مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

دراسة إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA في تصميم الخلطات الإسفلتية الحارة HMA

الدكتور رامي حنا*
الدكتور رناء أحمد**
سميرة عباس***

(تاريخ الإيداع 29 / 11 / 2016. قُبِل للنشر في 7/ 3 / 2017)

□ ملخّص □

إن إعادة استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل عن الحصويات الطبيعية NA في الرصف الطرقي سوف يقلل من الطلب على المصادر الطبيعية بالتوازي مع التقليل من كميات النفايات المنتشرة والمتزايدة يومياً في المكبات أو التي ترمى على أطراف المدن والتي أصبحت تشكل تهديداً خطيراً على البيئة .

تهدف هذه الدراسة إلى البحث في إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل عن الحصويات الطبيعية في إنتاج الخلطات الإسفلتية الحارة HAMللطرق ذات الحمل المروري المتوسط عبر تصميم خلطات إسفلتية حارة بطريقة مارشال بنسب مختلفة من الحصويات المعاد تدويرها هي 0–25 –50 –75 (100%) وبنسب بيتومين(% 4.5 – 5 – 5.5 – 6 –6.5) ومن ثم دراسة خصائصها .أعطت الخلائط التي تحوي نسباً من الحصويات المعاد تدويرها مقدارها 0– 50% من مجموع الحصويات الطبيعية نتائج أفضل من حيث الثبات والانسياب وأظهرت ديناميكية في التجاوب مع طريقة الخلط والتجهيز في القوالب .

الكلمات المفتاحية : الحصويات المعاد تدويرها RCA – الحصويات الطبيعية NA – الخلطات الإسفلتية الحارة HMA – طريقة مارشال

* أستاذ مساعد– قسم المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
** مدرس– قسم المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
***طالب ماجستير– قسم المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

Studying of using recycled concrete aggregates RCA in hot mix asphalt (HMA)

Dr. Rami Hanaa[*]
Dr. Ranaa Darwish Ahmad[**]
Samira Wafeek Abbas[***]

(Received 29 / 11 / 2016. Accepted 7 / 3 / 2017)

□ ABSTRACT □

Re-using of recycled concrete aggregates RCA from construction and demolition wastes in pavement sector will reduce the demand for the natural resources as well as reduce the large quantities of wastesthat increasing day by dayeither in landfills or around the cities,which become a serious threat on the environment.

This study aims to research the possibility of using the RCA as aggregates in hot asphalt mixes HAM formedium traffic roadsby preparing hot asphalt samples with different percent of RCA :(0-25-50- 75 – 100%) and different percent of bitumen contents(4.5-5-5.5-6-6.5 %) then determine the Volumetric and mechanical properties resulting from the Marshall mix design method. The results indicated that the mixes with 0-50% RCA of total aggregates show better values ofstability, flow and dynamic responding to processing method of mixing and preparation in the mold.

Key words: recycled concrete aggregates RCA – natural aggregates NA- hot asphalt mixes HAM – marshallmethod.

[*]**Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***]**Postgraduate Student, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة :

ترافق التطور العمراني والاقتصادي المتسارع الذي يشهده قطاع البناء في الوقت الراهن مع تزايد الطلب على الموارد الطبيعية كما أن عمليات ترميم المباني والبنى التحتية القديمة أدت لتوليد كميات متزايدة يومياً من نفايات الهدم التي تتراكم على أطراف المدن بشكل عشوائي أو يتم تكديسها في مكبات خاصة، والتي أصبحت عاجزة عن استيعاب الكميات الهائلة منها .

بدأت معظم الدول كالولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا والسويد وهولندا والدانمارك أبحاثاً عديدة لإيجاد طرق فعالة للتقليل من حجم النفايات المرمية من خلال إعادة استخدام المواد وتدويرها،حيث استخدمت كميات كبيرة منها في إنشاء الرصف الطرقي والأعمال البيتونية الطرقية والهندسية بما يؤمن حماية الموارد الطبيعية وتأمين استخدام متوازن وسليم للمكبات، حيث إن تكسير نفايات البيتون ينتج حصويات خشنة وحصويات ناعمة حسب معايير التدرج،وقد أشارت العديد من الدراسات إلى إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل عن الحصويات الطبيعية NAفي إنتاج خلطات المجبول الإسفلتي الحار .

