مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (6) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (6) 2017

Using Marble Dust As A Filler In Asphalt mixtures

Dr. Imad Fadel[1]

(Received 4 / 10 / 2017. Accepted 12 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

The purpose of this research is to study the use of Marble dust as a filler in asphalt concrete In Bituminous Wearing Course, in addition to reduce the harmful waste materials.

Asphalt mixtures was done by using marble dust at (5, 6, 7, 8)% by weight of total aggregate using the Marshall method. The changes in the properties of the asphalt mixtures are investigated, then compared with the asphalt mixtures designed using the traditional filler (Lime Stone Powder, Portland Cement) at the same rates as before.

The main outcome of this research is the possibility of using Marble Dust as filler in asphalt mixtures at optimum Marble dust content is 6%, which obtained the highest stability and values of flow and air voids are good and within the limits of the international standards ASTM.

Key words: Asphalt Mixtures, Filler, Marble Dust, Lime Stone Powder, Portland Cement.

[1] **Associate Professor, Department of Managing and Constructing Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (6) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (6) 2017

استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية

الدكتور عماد فاضل[2]

(تاريخ الإيداع 4 / 10 / 2017. قُبِل للنشر في 12/ 12 / 2017)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية بحيث يكون مطابقاً للمواصفات المطلوبة لطبقة التغطية السطحية (الاهتراء) للطرق، بالإضافة إلى تنظيف البيئة من هذه الملوثات ذات السمية المعروفة.

تم في هذه الدراسة توصيف كلاً من الاسفلت والحصويات والفيلر وتحديد النسبة المثالية للإسفلت لتصميم الخلطات الاسفلتية باستخدام طريقة مارشال، ثم تم تصميم الخلطات الاسفلتية عند محتوى الاسفلت الأمثل باستخدام غبار الرخام بنسب (5، 6، 7، 8)% من وزن الحصويات الكلي ومن ثم تمت دراسة التغيرات الحاصلة على خصائص الخلطات الاسفلتية ومقارنتها مع الخلطات الاسفلتية المصممة باستخدام الفيلر التقليدي (مسحوق الحجر الكلسي) و الاسمنت البورتلاندي وذلك عند نفس النسب السابقة.

تشير نتائج هذه الدراسة إلى إمكانية استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية عند نسبة مثالية 6% من الوزن الكلي للحصويات والتي تم الحصول عندها على أعلى ثبات وقيم انسياب وفراغات هوائية جيدة وضمن حدود المواصفات العالمية ASTM. وبناءً على ذلك فإنه يمكن استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية من الناحية الفنية، بالإضافة إلى الفوائد البيئية والاقتصادية المتوقعة من هذا الاستخدام.

الكلمات المفتاحية: الخلطات الاسفلتية، الفيلر، غبار الرخام، مسحوق الحجر الكلسي، الاسمنت البورتلاندي.

[2] **أستاذ مساعد– قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

ينتج عن الصناعات الحديثة كميات كبيرة من النفايات (المعدنية، البلاستيكية، الزجاجية، الغبار....) وتتزايد كميتها وتكلفة التخلص منها مع مرور الزمن وقد بدأ مؤخراً الضغط باتجاه اعادة تدوير هذه النفايات واجراء الدراسات المتعلقة بجدوى استخدامها في مختلف المجالات وخصوصاً في مجال رصف الطرق كونه يحتاج لكميات كبيرة من المواد، حيث تمت دراسة امكانية استخدام العديد من النفايات (نفايات الرخام، نفايات الفوسفات، نفايات الزجاج، غبار الاسمنت، المطاط....) في أعمال انشاء الطرق.

تعتبر مقالع الرخام ومعامل إنتاجه واحدة من الصناعات الرئيسية لتوليد النفايات، والتي يُهدر فيها حوالي 70% من الرخام على شكل نفايات خلال عمليات استخراجه ومراحل تصنيعه وتلميعه، حيث يتشكل 40% من نفايات الخام على شكل حجارة مكسرة خلال مرحلة استخراجه في المقالع، ومن ثم يتم التخلص منها في الحفر القريبة الفارغة، المراعي، الحقول الزراعية، أو يتم دفنها تحت الأرض، والبعض منها يتراكم على الطرق المجاورة، وهذا ما أدى إلى انتشار التلوث البيئي بشكل واسع[1].

في معامل انتاج الرخام يتم تقطيع كتل الرخام الكبيرة إلى قطع أصغر بهدف الحصول على الشكل الأملس المطلوب، وخلال عملية التقطيع تلك يتشكل حوالي 25% من الرخام كغبار وهذا الغبار يؤدي لتلوث البيئة ويحتاج لمساحة واسعة من الأراضي لأجل التخلص منه، كما أنه يشكل مصدر خطر حقيقي على الانسان والزراعة خصوصاً في فصل الصيف، حيث يؤثر سلباً على انتاجية الأراضي الزراعية ويؤدي إلى انخفاض مساميتها وامتصاصها للماء، لذلك فإن استخدام هذا الغبار في مختلف القطاعات (الانشاء ومواد البناء، ورصف الطرق، صناعة الزجاج، صناعة الورق...) سوف يساعد على حماية البيئة[2].

واتجهت الكثير من الأبحاث إلى دراسة امكانية استخدام نفايات الرخام كبديل عن الحصويات في رصف الطرق، وأكدت على جدوى هذا الاستخدام مع ضرورة الانتباه لمقاومة الانزلاق إذا ما أردنا استخدماها كبديل عن الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطات الاسفلتية، وفي هذا الاتجاه أوصت تلك الدراسات باستخدام نفايات الرخام في انشاء الطرق ذات حركة المرور المنخفضة والمتوسطة [3, 4, 5, 6].

