مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (5) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (5) 2015

امكانية استخدام الحصويات البيتونية مٍعادة التدوير في الخلطات الاسفلتية الساخنة

الدكتور أندراوس سعود *
الدكتور رباب جوني
عبد القادر الكل

(تاريخ الإيداع 22 / 7 / 2015. قُبِل للنشر في 7/ 9 / 2015)

□ ملخّص □

استطاعت الحصويات البيتونية مٍعادة التدوير ان تأخذ مكان الحصويات ال طبيعية لتنفيذ الردميات المنتخبة وطبقتي الاساس وما تحت الاساس الحصوية للطرق والمطارات في كثير من دول العالم. وهناك شبه اجماع من قبل عدد كبير من الباحثين والدارسين حول امكانية استخدام RCA في خلطات البيتون الاسمنتي للعناصر غير الانشائية . اما في مجال الخلطات الاسفلتية الساخنة للطرق Hot Mix Asphalte(HMA)، فمازال استثمار هذه الحصويات قيد البحث والنقاش، وذلك بسبب ما تتميز به هذه الحصويات من زيادة المسامية وارتفاع نسبة التشرب اضافة الى عدم التجانس،الامر الذي سينعكس سلبا على المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للمجبول الاسفلتي الساخن

تم في هذا البحث اجراء دراسة لا مكانية استخدام الحصويات البيتونية المٍعاد تدويرها في الخلطات الاسفلتية الساخنة Hot Mix Asphalte(HMA) لتنفيذ طبقة الاساس البيتومينى للطرق، وذلك من خلال اجراء اختبارات مارشال على خلطات اسفلتية تم تحضيرها باستعمال نسب مختلفة من الحصويات مٍعادة التدوير، حيث بينت نتائج اختبارات مارشال بأنه يمكن لخلطات الاسفلت الساخن ان تحقق شروط استخدامها لتنفيذ طبقة الاساس البيتومينى للطرق على ان لا تزيد فيها كمية الحصويات البيتونية م عادة التدوير عن 50%، وذلك وفق متطلبات دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية.

الكلمات المفتاحية: الحصويات البيتونية مٍعادة التدوير، نفايات الهدم والبناء البيتونية ،الخلطات الاسفلتية الساخنة.

* استاذ – قسم هندسة النقل والمواصلات – كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق – سورية.
** مدرس– قسم هندسة النقل والمواصلات – كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق – سورية.
*** طالب دراسات عليا(دكتوراه) – قسم هندسة النقل والمواصلات– كلية الهندسة المدنية–جامعة دمشق– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (5) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (5) 2015

The Possibility Of Using The Recycled Concrete Aggregates In Hot Mix Asphalt

Dr. Andraous Saoud[*]
Dr. Rabab Jouni[**]
Abdel Kader Alkul[***]

(Received 22 / 7 / 2015. Accepted 7 / 9 / 2015)

□ ABSTRACT □

The recycled concrete aggregate RCA was able to take the place of the vierge & natural aggregate NA, embankments elected,to implement the base&subbase road layaers and airports in many country of the world.furthermore, there is almost consensus by a large of reshershers and scholars about the possibility of using RCA in mix cement concrete for non-structural elements .whil,the using of RCA in the hot mix asphalt HMA still under discussion and debate, due its high porosity , high water absorption, and its heterogeneity which reflected negatively on the mechanical and physical properties of the HMA

This research discusses stadying the possibility of using the recycled concrete aggregates in hot mix asphalt HMA, for the implementation of the bas layer bituminous road , by the application of the marshall tests on hot mixtures asphalts have ben prepared using different ratios of recycled concrete aggregates.

The results of marshall testes showed that the HMA prepared with amount of recycled concrete aggregates less than 50%,can be used to implement the base layer bituminous road,according to the general terms and specifications book for road works and bridges in the syrien arab republic .

Key words: recycled concrete aggregate (RCA), construction & demolition concrete wastes (C&D Wastes), hot mix asphalt HMA **.**

[*]**professor, Department of communication and transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university, Damascus Syria.**
[**]**Assistant Prof. Department of communication and transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university, Damascus Syria.**
[***]**postgraduate student. Department of communication and transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university, Damascus Syria.**

مقدمة:

تعتبر عملية اعادة تدوير النفايات من اهم مقومات التنمية المستدامة، لما ينتج عن هذه العملية من حفظ للموارد الطبيعية وحماية للبيئة وما يمكن تحقيقه من وفر اقتصادي اذا ما تمت عمليات اعادة التدوير وفق برنامج متكامل لادارة الموارد في البلاد.

تنتج نفايات الهدم والبناء(CONSTRUCTION&DEMOLATION WASTE (C&D W، عن مصادر متعددة ، يمكن اجمالها بـ :

1 -الهدر في مواد البناء اثناء التنفيذ CONSTRUCTIONWASTE،

2 -تعديل المنشآت القائمة او قيد الانشاء Alteration

3 -ترميم او اعادة تأهيل المنشآت القائمة. Renovation

4 -هدم المنشآت القديمةDEMOLATION WASTE وخاصة تلك التي تتم عند تنفيذ المخططات التنظيمية الجديدة او مناطق السكن العشوائي.

5 -الكوارث الطبيعية والحروب.

وتتألف C&D W (CONSTRUCTION&DEMOLATION WASTE) من عدة مواد، مثل: نفايات البيتون(البيتون، البلوك البلاط ..الخ)، القرميد، الحديد ، الالمنيوم ،الخشب ، الجيبس، الزجاج،...الخ

تعرّف الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA(Recycled Concrete Aggregate)، بأنها حصويات ناتجة عن اعادة تدوير نفايات الهدم والبناء البيتونية(Construction&Demolition Concrete Wast) .

تشير نتائج كافة الابحاث الى ان الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA ذات خواص فيزيائية وميكانيكية ادنى بالمقارنة مع الحصويات الطبيعية(Natural , Virgin Aggregate)ومنذ عشرات السنين ينصب جهد عدد كبير من الباحثين ويدعم من حكومات بعض الدول والمؤسسات المختصة لايجاد مجالات استثمار للحصويات البيتونية المعادة تدويرها تتناسب مع خواصها الفيزيائية والميكانيكية، واستطاعت الحصويات البيتونية المعاد تدويرها ان تأخذ مكان الحصويات الطبيعية NA لتنفيذ الردميات المنتخبة وطبقتي الاساس وما تحت الاساس الحصوية للطرق والمطارات في كثير من دول العالم،مثل امريكا وهولندا [1]. كماجاء في توصيات وثيقة ادارة الطرق الفدرالية في امريكا FHWA،[2]،بأنه يجب اعتماد إعادة التدوير كمصدر أول لتزويد مشاريع الطرق بالحصويات مع الأخذ بعين الاعتبارضرورة تحقيقها للشروط والمواصفات المطلوبة في الحصويات ا لطبيعية(NA). وهناك ايضا، شبه اجماع من قبل الباحثين والدارسين المختصين ، حول امكانية استخدام RCA في خلطات البيتون الاسمنتي للعناصر غير الانشائية [3,4,5].

