CC BY

College of Basic Education Research Journal

www.berj.mosuljournals.com

Mechanical and Thermal Properties of Asphalt Modified with [Polyethylene Glycol and Mishraq Sulfur Purification Wastes (Bluedown)

Saad Salih Ahmed
Nineveh Education Directorate Ministry of Education, Mosul, Iraq
Ammar Ahmed Hamdoon
Department of Chemistry,College of Education for Pure Sciences, University of Mosul
Mote`a O. Abdulla
Mishraq Sulfur State Company, Ministry of Industry and Minerals-Iraq, Mosul, Iraq.

Article Information

Article history:
Received: April 22,2024
Reviewer: May 6,2024
Accepted: May 21,2024
Available online

Keywords:
Bluedown, asphalt, polyethylene glycol

Correspondence:
saad.21esp4@student.uomosul.edu.iq
ammarhamdoon@uomosul.edu.iq
alojmaniojmani@gmail.com

Abstract

This study included the improvement of the properties of asphalt using sulfurous waste (blowdown) resulting from the purification of sulfur at the Mishraq sulfur mine through thermal treatment, in addition to using a mixture of sulfurous waste and polyethylene glycol to modify the asphalt. The study began with the analysis of the chemical composition of the waste using thermogravimetric analysis (TGA), followed by the treatment of asphalt with different proportions of sulfurous waste (blowdown). Subsequently, the optimal ratio of polyethylene glycol treated with asphalt was determined, and then 1% of polyethylene glycol was used with varying proportions of blowdown to modify the asphalt at a temperature of 170-180°C for one hour. The rheological properties of both the original and modified asphalt were then assessed by measuring properties such as permeability, elongation, softening point, penetration index, Marshall stability test, and aging. The modified asphalt exhibited better rheological properties than the original asphalt, particularly in terms of stability and resistance to acid rain.

ISSN: 1992 – 7452

الخواص الميكانيكية و الحرارية للاسفلت المحور ب [البولي ايثيلين كلايكول و نفايات تنقية كبريت المشراق(البلوداون)]

سعد صالح أحمد
مديرية تربية نينوى وزارة التربية الموصل العراق

عمار أحمد حمدون
قسم الكيمياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

مطيع عبد الله
شركة المشراق العامة للكبريت، وزارة الصناعة والمعادن- العراق، الموصل، العراق

الملخص:

تضمنت هذه الدراسة تحسين مواصفات اسفلت الدورة باستخدام المخلفات الكبريتية (البلوداون) الناتجة عن تنقية الكبريت في منجم كبريت المشراق بطريقة المعاملة الحرارية، بالإضافة إلى استخدام مزيج من المخلفات الكبريتية والبولي ايثلين كلايكول في تعديل الإسفلت. بدأت الدراسة بتحليل التركيب الكيميائي للمخلفات باستخدام تقنية التحليل الحراري الوزني (TGA) ومن ثم معاملة الاسفلت مع نسب مختلفة من المخلفات الكبريتية (البلوداون) ، بعد ذلك حُددت النسبة المثلى للبولي ايثلين كلايكول المعامل مع الاسفلت ومن ثم استخدام ١٪ من البولي ايثلين كلايكول مع نسب مختلفة من البلوداون في تحوير الاسفلت عند درجة حرارة ١٧٠–١٨٠مْ لمدة ساعة واحدة ومن ثم تحديد الخواص الريولوجية للإسفلت الأصلي والمُحور من خلال قياس الخواص الريولوجية المتمثلة بالنفاذية، الاستطالة، درجة الليونة ،دليل الاختراق ،فحص ثبات مارشال والتقادم. أظهر الأسفلت المعدل خصائص ريولوجية أفضل من الأسفلت الأصلي، خاصة من حيث الثبات و مقاومة الأمطار الحمضية.

الكلمات المفتاحية: بلوداون، اسفلت ، بولي ايثلين كلايكول

المقدمة:

يعد الاسفلت المادة الأكثر استعمالا في التبليط بسبب مواصفاته من حيث الثبات والتحمل ومقاومته للماء وينتج الاسفلت من عمليات التقطير المباشر للنفط الخام, اذ يتكون الإسفلت بدرجة رئيسة من مركبات هايدروكاربونية بارافينية و نفثينية واروماتية كما يحتوي على مركبات حلقية وغير حلقية حاوية على النتروجين والأوكسجين والكبريت(١،٢،٣) . يعد الاسفلت مادة واسعة الإستعمال في تبليط الطرق بسبب التصاقيته العالية مع المعادن المختلفة وخواص اللزوجة المقبولة فضلاً عن كلفته الواطئة (٤).ان حركة المرور والأحمال الثقيلة والظروف الجوية القاسية والمتانة والتكلفة الاقتصادية، كل هذا أدى إلى زيادة الطلب على تحسين الخواص الميكانيكية للمواد الإسفلتية التقليدية عن طريق التعديل باستخدام مواد مختلفة عالية الجودة(٥،٦،٧،٨) لذلك حرص العديد من الباحثين على تحسين مواصفات الاسفلت بمعاملات

كيميائية وفيزيائية مختلفة وباستخدام العديد من المضافات في تعديل الأسفلت لقدرتها على تعزيز خصائص ريولوجية الإسفلت وزيادة لزوجة المواد الرابطة الإسفلتية، وبالتالي تحسين التصاق الإسفلت بالركام والتكسير ومقاومة التقادم الزمني (٩،١٠،١١،١٢) وبما ان المخلفات الكبريتية في منجم كبريت المشراق تحتوي على نسبة عالية من الكبريت لذلك قمنا باستغلال هذه المخلفات في تحوير وتحسين مواصفات الاسفلت الريولوجية. إذ ركزت العديد من الدراسات على تحوير الاسفلت باستخدام الكبريت كاحد المضافات العديدة التي يمكن من خلالها تحوير الاسفلت وتحسين مواصفاته الريولوجية بما يطابق المواصفات القياسية لعمليات الرصف بالاسفلت. بالرجوع الى الادبيات نجد العديد من الدراسات التي تم فيها استخدام الكبريت كأحد المواد المحورة لخواص الاسفلت الريولوجية ,منها

