Modifying Bitumen Binder Using Marble Dust in Lattakia Governorate

Dr. Bassam Sultan*
Reham Yousef Hasan**

(Received 13 / 2 / 2019. Accepted 26 / 6 / 2019)

□ ABSTRACT □

The possibilities of modifying Bitumen binder by marble dust are the main objective of this paper. The affected of modifying bitumen is to improve the performance of the Asphalt mixture.

The laboratory Experimental program includes the uses of the (60-70) Bitumen and the marble dust, which produces from the cutting of marble stones. The percentage of marble adding are (5-10-15-20) % from bitumen Wight. The experimental programs were conducted to specify the bitumen properties and compare them with the unmodified bitumen. The Experimental results showed that the 15% was optimal. The penetration of the bitumen was (48.3 dcm), which indicate the type of bitumen (40-50). The decrease of the primary penetration is 28.34% and the penetration index is (ip=+0.35), which is lower than the limit (+1).

Key words:, Marble west, Modified bitumen ,Hydrated Lime

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

****Postgraduate Student, E-mail:rehamhasan368@gmail.com, Department of Transportation and Traffic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

تعديل الروابط البيتومينية المستخدمة في محافظة اللاذقية باستخدام غبار معامل الرخام.

الدكتور بسام سلطان*

رهام يوسف حسن**

(تاريخ الإيداع 13 / 2 / 2019. قُبِل للنشر في 26/ 6 / 2019)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تعديل الرابط البيتوميني باستخدام غبار معامل الرخام، وذلك لتحسين أداءه. والذي أظهرت أبحاث عديدة حول العالم على جدوى استخدامه.

شمل البرنامج الاختباري لهذا البحث استخدام بيتومين (60–70) وغبار رخام ناتج من مخلفات القص والنشر لحجر الرخام المستخدم في المعامل السورية، وقد تمت الإضافات على الرابط البيتوميني بنسب (5–10–2015–)% من وزن البيتومين، وأجريت مجموعة من التجارب لتحديد خواص البيتومين غير المعدل والبيتومين المعدل باستخدام غبار الرخام. بينت التجارب أن نسبة الإضافة (15%) تعد نسبة مثالية للتعديل بنفايات الرخام Marbale Waste حيث يكون عندها الغرز بقيمة (48.3 dcm) أي ضمن الصنف (40–50)، وبنسبة انخفاض عن قيمة الغرز الأولية بنسبة (28.34 %)، ودليل الغرز (IP= +035) في الحالة الموجبة وأقل من الحد المسموح به لدليل الغرز (1+).

الكلمات المفتاحية: ، نفايات الرخام ، البيتومين المعدل ، الكلس المطفأ .

* **أُستاذ مُساعد– قسم هندسة المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

** **طالبة دراسات عليا (ماجستير) –قسم هندسة المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمة:

تطورت حركة المواصلات، ونتيجة الارتفاع المتسارع والمستمر في أعداد السيارات و مختلف وسائل النقل، ازدادت الحاجة إلى بناء طبقات رصف متينة وثابتة ضد التشوهات وخصوصاً في درجات الحرارة العالية، لذلك توجه المختصون للبحث عن طرق جديدة لتحسين خواص الرابط البيتومينى، بحيث يتمتع بخواص التصاق وتماسك جيدة مع الحصويات، واستمرارها خلال مدة الاستثمار والخدمة، وأن تكون تغيراته مع الحرارة قليلة ضمن المجال الحراري الذي سيستثمر فيه الرصف، وأن تكون لزوجته منخفضة في درجات حرارة تصنيع ومد المجبول البيتومينى، وأن تكون له قدرة جيدة لمقاومة التشوهات الدائمة وتحمل الإجهادات والعوامل المؤدية للإنهيار [6].

هذا وتوجد إضافات عديدة يمكن خلطها مع البيتومين أو الخلطات البيتومينية لتحسين بعض الخصائص مثل[5]:

- إضافات محسنة للحد من ظاهرة التخدد(Anti-Rutting Agents).
- إضافات محسنة لخاصية مقاومة التشققات والتصدعات(Anti-Cracking Agents).
- إضافات محسنة لكفاءة التصاق البيتومين بالحصويات(Anti-Stripping Agents).
- إضافات مقاومة للأكسدة (Anti-Oxidants).

1-1 تعديل البيتومين باستخدام الكلس المطفأHydrated Lime

يعتبر الكلس المطفأ أحد أكثر الإضافات استعمالاً لتحسين التصاق البيتومين بالحصويات، غالباً ما يتم اضافة الكلس كجزء من المواد المالئة للفراغات (المارة من المنخل N0.200) بنسبة (1 إلى 2)% من الحجم الكلي للحصويات، حيث يتم اضافته إلى الحصويات الرطبة أو الجافة، أو يتم خلطه مع الماء لتشكيل الطين ثم خلط الطين الناتج مع الحصويات قبل أن يتم تجفيفها لإضافة الرابط البيتومينى إليها، كما يمكن اضافة الكلس المطفأ مباشرةً إلى الرابط البيتومينى المسخن [4].

يعتبر الكلس فعالاً في الحد من خطر الرطوبة على الرصف البيتومينى، لأنه يتفاعل مع سطح الحصويات، ويتشكل منتج كيميائي يتماسك بقوة مع الرابط البيتومينى حتى في حال وجود الرطوبة. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يحسن من صلابة الخلطات البيتومينية ضد الكسر في درجات الحرارة المنخفضة ويزيد من مقاومتها للتشوه الدائم [4]

إن استخدام الكلس المطفأ في إنتاج المجبول البيتومينى يساعد في تحسين خواصه لمقاومة التشوهات الدائمة، ومقاومة تأثير المياه المخربة لهذا المجبول. وفي هذا الإطار قيم الدكتور أمجد البياتي من جامعة بغداد عام 2011 الخصائص الميكانيكية للخلطات البيتومينية عن طريق استعمال الكلس المطفأ كبديل عن مطحون حجر الكلس التقليدي المستعمل كمادة مالئة، وذلك عند بنسب وزنية مختلفة (0 ,0.5 ,1 ,1.5 ,2 ,2.5 ,3)% من الوزن الكلي الحصويات، وتوصل إلى تحسين مقاومة هذه الخلطات للتشوهات الدائمة ولتأثير المياه، وكانت الديمومة الأعلى النسبة 2% من الاضافة[5].