اما في مجال الخلطات الاسفلتية الساخنة Hot Mix Asphalte(HMA) للطرق، فمازال استثمار الحصويات البيتونية مءادة التدوير RCA قيد البحث و النقاش،وعدد من الباحثين لا يشجع استخدام RCA في هذا المجال وذلك بسبب ما تتميز به من زيادة المسامية وارتفاع نسبة التشرب اضافة الى عدم التجانس،الامر الذي يؤدي الى تدني في المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للمجبول الاسفلتي الساخن HMA المصنوع باستخدام الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA ، بالمقارنة مع المجبول الاسفلتي HMAالمصنوع بالحصويات الطبيعيةNA ، كما ان نتائج عدد من الأبحاث تؤكد امكانية الحصول على المواصفات المطلوبة وتشجع استخدام RCA في المجبول الاسفلتي الساخن(HMA)[6] وذلك ضمن شروط معينة.

أهمية البحث وأهدافه:

يتمثل هدف البحث في دراسة امكانية استعمال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA ، في خلطات البيتون الاسفلتي الساخن HMA لتنفيذ طبقات الاساس الاسفلتي للطرق .وذلك لفتح مجالات جديدة لاستعمال RCA، الامر الذي يساعد على تصريفها في سوق مواد البناء ، مما يساهم في حل مشكلة هذا النوع من النفايات الذي يشكل عبئا ثقيلا على البيئة بسبب حجزه لمساحات واسعة من الأراضي للمكبات وما تشكله من تشويه للطبيعة، اضافة الى حفظ موارد الحصويات الطبيعية وما يمكن تحقيقه من وفر اقتصادي

منهجية البحث:

1 -تحضير الحصويات البيتونية المعاد تدويرها في مخابر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية من خلال طحن نفايات هدم وبناء بيتونية، تم احضارها من مكب السليمة قرب مدينة دمشق.

2 -دراسات مرجعية لنتائج أبحاث وتجارب سابقة حول الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات البيتونية المعاد تدويرها وتأثير استخدامهاعلى الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات الاسفلتية الساخنة.

3 -دراسات مخبرية في مخابر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية، بهدف تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات البيتونية معادة التدوير RCA :

- الوزن النوعي الظاهري Apparent specific gravity
- الوزن النوعي الكلي المشبع والسطح جاف bulk specific satureted gravity
- الوزن النوعي الكلي الجاف bulk dray gravity
- الوزن النوعي الفعال Effective specific gravity
- التشرب بالماء. Water absorption
- المكافئ الرملي Sand Equivalent Value
- الفاقد بالاهتراء/ لوس أنجلوس Abrasion loss

4 -اجراء اختبارات مارشال Marshall tests، وتحديد فاقد الثبات(Retained)على مجموعة عينات تم تصنيعها باستخدام نسب مختلفة من حصويات RCA و NA ، وذلك وفق الجدول (1) :

الجدول (1) عينات الخلطات ونسب حصويات RCAوNA في كل منها.

رمز العينة	NA	RCA25	RCA50	RCA75	RCA100	RCAc		RCAs	
						بحص	رمل	بحص	رمل
نسبة RCA%	0	25	50	75	100	100	0	0	100
نسبة NA%	100	75	50	25	0	0	100	100	0

حيث :تم تطبيق النسب الواردة في الجدول (1) RCA25وRCA50 وRCA75 على كافة الفئات الحبية للحصويات(البحص المحجوز على المهزة رقم 4، والرمل المار من المهزة رقم 4).اي تم اخذ نسبة RCA في الخلطة بأخذ نفس النسبة من كل حجم للحبيبات التي يتألف منها التركيب الحبي، الجدول(2).

RCAc : خلطة حصوياتها الخشنة(البحص، المحجوز على المهزة رقم 4) حصويات بيتونية معاد تدويرها RCA وحصوياتها الناعمة(الرمل، المار من المهزة رقم 4) حصويات طبيعية NA، وذلك وفق التركيب الحبي المعتمد، الجدول(2).

RCAs : خلطة حصوياتها الخشنة(البحص، المحجوز على المهزة رقم 4) حصويات طبيعية NA والحصويات الناعمة(الرمل، المار من المهزة رقم 4) حصويات معاد تدويرها RCA ، وذلك وفق التركيب الحبي المعتمد ، الجدول(2).

بعد ذلك تم مقارنة نتائج الاختبارات السابقة مع متطلبات دفتر الشروط والمواصفات العامةلاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية [16]، لتحديد امكانية استخدام الحصويات البيتونية المعاد تدويرها في الخلطات الاسفلتية الساخنة المستخدمة في تنفيذ طبقة الاساس الاسفلتي للطرق .

5 نتائج البحث والتوصيات.

المواد المستخدمة :

1 – حصويات طبيعية(NA) : تم احضارها من مجبل اسفلت شركة قاسيون في الدوير وهي ناتجة عن تكسير الصخور من مقالع حفير.

2 –**حصويات بيتونية معاد تدويرها (RCA)**:تم الحصول عليها من اعادة تدوير ركام بيتوني تم احضاره من عدة مواقع من مكب نفايات السليمة قرب مدينة دمشق، ويتألف هذا الركام من:كتل من البيتون غير المسلح، هذه الكتل مختلفة بدرجاتها اللونية /فاتح،غامق/،الامر الذي يدل على الاختلاف في نسب الاسمنت واختلاف نوعية الحصويات المستعملة بالخلطة البيتونية، وبالتالي تعدد مصادر النفايات.

نفايات من البلوك الاسمنتي الهفرغ والمليئ،ملتصق على بعض سطوحها ورقة اسمنتية(طينة).