١. درس(٢٠٢٢, Zhang and Tan) الخواص الريولوجية للإسفلت عند اضافة الكبريت مع(الستايرين – البوتادين – الستايرين) (SBS) اليه ولوحظ من خلال النتائج زيادة التوافق بين المضافات والاسفلت بالاضافة الى تحسن في اداء الاسفلت بعد اضافة الكبريت الى الاسفلت المعدل بال(SBS)(13) .
٢. وتمكن (Zhang et al,2023) من استخدام أربع نسب من الكبريت (٠٪، ١٥٪، ٣٠٪، ٤٥٪) من وزن الرابط الإسفلتي ، لوحظ من خلال النتائج إلى أن إضافة الكبريت بنسبة منخفضة مثل ١٥٪ تؤدي إلى تليين رابط الإسفلت الأصل وعندما تكون نسبة الكبريت أكبر من ١٥٪، فإن الكبريت الإضافي يعمل كمواد حشو لتقوية رابط الإسفلت وان إضافة نفايات المطاط أدت إلى زيادة درجة الأداء في درجات الحرارة العالية بشكل ملحوظ مع الاسفلت المحور بالكبريت(١٤).
٣. كما قام (Kumar et al ,2023) بتقييم ثبات المواد الرابطة للأسفلت باستخدام نفايات مطاط الإيثيلين والبروبيلين ونفايات الزيوت البلاستيكية الحرارية (PPO) كما تم دراسة تأثير إضافة (الكبريت) ولوحظ من خلال النتائج ان هذه المضافات ادت الى تحسين الخواص الريولوجية ومنها درجة الليونة وكذلك الثبات للإسفلت المحور(١٥).
٤. تمكن (Al-Hadidy , 2023) من استخدام النفايات الكبريتية في مزائج الاسفلت إذ تم إخضاع المواد الرابطة الناتجة لاختبارات الاختراق والليونةو نقطة التليين واللزوجة المطلقة ومعامل المرونة والمتانة واظهرت الدراسة بشكل عام نتائج جيدة مطابقة للمواصفات القياسية للإسفلت العراقي(١٦).
٥. قام كل من (Abass and Hamdoon, 2021) باستخدام خليط من البوليمر الصناعي (EVA) والبوليمر الطبيعي (الخشب) في تحوير الاسفلت مع اضافة نسبة ١٪ وزناً من الكبريت عند درجة

حرارة ١٨٠ درجة مئوية لمدة ساعة واحدة. تم قياس الخواص الريولوجية للعينات المعدلة وقد أعطت الدراسة نتائج جيدة في مجال مقاومة الأسفلت لعمليات التشوه (١٧).

٢- الجزء العملي

اولا: معاملة الاسفلت مع المخلفات الكبريتية (البلوداون)

اخُذ وزن (١٠٠) غم من إسفلت الدورة ووضع في جهاز معالجة المادة الإسفلتية ، بعدها تم اضافة نسب مختلفة من المخلفات الكبريتية الى الاسفلت ومُزجت المواد المتفاعلة بصورة جيدة عند درجة حرارة(١٧٠-١٨٠مْ) مع الرج المستمر لمدة ٦٠ دقيقة.

ثانياً: معاملة الاسفلت بمزيج من المخلفات الكبريتية و البولي ايثلين كلايكول

حددت النسبة المثلى للبولي ايثلين كلايكول المضاف الى الاسفلت في جهاز معالجة الاسفلت عند درجة حرارة بين ١٧٠-١٨٠مْ لمدة ٦٠ دقيقة من خلال معاملة ١٠٠غم من الاسفلت بالبولي ايثلين كلايكول عند نسب مختلفة وتحديد افضلها من خلال قياس الخواص الريولوجية ومن ثم معاملة النسبة المثلى من البولي ايثلين كلايكول مع نسب مختلفة من مخلفات الكبريت (البلوداون)ومن ثم تم اجراء قياسات الاستطالة(١٨) ،النفاذية(١٩) ، درجة الليونة(٢٠) ،دليل الاختراق(٢١) و كذلك فحص مارشال(٢٢) ،التقادم(٢٣) والمجهر الالكتروني الماسح لبعض العينات(٢٤) .

٣- النتائج والمناقشة

تم استخدام مخلفات الكبريت(البلوداون) الناتجة نتيجة تنقية الكبريت بالطرقة الحرارية في منجم كبريت المشراق الذي يقع على بعد ٤٥ كيلومترا جنوب مدينة الموصل على الضفة الغربية لنهر دجلة ونظرًا لطبيعته الجيولوجية يحتوي الكبريت في منجم كبريت المشراق المستخرج بطريقة فراش على ما يقرب من ١٪ من المواد الهيدروكربونية والتي تتم إزالتها من خلال المعاملة الحرارية كأحد الطرق لتنقية الكبريت وان هذه الطريقة لتنقية الكبريت تنتج مركبات كبريتية صلبة تبلغ نسبة الكبريت الحر فيها ما يقارب٨٠٪(٢٥). في محاولة لاستغلال هذه المخلفات الكبريتية وللحصول على أسفلت بمواصفات مناسبة لرصف الطرق ومقاومته للظروف البيئية المختلفة والقدرة على تحمل الأحمال الثقيلة والمتكررة، ركزت دراستنا على استخدام المنتجات الثانوية(البلوداون) المتوفرة محلياً في منجم كبريت المشراق لتعديل الأسفلت وتعزيز خصائصه الريولوجية من خلال عدة خطوات.

