مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (3) العدد (٤) 2019
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (3) No. (4) 2019

تقييم استخدام غبار الإسمنت كمادة مالئة في الخلطات الإسفلتية

نغم طالب*

(تاريخ الإيداع ٩ / ١٢ / ٢٠١٨ . قُبل للنشر ١ / ٨ / ٢٠١٩)

الملخص

إن نوع المواد المالئة وكميتها الداخلة في تصميم الخلطة الإسفلتية من العوامل الرئيسة التي تؤثر على أداء المزيج الناتج . يهدف هذا البحث إلى التحقق من إمكانية استخدام غبار معامل الإسمنت (Cement Dust CD) والذي يعدّ أحد نفايات معمل إسمنت طرطوس، مادةٍ مالئة في الخلطات الإسفلتية الساخنة لزيادة صلابة ومقاومة الخلطات المعدلة مقارنة مع الخلطة التقليدية ، وذلك من خلال القيام بعمل مخبري جرى فيه تصميم خلطة إسفلتية وتحديد النسبة المثالية للإسفلت (٤,٩ %) ، ثم القيام باستبدال المادة المالئة بنسب (٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠ %) بغبار الإسمنت الناتج عن معمل طرطوس ، وقياس خواص مارشال . بينت النتائج أن قيم الثبات تزداد بازدياد نسبة الاستبدال؛ ويلاحظ تناقص نسبة الفراغات الهوائية مع بقائها ضمن الحدود المسموحة في المواصفات . خلصت الدراسة إلى أنه يمكن استخدام غبار الإسمنت مادةً مالئة في الخلائط الإسفلتية .

الكلمات المفتاحية : الخلطة الإسفلتية الساخنة ، المادة المالئة ، غبار الإسمنت ، ثبات مارشال .

* ماجستير في هندسة المواصلات والنقل – اختصاص طبقات رصف

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (3) العدد (٤) 2019

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (3) No. (4) 2019

Evaluation of the use of cement dust as a filler in asphalt mixtures

Nagham Talb *

(Received 9 / 12 / 2018 . Accepted 1 / 8 / 2019)

*** Abstract ***

type and quantity of the fillers involved in the design of asphalt mixtures are major factors that affect on performance of the mix result. This research aims to check possibility of using cement materials dust (CD), which is considered a waste of Tartous cement plant, as a filler in hot mix asphalt to increase the hardness and resistance of modified mixtures . Experimental study was carried out to design asphalt mix and determine optimum percentage of asphalt (4.9%). After that, the filler materials were replaced with CD using the following ratios (0, 25, 50, 75, 100) %,to measure Marshall's characteristic. The results showed that Marshall's stability values increased with increased replacement ratio and air voids decreased while remaining within the limits allowed in the specifications. The study concluded that cement dust can be used as a filler in asphalt mixtures **.**

Keywords: Hot Mix Asphalt, Filler, Cement Dust , Marshall Stability

* Master of Transportation and Transport Engineerin

مقدمة :

يستخدم المجبول الإسفلتي في الطبقة السطحية لرصف الطرق، وعلى نطاق واسع حول العالم ، وهو عبارة عن خليط متدرج يحتوي حصويات خشنة نسبتها (٥٠-٦٠%) ، حصويات ناعمة نسبتها (٤٠-٥٠%) ، مواد ناعمة مالئة بنسبة (٤-١٠%) ، وإسفلت بنسبة (٤-٦%) من الوزن الكلي للخلطة حيث يتم تسخين المادة الرابطة الإسفلتية إلى درجات حرارة وفقا للزوجة كافية وخلطها للحصول على مجبول إسفلتي ساخن . يعدّ نوع المواد المالئة وكميتها الداخلة في تصميم الخلطة الإسفلتية من الاهتمامات الرئيسة التي تؤثر على أداء المزيج الناتج .أجريت دراسات مختلفة لدراسة خصائص المواد المالئة لتقييم تأثيره على أداء الخلطة الإسفلتية الخاصة بطبقات الرصف من حيث : التأثير على اللزوجة ، الفراغات المليئة ، ثبات مارشال وصلابة الخلطة الإسفلتية . [١]

ينتج عن صناعة الإسمنت كميات كبيرة من الغبار المتطاير (Cement Dust)، وهي مواد شديدة النعومة تتراوح أقطارها بين nm (١٠-١٠٠)، ويبلغ PH لها (12) وتعدّ من مخلفات معامل الإسمنت ، يتكون غبار الإسمنت (CD) بشكل رئيس من أوكسيد الكالسيوم Cao، ومن الأكاسيد (Sio_2, AL_2O_3, Fe_2o_3, k_2o, Na_2o) [2]، ويعدّ هذا الغبار من المشاكل البيئية الضخمة بالنسبة للحكومات، لما يسببه من تلوث للهواء والمناطق المجاورة، بالإضافة إلى تأثيره الخطير على صحة الإنسان. أحد الحلول الممكنة لمعالجة هذه المشاكل البيئية الضخمة هي استخدام غبار معامل الإسمنت في أعمال إنشاء وبناء الطرق [3]. ويعدّ أحد هذه الاستخدامات لغبار الإسمنت هي محاولة استخدامه كمادة مالئة في الخلائط الإسفلتية .