نسبة قليلة من البلاط (موزاييك) ملتصق به مونة اسمنتية وجزء من طبقة الخشانة التي توضع تحت البلاط عادة. والأشكال (1,2,3) تبين مراحل تحضير وتصنيع هذه الحصويات، ابتداءً من عملية ,وضع الركام البيتوني في حاوية الكسارة الشكل(1)، ثم نقلها إلى مخبر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية في منطقة الدوير قرب مدينة دمشق، لإجراء الاختبارات اللازمة، حيث تم فرزها إلى فئات حبية ووضع كل فئة حبية في حاوية خاصة بها، الشكل (3).

الشكل (1): الركام البيتوني في حاوية الكسارة

الشكل(2): الحصويات البيتونيةالم عاد تدويرهاRCAبعد وضعها في الناقلات

الشكل (3): الحصويات البيتونية الم عاد تدويرها (RCA)بعد فرزها حجمياً في المخبر

2- امكانية استعمال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA في الخلطات الاسفلتية الساخنةHMA:

2-1 : دراسات مرجعية :

تشير كافة الدرسات المرجعية إلى أن الحصويات البيتونية المعاد تدويرها (RCA) تتميز بمواصفات فنية أدنى مقارنة مع الحصويات الطبيعية (NA):

- زيادة في امتصاص الماء [7,8,9] increased of water absorption
- انخفاض في الكثافة الكلية [7,8,9] decreased of bulk density
- انخفاض في الكثافة النوعية [7,8,9] decreased of specific gravity
- زيادة الاهتراء بالتآكل [7] increased of abrasion loss
- زيادة خاصية التهشم [7] increased of crushability

- زيادة نسبة الغبار increased of quantity of dust particles
- زيادة نسبة الشوائب العضوية increased of quantity of organic impurities
- احتمال التلوث الكيميائي [7,10] content of chemically harmful substances

ما زالت فكرة استخدام الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA في الخلطات الاسفلتية الساخنة حديثة عهد ، حيث تنعكس المسامية العالية وانخفاض الوزن الحجمي وعدم التجانس لـ RCA سلبا على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات الاسفلتية الساخنة، ويرى الباحثون Y.H.CHOو T.YUN;I.T.KIMو[11]N.R.CHOI ،بان الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA حصويات غير مرغوب بها في الخلطات الاسفلتية الساخنة لانخفاض وزنها الحجمي وارتفاع مساميتها واحتمال تكسر حبيباتها بتأثير الحمل الديناميكي لعملية الرص، واقترح الباحثان A.R.PASSANDIN و [12]L.PEREZ، اللجوء الى معالجة الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA بهدف تخفيف مساميتها وخفض تشربها وذلك من خلال خلطها بكمية مناسبة مع المستحلب البيتوميني قبل اضافتها الى الخلطة الحصوية للاسفلت الساخن حيث قام الباحثان بتحضير خلطات من البيتون الاسفلتي الساخن مصنعة من الحصويات الطبيعيةNA و ادخال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA فيها بنسب مختلفة 10%و20% و30% وذلك بعد معالجة RCA وتغليفها بالمستحلب البيتوميني ، وبالنتيجة تم الحصول على بيتون اسفلتي HMA بمواصفات فنية قريبة للخلطات التي يستخدم فيها الحصويات الطبيعيةNA.

في حين يوجد فريق كبير من الباحثين ،يشجع استعمال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA في HMA ،حيث وجدوا بان تدني المواصفات الفيزيائية والميكانيكة لـ HMA المصنعة باستخدام RCA(بالمقارنة مع HMA المصنعة باستخدام NA) لا يعني ابدا انها لاتحقق الشروط المطلوبة لاستخدامها في الطرق [6,13,14] ، بل على العكس ، غالبا ما تحقق الخلطات الاسفلتية ،(المصنعة باستخدام نسبا مدروسة من RCA مع NA)،الشروط المطلوبة لاستخدامها في هذا المجال، ويرى HendriksChF, Janssen GMT[5]،بان ينحصر استخدام RCA في الطرق الثانوية والطرق منخفضة الحمولات، وفي الكويت اجرى الباحثون A.H.Aljassar;K.B.Al-Fadala;M.A Ali [13]، بحثا حول امكانية استعمال بحص RCA في HMA وذلك باجراء اختبار مارشال وتحديد الثبات وفاقد الثبات بعد الغمر لعينات من خلطات HMA مصنعه باستخدام خلطة حصوية مؤلفة من رمل طبيعي وبحص من البيتون المعاد تدويره ، وتبين لهم بان العينات المختبرة كانت محققة لشروط استخدامها في HMA حسب متطلبات دفتر الشروط والمواصفات الفنية في دولة الكويت .وفي عام 2014،تم اجراء بحث موسع حول تقييم الخلطات الاسفلتية المصنعة باستخدام الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA في ماليزيا، جامعة Malaya University،من قبل الباحثين M.S.Poutrahamsb و M.R.Karim ، [14] ،حيث قام الباحثان بتحضير عينات خلطات اسفلتية ساخنة (HMA) و مطاطية (Mastic Mix Asphalte(MMA، بادخال نسب مختلفة من RCA الى الخلطة (20,40,60,80%) وباقي حصويات الخلطة NA ، ووجد الباحثان بان استعمال RCA في الخلطات HMA يؤثر على الخواص الفيزيائية والميكانيكة للخلطة ، الا ان هذا التأثير يكون خفيفا عند استعمال RCA بنسب (20,40%) في حين يزداد هذا التاثير مع زيادة نسبة RCA،النسب(60,80 %) ، ويمكن ادخال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA في الخلطة الحصوية لـ HMA وبكميات تتناسب مع المتطلبات الاستثمارية للخلطة(مستوى حمولات الطريق : ثقيلة،متوسطة،خفيفة) [14].