2-1 التعديل بنفايات الرخام:

يتم إنتاج آلاف الأطنان من نفايات الرخام في كل عام، ولكن قليل من هذه الدراسات يتم تقييم تأثيرها كمادة مالئة في الخلطات الاسفلتية ، هذه الكميات الكبيرة من نفايات الرخام لديها تأثير سلبي على البيئة وتحتاج إلى كثير من الأموال وكثير من الجهد لإعادة تدويرها أو التخلص منها، ويتم تقييم استخدام غبار الرخام والجرانيت كمادة مالئة أو مادة

إضافة لتعديل جودة البيتومين بالاعتماد على دراسة مخبرية ومقارنة بين الخلائط البيتومينية العادية والمعدلة ومقارنة اختبارات مارشال وتوضيح نسب البيتومين بالنسبة للمجبول، ومدى تأثير الإضافات.

مخلفات معامل الرخام و الحجر:

إن عمليات قص و نشر و تهذيب و تسوية سطوح الرخام و الحجر ينتج عنها :

1- نفايات صلبة كبيرة مختلفة الحجم من قطع الرخام و الحجر، هذه النفايات يتم التخلص منها باستخدامها في صناعة الخرسانة و الأعمال الإنشائية المختلفة مثل الجدران الإستنادية و غيرها و في أعمال الحصويات المختلفة.

2- مخلفات سائلة عندما تخرج المياه من الآليات محملة بالدقائق و الجسيمات الحبيبية و الرمال و النشارة الناتجة عن عمليات قص و نشر و تهذيب و تسوية سطوح الرخام و الحجر، و عادة تجمع هذه المياه في بحيرات طبيعية أو اصطناعية لتترك لتجف تحت تأثير العوامل الجوية لتبقى المواد الراسبة، التي تجمع و ترمى في أماكن عشوائية غالباً ، و بسبب نعومتها يمكن أن تنتقل إلى أماكن أخرى تحت تأثير الرياح، و هي موضوع هذه الدراسة.

3- انبعاثات كثيفة من الغبار و الجسيمات الدقيقة، ناتجة عن تطاير الدقائق الناعمة و النشارة أثناء عمليات القص و النشر و التهذيب.

4- مخلفات الصرف الصحي للمعمل، و التي يتم صرفها إلى شبكة الصرف الصحي المحلية.

وتناولت العديد من الدراسات العالمية الرخام كمادة تضاف للرابط البيتومين لتحسين خواصه ومنها:

اختبر كلاُ من (Rajan Choudhary & Satish Chandra) استخدام غبار الرخام والجرانيت كمادة مالئة في الخلائط البيتومينية، وتتتج هذه المادتين نتيجة صناعة الرخام والجرانيت في المعامل، تم إجراء اختبارات الكرة والحلقة ونقطة التميع لتقييم النسب المضافة، وكذلك اختبار ثبات مارشال على العينات المعدلة، وكذلك تم إجراء اختبار الشد على العينات لتقييم أدائها.[1]

تمت عملية البحث المخبري عن النسبة المثالية لإضافة المواد وتحسين الخصائص اعتمدت على إضافات نسب حسب تجربة القص وتجربة الكرة والحلقة، وتم تجهيز العينات لكل مادة مالئة، تم استخدام نسب البيتومين والمادة المالئة كالتالي (0.6- 0.8- 1- 1.2)، و التحقق من فعالية المادة المالئة عن طريق تجربة القص ونقطة التميع أما النسب التي تزيد عن ذلك والتي استخدمت في هذه الدراسة (1.4- 1.6- 1.8- 2) فلا تطبق عليها تجربة القص لأن العينة تستقر خلال التجربة فتم استخدام درجة التميع فقط.[1]

تم إضافة غبار الرخام أو الجرانيت الى الخلائط البيتومينية فأعطى تغير في الخصائص والجودة، جميع المواد المالئة يمكن استخدامها إلى نسبة 7 % ولكن الأفضل ان تكون بين النسب (4-5.5%).[1]

وركز بعض الباحثين على إمكانية مزج البيتومين بغبار الرخام و معرفة التأثيرات الناتجة عن هذا المزج. ففي هذه الدراسة التي أجراها كل من: (**Sathish H S and Sushma K S, Vikram M Reddy, Archana M R, Dr. M S Amarnath**).

تم استخدام بيتومين من الدرجة الثانية على الطرق السريعة (MORTH IV)، و تعديل الرابط البيتومين باستخدام: فتات المطاط المعدل (CRMB) ،غبار الرخام من (jigani , Bangalore , karnatka)،وقد استخدم غبار الرخام ليحل محل الرمل الناعم والمواد المالئة حيث تم تصميم الخلطات البيتومينية باستخدام غبار الرخام ومقارنتها مع الخلطات البيتومينية التقليدية من حيث درجة الحرارة والرطوبة والسلوك، ونتائج اختبار مارشال التي أجريت على

الخلطات التقليدية والمعدلة أشارت إلى أنه عند استخدام غبار الرخام في الخلطات البيتومينية، زاد الثبات بنسبة 1.16% عن الخلطات التقليدية.[2]

ومن وجهة نظر أخرى قام كل من الباحثان (***Hanaa Mohammed Mohan& Hayder Abbas Obaid***) بدراسة وتقييم تأثير إضافة مادة الكلس المطفأ على مقاومة الأثر الضار للماء على الخرسانة البيتومينية ،في هذه الدراسة تم إنتاج نوعين من الخلطات البيتومينية النوع الأول الذي يمثل الخلطة التقليدية ،والنوع الثاني الذي يحتوي على مادة الكلس بنسب (0.5%,1%,1.5%,2%,2.5%) من وزن الحصويات الكلي ، تم تقييم خصائص الخلطات من خلال اختبارات مارشال القياسية ، بالإضافة إلى مقاومة مارشال المسترجعة و مقاومة الشد الغير مباشر ،وأشارت نتائج هذه الدراسة إلى تحسن خصائص الخلطات الكلسية ،وكذلك ازدياد مقاومة الخلطات لتأثير الماء من خلال تحسن نتائج الفحوصات المستخدمة لتقييم مقاومة الخلطات لتأثير الرطوبة ،ونتيجة لذلك فإن استخدام مادة الكلس المطفأ كمادة مالئة وبنسبة 2% من وزن الحصويات الكلي أدى إلى إنتاج خلطات اسفلتية ذات خصائص جيدة وديمومة عالية تستخدم في إنشاء الطرق.[3]

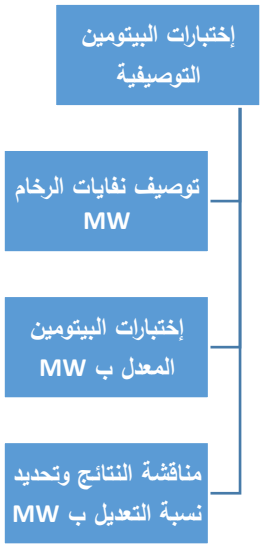
➢ الإشكالية:

إن التطور في تقنيات إنشاء الطرق والحجوم المرورية الكبيرة عليها أدى الى زيادة الطلب على تصميم خلطات اسفلتية متينة ،وباعتبار أن عملية تصنيع الرخام من قص ونشر وتهذيب وتسوية سطوح في معامل الرخام ينتج عنها نفايات صلبة كبيرة مختلفة الحجم ترمى بشكل عشوائي مسببة مشكلات بيئية وصحية كبيرة ،ستدرس إمكانية التخلص منها بطريقة مفيدة للبيئة من خلال إضافتها للرابط البيتومينى ودراسة التغير الحاصل في الخواص.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى:

1. التحقق من إمكانية استخدام نفايات الرخام MW (Marble waste) لتحسين مواصفات وخواص الرابط البيتومينى المحلي ذو الصنف (60-70) وإمكانية زيادة مقاومة الرابط البيتومينى لدرجات الحرارة .
2. الحفاظ على البيئة عن طريق التخفيف من مخلفات معامل الرخام الضارة بالصحة العامة وتدوير هذه المخلفات في صناعات انشاء وصيانة الطرق .



➢ منهجية العمل المخبري:

1- اختبارات الرابط البيتومينى التوصيفية كالغرز والكرة والحلقة وغيرها.

2- اختبارات توصيف نفايات الرخام.

3- اختبارات الرابط البيتومينى المعدل.

4- مناقشة النتائج ونسب الإضافة الفعالة لنفايات غبار الرخام على الرابط البيتومينى.

➢ نتائج اختبارات البيتومين غير المعدل التوصيفية :

تم استخدام نوع واحد من البيتومين في إعداد عينات الدراسة. البيتومين المستخدم لتصنيع عينات الدراسة هو بيتومين (60–70) تم الحصول عليه من مصفاه بانياس، وقمنا بمجموعة من الاختبارات لتوصيف البيتومين المستخدم والتحقق من مطابقته للمواصفات الفنية ، وتشمل هذه الاختبارات وفقاً لـASTM 2002:

1- الغرز في درجة الحرارة (25 -15 °c) ASTM D5
2- الاستطالة ASTM D113
3- درجة التمييع وفق الكرة والحلقة ASTM D36
4- الوميض والاشتعال ASTM D92
5- الفاقد بالحرارة ASTM DI754

ونبين فيما يلي نتائج اختبارات عينات البيتومين وفق المواصفات الفنية للجسور والطرق المعتمد في سوريا 2002 ووفقاً لمواصفات ASTM:

1. نتائج اختبارات الغرز:

أجري اختبار الغرز على البيتومين غير المعدل بدرجة الحرارة (25°c) ووفق الشروط النظامية (100gr–5sec–0.1×mm) ، ونبين فيما يلي نتائج الاختبار

الجدول (1) نتائج الغرز بدرجة حرارة (25 °c) للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة
الغرز(1) (0.1*mm)	67.0	68.1	67.2	68.0	67.1
الغرز (2)(0.1*mm)	66.9	67.5	67.3	68.1	66.9
الغرز (3)(0.1*mm)	66.8	67.6	67.1	68.1	66.9
وسطي الغرز(0.1*mm)	66.9	67.8	67.2	68.1	67.0
وسطي العينات (0.1*mm)	**67.4**				

كما قمنا باختبار البيتومين غير المعدل بدرجة الحرارة (15 °c) ووفق الشروط النظامية (200gr-60sec-0.1×mm) ، ونبين فيما يلي نتائج الاختبار :

الجدول (2) نتائج الغرز بدرجة حرارة (15 °c) للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
الغرز (1)(0.1*mm)	33.3	33.0	32.6
الغرز (2) (0.1*mm)	33.4	32.9	33.1
الغرز (3) (0.1*mm)	33.4	33.1	33.0
وسطي الغرز (0.1*mm)	33.4	33.0	32.9
وسطيo العينات (0.1*mm)	**33.1**		

2- نتائج اختبار الاستطالة:

أجريت تجارب الممطولية على البيتومين غير المعدل وفق الشروط النظامية الخاصة بالاختبار وهي درجة الحرارة (25 c°) وسرعة الشد 5cm/min ونبين فيما يلي نتائج الاختبار

الجدول (3) نتائج اختبار الاستطالة بدرجة حرارة 25 للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة
الاستطالة (1) cm	136	140	137	137
الاستطالة (2) cm	136	138	135	137
وسطي العينة cm	136	139	136	137
وسطي العينات cm	137			

2. نتائج اختبار نقطة التميع (الكرة والحلقة) :

لتحديد درجة التمييع قمنا باستخدام اختبار الكرة والحلقة (Ring&Ball) وفق لشروط سرعة تسخين (5 °c/min) والنتائج مبينة كما يلي :

الجدول (4) نتائج اختبار نقطة التمييع للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
الكرة (1) c°	49.5	49.5	50
الكرة (2) c°	49.5	49.6	50
وسطي العينة c°	49.5	49.6	50
وسطي العينات c°	49.7		

3. نتائج اختبار نقطة الوميض والاشتعال:

يعتبر تحديد نقطتي الوميض والاشتعال للبيتومين ذو أهمية خاصة في مجال سلامة العمال في المجابل وأثناء التنفيذ، ونبين فيما يلي تحديد درجة حرارة نقطة الوميض والاشتعال لعينات البيتومين المستخدم في الدراسة.

الجدول (5) نتائج اختبار نقطة التمييع للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	درجة الوميض	درجة الاشتعال
العينة (1) c°	245	259
العينة (2) c°	246	257
العينة (3) c°	244	258
وسطي c°	245	258

4. نتائج اختبار الفاقد بالحرارة:

باستخدام الفرن الخاص بالفاقد بالحرارة الدوار RTOFT قمنا بتعريض عينات البيتومين لدرجة حرارة (163 °c) ولمدة (5 ساعات) وتم تحديد النتائج كما يلي :

الجدول (6) نتائج اختبار الفاقد بالحرارة للبيتومين غير المعدل ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
وزن الوعاء فارغ gr	50.0	49.6	50.2
وزن العينة gr	50	50	50
وزن الوعاء مع العينة قبل التسخين gr	100.0	99.6	100.2
وزن الوعاء مع العينة بعد التسخين gr	99.66	99.27	99.86
الفاقد %	0.68	0.67	0.68
وسطي العينات %	0.68		

5. نتائج اختبار الغرز المتبقي بعد اختبار الفاقد بالحرارة :

بعد اختبار الفاقد بالحرارة والذي يمثل التعب قصير الأمد قمنا بإجراء اختبار الغرز لعينات البيتومين غير المعدل و نبين فيما يلي نتائج الغرز بعد التقادم قصير الأمد