درس khedr وآخرون عام 2010 امكانية استخدام نفايات الرخام وفق تدرجات مختلفة (حصويات خشنة، حصويات ناعمة، فيلر) في تصميم الخلطات الاسفلتية، حيث تم تصميم ست خلطات اسفلتية وفقاً طريقة مارشال باستخدام اسفلت 70/60، **الأولى**: بدون نفايات الرخام، و**الثانية**: باستخدام غبار الرخام كفيلر، **والثالثة والرابعة**: باستخدام نفايات الرخام كرمل بنسب مختلفة، **والخامسة**: باستخدام نفايات الرخام كحصويات خشنة، **والسادسة**: باستخدام نفايات الرخام كرمل وفيلر معاً)، وأشارت نتائج هذه الدراسة إلى زيادة قيم الثبات وتناقص قيمة محتوى الإسفلت المثالي بعد استخدام نفايات الرخام وتوصل الباحث إلى إمكانية استخدام نفايات الرخام كرمل وفيلر مباشرة وبدون أية معالجة في تصميم الخلطات الاسفلتية [7].

أجرى Akbulut وآخرون عام 2006 تجارب على أربعة أنواع من الحصويات لاستخدامها في تصميم الخلطات الاسفلتية (النوع A: باستخدام نفايات الرخام، النوع B: باستخدام حجارة الانديزت andesite، النوع C والنوع D: باستخدام نوعين من الحجر الكلسي)، حيث تم استخدام طريقة مارشال للمقارنة بين خصائص الخلطات المصممة، وأشارت النتائج إلى أن الخلطات المصممة باستخدام نفايات الرخام و حجارة الانديزت لديها خصائص مشابهة للخلطات المصممة باستخدام الحجر الكلسي، حيث بقيت قيم لوس أنجلوس للحصويات ضمن حدود المواصفات،

وكانت أكبر قيمة لثبات مارشال عند استخدام حجارة الانديزت في تصميم الخلطات الاسفلتية، في حين ازدادت نسبة الرابط الاسفلتي المثالي إلى 4.68% عند استخدام نفايات الرخام وإلى 8.1% عند اسنخدام حجارة الانديزت، وأوصى الباحث باستخدام نفايات الرخام في تصميم الطرق ذات حركة المرور المتوسطة [8].

استخدم Chandra وآخرون عام 2011 غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية عند نسب مختلفة (3, 5, 7, 9%)، حيث تمت مقارنة تأثير هذا الاستخدام مع تأثير كل من الكلس ومسحوق الحجارة المكسرة عن طريق اجراء اختبارات ثبات مارشال والضغط الحر ومقاومة الشد غير المباشر واختبارات التعب، وتوصلت الدراسة إلى تحسن خواص الخلطات الاسفلتية (مقاومة ضغط ومقاومة شد) عند استخدام غبار الرخام، حيث تم الحصول على أعلى مقاومة ضغط ($7.34\ N/mm^2$) عند محتوى فيلر 5% من غبار الرخام، وعلى أعلى مقاومة ضغط ($1.82N/mm^2$) عند محتوى فيلر 7% من غبار الرخام، كما أشارت اختبارات التعب إلى أن الخلطات المصممة باستخدام غبار الرخام كفيلر تتحمل عدد دورات تحميل أكبر (19640 دورة) بالمقارنة مع الخلطات المصممة باستخدام الكلس ومسحوق الحجارة المكسرة، وأوصى الباحث بفاعلية استخدام غبار الرخام كمادة بناء في انشاء الطرق الاسفلتية في الهند [9].

درس Choudhary وآخرون عام 2008 امكانية استخدام غبار الرخام والسيراميك في تصميم الخلطات الاسفلتية، حيث تم اضافة هذه المواد للاسفلت وفق نسب مختلفة (نسبة الفيلر إلى الاسفلت: 0.6، 0.8، 1.0، 1.2) بهدف تحديد الخواص الميكانيكية والريولوجية للإسفلت وذلك عن طريق إجراء اختبارات الاسفلت التقليدية واختبارات القص(dynamic shear rheometer (DSR، ثم تم تصميم الخلطات الاسفلتية المحتوية على نسب مختلفة من غبار الرخام والسيراميك (4، 5.5، 7، 8.5%)، وتمت دراسة خصائص مارشال والتشوه الدائم ومقاومة الشد المباشر، وقد أظهرت نتائج الاختبارات الريولوجية على مزيج (الاسفلت–الفيلر) جدوى هذه الاضافات في تحسين مقاومة التخدد، في حين أظهرت التجارب المجراة على الخلطات الاسفلتية بأن الخلطات المصممة باستخدام غبار الرخام والسيراميك تملك خصائصاً مشابهة للخلطات المصممة باستخدام مسحوق الحجر الكلسي، وأوصى الباحث بإمكانية استخدامها حتى نسبة 7% [10] .

استخدم Abed وآخرون عام 2012 غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية، حيث تمت دراسة خصائص مارشال والحساسية ضد الرطوبة للخلطات المصممة، وتوصل إلى زيادة ثبات مارشال للخلطات المصممة باستخدام غبار الرخام بالمقارنة مع تلك المصممة باستخدام مسحوق الحجر الكلسي مع بقاء خصائص الأخرى ضمن حدود المواصفات وإلى زيادة مقاومة الشد غير المباشر والتي تُشير إلى زيادة تماسك المزيج [11].

درس Berhanu عام 2001 الخلطات الاسفلتية المصممة باستخدام اسفلت 70/60 وأنواع مختلفة من الفيلر (غبار الرخام، الكلس، مسحوق الحجارة المكسرة)، وخلصت تلك الدراسة إلى تحسين خواص للخلطات الاسفلتية، حيث أظهرت نتائج الاختبارات أن الخلطات المصممة باستخدام غبار الرخام تمتلك مقاومة الضغط ومعاملات المرونة ومقاومة الشد الأكبر [12].