النتائج والمناقشة:

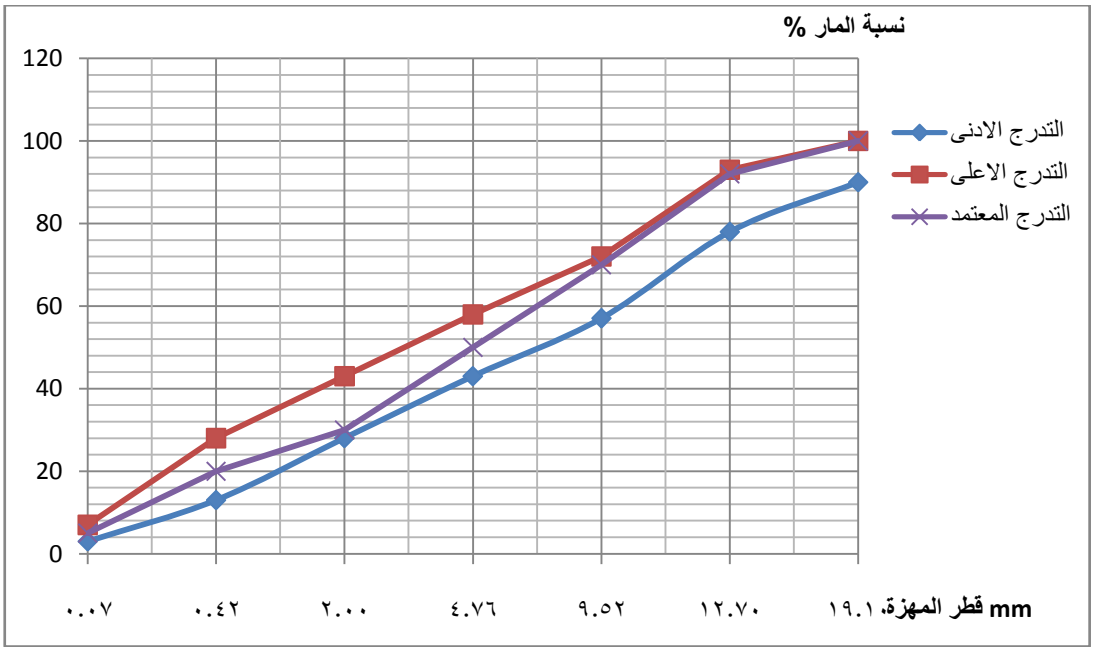
2-2 : نتائج التجارب المخبرية:

2-2-1 : التدرج الحبي :

تم تحضير مجموعة قوالب مارشال باعتماد التدرج الثالث للخلطات الحصوية حسب دفتر الشروط والمواصفات الفنية لاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية [16]، وذلك لتحديد امكانية استعمال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها RCA في الخلطات الاسفلتية الساخنة HMA لتنفيذ طبقات الاساس الاسفلتي للطرق، يبين الجدول(2) قيم التركيب الحبي للتدرج المعتمد وفي الشكل(4) تمثيل بياني لهذا التدرج.

الجدول(2)، التركيب الحبي المعتمد للخلطة الحصوية المستخدمة لتحضير عينات قوالب مارشال

التدرج المعتمد	الوزن الجاف للعينة 1200 gr Dry Weight			
نسبة المار %	فتحة المنخل		النسب المارة النظامية/تدرج3[16]	
	(مم)	(انش)	الحد الأعلى	الحد الأدنى
100	19.1	3/4	100	90
92	12.7	1/2	93	78
70	9.52	3/8	72	57
50	4.76	NO.4	58	43
30	2	NO.10	43	28
20	0.42	NO.40	28	13
5	0.075	NO.200	7	3



الشكل(4) ،التمثيل البياني للتركيب الحبي المعتمد لتحضير قوالب مارشال،تدرج 3 ،خلطة الاساس البيتوميني

2-2-2: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات البيتونية معادة التدوير RCA

2-2-2-1:الأوزان النوعية ونسبة التشرب بالماء:Specific gravity& Water Absorption:

أجري هذا الاختبار للحصويات الخشنة(المحجوز على المهزة رقم 4) بتطبيق المواصفة (AASHTO 85-77) وللحصويات الناعمة (المار من المهزة رقم 4) بتطبيق المواصفة (AASHTO 84-77)، ويبين الجدول (3) القيمة الوسطية لنتائج اختبار ثلاث عينات،لكل من حصويات RCA و NA.وقد تم احتساب قيم الاوزان النوعية باعتماد الوسطي الموزون للقيم آخذين بعين الاعتبار تغير نسبة RCA في الخلطة.

الجدول (3) قيم الاوزان الحجمية النسبية للخلطات الحصوية المستخدمة.

RCAs	RCAc	RCA100	RCA75	RCA50	RCA25	NA	
2.656	2.579	2.493	2.555	2.586	2.679	2.742	الوزن النوعي الجاف Gb Bulk dray Specific Gravity
2.694	2.643	2.577	2.623	2.646	2.714	2.760	الوزن النوعي المشبع Gs Saturated Specific Gravity
2.761	2.761	2.728	2.744	2.753	2.777	2.794	الوزن النوعي Ga Specific apparent density
2.709	2.672	2.613	2.652	2.671	2.729	2.768	الوزن النوعي الفعال Ge Effective Specific Gravity
1.464	2.665	3.450	2.757	2.411	1.371	0.679	نسبة التشرب %

2-2-2-2:المكافئ الرملي : Sand Equivalent Value :

أجري هذا الاختبار بتطبيق المواصفة (AASHTO-T176-73)، وذلك حسب دفتر الشروط والمواصفات الفنية لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية [16]،حيث تشترط هذه المواصفات ان لا يقل المكافئ الرملي للحصويات المستخدمة في الخلطات الاسفلتية عن 45%. ويبين الجدول (4) نتائج هذا الاختبار التي تظهر بأن القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للحصويات البيتونية معادة التدوير RCA المختبرة هي 76 %.

جدول (4): نتائج اختبار تحديد المكافئ الرملي للحصويات معادة التدوير RCA

رقم الأنبوب/	1	2	3
قراءة ارتفاع الغضار	5.3	5.4	5.4
قراءة ارتفاع الرمل	4	4.1	4.1
المكافئ الرملي	75.47	75.93	75.93
المكافئ الرملي الوسطي %	76		
المواصفات	>45		

2-2-2-3:الفاقد بالاهتراء /Resistance Abrasion loss:

تمت دراسة تركيبين حبيين من التدرجات الخاصة باختبار تحديد مقاومة الاهتراء للحصويات C , D , وذلك حسب المواصفات السورية المعتمدة للمواصفة (AASHTO – 96-77)، وسبب اختيارنا لهذين التدرجين هو شمولها للفئات الحبية المعتمدة في التركيب الحبي للخلطات الحصوية، تدرج 3 ،المعتمدة في صناعة المجبول لتنفيذ طبقة الاساس الاسفلتي. وورد في دليل الاختبارات والتجارب في دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية [16] .بانه يمكن الكشف على تجانس العينة بالقساوة من خلال تحديد الفاقد بعد 100 دورة، S1، وبعد 500 دورة S2، حيث يجب أن يتحقق (S1/S2<20%) لتكون عينة الحصويات المختبرة متجانسة القساوة.