الخواص العامة لغبار معامل الإسمنت تشبه إلى حد كبير خواص الإسمنت البورتلاندي، وبعض هذا الغبار يُعاد تدويره ثانية في الكلنكر، لكن المقدار محدود بسبب القلوية التي تفرضها متطلبات الإسمنت البورتلاندي ومشكلات تشغيل الكلنكر. و يبقى القسم الأكبر من هذه المواد في الموقع دون محاولة إعادة استخدامه أو استصلاحه، حيث تتولد الكميات الكبيرة من هذا الغبار خلال مرحلة تصنيع الإسمنت البورتلاندي [4]. تتأثر الخواص الفيزيائية والكيميائية لغبار معامل الإسمنت بعوامل مختلفة منها: نوعية المواد الخام (حجر كلسي – غضار – أكاسيد الحديد – السيليكات)، وبطريقة إدخال المواد الخام المطحونة لأفران معامل الإسمنت (الطريقة الرطبة– الطريقة الجافة)، نوع الفرن، الوقود، و بطرق ووسائل جمع غبار الإسمنت[4].

بحثت العديد من الدراسات استخدام غبار الإسمنت في مواد بناء الطرق؛ مثل استخدامه لتثبيت طبقات الأساس وماتحت الأساس الحصوية، واستخدامه كمادة معدلة للرابط الإسفلتي، أو كمادة مالئة في الخلائط الإسفلتية وأثره على تحسين خواص المجبول الإسفلتي . قدم (**Taha.2002**) دراسة لاستخدام غبار معامل الإسمنت كفيلر في تصميم الخلطات الإسفلتية، حيث تم تحضير ثلاث خلطات إسفلتية باستعمال مادة مالئة كلسية، وغبار معامل الإسمنت عند نسبتين %(١٣، ٥) من وزن المواد المالئة، وتوصلت الدراسة إلى أن استبدال الكلس بغبار معامل الإسمنت بنسبة ٥% (من وزن الكلس) يُعطي محتوى الرابط المثالي نفسه من الإسفلت للخلطة، بدون أي تأثير سلبي على خصائص الخلطة الإسفلتية، في حين أن استبدال الكلس بنسبة 13% من هذه المادة سيتطلب محتوى إسفلتي مثالياً أكبر، وسينتج عنه خلطة غير اقتصادية[5-4]. كما درس (**Ahmad and Mahmoud,2006**) إمكانية استخدام غبار الإسمنت الناتج من معامل الإسمنت الأبيض بديلاً عن بودرة الحجر الكلسي في الخلطات الإسفلتية. وتم في هذا البحث دراسة الخلطات الإسفلتية التي تحتوي نسباً مختلفة من غبار الإسمنت من الوزن الكلي لبودرة الحجر الكلسي الشائع استخدامه كأحد المكونات الرئيسة للخلطة الإسفلتية. واعتمدت هذه الدراسة على تقييم الخواص الميكانيكية لهذه الخلطات عن

طريق إجراء اختبارات مارشال، واختبار الشد غير المباشر، وكذلك اختبار الضغط الحر ، بينت نتائج اختبار مارشال زيادة قيمة الثبات ، ونقصان في قيم الانسياب ونسب الفراغات للخلطات الإسفلتية التي تمت دراستها مع زيادة نسبة غبار الإسمنت المستخدم ، كما أظهرت نتائج الاختبارات الميكانيكية زيادة كل من مقاومتي الشد غير المباشر والضغط للخلطات الإسفلتية بزيادة المحتوى من غبار معامل الإسمنت .[2]. استخدم (**Fadhil.etal,2013**) غبار معمل إسمنت أبيض مادة مالئة لتصميم الخلطات الإسفلتية، حيث تم استخدام أنواع مختلفة من المواد المالئة للفراغات (١٠٠% غبار إسمنت أبيض،٥٠% غبار إسمنت أبيض+٥٠% إسمنت، ١٠٠% إسمنت، ٥٠% غبار إسمنت أبيض+٥٠% كلس، ١٠٠% كلس)، وأشارت النتائج إلى ازدياد قيم الثبات للخلطات التي استخدم فيها غبار الإسمنت الأبيض، وتوصل الباحثون إلى إمكانية استخدام هذه المادة المتوفرة بكميات كبيرة كمادة مالئة في تصميم الخلطات الإسفلتية [6].

تناولت دراسات أخرى إمكانية الاستفادة من غبار معامل الإسمنت للتقليل من خطر الرطوبة على طبقات الرصف الإسفلتي، لاسيما وأن خطر الرطوبة يعدّ من العوامل الأساسية لانهيار هذا النوع من الرصف، حيث يتسرب الماء إلى طبقة المجبول الإسفلتي ويضعف كلاً من الرابط الإسفلتي والحصويات وصولاً إلى حدوث ظاهرة الانسلاخ Stripping ، وتحت تأثير الحركة المرورية المتكررة يمكن أن تظهر لدينا أنواع مختلفة من العيوب (منها التطاير والتعرية، النزف، الشقوق). حيث درس (**Anthony.2011**) ، إمكانية الاستفادة من غبار معامل الإسمنت مادة مالئة في تصميم الخلطات الإسفلتية، ومدى قدرته على الحد من خطر الرطوبة، حيث أضاف هذا الغبار بنسب مختلفة %(١، ٣، ٥، ٧) من الوزن الكلي للخلطة الإسفلتية ، وبينت نتائج الدراسة التأثير الإيجابي لاستخدام غبار الإسمنت مادة مالئة في المحافظة على الخلطات من خطر الرطوبة.[7].

أهمية البحث و أهدافه :

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات ومواد البناء، ويتخصص في تعديل الخلطات الإسفلتية الساخنة ، و يهدف هذا البحث إلى التحقق من إمكانية استخدام غبار معامل الإسمنت (CD) مادة مالئة في الخلطات الإسفلتية الساخنة لزيادة صلابة الخلطات المعدلة ومقاومتها مقارنة مع الخلطة التقليدية، وتحديد النسبة المثالية من غبار الإسمنت لاستخدامها في الخلطة المعدلة ، كما أن للبحث أهدافاً اقتصادية وبيئية تتجلى في إعادة استخدام نفايات معامل الإسمنت ومنها الغبار .

المواد المستخدمة في الدراسة التجريبية :

١- **الحصويات Aggregate** : استخدم في البحث حصويات كلسية قاسية مكسرة وقطر أكبر حبة لا يزيد عن ١٩ mm، تم الحصول عليها من أحد الكسارات الخاصة .

٢- **الإسفلت Asphalt** : تم استخدام نوع واحد من الإسفلت في تصميم عينات البحث ، الإسفلت المستخدم في الدراسة هو إسفلت ذو صنف (٦٠-٧٠)، وتم الحصول عليه من مصفاة بانياس، وجرى اختباره وفق المواصفات السورية .

٣- **غبار الإسمنت Cement Dust**: تم الحصول عليه من معمل إسمنت طرطوس؛ حيث تم جمعه مباشرة من قرب المداخن .

٤- العمل المخبري :

يستند البحث إلى دراسة مخبرية على عينات إسفلتية مصنعة وفقاً لطريقة مارشال في تصميم الخلائط الإسفلتية الساخنة ، ونبين فيما يلي تسلسل خطوات العمل المخبري :

- اختبارات الحصويات : وتشمل التحليل الحبي ، المكافئ الرملي ، لوس انجلوس ، الوزن النوعي والتشرب ومقارنتها مع المواصفات الفنية .
- اختبارات الإسفلت : وتشمل تجارب الغرز ، الاستطالة ، نقطة التمييع (الكرة والحلقة) ونقطتي الوميض والاشتعال؛ بغرض التأكد من مطابقة الإسفلت المستخدم في تحضير عينات الدراسة مطابق للمواصفات الفنية السورية المعمول بها .
- تصميم الخلطة الإسفلتية : بعد تحديد خواص الإسفلت وخواص الحصويات ، يتم تصميم خلطة إسفلتية حارة وفقاً لطريقة مارشال وبنسب إسفلت (٤,٠ ، ٤,٥ ، ٥,٠ ، ٥,٥ ، ٦,٠) ثم حساب عناصر مارشال و إيجاد نسبة الإسفلت المثالية.
- تصميم خلائط إسفلتية وبنسبة الإسفلت المثالية نفسها، مع استبدال المواد المالئة بغبار الإسمنت (CD) وبنسب إستبدال (٢٥ – ٥٠ –٧٥ – ١٠٠) % ومناقشة النتائج .

٥- النتائج والمناقشة :

٥-١- نتائج اختبار الحصويات والتركيب الحبي للخلطة الحصوية :