اولا: الخصائص الريولوجية للإسفلت الأصلي واسفلت التبليط

تم قياس الخواص الريولوجية للأسفلت الاصل والذي تم الحصول عليه من مصفى الدورة ويبين الجدول(١) .

الجدول ١: الخصائص الريولوجية للإسفلت الأصلي

Properties	Result
Ductility(cm)	+150
Penetration (100gm.5sec.25°C)	46.1
Softening point°C	50
penetration index (PI)	−1.376

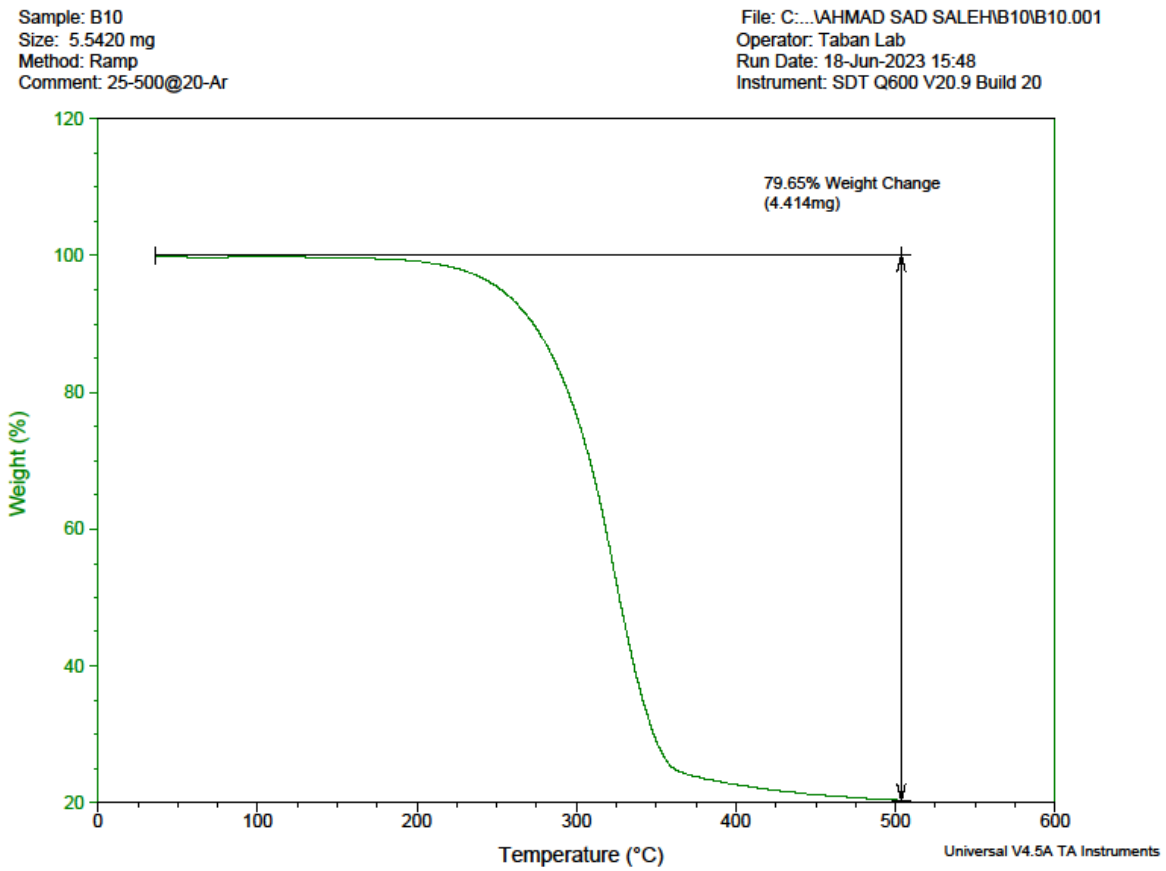
كما تم تحديد الخصائص الريولوجية للإسفلت المستخدم في التبليط وبما يتناسب مع الظروف المناخية لبلدنا العراق حسب المواصفات القياسية الموضحة في الجدول رقم ٢:

جدول ٢: الخواص الريولوجية لأسفلت التبليط حسب الواصفات العراقية (١٨)

Properties	Range ASTM
Ductility(cm)	≥100
Penetration (100gm.5sec.25°C)	40−50
Softening point°C	50−60
penetration index (PI)	−2 _+2

ثانيا: التحليل الحراري الوزني (TGA) للبلوداون

التحليل الحراري الوزني هو طريقة تحليل حراري يتم من خلالها معرفة التغيرات التي تحدث في كتلة المادة أثناء زيادة درجة الحرارة وبالتالي معرفة مكونات المادة(٢٦). تم استخدام قياس TGA لتحليل مادة البلوداون والشكل (١) يوضح نتائج هذا التحليل.