يبين الجدول (5) نتائج اختبار مقاومة الاهتراء لعينات الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA، للتدرجين: , C , Dمع قيم الاهتراء المطلوبة لتنفيذ طبقة اساس المجبول البيتوميني في دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية[16] . كما يبين الجدول قيم مؤشر عدم التجانس للحصويات المختبرة.

الجدول (5): نتائج اختبار الفاقد بالاهتراء لعينات الحصويات البيتونية المدورة RCA

تدرج عينة الاختبار	رقم العينة SPEC .N	وزن العينة gr B	الفاقد بعد 100 دورة S1	الفاقد بعد 500 دورة S2	عامل عدم التجانس S1/S2	وسطي عامل عدم التجانس%	فاقد الاهتراء بعد 500 د B-S2 / B	القيمة الوسطية لفاقد الاهتراء %	المواصفات المطلوبة
C	1	5000	450	1327	33.9	32.2	0.27	30	35>
	2	5000	486	1327	30.4		0.32		
	3	5000	495	1530	32.35		0.31		
D	1	5000	410	1300	31.5	32.7	0.26	26	
	2	5000	388	1210	32.1		0.24		
	3	5000	450	1300	34.6		0.26		

ونلاحظ من الجدول (5) بان الحصويات معادة التدوير المختبرة تحقق شروط استخدامها في تنفيذ طبقات الاساس البيتوميني حسب دفتر الشروط والمواصفات العامة لأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية[16]، الا ان قيمة مؤشر عدم التجانس كان اكثر من 20% لكافة العينات المختبرة للحصويات RCA، وهذا يعني بان حصويات RCA المختبرة غير متجانسة بالقساوة ، وتعتبر هذه الظاهرة من سلبيات RCA التي جعلت بعض الباحثين يقر بعدم صلاحية RCA لأعمال المجبول الاسفلتي [12].

3-2-3 : اختبار مارشال: MARSHALL TESTS:

تم اجراء اختبار مارشال وفق المواصفة (75 BLOW) AASHTO-T-245-57 المعتمدة في دفتر الشروط والمواصفات العامةلأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية [16] ، حيث يتطلب من الخلطة الاسفلتية المستعملة لتنفيذ طبقة اساس البيتون الاسفلتي تدرج3 ،ان تحقق ما يلي :

- نسبة الاسفلت b : 3 – 6 %
- نسبة الفراغات : Av : Air voids 5 – 7 %
- السيلان : F : Flow 2 – 4 mm
- الثبات:Stability : K > 600 kg
- فاقد الثبات : Loss of stability : < 30 %

تم تحضير عينات قوالب مارشال من خلطات حصوية تحتوي على نسب مختلفة من الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA' الجدول (1)، ونسب اسفلت b تراوحت بين % 8-4 .

يبين الشكل(5)،صورة لبعض عينات قوالب مارشال المحضرة في المخبر و يبين الشكل (6) العينات المغمورة في حمام الماء الساخن في المخبر، والصورتين (8,7) لعينتن من قوالب مارشال بعد الكسر، احدهما RCA100 شكل (7) والثانية NA شكل (8) .

يبدو واضحا في الشكل (7) تحطم بحص الحصويات البيتونية معادة التدويرة في قالب مارشال ،العينة RCA100 ،التي تم تحضيرها باستعمال حصويات بيتونية معادة التدوير ، ويعود ذلك الى وجود جزء من حبيبات الحصويات في RCA ذات متانة متدنية مقارنة مع باقي الحبيبات ، وهذا من اهم المظاهر السلبية لعدم تجانس الحصويات البيتونية المدورة، حيث يؤدي تحطم الحصويات معادة التدوير الى تشكل سطوح حصويات جديدة غير مغلفة بالاسفلت وهذا يعني اضعاف الترابط بين حصويات الخلطة وخفض مرونتها و امتصاص الحصويات المحطمة للماء مما يزيد من احتمال التقشر، في حين لم نعثر على حبات بحص مكسرة في العينة NA التي تم تحضيرها من الحصويات الطبيعية، الشكل (8) .

الشكل (5) صورة لمجموعة قوالب مارشال تم تحضيرها للاختبار

الشكل (6) صورة لمجموعة قوالب مارشال تم غمرها في حوض الماء ،درجة 60

الشكل(7) عينة قالب مارشال بعد الكسر ، خلطة RCA100

الشكل(8) عينة قالب مارشال بعد الكسر، خلطة NA

ويبين الجدول (6) نتائج اختبارات مارشال، حيث تدل نسبة الاسفلت المثلى ، bopt ،على نسبة الاسفلت الدنيا التي تتحقق معها باقي الشروط المطلوبة في الخلطة الاسفلتية حسب دفترالشروط والمواصفات الفنية لاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية[16].

تم حساب الكثافة الاعظمية النظرية Gtm باستخدام العلاقة المعتمدة من قبل مخابر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية :

$$Gtm=100/[(b/Gbt)+(100-b)/Ge]$$

حيث :

Gbt: الوزن النوعي للاسفلت Gbt =1.03

Ge : الوزن النوعي الفعال للحصويات، جدول (3)

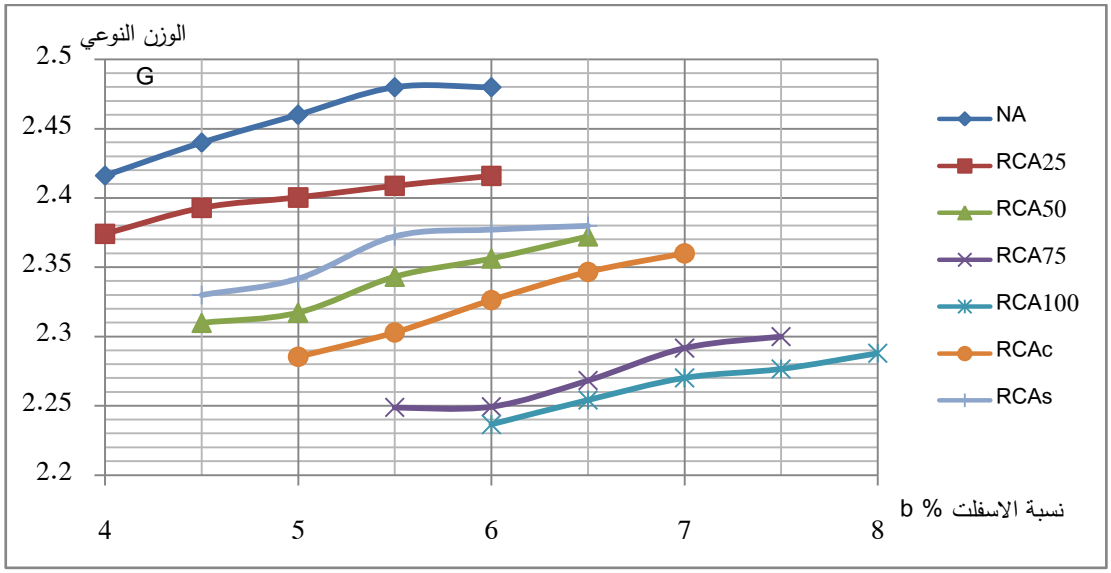
الجدول (6)نتائج اختبار مارشال لعينات محضرة بخلطات تحتوي نسب مختلفة من الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA

المطلوب	RCAc	RCAs	RCA100	RCA75	RCA50	RCA25	NA	
3-6	5.5	5	6.5	6.5	5.5	4.5	4	نسبة الاسفلت المثلى% bopt
-	2.3	2.34	2.25	2.27	2.34	2.39	2.42	الوزن النوعي للعينة G
-	2.46	2.5	2.38	2.41	2.47	2.54	2.59	الكثافة الاعظمية النظرية Gtm
5-7	6.25	6.51	5.11	5.71	5.2	5.81	6.82	نسبة الفراغات % Va
600<	1680	1451	1483	1810	1841	1701	1284	الثبات/الغمر 30 دقيقة/ K kg
-	1547	1193	1227	1559	1570	1639	1110	الثبات/الغمر 24ساعة/K` kg
30%>	8	18	18	14	15	4	14	فاقد الثبات % (K-K`)/K
2-5	3.08	2.7	2.7	2.87	2.72	2.54	2.9	السيلان F mm

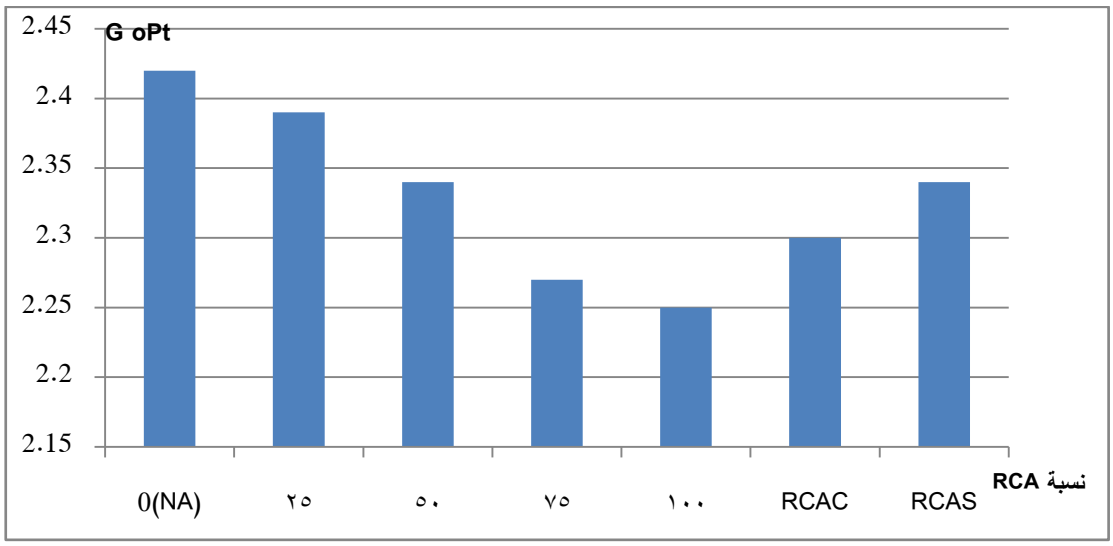
نلاحظ من الجدول (6) بأن العينات المختبرة تحقق شروط استخدامها في الخلطات الاسفلتية الساخنة من حيث نسبة الفراغات والثبات وفاقد الثبات والسيلان وذلك باستعمال نسب من الاسفلت مقبولة (% 6-3) باستثناء العينات المحضرة باستخدام نسب عالية من RCA وهيRCA75 و RCA100 حيث يتطلب استعمال نسبة اسفلت 6.5% لتأمين باقي شروط الخلطة ، كما نلاحظ تدني الوزن الحجمي لقالب الخلطة RCA100 عند نسبة اسفلت6% وتحطم حبات بحص الحصويات البيتونية المدورة، شكل (7) .

كما يتبين لنا من الجدول (6) بانه لابد من زيادة نسبة الاسفلت مع زيادة نسبة الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA في الخلطة. ،وذلك لتأمين شرط نسبة الفراغات Av(% 7-5)

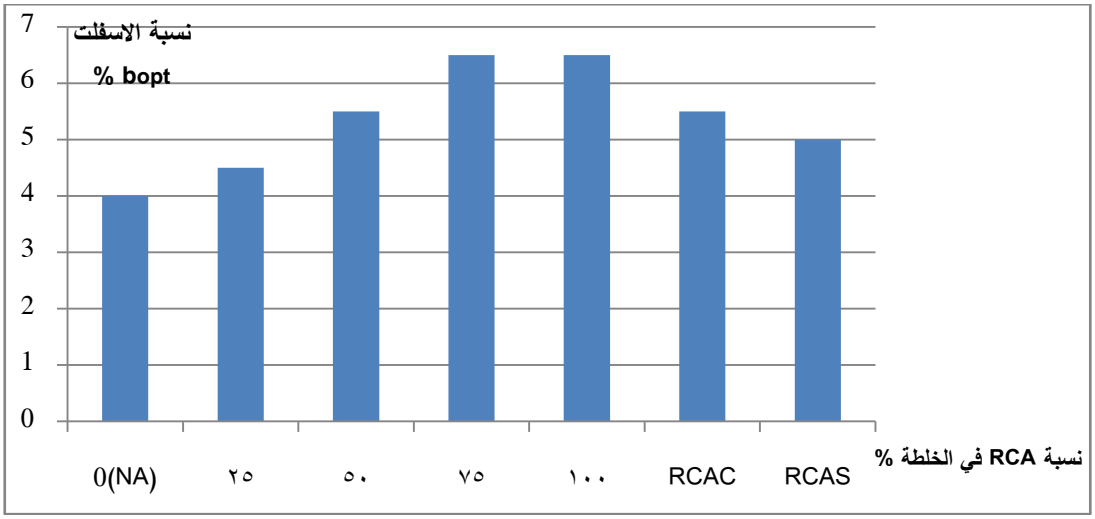
ولتوضيح تأثير استخدام الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA على نتائج اختبارات مارشال للخلطات الاسفلتية، تم اعداد مجموعة خطوط بيانية الاشكال (9,10,11,12).



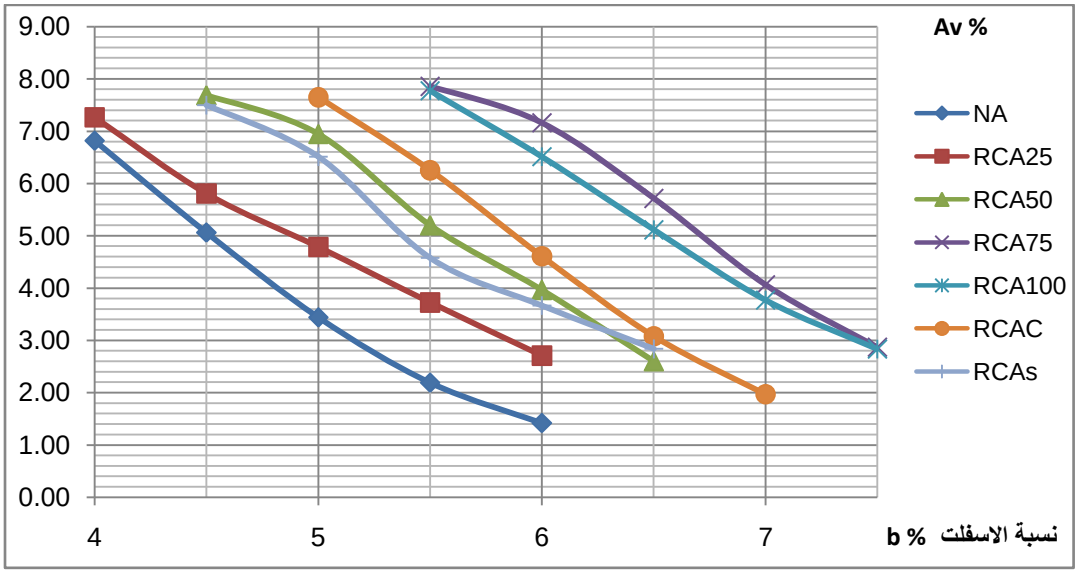
الشكل(9): تأثير نسبة RCA في الخلطة على علاقة نسبة الاسفلت b مع الوزن النوعي لقالب مارشال



الشكل(10) العلاقة بين الوزن الحجمي المقابل لـ bopt ونسبة RCA في الخلطة



الشكل(11) علاقة نسبة الاسفلت الأفضلboptمع نسبة RCA في الخلطة



الشكل(12) تأثير RCA في الخلطة على علاقة الفراغات الهوائية Av مع نسبة الاسفلت b

بالعودة الى الاشكال (9,10,11,12) ، نلاحظ بان خط التمثيل البياني الخاص بالخلطة RCAs يقع بين خطي الخلطتين RCA25 و RCA50 ، الاشكال (9 و 6) في حين يقع خط التمثيل البياني الخاص بالخلطة RCAc بين خطي الخلطتين RCA75 و RCA50 وهذا يعني بان الحصويات البيتونية معادة التدوير الخشنة (البحص ، المحجوز على المهزة رقم 4) ذات اثر سلبي اكبر،على المواصفات الفنية للخلطة HMA، بالمقارنة مع الحصويات البيتونية معادة التدوير الناعمة(الرمل، المار من المهزة رقم 4

وذلك يعود الى ان الحصويات البيتونية معادة التدوير الخشنة(البحص المحجوز على المهزة رقم 4) ذات مواصفات فيزيائية وميكانيكية ادنى بالمقارنة مع الحصويات البيتونية الناعمة(الرمل المار من المهزة رقم 4)، حيث تتميز الحصويات البيتونية معادة التدوير الخشنة (البحص المحجوز على المهزة رقم4) بمسامية عالية وامتصاص اكبر ووزن نوعي ادنى وارتفاع لمؤشر عدم التجانس وفاقد بالاهتراء اكبر ، بالمقارنة مع الحصويات البيتونية معادة التدوير الناعمة(الرمل المار من المهزة رقم4) ،[17] .

واذا اضفنا الى كل ماسبق ، ظاهرة تحطم الحصويات البيتونية معادة التدوير بتاثير الرص، الشكل(7) ،يتبين بانه من المفيد خفض كمية الحصويات البيتونية المدورة الخشنة ما امكن لتحسين المواصفات الفنية للخلطة.

من الجدير بالذكر ، بأن امتصاص الحصويات للاسفلت ، وخاصة عندما تكون الحصويات عالية الامتصاص مثل RCA ، يرتبط ببقاء الاسفلت سائلا ، وهذا يتطلب درجة حرارة عالية قد لا تتوفر الا اثناء التشغيل(عمليات الخلط و الرص ،بما فيها الزمن اللازم لنقل المجبول للموقع) وبالتالي اطالة المدة الزمنية اللازمة للتشغيل يؤدي الى زيادة كمية الاسفلت الممتص MAA(Mass Of Absorbed Asphalt) وهذا يعني ان زيادة مدة التشغيل، تؤدي الى انخفاض كمية الاسفلت الفعال MAE (Mass Of Effective Asphalt) و زيادة نسبة الفراغات الهوائية من اجل نفس نسبة الاسفلت b ، او استهلاك كمية اسفلت اضافية لتعويض الاسفلت الممتص، وسينعكس ذلك على سلوكية طبقة الرصف لاحتمال طرد جزء من كميات الاسفلت الممتص، في حال زيادته، تحت تأثير تكرار التحميل بفعل مرور العربات الثقيلة، خاصة في ايام الصيف حيث تكون درجات الحرارة مرتفعة، وقد تتجاوز هذه الكميات نسبة الفراغات الهوائية فتعمل على تخريب الطريق .

الاستنتاجات والتوصيات :

بينت نتائج الاختبارات التي أجريت لدراسة امكانية استعمال الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA في الخلطات الاسفلتية الساخنةHMA، موضوع البحث، ما يلي:

1 حققت الحصويات البيتونية معادة التدوير قيما للمكافئ الرملي % 76 ومقاومة التآكل بالاهتراء % 30 ، وهي تتناسب مع شروط استخدامها في الخلطات الاسفلتية الساخنة HMA حسب دفتر الشروط والمواصفات العامة لاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية.