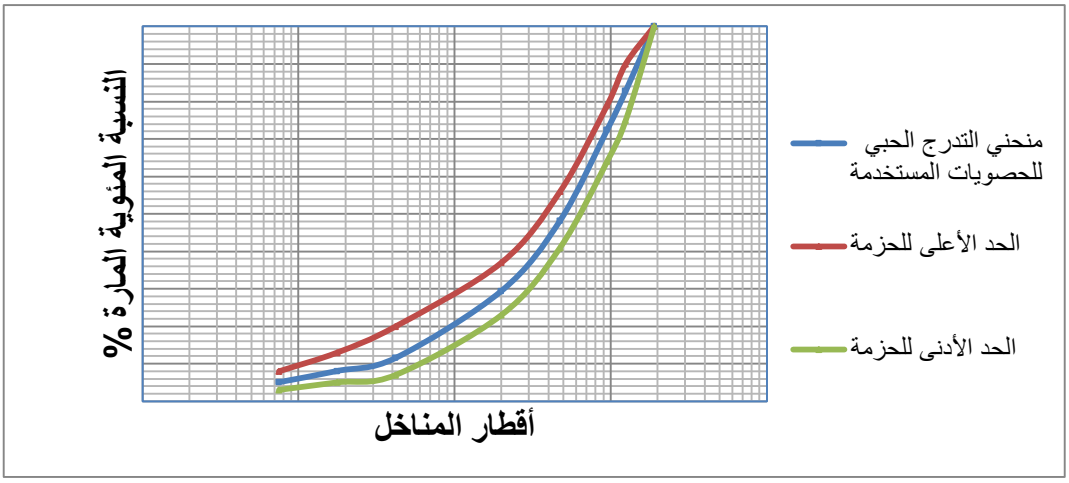
الجدول(١) نتائج اختبارات الحصويات

نوع الاختبار	نتيجة الاختبار
فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس %	**28**
حدود اتربرغ	**NP**
المكافئ الرملي %	**٧٤,٠**
التركيب الحبي	**موضح بالجدول المرفق**
الصلصال والكتل الطينية %	**0.0**
امتصاص الماء / للحصويات الخشنة %	**0.428**
امتصاص الماء / للحصويات الناعمة %	**0.551**
الوزن النوعي الفعال للخليط G_{se}	**2.568**

نلاحظ مما سبق أن الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية هي حصويات كلسية ومحققة للمواصفات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام ٢٠٠٢ .كما نبين في الجدول (٢) نتائج اختبار التركيب الحبي و الحزمة النظامية المعتمدة:

الجدول(٢) نتائج التحليل الحبي والحزمة النظامية المعتمدة

أقطار المناخل mm	النسبة المئوية المارة %	الحزمة النظامية وفق المواصفات السورية
١٩	١٠٠	١٠٠
١٢,٥	٨٢,٨	٩٠ – ٧٥
٩,٥	٧٢,٤	٧٩ – ٦٤
٤,٧٥	٤٨,٢	٥٦ – ٤١
٢	٢٩,٤	٣٧ – ٢٣
٠,٤٢٥	١١,٥	٢٠ – ٧
٠,١٨٠	٨,٠	١٣ – ٥
٠,٠٧٥	٥,٠	٨ – ٣



الشكل (١) التحليل الحبي والحزمة النظامية

٥-٢- نتائج اختبارات الإسفلت :

الجدول (٣) نتائج اختبار الإسفلت

نوع الاختبار	نتائج الاختبار	المتطلبات الفنية وفق ASTM D946
الغرز (Penetration Test) (25 °C)100g,5sec , (**0.1mm**)	**62.0**	60-70
نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest) (Cleveland cup open) (C°)	**درجة الوميض 275 °C**	min (232 C°)
	درجة الاشتعال 293 °C	
استطالة الإسفلت (الممطولية) (Ductility) (25 °C) 5cm/min ,**cm**	**110**	min 100.0
نقطة التميع (Softening Point Test) (°c)	**50.1**	٥٢-٤٨
النقص في الوزن (LOSS On Heating) (%)	**0.78**	Max 1 %

من نتائج الجدول (٣) نجد أن الإسفلت المستخدم في الدراسة هو من الصنف (٦٠-٧٠)، وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام ٢٠٠٢ .

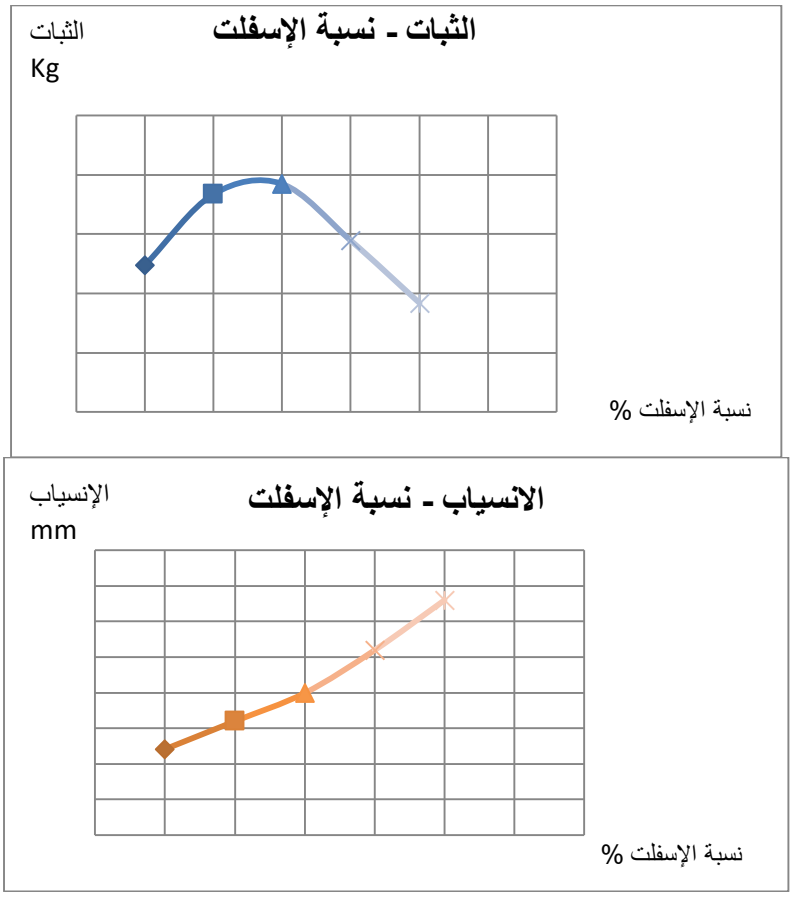
٥-٣- نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية وتحديد نسبة الإسفلت المثالية :