ولقد لجأنا في هذه الدراسة إلى استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية، ودراسة التغيرات الحاصلة على الخلطات الاسفلتية بالمقارنة مع مواد الفيلر التقليدية (مسحوق الحجر الكلسي، الاسمنت البورتلاندي).

أهمية البحث وأهدافه:

يستخدم مسحوق الحجر الكلسي الناتج عن تكسير الحجارة الكلسية في العديد من البلدان كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية، لكن المعنيين في انشاء الطرق يواجهون صعوبة في الحصول على هذه المواد بسبب اتجاه معظم الحكومات في مختلف البلدان إلى إغلاق هذه المقالع بهدف حماية البيئة، ومن هنا تأتي أهمية البحث عن مواد فيلر جديدة ذات تكلفة منخفضة وصديقة للبيئة والتحقق من تأثيرها على الخلطات الاسفلتية.

يهدف هذا البحث إلى:

1. دراسة امكانية استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية وتحديد النسبة المثالية لهذا الاستخدام.
2. التخفيف من ملوثات غبار الرخام الخطرة على صحة الانسان والبيئة واستخدامها في إنشاء الطرق.
3. تخفيض تكلفة إنتاج المجبول الإسفلتي، بالإضافة إلى توفير الأموال والجهد اللازمين للتخلص من هذه النفايات.

طرائق البحث ومواده:

1- مواد البحث Research materials:

1- إسفلت 60-70 من مصفاة بانياس مطابق للمواصفات ASTM.D-140، بحيث تكون ممثلة بشكل صحيح للاسفلت المنتج في سوريا، حيث تم حفظها في عينات معدنية خاصة.

2- حصويات كلسية دولوميتية مصدرها مدينة حسياء.

3- المواد المالئة: (مسحوق الحجر الكلسي، غبار رخام مصدره معمل رخام حماه، اسمنت بورتلاندي مصدره معمل اسمنت طرطوس)

2- العمل المخبري Laboratory Job :

اعتمد في هذا البحث سلسلة من الاختبارات المحددة بالمواصفات التالية:

<u>اختبارات الرابط الإسفلتي و تشمل :</u>

1-تجربة الغرز Penetration وفق المواصفة ASTM D.5 عند درجة حرارة 25C°.

2-تجربة تحديد درجة حرارة التميع Softening Point (Ring & Bale) وفق المواصفة ASTM D.36.

3-تجربة الممطولية Ductility وفق المواصفة ASTM D.113.

4-تجربة الفاقد بالحرارة Lose Of Heating وفق المواصفة ASTM D.1754.

5-تجربة تجربة تحديد الوزن النوعي للاسفلت Specific Gravity وفق المواصفة ASTM D.3289.

<u>اختبارات الحصويات و تشمل :</u>

6-تجربة الفاقد بالإهتراء للحصويات Resistance Of Abrasion وفق المواصفة ASTM C.535.

7-تجربة المكافئ الرملي Sand Equivalent وفق المواصفة ASTM D.2419 .

8-تجربة الوزن النوعي للحصويات Specific Gravity وفق المواصفة ASTM C.127.

9- تجربة الوزن النوعي للحصويات الخشنة والناعمة Specific Gravity وفق المواصفات ASTM (C.127- D.188).

اختبارات المجبول الإسفلتي و تشمل :

10- تجربة مارشال Marshall Test وفق المواصفات ASTM D.1559.

3 - منهجية البحث Research methodology:

في البداية تم تحديد الخواص الأولية لعينات الاسفلت المختبرة وهو اسفلت 60-70 إنتاج مصفاة بانياس، وذلك بإجراء تجارب الغرز عند درجة حرارة 25(°C)، والاستطالة، وتحديد درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة، ثم أعيدت نفس الاختبارات السابقة (الغرز عند درجة حرارة 25(°C)، الاستطالة ، درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة) على الاسفلت بعد اختبار الفاقد بالحرارة، وذلك لإظهار سلوك الاسفلت بعد التعرض للفاقد بالحرارة.

ثم تم تحديد خواص الحصويات المستخدمة، حيث أجريت تجارب التركيب الحبي، والمكافئ الرملي، وتجربة الفاقد بالاهتراء وفق لوس أنجلوس، وتجارب تحديد الوزن النوعي الحصويات.

بعد ذلك تم تصميم الخلطات الاسفلتية المحتوية على ثلاثة أنواع من المواد المالئة (مسحوق الحجر الكلسي، غبار الرخام، الاسمنت البورتلاندي) وبأربع نسب (5، 6، 7، 8)% من وزن الحصويات الكلي باستخدام طريقة مارشال لتصميم الخلطات الاسفلتية عند محتوى اسفلت ثابت 5% ومن ثم تمت دراسة التغيرات الحاصلة على خصائص الخلطات الاسفلتية.

النتائج والمناقشة:

1- تحديد مواصفات الفيلر المستخدم:

تم إجراء التحليل المينيرالي للفيلر المستخدم بأنواعه الثلاث في مخبر معمل إسمنت طرطوس. أعطى التحليل النتائج التالية:

الجدول (1): نتائج التحليل الكيميائي لأنواع الفيلر المستخدمة (مسحوق الحجر الكلسي، غبار الرخام، الاسمنت البورتلاندي)

نوع الأوكسيد	النسبة المئوية للأوكسيد %		
	مسحوق الحجر الكلسي	غبار الرخام	الاسمنت البورتلاندي
SiO2	2.2	28.88	22.38
Al2O3	0.85	0.47	4.85
Fe2O3	0.14	6.52	3.27
CaO	52.8	42.16	62.35
MgO	0.95	16.33	2.34
SO3	1.22	0.18	2.1
K2O	-	-	0.210
Na2O	-	-	0.458

كما تم إجراء اختبارات التوضيف الفيزيائي للفيلر المستخدم بأنواعه الثلاث في مخابر جامعة تشرين. أعطى التحليل النتائج التالية:

الجدول (2): الخصائص الفيزيائية لأنواع الفيلر المستخدمة (مسحوق الحجر الكلسي، غبار الرخام، الاسمنت البورتلاندي)

نوع الفيلر	مسحوق الحجر الكلسي	غبار الرخام	الاسمنت البورتلاندي
المار من المنخل N0.200	%100	%100	%100
الوزن النوعي (g/cm^3)	2.73	2.82	3.15

2 – تحديد خواص الاسفلت:

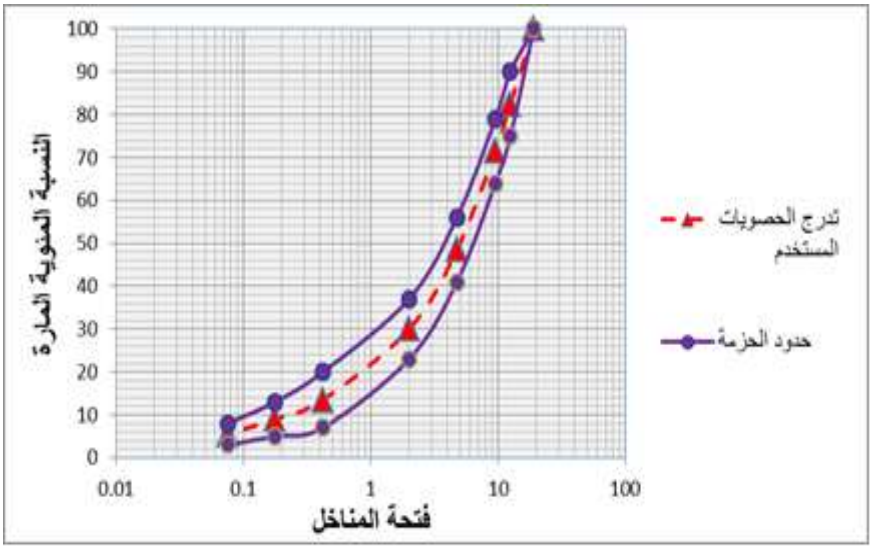
يظهر الجدول (3) خصائص الاسفلت المستخدم قبل وبعد اجراء اختبار الفاقد بالحرارة، حيث أظهرت نتائج الاختبارات المجراة في مخابر جامعة تشرين تطابقه مع القيم المسموحة المحددة بالمواصفات العالمية [13].

الجدول(3): الخصائص الفيزيائية للرابط الاسفلتي قبل وبعد اختبار الفاقد بالحرارة

الخاصية	قبل الفاقد بالحرارة	بعد الفاقد بالحرارة
الغرز بدرجة حرارة 25 °C	65.67	54.22
الاستطالة (cm)	144	102
درجة حرارة التميع °C	50.88	54.36
الفاقد بالحرارة %	0.644	
الوزن النوعي (g/cm^3)	1.022	

3 – تحديد خواص الحصويات:

نبين فيما يلي نتائج اختبار الحصويات و التي تم إجراؤها في مخابر جامعة تشرين:



الشكل (1): منحني التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

الجدول(4): الخصائص الفيزيائية للحصويات

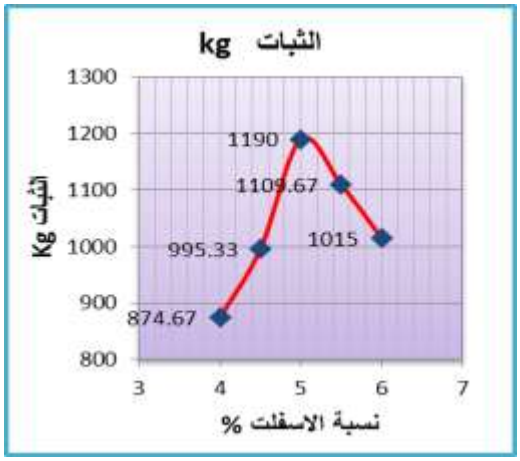
الفاقد بالاهتراء	% 22.3
المكافئ الرملي	% 78
الوزن النوعي	2.643

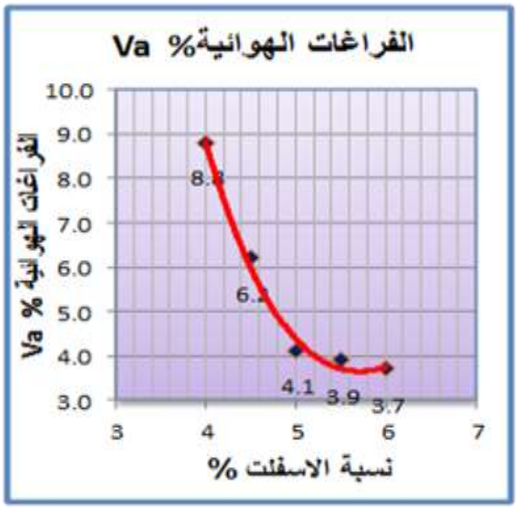
4 – تحديد نسبة الرابط الإسفلتي المثالية لتصميم الخلطات الاسفلتية:

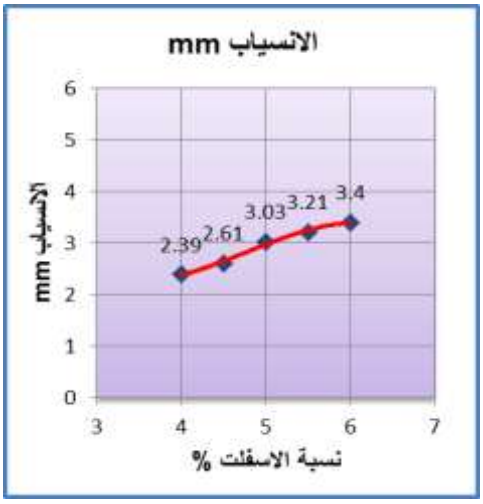
تم إضافة الرابط الاسفلتي المسخن بالنسب الوزنية التالية %(4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0)، وإعداد ثلاث قوالب من قوالب مارشال لكل نسبة وفق المتطلبات الفنية لطريقة مارشال (15 قالب بـ /75/ طرقة على كل وجه)، وبعد نزعها، تم غمر عينات الخلطة الاسفلتية المرصوصة بالماء الحار عند درجة 60°C لمدة نصف ساعة، ثم تم تحديد كثافتها و كلاً من الثبات و الانسياب و كافة عناصر مارشال، ثم تم رسم منحنيات مارشال وتحديد نسبة الاسفلت على كل منحن والمحققة للكثافة العظمى والثبات الاعظمي ومتوسط المتطلبات الفنية للانسياب والفراغات الهوائية والفراغات المليئة بالاسفلت، حيث تم التوصل إلى النسبة 5% كنسبة اسفلت مثالية لتصميم الخلطات الاسفلتية (استُخدم مسحوق الحجر الكلسي كفيلر في هذه المرحلة).

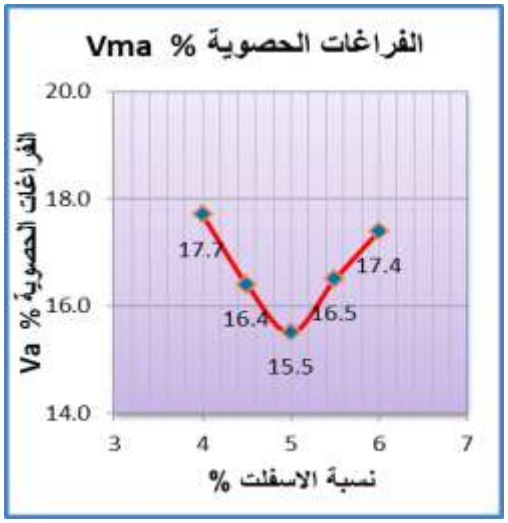
الجدول(5): حساب عناصر مارشال لتحديد نسبة الاسفلت المثالية

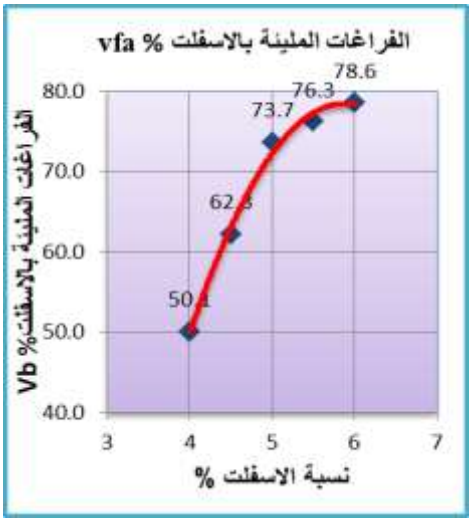
الرقم	نسبة الإسفلت % وزنا	الثبات kg	الانسيابmm	كثافة مارشال gr/cm^3	الفراغات الحصوية %vma حجما	الفراغات المليئة %vfa حجما	الفراغات الهوائية %va حجما
1	4	882	2.33				
2		878	2.39				
3		864	2.44				
متوسط	4	874.67	2.39	2.266	17.7	50.1	8.8
1	4.5	995	2.58				
2		988	2.63				
3		1003	2.62				
متوسط	4.5	995.33	2.61	2.315	16.4	62.3	6.2
1	5	1180	3.02				
2		1200	3.04				
3		1190	3.02				
متوسط	5	1190.00	3.03	2.348	15.6	73.7	4.1
1	5.5	1120	3.20				
2		1109	3.22				
3		1100	3.20				
متوسط	5.5	1109.67	3.21	2.336	16.5	76.3	3.9
1	6	1030	3.40				
2		1005	3.42				
3		1010	3.38				
متوسط	6	1015.00	3.40	2.315	17.4	78.6	3.7











الشكل (2): منحنيات مارشال (الثبات، الكثافة، الانسياب، الفراغات الهوائية، الفراغات الحصوية، الفراغات الملينة بالاسفلت) للخلطات الإسفلتية

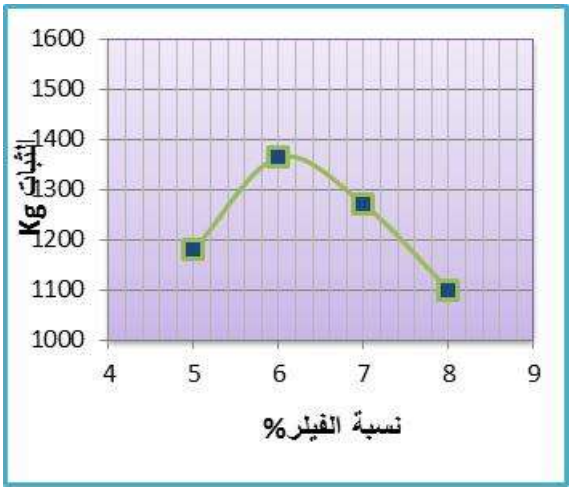
5 – تأثير الفيلر على خصائص الخلطات الاسفلتية:

يظهر الجدول (6) نتائج تصميم الخلطات الاسفلتية المحتوية على ثلاثة أنواع من المواد المالئة (مسحوق الحجر الكلسي، غبار الرخام، الاسمنت البورتلاندي) وبأربع نسب (5, 6, 7, 8)% من وزن الحصويات الكلي وعند نسبة اسفلت ثابتة 5.0%.