2 بينت نتائج اختبار مقاومة التآكل بالاهتراء، بأن الحصويات البيتونية معادة التدوير المدروسة غير متجانسة بالقساوة، وهذا يعني وجود بعض، او جزء من بعض الحصويات ، ذ ات متانة اقل من باقي الحصويات وينعكس ذلك واقعيا بتحطم الحصويات (او اجزاء الحصويات) منخفضة المتانة تحت تأثير الحمولات الديناميكية (الرص اوحمولات الاستثمار الثقيلة) وينتج عن ذلك تشكل سطوح حصويات جديدة (الناتجة عن تحطم الحصويات)غير مغلفة بالاسفلت وهذا يعني اضعاف الترابط بين حصويات الخلطة وخفض مرونتها و امتصاص الحصويات المحطمة للماء مما يزيد من احتمال التقشر.

3 بناء على نتائج اختبارات مارشال ،يمكن الحصول على خلطة بيتون اسفلتي ساخن محققة لشرط استخدامها في تنفيذ طبقة الاساس البيتوميني للطرق، حسب دفتر الشروط والمواصفات العامة لاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية، وذلك باضافة الحصويات البيتونية معادة التدوير RCA بنسبة لا تزيد عن % 50 ، او خلطة فيها رمل من الحصويات البيتونية معادة التدويروالبحص من الحصويات الطبيعية.

4 ضرورة البدء بتنفيذ طبقة اساس بيتوميني لطرق تجريبية باستخدام الحصويات البيتونية معادة التدويرواجراء الاختبارات الحقلية ومتابعة آثار استخدام RCA حقليا، وربما تكون النتائج الحقيقية لاستخدام RCA في الواقع هي افضل بكثير مما تشير اليه نتائج الدراسات في المخبر ، حيث تشير نتائج الاختبارات الحقلية الى ان اداء الحصويات البيتونية معادة التدوير في طبقات الاساس وما تحت الاساس الحصوية افضل بكثير مما تشير اليه نتائج الدراسات المخبرية[16].

المراجع:

1- O'MAHONY, M.M. *Recycled Of Materials In Civil Engineering*. A Thesis Submitted To The University Of Oxford For The Degree Of Doctor Of Philosophy New College Trinity Term 1990 <www.eng.ox.ac.uk/civil/publicatiions/o_mahony.pdf>

2- FderalHigway AdministrationFHWA **:** *Recycled Materials Policy Administrator'smessage*.2002 <www.fhwa.dot.gov/legsregs/directives/policy/recmatpolicy.htm>

3- FderalHigway AdministrationFHWA**:***Transportation Applications Of Recycled Concrete Aggregate*.FHWA, State of the Practice National Review -September 2004 <www.fhwa.dot.gov/pevement/recycling/applications.pdf>

4- FderalHigway AdministrationFHWA: Recycled Conrete Aggregate,apdated 4-7-2011 <www.fhwa.dot.gov/pevement/recycling/rca.cfm>

5- Hendriks ChF, Janssen GMT ,*Reuse of construction and demolition waste in The Netherlands for road constructions*.2001 Heron46:109–117 <http://heronjournal.nl/46-2/4.pdf>

6- Wong YD, Sun DD, Lai D. *Value-added utilization of recycled concrete in hotmix asphalt*. National Center For Biotechnology Information,2007
<www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1654163>

7- MALESEV.M.;RADONJANIN.V.;MARINKOVIC.S.,*Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production***.** Sustainability 2010
<www.masterbuilder.co.in/data/edata/may2012/58.pdf>

8- YUE.P.;TAN.Z.;GUO.Z.;*Microstructure and Mechanical Properties of Recycled Concrete Aggregate Concrete in Seawater Enveronment*.the scientific world journal,volume 2013(2013),articles ID 306714,7pages
<http://www.hinawi.com/journags/tswj/2013/306714/>

9- SCHOPPY.B.M. *Shrinkage & Modulus Of Elasticity In Concrete With RecycledAggregate*. a thesis presented to the faculty of California polytechnic state university,san luis obisp ,appril 2011
<digitalcommons.calpoly.edu/viewcontent.cgi?articl=1529&context=theses>

10- SOLYMAN.M. *Classification Of Recycled sands And Their Applications As Fin Aggregate For Concrete And Bituminous Mixtures,2005*
<Dissertation_mahmood_Solyman.pdf>

11- Y.H.CHO;T.YUN;I.T.KIM;N.R.CHOI,The *Aplication Of Recycled Concrete Aggregates(RCA) For Hot Mix Asphalte (HMA)bas Lyer Aggregates*
<link.Springer.com/article/10.1007%ZFs12205-011-1155-3>

12- A.R.PASSANDIN;L.PEREZ,*Mecanical Properties Of Hot Mix Asphalte Mad With Recycled Concrete Aggregates Coated With Bitumen Emulsion*,31-mars-2014
www.sciencedirect.com/science/articl/S0950061814000877

13- A. H. Aljassar · K. B. Al-Fadala ;M.A. Ali**,***Recycling building demolition waste in hot-mix asphalt concrete:a case study in Kuwait***,**J ,Springer Science+Business Media, Springer-Verlag 2005
<link.springer.com/article/10.1007%2Fs10163-005-0135-4#page-1>

14- M.S.PORTAHMASB;M.R.KARIM,Performance *Evaluation Mastic Asphalte &Hot Mix Asphalte Mixture Containing Rcycled Concrete Aggregate*,adveced in materiags science end engineering,volume(2014),article ID 863148,12P.
http://dx.dot.org/10.1155/2014/863148

15-Gordana Pitkovic,Norwegian, *Public Road Adminstration,The recycling Challenge in Norwegian Road Constraction*, international conferencesustainability in the cemente and concrete industry , Norway 16-19-sep.2007

16-الشروط والمواصفات العامةلاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية-وزارة المواصلات دمشق *.2002*

17-اندراوس سعود ; رباب جوني ; عبد القادر الكل ، *تأثير تغير حجوم الحصويات البيتونية المدورة RCA على خواصها الفيزيائية والميكانيكية وامكانية استخدامها في انشاء طبقات الاساس وماتحت الاساس الطرقي*، سلسلة العلوم الهندسية(ISSN:2079- 3081)المجلد(37)العدد(3) عام 2015, مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية.