام تقنية المايكروويف عند طاقتي (360,180) واط على التوالي وباستخدام بوليمرات مختلفة (البولي ستايرين, رانتجات ميلامين _ فورمالديهايد وبولي مثيل ميثاكريلات) بنسب مختلفة مع وجود(1%) مخلفات كبريتية صلبة (Blow Down) تارة وبعدم وجودهِ تارة أُخرى, وبوجود حفاز (1%) كلوريد الالمنيوم اللامائي, ومن ثم دراسة الخواص الريولوجية الناتجة من حيث الاستطالة، والنفاذية، ودرجة الليونة، ودليل الاختراق. وأفضل النماذج من حيث الخواص الريولوجية والمطابقة لمواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية كإسفلت تبليط تمت دراستها من حيث إجراء اختبارات مارشال (Marshall) (التبليط بالإسفلت) ومقارنتها مع النموذج الأصلي من أجل بيان إمكانية استخدام النماذج المحورة في التبليط, وكانت النتائج المحصل عليها ممتازة من حيث قيم الزحف والاستقرارية.

الجزء العملي

اولا:- <u>المواد المستعملة:</u>

1- إسفلت الدورة الخام المنتج في مصفى الدورة.

2- مطحون مطاط الإطارات المُعاد والذي يكون بشكل حبيبات بحجم (1ملم) (المحتوى المطاطي الأيزوبريني لهُ يُشكل نسبة 40% تقريباً) [13].

3- الكبريت إذ تمَ الحصول عليه من الشركة العامة لكبريت المشراق.

4- حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي المُجهز من شركة Fluka.

5- الزجاج العضوي (البولي مثيل ميثاكريلات) إذ تم إستعمال مكاسير زجاج البلاستيك.

ثانياً:- الأجهزة المستعملة:

1-فرن مايكروويف(Microwave Oven).

2-فرن كهربائي(Electrical Furnace).

3-جهاز قياس الاستطالة(Ductility).

أجري القياس على وفق المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM,(D5,83 المعتمدة عالمياً[14].

4-جهاز قياس النفاذية (Penetrometer):وقد اجري القياس على وفق المواصفات القياسية الأمريكية-ASTM(D36 70) المعتمدة عالمياً[15] .

5-جهاز قياس درجة الليونة (Ring and Ball Apparatus).وقد أجري القياس على وفق المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM(5-85 المعتمدةعالمياً[16] .

6-جهاز معالجة الإسفلت بالبوليمرات (treatment apparatus asphalt by polymer).يتكون الجهاز من الأجزاء الآتية :

1- دورق زجاجي كبير بحجم (200مل) ثلاثي الفتحات (Three Necked Flask).

2- محرك ميكانيكي يُثبت على الفتحة الوسطى للدورق .

3- مُسخن كهربائي (Electrical Mental) مُزود بمنظم (Regulator) للسيطرة على درجة الحرارة.

4- محرار مُثبت على أحد الفتحات الجانبية .

5- حامل حديدي مُزود بماسك لتثبيت الدورق.

7- جهاز الرج الكهربائي (electrical shaker).

ثالثاً:- طريقة العمل:

1-التحليل الحراري الوزني للبوليمرات

Thermal Gravimetric Analysis For Polymers

تم أخذ وزن معلوم من كل من مطحون مطاط الإطارات المُعاد الذي يكون بشكل حبيبات بحجم (1ملم), والبولي مثيل ميثاكريلات بعد تكسيره جيداً إلى قطع صغيرة ووضع كل واحدة منها في جفنة خزفية مغطاة برقائق الألمنيوم, ثم عوملت الجفنة حرارياً عند مدى حراري تراوح بين (50-600) °م وبزيادة (50) °م لكل قراءة بالنسبة لمطاط الإطارات

المعاد عند مدى حراري تراوح بين (25-500) °م وبزيادة (50) °م لكل قراءة بالنسبة للبولي مثيل ميثاكريلات, إذ تم تحديد درجة الحرارة الملائمة والمثلى لتكسير (تهشيم) كل بوليمر. وكانت النتائج المحصل عليها حسب الجدولان (1) و(2) على التوالي والشكلان (1) و(2) يُوضحان مُنحنى التحليل الحراري الوزني لمطاط الإطارات المُعاد ولبولي مثيل ميثاكريلات على التوالي.