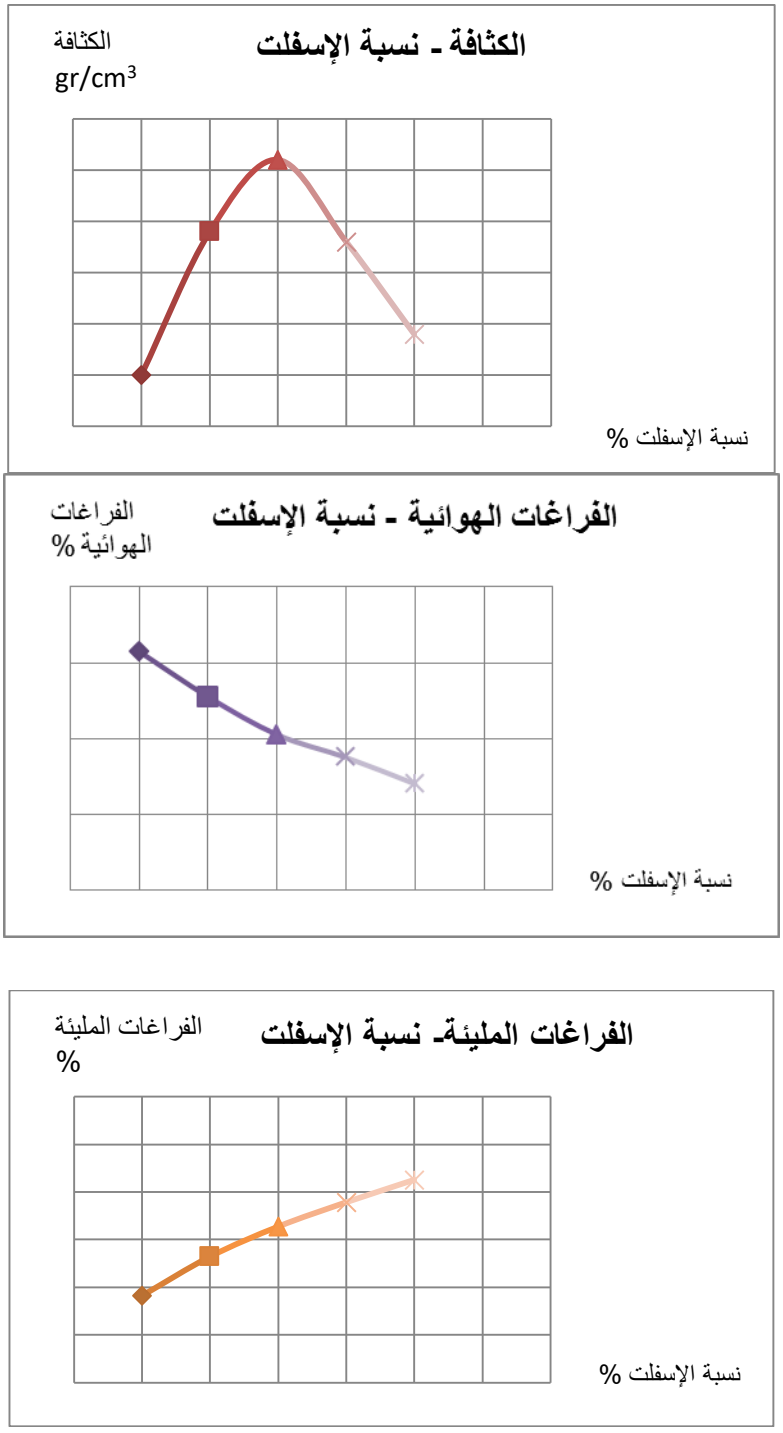
باعتماد طريقة مارشال لتصميم الخلائط الإسفلتية وفق المواصفة (ASTM D1559) ، تم تشكيل خلطة حصوية من التدرج الحبي المدروس للحصويات وخلطها بالرابط الإسفلتي بنسب (4.0 , 4.5 , 5.0 , 5.5 , 6.0 %) من وزن الخلطة الإسفلتية بعد تسخين الحصويات والإسفلت إلى درجة حرارة كافية لتغليف الحصويات بالإسفلت ، ثم صب ثلاثة عينات لكل نسبة مئوية بقوالب مارشال ، وفي اليوم التالي تم تحديد الكثافة الحجمية للعينات و إجراء اختبار مارشال لتحديد ثبات العينات وانسيابها، كما تم تحديد نسب الفراغات الهوائية والمليئة ، والنتائج مبينة في الجدول (٥):

الجدول(٥) نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية

الرقم	نسبة الإسفلت	كثافة مارشال	الفراغات المليئة VFB %	الفراغات الهوائية VA %	الثبات Kg	الانسياب mm
١	٤,٠	٢,٢٧٠	58.2	6.3	١٠٤٨	٢,٢
٢	٤,٥	٢,٢٨٤	66.4	5.1	١١٦٧	٢,٦
٣	٥,٠	٢,٢٩١	72.8	4.1	١١٨٥	٣,٠
٤	٥,٥	٢,٢٨٣	77.8	٣,٥	١٠٩٠	٣,٦
٥	٦,٠	٢,٢٧٤	٨٢,٦	2.8	٩٨٤	٤,٣

تم تحديد العلاقة بين نسب الإسفلت المضافة وخصائص مارشال لتحديد نسبة الإسفلت المثالية التي تحقق المتطلبات الأساسية للخلطة الإسفلتية، ولشروط طريقة التصميم وفق مارشال .





الشكل (٢) منحنيات مارشال

بالاعتماد على منحنيات مارشال (الثبات ، الانسياب ، الكثافة ، الفراغات الهوائية والمليئة) تم تحديد نسبة الإسفلت المثالية؛ ونبين في الجدول (٦) خصائص الخلطة الإسفلتية التصميمة ، باعتماد نسبة إسفلت أصولية (٤,٩ %) كمتوسط لنسبة الإسفلت التي تحقق أكبر قيمة للثبات ونسبة إسفلت محققة لكثافة أعظمية ونسبة فراغات هوائية (٤%) .

الجدول(٦) خصائص الخلطة الإسفلتية التصميمة

الخاصة	القيمة	الحدود المسموحة
نسبة الإسفلت المثالية %	4.9	-
الثبات (Kg)	١١٨٠	١١٠٠<
الانسياب (mm)	٣,٠	2 – 4
الكثافة (gr/cm^3)	٢,٢٩٠	-
نسبة الفراغات الهوائية (%)	٤,٣	3 – 5
نسبة الفراغات الهوائية (%)	٧٢,٠	٦٥ – ٨٥

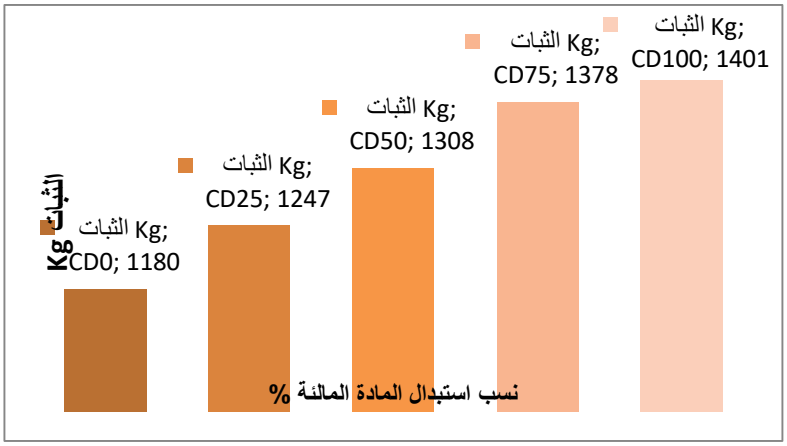
٥-٤- نتائج مواصفات الخلطة عند نسبة الاستبدال بغبار الإسمنت CD :

جرى استخدام مادة غبار الإسمنت (CD) مادة استبدال عن المواد المالئة الكلسية في الخلطة الإسفلتية من خلال تصميم خلائط إسفلتية وبنسبة الإسفلت المثالية نفسها، مع استبدال المواد المالئة بمادة غبار الإسمنت وبنسب استبدال (٢٥ – ٥٠ –٧٥ – ١٠٠) % ، وتقييم ودراسة نتائج تأثير إضافة غبار الإسمنت على بارمترات الخلطة الإسفلتية، نبين في الجدول (٧) نتائج الثبات والانسياب عند نسب الاستبدال وحساب قيم صلابة مارشال Marshall Stiffness.

