مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (3) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (3) 2015

تأثير تغير حجوم الحصويات البيتونية المدورة RCAعلى خواصها الفيزيائية والميكانكية وامكانية استخدامها في انشاء طبقات الأساس وما تحت الأساس الطرقي

الدكتور أندراوس سعود *
الدكتور رباب جوني **
عبد القادر الكل ***

(تاريخ الإيداع 1 / 2 / 2015. قُبِل للنشر في 15/ 6 / 2015)

□ ملخّص □

تعتبر عملية تدوير نفايات الهدم والبناء البيتونية من أهم مصادر الحصويات، لتنفيذ طبقات الأساس وما تحت الأساس الطرقي في العديد من دول العالم.

تتأثر الخواص الفيزيائية والميكانكية للحصويات البيتونية المدورة RCA بعدد كبير من العوامل، وتشير كافة الأبحاث السابقة إلى أن الحصويات البيتونية المدورة ذات خواص فيزيائية وميكانكية أدنى بالمقارنة مع الحصويات البكر.

وتكمن المشكلة في الكميات الكبيرة لنفايات الهدم والبناء البيتونية ، وبالتالي فهي تشغل مساحات كبيرة من الأراضي، و لابد من تدويرها و استثمارها بالشكل الأمثل رغم خواصها الفيزيائية والميكانكية المتدنية.

يتناول هذا البحث عملية تحضير الحصويات البيتونية المدورة RCA، الناتجة من تدوير ركام بيتوني تم احضاره من مكب السليمة قرب مدينة دمشق. ومن ثم اخضاع هذه الحصويات للاختبارات المناسبة، وذلك من أجل دراسة تأثير تغير حجوم الحصويات على خواصها الفيزيائية والميكانكية (الأوزان النوعية، التشرب بالماء، كثافة بروكتور، مقاومة الاهتراء)، بالإضافة إلى دراسة امكانية استخدام هذه الحصويات في مجال انشاء طبقات الأساس وما تحت الأساس الطرقي في بلدنا. وبالنتيجة تبين أن كافة عينات حصويات RCA المدروسة تحقق الشروط الفنية المطلوبة لاستخدامها في انشاء طبقتي الاساس وما تحت الأساس الطرقي. كما بينت نتائج الاختبارات زيادة مقاومة الاهتراء(لوس انجلوس) كلما كانت الحصويات ذات حبيبات اقل خشونة، بينما اظهرت نتائج اختبار بروكتور (زيادة الكثافة الجافة العظمى وانخفاض الرطوبة المثلى)مع الخلطات ذات التدرج الأكثر خشونة.

الكلمات المفتاحية: الحصويات البيتونية المدورة، نفايات الهدم والبناء، الخواص الفيزيائية والميكانيكية، حجوم الحصويات.

* **أستاذ – 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 (3) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (3) 2015

The Effect of Changing Aggregate's Size on its Mechanical & Physical Properties and the Possibility of Using it in Base &Sub base Road Layers

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

(Received 1 / 2 / 2015. Accepted 15 / 6 / 2015)

□ ABSTRACT □

The recycling of debris, is considered as one of the most important resources for constructing base &subbase road layers in many countries.

There are two problems for RCA: first, the considerable size it takes up when collected and second, its low technical properties. The second problem appears in countries which don't have natural quarries and they have to use RCA in certain fields (concrete mixes, asphalt mixes, granular road layers).

This research discuses preparing RCA aggregates, by recycling the concrete waste, which comes from Al-Sallima landfill, near to Damascus city. Then many tests are carried out to study the effect of changing the aggregate's size on their mechanical & physical properties, and also to study the possibility of using these aggregates in constructing base &subbase road layers.

As a result, it has been found that we can use RCA for constructing unbound base &subbase road layers, and the mechanical & physical properties of these RCA get better when the aggregate's size gets smaller, except in Proctor test. In this test, Proctor density and optimum moisture content get better when aggregate's size gets bigger.

Key words: recycled concrete aggregate (RCA), construction & demolition wastes (C&D Wastes the mechanical &physical properties, aggregate's size**.**

***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(ph.d). Department of communication and transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university, Damascus Syria.**

مقدمة:

تعتبر عملية تدوير النفايات من اهم مقومات التنمية المستدامة ، حيث تؤدي عملية التدوير الى توفير الموارد الطبيعية والحفاظ على البيئة من خلال تخفيض مساحات مكبات النفايات ، اضافة الى ما يمكن تحقيقه من وفر اقتصادي .

تشكل النفايات بشكل عام مصدرا لعدة سلبيات ومساوئ اقتصادية وبيئية ،منها:

-هدر المصادر الطبيعية.

تكاليف اقتصادية لنقل النفايات الى المكبات.

خسارة في القيمة التجارية لأرض هذه المكبات، وتأثيرها سلبيا على الاراضي المجاورة لها.

المشاكل البيئية الناتجة عن تشويه الطبيعة بسبب زيادة عدد المصادر الطبيعية، من جهة، و تلوث البيئة الناتج عن توسع المكبات من جهة ثانية.

و لحل مسألة النفايات هناك مجموعة من الخيارات، مرتبة حسب الأولوية : اعادةاستعمالها، تدويرها، ادخالها كمادة في صناعة المواد المركبة، حرقها وتحويلها الى رماد، تحويلها الى المكبات.

اعادة الاستعمال والتدوير ، هما الخياران المطروحان دوما للدراسة عندما يكون الكلام عن نفايات الهدم والبناء البيتونية C&D WC (Constraction & Demolition Waste Concrete) ، لتميز هذين الخيارين بقابلية كبيرة للتطوير ، والجدوى الاقتصادية ، وحفظ للموارد الطبيعية وحماية للبيئة مقارنة مع الخيارات الأخرى.

تعرّف الحصويات البيتونية المدورة RCA(Recycled Concrete Aggregate)، بأنها حصويات ناتجة عن تدوير نفايات الهدم والبناء البيتونية C&D WC. وتتألف عملية التدوير من عدة مراحل ، اهمها:

فرز نفايات الهدم والبناء البيتونية عن بقية النفايات، وجمعها في ساحات مخصصة تحميها من الملوثات الكيميائية والعضوية.

تكسير الكتل البيتونية الكبيرة وتخليصها من حديد التسليح.

نقل النفايات C&D WC،الى مراكز الطحن (الكسارات)،حيث يتم طحنها لتحويلها الى حصويات.

وقد لجأت المانيا بعد الحرب العالمية الثانية الى استعمال ما خلفته الحرب من هذه النفايات في اعمال الردميات وتحت خطوط الانابيب ، ومنذ أكثر من أربعة عقود، تزايد اهتمام كثير من الدول بتحويل نفايات الهدم والبناء البيتونية إلى حصويات RCA لاعادة استخدامها كبديل عن الحصويات البكر أو الطبيعية(في أعمال الردميات، وتنفيذ طبقات الأساس وما تحت الأساس الطرقي)، مثل امريكا وهولندا، وقد جاء في توصيات وثيقة ادارة الطرق الفدرالية FHWA ،[1]،بأنه يجب اعتماد إعادة التدوير كأول مصدر لتزويد مشاريع الطرق بالحصويات مع الأخذ بعين الاعتبار ضرورة تحقيقها للشروط والمواصفات الفنية المطلوبة في الحصويات الطبيعية اوالبكرNA Natural , Virgin (Aggregate) ،في حين ما زالت بعض الدول مثل بريطانيا تعتبر الحصويات البيتونية المدورة مواداًغير متجانسة وذات خواص فنية غير ثابتة،و تحتاج إلى مزيد من الأبحاث قبل اعتمادها كبديل للحصويات الطبيعية او البكر [2] ، وسبب هذا التفاوت بين الدول يعود إلى ثلاثة عوامل رئيسة:

اختلاف طبيعة الركام البيتوني بين دولة وأخرى، بسبب اختلاف مواد البناء المعتمدة، حيث غالباً ما تكون نسبة الركام البيتوني ضمن نفايات الهدم والبناء في بريطانيا قليلة وممزوجة مع القرميد والسيراميك والجبس، الأمر الذي يؤدي إلى عدم تجانس الحصويات بشكل كبير مما يسبب تفاوت كبير في نتائج اختبارات خواصها الفنية .

-مدى توفر مصادر الحصويات البكر أو الطبيعية: حيث تقوم الدولة في هولندا بدعم عملية التدوير بسبب شح مصادر الحصويات، وتم اصدار مواصفات اضافية تتناسب مع المواد المدورة[2].

-الظروف الطبيعية: يعتبر التدوير في سويسرا غير مجدياً إذا تطلب نقل المواد المدورة لمسافة تزيد على عشرين كيلو مترا، في حين يعتبر ضرورياً بغض النظر عن مسافات النقل في دولة مثل هولندا، التي تعاني من قلة مصادر الحصويات البكر أو الطبيعية. كذلك الأمر في امريكا حيث تم استهلاك عدد كبير من مصادر الحصويات الطبيعية، ولابد بالنسبة لها من اللجوء إلى التدوير كمصدر جديد للحصويات بديلاً عن المصادر الطبيعية.

ونظراً للدمار الذي لحق بعدد كبير من الأبنية والمنشآت في سورية، خلال فترة الازمة ، تكدست ملايين الأطنان من ركام نفايات الهدم والبناء البيتونية ، الذي يتطلب التدوير وإعادة الاستخدام وذلك لتجنب الآثار البيئية الضارة لمثل هذه النفايات، إضافة لإمكانية تحقيق وفر اقتصادي إذا ما تم ذلك وفق برنامج متكامل مع إعادة الإعمار.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى:

1 -تطبيق نموذج عن صناعة تدوير نفايات الهدم والبناء ، للحصول على الحصويات البيتونية المدورة ، بشكل تكون معه عملية التصنيع في هذا البحث أقرب ما تكون إلى الواقع العملي.

2 -دراسة تاثير تغير حجوم الحصويات البيتونية المدورة على خواصها الفيزيائية والميكانكية. الامر الذي يساعد في اختيار تدرج حبي ملائم عند تركيب خلطات الحصويات البيتونية المدورة.

3 -بيان امكانية استخدام الحصويات البيتونية المدورة في تنفيذ طبقتي الأساس وما تحت الأساس الطرقي.

وسيتم تنفيذ هذه الاهداف من خلال المنهجية التالية:

1 –جمع ركام بيتوني من احد مكبات النفايات ونقله الى مقلع فيه كسارة حصويات، للحصول على الحصويات البيتونية المدورة .

2 –دراسات مخبرية بهدف تحديد الخواص الفيزيائية والميكانكية للحصويات المدورة ،في مخابر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية، :

-الوزن النوعي	G	Specific(apparent) density
-الوزن الحجمي المشبع	Gs	Saturated density
-الوزن الحجمي الجاف .	Gb	Bulk dray density
-التشرب		Water absorption
-المكافئ الرملي		Sand Equivalent Value
-حدود اتربرغ .		Aterberg-limites
-الفاقد بالاهتراء/ لوس أنجلوس		Abrasion loss
-اختبارات بروكتور		ModifiedProctor Test
-اختبار مقاومة الاختراق	CBR	California Bearing Ratio

3- دراسة مخبرية لبيان تاثير تغير حجوم حبيبات الحصويات البيتونية المدورة على خواصها الفيزيائية والميكانكية، ومقارنتهامع الحصويات البكر، وذلك لثلاث عينات ذات حجوم حبيبات مختلفة.

4 – دراسة امكانية استخدام هذه الحصويات في انشاء طبقة الأساس وما تحت الأساس الطرقي وذلك وفق الشروط والمواصفات العامة لاعمال الطرق والجسور في سورية.

اضافة لما سبق، سيتم عرض دراسات مرجعية تتناسب مع كل مرحلة من مراحل البحث.

طرائق البحث ومواده :

1-: حصويات بكر (NA) : تم احضارها من مجبل اسفلت شركة قاسيون في الدوير وهي ناتجة عن تكسير صخور من مقالع حفير.

2-: حصويات بيتونية مدورة (RCA): تم الحصول على RCA بتطبيق نموذج عن صناعة تدوير نفايات الهدم والبناء البيتونية ، بشكل تكون معه عملية التصنيع في هذا البحث أقرب ما تكون إلى الواقع العملي ،حيث تم 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 ونوعية الحصويات المستعملة بالخلطة البيتونية ، وبالتالي تعدد مصادر النفايات.

-نفايات من البلوك الاسمنتي مفرغ وملآن ،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 من (1) إلى (4) تبين مراحل تحضير وتصنيع هذه الحصويات، ابتداءً من عملية جمعها من المكب مروراً بعملية طحنها بالكسارة، وانتهاءً بنقلها إلى مخبر المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية في منطقة الدوير قرب مدينة دمشق، لإجراء الاختبارات اللازمة، حيث تم فرزها هناك إلى فئات حبية ووضع كل فئة حبية في حاوية خاصة بها، الشكل (5).

ومن الناحية العملية ، يمكن اجراء عملية الطحن في موقع الهدم او في موقع استخدام الحصويات البيتونية المدورة ، وذلك باستخدام معدات وكسارات متنقلة ، الامر الذي يؤدي الى توفير اقتصادي كبير في تكاليف عملية التدوير، حيث تعتبر تكاليف نقل الركام البيتوني الى الكسارات واعادة نقله الى مواقع الاستثمار، من اهم سلبيات عمليات تدوير الركام البيتوني الى حصويات ، نظرا للارتفاع الكبير في اجور النقل البري .

الشكل (1): الناقلات المحملة بالركام البيتوني في ساحة المقلع

الشكل (2): الركام البيتوني في حاوية الكسارة

الشكل (3): تلقي الحصويات المدورةRCA من الكسارة مباشرة بحاوية الجرافة

الشكل(4): الحصويات البيتونيةالمدورة RCAبعد وضعها في الناقلات

الشكل (5): الحصويات البيتونية المدورة (RCA)بعد فرزها حجمياً في المخبر

النتائج والمناقشة:

الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات البيتونية المدورة:

1 : دراسات مرجعية :

تشير كافة الأبحاث السابقة إلى أن الحصويات البيتونية المدورة (RCA) تتميز بخواص فيزيائية وميكانيكية أدنى مقارنة مع الحصويات الطبيعية أو البكر(NA)، مثلا:

زيادة في امتصاص الماء	[4,5,6]	increased of water absorption
انخفاض في الكثافة الاجمالية	[4,5,6,]	ecreased of bulk density
انخفاض في الكثافة النوعية	[4,5,6,]	decreased of specific gravity
زيادة الفاقد بالاهتراء	[4]	increased of abrasion loss
زيادة نسبة النواعم		increased of quantity of dust particles
زيادة نسبة الشوائب العضوية		increased of quantity of organic impurities
احتمال التلوث الكيميائي	[4,7]	content of chemically harmful substances

ويختلف التدني في الخواص الفيزيائية والميكانيكية بين أنواع الحصويات المدورة، حسب متانة الركام الذي يتم تدويره من جهة، والخواص الفنية المدروسة من جهة ثانية، ففي عام 2011 قام الباحثان د.رامي حنا و م. فاطر ميا [9] بدراسة امكانية استخدام عينات من الحصويات البيتونية المدورة (الناتجة عن تدوير هدميات بيتونية وهدميات من الخفان) في انشاء الطرق المحلية في مدينة اللاذقية،وبنتيجة هذا البحث، تبين امكانية استخدام الحصويات البيتونية المدورة الناتجة عن تدوير الهدميات البيتونية في طبقة الاساس ، في حين لم تحقق الحصويات الناتجة عن تدوير هدميات الخفان الشروط المطلوبة لاستخدامها في هذا المجال ، كما أن هذا التدني ليس مطلقاً، إذ تشير بعض الأبحاث إلى وجود تحسن طفيف في مقاومة الضغط البسيط لعينات بيتونية مصنعة باستخدام حصويات بيتونية مدورة، بالمقارنة مع العينات المصنعة باستخدام الحصويات البكر[4] .

رغم هذا التدني في المواصفات، فإنه غالباً ما تبقى الحصويات البيتونية المدورة محققة لشروط استخدامها في الردميات المنتخبة وتنفيذ طبقتي الأساس وما تحت الأساس الطرقي، وحتى في المطارات، [3]، كما ان بعض المراجع

الفنية تفضل استخدام الحصويات البيتونية المدورة بدل الحصويات البكر أو الطبيعية في مجال تنفيذ طبقتي الأساس وما تحت الأساس الطرقي، و في المطارات ، لما تتميز به هذه الحصويات من تماسك، وذلك بسبب استرداد خاصة الربط الاسمنتي للمونة الاسمنتية بعد الطحن [3].

2: نتائج الاختبارات المخبرية :

لقد وجد من خلال الفحص البصري للحصويات البيتونية المدورة RCA المستخدمة في هذا البحث،أنها حادة الزوايا، وذات سطوح خشنة ومتعددة،بالمقارنة مع الحصويات البكر والطبيعية NA. كما تبين بانها عبارة عن حبيبات ذات ثلاثة أنواع مختلفة:

1)- حصويات على سطحها آثار اسمنت متصلب.

2)- حصويات عبارة عن كتل من الملاط الاسمنتي(حصويات ناعمة متلاصقة بفعل الرابط الاسمنتي).

3)- حصويات عبارة عن حصاة ملتصق بها كتلة من الملاط الاسمنتي.

وقد تم اختبار الحصويات البيتونية المدورة لتحديد خواصها الفيزيائية والميكانيكية التالية:

- الوزن النوعي G Specific(apparent) density
- الوزن الحجمي المشبع Gs Saturated density
- الوزن الحجمي الجاف . Gb Bulk dray density
- التشرب Water absorption
- المكافئ الرملي Sand Equivalent Value
- حدود اتربرغ . Aterberg-limites
- الفاقد بالاهتراء/ لوس أنجلوس Abrasion loss

كما تم اجراء اختبارات بروكتورالمعدل ModifiedProctor Test ، واختبار تحديد قدرة تحمل كاليفورنيا CBR California Bearing Ratio لتحديد امكانية استثمار الحصويات البيتونية المدورة RCA في انشاء طبقات الأساس وما تحت الأساس الطرقي.

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

يبين الجدول (1) نتائج اختبارات الاوزان النوعية والتشرب لثلاث فئات حبية من حصويات الـ RCA، وفئتان حبيتان للحصويات البكرNA، وذلك على النحو التالي:

-RCA بحص خشن: مار من المهزة 1" ، ومحجوز على المهزة"3/4.

-RCA بحص متوسط: مار من المهزة "3/4، ومحجوز على المهزة No.4.

-RCA رمل:مار من المهزة No.4

-NA بحص خشن: مار من المهزة "1، ومحجوز على المهزة"3/4

-NA رمل : مار من المهزة No.4.

تم اجراء الاختبارات بتطبيق المواصفة (AASHTO 85-77)للحصويات الخشنة و (AASHTO 84-77) للحصويات الناعمة، اذ تم اعتماد القيمة الوسطية لاختبار ثلاث عينات من كل فئة حبية، وتم تحديد الاوزان النسبية،استنادا لكتاب (Highway Material Soils,And Concretes) [8]، كما يلي:

Gb : الوزن الحجمي الجاف Bulk dray density gr/cm3 Gb= Md/Vb

Gs : الوزن الحجمي عينة مشبعة Saturated density gr/cm3 Gs=Mss/Vb

G : الوزن النوعي Specific(apparent) density gr/cm3 G =Md/Vn

A : نسبة التشرب % A = Ma/Md حيث :

Md : وزن العينة جافة (في الهواء) gr

Vb : الحجم الاجمالي للحصويات cm3 Vb= Vn + Vp

Vn : حجم المادة الصلبة في الحصويات cm3 Vn=(Md−Mimmerged)/Gw

Mss: وزن العينة مشبعة بالماء(في الهواء) g Mss= Ma + Md

Mimmerged : وزن العينة مشبعة وهي مغمورة بالماء.

Gw : الوزن الحجمي للماء gr/cm3 Gw=1

Vp : حجم مسامات الحبيبات cm3 Vp= Ma/Gw

Ma: وزن الماء اللازم لاشباع العينة . gr

لتحديد Md ، تم وزن العينة بالهواء بعد تجفيفها بالفرن لمدة 24 ساعة ودرجة حرارة $^{\circ}$ 100، ثم تم غمر العينة بالماء لمدة 24ساعة ،ولتحديد Mimmerged ،تم وزن العينة مشبعة وهي مغمورة بالماء، ولتحديد Mss تم وزن العينة بالهواء وهي مشبعة بالماء وذلك بعد تخليص الحصويات من الرطوبة السطحية ، (اختفاء بريق سطوح الحبيبات للحصويات الخشنة، انهيار ثلث المخروط للحصويات الناعمة)، كانت درجة حرارة الماء في البيكنومتر $^{\circ}$ 30 ،لذلك اعتمد عامل تصحيح (0.9957) للاوزان النسبية لرمل الحصويات RCA و NA .

جدول (1): قيم الأوزان االنسبية و قيم التشرب ، لعينات RCA و NA ، فئات حبية مختلفة

	رملRCA	بحص RCA متوسط	بحص RCA خشن	رملNA	بحص NA خشن
الوزن الحجمي الجاف Gb gr/cm3 Bulk dray density	2.576	2.410	2.22	2.747	2.736
الوزن الحجمي عينة مشبعة gr/cm3 Gs Saturated density	2.634	2.520	2.406	2.766	2.754
الوزن النوعي G gr/cm3 Specific(apparent) density	2.736	2.720	2.720	2.801	2.786
نسبة التشرب % A	2.26	4.64	9	0.69	0.68

بالعودة إلى الجدول (1) نلاحظ ما يلي:

أ – تدني قيم الوزن الحجمي الجاف والوزن الحجمي المشبع (Gbو Gs) و زيادة التشرب للفئات الحبية الثلاث في الحصويات RCA بالمقارنة مع الحصويات NA، وهذا يتناسب مع نتائج كافة الاختبارات التي اجريت من قبل عدد كبير من الباحثين والتي بينت بان الحصويات البيتونية المدورة ذات اوزان نسبية(Gbو Gs) ادنى وتشرب للمياه اعلى ، بالمقارنة مع الحصويات NA ، [3,4,5,6]، بينما لا يوجد مثل هذا الفرق في قيم الوزن النوعي الظاهري G بين

الفئات الحبية المختلفة، لان قيمة G ترتبط بالتركيب المنرالي للحصويات ، وهو نفسه في الحصويات الناعمة والخشنة' لان الحصويات الناعمة ناتجة عن طحن الخشنة، وبالتالي لهما نفس التركيب المنرالي.

ب –تناقص واضح في قيم الأوزان النسبية (Gbو Gs) لحصويات الـ RCA مع زيادة حجوم الحبيبات ، حيث بلغ الفرق في قيمة Gb ، 16 % بين القئتين الحبيتين الرمل والبحص الخشن ، والفرق في قيمة Gs 9.5%، بينما نجد أن هذا القرق في الحصويات البكرNA لا يتجاوز 0.44% .

ت –وجود ازدياد كبير في الفرق بين قيمة تشرب الرمل وقيمة تشرب البحص الخشن في حصويات RCA،بالمقارنة مع NA ،حيث تقترب قيمة تشرب البحص الخشن من أربعة أضعاف تشرب الرمل للحصويات RCA أما قيم تشرب الرمل وتشرب البحص الخشن للحصويات البكر NA فكانت متقاربة ولا يتجاوز الفرق بين القيمتين 1.5 %

2-2: المكافئ الرملي : Sand Equivalent Value :

تم اجراء هذا الاختبار على حصويات RCA بتطبيق المواصفة (AASHTO-T176-73) ، وذلك حسب دفتر الشروط والمواصفات الفنية لأعمال الطرق والجسور [10]،حيث تشترط هذه المواصفات ان لا يقل المكافئ الرملي لحصويات طبقة الاساس عن 45% و حصويات طبقة ما تحت الاساس 35% .

يبين الجدول (2) نتائج هذا الاختبار التي تظهر بأن القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للحصويات المدورة المختبرة هي 76 %.

جدول (2): نتائج اختبار تحديد المكافئ الرملي للحصويات المدورة RCA

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

2-3: حدود اتربرغ:Aterberg-Limites:

تم اجراء اختبارات حدود اتربرغ وفق المواصفة (ASTM- 93- D 4318)على عينات من الحصويات البيتونية المدورة مارة من المهزة رقم40 ، وعند اجراء اختبار تحديد حد السيولة كان من الصعب فرش العينة في وعاء كازغراندي إلا بعد اعطاءها رطوبة عالية، ومع هذه الرطوبة ،كان الشق يلتحم في العينة بعد 4-5 طرقات في جهاز كازاغراندي، كما كانت تطرد الماء إلى السطح عند بدء الطرق،كذلك لم تبد العينات المدروسة أية لدونة، حيث كان من الصعب تشكيل الفتائل/قطر 3ملم/ مع أية رطوبة.وعليه فان العينات المدروسة عديمة السيولة واللدونة وقرينة اللدونة(PI=0) ، وهي محققة للمواصفات السورية التي تشترط ان تكون قيمة (PI < 6) في الحصويات المستخمة لتنفيذ طبقات الاساس الطرقي.

2-4: الفاقد بالاهتراء / Abrasion loss:

تمت دراسة ثلاثة تدرجات حبية مختلفة من التدرجات الخاصة باختبار تحديد الفاقد بالاهتراء للحصويات وهي التدرجات A , C , D وذلك حسب المواصفات السورية المعتمدة للمواصفة (AASHTO - 96-77)، وسبب اختيارنا

لهذه التدرجات هو احتوائها للفئات الحبية المعتمدة في التركيب الحبي للخلطات التي تم الالتزام بها في هذا البحث، الفقرة (3-2-5). يبين الجدول (3) التركيب الحبي لهذه التدرجات.

جدول (3): لتركيب الحبي للحصويات المدورة RCA للتدرجات A,C,D المعتمدة لإجراء اختبارات الاهتراء

الحجم / التدرج	1.5-1"	1-3/4"	3/4"-1/2"	1/2"-3/8"	3/8"-1/4"	1/4"-n4	n4-n8	وزن العينة
A	1250 gr	1250 gr	1250 gr	1250 gr				5000gr
C					2500 gr	2500 gr		5000gr
D							5000 gr	5000gr

خلال الاختبار تم تحديد الفاقد بعد 100 دورة، S1، وبعد 500 دورة S2، وذلك لمعرفة تجانس قساوة الحصويات حيث يجب أن يتحقق (S1/S2<20%) لتكون عينة الحصويات المختبرة متجانسة القساوة.

يبين الجدول (4) نتائج اختبار التآكل بالاهتراء لعينات الحصويات RCA ، للتدرجات الثلاثة: A , C , D مع قيم التآكل بالاهتراء المطلوبة في المواصفات السورية لتنفيذ طبقات الأساس وماتحت الأساس الحصوية.

جدول (4): نتائج اختبار تحديد الفاقد بالاهتراء لعينات الحصويات البيتونية المدورة RCA للتدرجات الثلاثة :A ,C, D

رقم العينة SPEC.N	التدرج	وزن العينة gr B	الفاقد بعد 100 دورة S1	الفاقد بعد 500 دورة S2	عامل عدم التجانس S1/S2	عامل عدم التجانس وسطي	عامل التآكل بعد 500 د B-S2 / B	القيمة الوسطية للتآكل %	المواصفات المطلوبة SubBase	المواصفات المطلوبة Base
1	A	5000	819	2306	35.5	35.6	0.46	46	50 >	45 >
2	A	5000	808	2306	35.0		0.46			
3	A	5000	820	2295	35.7		0.46			
4	C	5000	450	1327	33.9	32.2	0.27	30		
5	C	5000	486	1327	30.4		0.32			
6	C	5000	495	1530	32.35		0.31			
7	D	5000	410	1300	31.5	32.7	0.26	26		
8	D	5000	388	1210	32.1		0.24			
9	D	5000	450	1300	34.6		0.26			

بالعودة الى نتائج اختبار الفاقد بالاهتراء لعينات RCA ، الجدول (4)، نلاحظ ما يلي:

- قيمة الفاقد بالاهتراء في التدرجات الثلاثة لـ RCA كانت مقبولة لتنفيذ طبقات الأساس وما تحت الأساس الحصوية، باستثناء التدرج A حيث كانت قيمةالفاقد بالاهتراء (46%) اكبر من الحد الادنى المطلوب لطبقة الأساس الحصوي (45%) . وبالتالي يمكن اختيار اي تدرج حبي لخلطة حصويات RCA يندرج ضمن التدرجات A,C,D ،

لتنفيذ طبقة ما تحت الاساس ، بينما يجب استبعاد الخلطات الحصوية التي يندرج تركيبها الحبي ضمن التدرج A اذا كان المطلوب تنفيذ طبقة الاساس الحصوي.

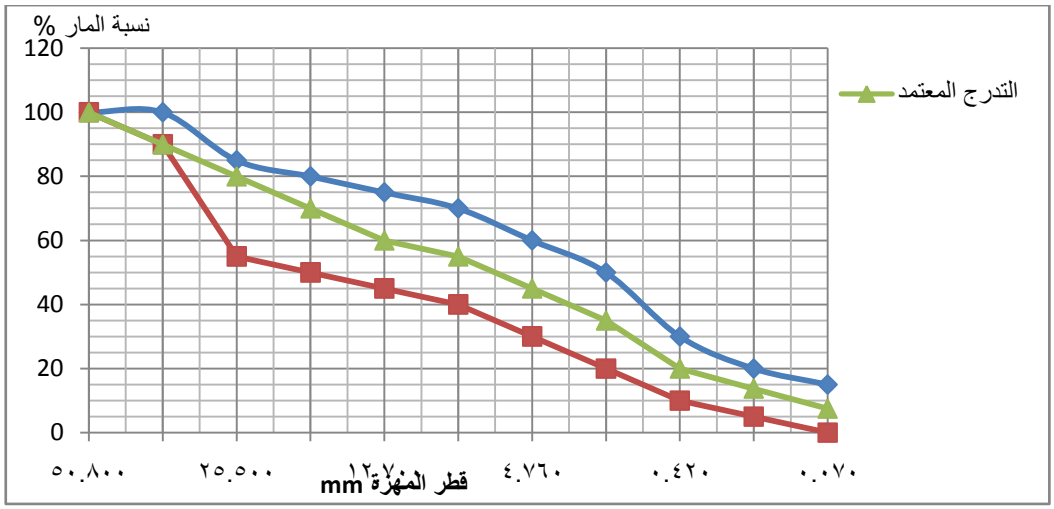
- يتناقص الفاقد بالاهتراء لحصويات RCA كلما كان التدرج الحبي للعينات أقل خشونة .
- تراوحت قيمة عامل عدم التجانس S1/S2 في كافة العينات المختبرة لـ RCA بين 36 و32 % وهي أعلى من 20 %، أي كافة العينات المختبرة لحصويات RCAكانت غير متجانسة بالقساوة، وعدم التجانس هذا كان أكبر في عينات التدرج الأكثر خشونة،حيث انخفض عامل عدم التجانس بمقدار 10 % عند الانتقال من التدرج A إلى التدرج الأقل خشونة C وD، بينما كان للتدرجين C وD نفس عامل عدم التجانس تقريباً.

2-5: اختبار بروكتور المعدل :ModifiedProctor Test

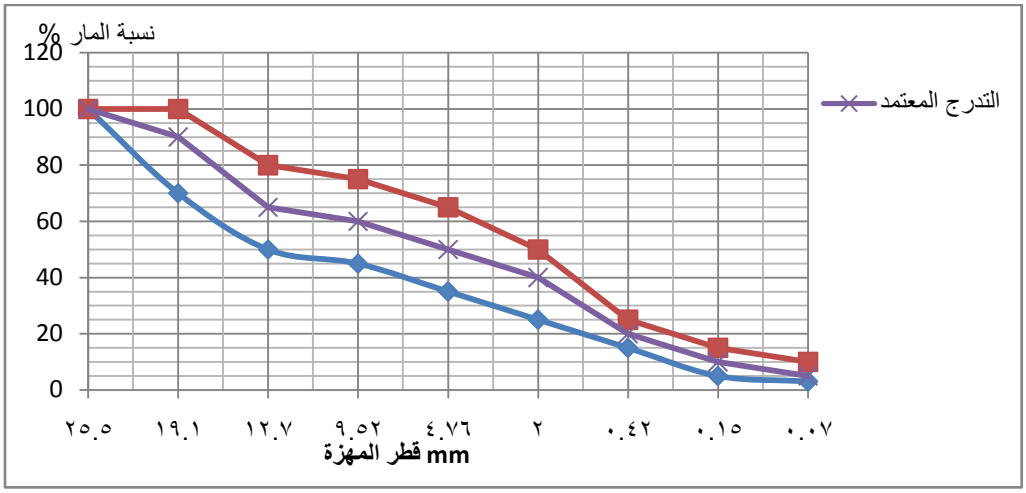
تم اجراء الاختبار وفق المواصفة (ASTM- D 1557-02)،حيث تم تحضير عينات قوالب بروكتور المعدل من خلطات الحصويات البيتونية المدورة RCA بخمس رطوبات مختلفة ، لكل من طبقتي الأساس وما تحت الأساس الحصوية، آخذين بعين الاعتبار اختيار خلطات حصوية ذات تركيب حبي يتوافق مع نتائج اختبارات الاهتراء بالتآكل وذلك وفق تدرجات الخلطات الحصوية المعتمدة في دفتر الشروط والمواصفات الفنيةلأعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية[10]، على الشكل التالي:

-طبقة ما تحت الأساس الحصوية:Subbase التدرج (2)،ويمثل الشكل(6) منحن التدرج الحبي للخلطة.

-طبقة الأساس الحصوية: Base تدرج (3) و يمثل الشكل(7) منحن التدرج الحبي للخلطة المعتمدة.



شكل (6): منحن التدرج الحبي لطبقة تحت الأساس الحصوية Subbase ، تدرج/2/(المواصفات السورية)[10]

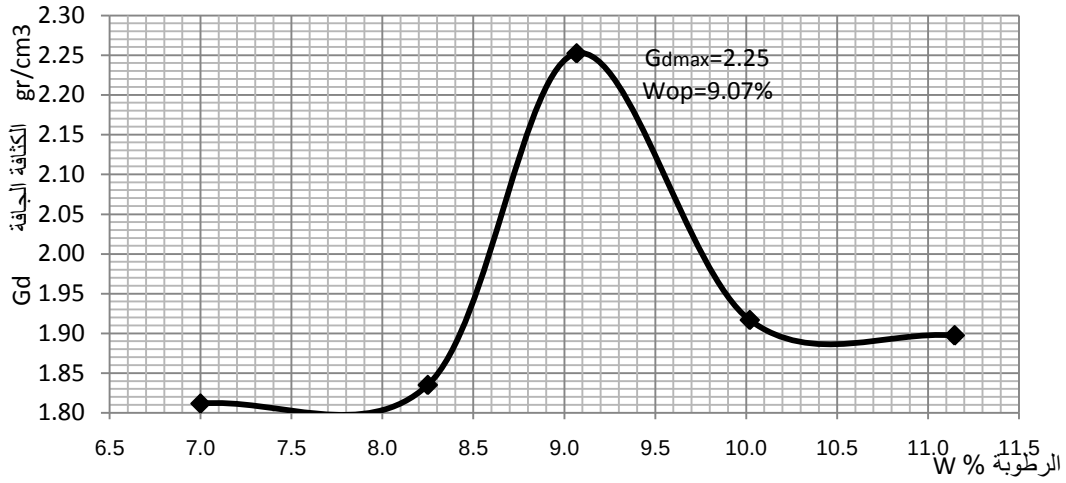


شكل (7): منحن التدرج الحبي لطبقة ما تحت الأساس الحصوية subbaseتدرج/2/(المواصفات السورية)

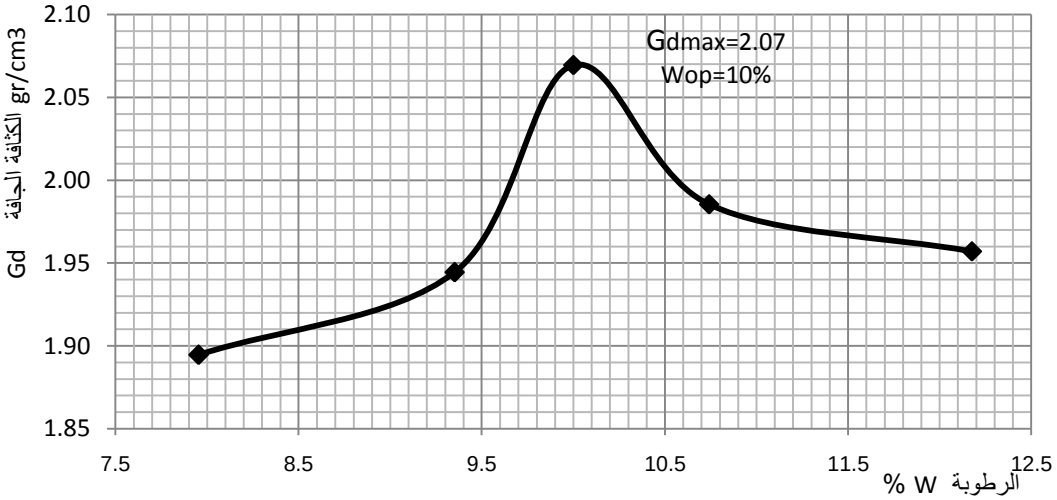
يبين الجدول(5) نتائج اختبارات بروكتور، للعينات(القوالب)،لطبقتي الأساس وما تحت الاساس، وتبين الأشكال(8,9) التمثيل البياني للعلاقة بين الكثافة الجافة ونسبة الرطوبة للعينة(القالب).

جدول (5): نتائج اختبارات بروكتور المعدل، عينات طبقتي الأساس وما تحت الأساس الحصوية RCA

5	4	3	2	1	رقم العينة(القالب)	
2.11	2.11	2.46	1.99	1.94	الوزن الحجمي الرطب gr/cm^3 Gh Bulk Humid density	SUBASE تدرج 2
11.15	10.02	9.07	8.25	7.00	الرطوبة % W	
1.9	1.92	2.25	1.83	1.81	الوزن الحجمي الجاف gr/cm^3 Gd Bulk dray density	
2.12	2.2	2.28	2.13	2.05	الوزن الحجمي الرطب gr/cm^3 Gh Bulk Humid density	BASE تدرج 3
12.18	10.74	10	9.35	8.00	الرطوبة % W	
1.96	1.99	2.07	1.94	1.89	الوزن الحجمي الجاف gr/cm^3 Gd Bulk dray density	



شكل(8): تمثيل بياني لنتائج اختبار بروكتور المعدل RCA ،خلطة ماتحت الأساس Subbase، تدرج2



شكل(9): تمثيل بياني لنتائج اختبار بروكتور المعدل، عينات RCA، طبقة الأساس Baseتدرج 3

واستنادا لما جاء في الكتاب (Highway Material Soils,And Concretes)[8] (حسب تصنيف AASHTO للحصويات وتقييمها لرصف الطرق، انطلاقا من قيم الرطوبة المثلى والوزن الحجمي الجاف الاعظمي)، نجد بأن الحصويات البيتونية المدورة المدروسة ذات تقييم (جيدة إلى ممتازة) حيث كانت النتائج كما يلي:

- طبقة الأساس الحصوية تدرج/3/ : Wopt=10 % Gdmax 2.07 gr/cm^3
- طبقة ما تحت الأساس الحصوية تدرج/2/ Wopt=9.07 % Gdmax 2.25 gr/cm^3

وبالعودة الى نتائج اختبارات بروكتور للحصويات البيتونية المدورة ، الجدول (5)، نلاحظ ما يلي :

1 -ارتفاع الرطوبة المثلى ويمكن ان نفسر ذلك بسببين رئيسيين هما:

أ -ارتفاع نسبة التشرب لـ RCA ، تكاد تصل في الحصويات الخشنة ،إلى اكثر من ثلاثة عشر ضعفا من تشرب الحصويات البكر .جدول(1).

ب -زيادة خشونة سطح حبيبات الحصويات البيتونية المدورة ،الأمر الذي يتطلب زيادة كمية الماء لتأمين انزلاق الحبيبات أثناء عملية الرص.

2 -انخفاض الرطوبة المثلى لخلطة طبقة ما تحت الأساس بالمقارنة مع خلطة طبقة الأساس في الحصويات المدورة، مع العلم بأن خلطة طبقة الأساس اقل خشونة من خلطة طبقة ماتحت الأساس حيث نسبة الرمل في خلطة طبقة ماتحت الأساس45% بينما في خلطة طبقة الأساس 50% ، ونستنتج من ذلك بانه لن يؤدي اختيار التدرج الاقل خشونة للخلطة إلى انخفاض رطوبتها المثلى،بعكس ماهو عليه الوضع عندما نتكلم عن فئات حجمية ، الفقرة (3-2-1)،حيث تنخفض رطوبة الاشباع، كلما كانت الفئة الحجمية لحبيبات الحصويات اقل خشونة. ويمكن أن نفسر ذلك بأن كمية المياه المطلوبة لتأمين انزلاق الحصويات الناعمة أثناء عملية الرص ، تفوق كمية المياه اللازمة لاشباع الحصويات الأكثر خشونة ،الأمر الذي يتطلب زيادة الرطوبة المثلى لخلطة الحصويات البيتونية المدورة الأكثر نعومة.

3 -ن زيادة الرطوبة المثلى للخلطة الأقل خشونة، بالمقارنة مع الأكثر خشونة، و انخفاض تشرب الماء للفئات الحبية الناعمة بالمقارنة مع الفئات الحبية الأكثر خشونة،(الفقرة 3-2-1)، سيزيد من كميات المياه الفائضة عن حد الاشباع للعينة،الأمر الذي يؤدي لزيادة حجم الفراغات في القالب بعد الرص (لاستيعاب الماء الفائض عن حد الاشباع) وبالتالي انخفاض في الوزن الحجمي الجاف Gdmax.

2-6-:اختبار مقاومة الاختراق :(California Bearing Ratio)

تم اجراء الاختبار حسب المواصفة (ASTM D1883)، حيث تم تحضير الخلطات الحصوية استنادا لنتائج اختبارات بروكتور المعدل، الفقرة (3-2-5).

يبين الجدول (6)،نتائج اختبارات CBR لست عينات ،ثلاثة منها تمثل خلطة طبقة الأساس التدرج الثالث، وثلاث عينات تمثل خلطة طبقة ما تحت الأساس التدرج الثاني .

جدول(6): اختبار CBR،حصويات RCA،عينات طبقتي ماتحت الأساس تدرج (2) ، والأساس تدرج (3)

رقم العينة / نوع الاختبار		طبقة ما تحت الأساس				طبقة الأساس الحصوي			
		1	2	3	الوسطي	1	2	3	الوسطي
CBR %	2.5 mm	135	142	98	125	110	167	226	168
	5 mm	151	153	122	142	134	222	238	198
الوزن الحجمي الجاف gr/cm^3		2.18	2.25	2.07	2.17	1.96	1.96	1.95	1.96
نسبة رطوبة العينة %		9.8	9.16	10	9.65	9.65	9.61	9.78	9.68

لدى مراجعة نتائج اختبار مقاومة الاختراق CBR في الجدول (6) ، نلاحظ مايلي:

1 -الحصول على الكثافة العظمى مع رطوبة قريبة جدا من الرطوبة المثلى لاختبار بروكتور،جدول(5)، في طبقة ما تحت الأساس، أما في طبقة الأساس كانت الكثافة العظمى للعينات $1.96\ gr/cm^3$ وهي تعادل 95 % من الكثافة العظمى لاختبار بروكتور مع نسبة رطوبة 9.6 % ، تعادل 96 % من الرطوبة الاصولية جدول(5)،وهي نتيجة مقبولة.

2 -لم تظهر العينات المختبرة اي انتفاخ بعد غمرها بالماء مدة ثلاثة ايام.

3 -بينت نتائج اختبار مقاومة الاختراق بأن العينات المدروسة محققة لشروط استخدامها لتنفيذ طبقتي الأساس وما تحت الأساس في الطرق، حيث تتطلب المواصفات السورية أن لا تقل قيمة CBR عن:

ت –طبقة ما تحت الأساس تدرج 2 : % 50 .

ث –طبقة الأساس تدرج 3 : % 65 .

4 –ظهرت عينات RCA تماسكا عند استخراجها من القالب بعد انتهاء اختبار CBR ، الشكل (10 و11)رغم انعدام السيولة واللدونة في الحصويات البيتونية المدورة،فقرة(3–2–3). ويعود هذا التماسك بالدرجة الأولى إلى استعادة نشاط الرابط الاسمنتي في النواعم بفعل عملية الطحن التي خضع لها الركام البيتوني ، اضافة إلى احتمال وجود حبيبات اسمنتية غير مكتملة التبلور في الحصويات البيتونية المدورة ،[3].

5 –وجود تفاوت كبير في القيمة الوسطية لـ CBRبين عينات طبقتي الأساس وما تحت الأساس،حيث كانت مقاومة الاختراق لعينات طبقة الأساس أعلى مما كانت عليه في عينات طبقة ما تحت الأساس، رغم كون كثافة الخلطة الثانية أعلى من كثافة الأولى، وهذا يتوافق تماما مع نتائج اختبارات الفاقد بالاهتراء (4–2–3) حيث خلطة حصويات طبقة ما تحت الاساس اكثر خشونة ، وبالتالي اقل متانة ،من خلطة حصويات طبقة الاساس.

شكل (10): عينة RCA اخراجها من القالب بعد اختبار CBR

شكل(11) :عينة RCA بعد استخراجها من القالب، عقب انتهاء اختبار CBR

الاستنتاجات و التوصيات :

الاستنتاجات:

بينت نتائج الاختبارات التي أجريت على الحصويات البيتونية المدورةRCA ، موضوع البحث، ما يلي:

1 -تزداد قيم الأوزان النوعية النسبية و تتناقص قيم التشرب بالماء كلما كانت الحبيبات أقل خشونة. وذلك من اجل عينات حصوية مؤلفة من حبيبات ذات فئة حجمية معينة .

2 -يختلف الأمر في الخلطات الحصوية المؤلفة من حبيبات ذات فئات حجمية متعددة ، حيث تزداد قيمة الكثافة الجافة العظمى مع تناقص قيمة الرطوبة المثالية، في اختبار بروكتور المعدل ،كلما كان تدرج الخلطة أكثرخشونة.

3 -بينت نتائج اختبار عينات حصويات RCA بان المكافئ الرملي ,% 75 ،وقرينة لدونة PI=0 ، وهذا يتوافق مع متطلبات استخدامها لتنفيذ طبقتي الاساس وما تحت الاساس الحصوي للطرق .

4 -حققت عينات الحصويات البيتونية المدورة RCA ، قيما لمقاومة الاهتراء(لوس انجلوس)، تتوافق مع متطلبات استخدامها في طبقتي الأساس وماتحت الأساس الحصوي للطرق، الا انها كانت غير متجانسة بالقساوة، و بينت الاختبارات بأن مقاومة الاهتراء تزداد و مؤشر عدم تجانس القساوة ينخفض كلما كان التدرج أقل خشونة.

5 -يوجد تفاوت كبير في قيم CBR لعينات RCA المدروسة، غير انها كانت ذات مقاومة عالية للاختراق(CBR >100%) وبالتالي هي صالحة لتنفيذ طبقتي الأساس وماتحت الأساس الحصوي للطرق.

التوصيات:

1 -التأكيد على استعمال الحصويات البيتونية المدورة RCAفي مجال انشاء طبقات الأساس وما تحت الأساس الحصوية في الطرق، واعتبار نواتج الهدم والبناء البيتونية مصدر الحصويات الأول لتنفيذ هذه الأعمال، بعد التأكد من تحقيقها للشروط الفنية اللازمة .

2 يتم اختيار اخشن تدرج يحقق شرط مقاومة الاهتراء للخلطة وذلك لتوفير استهلاك المياه، ، والحصول على وزن حجمي جاف اكبر.

3 اللجوء إلى الخلطات ذات التدرجات الحبية الناعمة، في حال كانت الخلطات الخشنة لا تحقق شرط مقاومة الاهتراء.

4 إن القيم الكبيرة لـ CBR ، مع انعدام حدود اتربرغ للحصويات البيتونية المدورة المدروسة يسمح لنا أن نخلطها مع نسبة من الترب المحلية التي تحتوي على نسبة من السيلت أو الغضار،وبالتالي توفير تكاليف ترحيلها، شرط أن يتم اجراء الاختبارات المناسبة لتحديد نسبة الخلط .

5 لتحصيل اكبر فائدة من عمليات التدوير ، من الضروري ان تحتوي اضبارة اي مشروع ، دراسة خاصة بالتدوير ، وتتم هذه الدراسة وفق محورين رئيسيين :

– المحور الاول : دراسة للانقاض او نفايات الهدم والبناء الموجودة في الموقع والتي يمكن ان تنتج من هدم الابنية القديمة الموجودة في الموقع ، او هدر مواد البناء ، بحيث تشمل هذه الدراسة(نوع النفايات، كمياتها ، كيفية فرزها، مكان تجميعها ، اقتراح تدويرها بالموقع ام نقلها....الخ).

– المحور الثاني : تحديد اجزاء المشروع التي يمكن تنفيذها باستخدام الحصويات المدورة الناتجة عن نفايات الهدم والبناء، مع تقديرالكميات المطلوبة منها ، ليتم جلبها من اقرب منطقة في حال عدم توفرها في نفس الموقع ،وذلك بعد اجراء الدراسات الفنية والاقتصادية اللازمة.

ويساعد كثيرا وجود مكتب تنسيق خاص بذلك في الدوائر الفنية للمدن او البلديات، حيث يتم من خلال هذا المكتب العمل على جمع كافة الدراسات والتنسيق فيما بين المشاريع الامر الذي يضمن الاستثمار الافضل للحصويات الناتجة عن عملية تدوير نفايات الهدم والبناء .

المراجع:

1- Fderal Higway Administration FHWA **:** *Recycled Materials Policy Administrator'smessage*.2002
<www.fhwa.dot.gov/legsregs/directives/policy/recmatpolicy.htm>

2- 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>

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

4- 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>

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

6- SCHOPPY.B.M. *Shrinkage & Modulus Of Elasticity In Concrete With Recycled Aggregate* . a thesis presented to the faculty of California polytechnic state university, san luis obisp , appril 2011

7- SOLYMAN.M. *Classification Of Recycled sands And Their Applications As Fin Aggregate For Concrete And Bituminous Mixtures,2005*

<Dissertation_mahmood_Solyman.pdf>

8- HAROLD N. ATKINS.PE, *Highway Material Soils,And Concretes*.third edtion. Prentise Hall, upper saddl river, New Jersey, Clumbus Ohio 1997, 108

9- د.م.رامي حنا ;م. فاطر ميا .*تدوير نواتج هدم الأبنية لاستخدامها في انشاء الطرق المحلية في مدينة اللاذقية*-مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الهنسية المجلد(34) العدد(3)2012

10- الشروط والمواصفات العامة لاعمال الطرق والجسور في الجمهورية العربية السورية-وزارة المواصلات دمشق 2002