2- تهيئة المواد البوليمرية للتفاعل Polymer Preparation

عرّضت المخلفات البوليمرية لعملية سحق ميكانيكي وحراري قبل مفاعلتها مع المادة الإسفلتية بهدف الحصول على بوليمر ذا وزن جزيئي أوطأ, وأجريت هذه العملية بالاعتماد على التحليل الحراري الوزني, إذ إن البوليمرات المستخدمة جميعها تتكسر عند (350)° م, لذلك تم أخذ المخلفات البوليمرية (مطحون مطاط الإطارات المُعاد الذي يكون بشكل حبيبات بحجم (1ملم) والبولي مثيل ميثاكريلات بعد تكسيره جيداً الى قطع صغيرة), ووضعت كل منها في جفنة خزفية مغطاة برقائق الألمنيوم, ثم سخنت الجفنة في فرن كهربائي بدرجة حرارة (350)° م لمدة (ساعتين), بعد ذلك أخرجت المواد وتركت لتبرد إلى درجة حرارة الغرفة، ثم سحقت على شكل مسحوق ناعم باستخدام هاون خزفي.

3- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع مطاط الإطارات المُعاد

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalysts with reclaim tires rubber

وزن 250 غم من الإسفلت ووضع في جهاز معالجة المادة الإسفلتية وسُخن إلى درجة حرارة (100) °م، بعدها تمت إضافة (0.5)% من مطاط الإطارات المُعاد، واستخدام كلوريد الألمينيوم اللامائي بنسبة وزنية (0.06)%، ومُزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى 180°م مع الرج المستمر لمدة 30 دقيقة, بعدها أُدخلت النماذج في فرن المايكروويف لأزمان مختلفة (15,10,5) دقيقة, وعند طاقة (360) واط ، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من مطاط الإطارات المُعاد(4,3,2,1) %. بعدها أجرينا على النماذج المحضرة قياسات الاستطالة[15], والنفاذية[16] , ودرجة الليونة[17] ودليل الاختراق[18].

4- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع مطاط الإطارات المُعاد :

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalyst in presence of sulfur with reclaim tires rubber

وزنَ 250 غم من إسفلت الدورة الأصل ووضع في جهاز معالجة المادة الإسفلتية وسُخن إلى درجة حرارة (100) °م، بعدها تمت إضافة (0.5)% من مطاط الإطارات المُعاد, ومن ثم تم إضافة (1)% من الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي بنسبة وزنية (0.06)%، ومزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى (180)°م مع استمرار الرج لمدة 30 دقيقة، بعدها أُدخلت النماذج في فرن المايكروويف لأزمان مختلفة (15,10,5) دقيقة وعند طاقة (360) واط ، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من المطاط (4,3,2,1) %. وبعدها أجرينا على النماذج المحضرة قياسات الاستطالة[14], والنفاذية[15] , ودرجة الليونة[16] ودليل الاختراق[17] .

5- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع البولي مثيل ميثاكريلات:

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalyst in presence of sulfur with Polymethyl methacrylate

وزنَ 250 غم من إسفلت الدورة الأصل ووضع في جهاز معالجة المادة الإسفلتية, وسُخن إلى درجة حرارة (100)°م، بعدها تمت إضافة (0.5)% من البولي مثيل ميثاكريلات، ومن ثم تمت إضافة (1)% من الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي بنسبة وزنية (0.06)%، ومزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى (180)°م مع استمرار الرج لمدة (30دقيقة)، بعدها أُدخلت النماذج في فرن المايكروويف لأزمان مختلفة (15,10,5) دقيقة, وعند طاقة (360) واط ، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من البولي مثيل ميثاكريلات (4,3,2,1)%. بعدها أجرينا على النماذج المحضرة قياسات الاستطالة[14], والنفاذية[15], ودرجة الليونة[16] ودليل الاختراق[17].

6- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع مزائج من (البولي مثيل ميثاكريلات ومطاط الإطارات المعاد) بنسبة1:1(بوليمر: بوليمر):

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalyst in presence of sulfur with mixture of (Polymethyl methacrylate and reclaim tires rubber) in the rate of 1:1 (polymer:polymer)

وزنَ 250 غم من إسفلت الدورة الأصل ووضع في جهاز معالجة المادة الإسفلتية, وسُخن إلى درجة حرارة (100) °م، بعدها تمت إضافة (0.5)% مزائج من البوليمرات (مطاط الاطارات المعاد وبولي مثيل ميثاكريلات) بنسبة1:1

(بوليمر : بوليمر) ومن ثم تمت إضافة (1)% من الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي بنسبة وزنية (0.06)%، ومزجت المادة المتفاعلة بصورة جيدة ورفعت درجة حرارة المزيج إلى (180)°م مع استمرار الرج لمدة 30 دقيقة، بعدها أُدخلت النماذج في فرن المايكروويف عند زمن (15) دقيقة وعند طاقة (360) واط، بعد ذلك أُعيدت التجربة باستعمال نسب وزنية مختلفة من مزائج البوليمرات (مطاط الإطارات المعاد وبولي مثيل ميثاكريلات) بنسبة 1:1 (بوليمر : بوليمر) (4,3,2,1) %. بعدها أجرينا على النماذج المحضرة قياسات الاستطالة[14], والنفاذية[15] , ودرجة الليونة[16] ودليل الاختراق[17].

النتائج و المناقشة

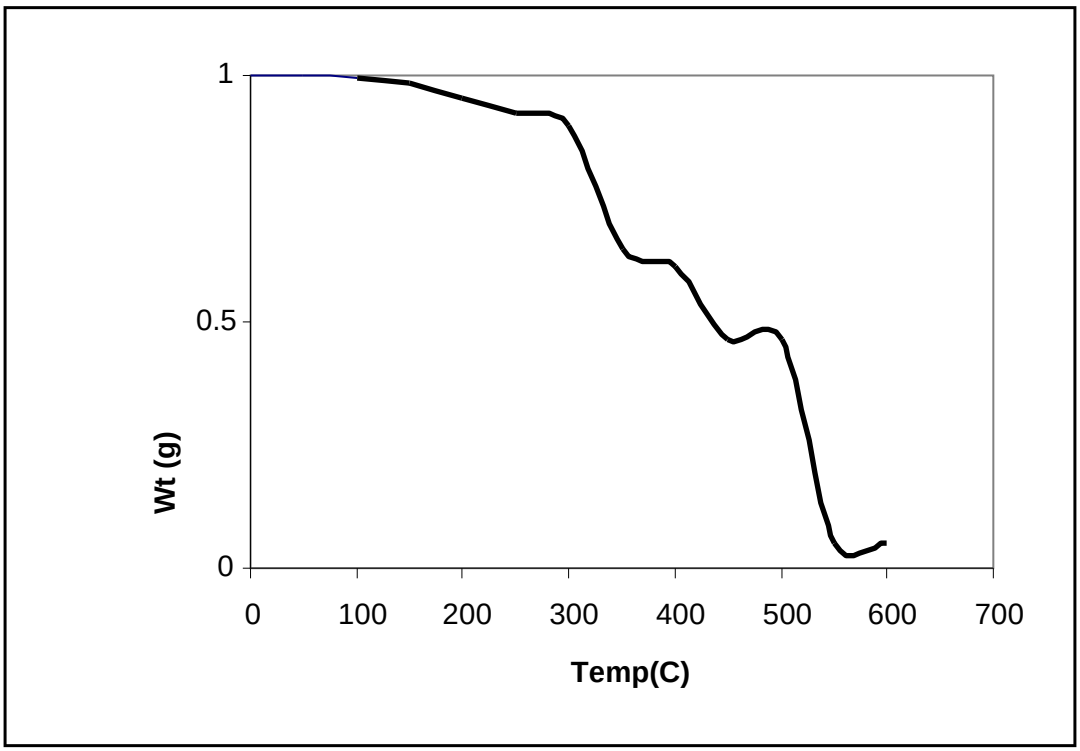
1-المعاملة الحرارية للبوليمرات Thermal treatment of Polymers

عُوملت البوليمرات (مطاط الإطارات المعاد والبولي مثيل ميثاكريلات) المستخدمة في هذه الدراسة حرارياً كما هو موضح في طريقة العمل, إذ إن الدرجة الحرارية المستخدمة في معاملة هذهِ المواد البوليمرية تم الاستدلال عليها من نتائج التحليل الحراري الوزني التي تعطي معلومات عن الدرجات الحرارية التي تبدأ عندها المواد البوليمرية بالتهشم ومقدار الفقدان في وزن البوليمر عند تلك الدرجات الحرارية, إذ إن البوليمرات المستخدمة جميعها تتكسر عند (350)° م, والجدولان (1) و(2) والشكلان (1) و(2) يُوضحان مُنحنى التحليل الحراري الوزني لمطاط الإطارات المُعاد ولبولي مثيل ميثاكريلات على التوالي.

الجدول (1) :نتائج التحليل الحراري الوزني لمطاط الإطارات المُعاد

درجة الحرارة (م°)	الوزن(غم)
0	1*
50	0.9996
100	0.9962
150	0.9852
200	0.9532
250	0.9223
300	0.8962
350	0.6493
400	0.6100
450	0.4640
500	0.1652
550	0.0523
600	0.0094

*الوزن الأصلي

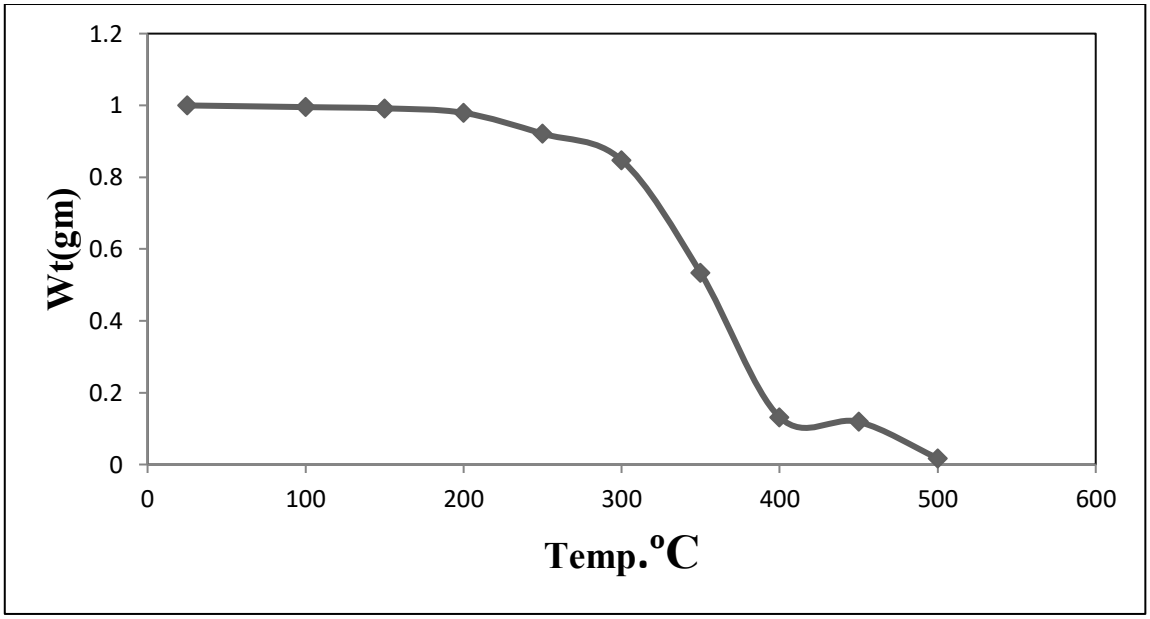


الشكل(1): مُنحنى التحليل الحراري الوزني لمطاط الإطارات المُعاد

الجدول (2): نتائج التحليل الحراري الوزني للبولي مثيل ميثاكريلات.

درجة الحرارة (م°)	الوزن(غم)
25	1*
100	0.9953
150	0.9919
200	0.9793
250	0.9213
300	0.8477
350	0.5332
400	0.1317
450	0.1188
500	0.0174

*الوزن الأصلي



الشكل(2): مُنحنى التحليل الحراري الوزني لبولي مثيل ميثاكريلات.

2- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة مع مطاط الإطارات المُعاد

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalysts with reclaim tires rubber

تهدف هذهِ الدراسة إلى تحوير الإسفلت بالبوليمرات, ويمكن تحقيق ذلك بأساليب مختلفة, الأول يعتمد على ربط جزيئة المطاط مع جزيئة الإسفلت وباستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لهذهِ العملية, ويُبين الجدول (1) نتائج هذه المُعالجة .

الجدول(3): المواصفات الريولوجية للإسفلت المحور بنسب مختلفة من مطاط الإطارات المُعاد, وبوجود نسبة (0.06)%من حفاز كلوريد الالمنيوم اللامائي وعند طاقة(360) واط وبأزمان مختلفة.

رقم النموذج	مطاط الإطارات المعاد(wt%)	الزمن (min)	الاستطالة (25,cm°م)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25م°)	درجة الليونة (م°)	دليل الاختراق (PI)
As_0	0	0	+100	46	52	-0.900
As_1	0.5	5	+100	40.9	53.5	-0.813
As_2	1	5	97	38.1	53.4	-0.984
As_3	2	5	92	38.7	53.8	-0.863
As_4	3	5	82	38	54.3	-0.792
As_5	4	5	78	33.6	57	-0.479
As_6	0.5	10	+100	37	54	-0.913
As_7	1	10	92	36	57	-0.336
As_8	2	10	90	35.4	57.5	-0.269
As_9	3	10	88	35	59	0.004
As_{10}	4	10	67	30.7	63	0.478
As_{11}	0.5	15	+100	42.6	56	-0.177
As_{12}	1	15	+100	40.9	55	-0.483
As_{13}	2	15	+100	40.2	55.5	-0.201
As_{14}	3	15	85	38	57	-0.220
As_{15}	4	15	50	34.1	57.3	-0.388

As_0 : إسفلت الدورة بدون معاملة.

يتضح لنا من الجدول (3), أنه بزيادة نسبة مطاط الإطارات المُعاد تقل قيم كل من الإستطالة والنفاذية وتزداد قيم الليونة إذ إن القيم الأعلى المستخدمة من المطاط أدت إلى جعل النظام الإسفلتي أقل تجانساً, لذلك تفضل القيم المنخفضة من مطاط الإطارات المعاد, وهذا ما أكدتهُ الدراسات الحديثة التي تبين أنَ النسب الواطئة من البوليمر هي النسب المفضلة في إجراء التحويرات الريولوجية, إذ يكون هنا طور البوليمر منتشراً في نظام طور الإسفلت المستمر[21].

3- تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع مطاط الإطارات المُعاد

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalysts in presence of sulfur with reclaim tires rubber

يعتمد هذا الأسلوب من التحوير على ربط جزيئة المطاط مع جزيئة الإسفلت بوجود الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لهذهِ العملية, ويُبين الجدول (4) نتائج هذه المُعالجة.

الجدول (4): تأثير نسبة (1%) من الكبريت المضاف على المواصفات الريولوجية لاسفلت الدورة المُحور باستخدام نسب مختلفة من مطاط الإطارات المُعاد و(0.06%) من حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي عند طاقة (360) واط وبأزمان مختلفة.

رقم النموذج	مطاط الإطارات المعاد(wt%)	الزمن (min)	الاستطالة (25,cm°م)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25°م)	درجة الليونة (°م)	دليل الاختراق (PI)
As_0	0	0	+100	46	52	-0.900
As_{16}	0.5	5	+100	45.7	55	-0.234
As_{17}	1	5	+100	45.1	56.5	0.059
As_{18}	2	5	95	43	57.2	0.096
As_{19}	3	5	90	41	57.5	0.049
As_{20}	4	5	88	38	62	0.759
As_{21}	0.5	10	+100	45	53	-0.717
As_{22}	1	10	+100	45.1	55	-0.264
As_{23}	2	10	93	41	55.5	-0.369
As_{24}	3	10	90	39	57	-0.164
As_{25}	4	10	70.3	37	59	0.124
As_{26}	0.5	15	+100	43.3	55	-0.356
As_{27}	1	15	+100	41.5	56	-0.236
As_{28}	2	15	85	36	58	-0.133
As_{29}	3	15	78.9	33	60	0.073
As_{30}	4	15	64	30	63	0.430

As_0 : إسفلت الدورة بدون معاملة.

نلحظ من الجدول (4) إن إضافة الكبريت إلى النماذج الإسفلتية المُحوّرة بمطاط الإطارات المُعاد يعمل على زيادة قابلية تذاوب المطاط مع الإسفلت, وزيادة الترابط مابين المكونات, ويؤدي بالتالي إلى زيادة في تجانس النظام الإسفلتي. إن استخدام النماذج الإسفلتية المكبرتة تسمح لنا بالحصول على نماذج إسفلتية محورة تمتاز بامتلاكها استطالة جيدة, فضلاً عن أن هذه النماذج تمتاز بامتلاكها مقاومة كبيرة للمذيبات والزيوت[23]. ونلاحظ من خلال الجدول ايضاً أن بزيادة نسبة البوليمر المضاف تقل قيم كل من النفاذية والاستطالة وتزداد قيم الليونة.

4-تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع البولي مثيل ميثاكريلات:

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalyst in presence of sulfur with Polymethyl methacrylate

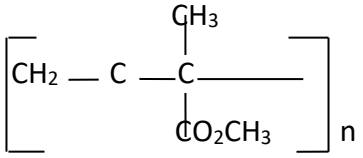
يعتمد هذا الأســـلوب من التحوير على ربط جزيئة البولي مثيل ميثاكريلات مع جزيئة الإســـفلت بوجود الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لهذهِ العملية, ويُبين الجدول(5) نتائج هذه المعالجة.

الجدول(5) : المواصفات الريولوجية للإسفلت المحور بنسب مختلفة من البولي مثيل ميثاكريلات, وبوجود نسبة (1%) كبريت و(0.06)% من حفاز كلوريد الالمنيوم اللامائي وعند طاقة (360) واط وبأزمان مختلفة.

رقم النموذج	بولي مثيل ميثاكريلات(wt%)	الزمن (min)	الاستطالة (°م25,cm)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25م°)	درجة الليونة (م°)	دليل الاختراق (PI)
As_0	0	0	+100	46	52	-0.900
As_{31}	0.5	5	+100	43.5	52	-1.022
As_{32}	1	5	+100	43	54	-0.592
As_{33}	2	5	88	40	55	-0531
As_{34}	3	5	85	38.5	55.7	-0.464
As_{35}	4	5	60	35	56	-0.601
As_{36}	0.5	10	+100	42	55	-0.424
As_{37}	1	10	+100	40.7	55.5	-0.386
As_{38}	2	10	92	40	56	-0.317
As_{39}	3	10	90.6	38	57	-0.220
As_{40}	4	10	55	36	59	0.065
As_{41}	0.5	15	+100	44.6	56	-0.073
As_{42}	1	15	+100	39.9	55	-0536
As_{43}	2	15	95.5	39	54	-0.803
As_{44}	3	15	85	37	54.2	-0.869
As_{45}	4	15	63.8	35	60	0.199

As_0 : إسفلت الدورة بدون معاملة.

نلاحظ من الجدول (5) أنه تم إستعمال البولي مثيل ميثاكريلات, وهو مفضل عن غيره من البوليمرات, وقد يكون الســـبب أن بولي مثيل ميثاكريلات يحتوي في تركيبه على ثلاث مجاميع فعالة (مجموعة الاســـتر,ومجموعة الكاربونيل ومجموعة ميثوكسي) التي تزيد من إمكانية ترابطه كيميائياً مع الإسفلت بدرجة كبيرة[12],



Polymethyl methacrylate

وأنه بزيادة نســـبة البولي مثيل ميثاكريلات تقل قيم كل من الإســـتطالة والنفاذية وتزداد قيم الليونة, إذ إن القيم الأعلى المستخدمة من البولي مثيل ميثاكريلات أدت إلى جعل النظام الإسفلتي أقل تجانساً, لذلك تفضل القيم المنخفضة من البولي مثيل ميثاكريلات.

5- تحوير الخواص الريولوجية للإســـفلت بالمعالجة الكيميائية المحفزة بوجود الكبريت مع مزائج من (البولي مثيل ميثاكريلات ومطاط الإطارات المعاد) بنسبة1:1 (بوليمر: بوليمر):

Modification of the rheological properties of the asphalt chemotherapy catalyst in presence of sulfur with mixture of (Polymethyl methacrylate and reclaim tires rubber) in the rate of 1:1 (polymer:polymer)

يعتمد هذا الأسلوب من التحوير على ربط مزائج من (المطاط والبولي مثيل ميثاكريلات) بنسبة1:1 (بوليمر :بوليمر) مع جزيئة الإسفلت بوجود الكبريت واستخدام كلوريد الألمنيوم اللامائي كعامل مُحفز لهذهِ العملية, ويُبين الجدول (6) نتائج هذه المُعالجة.

الجدول (6): المواصفات الريولوجية للإسفلت المحور بنسب مختلفة من مزائج (مطاط الإطارات المعاد والبولي مثيل ميثاكريلات) بنسبة1:1 (بوليمر: بوليمر), وبوجود نسبة (1%) كبريت و(0.06)% من حفاز كلوريد الالمنيوم اللامائي وعند طاقة (360) واط وبزمن 15 دقيقة.

رقم النموذج	مزائج(مطاط–بولي مثيل ميثاكريلات) (wt%)	الاستطالة (25م°,cm)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25م°)	درجة الليونة (م°)	دليل الاختراق (PI)
As_0	0	+100	46	52	-0.900
As_{46}	0.5	+100	49	56	0.147
As_{47}	1	+100	48.7	55	-0.085
As_{48}	2	+100	48.5	55.5	0.014
As_{49}	3	88	47	57	0.261
As_{50}	4	85	39	60	0.437

As_0 : إسفلت الدورة بدون معاملة.

نلاحظ من الجدول (6) أنه قد تم استعمال مزائج من (مطاط الإطارات المعاد وبولي مثيل ميثاكريلات) بنسبة1:1 (بوليمر: بوليمر) بنسب مختلفة, وكان تأثيرها على الخواص الريولوجية أفضل مقارنة بإستعمال كل من هذه البوليمرات على حدة, ونلاحظ أنه مع زيادة نسبة اضافة المزائج تقل قيم النفاذية والإستطالة, وتزداد قيم الليونة, لذلك تفضل النسب الواطئة من هذه المزائج البوليمرية.

أن اختيار نسبة (0.06)% من حفاز كلوريد الالمنيوم اللامائي لدراستنا هذه كان بالاعتماد على دراسة سابقة[18], تبين أن هذا الحفاز الذي يُعد من حوامض لويس حفازاً لمثل هذا التفاعل في ضوء ما أشارت إليه الأدبيات العلمية عن الدور الفعال الذي يلعبهُ هذا الحفاز في بعض العمليات الصناعية المختلفة, مثل عملية الألكلة والتأثيرات التحفيزية لهذه المادة في مثل هذه العمليات[20,19].

إن اختيار نسبة 1% كبريت كان بالاعتماد على دراسة سابقة [22], بينت إن هذه النسبة هي أَفضل نسبة بالإمكان استخدامُها لتحوير مواصفات الإسفلت الريولوجية إذ إن الخواص الريولوجية عند النسب الأخرى للكبريت تكون متذبذبة قليلاً. وأن إستخدام طاقة (360) واط يؤدي إلى حدوث إنشطار في الحلقة الثمانية للكبريت S_8 مكونة نهايات جذور حرة فعالة قادرة على الترابط مع المادة الإسفلتية ومع المواقع الفعالة في جزيئات البوليمر, مما يؤدي إلى تكوين تراكيب شبكية, ومن ثم

إحداث تحوير في الخواص الريولوجية للإسفلت[18], إذ أن إضافة الكبريت أعطت نتائج أفضل من حيث قيم الاستطالة, النفاذية ودرجة الليونة بالمقارنة مع عدم إضافته.

إن اختيار الطاقة (360 واط) لدراستنا هذه تم بالإعتماد على دراسة سابقة[18], من خلال اختبار عدة طاقات, إذ تبين أن هذا المقدار من الطاقة يعمل على تذاوب مابين المواد المتفاعلة, مما أدى ذلك إلى تحسن الخواص الريولوجية لبعض النماذج, والسبب يعود انهُ برفع الطاقة إلى 360 واط أدت الى دفع تفاعلات الألكلة التي تحصل بين البوليمر والإسفلت إلى الاكتمال.

وبالرجوع إلى الجداول السابقة (3) و(4) و(5) و(6) نجد أن هناك بعض النماذج المعالجة يمكن استخدامها كإسفلت تبليط بعد إخضاعُها للاختبارات الهندسية, ووجد أيضاً أن بعض النماذج الأخرى تميزت بدرجات ليونة عالية وقيم نفاذية واستطالة واطئة تؤهل استخدامها في إنتاج الماستك (Mastic) المستخدم كمادة عازلة للرطوبة (Water Proofing)، ونماذج أُخرى بالإمكان استخدامُها كإسفلت يُستعمل في التسطيح.

والجدول (7) يبين قيم النفاذية والاستطالة ودرجة الليونة للإسفلت المستعمل كماستك عازل للرطوبة وحسب المواصفات القياسية الأمريكية ASTM(D491-41) المعتمدة عالمياً [24].

الجدول (7): المواصفات القياسية الامريكية ASTM(D491-41) 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)[25].

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[26].

الجدول (9): يبين 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
الاستقرارية (KN)	7	-
الزحف (mm)	2	4

الاستنتاجات

نستطيع بعد إكمال دراستنا هذه ان نوجز أهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها, التي تعد المحصلة النهائية لعملية البحث المنجز في هذه الدراسة:

1-إن استخدام تقنية التسخين بالمايكروويف أدت إلى تقليل زمن التحوير من ساعات إلى دقائق مما أدى إلى خفض تكاليف الإنتاج، كما أن إستعمال أشعة المايكروويف في التسخين يخفض كمية الغازات المنبعثة أثناء المعالجة مما أدى إلى التقليل من التلوث البيئي.

2-كانت النسبة 0.5% من البوليمرات المستعملة الأفضل في تحوير الخواص الريولوجية لإسفلت الدورة, إذ لاحظنا أن زيادة نسبة البوليمر المُضافة للإسفلت تُؤدي إلى تدهور المواصفات الريولوجية.

3-كانت الحساسية الحرارية لجميع النماذج جيدة إذ أن قيم الـ PI كانت بين (+2_2-) مما يعني أن جميع نماذجنا من نوع Sol-Gel-Asphalt.

4-من الصعوبة جداً أن نجد علاقة ثابتة تربط بين المتغيرات التي تطرأ على الأنظمة الإسفلتية أثناء معالجتها بالبوليمرات, وذلك لأن طبيعة التفاعل معقدة جداً.

5- تمَت دراسة الجدوى الاقتصادية للنماذج المطابقة مواصفاتهِا لمواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية كأسفلت تبليط, إذ تبين أن كلفة التحوير كانت واطئة بسبب كون أنَ جميع المواد المستخدمة متوفرة محلياً ورخيصة الثمن, ومن ثم فإن العملية تؤدي إلى تحسين الخواص الريولوجية للإسفلت المنتج وتحسين نوعية الطرق المُبلطة في عموم العراق, من خلال زيادة العمر التشغيلي للشوارع, والذي بدورهِ يوفر مبالغ ضخمة خدمةً للصالح العام.

6-إن تسلسل الإضافة كان له دور مهم في تحسين الخواص الريولوجية للإسفلت.

المصادر

1. J.L.Goodrich; J.E Goodrich. And W.J , Kari., transportation research record,No.1069,pp.146-154 (1986).
2. Al-Dabouni,A.A. And Ali L.h., "Oil of Origin, Installation and Technology", University of Mosul, pp. 10-13, 63-72, 232, 234, 307-309, 618-619, 621-622 (1986).
3. LesueurD.,"The Colloidal Structure of Bitumen:Consequences on the Rheology and on the Mechanisms Modification" ,Advances in colloid and Interface,p.145,28-42 (2009).
4. B. Shirkav, Hadav and Institute for Color Science and Technology, Iranian polymer journal .19(5) ,2010 p.3663-373 (2010).
5. M.T, Awwad and L. Shabeeb., J.Appl.and Sci.,vol4,pp.390-396 (2007).
6. Lewandowski, L.H., Rubber Chemistry and Technology, 67(3): pp.447 (1994).
7. Robert E.C., "Foundations for Microwave Engineering'', NewYork,1-6. (2005).
8. Altmr, M. H. Y., M.Sc. Thesis, University of Mosul (2009).
9. K.P. Kelly; J.R. Butler, "Method of preparation of stable bitumen Polymer compositions".US Patent,No.6, 180697,Fina Technology (1999).
10. W. Guian ,Z. Yong ,Z Yinxi. ,S Kang. and F. Yongzhong., Polymer testing,Vol.21,pp.295-302 (2002).
11. Alaraji,W. M., Journal of Education and Science, vol. 17, no. 1, pp. 80-88 (2005).
12. Alphi, R.N.S., M.Sc. Thesis, Mosul University (2012).

13. Atewy,SH.D. Naama A.A. Abdel Karim H. A, "Research on the production of rubber sheeting for water (fogging) of reactive rubber", Ministry of Industry and Minerals, General Company for tire industry, R & D (2009).
14. ASTM, Part II, (D_{36-70}), P.27 (1972).
15. ASTM, Section 4, (D_{5-83}),P .97 (1986).
16. ASTM, Section 4, (D_{5-85}),P .127 (1986).
17. Traxler, R.N., "Asphalt its Composition ,Properties in Uses, ",Haff,Ltd.,London,p.3,72-73 (1961).
18. Altohi, H.T.S., M.Sc. Thesis, University of Mosul (2014).
19. Allila, N. M., M.Sc. Thesis, Mosul University (1999).
20. Saleh L.A., M.Sc. Thesis, University of Mosul (1992).
21. Br**Û**lé, 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).
22. Al-Lahibi, S.A.S., M.Sc. Thesis, University of Mosul (2012).
23. F.W. Bill., "Text book of polymer Science" ,John Wiley and Sons,Inc.,New York 2nd ed. pp. 440-441 (1971).
24. ASTM,Part II,(D_{491-41}),p.250-251 (1969).
25. Standard No. 1196 of 1988 issued by the Central Organization for Quality Measurement and Control of the kair used for flattening.
26. Specification of Roads and Bridges Authority (S.O.R.B) Republic of Iraq - Ministry of Housing and Construction - Department of Studies and Designs - Baghdad – 1990