

## البحث في إمكانية استخدام الرماد المتطاير كمادة فيلر في الخلائط الإسفلتية

الدكتور بسام سلطان \*

(تاريخ الإيداع 10 / 4 / 2018. قُبل للنشر في 9 / 8 / 2018)

### □ ملخص □

يستخدم المجدول الإسفلتي في الطبقة السطحية لرصيف الطرق وعلى نطاق واسع حول العالم ، يتألف المجدول الإسفلتي من الحصويات الخشنة والناعمة والفيلر والمادة الرابطة أي الإسفلت . يعتبر الرماد المتطاير FA أحد النفايات الرئيسية لمحطات الطاقة الحرارية وتوليد الطاقة التي تعتمد على الفحم الحجري ، ويتوفر بكميات كبيرة ولا يوجد استخدام له . تهدف هذا الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام الرماد المتطاير كمادة فيلر في الخلائط الإسفلتية الحارة واستخدامه كبديل عن المواد المألوفة الطبيعية من خلال القيام بعمل مخبري تم فيه تصميم خلطة إسفلتية وتحديد النسبة المثالية للإسفلت (5.1 % ) ، ومن ثم القيام باستبدال مادة الفيلر بنسب (0 ، 25 ، 50 ، 75 ، 100 %) بالرماد المتطاير FA ، وقياس خواص مارشال . بينت النتائج أن قيم ثبات مارشال تزداد بازدياد نسبة الاستبدال ويلاحظ تنقاص قيم صلابة مارشال مع بقائها ضمن الحدود المسموحة في المواصفات . خلصت الدراسة إلى أنه يمكن استخدام الرماد المتطاير كمادة فيلر في الخلائط الإسفلتية .

الكلمات المفتاحية : الخلطة الإسفلتية ، الفيلر ، الرماد المتطاير ، ثبات مارشال .

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## Use fly ash as a filler material in asphalt mixtures

Dr. Bassam Soultan \*

(Received 10 / 4 / 2018. Accepted 9 / 8 / 2018)

### □ ABSTRACT □

Asphalt concrete is used in the surface layer of road paving and is widely used around the world. Asphalt concrete consists of coarse aggregate , fine aggregate, filler and asphalt binder. Fly ash FA is one of the main wastes of coal-fired thermal and coal-fired power plants and is available in large quantities and has no use. The aim of this study is to evaluate the possibility of using fly ash as a filler material in hot asphalt mixtures and to use it as an alternative to natural fillers by performing laboratory work in which the asphalt mixture is designed and the optimal ratio of asphalt is determined . Then replace the filler material with 0, 25, 50, 75 and 100% with fly ash . The results showed that Marshall's stability values increased with increased replacement ratio and observed that Marshall's hardness values were decreased while remaining within the tolerable limits of the specifications. The study concluded that fly ash can be used as a filler in asphalt mixtures.

**Keywords:** Asphalt mixture, Filler, fly ash, Marshall Stability

---

\*Assistant Professor , Department of Traffic and Transportation , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Syria .

## مقدمة :

يتزايد الطلب المتسارع في هذه الأيام على البنية التحتية للطرق من حيث حمولات النقل وخدمة حياة طبقات الرصف . تشهد الطرق زيادة في عدد المركبات (تقدر دراسات زيادة عدد المركبات بنسبة 95.4 % في الفترة بين 1980 إلى 2010) ، وزيادة في عمليات الشحن . [3] يستخدم المجدول الاسفلتي في الطبقة السطحية لرصف الطرق وعلى نطاق واسع حول العالم ، يتألف المجدول الاسفلتي من الحصويات الخشنة والناعمة والفيلر والمادة الرابطة أي الاسفلت والتي يتم تسخينها إلى درجات حرارة وفقاً لزوجة كافية وخطها للحصول على مجبول اسفلتي . [3]

المجدول الاسفلتي عبارة عن خليط متدرج يحتوي على حصويات خشنة (50-60%) ، وحصويات ناعمة (40-50%) وفيلر بنسبة (4-10%) واسفلت بنسبة (4-6%) من الوزن الكلي للخلطة . يعتبر نوع وكمية الفيلر الداخلة في تصميم الخلطة الاسفلتية من الاهتمامات الرئيسية التي تؤثر على أداء المزيج . أجريت دراسات مختلفة لدراسة خصائص الفيلر لتقييم تأثيره على أداء خلطات طبقات الرصف من حيث : التأثير على اللزوجة ، الفراغات المليئة ، ثبات مارشال وصلابة الخلطة . [1]