الجدول(6): عناصر مارشال للخلطات الاسفلتية بتغير نوع ونسبة الفيلر المضاف

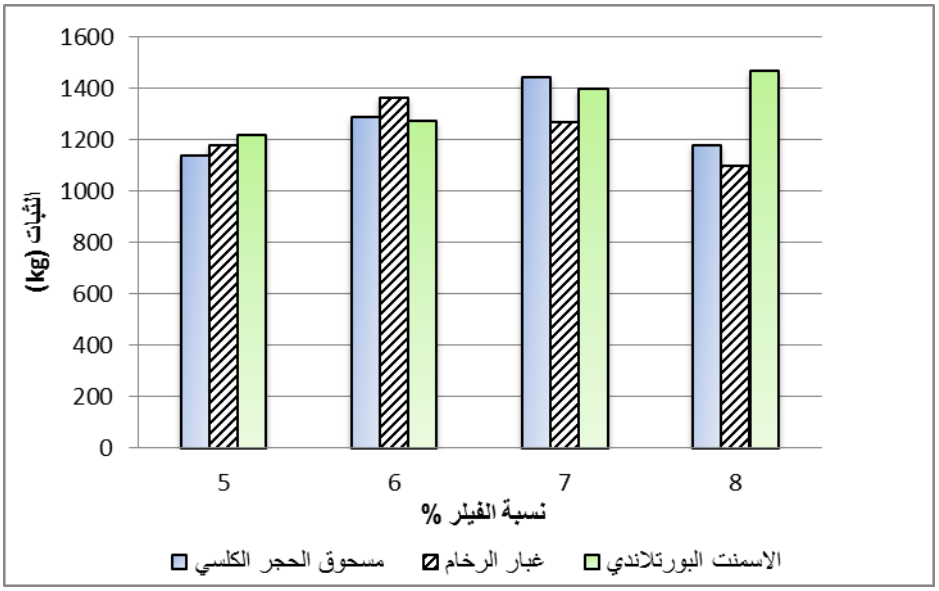
نوع الفيلر	نسبة الفيلر %	الثبات kg	الانسياب mm	الفراغات الحصوية %vma حجما	الفراغات المليئة %vfa حجما	الفراغات الهوائية %va حجما
مسحوق الحجر الكلسي	5	1140	2.88	16.5	68.8	5.1
	6	1290	3.04	16.1	77.1	3.7
	7	1444	3.34	16.5	81.2	3.1
	8	1180.33	3.97	16.9	85.1	2.5
غبار الرخام	5	1180	2.72	16.8	67.2	5.5
	6	1364	3.33	16.5	75.3	4.1
	7	1270	3.64	15.6	86.8	3.5
	8	1100	3.82	15.9	91.9	2
الاسمنت البورتلاندي	5	1137	2.56	15.5	74.1	4
	6	1273	2.82	15.9	78.4	3.4
	7	1400	3.04	16.1	83.9	2.6
	8	1470.7	3.21	16.4	88.4	1.9

5-1- العلاقة بين نوع وكمية الفيلر وثبات مارشال:



الشكل (3): تغير قيم الثبات بتغير نسب غبار الرخام

نلاحظ من منحني ثبات مارشال بأن قيم الثبات لجميع الخلطات المصممة كانت ضمن حدود المواصفات العالمية المسموحة ASTM (أكبر من 800 kg)، وبأن أعلى قيمة لثبات مارشال عند استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية تم الحصول عيها عند النسبة 6% .



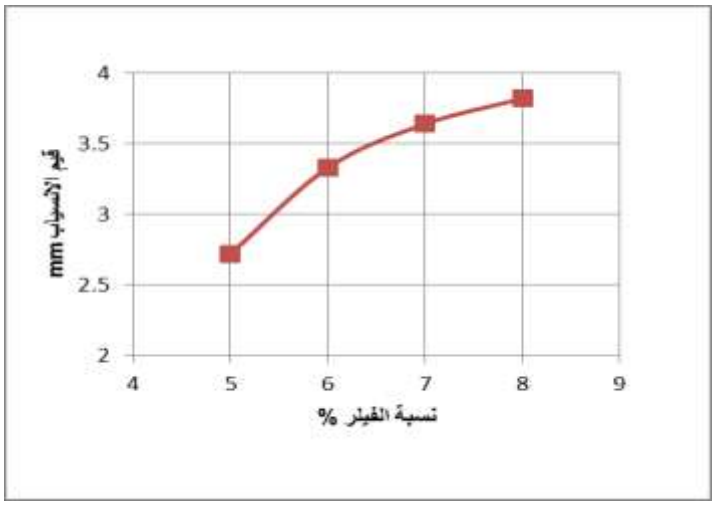
الشكل (4): قيم الثبات للخلطات المحتوية على نسب مختلفة من الفيلر

حسن غبار الرخام قيم ثبات مارشال عند محتوى فيلر 5% بمقدار 3.5% و 3.8% بالمقارنة مع مسحوق الحجر الكلسي والاسمنت البورتلاندي على التوالي، كما حسنها عند محتوى فيلر 6% بمقدار 5.7% و 7% بالمقارنة مع مسحوق الحجر الكلسي والاسمنت البورتلاندي على التوالي.

بعد النسبة 6% بدأ ثبات مارشال للخلطات المصممة باستخدام غبار الرخام كفيلر بالتناقص، حيث تناقصت قيم ثبات مارشال عند محتوى فيلر 7% بمقدار 12% بالمقارنة مع مسحوق الحجر الكلسي و 9.3% بالمقارنة مع الاسمنت البورتلاندي، كما تناقصت عند محتوى فيلر 8% بمقدار 12% بالمقارنة مع مسحوق الحجر الكلسي و 25% بالمقارنة مع الاسمنت البورتلاندي.

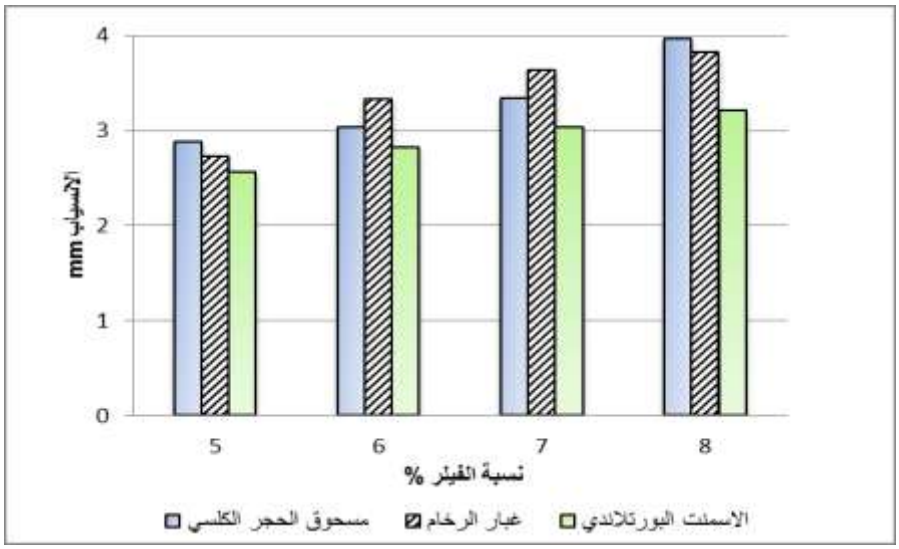
يُمكن أن يُعزى ذلك إلى زيادة إجهاد الالتصاق بوجود الإسمنت البورتلاندي الذي يمتلك نعومة أكبر و بالتالي سطح نوعي أكبر مقارنة بغبار الرخام و مسحوق الحجر الكلسي.

5-2- العلاقة بين نوع وكمية الفيلر وانسياب مارشال:



الشكل (5): تغير قيم الانسياب بتغير نسب غبار الرخام

نلاحظ من منحني انسياب مارشال بأن قيم الانسياب لجميع الخلطات المصممة باستخدام غبار الرخام ضمن حدود المواصفات العالمية المسموحة mm ASTM(4-2).

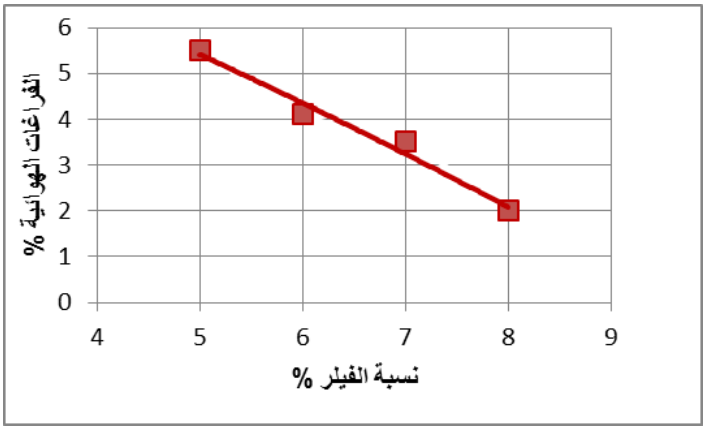


الشكل (6): قيم الانسياب للخلطات المحتوية على نسب مختلفة من الفيلر

نلاحظ بأن غبار الرخام قد زاد من قيم الانسياب بمقدار 9% عند النسبتين (6 ،7)% من الإضافة في حين تناقصت قيم الانسياب بمقدار 5.5% و 3.8% عند النسبتين (5،8)% من الإضافة على التوالي، وذلك بالمقارنة مع الخلطات المحتوية على مسحوق الحجر الكلسي.

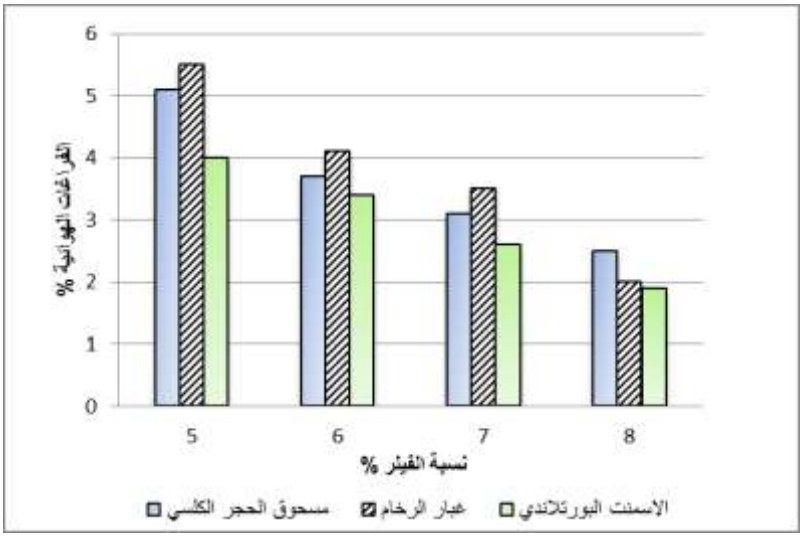
أما بالمقارنة مع الاسمنت البورتلاندي فقد أشارت النتائج إلى ازدياد قيم الانسياب بمقدار(6.3، 18، 19.7، 19)% عند محتويات الفيلر (5، 6، 7، 8)% على التوالي. مع بقائه ضمن حدود المواصفة في جميع الخلطات.

5-3- العلاقة بين نوع وكمية الفيلر ونسبة الفراغات الهوائية:



الشكل (7): تغير قيم الفراغات الهوائية بتغير نسب غبار الرخام

نلاحظ من المنحني السابق بأن قيم الفراغات الهوائية للخلطات الاسفلتية المصممة باستخدام غبار الرخام كفيلر عند النسبتين (6، 7)% كانت ضمن حدود المواصفات العالمية المسموحة ASTM (5-3)%. لكنها خرجت عن القيم المسموحة عند النسبتين (5، 8)% من الإضافة.



الشكل (8): نسب الفراغات الهوائية للخلطات المحتوية على نسب مختلفة من الفيلر

أدى استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية إلى زيادة نسب الفراغات الهوائية بمقدار(7.8، 10.8، 12.9)% عند محتويات الفيلر (5، 6، 7)% على التوالي إلى تناقصها بمقدار 20% عند محتوى القيلر 8% وذلك بالمقارنة مع مسحوق الحجر الكلسي، أما بالمقارنة مع الاسمنت البورتلاندي فقد أدت إلى زيادة نسب الفراغات الهوائية بمقدار(37.5، 20.6، 34.6، 5.3)% عند محتويات الفيلر (5، 6، 7، 8)%.

يُمكن تفسير ذلك بفعل القيم الكبيرة للنعومة و السطح النوعي الذي يمتلكها الإسمنت مقارنة مع غبار الرخام و مسحوق الحجر الكلسي. و هو ما يساعد في الحد من نسبة الفراغات الهوائية نسبياً.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1-يعطي استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم طبقات التغطية الاسفلتية السطحية عند النسبة 5% ثباتاً أعلى من حالة استخدام مسحوق الحجر الكلسي والاسمنت البورتلاندي مع بقاء قيم الانسياب ضمن حدود المواصفات المسموحة وخروج نسبة الفراغات الهوائية عن القيم المسموحة.

2-بلغت النسبة المثالية لاستخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية القيمة 6% من وزن الحصويات الكلي، حيث تحقق عند هذه النسبة أعلى قيمة لثبات مارشال مع بقاء قيم الانسياب والفراغات الهوائية ضمن حدود المواصفات.

3-تم التحقق من إمكانية استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية عند النسبة 7%، حيث أعطت الخلطات الاسفلتية المصممة عند هذه النسب قيم جيدة للثبات والانسياب والفراغات الهوائية وضمن حدود المواصفات المسموحة.

4-لوحظ خروج نسب الفراغات الهوائية عن القيم المسموحة عند استخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم الخلطات الاسفلتية عند النسبة 8%، مع بقاء قيم الثبات والانسياب ضمن حدود المواصفات.

التوصيات:

1. نوصي باستخدام غبار الرخام كفيلر في تصميم طبقات التغطية السطحية (الاهتراء) للطرق في سوريا، نظراً للفوائد البيئية والاقتصادية والهندسية المرجوة من هذا الاستخدام.

2. كما نوصي بإجراء بحوث أكثر حول تأثير غبار الرخام على الخلطات الاسفلتية في مرحلة الاستخدام.

3. يعد التحقق من الجدوى الفنية لاستخدام غبار الرخام في الخلطات الإسفلتية، نرى أنه من المفيد أيضاً البحث في تأثير غبار الرخام على طبقات (الأساس –ما تحت الأساس –تربة المسار).

المراجع:

1) Çelik M, Y. *Recycling of waste marble*. MSc thesis, Afyon Kocatepe University, Natural Science Institute, Department of Mining Engineering, Afyonkarahisar, Turkish, 1996.

2) Karasahin M, Terzi S (2007). Evaluation of marble dust in the mixture of asphaltic concrete. Const. Build. Mat., 21(3): 616-620.

3) CETIN, A. *Assessment of industrial wastes on asphalt concrete pavement mixtures.* MSc thesis, Anadolu University, Natural Science Institute, Department of Civil Engineering, Eskis-ehir, Turkish, 1997.

4) OKAGBUE, C. O; ONYEOBI, T. *Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction*. Engineering Geology 1999;53:371–80.

5) ZORLUER, I. *Stabilization of soils by waste marble dust. Proceeding of the fourth national marble symposium*. Afyonkarahisar, Turkish , December 2003. p. 305–11.

6) POON, C; CHAN, D. *Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base*. Construction and Building Materials 2005; 20: 578–85

7) KHDER, S. A; EL-DESOUKY, A; NAGY, N. *Use Of Marble Waste In Asphalt Mixtures.* Proceedings of the 8th ICCAE-8 Conference, 25-27 May, 2010.

8) AKBULUT, H; Gürer, C. *Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements.* Building and Environment 42 (2007) 1921–1930.

9) CHANDRA, S; KAMUR, P; FEYISSA, B. A. *Use of Marble Dust in Road Construction.* Road Materials and Pavement Design, Volume 3, No. 3/2002, pages 317-330.

10) Choudhary, R.; Chandra, S. *Granite and Marble Dusts as filler in Asphalt Concrete*. in Proceedings, First international conference on Transport Infrastructure, Beijing, China, 2008.

11) ABED, A. N; EADA, S. O, S. 2008. *The Use of Sulaimania Marble Waste to Improve The Properties of Hot Mix Asphalt Concrete*. Anbar Journal for Engineering Sciences, Iraq, 2012, 139-151.

12) BERHANU, A. F. Strength Characteristics of Bituminous Concrete With Different Types of Fillers, 2001.

13) ASTM, 2003. *Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures*. Annual Book of ASTM Standard, D3515-01, Vol. 04.03.

14) الشروط والمواصفات الفنية العامة للطرق والجسور، وزارة المواصلات، دمشق، سورية.