أعطت الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA خواصاً هندسية مقبولة رغم اختلافها عن الحصويات الطبيعية NA، حيث أظهرت الدراسات والأبحاث انخفاض قيم الوزن النوعي وارتفاع عامل اهتراء و امتصاصية الحصويات المعاد تدويرها مقارنةً مع الحصويات الطبيعية [6],[5],[4],[3],[2],[1] إلا أنها أعطت خواصاً جيدة لدى تعديلها بالحصويات الطبيعية لإنتاج المجبول الإسفلتي الحار ، كما تبين بأن زيادة نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA سوف تؤدي لارتفاع محتوى البيتومين الأمثل المطلوب لتحضير المجبول الإسفلتي الحار وانخفاض في كثافة المجبول ووزنه الحجمي بالإضافة إلى تزايد نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة VAوتناقص ثبات المجبول وانسيابه مع تزايد نسبة RCAومع ذلك فقد أعطت قيماً مقبولة ومحققة للمواصفات [6],[5],[4],[3],[2],[1]

-قام Abdelzaher E. A.وآخرون[1]عام 2015 بإجراء دراسة هدفت لتقييم ودراسة تأثير النسب المختلفة للحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل عن الحصويات الطبيعية NA في تصميم الخلطات الإسفلتية الحارة HMA عبرتحضير عينات إسفلتية بنسب حصويات معاد تدويرها (0 – 15 – 30 – 45 – 60– 100 %) باستخدام البيتومين (60–70) ،وقد بينت الدراسة انخفاض قيم الوزن النوعي وارتفاع عامل اهتراء وامتصاصية الحصويات المعاد تدويرها مقارنةً مع الحصويات الطبيعية و تزايد الانسياب ومحتوى البيتومين الأمثل OAC وتناقص الكثافة مع تزايد نسبة الحصويات المعاد تدويرها وانخفاض قيمة الثبات مع تزايد نسبة الحصويات المعاد تدويرها إلا أنها كانت ضمن المواصفات المطلوبة .

-وفي دراسة أخريقام Nabil al sarrag2014وآخرون[2] قاموا بدراسة تأثير نسب الحصويات المعاد تدويرها RCA على خصائص الخلطات الإسفلتية الحارة، حيث وجدوا تحسناً في خواص الانسياب والثبات والوزن الحجمي ومقاومة الشد غير المباشر للخلطة مع تزايد نسبة الحصويات المعاد تدويرها حتى نسبة 50%، على الرغم من تزايد محتوى البيتومين الأمثل .

في بحثنا هذا قدمنا دراسة لتصميم خلائط إسفلتية بحصويات طبيعية ومدورة وتحوي نسباً من الحصويات المعاد تدويرها، تراوحت نسبها من الخليط الحصوي الكلي بين (100–0)% حيث أن الحصويات المعاد تدويرها من بيتون الهدم قاسية وتحقق متطلبات فنية مقبولة بحدها الأدنى للخلائط الاسفلتية المستخدمة في إنشاء الطرق متوسطة الكثافة المرورية، ومع ذلك فقد كانت النتائج جيدة وتحقق مواصفات فنية جيدة سنستعرض أهم نتائجها في الفقرات اللاحقة.

أهمية البحث وأهدافه :

تأتي أهمية البحث من الحاجة لإيجاد مواد رصف طرقي بديلة ومكافئة للمواد ذات المصدر الطبيعي من مخلفات البيتون ونواتج الهدم C&D بما يضمن إعادة استخدامها وتدويرها بشروط مناسبة .

ويهدف هذا البحث إلى تقييم ودراسة إمكانية استخدام نواتج طحن نفايات البيتون في إنتاج خلطات المجبول الإسفلتي الحار واستخدامها كبديل عن الحصويات الطبيعية للطرق ذات الحمل المروري المتوسط،ومقارنة أداء ومواصفات هذه الخلطات مع الخلطات التقليدية ومع المعايير والشروط المحلية المعمول بها في سورية،ومن ثم دراسة تأثير النسب المختلفة للحصويات المعاد تدويرها على خصائص المجبول الحار HMA ،

ولتحقيق الأهداف المطلوبة يجب فهم ودراسة الخصائص الهندسية للحصويات المعاد تدويرها .

منهجية البحث :

أولاً : مصادر عينات البحث :

1) الحصويات الكلسية القاسية : وهي الحصويات الطبيعية NA :وهي الحصويات الكلسية القاسية المكسرة والتي لا يزيد قطر الحبة عن 20mm و($LA \leq 30\%$) لتحضيرعينة إسفلتية مرجعية من أجل عملية المقارنة، وقد تم الحصول على الحصويات الطبيعية من أحد مجابل الإنشاءات العسكرية العاملة في اللاذقية .

2) البيتومين bitumen :تم استخدام نوع واحد من البيتومين في تصميم كل عينات الدراسة وبذلك يصبح بالإمكان دراسة تأثير نسبة الحصويات المدورة على الخصائص المدروسة،والبيتومين المستخدم لتحضير كل عينات الدراسة هو البيتومين (70−60)، وقد تم الحصول عليه من مصفاة بانياس وهو مطابق للمواصفة D−140ASTMبحيث تكون ممثلة بشكل صحيح للبيتومين المنتج في سورية .

3) الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA : وهي الحصويات الناتجة عن عمليات طحن وتكسير نواتج هدم المباني والبيتون حيث قمنابتكسير هذه الكتل بواسطة الكسارات للوصول إلى التدرج المطلوب المحقق للمواصفات القياسية السورية وأبعاد الحبات لا تزيد عن 20 mm، وقد قمنا بتجميعها من ثلاثة مواقع هي:مكب مدخل المدينة المؤقت،و بناء مهدم في منطقة الشاطئ الأزرق،و مكب البصة .

ثانياً : العمل المخبري :

يستند البحث على الدراسة المخبرية لعينات إسفلتية مصنعة وفق طريقة مارشالا لمعتمدة في المواصفة AASHTO−T245، أما تسلسل الأعمال التي قمنا بها في مخبر الطرق والمواصلات في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين فقد كان وفق ما يلي :

1) تحضير عينات المواد الحصوية :تم إحضار نواتج هدم البيتون و طحنها ب استخدام الكسارة الأوتوماتيكية الموجودة في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين .

2) توصيف الحصويات المستخدمة في البحث :

تم إجراء سلسلة من التجارب المخبرية على عينة الحصويات المدورة RCA و الطبيعية NA ومن ثم العمل على مقارنتها مع المواصفات القياسية السورية للطرق والجسور 2002،وهي :

1 – التحليل الحبي .

2 ـ الوزن النوعي والامتصاصية .

3 ـ لوس أنجلس .

4 ـ المكافئ الرملي .

3) اختبارات البيتومين :

وتشمل تجارب الغرز والاستطالة ونقطة التميع والوميض والاشتعال بغرض التأكد من مطابقة البيتومين المستخدم في تحضير العينات للمواصفات المحلية المعمول بها .

4) تحضير عينات الخلائط الإسفلتية الحارة :

قمنا بتحضير خلطات إسفلتية حارة باستخدام الحصويات الطبيعية NA بنسب بيتومين مختلفة لاستخدامها كمرجع للمقارنة،حيث تم تحضير عينات الخلائط الإسفلتية الحارة باستخدام أربعة نسب للحصويات المدورة RCA وهي (100% – 75 – 50 – 25 – 0) و محتويات للبيتومين تتراوح بين (% 4.5 –5 –5.5 –6 –6.5)عند كل نسبة حصويات مدورة ، حيث أن تحضير كل عينات الدراسة وفق طريقة مارشال كما ذكر سابقاً وترص بـ 55 طرقة على كل وجه وهو عدد الطرقات المعتمد لتصميم الخلائط الإسفلتية للطرق ذات الحمل المروري المتوسط وفق طريقة مارشال [9] .

5) اختبار العينات : تحديد المحتوى الأمثل للبيتومين OAC و نسبة الفراغات (VMA – VFB–Va) والوزن الحجمي الأعظميGmm ومقارنتها مع معايير مارشال والمواصفات القياسية السورية للطرق والجسور 2002 .

النتائج والمناقشة :

-نتائج توصيف الحصويات الطبيعية NA والمعاد تدويرها من نفايات البيتون RCA :

تم إجراء تجارب الوزن النوعي والاهتراء والامتصاصية والمكافئ الرملي للحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها وكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول رقم (1) :

جدول رقم (1) نتائج الوزن النوعي والامتصاصية للحصويات الطبيعية NAوالحصويات المعاد تدويرها RCA.

	حصويات طبيعية NA			حصويات معاد تدويرها RCA		
قطر الحبة mm	19 – 4.75	0.425–4.75	≤ 0.075	19 – 4.75	0.425–4.75	≤ 0.075
الوزن النوعي الظاهريGsa	2.620	2.610	2.697	2.612	2.328	2.639
الوزن النوعي الحجمي Gsb	2.604	2.592	2.697	2.343	2.3	2.639
الامتصاصية%	0.22	–	–	4.3	–	

جدول رقم (2) عامل الاهتراء والمكافئ الرملي للحصويات الطبيعية NAوالحصويات المعاد تدويرها RCA

	حصويات طبيعية NA	حصويات مدورة RCA
المكافئ الرملي SE %	73	89
عامل الاهتراء LA %	24.9	39.1

نلاحظ من الجدول رقم(1) بأن الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA ذات وزن نوعي أقل من الحصويات الطبيعية NA وامتصاصية أعلى،هذاسيؤدي حتماً إلى زيادة نسبة البيتومين المثالية، كما يوضح الجدول رقم (2) بأن الحصويات المعاد تدويرها ذات اهتراء أعلى من الحصويات الطبيعية إلا أنها تمتلك مكافئ رملي جيد .

المرحلة الثانية : تحضير عينات المجبول الإسفلتي :

بعد توصيف الحصويات المستخدمة في البحث بنوعيها قمنا بتحضير عينات مارشال بنسب متغيرة من الحصويات المعاد تدويرها RCA هي :(% 100 – 75 – 50 – 25 – 0) عند نسب بيتومين متغيرة هي 5 – 4.5 (% 6.5 – 6 – 5.5 –) ، ويوضح الجدول رقم (3) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات المجبول المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب NA%100+RCA% 0: (عينة المقارنة).

جدول (3) نتائج تحليل الفراغات والثبات للخلائط الإسفلتية عند نسبة التعديل NA%100+RCA%0

الانسياب mm	الثبات Kg	الفراغات المملوءة البيتومين VFB%	الفراغات في الحصويات VMA%	الفراغات الهوائية VA%	الكثافة Gr/cm^3	محتوى البيتومين AC%
2.4	1217	60.6	15.5	6.1	2.176	4.5
2.55	1220	71	15.9	4.6	2.22	5
2.6	1224	77.6	16.5	3.7	2.218	5.5
2.72	1204	80	17	3.4	2.173	6
2.81	1194	84	17.4	2.8	2.167	6.5
OAC = 5.4%						

أما الجدول رقم (4) فيبين نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات المجبول المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب RCA% 25+NA%75:

جدول (4) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات مارشال عند نسبة RCA% 25+NA%75

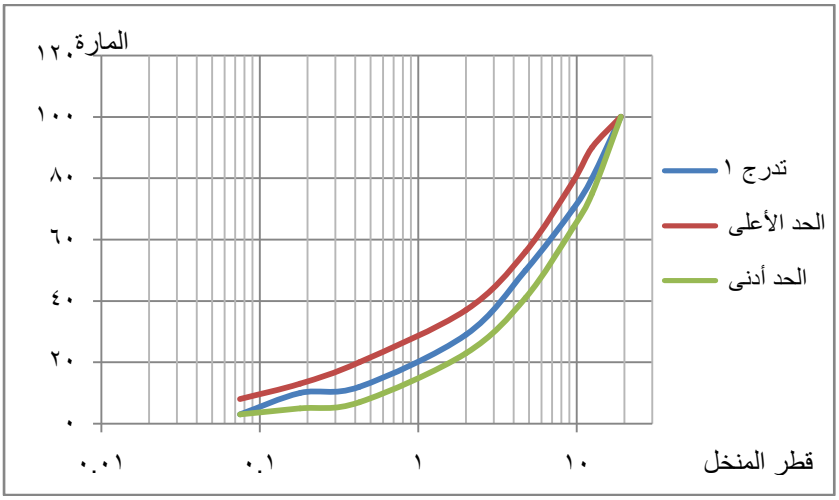
الانسياب mm	الثبات Kg	الفراغات المملوءة بالبيتومين VFB%	الفراغات في الحصويات VMA%	الفراغات الهوائية VA%	الكثافة Gr/cm^3	محتوى البيتومين AC%
2.3	1214	61.4	15.8	6.1	2.179	4.5
2.7	1257	69.2	15.9	4.9	2.265	5
2.8	1293	74.7	16.2	4.1	2.291	5.5
2.9	1233	78.6	16.8	3.6	2.289	6
3	1227	82.6	17.3	3	2.243	6.5
OBC = 5.57 %						

أما الجدول رقم (5) فيبين نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات المجبول المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب RCA% 50+NA%50 :

جدول (5) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات مارشال عند نسبة RCA% 50+NA%50

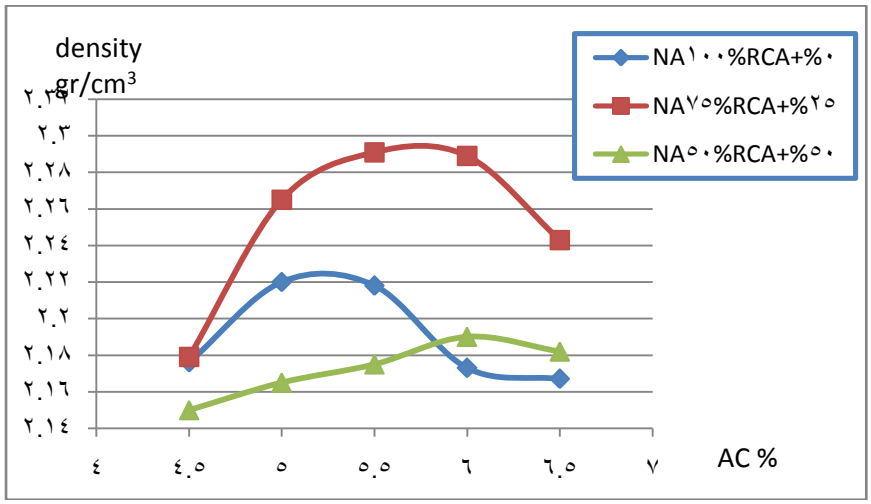
الانسياب mm	الثبات Kg	الفراغات المملوءة بالبيتومين VFB%	الفراغات في الحصويات VMA%	الفراغات الهوائية VA%	الكثافة Gr/cm^3	محتوى البيتومين AC%
2.45	1193	55	14.2	6.4	2.150	4.5
2.55	1203	61	14.7	5.7	2.162	5
2.67	1213	68	15	4.9	2.175	5.5
2.7	1217	71.3	15.7	4.5	2.190	6
2.77	1220	75.5	16.3	3.5	2.182	6.5
OBC = 6.1%						

يوضح الشكل رقم (1) التدرج الحبي لعينة الحصويات التي تم اعتمادها لتحضير عينات المجبول الإسفلتي الحار HMA :



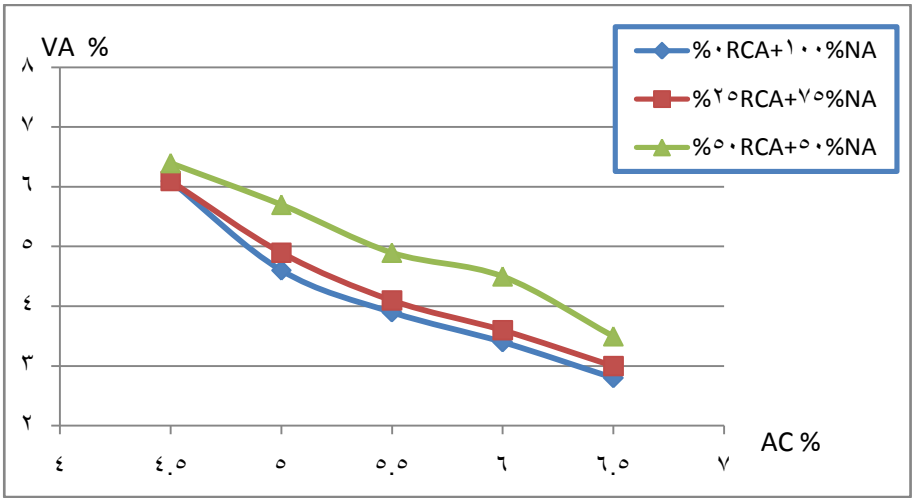
الشكل رقم (1) التدرج الحبي للحصويات .

تبين الأشكال ذات الأرقام (2) ، (3) ، (4) ، (5) ، (6)،(7) التالية تغير الكثافة عند نسب البيتومين المتغيرة و الفراغات الهوائية VA والفراغات في الحصويات VMA والفراغات المليئة بالبيتومين VFB والثبات Stability والانسياب flow على الترتيب :



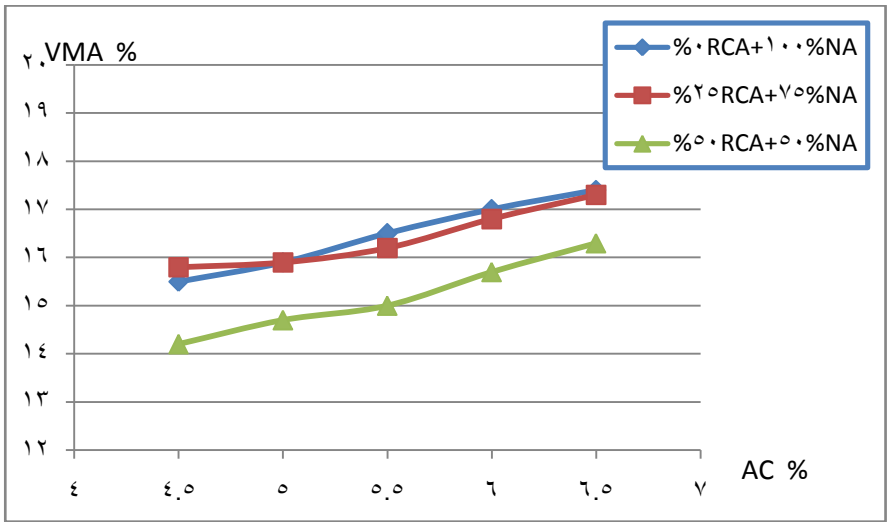
الشكل(2) العلاقة بين الكثافة ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA

نلاحظ من الشكل رقم (2) تزايد وتحسن كثافة مارشال عند النسبة 25%RCA+75%NA مقارنةً مع الخلطة التقليدية المحضرة باستخدام الحصويات الطبيعية إلا أن الكثافة تتناقص مع زيادة نسبة الحصويات المعاد تدويرها بعد هذه النسبة ،ويعود ذلك لمسامية الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA وانخفاض وزنها النوعي مقارنة مع الحصويات الطبيعية NA وسيؤدي ذلك لانخفاض كثافة الخلطة الإسفلتية الحارة وهذا ما أكدته الدراسات السابقة التي أجريت في هذا المجال . [1],[2],[3],[4],[5],[6][7]



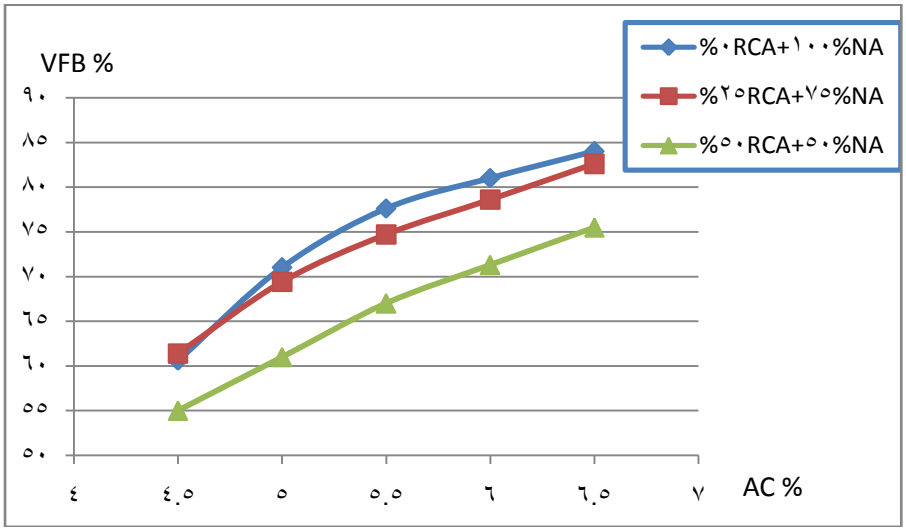
الشكل (3) العلاقة بين الفراغات الهوائية VA ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA.

يوضح الشكل (3) العلاقة بين نسبة الفراغات الهوائية Va و نسبة الحصويات المعاد تدويرها في الخليط الحصوي ومن الشكل نلاحظ تزايد نسبة الفراغات الهوائية مع تزايد نسبة الـ RCA، يعود هذا التزايد في نسبة الفراغات الهوائية إلى المسامية العالية للحصويات المعاد تدويرها مقارنة مع الحصويات الطبيعية ، وهذا ما بينته أيضاً الدراسات السابقة .[1],[2],[3],[4],[5],[6][7].



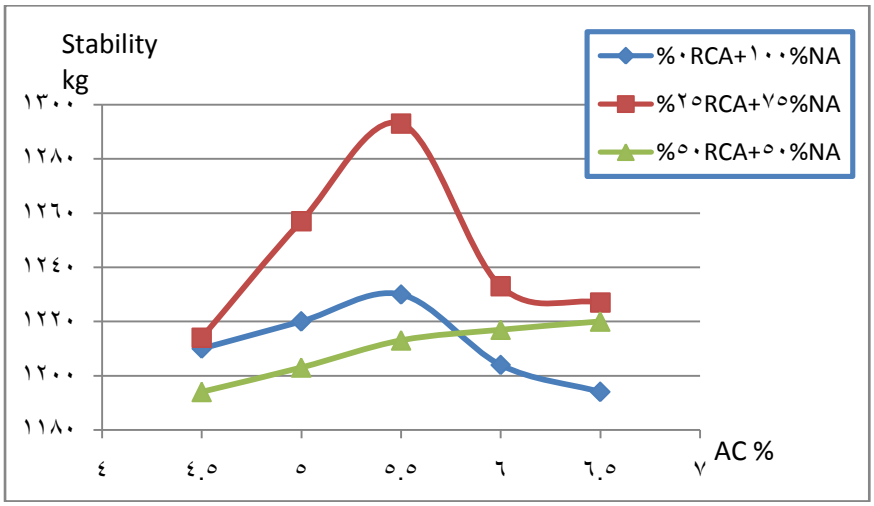
الشكل (4) العلاقة بين الفراغات في الحصويات VMA ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA .

أما عن العلاقة بين الفراغات في المواد الحصوية VMA ونسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA فقد بين الشكل رقم (4) تناقص في نسبة الفراغات في المواد الحصوية مع تزايد نسبة الـ RCA وهذا يعود إلى سلوكية الحصويات المعاد تدويرها تحت تأثير الأحمال التي تؤدي إلى تفتت طبقة المونة الإسمنتية إلى مواد ناعمة تقوم بإملاء الفراغات في المواد الحصوية وهذا سيؤدي إلى انخفاض نسبة VMA مع تزايد نسبة الـ RCA .وعلى الرغم من هذا التناقص إلا أن نسبتها مازالت ضمن القيم المسموحة والمعتمدة في الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور الصادرة عن المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية في دمشق 2002.وتتفق مع النتائج التي توصلت لها الأبحاث السابقة .[5],[6],[7]



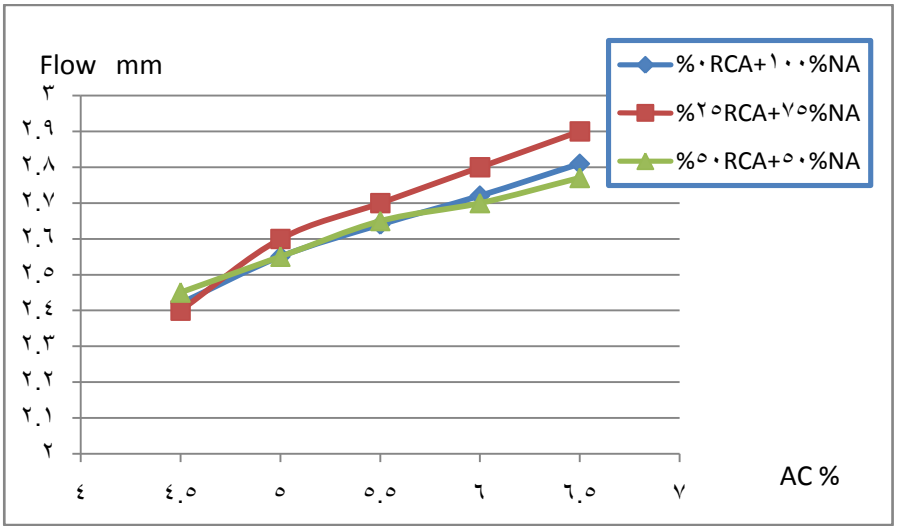
الشكل (5) العلاقة بين الفراغات المليئة بالبيتومين VFB ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA.

تتناقص نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين VFB مع تزايد نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA في الخلائط الإسفلتية كما هو مبين في الشكل رقم (5) ويعزى سبب هذا الانخفاض للمسامية والامتصاصية العالية للحصويات المعاد تدويرها RCA بالمقارنة مع الحصويات الطبيعية NA . [5],[6],[7]



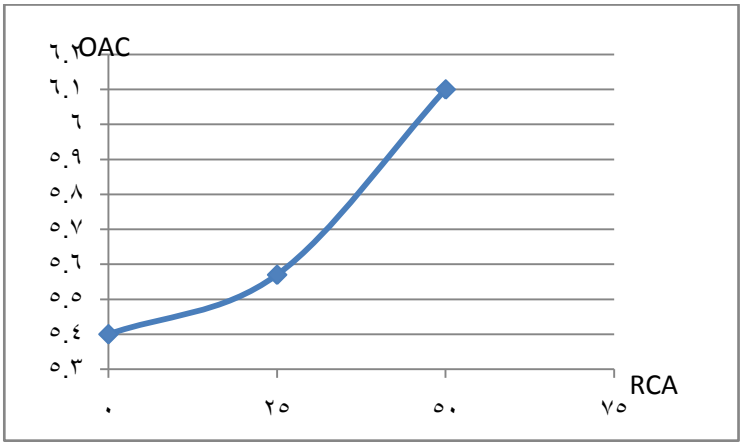
الشكل (6) العلاقة بين الثبات ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA.

نلاحظ من الشكل رقم (6) الذي يظهر العلاقة بين الثبات ونسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA تحسن وتزايد الثبات عند نسبة التعديل 25%RCA+75%NA بالمقارنة مع الخلطة التقليدية يعود الثبات للانخفاض مع زيادة نسبة الRCA إلا أنها حققت الاشتراطات الفنية المطلوبة في الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور الصادرة عن المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية في دمشق 2002.وتتفق مع النتائج التي توصلت لها الأبحاث السابقة [1],[2],[3],[4],[5],[6][7]



الشكل (7) العلاقة بين الانسياب ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA.

أما بالنسبة للانسياب فقد بين الشكل رقم (7) بأن النسبة 25%RCA+75%NA قد أعطت قيماً أعلى للانسياب مقارنة مع الخلطة التقليدية يعود الانسياب بعدها للتناقص مع زيادة نسبة الـ RCAوهذا يدل على أن الحصويات المعاد تدويرها RCA قد أعطت تماسكاً وتلاصقاً أفضل مع البيتومين.[2],[3]



شكل (8) العلاقة بين نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA ونسبة البيتومين الأصولية OAC.

الاستنتاجات والتوصيات :

1) أظهرت نتائج الدراسة تحسن الكثافة مع تزايد نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA حتى نسبة تعديل 25%RCA+75%NA حيث تنخفض الكثافة ويعزى سبب الانخفاض إلى أن الـ RCA ذات مسامية ووزن نوعي أقل من الحصويات الطبيعية .

2) تتزايد نسبة الفراغات الهوائية مع تزايد نسبة الـ RCA وذلك بسبب المسامية والامتصاصية العالية لها بالمقارنة مع الحصويات الطبيعية.

3) أما بالنسبة لنسبة الفراغات في المواد الحصوية VMA فإن هذه النسبةتتناقص مع تزايد نسبة الـ RCA ذات الامتصاصية والمسامية العالية .

4) تتزايد نسبة الفراغات المملوءة بالبيتومينVFB مع تزايد نسبة البيتومين وتقل هذه النسبة مع تزايد نسبة الRCA.

5) أما بالنسبة للثبات فقد حققت النسبة 25%RCA+75%NA قيما أعلى للثبات مقارنةً مع الخلطة التقليدية 100% NA وعاد الثبات للتناقص مع تزايد نسبة الRCA.

6) لم تؤثر نسبة الRCA على قيم الثبات بشكل ملحوظ وكان التغير في الانسياب قليل بين نسب الحصويات وكان تزايده تابعاً فقط لتزايد نسبة البيتومين الذي يسهل من انزلاق الحبيبات الحصوية على بعضها مما يزيد من الانسياب .

7) العامل الأهم هو نسبة البيتومين المثالية عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها إذ أن تزايد نسبة الـ RCA يزيد من نسبة البيتومين الأمثل للخلطة شكل رقم (8). وذلك يعود لمسامية وامتصاصية الحصويات المعاد تدويرها مقارنةً مع الحصويات الطبيعية .

8) بينت الدراسة التي قمنا بها إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل عن الحصويات الطبيعيةNA في إنتاج الخلطات الإسفلتية الحارة HMAللطرق ذات الحمل المروريالمتوسط (5)،(6) على ألا تزيد نسبتها عن 60% من المجموع الحصوي وهذا ما أثبتت صحته الدراسات السابقة في مجال الرصف.

المراجع:

1) JANINA, M. S; LEONARDO, FAGUNDES. ROSEMBACK MIRANDA ; LIEDELEGI. BARIANI. BERNUCCI,*Performance of Hot Mix Asphalt Concrete Produced with Coarse Recycled Concrete Aggregate*. American Society of Civil Engineers .2015 , 7 .

2) AL-SARRAG, N;HANAA,KhALEEL A. Al-BAIATI;SUHAM SALEH Al-MALIKY; SAMAR SAEED AlWAN.*Use of Recycling Building Demolition waste As Coarse Aggregate in Hot Mix Asphalt* ,Tikrit Journal of Engineering Sciences,2014, 14 .

3) AL-FAQAWI, R. M , *using recycled aggregates in hot asphalt mixtures in gaza strip* ,Department of Civil Engineering, University of Nottingham, UK, 2012,108 .

4) EKTAS, S; KARACASU, M , *Use of Recycled Concrete in Hot Mix Asphalt and an ANN model for Prediction of Resilient Modulus*, Department of Civil Engineering, Eskisehir-turkey, 2012,8 .

5) PASANDIN, P, I; MADINA, l, *Hot mix asphalt using C&D waste as coarse aggregates*, Materials and Design,2012, 36.

6) HO CHO,Y; TAEYOUNG YUN; IN TAI KIM; NYOUNGRAk CHOI. *The Application of Recycled Concrete Aggregate (RCA) for Hot Mix Asphalt (HMA) base Layer Aggregate,2010*,6.

7) BEALE, M, J; YOU Z,*The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates. Construction and Building Materials*, journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat 2010, *6.*

8) الفضالة بدر خليفة;د. أحمد حمود عبد اللطيف الجسار;د. محمد أحمد علي. *إعادة تدوير الركام الخرساني في الخلطات الإسفلتية*،2004،المؤتمر الخليجي الثاني للطرق. أبوظبي، دولة الإمارات العربية المتحدة .

9) المواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور الصادرة عن المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية –فرع دمشق 2002