نتيجة لانتشار نفايات ومخلفات الصناعة ومنها الرماد المتطاير Fly Ash فقد ذهبت الأبحاث إلى دراسة استثمار هذه المخلفات في الخلائط الاسفلتية بهدف تحسينها أو حتى إيجاد فرصة لاستثمار مثل هذه المخلفات . يعتبر الرماد المتطاير FA أحد النفايات الرئيسية لمحطات الطاقة الحرارية وتوليد الطاقة التي تعتمد على الفحم الحجري . وفي الأماكن المحيطة بمثل هذه المحطات يتوفر الرماد المتطاير بكميات كبيرة ولا يوجد استخدام له ، والذي يسبب مشاكل خطيرة في التخلص من نفاياته . ومن هنا نقوم في هذه الدراسة بمحاولة الاستفادة من الرماد المتطاير (المر من المنخل N200) كمادة فيلر في الخلطات الاسفلتية ودراسة خواص الخلطة الناتجة . [2،4]

يصنف الرماد المتطاير المتولد عن حرق الفحم نموذجياً إلى صنفين حسب ASTM الصنف C والصنف F. يتألف الرماد المتطاير من مواد غير عضوية توجد في الفحم. تتصلب هذه المواد عند تعليقها في العادم ويتم تجميعها من العادم من خلال المرشحات الكهربائية الساكنة و يحتوي الرماد المتطاير عادة على 70 % على الأقل من أكسيد السيليوم  $SiO_2$  بجزيئات مقاسها تتراوح من 1 ميكرومتر حتى 1 مم ، و يتضمن الرماد المتطاير أكاسيد الحديد والألمنيوم والسيليكون والكربون غير المؤكسد (ASTM C618). بحثت العديد من الدراسات استخدام الرماد المتطاير في الخلائط الاسفلتية وأثره على تحسين خواص المجدول الاسفلتي ، قام (Zimmer 2010) بدراسة تأثير إضافة الرماد المتطاير FA على البيتومين بشكل مباشر وتأثيره على الخواص الريولوجية للبيتومين ومن ثم تصميم خلائط بيتومينية باستخدام البيتومين المعدل بإضافة الرماد ، ووجد أن قيم الثبات تزداد للخلائط المصممة باستخدام البيتومين المعدل بالرماد [2]. درس (Sobolev 2011) إمكانية استخدام الرماد المتطاير كفيلر في الخلائط الاسفلتية [4]، و قدم (Sobolev 2012) دراسة لتأثير الرماد المتطاير على الخواص الريولوجية للمواد البيتومينية [3]. بحث (Zhanliang 2012) تأثير استبدال الفيلر بالرماد المتطاير على ثبات الخلطات البيتومينية في درجات الحرارة المرتفعة ، وخلص إلى وجود تأثير إيجابي لاستبدال الفيلر الكلسي بالرماد المتطاير على الثبات كما له فائدة بيئية واقتصادية في التخلص من نفايات الرماد . [6]

## أهمية البحث و أهدافه :

تأتي أهمية البحث من الحاجة لإيجاد طريقة لاستثمار نفايات الرماد المتطاير في أعمال الرصف الطرقي بما توفره من فائدة اقتصادية وبيئية . ويهدف هذا البحث إلى : دراسة وتقييم إمكانية استخدام الرماد المتطاير الناتج عن المحطات الحرارية ومصافي النفط كمادة مالئة في الخلطات الإسفلتية الحارة واستخدامه كبديل عن المواد المالئة الطبيعية ، دراسة مدى تأثير إضافة الرماد المتطاير كمادة مالئة على الخلطات الإسفلتية الحارة ، ومقارنة أداء الخلطات المصممة بنسب مختلفة من الرماد المتطاير مع المواصفات والشروط العامة للطرق المعمول بها في سوريا .

## طرائق البحث ومواده:

### مواد البحث :

- 1- الإسفلت Asphalt : تم استخدام نوع واحد من الإسفلت في تصميم عينات البحث ، الإسفلت المستخدم في الدراسة هو اسفلت ذو صنف (60-70) وتم الحصول عليه من مصفاة بانياس وتم اختياره وفق المواصفات السورية .
- 2- الحصى Aggregate : استخدم في البحث حصويات كلسية قاسية مكسرة و قطر أكبر حبة لا يزيد عن 19 mm ، تم الحصول عليها من أحد الكسارات الخاصة قرب مدينة اللاذقية .
- 3- الرماد المتطاير Fly Ash : تم الحصول عليه من مصفاة بانياس .

### العمل المخبري :

- يستند البحث إلى دراسة مخبرية على عينات اسفلتية مصنعة وفقاً لطريقة مارشال في تصميم الخلطات الإسفلتية الحارة ، وفيما يلي تسلسل خطوات العمل المخبري :
- اختبارات الإسفلت : وتشمل تجارب الغرز ، الاستطالة ، نقطة التميع (الكرة والحلقة) ونقطتي الوميض والاشتعال بغرض التأكد من مطابقة البيتومين المستخدم في تحضير عينات الدراسة مطابق للمواصفات الفنية السورية المعمول بها .
  - اختبارات الحصى : وتشمل التحليل الحبي ، المكافئ الرملي ، لوس انجلوس ، الوزن النوعي والتشرب ومقارنتها مع المواصفات الفنية .
  - تصميم الخلطة الإسفلتية : بعد تحديد خواص الإسفلت وخواص الحصى ، يتم تصميم خلطة اسفلتية حارة وفقاً لطريقة مارشال وبنسب اسفلت (4.0 ، 4.5 ، 5.0 ، 5.5 ، 6.0) ثم حساب عناصر مارشال و إيجاد نسبة الاسفلت المثالية
  - تصميم خلطات اسفلتية وبنفس نسبة الاسفلت المثالية مع استبدال المواد المالئة بالرماد المتطاير وبنسب إستبدال (25 - 50 - 75 - 100) % ومناقشة النتائج .

**النتائج والمناقشة :**

أولاً : نتائج اختبار الاسفلت

الجدول (1) نتائج اختبار الاسفلت

المتطلبات الفنية وفق ASTM D946	نتائج الاختبار	نوع الاختبار
60-70	63.0	الغرز (Penetration Test) 77F(25C°)100g,5sec
) min 450(232 C	درجة الوميض C 291°	نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest) (Cleveland cup open ) (C
	درجة الاشتعال C 298°	
min 100.0	107	استطالة الاسفلت (المطولية) (Ductility) 77F(25C°) 5cm/min ,cm
52-48	49.6	نقطة التميع (Softening Point Test) (°c)
Max 1 %	0.7	النقص في الوزن (LOSS On Heating) (%)

من النتائج السابقة نجد أن الاسفلت المستخدم في الدراسة هو من الصنف (60-70) وهو محقق للمتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002 .

**ثانياً : نتائج اختبار الحصى والتركيب الحبي للخلطة الحصى**

الجدول(2) نتائج اختبارات الحصى

نتيجة الاختبار	نوع الاختبار
31	فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس %
NP	حدود اتربرغ
76.0	المكافئ الرملي %
موضح بالجدول المرفق	التركيب الحبي
0.0	الصلصال والكتل الطينية %
0.239	امتصاص الماء / للحصويات الخشنة %
0.340	امتصاص الماء / للحصويات الناعمة %

نلاحظ مما سبق أن الحصى المستخدمة في تصميم الخلطة الاسفلتية هي حصى كلسية ومحققة للمواصفات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002 .

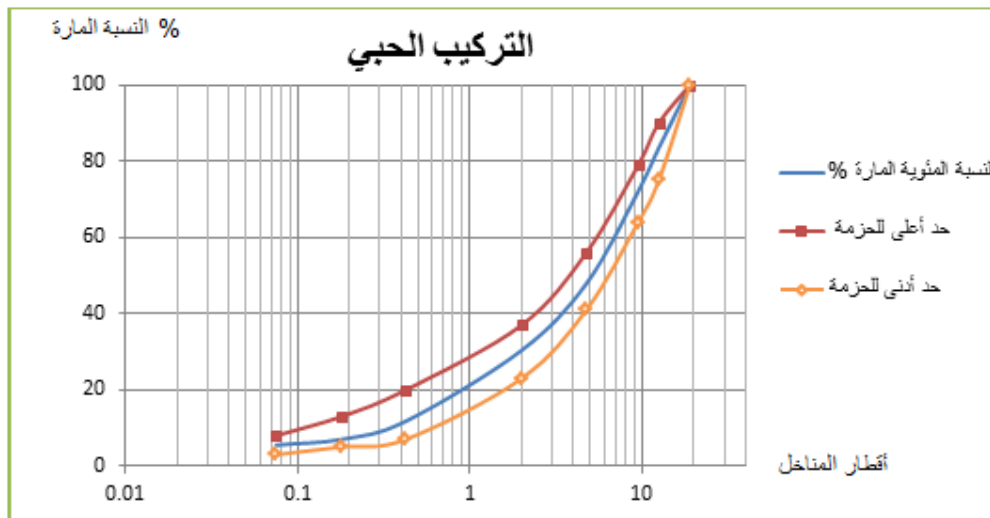
الجدول (3) نتائج الأوزان النوعية

2.603	الوزن النوعي الفعال للحصويات الخشنة $G_{se}$
2.628	الوزن النوعي الفعال للحصويات الناعمة $G_{se}$
2.615	الوزن النوعي الفعال للمزيج $G_{se}$
2.108	الوزن النوعي الفعال للرماد المتطاير $G_{se}$

نبين في الجدول (4) نتائج اختبار التركيب الحبي و الحزمة النظامية المعتمدة

الجدول (4) نتائج التحليل الحبي والحزمة النظامية المعتمدة

الحزمة النظامية وفق المواصفات السورية	النسبة المئوية المارة %	أقطار المناخل mm
100	100	19
90 - 75	83.5	12.5
79 - 64	72.1	9.5
56 - 41	47.9	4.75
37 - 23	30.4	2
20 - 7	11.8	0.425
13 - 5	7	0.180
8 - 3	5.5	0.075

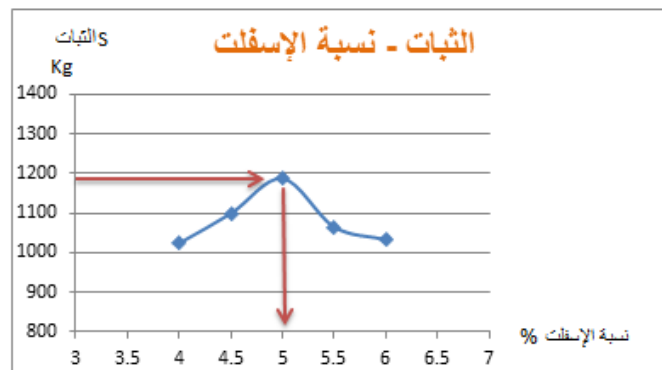


الشكل (1) التحليل الحبي والحزمة النظامية

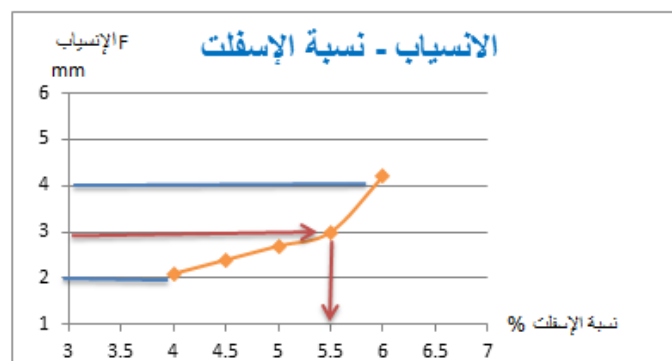
ثالثاً : نتائج تصميم الخلطة الاسفلتية لحساب نسبة الاسفلت المثالية :

الجدول(5) نتائج تصميم الخلطة الاسفلتية

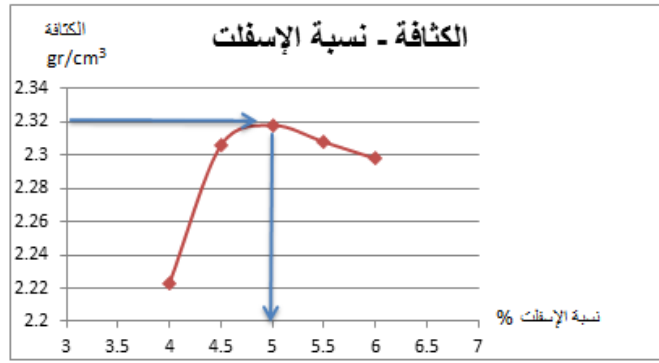
الانسياب mm	الثبات Kg	الفراغات الهوائية VA %	الفراغات المليئة VFB %	كثافة مارشال	نسبة الإسفلت	الرقم
2.1	1024	9.8	46.9	2.223	4.0	1
2.4	1099	5.7	63.8	2.306	4.5	2
2.7	1187	4.5	71.3	2.318	5.0	3
3.0	1065	4.3	74.3	2.308	5.5	4
4.2	1033	4.0	77.0	2.298	6.0	5



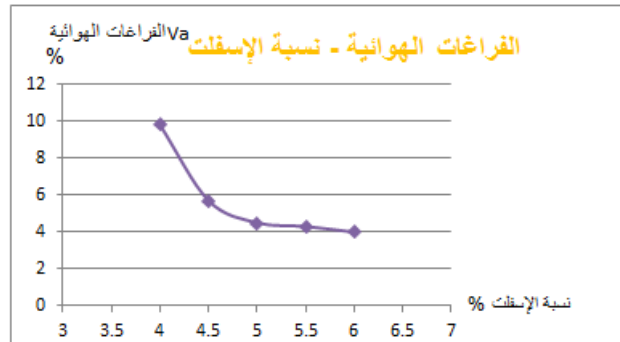
الشكل (2) العلاقة بين الثبات ونسبة الاسفلت



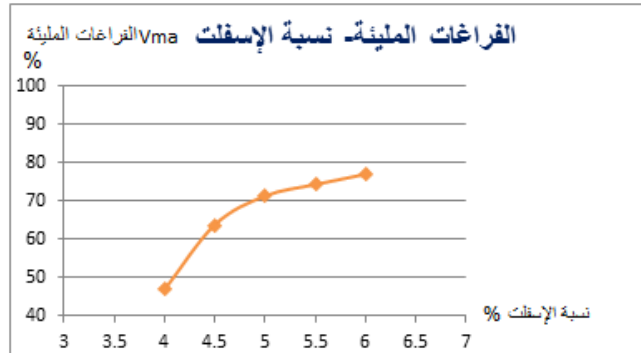
الشكل (3) العلاقة بين الانسياب ونسبة الاسفلت



الشكل (3) العلاقة بين الانسياب ونسبة الاسفلت



الشكل (4) العلاقة بين الفراغات الهوائية ونسبة الاسفلت



الشكل (5) العلاقة بين الفراغات المليئة ونسبة الاسفلت

تعتمد نسبة اسفلت مثالية 5.1 % ، والتي تتحقق عندها متطلبات تصميم الخلطة .

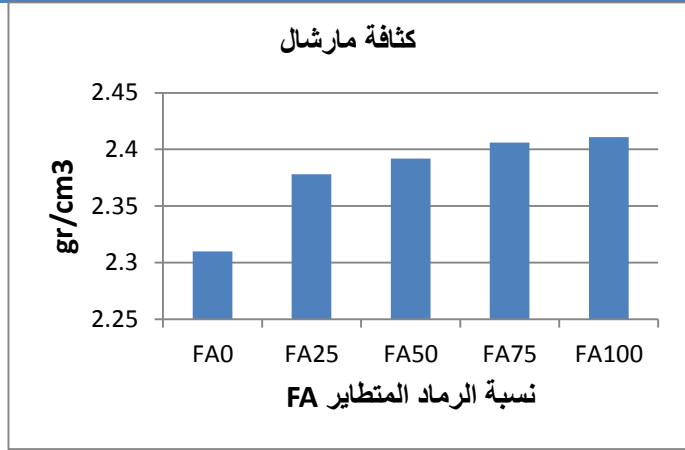
رابعاً : نتائج بارمترات الخلطة الاسفلتية (نسبة اسفلت مثالية 5.1 %) عند نسب الاستبدال بالرماد المتطاير :

الجدول (6) نتائج كثافة مارشال والفراغات الهوائية والمليئة عند الاستبدال بالرماد المتطاير

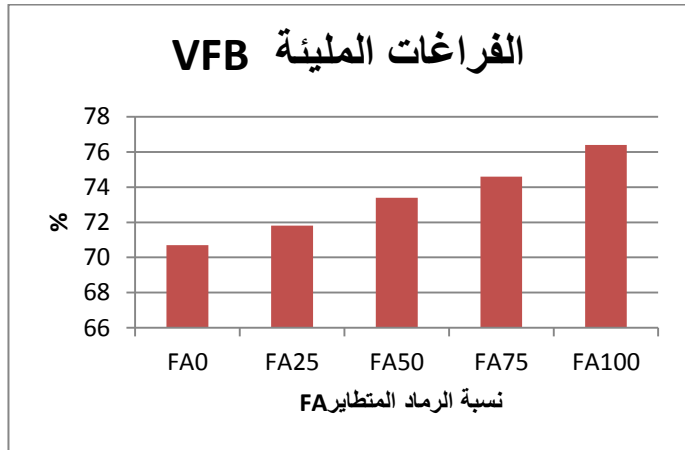
كثافة مارشال والفراغات					
نسبة الاستبدال	0.0	25	50	75	100
كثافة مارشال gr/cm³	2.310	2.378	2.392	2.406	2.411



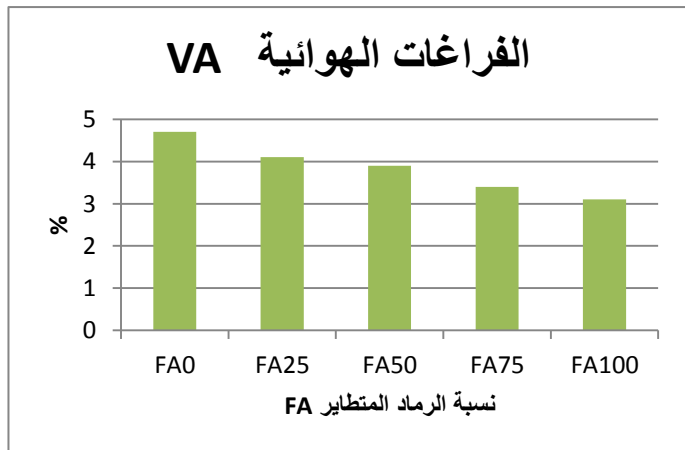
76.4	74.6	73.4	71.8	70.7	الفراغات المليئة VFB %
3.1	3.4	3.9	4.1	4.7	الفراغات الهوائية % VA



الشكل (6) مقارنة قيم كثافة مارشال عند الاستبدال بالرماد المتطاير



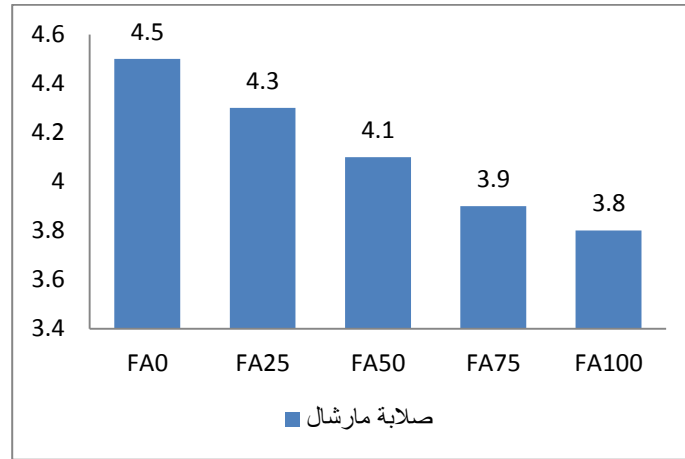
الشكل (7) مقارنة قيم الفراغات المليئة عند الاستبدال بالرماد المتطاير



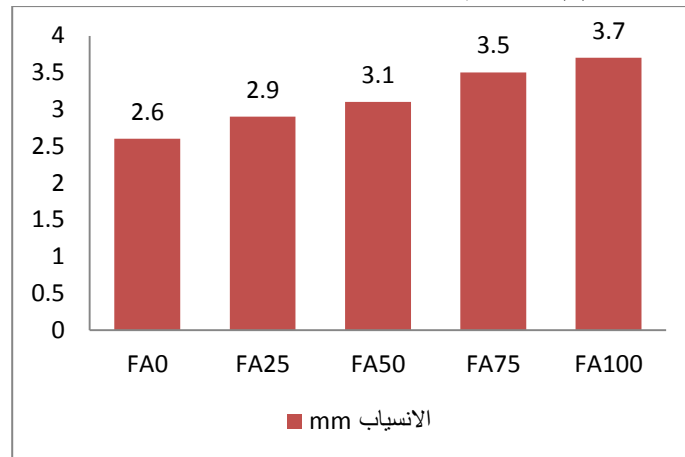
الشكل (8) مقارنة قيم الفراغات الهوائية عند الاستبدال بالرماد المتطاير

الجدول (7) نتائج الثبات والانسياب وصلابة مارشال عند الاستبدال بالرماد المتطاير

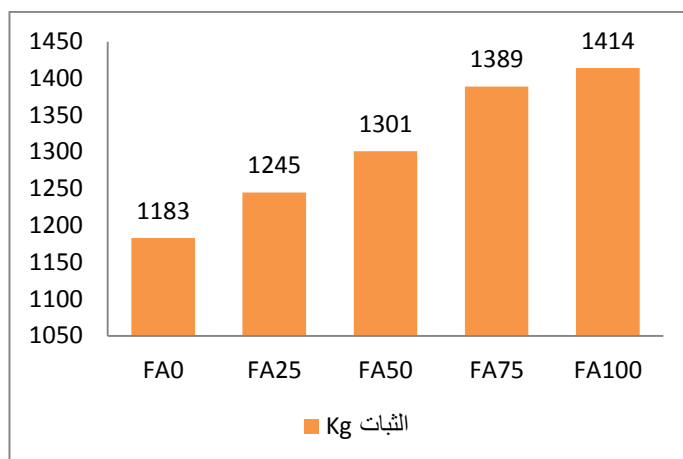
الثبات والانسياب					
نسبة الاستبدال	0.0	25	50	75	100
الثبات Kg	1183	1245	1301	1389	1414
الانسياب mm	2.6	2.9	3.1	3.5	3.7
صلابة مارشال	4.5	4.3	4.1	3.9	3.8



الشكل (9) مقارنة قيم صلابة مارشال عند الاستبدال بالرماد المتطاير



الشكل (10) مقارنة قيم الانسياب عند الاستبدال بالرماد المتطاير



الشكل (10) مقارنة قيم الثبات عند الاستبدال بالرماد المتطاير

بالعودة إلى الجدول (5) نجد أن متطلبات خواص الخلطة الإسفلتية المصممة وفق طريقة مارشال بالرابط الإسفلتي الأولى محققة للمتطلبات الفنية المنصوص عليها في المواصفات العامة للطرق والجسور من ثبات وانسياب وفراغات هوائية وفراغات مليئة .

وتم اعتماد نسبة الإسفلت المثالية (5.1 %) كمتوسط لنسبة الاسفلت التي تحقق ثبات أعظمي ونسبة الاسفلت المحققة لكثافة مارشال الأعظمية ونسبة الاسفلت المقابلة (3%) وهي متوسط لحدود الفراغات الهوائية المطلوبة بمجال (2-4 %). ومن قراءتنا لهذه النسبة وبالرغم من كونها ضمن الحدود المسموحة (4-6%) نرى أنها مرتفعة نسبياً وهذا يعود لنوع الحصى المستخدم في تصميم الخلطة .

في الجدول (6) الخاص بنتائج تصميم الخلطة الإسفلتية بعد استبدال بنسب من الرماد المتطاير FA ، نجد أن كثافة مارشال تزداد بازدياد نسب الاستبدال ووصلت إلى أقصى قيمة (2.411 gr/cm<sup>3</sup>) عند نسبة استبدال 100 % ، وكذلك الأمر بالنسبة للفراغات المليئة بالاسفلت حيث ازدادات من 70.7 % عند خلطة اسفلتية بدون استبدال إلى 76.4 % عند نسبة استبدال 100 % وهذا يترجم ارتفاع الثبات مع زيادة نسب الاستبدال ، اما فيما يتعلق بالفراغات الهوائية فنجد أنها قد قلت من 4.7 % إلى 3.1 % وهذه النسب تقع ضمن الحدود المسموحة وتنعكس إيجابياً على التأثير السلبي للهواء والماء في ديمومة الخلطة الإسفلتية .

الجدول (7) يبين نتائج الثبات والانسياب عند نسب الاستبدال بالرماد المتطاير FA ، حيث ازدادت قيم الثبات من (1183 kg) إلى أقصى قيمة عند نسبة استبدال 100 % حيث بلغت (1414 kg) ، وهذا ما يتوافق مع قيم الفراغات المليئة . اما بالنسبة لقيم الانسياب فقد ازدادت بزيادة نسبة الاستبدال وبلغت أقصى قيمة عند (3.7 mm) وبالمجمل بقيت قيم الانسياب ضمن الحدود المسموحة ، كما يلاحظ أن قيم صلابة مارشال تناقصت مع زيادة نسب الاستبدال ووصلت إلى (3.8 kg/mm) .

من النتائج التي وصلنا إليها يمكن استخدام الرماد المتطاير كمادة مألثة في إنتاج الخلطات الإسفلتية واستغلال كميات الرماد المتطاير ، وتكون النسبة المثالية للاستبدال عند 50 % ، حيث تعطي صلابة مارشال مناسبة مع ثبات مرتفع وانسياب ضمن الحدود المسموحة .

**الاستنتاجات والتوصيات :**

- 1- إن قيمة كثافة مارشال تزداد بزيادة نسبة الفيلر من الرماد المتطاير ووصلت أقصى قيمة للكثافة (2.411) عند نسبة إستبدال 100 % من الرماد المتطاير ، وبلغت النسبة المئوية لزيادة الكثافة 4.37 % ، وبينت النتائج ازدياد الفراغات المليئة بالإسفلت مع زيادة نسبة استبدال الفيلر حيث وصلت الزيادة إلى 8.1 % .
- 2- يلاحظ تناقص النسبة المئوية للفراغات الهوائية مع زيادة نسبة الفيلر المستخدم من الرماد المتطاير FA ووصلت إلى 3.1 % عند نسبة استبدال 100 % ، حيث وصلت النسبة المئوية لنقصان نسبة الفراغات الهوائية إلى 34%، مع بقاء جميع القيم ضمن الحدود المسموحة .
- 3- ازدادت قيمة ثبات مارشال مع زيادة نسبة الفيلر المستخدم من الرماد المتطاير FA ووصلت أقصى قيمة للثبات (Kg 1414) أي ازدادت قيمة الثبات بنسبة (19.53%) ، كما ازدادت قيمة الانسياب مع زيادة نسبة الرماد المتطاير ووصلت أقصى قيمة للانسياب إلى 3.7 ، مع بقاء جميع قيم الانسياب ضمن القيم المسموحة التي تنص عليها المواصفات .
- 4- لوحظ من نتائج الدراسة تناقص في صلابة مارشال مع بقاء القيم ضمن الحدود المسموحة .
- 5- نوصي بدراسة خواص أخرى للخلطات الإسفلتية المعدلة باستخدام الرماد المتطاير FA والتثبت منها حقلياً
- 6- نوصي بالبحث في إمكانية إضافة الرماد المتطاير إلى الإسفلت وإمكانية تعديل الخواص الريولوجية للإسفلت .

**المراجع :**

- 1- Richard C.M., " Effects of Aggregate and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance", ASTM, Philadelphia, 1992.
- 2- Zimmer, F.V.. Fly ash as bituminous filler. United States Department of Interior, Bureau of Mines. Washington, D.C. 2010
- 3- Sobolev K., Flores I., Wasiuddin (Wasi) N.M. The Effect of Fly Ash on the Rheological Properties of Bitumen Materials. Submitted to Fuel, 2012
- 4- Sobolev, K., Flores, I., N. M. Wasiuddin (Wasi), "The Use of Fly Ash as Filler in Asphalt Cement: Phase I," Final Report, UWM-We Energies, 2011, 17 p.
- 5- Karaşahin M. and Terzi S. 2007. Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete. Construction and Building Materials, Elsevier. 21: 616- 620.
- 6- Jianhong Dia, Zhanliang Liu, "Influence of Fly Ash Substitution for Mineral Powder on High Temperature Stability of Bituminous Mixture" International Conference on Future Energy, Environment, and Materials 2012.
- 7- 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.