The Effect Of Using Recycled Concrete Aggregates RCA As Coarse Aggregates On Hot Mixed Asphalt HMA Properties

Dr. Bassam Assad Sultan *
Dr. Rami Hanna**
Samira Wafeek Abbas ***

(Received 3 / 6 / 2024. Accepted 2 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

The process of recycling construction wastes is considered one of the modern sustainable technology techniques with increasing interest around the world in order to develop integrated sustainable plans and solutions. That contributes positively in reducing the demand for natural resources in their actual conditions of rarity, in parallel with the increasing amounts of demolition wastes around the world due to the rapid urban growth, which become a serious threat to the environment.

The aim of this study is to evaluate the faculty of using recycled aggregates from concrete demolition products (RCA) as a coarse aggregates, as an alternative to natural ones in hot asphalt mixtures (HMA), by using Marshall Method with different percentages of RCA, (0 – 25 – 50 - 75 – 100)%, and to describe their properties.

The mixtures with coarse recycled aggregates results were in accordance with the required specification. Meanwhile, the replacement ratio up to 50% has shown an improvement in the performance compared to natural mixtures. However, replacement ratios above 50% have worsen the performance of the mixtures due to the low quality of RCA aggregates ,in addition to a noticeable increase in the optimal bitumen content Required for mixtures .

Keywords: recycled concrete aggregates RCA - natural aggregates NA - hot asphalt mixes HMA – Marshall.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.**
** **Associate Professor- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.**
** **Postgraduate Student (Ph.D.) - Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia- Syria.**

تأثير استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كحصويات خشنة على خصائص الخلائط الإسفلتية الحارة HMA

د. بسام أسعد سلطان*

د. رامي ميخائيل حنا**

سميرة وفيق عباس***

(تاريخ الإيداع 3 / 6 / 2024. قُبِل للنشر في 2/ 12 / 2024)

□ ملخّص □

تعتبر عملية إعادة تدوير النفايات الإنشائية أحد تقنيات التكنولوجيا المستدامة الحديثة التي تحظى باهتمام متزايد حول العالم من أجل تطوير خطط وحلول مستدامة ومتكاملة، بما يسهم في تقليل الطلب على المصادر الطبيعية في ظروف ندرتها، بالتوازي مع تزايد كميات نفايات الهدم حول العالم بسبب النمو العمراني المتسارع والتي أصبحت تشكل تهديداً خطيراً على البيئة.

إن الهدف من هذه الدراسة هو تقييم صلاحية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كحصويات خشنة بديلة عن الحصويات الطبيعية في إنتاج الخلطات الإسفلتية الحارة HMA ، عبر تصميم خلطات إسفلتية حارة بطريقة مارشال بنسب مختلفة من الـ RCA هي %(100-75-50-25-0) وتوصيف خصائصها.

حققت الخلائط التي تحوي نسباً من الحصويات المعاد تدويرها الخشنة نتائج متوافقة مع المواصفات ، في حين ترافقت نسبة الاستبدال حتى 50% بتحسن في الأداء مقارنة مع الخلائط الطبيعية ، ولكن زيادة نسب الاستبدال عن(50%) أدى الى تدني أداء الخلائط، بسبب انخفاض جودة حصويات RCA بالإضافة إلى ارتفاع ملحوظ في نسبة البيتومين الأمثل المطلوب لتحقيق متطلبات مارشال.

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

حقــوق النشــر : مجلـة جامعـة تشـرين- سـورية، يحـتفظ المؤلفـون بحقـوق النشـر بموجـب التـرخيص CC BY-NC-SA 04

* **أستاذ – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

** **أستاذ مساعد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

*** **طالبة دكتوراه – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمة:

إن تزايد الوعي العالمي بالظروف البيئية المتدهورة الناتجة عن التراكم العشوائي النفايات بكافة أصنافها بالإضافة الى استنزاف وندرة وارتفاع أسعار المصادر الطبيعية ، أدى إلى تحرك قوي من أجل البحث عن نهج أكثر صداقة للبيئة واستدامة بهدف وضع الأسس الداعمة لاستدامة الاقتصاد .

تعتبر نفايات البيتون من أكثر النفايات انتشاراً حول العالم، حيث يوجد العديد من الإحصائيات حول كمياتها المنتشرة ، تعتبر الصين الأولى عالمياً بإنتاج نفايات البناء بمعدل يزيد عن مليار طن سنوياً، تشكل النفايات البيتونية حوالي 67% منها [1] ، وتشير التقديرات إلى أنه بحلول عام 2030 ستتوفر كميات تقدر ب 2.59 مليار طن ويمكن أن ترتفع هذه الكمية الى 3.5 مليار طن بحلول عام 2050 [2]. شكلت إدارة هذه الكميات تحدياً كبيراً أمام الشركات حول العالم ، في حين بينت الدراسات بأن إعادة استخدام هذه النفايات في الأعمال المدنية من شأنه أن يعود بفوائد كبيرة في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية والمساهمة في تقليل البصمة الكربونية لأعمال البناء .

تم إعادة استخدام هذه النفايات في الأعمال المدنية في العديد من المجالات كإنتاج بيتون جديد[14],[18] أو في طبقات الرصف بأنواعها [1],[2][12],[23],[25],[27] و في انشاء الغابيونات(جدران حجرية استنادية) ، وأظهرت هذه الحصويات أداءً مرضياً ومحققاً للمواصفات، وفي بعض المجالات ساهمت بتحسن شروط أداء المنشاءات المنفذة منها[12],[15],[16],[17],[18] . ظهرت فكرة إعادة استخدام هذه الحصويات في أعمال الطرق كحصويات خشنة وحصويات ناعمة حسب معايير التدرج[30],[29] حديثاً ، ودخلت حيز التنفيذ في طبقات التأسيس الطرقي سواء كانت معالجة أو بدون معالجة إلا أن تدني المواصفات الفيزيائية لهذه الحصويات شكل تخوفاً كبيراً من استخدامها في طبقات التغطية الإسفلتية والتي قد تؤثر بشكل مباشر على أداء الخلائط المصنعة منها ، إلا أن العديد من الدراسات الحديثة أشارت إلى إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل عن الحصويات الطبيعية NA في إنتاج الخلطات الإسفلتية[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10] .

أجريت الكثير من الأبحاث حول العالم لدراسة الخلائط الاسفلتية بأنواعها,[3],[4],[5],[6],[7],[8] [10],[21],[23],[25] والمصنعة باستخدام نسب استبدال مختلفة في الخليط الحصوي الطبيعي وفق أحد التدرجات الناعمة أو الخشنة أو على كامل التدرج ، وأشارت نتائج هذه الدراسات الى أن حصويات الـ RCA ذات سطح خشن غير منتظم وحاد الزوايا مما يؤمن سطح استناد جيد للحصويات وثبات جيد للخلائط تحت تأثير الحمولات المرورية ، إلا أن ارتفاع خواص الامتصاصية والاهتراء لهذه الحصويات وانخفاض وزنها النوعي أدى الى تزايد محتوى البيتومين الأمثل للخلائط الاسفلتية الحارة وصل الى 6% مقارنة مع المحتوى الأمثل للخلائط من الحصويات الطبيعية . إلا أن خلائط الـ RCA أبدت تحسن في خصائص الثبات و الانسياب بمعدل 27% مع تزايد نسب الاستبدال حتى 40% [3],[4],[5],[6],[7], [8],[9],[10],[11],[25],[26].[27],[28]

كما أشارت الدراسات الى أن استخدام حصويات الـ RCA كحصويات ناعمة FRCA أدى الى تناقص حجم الفراغات الهوائية VA وحجم الفراغات في المواد الحصوية VMA مع تزايد نسبة الاستبدال ، في حين تزايدت هذه النسبة مع تزايد نسبة الاستبدال في خلائط CRCA و RCA ، أما بالنسبة لمقاومة اجهادات الشد TSR وخصائص الثبات للخلائط FRCA فقد حققت تحسناً ملحوظاً مقارنةً مع خلائط CRCA و RCA ,[27].

بسبب ارتفاع محتوى البيتومين الأمثل مع تزايد نسب الاستبدال ، فقد اقترحت الأبحاث بأن استخدام حصويات الـ RCA سوف يحقق متطلبات الأداء والخصائص الحجمية بنسب استبدال لا تزيد عن 40% علماً بأن خصائص هذه

الحصويات ترتبط بشكل مباشر بخصائص ومواصفات البيتون الأصلي الفيزيائية والميكانيكية ، كما أوصت الدراسات بإجراء المزيد من التحقق والبحث حول خصائص الخلائط الاسفلتية المصنعة من الحصويات المعاد تدويرها RCA من أجل تأكيد صلاحية وجدوى استخدامها بما لاينعكس سلباً على أداء هذه الخلائط .

سنقدم في هذا البحث دراسة مفصلة عن خواص الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA لبيان صلاحيتها للاستخدام كحصويات في إنتاج الخلائط الإسفلتية الحارة كبديل خشن عن الحصويات الطبيعية ، لدراسة وبيان خصائص ومواصفات الخلائط الاسفلتية المصنعة باستخدام هذه الحصويات RCA ورصد تغير خصائص هذه الخلائط عند تغير نسب الاستبدال .

إشكالية البحث:

تزايد الطلب على الحصويات الطبيعية من أجل انشاء الطرق الجديدة أو صيانة الطرق القديمة بفعل النمو العمراني والتوسع المديني المتسارع ، مما أدى الى انخفاض في كمياتها وارتفاع كلفها ، بالتوازي مع تزايد كميات الهدم حول العالم والتي قدرت بملايين الأطنان سنويا متزايدة بشكل مستمر والتي تتراكم بشكل عشوائي ، فقد شكل الأثر السلبي لهذه النفايات على البيئة مصدر قلق لدى معظم الدول مما دفعها البحث عن طرق من أجل تصريف الكميات المتراكمة.

أجريت العديد من الأبحاث الحديثة التي قامت بتقييم ودراسة خصائص هذه الحصويات من أجل استخدامها في إنتاج الخلائط الاسفلتية الحارة إلا أن انخفاض جودتها وتناقض نتائج الأداء لهذه الخلائط أدى إلى التخوف من استخدامها ، الذي اقتصر بدوره على نسب استبدال منخفضة .

وفي سوريا فقد تراكمت نفايات البيتون بشكل كبير بعد الظروف الاستثنائية التي دمرت البنية التحتية بشكل كبير ، لذا فإن الحاجة للبحث عن إعادة استخدام هذه النفايات أصبح ضرورة ملحة ، في ظل خجل وقلة الخطوات السابقة المتخذة للاستفادة من نفايات الهدم في أعمال الطرق ، على الرغم من أن العديد من الأبحاث العالمية أثبتت إمكانية استخدامها في الرصف الطرقي، حيث أعطت التجارب المنفذة على الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA نتائج جيدة ومقبولة ومحققة للمواصفات المطبقة في تلك البلدان .

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من الحاجة لاعتماد التكنولوجيا المستدامة في صناعة الرصف بما يقلل من البصمة الكربونية الخاصة به عبر إيجاد مواد رصف طرقي بديلة للحصويات الطبيعية متوافقة مع المواصفات المطلوبة محليا من خلال الاستفادة من مخلفات البيتون ونواتج الهدم C&D .

ويهدف هذا البحث إلى دراسة وتقييم إمكانية إعادة استخدام نواتج هدم نفايات البيتون كحصويات معاد تدويرها RCA في إنتاج الخلطات الإسفلتية الحارة من أجل استخدامها كبديل جزئي أو كلي من الحصويات الطبيعية الخشنة ، وتوصيف أداء هذه الخلطات ومقارنتها مع المواصفات والشروط المحلية المعتمدة في سوريا ، كما يهدف البحث لبيان ودراسة تأثير نسب الاستبدال للحصويات المعاد تدويرها على خصائص الخلائط الحارة HMA .

كما يهدف البحث الى التشجيع على استخدام هذه النفايات في صناعة طبقة التغطية الاسفلتية للطرق في سوريا ، مما يساهم بشكل كبير في تخفيف الطلب على الحصويات الطبيعية و تصريف كميات النفايات الموجودة .

طرائق البحث ومواده:

مصادر عينات البحث:

1) الحصويات الطبيعية NA : وهي الحصويات الكلسية الطبيعية القاسية المكسرة ، تم الحصول من أحد مجابل مؤسسة تنفيذ الانشاءات العسكرية باللاذقية ، من أجل تصنيع خلطة اسفلتية مرجعية للمقارنة .

2)البيتومين bitumen : تم استخدام نوع واحد من البيتومين في الدراسة من أجل حصر التغييرات على الخصائص المدروسة بتأثير نسبة الاستبدال ، والبيتومين المستخدم في الدراسة هو البيتومين 70−60 تم الحصول عليه من مصفاة بانياس .

3) الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA : وهي الحصويات الناتجة عن عمليات طحن وتكسير نواتج هدم البيتون حيت تم تكسير هذه الكتل بواسطة الكسارات للوصول إلى التدرج المطلوب المحقق للمواصفات القياسية السورية للخلائط الاسفلتية المعتمدة لطبقات النغطية، وقمنا بتجميعها من عدة مواقع في مدينة اللاذقية هي : هدم بناء في منطقة المشروع العاشر ، وهدم بناء في منطقة الشاطئ الأزرق .

الأجهزة المستخدمة في البحث

جهاز مارشال

منهجية العمل المخبري :

استند البحث على الدراسة المخبرية على عينات إسفلتية مصنعة وفق طريقة مارشال أما تسلسل الأعمال فقد كان وفق ما يلي :

1) تحضير عينات المواد الحصوية:

تم إحضار نواتج هدم البيتون وطحنها باستخدام الكسارة الأوتوماتيكية الموجودة في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين وذلك للحصول على قطر أعظمي للحصويات 20mm .

2) توصيف الحصويات المستخدمة في البحث :

تم إجراء سلسلة من التجارب المخبرية على عينة الحصويات المغادج تدويرها RCA و الطبيعية NA وهي : التحليل الحبي والوزن النوعي والامتصاصية ولوس أنجلس والمكافئ الرملي ومقارنتها مع المواصفات المعتمدة في سوريا .

3) اختبارات البيتومين :

تشمل تجارب الغرز والاستطالة ونقطة التميع والوميض والاشتعال بغرض التأكد من مطابقة البيتومين للمواصفات المحلية السورية .

4) تحضير الخلائط الإسفلتية :

تم تصنيع خلطة اسفلتية حارة باستخدام الحصويات الطبيعية NA لاستخدامها كمرجع للمقارنة . كما تم تصنيع الخلائط الإسفلتية وفق طريقة مارشال و بنسب استبدال للحصويات الطبيعية الخشنة بحصويات خشنة من الـ RCA %(100−75−50−25) ، و محتويات للبيتومين تتراوح بين 4.5-7.5% عند كل نسبة استبدال .

5) اختبار عينات الخلائط الاسفلتية : تم تحديد الخصائص الحجمية للخلائط الاسفلتية المحضرة (VFB - VMA - Va) وخصائص الثبات والانسياب وتحديد المحتوى الأمثل للبيتومين OBC ومقارنتها مع معايير مارشال المعتمدة محليا ومواصفات ASTM & AASHTO .

نتائج الاختبارات والتوصيف لمواد البحث :

أ–اختبارات الحصويات

تم إجراء تجارب توصيف الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها وكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول رقم (1) والجدول رقم (2) :

جدول رقم (1) يبين نتائج الوزن النوعي والامتصاصية للحصويات الطبيعية NA والمعاد 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
Gsa	2.765	2.646	2.709	2.552	2.482	-
Gsb	2.720	2.603	2.663	2.199	2.076	-
الامتصاصية	0.58	0.6	0.6	6.3	7.8	
عامل الشكل %	13.3			11.4		

جدول رقم (2) يبين عامل الاهتراء والمكافئ الرملي للحصويات الطبيعية NA والمعاد تدويرها RCA

	حصويات طبيعية NA	حصويات RCA
SE %	96	95
LA %	24.31	41.76

نلاحظ من الجدول رقم(1) بأن الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA ذات وزن نوعي أقل من الحصويات الطبيعية NA وامتصاصية أعلى بسبب وجود طبقة المونة الاسمنتية الملتصقة بالحصويات المعاد تدويرها، مما تسببت بزيادة نسبة البيتومين المثالية المطلوبة ، كما يوضح الجدول رقم (2) بأن الحصويات المعاد تدويرها ذات اهتراء أعلى من الحصويات الطبيعية إلا أنها تمتلك مكافئ رملي جيد .

ب - نتائج اختبار وتوصيف البيتومين :

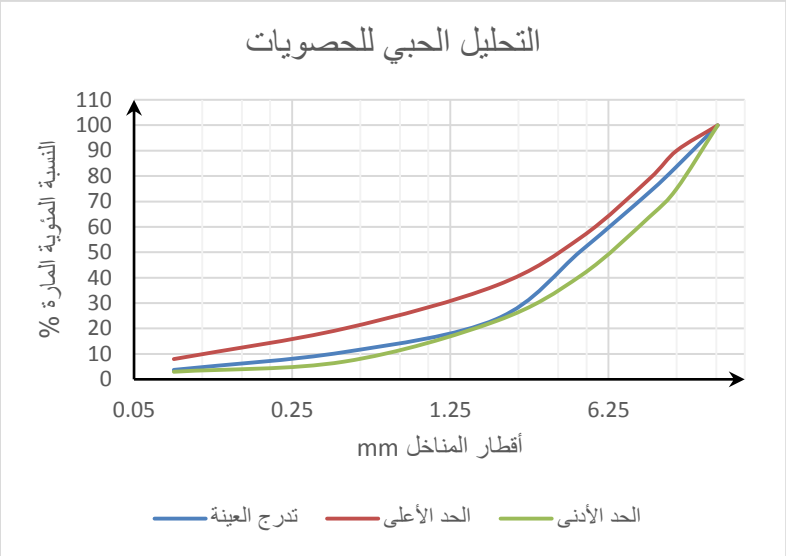
يبين الجدول رقم (3) نتائج التجارب التوصيفية للبيتومين المستخدم في الدراسة

جدول رقم (3) نتائج التجارب التوصيفية للبيتومين

الغرز mm	الاستطالة cm	نقطة التميع C	الفاقد بالتسخين %	اللزوجة عند درجة 60C Stc	نقطة الوميض C	نقطة الاشتعال C
62	>125	48	0.53	3000	245	252

المرحلة الثانية : تحضير الخلائط الإسفلتية :

بعد توصيف الحصويات المستخدمة في البحث بنوعيها(الطبيعية والمعاد تدويرها) قمنا بتحضير عينات مارشال بنسب مستبدلة متغيرة من الحصويات المعاد تدويرها RCA بقيم : %(100 -75 – 50 - 25 – 0) مقابل نسب بيتومين متغيرة تتراوح بين 4.5-7.5% ، أما التدرج الحبي للخليط الحصوي فهو موضح في الشكل رقم (1) .



الشكل رقم (1) التدرج الحبي للخليط الحصوي .

يوضح الجدول رقم (4) نتائج حساب نسب الفراغات والثبات لعينات الخلائط المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب RCA% (0): (عينة المقارنة)

جدول رقم (4) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات مارشال الطبيعية (عينة المقارنة)

BC %	الكثافة Gr/cm^3	Va %	VMA %	VFB %	Stability kg	Flow mm
4.5	2.312	7.4	17.06	57	1106	2.3
5	2.340	5.6	16.47	66	1278	2.5
5.5	2.366	3.8	15.99	76	1260	2.8
6	2.356	3.5	16.79	79	1147	3
6.5	2.348	3.1	17.55	82	1127	3.3
OBC %	5.3					

و الجدول رقم (5) يبين نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات الخلائط المحضرة وفق طريقة مارشال عند نسب الحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها(75%NA+25%CRCA) :

جدول رقم (5) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات مارشال عند نسب الحصويات(75%NA+25%CRCA)

BC %	الكثافة Gr/cm^3	Va %	VMA %	VFB %	Stability kg	Flow mm
4.5	2.307	6.1	14.9	59	996	2.3
5	2.316	5.1	15.1	66	1008	2.5
5.5	2.323	3.9	15.2	74	1249	2.7
6	2.318	3.5	15.8	78	1237	2.9
6.5	2.313	3.0	16.4	82	1117	3.1
OBC %	5.65					

يبين الجدول رقم (6) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات الخلائط المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب 50%NA+50%CRCA :

جدول رقم (6) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات خلائط مارشال عند النسبة 50%NA+50%CRCA

BC %	الكثافة Gr/cm^3	Va %	VMA %	VFB %	Stability kg	Flow mm
5	2.171	9.5	18.1	47	1052	2.3
5.5	2.209	7.3	17.1	58	1130	2.4
6	2.270	4.0	15.2	74	1173	2.4
6.5	2.266	3.5	15.9	78	1117	2.8
7	2.255	3.3	19.0	80	1043	2.9
OBC%	6.1					

يبين الجدول رقم (7) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات الخلائط المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب : 25%NA+75%CRCA

جدول رقم (7) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات خلائط مارشال عند النسبة 25%NA+75%CRCA

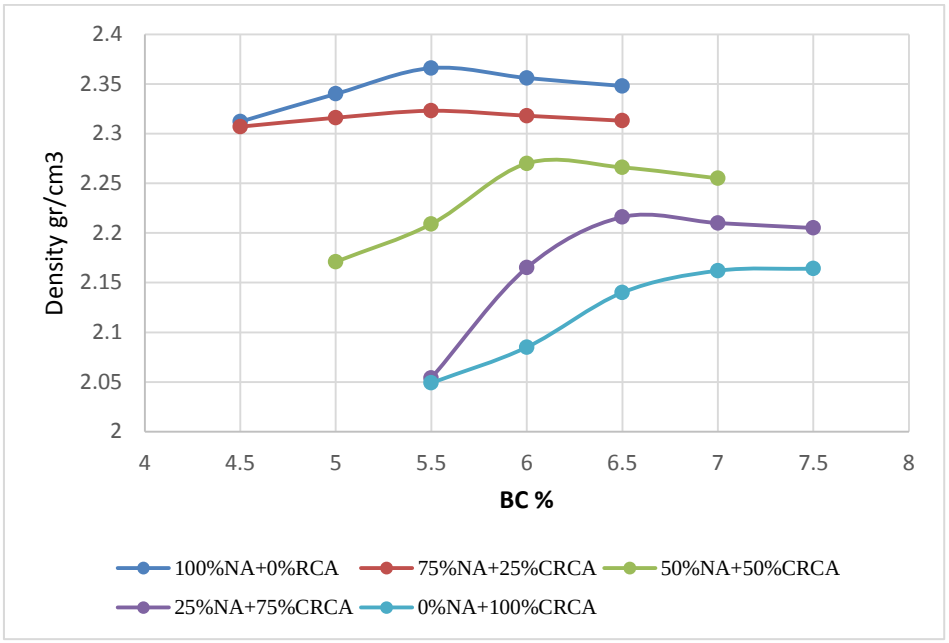
BC %	الكثافة Gr/cm^3	Va %	VMA %	VFB %	Stability kg	Flow mm
5.5	2.054	9.7	20.7	53	940	2.3
6	2.165	7.1	17.0	59	1018	2.4
6.5	2.216	4.2	15.5	73	1082	2.6
7	2.210	3.8	16.2	77	1041	2.7
7.5	2.205	3.3	16.8	80	1030	2.9
OBC%	6.55					

الجدول رقم (8) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات الخلائط المحضرة وفق طريقة مارشال عند النسب : 0%NA+100%CRCA

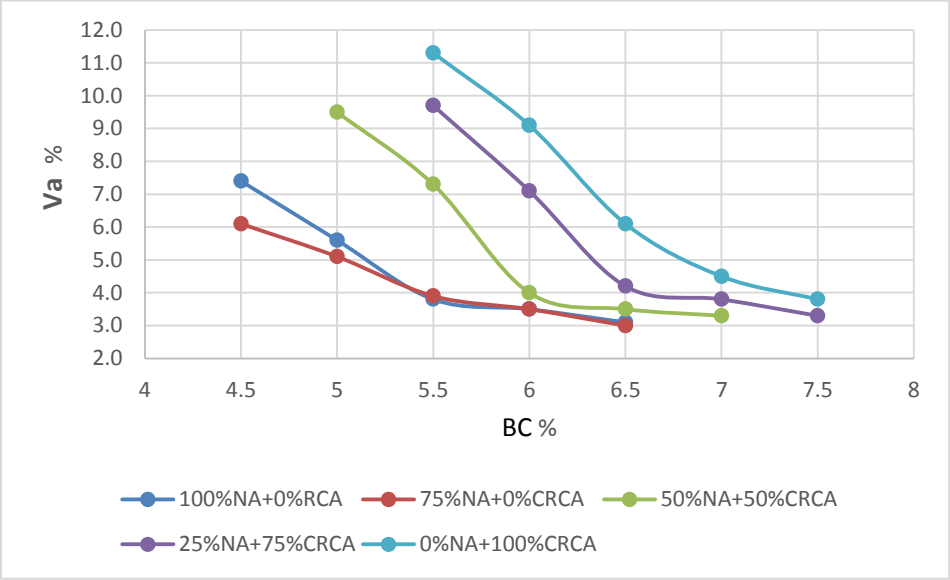
جدول رقم (8) نتائج تحليل الفراغات والثبات لعينات خلائط مارشال عند النسبة 0%NA+100%CRCA

BC %	الكثافة Gr/cm^3	Va %	VMA %	VFB %	Stability kg	Flow mm
5.5	2.049	11.3	19.9	40	833	2.2
6	2.085	9.1	18.0	49	866	2.3
6.5	2.140	6.1	16.3	62	992	2.5
7	2.162	4.5	15.8	72	1021	2.6
7.5	2.164	3.8	16.2	77	900	2.8
OBC %	7.0					

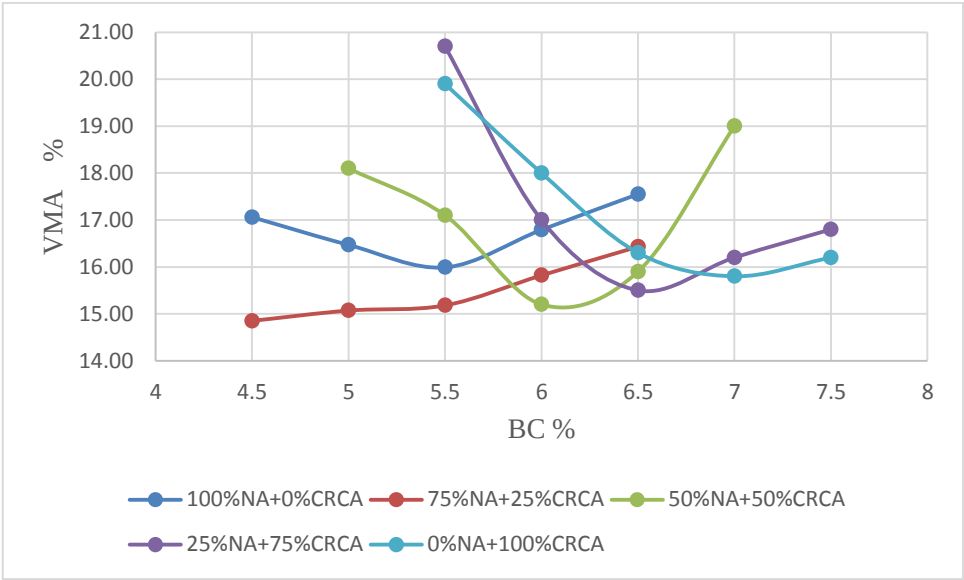
تبين الأشكال ذات الأرقام (2) ، (3) ، (4) ، (5) ، (6) ،(7) التالية تغير الكثافة عند نسب البيتومين المتغيرة و الفراغات الهوائية VA والفراغات في الحصويات VMA والفراغات المملؤة بالبيتومين VFB والثبات Stability والانسياب flow على الترتيب أما الشكل رقم (8) فيبين العلاقة بين نسب الاستبدال الخشن ومحتوى البيتومين الأمثل OBC للخلائط الإسفلتية :



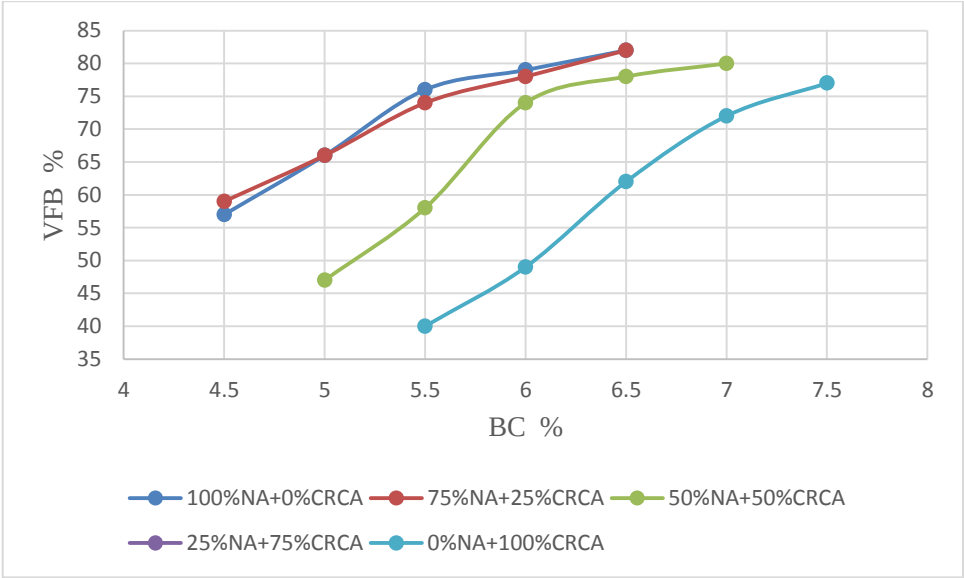
الشكل رقم(2) العلاقة بين الكثافة ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA



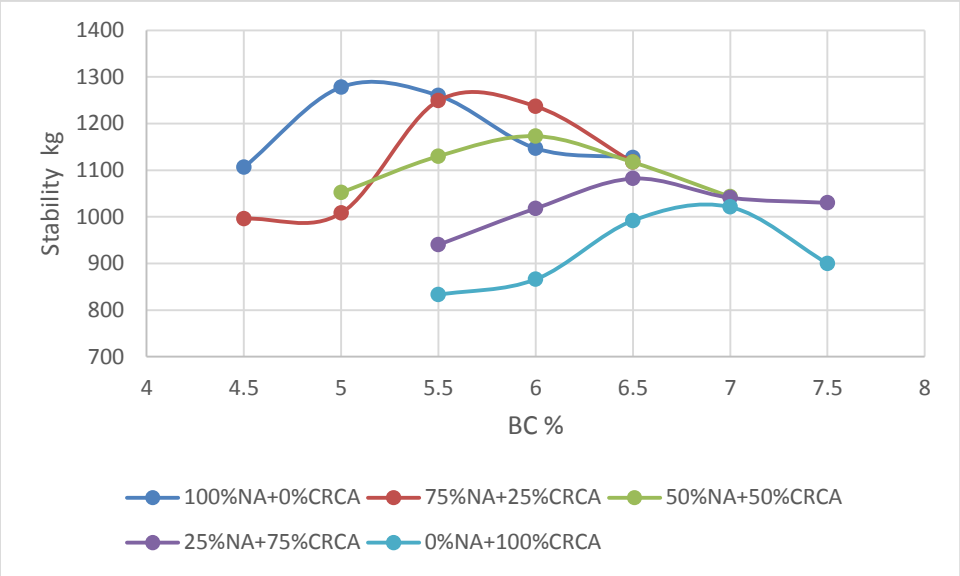
الشكل رقم(3) العلاقة بين الفراغات الهوائية VA ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA



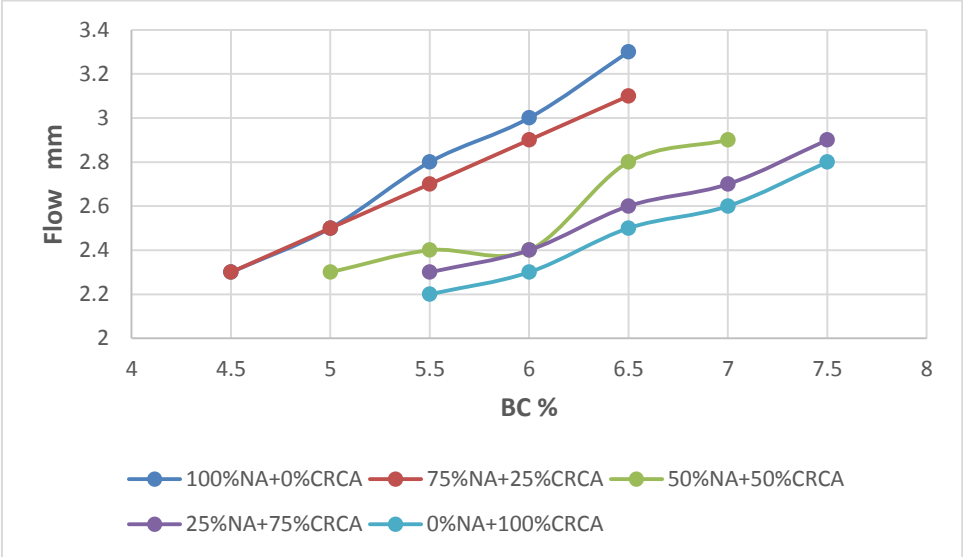
الشكل رقم(4) العلاقة بين الفراغات في الحصويات VMA ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA



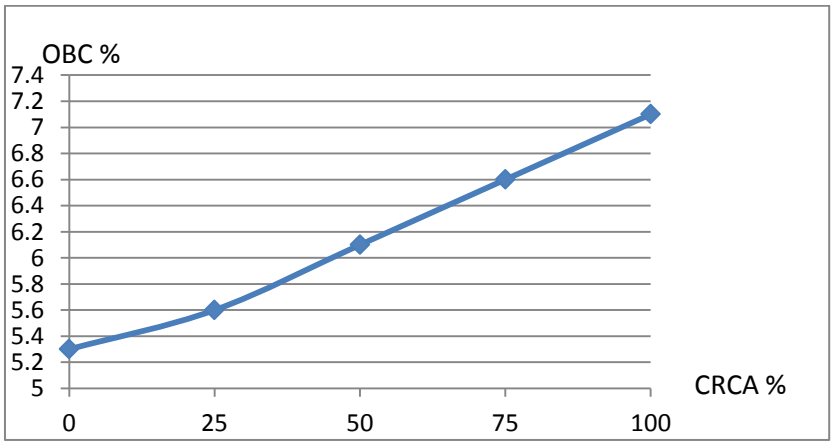
الشكل رقم(5) يبين العلاقة بين الفراغات المليئة بالبيتومين VFB ومحتوى البيتومين عند كل نسبة حصويات معاد تدويرها RCA



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



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



شكل رقم (8) يبين العلاقة بين نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA ونسبة البيتومين الأصولية OBC

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1) إن الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون تعتبر نظريا ذات جودة أقل من الحصويات الطبيعية بسبب وجود طبقة المونة المسامية النفوذة والضعيفة الملتصقة بها، إذ تؤثر سلباً على امتصاصية وكثافة ومقاومة تلك الحصويات ، وهذا يؤثر بشكل مباشر على خصائص الخلائط الاسفلتية المصنعة منها .

2) تناقصت كثافة الخلائط الاسفلتية مع تزايد نسبة الإستبدال بالحصويات الخشنة من لـ RCA ، كما تزايدت نسبة الفراغات الهوائية لتلك الخلائط مقارنة مع خلطة المقارنة الطبيعية الاسفلتية،ويعود السبب الرئيسي الى البنية المسامية للحصويات المعاد تدويرها RCA .

3) تناقصت نسبة الفراغات VMA للخلائط الاسفلتية مع تزايد نسبة المواد المعاد تدويرها RCA حيث أثرت مواصفات حصويات الـ RCA ذات الامتصاصية العالية على نسبة البيتومين الذي تتشربه الحصويات بالإضافة الى تفتت طبقة المونة المحيطة بالحصويات المعاد تدويرها بسبب الرص مما أثر على التشكيل الفراغي ضمن الخلطة .

4) تناقص نسبة الفراغات المملوءة بالبيتومين VFB مع تزايد نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA يرتبط بشكل مباشر بخواص الامتصاصية للخليط الحصوي والتي تزداد مع تزايد نسب الاستبدال .

5) حققت كل الخلائط التي تحوي نسباً مختلفة من الـ RCA ثباتاً جيداً محققاً للمواصفات الفنية عند محتوى البيتومين الأمثل، وذلك بسبب النسيج الخشن والشكل غير المنتظم للحصويات والذي يؤمن احتكاك كبير للنسيج الحصوي تحت تأثير الحمولات المرورية ، ألا أن قيم الثبات تناقصت مع تزايد نسب الاستبدال .

6) لم تؤثر نسبة الحصويات المعاد تدويرها RCA على قيم الانسياب بشكل ملحوظ وكان التغير في قيمه قليل عبر نسب الحصويات المعاد تدويرها وكان تناقصه مع تزايد نسب الاستبدال يعود الى مواصفات النسيج الحصوي .

7) العامل الأهم هو نسبة البيتومين المثالية للخلائط التي تحوي نسباً متزايدة من الحصويات المعاد تدويرها إذ أنه عند كل نسبة وجود حصويات معاد تدويرها (-RCA) في الخلطة يزيد من نسبة البيتومين المطلوبة وسطياً حوالي 4% وذلك يعود للمسامية وامتصاصية العالية الحصويات المعاد تدويرها مقارنة مع الحصويات الطبيعية .

8) من كل النتائج السابقة تعتبر الحصويات المعاد تدويرها RCA صالحة للاستخدام في تصميم الخلائط الإسفلتية الحارة كبديل عن الحصويات الطبيعية على ألا تزيد نسب الاستبدال عن 50% حيث أن نسب الاستبدال العالية تؤدي لانخفاض أداء الخلائط الاسفلتية بسبب تدني الخواص الفيزيائية للحصويات وبالأخص الامتصاصية والنفاذية والتي تنعكس بشكل مباشر على نسب البيتومين المثلى التي تتطلبها الخلائط . وهو ما أشارت اليه معظم الدراسات العالمية التي بحثت في إمكانية استخدام هذه الحصويات في الخلائط الاسفلتية .

التوصيات:

1) نوصي إجراء المزيد من الأبحاث حول إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها RCA في تصميم الخلطات الإسفلتية والتقصي حول تأثير مواصفات البيتون الأصلي مصدر الحصويات .

2) قد تؤثر طرق معالجة الحصويات المعاد تدويرها كالمعالجات البوزولانية أو تعديل الخلائط الاسفلتية عبر استخدام إضافات محددة – نفايات النايلون او المطاط أو الرماد المتطاير على خواص هذه الحصويات بما يسمح من زيادة نسبة الـRCA المستخدمة في تحضير الخلائط الإسفلتية الحارة أو توسيع مجالات استخدامها .

3) دراسة تأثير استخدام الـRCA كحصويات خشنة أو ناعمة أو فيلر على خواص الخلائط الاسفلتية الناتجة بما يضمن تحقيق الأداء الأفضل في الظروف الحقلية.

References:

1) NWAKAIRE, C , POH ,S .Y , YUEN ,W .C , ***Utilisation of recycled concrete aggregates for sustainable highway pavement applications a review*** , Malysia , 2020 , 19.

2) AL-MOSAWE , H , AL BAYATI , A , YU , WANG . NUHA S. M **.** ***An Experimental Study of Granular Material Using Recycled Concrete Waste for Pavement Roadbed Construction ,*** *Buildings* 2022 , *12*, 1926 , Switzerland , 2022 , 19.

3) ABDELZAHER .M , MOHAMED . O , ABDEL LATIF . J , ***Developing an Environmentally Sustainable Hot Mix Asphalt Using Recycled Concrete Aggregates***, Journal of Engineering Research and Applications , Egypt , 2015 , NO 12 , 6.

4) JANAÍNA . M , FAGUNDES . L , ROSEMBACK . M , LIEDI ,B . B , ***Performance of Hot Mix Asphalt Concrete Produced with Coarse Recycled Concrete Aggregate*** , American Society of Civil Engineers , USA , 2015 .

5) AL- SARRAG . N , AL-BAITI . H , AL-MALIKY . S , ***Use of Recycling Building Demolition waste As Coarse Aggregate in Hot Mix Asphalt*** , College of Engineering - Tikrit University, Iraq , 2014 , NO 21 , 14 .

6) ALFAQAWI . R , ***Using recycled aggregate in hot asphalt mixtures in gaza strip*** , Department of Civil Engineering، University of Nottingham , UK , 2012 **,** 108.

7) 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 , turkey, 2012 , 12 .

8) PÉREZ . I، PASANDÍN . A , MEDINA . L , ***Hot mix asphalt using C&D waste as coarse aggregates*** , Materials and Design , Span , 2011 , 21 .

9) YOON . H . C , TAEYOUNG . Y , NYOUNG . R . C , ***The Application of Recycled Concrete Aggregate (RCA) for Hot Mix Asphalt (HMA) base Layer Aggregate*** , Journal of Civil Engineering , Koria, NO 15 , 2010 , 6 .

10) MILLS , B . J , YOU . Z ,***The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates*** , Department of Civil and Environmental Engineering، Michigan Technological University , Construction and Building Materials , USA, NO 24, 2010 , 6.

11) AL FADALA . B . K , MOHAMMAD . A , AL JASSAR . A **,** ***recycled concrete wastes in hot mix asphalt ,Qwite university*** , UAE , 2004 , 12 .

12) SURYA . R , L , ***Recycled aggregate concrete for Transportation Infrastructur*****e ,**Transportation Research Group of India, **India ..**2013 , 45.

13) CORDEIRO . G , MAIOLI . G , VIEIRA. A , LEITE . M **,** ***Recycled concrete aggregates from different sources*** **.** Brazil. 2015 , 43 .

14) ABED . F ، HAMAD . J , ARAFA . M , ***Using of Recycled Aggregate in Producing Concrete Elements ,***Gaza ,The Islamic University , Palestine , 2009 **,** 81 .

15) HILLAR . J , DESPHANDE .Y , QIN .Y **,** ***Efficient ues of recycled concrete in transportation infrastructure ,*** Michigan technological university ,USA **,** 2011 **,** 45 .

16) MALEŠEV . M, RADONJANIN .V , MARINKOVIĆ . S , ***Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production*** **,** Belgrade , **2010 ,** 12 . < www.mdpi.com/journal/sustainability> **.**

17) MIRJANA . M ، VLASTIMIR . R , GORDANA . B , ***Properties of recycled concrete aggregates*** , Serbia , 2014 , 11 .

18) ANDERSON . k , UHLMEYER . J , RUSSELL . M , ***Use of recycled aggregates in PCCP literature research*** ,Washington state departure of transportation ,USA , 2009 , 37 .
19) COOLEY . A , ROBERT . J , ***Hot mix asphalt mix selection guide .*** Mississippi Department of Transportation **, USA** , 2008 , 56 .
20) Asphalt Industries Limited , ***Basic Asphalt Materials Mixture Design and Testing Technician Training Manual ,*** USA **,** Torinto , Canada , 2012 , <info@Mcasphalt.com >.
21) North Carolina Department of Transportation , ***Hot mix asphalt quality management system,***. USA. 502 . 2012, <http://www.ncdot.org/doh/operations/materials>
22) National Asphalt Pavement Association , Federal Highways Administration. ***HMA pavement mix type selection guide*** **, USA ,** 2001 , 128.
23) National cooperative highway research program , ***A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary*** **,**Transportation research board , USA , 2011,< www.TRB.org > **.**
24) CHOUDHARY . R , MONDAL . A , KAULGUD . H ,***Use of Cold Mixes for Rural Road Construction*** , International Journal of Computer Applications **,** India , 2012 *(5)* .
25) MARG . K , ***Use of cold mix technology in construction and maintenance of roads using bitumen emulsion*** , Indian roads congress India , 2014 , 125.
26) The International Journal of Pavement Engineering and Asphalt Technology (PEAT) , ***Warm asphalt mixes for Australian airports*** **,** Australia , 2014 ,16 . <*greg.white@fultonhogan.com.au*.> .
27) ALEKSANDAR . R , IVAN . I , MICHAEL . P. W , DIMITRIJE . Z , ***The Impact of Recycled Concrete Aggregate on the Stiffness, Fatigue, and Low-Temperature Performance of Asphalt Mixtures for Road Construction*** , USA , 2020 , 25 . <https://www.researchgate.net/publication/341336359.>
28) CLAUDE . V, JEAN . L , ***Performance Evaluation of Construction and Demolition Debris as Substitute for Aggregate in Hot Mix Asphalt*** , international journal of sustainable development and planning , USA ,2020, , 6 .
29) FEREIDOON . M . N, ALI . R . A, GHOLAM . H . H , ***the effects of using recycled concrete on fatigue behavior of hot mix asphalt ,*** journal of civil engineering and management , print/ 1822-3605 , USA , 2012 ,7 .
30) JUAN . J. G , LUÍS . M . S , IGNACIO . P , ANA . R . P , ***Mechanical Behavior of Hot-Mix Asphalt Made with Recycled Concrete Aggregates from Construction and demolition Waste: A Design of Experiments Approach*** Span ,2019 , NO 29 , 12. <www.mdpi.com/journal/sustainability .>

معاني الرموز المستخدمة في البحث

- CRCA ; coarse recycled concrete aggregates . الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون
- NA : natural aggregates . الحصويات الطبيعية
- HMA : hot mixed asphalt . الخلائط البيتومينية الحارة
- C & D : construction and demolition wastes . نفايات الهدم والبناء
- OBC : Optimum Bitumen content . محتوى البيتومين الأمثل
- VA : volume of air voids . نسبة الفراغات الهوائية
- VMA : volume in mineral aggregates . نسبة الفراغات في المواد الحصوية
- VFB : volume of voids filled with bitumen . نسبة الفراغات المليئة بالبيتومين
- Gmm: theoretical maximum specific gravity . الوزن النوعي الأعظمي

- SE : sand equvilent . المكافئ الرملي
- Gsa : apperant specific gravity الوزن النوعي الظاهري
- Gsb : bulk specific gravity الوزن النوعي الحجمي
- LA : los Anglos Abrasion . عامل لوس انجلس للاهتراء
- CRCA-0% الخلطة البيتومينية الحارة بدون حصويات معاد تدويرها
- CRCA-25% الخلطة البيتومينية الحارة بنسبة 25% حصويات معاد تدويرها خشنة
- CRCA-50% الخلطة البيتومينية الحارة بنسبة 50% حصويات معاد تدويرها خشنة
- CRCA-75% الخلطة البيتومينية الحارة بنسبة 75% حصويات معاد تدويرها خشنة
- CRCA-100% الخلطة البيتومينية الحارة بنسبة 100% حصويات معاد تدويرها خشنة