الشكل (١) التحليل الحراري الوزني (TGA) للبلوداون

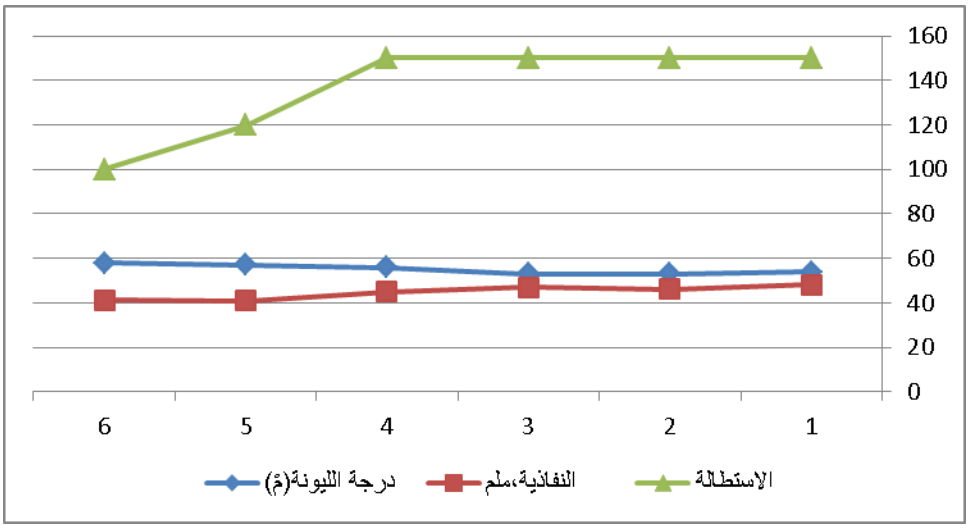
اظهر قياس التحليل الحراري الوزني ومن خلال الشكل حدوث تغيرات في الوزن في ثلاث مناطق فعند درجة حرارة (١٩٠مْ) تقريبا حدث فقدان الرطوبة بشكل كامل، إذ ان ماء الرطوبة يكون مغمور داخل منصهر الكبريت وعند درجة حرارة ٣٧٥مْ فيحدث فقدان الكبريت العنصري وعند درجة حرارة ٥٠٠مْ بلغت نسبة الفقدان بالوزن الكلية ٧٩.٥٪ وهذه النسبة تمثل نسبة الكبريت الحر .اما النسبة المتبقية والتي هي ٢١.٥٪ تمثل الكبريت المتاصر مع الكاربون والذي يبدأ بالفقدان عند درجة حرارة اكثر من ٦٠٠مْ وكذلك الكاربون الذي يحتاج الى درجة حرارة ١٠٠٠مْ حتى يتم فقدانه, والكبريت الممتز داخل المسامات الدقيقة فضلاً عن الاكاسيد المعدنية كالسليكا SiO_2 والناتجة من استخدام اطيان السلايت في احدى مراحل تنقية الكبريت .

ثالثا: معاملة الاسفلت مع المخلفات الكبريتية (البلوداون)

وتم استخدام مادة البلوداون في تحوير الاسفلت من خلال معاملة الاسفلت مع نسيب مختلفة من المخلفات كما تم توضيح ذلك في الجزء العملي والجدول (٣) والشكل (٢) يوضحان النتائج التي تم الحصول عليها.

الجدول (٣)الخواص الريولوجية للأسفلت المحور بالبلوداون

الأنموذج	نسبة المضاف (%)	الاستطالة (°م25,cm)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25م°)	درجة الليونة(مْ)	دليل الاختراق (PI)
AS1	0.5	+150	٤٨,١	54	-٠,٣٣٨
AS2	1	+150	٤٦,٣	٥٣	-0.653
AS3	٢	+150	٤٧,٣	٥٣	-0.604
AS4	٣	+150	٤٥,٠	٥٦	-0.052
AS5	٤	١٢٠	٤١,٨	٥٨	+0.196
AS6	٥	٩٠	٣٨,٦	٦٢	+0.795



الشكل (٢) الخواص الريولوجية للأسفلت المحور بالبلوداون

نلحظ من الجدول والشكل ان جميع الخواص الريولوجية كانت ضمن المواصفات القياسية لأسفلت التبليط الا ان درجة الليونة منخفضة وقريبة من الحد الادنى للمواصفات القياسية لإسفلت التبليط وخاصة عند

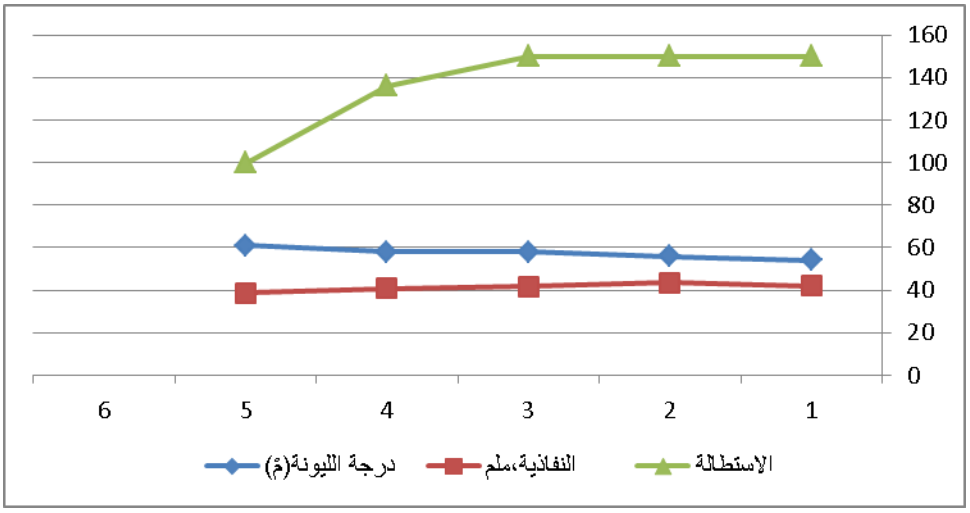
النسب القليلة من المضاف , ويمكن رفع درجة الليونة وتقسية الاسفلت المحور بالبلوداون بمزجه مع مضافات بوليمرية وبالتالي زيادة نسبة المضاف من المخلفات الكبريتية والاستفادة منها صناعيا وبيئيا وهذا ما سيتم دراسته في فقرة لاحقة .

رابعاً: معاملة الاسفلت بمزيج من البولي ايثلين كلايكول والمخلفات الكبريتية

في البدء حددت النسبة المثلى للبولي ايثلين المضاف الى الاسفلت عند درجة حرارة بين ١٧٠-١٨٠مْ لمدة ٦٠ دقيقة من خلال معاملة الاسفلت بالبولي ايثلين كلايكول عند نسب مختلفة وتحديد افضلها اعتماداً على قياس الخواص الريولوجية لها والجدول (٤) والشكل (٣) يوضحان نتائج هذه المعاملة.

الجدول (٤) الخواص الريولوجية للإسفلت المحور مع نسب مختلفة من البولي ايثلين كلايكول (PEG)

الأنموذج	نسبة المضاف(%)	الاستطالة (°م25,cm)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25°م)	درجة الليونة(مْ)	دليل الاختراق (PI)
AS7	٠,٥	+150	٤٢,١	٥٤	+0.707
AS8	١	+150	٤٣,٣	٥٦	-0.140
AS9	٢	+150	٤١,٨	٥٨	+0.146
AS10	٣	١٣٦	٤٠,٧	٥٨	+0.136
AS11	٤	١٠٠	٣٨,٦	٦١	+0.606



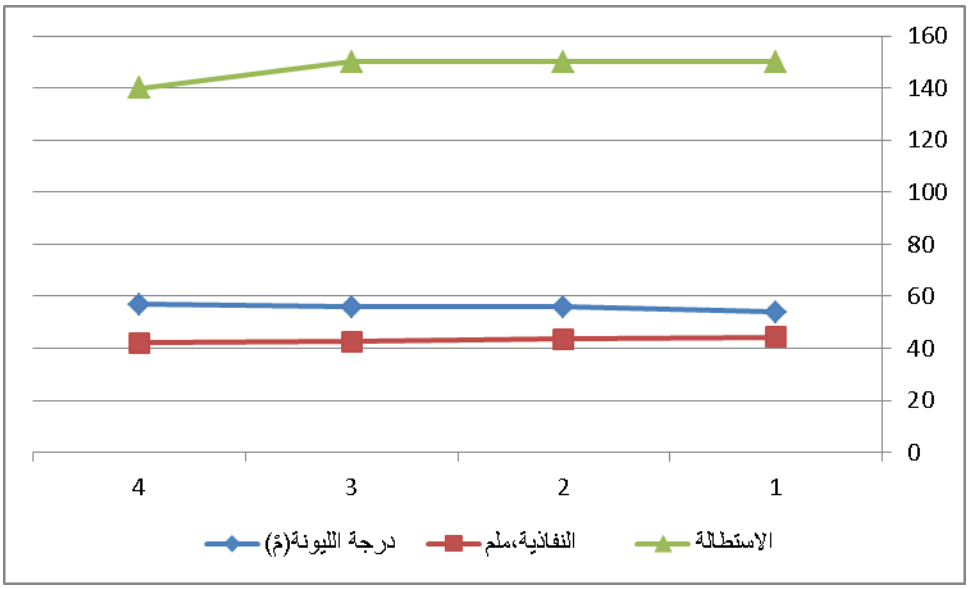
الشكل (٣) الخواص الريولوجية للاسفلت المحور بالبولي ايثلين كلايكول

من خلال ملاحظة النتائج التي تم الحصول عليها في الجدول ان افضل نسبة لتحوير الاسفلت عند الظروف التي استخدمت من درجة حرارة وزمن هي نسبة ١٪ من البولي ايثلين كلايكول .

وفي دراستنا هذه استخُدم مزيج من المخلفات الكبريتية مع البولي ايثلين كلايكول في عملية تحوير الاسفلت . ان سبب استخدامنا لهذا المزيج يعزى الى استخدامنا البولي ايثلين كلايكول كماده مضافة للإسفلت واعطى نتائج ممتازة وفي محاولة لتقسية الاسفلت المحور بالمخلفات الكبريتية وخاصة المواد التي اعطت درجات ليونة منخفضة عند النسب القليلة من المخلفات الكبريتية المضافة , تم مزج المضافات الكبريتية مع ١٪ من البولي ايثلين كلايكول من خلال تسخين الخليط تدريجياً مع التحريك المستمر إلى درجة حرارة بين ١٧٠–١٨٠مْ ومن ثم اضافة نسب مختلفة البولي ايثلين كلايكول لمدة ٦٠ دقيقة . وبعد ذلك تم قياس الخواص الريولوجية للاسفلت المحور . والجدول (٥) والشكل(٤) يوضحان النتائج التي تم الحصول عليها من عملية التحوير.

الجدول (٥) الخواص الريولوجية للاسفلت المحور بنسب مختلفة من البلوداون مع ١٪ بولي ايثلين كلايكول (PEG)

الأنموذج	نسبة البلوداون(%)	الاستطالة (°م25,cm)	النفاذية,ملم (100غم,5ثا,25مº)	درجة الليونة(مْ)	دليل الاختراق (PI)
AS12	0.5	+150	٤٤,٢	٥٤	-0.531
AS13	1	+150	٤٣,٦	٥٦	-0.124
AS14	٢	+150	٤٢,٧	٥٦	-0.172
AS15	٣	١٤٠	٤٢,١	٥٧	+0.006



الشكل (٤)الخواص الريولوجية للاسفلت المحور بنسب مختلفة من البلوداون مع ١٪ بولي ايثلين كلايكول (PEG)

نلحظ من النتائج التي تم الحصول عليها في الجدول (٥) والشكل (٤)من خلال مزج المخلفات الكبريتية (البلوداون) مع البولي اثيلين كلايكول في عملية تحوير الاسفلت انه تم الحصول على نتائج ممتازة من

خلال تقسية الاسفلت ورفع درجة الليونة عند مقارنته مع الجدول (٣) الذي تم من خلاله معاملة الاسفلت مع البلوداون فقط.

خامساً:الرصف بالإسفلت

من أجل معرفة مدى ملاءمة النماذج الإسفلتية لأغراض التبليط ، تم إجراء فحص المارشال (التبليط بالإسفلت) . يعطي هذا الفحص دلالةً عن مدى ملاءمة الإسفلت للتبليط من خلال تسليط ضغطٍ على الأنموذج المراد اختباره ، وعندما يبدأ الأنموذج بالتشوه يتم أخذ قياس الإستقرارية الثباتية (Stability) والزحف (Flow) من خلال تدرجاتٍ معينة موجودةٍ في الجهاز(٢٧) . الجدول (٨)يوضح نتائج فحص مارشال للاسفلت الاصل (AS0) والانموذج المحور بمزيج من المخلفات والبولي ايثلين كلايكول(AS13) الذي تم اختياره للفحص وقد اختير هذا النموذج لفحص مارشال اعتمادا على قياس الخواص الريولوجية الموضحة في الجداول السابقة.

الجدول (٨): قيم الإستقرارية والزحف للإسفلت الأصل والمُحور

رقم الأنموذج	نسبة الإسفلت المضاف إلى الركام(%)	الإستقرارية (KN)	الزحف (mm)	MQ
AS0	٤,٥	١٠,٧	٥,٢	٢,٠٥
AS13		٢٠,١	٢,٩	٦,٩٣
AS*		7 الحد الأدنى	2-4	3.5 الحد الأدنى

ويتضح من الجدول أعلاه أن النموذج المحور أفضل من النموذج الأصلي لرصف الأسفلت من خلال قيم الاستقرارية والزحف التي تمثل ثبات اسفلت الرصف المعرض لظروف بيئية مختلفة وكذلك احمال متكرة .إذ نلحظ ان قيمة الاستقرارية تغيرت بشكل كبير نحو الافضل عما كانت عليه عند الاسفلت الاصل ,كذلك تم ايجاد قيمة حاصل ثبات مارشال (MQ) والتي حصلنا عليها من قسمة قيمة الاستقرارية على قيم الزحف ولوحظ ان قيمة (MQ) للنموذج المحور أعلى من قيمة (MQ) للإسفلت الأصلي وبالتالي هذا يفسر أن استخدام البولي ايثلين كلايكول مع حامض البولي فسفوريك والمخلفات الكبريتية زاد من قيمة الثبات بصورة كبيرة من خلال قيم الاستقرارية والزحف للأنموذج المحور.

سادساً:تأثير التقادم على الخواص الريولوجية للإسفلت

إن عملية اختبار مدى مقاومة النماذج الإسفلتية لظروف التقادم الزمني من الأمور المهمة التي يجب دراستها وتحديدها بالنسبة للإسفلت المُحوّر، إذ أنهُ من المعروف أن الإسفلت يُعاني من تغير في خواصهِ الريولوجية بعد مده زمنية من تعرضهِ للعوامل الجوية والجدول (٩) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها

نتيجة فحص التقادم للأسفلت الاصل(AS0) والانموذج المحور بمزيج من المخلفات والبولي ايثلين كلايكول (AS13).

الجدول (٩): تاثير التقادم الزمني على خواص الاسفلت

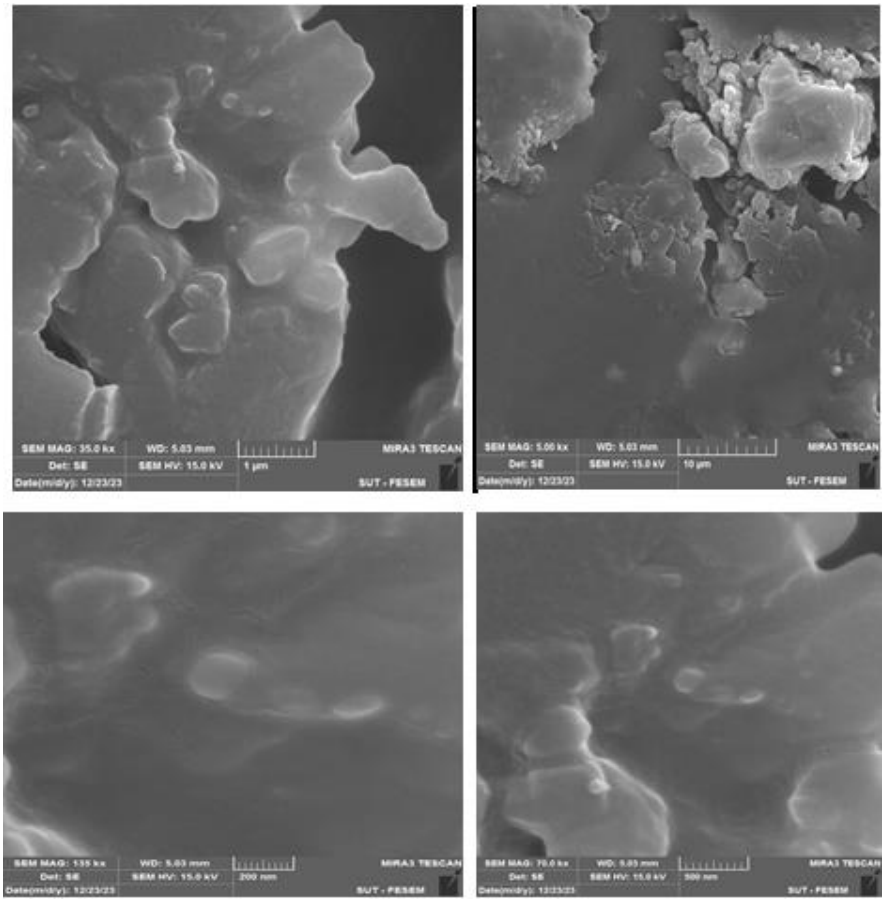
الأنموذج	الخواص الريولوجية	قبل الفحص	بعد الفحص
AS0	الاستطالة (25,cmم°)	+150	+150
	النفاذية,ملم(100غم,5ثا,25مº)	46.1	42.2
	درجة الليونة (مº)	50	53
AS_{13}	الاستطالة (25,cmم°)	+150	+150
	النفاذية,ملم(100غم,5ثا,25مº)	٤٣,٦	٤٣,١
	درجة الليونة (مº)	٥٦	٥٧

نلحظ من الجداول(٩) أن درجة تأثر النماذج الإسفلتية المُحورة بظروف التقادم الزمني من درجة حرارة وأكسدة تكون قليلة بشكل عام نستدل من هذا أن النماذج الإسفلتية المُحورة تمتاز بمقاومة كبيرة للاجهادات فضلاً عن العمر التشغيلي الطويل، وإن عدم تأثر النماذج الإسفلتية المُحورة بظروف التقادم الزمني يُعزى إلى تحسين الخواص الميكانيكية والمتمثلة بزيادة متانة الأنموذج الإسفلتي وتحملهِ للاجهادات وتقليل التكسير الحراري وزيادة مقاومتهِ لتكوين الأخاديد (٢٨). إن عدم تأثر الخواص الريولوجية للأنموذج الاسفلتي المحورة بظروف التقادم هو ما يؤهلهُا للاستخدام في مجال التبليط وبما يتلاءم مع الطبيعة الخاصة للظروف الجوية في العراق وبالأخص فيما يتعلق بفرق درجات الحرارة صيفاً وشتاءً فضلاً عن ذلك الاختلاف في طبيعة المناخ لمناطق العراق المختلفة ، أما الإسفلت الأصل فكان تأثرهُ اكبر بظروف التقادم الزمني وخاصةً من حيث قيمة النفاذية و نسبة الفقدان في الوزن .

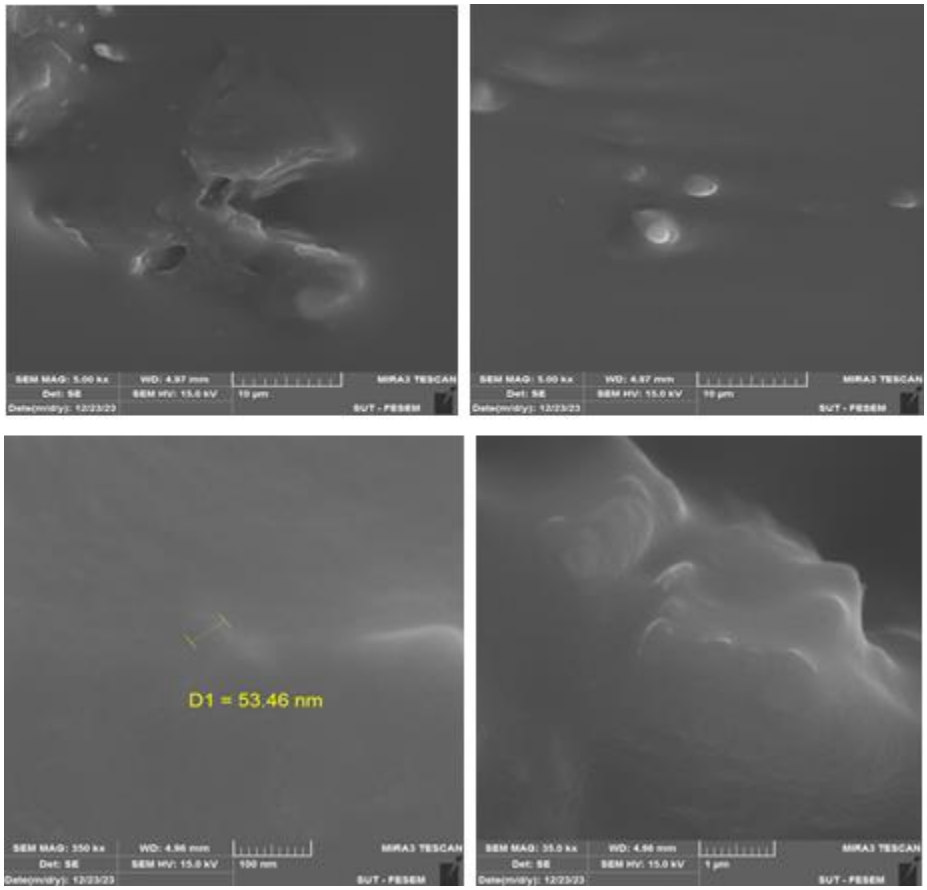
سابعاً: فحص المجهر الالكتروني الماسح SEMوطيف الطاقة المتفرقة للاشعة السينية EDX للعينات الاسفلتية

أجري فحص المجهر الالكتروني الماسح للإنبعثات الميدانية(FE-SEM) على بعض النماذج المختارة التي حصلنا عليها من من تحوير الاسفلت بالمخلفات الكبريتية والمضافات الاخرى. إن إضافة مواد مختلفة الى النظام الاسفلتي يزيد من تعقيد دراسة الهيكل الداخلي للإسفلت المحور وتأثيره على الخواص الريولوجية والانسيابية والمورفولوجية والميكانيكية للإسفلت لأن الشكل والخصائص الانسيابية للإسفلت المحور ناتجة عن التاثيرات المتبادلة للبوليمر والاسفلت (٢٩،٣٠). من خلال صور(FE-SEM) نلحظ

أن دور إضافة مواد التحوير واضح في تغيير هيكلية الاسفلت وتأثيره على الخواص الانسيابية والمورفولوجية للإسفلت المحور.



الشكل (٥) صور المجهر الالكتروني الماسح (SEM) للإسفلت الاصل



الشكل (٦) صور المجهر الالكتروني الماسح (SEM) للإسفلت المحور

References

1. Polacco G, Stastna J, Biondi D, Antonelli F, Vlachovicova Z, Zanzotto L. Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers. Journal of Colloid and Interface science. 2004 Dec 15;280(2):366-73.
2. Redelius P, Soenen H. Relation between bitumen chemistry and performance. Fuel. 2015 Jan 15;140:34-43.
3. Bitumen S. The Shell bitumen handbook. Shell Bitumen UK; 1990.
4. Vargas XA, Afanasjeva N, Álvarez M, Marchal PH, Choplin L. Asphalt rheology evolution through thermo-oxidation (aging) in a rheo-reactor. Fuel. 2008 Oct 1;87(13-14):3018-23.
5. Mohammed M, Parry T, Thom N, Grenfell J. Microstructure and mechanical properties of fibre reinforced asphalt mixtures. Construction and Building Materials. 2020 Apr 20;240:117932.

6. Shen J, Amirkhanian S, Xiao F, Tang B. Influence of surface area and size of crumb rubber on high temperature properties of crumb rubber modified binders. Construction and Building Materials. 2009 Jan 1;23(1):304-10.
7. Allam A, ELfateh A, Shafeq M, Abdo M. Effects of different additives on the behavior of asphalt. In The International Undergraduate Research Conference (Vol. 6, No. 6, pp. 1-4). 2022, September. The Military Technical College.
8. Owaid KA, Hamdoon AA, Matti RR, Saleh MY, Abdelzaher MA. Waste polymer and lubricating oil used as asphalt rheological modifiers. Materials. 2022 Apr 15;15(11):3744.
9. Li R, Xiao F, Amirkhanian S, You Z, Huang J. Developments of nano materials and technologies on asphalt materials–A review. Construction and Building Materials. 2017 Jul 15;143:633-48.
10. Shah PM, Mir MS. Application of nanotechnology in pavement engineering: a review. Canadian Journal of Civil Engineering. 2020;47(9):1037-45.
11. Fang C, Yu R, Liu S, Li Y. Nanomaterials applied in asphalt modification: a review. Journal of Materials Science & Technology. 2013 Jul 1;29(7):589-94.
12. Zeng L, Xiao L, Zhang J, Fu H. The role of nanotechnology in subgrade and pavement engineering: a review. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2020 Aug 1;20(8):4607-18.
13. Zhang J, Sakhaeifar MS, Little DN. Characterisation of rheological properties of sulfur-extended asphalt with/without crumb rubber. International Journal of Pavement Engineering. 2022 Apr 16;23(5):1491-9.
14. Zhang J, Tan Y. Rheology, morphology and phase behavior of SBS/sulfur modified asphalt based on experimental assessment and molecular dynamics. International Journal of Pavement Engineering. 2023 Jan 28;24(2):2159029.
15. Kumar A, Choudhary R, Kumar A. Storage stability performance of composite modified asphalt with scrap non-tire automotive rubber, waste plastic pyrolytic oil and sulfur. Plos one. 2023 Apr 14;18(4):e0284473.
16. Al-Hadidy AI. Sustainable recycling of sulfur waste through utilization in asphalt paving applications. International Journal of Pavement Research and Technology. 2023 Mar;16(2):474-86.
17. Abass MF, Hamdoon AA. Studying the effect of using a mixture (synthetic polymer: Natural polymer) on the rheological properties of asphalt. InJournal of Physics: Conference Series 2021 Sep 1 (Vol. 1999, No. 1, p. 012143). IOP Publishing.
18. Hussein AA, Hamdoon AA, Ahmed SS, Mubarak H, Saleh MY. Study of the effect of adding a blend of (ethylene vinyl acetate: styrene butadiene rubber)

on the rheological properties of asphaltic materials. Egyptian Journal of Chemistry. 2022 Nov 1;65(11):395-406.
19. Revuelta MB. Construction materials: Geology, production and applications. Springer Nature; 2021 Mar 2.
20. Al-Mohammed MA, Al-Hadidy AI. Durability and Rutting Resistance of SBS-Modified Asphalt Mixtures Containing Blowdown as a Sustainable Filler. Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ). 2023 Sep 1;28(2):48-57.
21. Cetin M. Pavement design with porous asphalt. Temple University; 2013.
22. ASTM D. Test method for resistance of plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus. Annual Book of Astm Standards. Philadelphia PA: American Society for Testing and Materials, America. 1998.
23. ASTM D1754-97R. "Standard test method for effect of heat and air on asphaltic materials (Thin Film Oven Test)",Section 4,Vol .04 .03,Road and paving materials-vehicle-pavement systems, (2002),New york, Ny .
24. Scimeca M, Bischetti S, Lamsira HK, Bonfiglio R, Bonanno E. Energy Dispersive X-ray (EDX) microanalysis: A powerful tool in biomedical research and diagnosis. European journal of histochemistry: EJH. 2018 Jan 1;62(1).
٢٥. عبدالله، م.ع ، والجبوري، إ، "دراسة تنقية كبريت خام المشراق ونواتج تكريره واستخدامها في الصناعات الكيمياوية" أطروحة دكتوراه جامعة الموصل كلية التربية. (٢٠١١)م.
26. AKh AS. Diagnosis and Characterization of Nanomaterials. Al-Amir House for Printing and Publishing, Technological University. 2021:169.
27. Zoorob SE, Suparma LB. Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt). Cement and concrete composites. 2000 Jan 1;22(4):233-42.
28. Becker Y, Mendez MP, Rodriguez Y. Polymer modified asphalt. Vision tecnologica. 2001 Jan 1;9(1):39-50.
29. Behnood A, Gharehveran MM. Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders. European Polymer Journal. 2019 Mar 1;112:766-91.
٣٠. الساعدي , ع, خ ,(٢٠٢١)," تشخيص وتوصيف المواد النانوية" دار الامير للطباعة والنشر ,الجامعة التكنلوجية ,ص ١٢٨,١٤٩,١٦٩