الجدول (7) نتائج الغرز المتبقي بدرجة حرارة (25 °c) للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
الغرز (1) (0.1*mm)	48	46.0	49.6
الغرز (2) (0.1*mm)	46	46.1	50.0
الغرز (3)(0.1*mm)	49	45.9	49.8
وسطي الغرز (0.1*mm)	48	46	50
وسطي العينات (0.1*mm)	48		

الجدول (8) نتائج الغرز المتبقي بدرجة حرارة (15 °c) للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
الغرز (1) (0.1*mm)	23.2	23.4	23.6
الغرز (2) (0.1*mm)	23.2	23.5	23.4
الغرز (3) (0.1*mm)	23.1	23.6	23.5
وسطي الغرز (0.1*mm)	23.2	23.5	23.5
وسطي العينات (0.1*mm)	23.4		

6- نتائج اختبار نقطة التمييع بعد اختبار الفاقد بالحرارة :

باستخدام اختبار الكرة والحلقة (Ring&Ball) ووفقاً لشروط الاختبار القياسية تم تحديد درجة حرارة نقطة التمييع والنتائج مبينة كما يلي :

الجدول (9) نتائج اختبار نقطة التمييع للبيتومين غير المعدل بعد الفاقد بالحرارة وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
الكرة (1) °c	56.1	56.3	56.1
الكرة (2) °c	56.0	56.3	56.2
وسطي العينة °c	56.1	56.3	56.2
وسطي العينات °c	56.2		

7- نتائج اختبار الاستطالة بعد اختبار الفاقد بالحرارة :

الجدول (10) نتائج اختبار الاستطالة المتبقية بدرجة حرارة 25 للبيتومين غير المعدل وفقاً لـ ASTM 2002

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة
الاستطالة (1) cm	75	76	78
الاستطالة (2) cm	75	74	78
وسطي العينة cm	75	75	78
وسطي العينات cm	76		

8- نتائج دليل الغرز والغرز المتبقي:

باستخدام المخطط والعلاقات الخاصة بحساب دليل الغرز لعينة البيتومين غير المعدل ،

حساب قيمة دليل الغرز Penetration index (IP) من العلاقة بين قيم الغرز في درجتي حرارة مختلفتين:

$$IP = \frac{20 - 500\,A}{1 + 50\,A}$$

حيث:

$$A = \frac{log_{pen\,T1} - log_{pen\,T2}}{T_1 - T_2}$$

كما يمكن أن يحسب دليل الغرز على أساس نتائج درجة الغرز في الدرجة (25 °c) ونتائج اختبار نقطة التمييع (الكرة والحلقة) وذلك من العلاقة التالية:

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

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

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

نبين في الجدول التالي أنواع البيتومين بحسب قيمة دليل غرزها ، حيث يستخدم البيتومين ذو دليل الغرز (2+ , 2−) في مجال أعمال الرصف الطرقي وتشكيل الخلطات الاسفلتية .

الجدول (11) نوع البيتومين تبعا لدليل الغرز

IP	نوع البيتومين
>2	بيتومين مؤكسد
−2 to +2	بيتومين الرصف الطرقي
<−2	بيتومين حساس للحرارة ونواتج تقطير الفحم كالقطران

إن قيمة الغرز في الدرجة (25) هي (67.4) ، وقيمة نقطة التمييع وفق الكرة والحلقة هي عند الدرجة (49.7) وبالتالي تكون قيمة دليل الغرز **IP= - 0.55**

أما بالنسبة للغرز المتبقي فيحسب من العلاقة :

$$\text{الغرز المتبقي \%} \ \text{Retained penetration} = \frac{\text{الغرز بعد الفاقد Penetration after TFOT}}{\text{الغرز قبل الفاقد Penetration before TFOT}}$$

الغرز المتبقي بالدرجة 25 درجة مئوية = (67.4/45) = 71.2 %

الغرز المتبقي بالدرجة 15 درجة مئوية = (34.1/22.4) = 70.7 %

من نتائج الاختبارات التوصيفية السابقة لعينات البيتومين المعدة للبحث، وبعد القيام بمجموعة من الاختبارات اللازمة للتحقق من مواصفاته وبالاعتماد على نتائج اختبار الغرز المبينة في الجدول (1) نجد أن البيتومين المستخدم في الدراسة ينتمي للصنف (60−70) وفقاً لتصنيف ASTM D−946 ، كما أن درجة التمييع ضمن حدود المواصفات الخاصة بصنف البيتومين المستخدم ، وتعتبر الاستطالة محققة للاشتراطات المطلوبة حيث تجاوزت قيمة الاستطالة (+100 cm)

وفقاً لنتائج الاختبار فإن صنف البيتومين المستخدم هو ذو دليل غرز **(IP= - 0.55)** وبالتالي يعتبر محقق من ناحية دليل الغرز وفقا للاشتراطات المطلوبة ، أما بالنسبة لقيمة الفاقد بالحرارة وفق اختبار TFOT فقد بلغت (0.68 %) وبالتالي تعتبر محققة حيث تنص المواصفات أن لا تتجاوز قيمة الفاقد بالحرارة للبيتومين صنف (60−70) قيمة (1 %) ، ويلاحظ من الاختبارات على البيتومين بعد التعب قصير الأمد أن نسبة الغرز المتبقي في الدرجة (25) هي (71.2%) وبلغت نسبة الغرز المتبقي (70.7%) في درجة حرارة (15) ، حيث انخفضت قيمة الغرز في درجة الحرارة (25) من (67.4) إلى (48.0) بعد التعب قصير الأمد ، و ارتفعت درجة التمييع وفق الكرة والحلقة بنسبة (13 %) وانخفضت الاستطالة بعد التعب قصير الأمد بنسبة (44.5 %) .

➢ نتائج اختبارات البيتومين المعدل التوصيفية :

1. توصيف نفايات الرخام:

نفايات الرخام (Marble Waste MW) هو مسحوق ناعم جداً ويتم الحصول عليه كمنتج ثانوي للرخام أثناء عمليات نشر وقص وإعادة تشكيل الرخام ، ولا يتم عادة إعادة تدوير هذه النفايات . يعتبر الرخام صخر متحول ينتج عن تحول

الحجر الكلسي ، و تعتبر نقاوة الرخام هي المسؤولة عن لونه ومظهره ، فيكون أبيض إذا كان الحجر الكلسي يتكون فقط من الكالسيت (كربونات الكالسيوم CaCO3) ، كيميائياً يعتبر الرخام مكون من صخور بلورية تشمل في الغالب منيرالات الكالسيت والدولوميت . أما باقي المنيرالات التي يمكن أن تتواجد ضمن الرخام فتختلف بحسب المنشأ ومنها الكوارتز ، المسكوفيت ، التريموليت ، التالك ، غرانيت ، بيوتيت ، أما الشوائب المعدنية التي يمكن أن تتواجد ضمن الرخام فهي أوكسيد الحديد ، الليمونيت ، أوكسيد السيليسيوم ، المنغنيز ، كبريتات الحديد (بيريت) . بشكل عام يتكون الرخام من Cao بنسبة 40 % ، ومن Sio2 بنسبة 30 % ، والباقي بنسب مختلفة من أوكسيد المغنيزيوم و أوكسيد الحديد وأوكسيد الألمونيوم ومركبات أخرى بنسبة قليلة جداً .

الجدول (12) نتائج اختبارات نفايات الرخام

الخاصة	الواحدة	القيمة
المواد الصلبة الكلية TS	gr/L	44.23
المواد الراسبة	mL/L	10.57
	gr/L	31.28
	W %	64.3
العوالق SS	gr/L	9.94
الوزن الحجمي	gr/cm^3	2.62
المار من المنخل N200	%	100
اللون		أبيض – رمادي فاتح

2. نتائج اختبارات البيتومين المعدل بنفايات الرخام:

الجدول (13) نتائج اختبارات البيتومين المعدل وغير المعدل

الاختبار	البيتومين غير معدل	البيتومين المعدل بنفايات الرخام MW %			
		% 5	% 10	% 15	% 20
الغرز (0.1 mm) في الدرجة (25 °C)	67.4	61.9	56.0	48.3	46.0
الغرز (0.1 mm) في الدرجة (15 °C)	33.1	29.5	25.1	21.4	19.8
دليل الغرز IP	- 0.55	- 0.19	0.14	0.35	1.27
الاستطالة (cm)	137	97	82	64	43
نقطة التمييع (°C)	49.7	52.0	54.5	57.1	62.3
الفاقد بالحرارة (%)	0.68	0.54	0.50	0.46	0.42

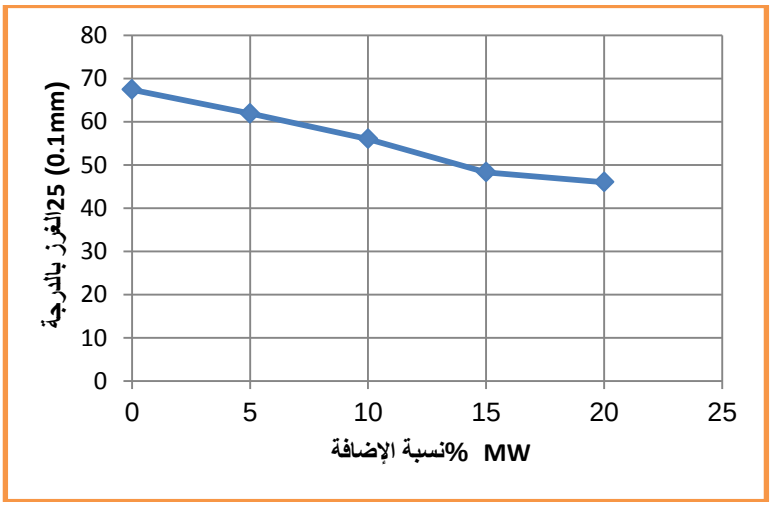
3. نتائج اختبارات البيتومين المعدل وغير المعدل بعد التقادم قصير الأمد:

الجدول (14) نتائج اختبارات البيتومين المعدل وغير المعدل بعد التقادم قصير الأمد

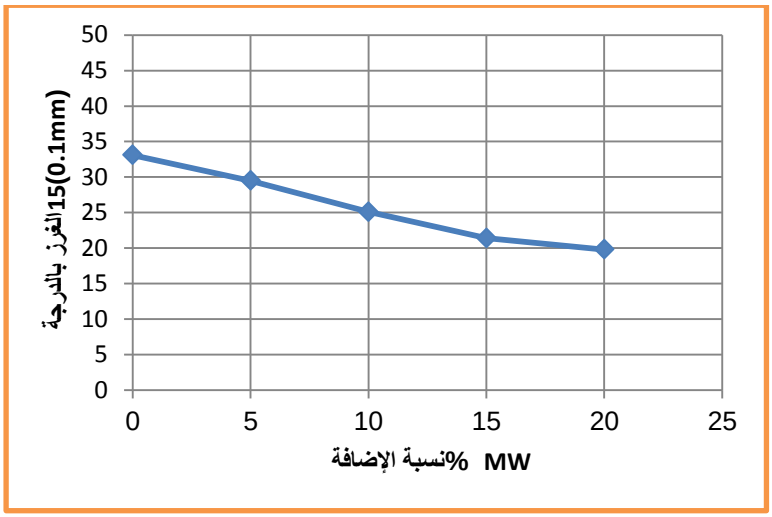
الاختبار	البيتومين غير معدل	البيتومين المعدل بنفايات الرخام % MW			
		% 5	% 10	% 15	% 20
الفاقد بالحرارة (%)	0.68	0.54	0.50	0.46	0.42
الغرز المتبقي (0.1 mm) في الدرجة (25 °C)	48.0	42.5	37.9	32.9	28.3
الغرز المتبقي (0.1 mm) في الدرجة (15 °C)	23.4	20.8	17.6	14.8	12
نسبة الغرز المتبقي % في الدرجة (25 °C)	71.2	68.7	67.7	68.1	61.5
نسبة الغرز المتبقي % في الدرجة (15 °C)	70.7	70.5	70.1	69.2	60.6
الاستطالة المتبقية (cm)	76	59	47	33	28
نقطة التمييع متبقي (°C)	56.2	58.9	61.7	63.0	64.6

➢ المناقشة:

بعد القيام بإجراء تجارب الغرز والاستطالة ونقطة التمييع والفاقد بالحرارة واختبارات التقادم قصير الأمد على البيتومين المعدل بنسب مختلفة من نواتج مخلفات الرخام MW ، و من الشكل (1) نلاحظ تناقص في درجة غرز البيتومين عند اختباره في درجة الحرارة النظامية الخاصة بالاختبار وهي (25 °c) مع زيادة نسبة مخلفات الرخام MW المضاف، وهذا يشير إلى زيادة قساوة البيتومين مع زيادة نسبة MW المضاف له. كما أنه تتناقص قيمة الغرز مع زيادة نسبة الإضافة MW عند الاختبار في درجة حرارة (15 °c) كما هو مبين في الشكل (2).

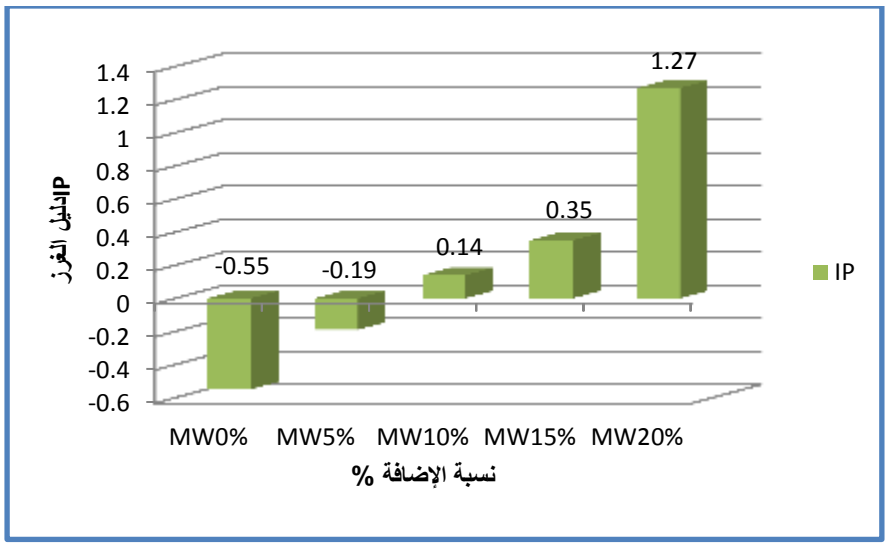


الشكل (1) العلاقة بين نسب الإضافة MW والغرز بالدرجة (25 °C)



الشكل (2) العلاقة بين نسب الإضافة MW والغرز بالدرجة (15 °C)

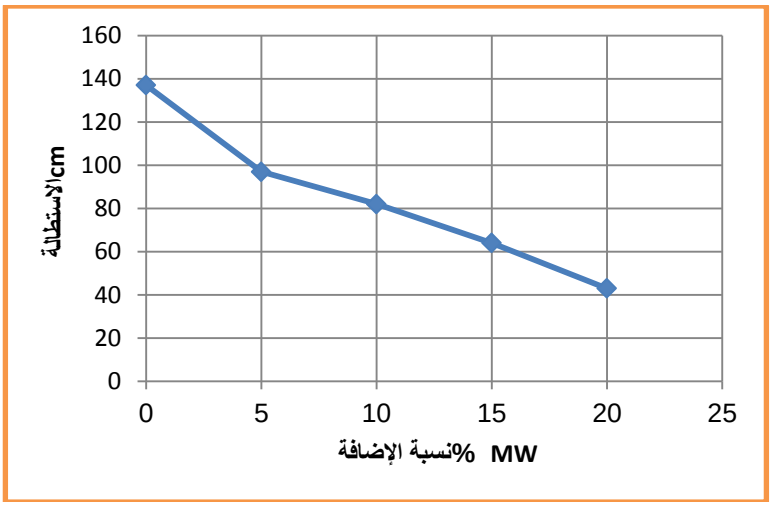
أما بالنسبة لقيم دليل الغرز (Penetration index .IP) فنجد من النتائج أن جميع القيم محققة للمتطلبات الخاصة بقيم دليل الغرز (+1 , −1) باستثناء البيتومين المعدل بنفايات الرخام عند نسبة (20 %) حيث تجاوزت قيم دليل الغرز (+1) كما هو مبين في الشكل (3).



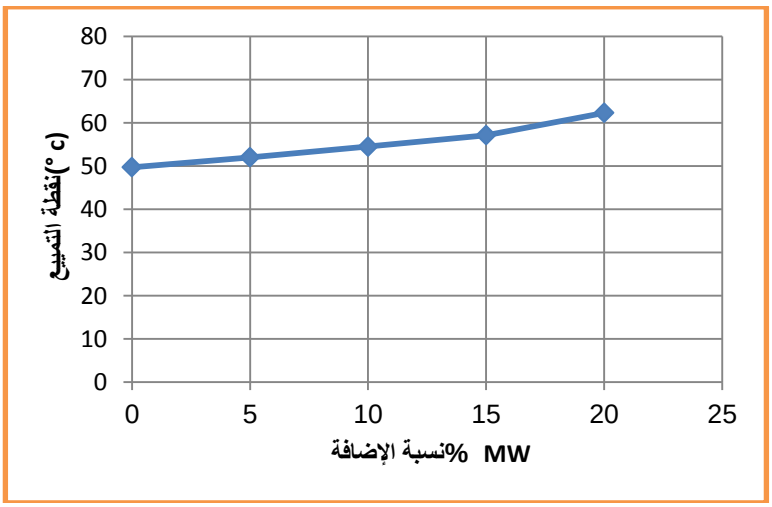
الشكل (3) تغيير قيم دليل الغرز (IP) مع زيادة نسب الإضافة MW

أما العلاقة بين نسبة الإضافة من نفايات الرخام MW والاستطالة (ممطولية البيتومين) مبينة في الشكل (4) حيث نلاحظ من المنحني انخفاض قيم الاستطالة بعد تعديل البيتومين باستخدام MW ، حيث كانت قيمة الاستطالة للبيتومين غير المعدل محققة للمتطلبات المنصوص عنها في الشروط العامة للطرق والجسور (+100 cm) ، بينما انخفضت عند التعديل ب MW إلى أقل من (100 cm) ، ويلاحظ أن قيمة الاستطالة عند تعديل البيتومين بنسبة (5%MW) قريبة من (100 cm) حيث انخفضت عن قيمة الاستطالة الأولية بنسبة (29.20 %) ، ووصلت قيمة الانخفاض إلى

نسبة (68.61 %) عند تعديل البيتومين بنسبة (20%MW) ، ويعود الانخفاض في قيم الاستطالة إلى قساوة البيتومين المعدل وعدم قابليته للممطولية .

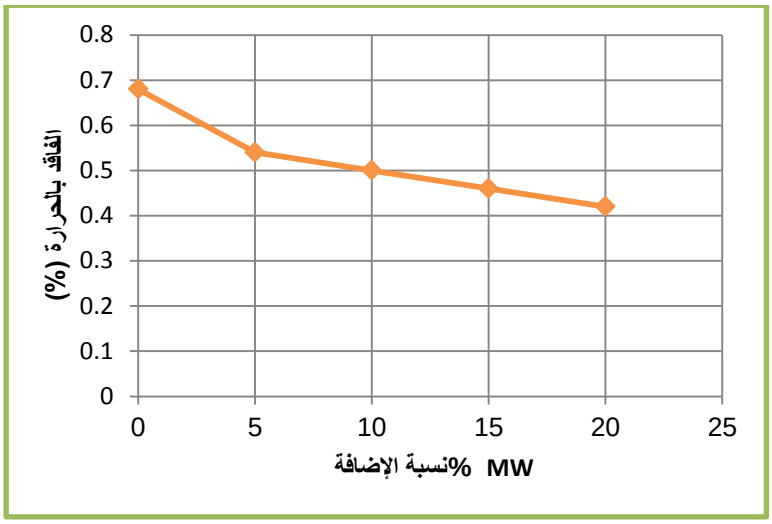


الشكل (4) العلاقة بين نسب الإضافة MW والاستطالة



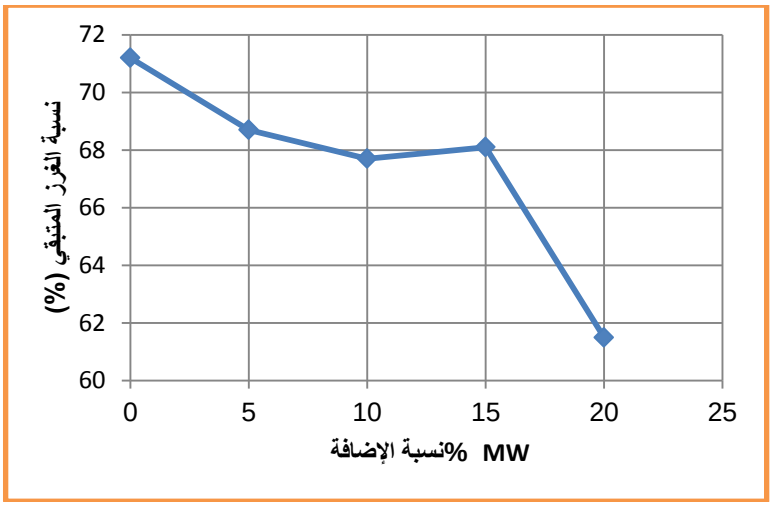
الشكل (5) العلاقة بين نسب الإضافة MW ونقطة التمييع (الكرة والحلقة)

قيم الفاقد بالحرارة وفقاً لاختبار (TFOT) والذي يعبر عن التقادم قصير الأمد الذي يحدث خلال مرحلة خلط البيتومين مع الحصويات تتناقص بزيادة نسبة الإضافة من MW ، كما هو مبين في الشكل (6) حيث انخفضت نسبة الفاقد بالحرارة (20.59 %) عند تعديل البيتومين بنسبة إضافة (5%MW) ، بينما انخفضت بنسبة (26.47 %) عند تعديل البيتومين بنفايات الرخام بنسبة إضافة (10%MW) ، وعند التعديل بنسبة (15 MW %) انخفضت قيمة الفاقد بالحرارة بنسبة (32.35 %) ، وانخفضت بنسبة (38.24 %) عند التعديل بنسبة (20%MW) ، وهذا يدل على تحسن في الممانعة الحرارية للبيتومين أثناء تعرضه للحرارة المرتفعة ما يشير إلى التأثير الإيجابي لإضافة نفايات الرخام لزيادة ممانعة البيتومين تجاه الحرارة التي تتعرض لها الطبقة السطحية .

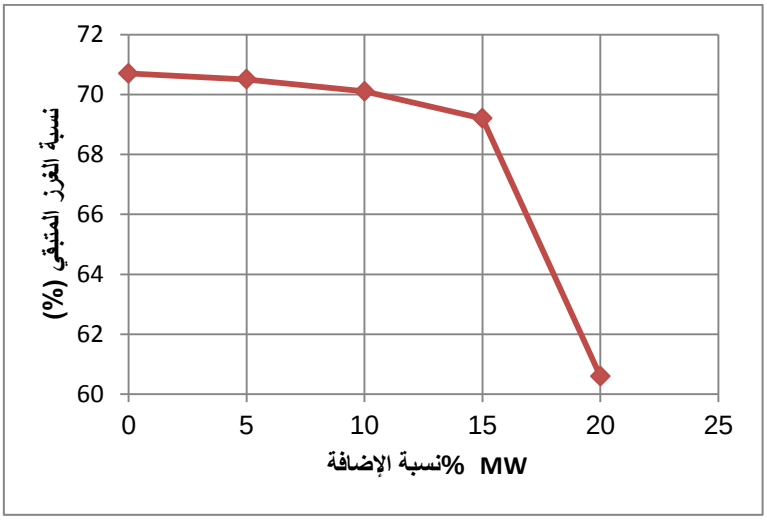


الشكل (6) العلاقة بين نسب الإضافة MW والفاقد بالحرارة TFOT

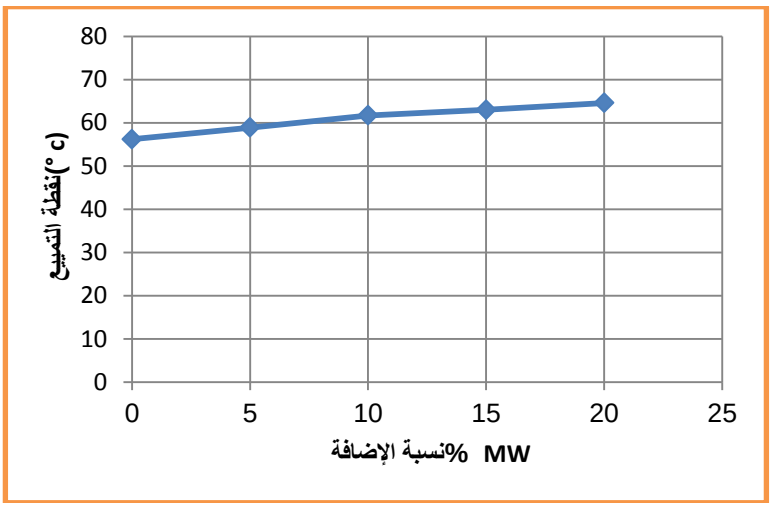
بالنسبة لقيم الغرز المتبقي أي بعد التعب قصير الأمد في درجة حرارة (25 °C) فقد انخفضت قيمة الغرز المتبقي بنسبة (11.46 %) عند تعديل البيتومين بنسبة (5%MW) ، وبنسبة (21.04 %) عند تعديل البيتومين بنسبة (10%MW) ، وبنسبة (31.46 %) عند تعديل البيتومين بنسبة (15%MW) ، و بنسبة (41.04 %) عند تعديل البيتومين بنسبة (20%MW) من نفايات معامل الرخام . نبين في الشكل (7) نسب الغرز المتبقي في درجة حرارة (25 °C) حيث يلاحظ انخفاض نسبة الغرز المتبقي بشكل طفيف حتى نسبة إضافة (15%MW) وبنسبة مئوية للانخفاض (4.35 %)، وتنخفض بعدها بشكل واضح عند نسبة إضافة (20%MW) أي بنسبة مئوية (13.62 %).



الشكل (7) العلاقة بين نسب الإضافة MW والغرز المتبقي في الدرجة (25 °C)



الشكل (8) العلاقة بين نسب الإضافة MW والغرز المتبقي في الدرجة (15 °C)



الشكل (9) العلاقة بين نسب الإضافة MW ونقطة التمييع (الكرة والحلقة) بعد الفاقد

الاستنتاجات والتوصيات:

- عينات البيتومين المستخدمة في الدراسة هي من الصنف (60–70) وفقاً لتصنيف ASTM D–946 ، كما أن درجة التمييع ضمن حدود المواصفات الخاصة بصنف البيتومين المستخدم ، وتعتبر الاستطالة محققة للاشترطات المطلوبة حيث تجاوزت قيمة الاستطالة (100+ cm) .
- صنف البيتومين المستخدم هو ذو دليل غرز (IP= - 0.55) وبالتالي يعتبر محقق من ناحية دليل الغرز وفقا لاشتراطات المطلوبة، أما بالنسبة لقيمة الفاقد بالحرارة وفق اختبار TFOT فقد بلغت (0.68 %) وتعتبر قيمة مقبولة .
- بينت نتائج الاختبارات على البيتومين بعد التعب قصير الأمد أن نسبة الغرز المتبقي في الدرجة (25) هي (71.2%) وبلغت نسبة الغرز المتبقي (70.7%) في درجة حرارة (15) ،كما ارتفعت درجة التمييع وفق الكرة والحلقة بنسبة (13 %) وانخفضت الاستطالة بعد التعب قصير الأمد بنسبة (44.5 %) .

- بينت نتائج الدراسة تناقص في درجة غرز البيتومين عند اختباره في درجة الحرارة النظامية الخاصة بالاختبار وهي (25 °c) مع زيادة نسبة مخلفات الرخام MW المضاف، وهذا يشير إلى زيادة قساوة الإسفلت مع زيادة نسبة MW المضاف له ، وينتقل البيتومين إلى الصنف (40–50) عند التعديل بنسبة (15 ، 20 %) من MW .
- بقيت جميع قيم دليل الغرز (IP) محققة للمتطلبات الخاصة بقيم دليل الغرز (1+ , 1–) باستثناء البيتومين المعدل بنفايات الرخام عند نسبة (20 %) حيث تجاوزت قيم دليل الغرز (1+) ، كما انتقلت قيم دليل الغرز من الحالة السالبة إلى الحالة الموجبة عند نسبة إضافة (15%) مما يدل على تحسن الحساسية الحرارية البيتومين
- تنخفض قيم الاستطالة بعد تعديل البيتومين باستخدام MW ، حيث كانت قيمة الاستطالة للبيتومين غير المعدل محققة للمتطلبات المنصوص عنها في الشروط العامة للطرق والجسور (100cm+) ، بينما انخفضت عند التعديل ب MW إلى أقل من (100cm) ، ويلاحظ أن قيمة الاستطالة عند تعديل البيتومين بنسبة (5%MW) قريبة من (100cm) حيث انخفضت عن قيمة الاستطالة الأولية بنسبة (29.20 %) ، ووصلت قيمة الانخفاض إلى نسبة (68.61 %) عند تعديل البيتومين بنسبة (20%MW) ، ويعود الانخفاض في قيم الاستطالة إلى قساوة البيتومين المعدل وعدم قابليته للممطولية .
- تظهر النتائج زيادة في قيم درجة حرارة التميع باستخدام اختبار الكرة والحلقة، مع زيادة نسبة الإضافة من نفايات الرخام MWللبيتومين ، وهذا يوافق بيتومين أقسى وأكثر قدرة على مقاومة درجات الحرارة المرتفعة التي تتعرض لها الطبقة السطحية للرصف المرن
- إن قيم الفاقد بالحرارة وفقاً لاختبار (TFOT) والذي يعبر عن التقادم قصير الأمد الذي يحدث خلال مرحلة خلط الاسفلت مع الحصويات تتناقص بزيادة نسبة الإضافة من MW ، وهذا يدل على تحسن في الممانعة الحرارية للبيتومين أثناء تعرضه للحرارة المرتفعة ما يشير إلى التأثير الإيجابي لإضافة نفايات الرخام لزيادة ممانعة البيتومين تجاه الحرارة التي تتعرض لها الطبقة السطحية .
- بعد مناقشة نتائج الاختبارات للبيتومين المعدل بنسب مختلفة من نفايات الرخام يمكن أن نعتمد نسبة (15%) كنسبة مثالية للتعديل بنفايات الرخام حيث يكون عندها الغرز بقيمة (48.3) بنسبة انخفاض (28.34 %) عن قيمة الغرز الأولية ، ودليل الغرز (IP= +035) في الحالة الموجبة ، ونسبة الغرز المتبقي هي (68.1 %) عند درجة حرارة (25 °C) ، كما أن ارتفاع نقطة التمييع عن القيمة الأولية بنسبة قليلة بحدود (14.89 %) ، وقيمة فاقد بالحرارة وفق اختبار (TFOT) تبلغ (0.46 %) أي قيمة منخفضة ومقبولة جدا باعتبار أن الحد الأقصى المسموح به للفاقد بالحرارة هو (1 %) .

المراجع:

1- - S KHEDR , A EI-DESOUKY , N NAGY and A ABBAS " *Use of Marbles in Asphalt Mixtures*" Eighth International Conference On Civil and Architecture Engineering & Military Technical College Korby EI-Kobbah,2010, Cairo , Egypt

2- ANDERSON, D. A., BAHIA, U. H. & DONGRE, R., "*Rheological Properties of Mineral Filler-Asphlat Mastic and Their Relationship to Pavement Performance. Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance",* 1992., pp. 131-153.

3- ASMAEL, N. M., *Effect of Mineral Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete Mixes*. Journal of Engineering, 2010, pp. 1-11.

4- BOYES, A. J. *Reducing moisture damage in Asphalt Mixes using recycled waste additives*. Anthony John Boyes U. S. A, December, 2011, 122.

5- ALBAYATI. H. A**.** *MECHANISTIC EVALUATION OF LIME MODIFIED ASPHALT CONCRETE MIXTURES***.** Journal of Engineering, IRAG, Vol.17,.6, December 2011, p1444-1460.

6- BERNARD BRULE , *Polymer-Modified Asphalt Cements Used in the Road Construction Industry Basic Principles Polymer*, Transportation Research record, January 18, 2007.

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