الجدول(٧) نتائج الثبات والانسياب عند الاستبدال بغبار الإسمنت CD

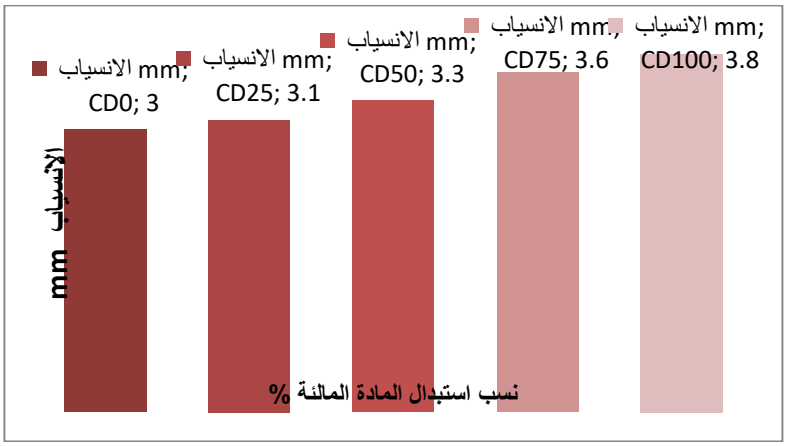
الخلطة	نسبة المادة المالئة الكلسية%	نسبة غبار الإسمنت %	الثبات Kg	الانسياب mm	صلابة مارشال
CD0	١٠٠	٠,٠	١١٨٠	٣,٠	**3.9**
CD25	٧٥	٢٥	١٢٤٧	٣,١	**4.0**
CD50	٥٠	٥٠	١٣٠٨	٣,٣	**4.0**
CD75	٢٥	٧٥	١٣٧٨	٣,٦	**3.8**
CD100	٠,٠	١٠٠	١٤٠١	٣,٨	**3.7**

بينت النتائج أن قيم ثبات مارشال تزداد بازدياد نسبة الاستبدال ، حيث ازدادت بنسبة (٥,٧ %) عند الاستبدال (25 %) ، وازدادت بنسبة (10.8 %) عند استبدال المادة المالئة بنسبة (50 %) ، أما عند الاستبدال بنسبة (75 %) فقد ازدادت قيم ثبات مارشال بنسبة (١٦,٨ %) ، وبنسبة (18.7 %) عند الاستبدال (100 %) ، ويبين الشكل (٣) العلاقة بين قيم الثبات ونسب الاستبدال .



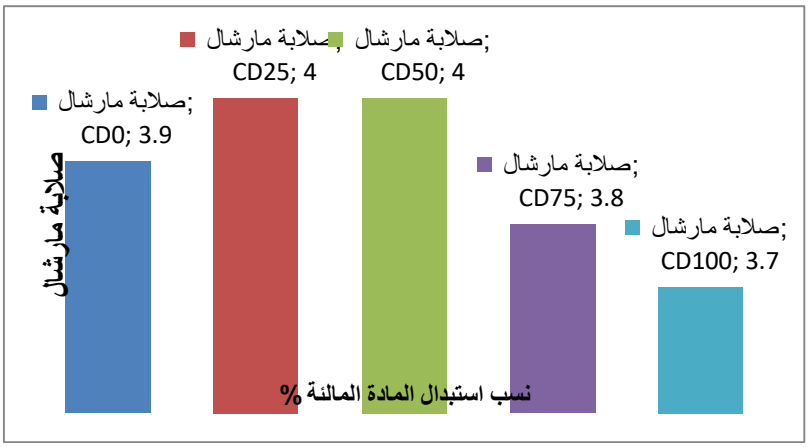
الشكل(٣) مقارنة قيم الثبات عند الاستبدال نسب من غبار الإسمنت

أما بالنسبة إلى قيم الانسياب فنلاحظ من النتائج ازدياد قيم الانسياب بزيادة نسب الاستبدال ، حيث وصلت نسبة الزيادة في قيم الانسياب عند الاستبدال بنسبة (١٠٠ %) إلى النسبة (27%) .



الشكل(٤) مقارنة قيم الانسياب عند الاستبدال بنسب من غبار الإسمنت

و نبين في الشكل (٥) العلاقة بين نسب الاستبدال وصلابة مارشال ، حيث يلاحظ ازدياد قيم صلابة مارشال بزيادة نسبة الاستبدال عند النسبتين (٢٥ و ٥٠ %)، ثم تعود صلابة مارشال للانخفاض بالرغم من ارتفاع قيم الثبات؛ ويعود ذلك إلى ازدياد قيم الانسياب مع زيادة نسبة الاستبدال ، وبقيت قيم صلابة مارشال بالمجمل ضمن القيم المقبولة (تشترط المواصفات قيم لصلابة مارشال أكبر من ٢,١).



الشكل(٥) مقارنة قيم صلابة مارشال عند الاستبدال بنسب من غبار الإسمنت

كما نبين في الجدول (٨) تأثير نسب الاستبدال على نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المليئة في الخلطة الإسفلتية .

الجدول(٨) نتائج نسب الفراغات عند الاستبدال بغبار الإسمنت CD

الخلطة	نسبة المادة المالئة الكلسية %	نسبة غبار الإسمنت %	الفراغات الهوائية VA %	الفراغات المليئة VFB %
CD0	١٠٠	٠,٠	٤,٣	٧٢,٠
CD25	٧٥	٢٥	٤,١	٧٣,١
CD50	٥٠	٥٠	٣,٨	74.9
CD75	٢٥	٧٥	٣,٥	77.3
CD100	٠,٠	١٠٠	٣,١	٧٨,٨

بينت النتائج انخفاض نسبة الفراغات الهوائية مع زيادة نسبة الاستبدال كما هو مبين في الشكل (٦)، حيث انخفضت من (٤,٣ %) إلى (٣,١ %) أي بنسبة انخفاض (٢٨ %) ، وهذه النسب تقع ضمن الحدود المسموحة للفراغات التي تنص عليها المواصفات السورية ، ويؤثر هذا الانخفاض تأثيراً إيجابياً على ديمومة الخلائط الإسفلتية عبر تخفيض الأثر السلبي لتأثير نفاذية الماء عبر الخلائط ، بينما ازدادت نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت من (٧٢,٠ %) عند خلطة إسفلتية بدون استبدال إلى (٧٨,٨ %) عند نسبة استبدال ١٠٠ % كما هو مبين في الشكل (٧) ، وهذا يترجم ارتفاع الثبات مع زيادة نسب الاستبدال .

الشكل(٦) مقارنة قيم الفراغات الهوائية عند الاستبدال بغبار الإسمنت

الشكل(٧) مقارنة قيم الفراغات المليئة عند الاستبدال بغبار الإسمنت

الاستنتاجات والتوصيات :

١-بينت نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية وفق طريقة مارشال أن النسبة المثالية للإسفلت هي (4.9 %) والتي عندها تتحقق المتطلبات الفنية الخاصة بالخلطة الإسفلتية .

٢-ازدادت قيمة ثبات مارشال مع زيادة نسبة الاستبدال بغبار الإسمنت (CD) ، ووصلت أقصى قيمة للثبات (١٤٠١ Kg) أي ازدادت قيمة الثبات بنسبة (١٨,٧%) ، كما ازدادت قيمة الانسياب مع زيادة نسبة غبار الإسمنت ووصلت أقصى قيمة للانسياب إلى ٣,٨ ، مع بقاء جميع قيم الانسياب ضمن القيم المسموحة التي تنص عليها المواصفات .

٣-بينت نتائج الدراسة اختلافاً في قيم صلابة مارشال حيث تزداد مع زيادة نسبة الاستبدال حتى نسبة (٥٠%) ثم تعود للتناقص مع بقاء القيم ضمن الحدود المسموحة .

٤-هناك تأثير إيجابي للاستبدال من خلال تناقص النسبة المئوية للفراغات الهوائية مع زيادة نسبة المادة المالئة من غبار الإسمنت ووصلت إلى ٣,١ % عند نسبة استبدال ١٠٠ % ، حيث وصلت النسبة المئوية لنقصان نسبة الفراغات الهوائية إلى ٢٧,٩%، مع بقاء جميع القيم ضمن الحدود المسموحة .

٥-تعدّ نسبة الاستبدال (٥٠ %) من غبار الإسمنت هي نسبة مثالية للاستبدال كمادة مالئة في الخلطات الإسفلتية؛ حيث تكون قيم الثبات وصلابة مارشال مرتفعة مقارنة مع الخلطة بدون الاستبدال.

٦-نوصي بالبحث في إمكانية إضافة غبار الإسمنت إلى الإسفلت لتعديل الخواص الريولوجية للإسفلت .

٧-نوصي بدراسة خواص أخرى للخلائط الإسفلتية المعدلة باستخدام غبار الإسمنت والتثبت منها حقلياً وخلال مرحلة الاستخدام من قبل العربات .

المراجع :

1-Richard C.M., " Effects of Aggregate and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance", *ASTM, Philadelphia*, 1992.

2-AHMED, H, Y؛, M, MAHMOUD, A. " Effect of Using Waste Cement Dust As A Mineral filler On The Mechanical Properties Of Hot Mix Asphalt *". Ass. Univ. Bull. Environ. Res Egypt,* Vol. 9. 1, March 2006, 51-59.

3-OTHMAN. A؛ WAHED. T. " Creep Compliance Characteristics of Cement Dust Asphalt Concrete Mixtures ". *Structural And Construction Engineering,* seek digital library, CSCE, 2014, 88-91.

4-Taha, R, ؛ Al-Rawas, R. ؛ Qatan, A, ؛ Al-Harthy, A, S." Use of Cement Bypass Dust as Filler in Asphalt Concrete Mixtures". Journal of Materials in Civil Engineering 14(4) · *August 2002* . *10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:4(338)*

5-TOMAR, R؛ JAIN, R؛ KOSTHA, M. " EFFECT OF FILLERS ON BITUMINOUS PAVING MIXES ". International Journal Of Engineering Research And Science & *Technology, Volume 2, 4, November* 2013, 137-142.

6-FADHIL, T, H؛ JASIM, S. S؛ AZIZ, K, E؛ AHMED, A, A. " Influence Of Using Cement Kiln Dust As A Mineral Filler In Hot asphalt Mixture Properties". *International Journal Of Civil Engineering And Technology(IJCIET), Volume 4,* Issue 1, 2013, 87-96.

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

8-*ASTM D 1559.* 1989. Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA