Improving The Physical And Mechanical Properties Of Recycled Concrete Aggregates (RCA) By Treatment With Lime And Cement

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

(Received 14 / 1 / 2025. Accepted 24 / 3 / 2025)

□ ABSTRACT □

In the light of the global tendency toward sustainability and the widespread use of recycled concrete aggregates (RCA) in civil structures works.
However , due to their low quality compared with natural aggregates because of the weak porous texture surrounding them, many different treatment techniques have been developed with proven their efficiency in improving the overall quality significantly. Surface treatments are considered as one of the most successful applicable and convenient treatment methods for improving RCA properties.
In this research, we have performed surface treatment of RCA using lime and cement in several ways and ratios ranging from 2-4%.
The results of the research revealed that lime was the best in improving the physical and mechanical properties of aggregates up to 55%, then cement and cement with lime up to 50% depending on the percentage of the added material, all these make these aggregates a reliable and sustainable alternative to natural aggregates and increases their use rates.

Keywords: recycled concrete aggregates (RCA) – lime – cement.

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

[*]**Professor, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria.**
****Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria**
***** PhD Student, Faculty of Civil Engineering, Latakia University, Lattakia, Syria.**

تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بمعالجتها بالكلس والاسمنت

د. بسام أسعد سلطان*

د. رامي ميخائيل حنا**

سميرة وفيق عباس***

(تاريخ الإيداع ١٤ / ١ / ٢٠٢٥. قُبِل للنشر في ٢٤/ ٣ / ٢٠٢٥)

□ ملخّص □

في ضوء التوجه العالمي نحو الاستدامة والانتشار الواسع لتطبيقات الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA في الأعمال المدنية ، ومع انخفاض جودة هذه الحصويات بالمقارنة مع الحصويات الطبيعية بسبب النسيج المسامي الضعيف المحيط بها ، فقد تم ابتكار العديد من تقنيات المعالجة المتنوعة التي أثبتت كفاءتها في تحسين الجودة بشكل كبير ، وتعتبر المعالجات السطحية من أنجح طرق المعالجة وأكثرها ملائمة للاستخدام ، لذا فقد تم في هذا البحث إجراء معالجة سطحية لـ RCA باستخدام الكلس والاسمنت بعدة طرق و بنسب تتراوح 4%-2 .

أظهرت نتائج البحث بأن الكلس كان الأفضل في تحسين خصائص الحصويات الفيزيائية والميكانيكية بنسبة تصل لـ 55% يليه الاسمنت و الاسمنت مع الكلس بنسبة تصل لـ 50% وذلك تبعا لنسبة المادة المضافة، مما يجعل من هذه الحصويات بديلاً موثوقاً ومستداماً للحصويات الطبيعية ويزيد من نسب استخدامها .

الكلمات المفتاحية: الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA – الكلس – الاسمنت .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

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

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

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

مقدمة:

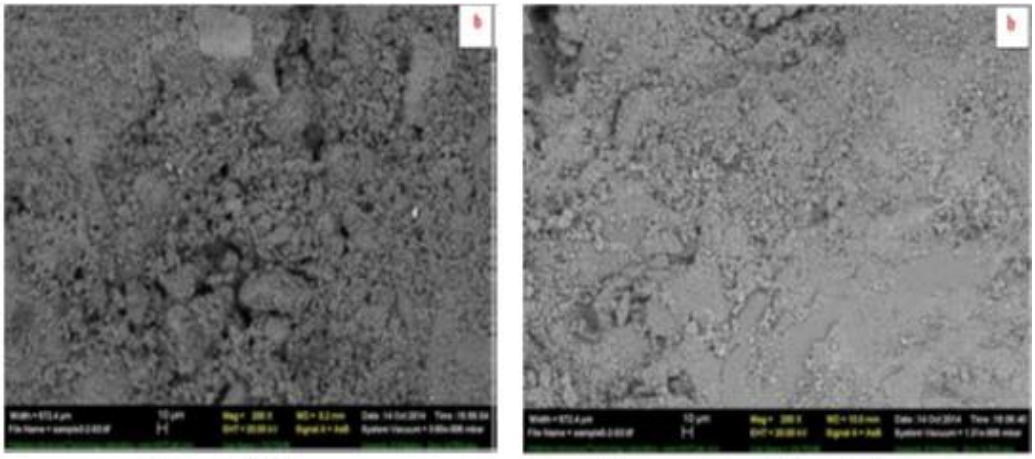
إن استخدام الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA كبديل جزئي أو كلي عن الحصويات الطبيعية أصبح أمراً ممكناً في الوقت الحالي ، إلا أن معظم الأبحاث التي استهدفت التحقيق في خواص هذه الحصويات وتأثيراتها على خصائص الخليط الكلي أشارت إلى أن هذه الحصويات تمتلك خاصية امتصاص للماء ليست بالقليلة بسبب تركيز المسامات في الملاط الاسمنتي الذي يحيط بها (مسامية سطحية كبيرة) والتي تقابل ارتفاع ملحوظ في قيمة الاهتراء .[1,2]

وانطلاقاً من التوجه العالمي لتطوير خطط و ابتكار حلول مستدامة لإدارة هذه النفايات وتحسين خصائص إنتاجيتها ، فقد تم البحث في أساليب وتقنيات كثيرة من أجل معالجة الحصويات المعاد تدويرها من نفايات البيتون RCA ، ومع تعدد تقنيات المعالجة التي تم استخدامها ، إلا أنه يمكن تقسيمها حسب آلية التأثير إلى قسمين : الطرق التي تعتمد على إزالة المونة الملتصقة بالحصويات كالطرق الميكانيكية والحرارية و الكيميائية ، والطرق التي تعمل على تحسين خواص ومقاومة طبقة المونة الإسمنتية الملتصقة بالحصوي . [3-14]

حققت تقنيات الإزالة نجاحاً ملحوظاً في تحسين مواصفات حصويات الـRCA إلا أنها خلقت مشاكل في التخلص من النفايات الناتجة كما أنها تتطلب استهلاك طاقة إضافية بالإضافة إلى عدم ملائمتها للكميات الكبيرة.

أشارت الأبحاث حول تقنيات المعالجة إلى أن المعالجة الميكانيكية للحصويات بإستخدام آليات الطحن التقليدية ساعدت على تخفيض امتصاص الماء بمعدلات مختلفة تصل لـ 17% حسب الآليات المستخدمة إلا أن هذه الطريقة تعتبر غير محبذه إذ أن التكسير قد يؤدي لتزايد مساحة وعرض الشقوق الداخلية بنسبة تصل لـ 50% إذا لم يتم بشكل مدروس .[11,13]

كما أثبتت المعالجات الحرارية كفائتها في تخفيض امتصاص الماء بنسبة 9.5-11.23% وفي أبحاث أخرى سجلت انخفاضاً بنسبة تصل لـ 55% ، أما كثافة المادة الصلبة للحصويات فقد تحسنت بنسبة تصل لـ 5% مع التوصية باستخدام درجات حرارة تتراوح بين 300 – 350 °C كون الإجهادات الحرارية الناتجة عن استخدام درجات حرارة أعلى قد تؤدي الى انهيار وفقدان الكتلة الصلبة للحصويات مما ينعكس سلباً على متانة الحصويات .[11,13] كما أشارت نتائج الأبحاث بأن المعالجة الحرارية المتوسطة إذا أُتبعت بمعالجة ميكانيكية كافية فإنها تعطي حصويات RCA بجودة مماثلة للحصويات الطبيعية حيث تؤدي لتحسين الكثافة بنسبة تصل لـ 7% وتقليل امتصاص الماء بنسبة تصل لـ 30% [11,13,15,16] . نبين على الشكل رقم (١) البنية المسامية للحصويات المعاد تدويرها قبل المعالجة وبعد المعالجة الحرارية .



الشكل رقم (١) البنية المسامية للحصويات المعاد تدويرها قبل المعالجة وبعد المعالجة الحرارية

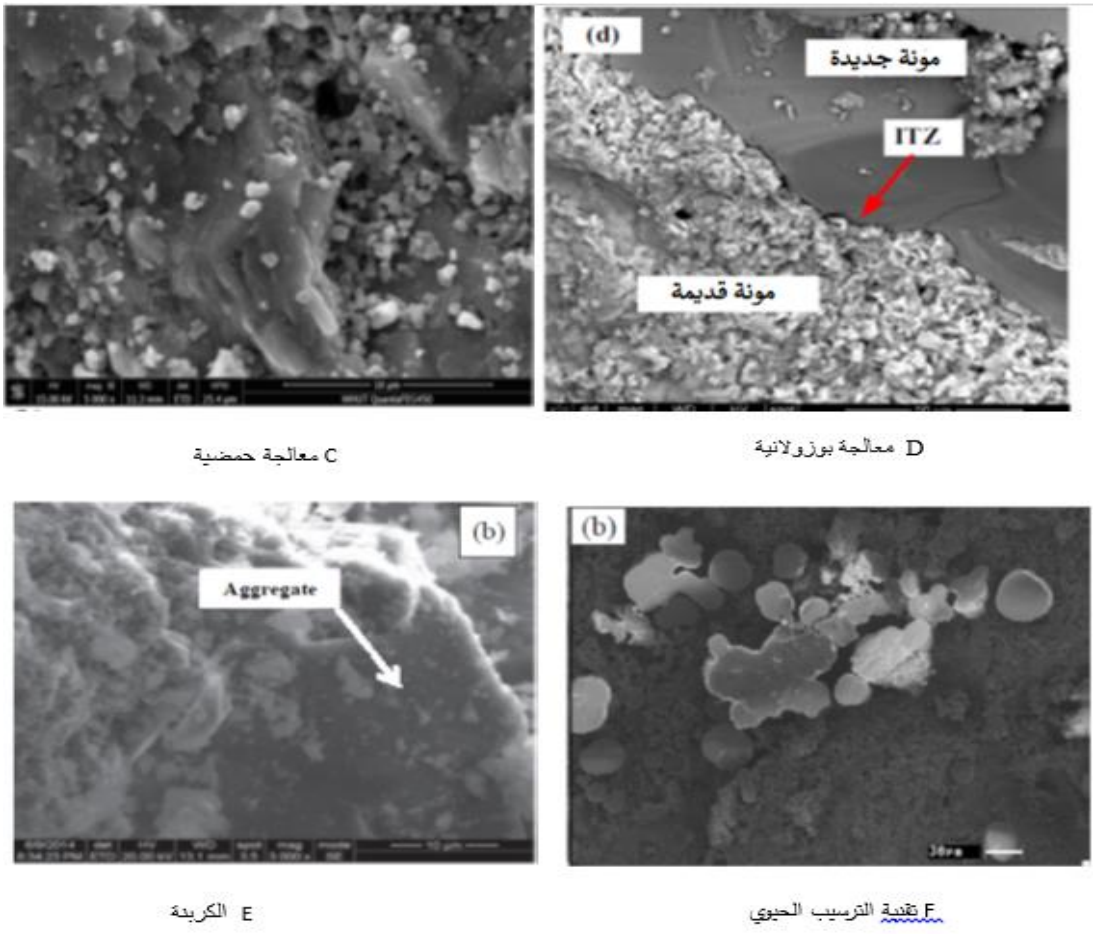
كما ساهمت معالجة طبقة المونة الاسمنتية بأوساط حمضية باستخدام أحماض مختلفة كحمض الكبريت وحمض كلور الماء وحمض النترات وبتراكيز مختلفة تراوحت من 0.5–5 mol ودرجات حرارة مختلفة بتخفيض امتصاص الماء بنسب تتراوح بين 8–12% وكان حمض كلور الماء والكبريت هو الأكثر فعالية في المعالجة من الأحماض الأخرى . [2,4,7,11,17,18,19,20]

طور الباحثون تقنيات أفضل في التعامل مع طبقة المونة الإسمنتية عبر تعزيز وتحسين خصائصها مع بقائها ملتصقة بالحصويات، وتنوعت طرق التحسين منها إضافة المواد البوزولانية كالاسمنت و الكلس و الرماد المتطاير وسليكات الكالسيوم [2,4,7,11,19,21,22,23]، حيث يتلخص دور هذه المواد في تحفيز التفاعلات الداخلية بين المواد المضافة و أكاسيد الكالسيوم الموجودة في المونة من أجل تشكيل مركبات أكثر صلابة وتماسكاً والتي تتوضع داخل البنية المسامية حول الحصويات مما يحقق كثافة صلبة إضافية ويسهم بشكل كبير في تخفيض امتصاص الماء وتحسين الوزن النوعي للحصويات [4,7,11,19,21,22,23]، كما تم استخدام البوليميرات الطاردة للمياه القائمة على إحداث مركبات سليكونية صلبة ضمن المسامات [11,24,25] حيث ساعدت البوليميرات على تخفيض خواص الامتصاص والمسامية وتحسين مقاومة الاهتراء للحصويات بنسبة تصل لـ 28% ، وكان مقدار التحسن تابعاً لتركيز البوليمير المستخدم ونوعيته .

تم تطوير تقنيات حديثة مثل تقنية الكربنة[6,7,26,28] وتقنية الترسيب الحيوي لكربونات الكالسيوم [7,29,30,31] ضمن هيكل المونة الملتصقة بالحصويات، وتعتبر هذه التقنيات من التقنيات الفعالة في تحسين الخصائص الميكانيكية للحصويات إلا أنها ماتزال ذات كلفة عالية وتتطلب تقنيات حديثة وأجهزة خاصة [4,5,6,7,11].

أكدت الدراسات الحديثة كفاءة تقنية الكربنة في تحسين الكثافة بنسبة تصل لـ 23% وتقليل معدل الامتصاص حوالي 28% مقارنة مع الحصويات المعاد تدويرها غير المعالجة [6,7,26,27,28] .

يبين بالشكل رقم (٢) شكل البنية الداخلية للحصويات المعاد تدويرها من هدم البيتون بعد المعالجة بتقنيات متعددة باستخدام المسح المجهري حيث يظهر الشكل تزايد الكثافة الصلبة بشكل واضح على حساب البنية المسامية .



الشكل رقم (٢) البنية المسامية للحصويات المعاد تدويرها بعد المعالجة بعدة تقنيات .

تعتبر المعالجات السطحية البوزولانية للحصويات المعاد تدويرها من التقنيات الأكثر صداقة للبيئة وفعالة جداً في تحسين الخصائص الميكانيكية للحصويات الخشنة حيث تجاوزت نسب الاستبدال المحقق للمواصفات 60% بعد المعالجة ووصلت لـ١٠٠ % حيث ساعدت المواد البوزولانية على تعزيز البنية الداخلية وجعلها أكثر كثافة بنسب تتراوح 20 % – 15 كما ساعدت على خفض الامتصاص بنسبة تصل لـ 50% بالإضافة إلى تحسين مقاومتها الميكانيكية وديمومتها [2,4,7,11,19,21,22,23]. انطلاقاً من كل ما سبق حاولنا في بحثنا هذا تقديم دراسة مخبرية تجريبية لتحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون RCA من خلال معالجتها بالكلس الحي Cao ،و الاسمنت ، حيث تحفز مواد الكلس الحي والاسمنت تفاعلات كيميائية مهمة مع التركيب البنيوي الكيميائية لطبقة المونة الاسمنتية الملتصقة بالحصويات البيتونية، مع اعتماد اسلوب معالجة للحصويات بطريقة سهلة وقابلة للتنفيذ حقلياً في سوريا، مهما كانت كمية المواد وحجومها وحجوم المونة الاسمنتية الملتصقة بالحصويات .

١) مشكلة البحث:

على الرغم من نجاح تطبيق الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون في أعمال البنى التحتية البيتونية والإسفلتية ، إلا أن امتصاصها للماء واهتراءها العالي أدى إلى تقييد استخدامها في تلك الأعمال بنسب قليلة ، حيث أشارت الدراسات إلى عدم استخدامها بنسب تزيد عن 40% لضمان الأداء المرضي خلال العمر التصميمي .

ومع تحقيق تلك الحصويات لمواصفات مقبولة بشكلها الخام فإن عملية معالجتها بطرق أو تقنيات متعددة قد تحسن من مواصفاتها وجودتها العامة، خاصة بوجود الكميات الكبيرة من نفايات البيتون في سوريا التي اقتصر استخدامها في نطاق ضيق كمواد ردم .

على الرغم من تعدد طرق وتقنيات المعالجة المتبعة حول العالم فإن تحديد الطريقة الأكثر ملائمة تتبع لعدة اعتبارات فنية واقتصادية وبيئية خاصة بكل بلد، حيث أن البلدان النامية قد لا تكون مجهزة بشكل كافي لضمان استمرارية تأمين المادة، لذا يتوجب البحث من أجل ابتكار طرق ومواد معالجة تتناسب مع الإمكانيات المتوفرة وبأقل التكاليف.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر هذا البحث امتداد للأبحاث و الدراسات التي أجريت من أجل تقييم إمكانية تحسين ظروف وخواص الحصويات المعاد تدويرها من نفايات هدم البيتون لاستخدامها في الأعمال المدنية، حيث يهدف البحث إلى دراسة تبدل وتحسن خصائص الحصويات المعاد تدويرها المعالجة بالكلس و الاسمنت من أجل تحديد مدى ملائمتها للاستخدام في الخلائط الإسفلتية أو البيتونية او كحصويات لتنفيذ طبقات الرصف الطرقي، بالإضافة إلى توسيع مجالات تطبيقها وفتح مجالات الاستبدال والاستغناء عن الخليط الحصوي الطبيعي حتى 100% .

كما يهدف البحث إلى توفير تقنية معالجة بسيطة و قليلة التكلفة وملائمة للاستخدام والتطبيق حقلياً، حيث لا تتطلب تقنيات جديدة أو إجراء تعديلات إضافية على الأجهزة المتوفرة ، وذلك عبر معالجة الحصويات المعاد تدويرها بطريقة اضافة الكلس الحي Cao أو الاسمنت .

تأتي أهمية البحث من مساهمته في تأمين مواد حصوية بديلة جزئياً او كلياً وبجودة عالية بما يخدم متطلبات التنمية المستدامة في ظل الوعي البيئي المتزايد حول العالم .

طرائق البحث ومواده:

- الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA : وهي من عدة مصادر هي ناتج هدم عدة مبان بيتونية في محافظة اللاذقية هدمت بسبب زلزال شباط ٢٠٢٣
- الحصويات الطبيعية : وهي الحصويات الكلسية المستخدمة في إنتاج الخلائط الإسفلتية في سوريا وتم الحصول عليها من مجابل مؤسسة تنفيذ الانشاءات العسكرية باللاذقية .
- الكلس الحي : تم الحصول على الكلس الحي البودرة من معمل حماه .
- الاسمنت البورتلاندي C32.5 وهو من معمل الإسمنت في طرطوس .

٢) منهجية العمل المخبري :

استند البحث على الدراسة المخبرية على عينات الحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها RCA من أجل تحديد خصائصها الفيزيائية والميكانيكية وتأثير المعالجة على هذه الخصائص، أما تسلسل الأعمال فقد كان وفق مايلي :

١) تم إحضار نواتج هدم البيتون وطحنها باستخدام الكسارة الأوتوماتيكية الموجودة في مخبر في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين وذلك للحصول على قطر أعظمي للحصويات 19mm الموافق للتراكيب الحبية المعتمدة للخلائط الإسفلتية .

٢) بعد الحصول على الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون قمنا بفصل التدرجات الخشنة عن التدرجات الناعمة ، حيث أن نسبة المونة الإسمنتية في الحصويات الخشنة تكون أقل من الحصويات الناعمة لذا تعتبر المعالجة للتدرجات الخشنة ذات جدوى أكثر من التدرجات الناعمة .

٣) توصيف الحصويات المستخدمة في البحث :

تم إجراء سلسلة من التجارب المخبرية على عينة الحصويات المعاد تدويرها RCA و الطبيعية NA وهي : الوزن النوعي وامتصاص الماء ولوس أنجلس ومقارنتها مع مواصفات الـ ASTM .

٤) بعد أن تم توصيف الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعاد تدويرها الخشنة ، قمنا بنقع هذه الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون بالماء لمدة ساعتين لضمان تسريع التفاعلات الداخلية ثم معالجتها بالكلس البودرة أولاً ، ثم بالإسمنت ، ثم بالاسمنت والكلس . أما نسب الاضافات فكانت 4%-3-2% من الوزن الجاف للحصويات ، تم رصد مدة المعالجة بعد أسبوع ثم أسبوعين من أجل رصد تغيرات المتانة مع الزمن .

٥) تم تحديد خواص الوزن النوعي وامتصاص الماء والاهتراء بعد المعالجة ، ثم دراسة تغير هذه الخصائص عند نسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها بمقدار %(100-75-50-25-0) .

٦) تقييم النتائج وفقا لمواصفات الـ ASTM ومواصفات وزارة المواصلات السورية ٢٠٠٢.

الدراسة التجريبية لمعالجة الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون بالكلس والإسمنت :

<u>أولاً : دراسة الحصويات قبل المعالجة</u>

بغية تحديد مقاومة الحصويات ومتانتها ، كان لابد من إجراء تجربة الاهتراء (لوس أنجلس) والوزن النوعي وامتصاص الماء لها قبل المعالجة ، ويبين الجدول رقم (١) متوسط نتائج التجارب قبل المعالجة .

جدول رقم (١) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات تبعا لنسب الاستبدال

mixture	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي الظاهري	عامل الشكل %
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	١٣,٢٧
25%CRCA+75%NA	٢٧,٦٣	٢,٠٥٥	٢,٧١١	١٢,٨٠٢
50%CRCA+50%NA	٣١,١٧	٣,٥٢٣	٢,٦٥٨	١٢,٣٣٥
75%CRCA+25%NA	٣٨,٢	٤,٩٩١	٢,٦	١١,٨٦٧
100%CRCA+0%NA	٤١,٨	٦,٦	٢,٥٥٢	١١,٤

نلاحظ من الجدول رقم (١) انخفاض جودة الحصويات مع تزايد نسب الاستبدال حيت تبين تزايد عامل الاهتراء وامتصاص الماء وتناقص الوزن النوعي للخليط الحصوي ، وهذا يعود لوجود طبقة المونة الاسمنتية الضعيفة والنفوذة حول الحصويات التي تزيد من سعة امتصاص الماء لها ، كما تعتبر هذه الطبقة سريعة التفتت تحت تأثير الأحمال الديناميكية لذا فإن هذه الحصويات لايمكن استخدامها في تصميم الخلائط الإسفلتية بنسب استبدال تزيد عن 50%. [32]

ثانياً : دراسة الحصويات بعد المعالجة

بغية تحديد تغير مقاومة الحصويات ومتانتها ، كان لابد من إجراء تجربة الاهتراء (لوس أنجلس) والوزن النوعي وامتصاص الماء بعد المعالجة بالكلس والإسمنت، علماً أن مدة المعالجة تمت دراستها بعد أسبوع وأسبوعين، واكتفينا بهاتين المدتين تماشياً مع خطوات التنفيذ الحقلي منعا لتأخير تنفيذ المشاريع .

١) نتائج المعالجة بالكلس بعد أسبوع

يبين الجدول رقم (٢) نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالكلس لمدة اسبوع وفق نسب استبدال للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها والمعالجة.

جدول رقم (٢) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعالجة بالكلس لمدة اسبوع تبعاً لنسب الاستبدال

Mixture	2%Lime			3%lime			4%lime		
	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥
25%CRCA+75%NA	٢٤,٧	١,٣٩	٢,٧١٦	٢٢,٩	١,١٤	٢,٧٣٨	٢٢,٨٥	١,١١	٢,٧٤١
50%CRCA+50%NA	٢٥,٢٤	١,٨٨	٢,٦٦٧	٢١,٧	١,٦٩	٢,٧١١	٢١,٤	١,٦٣	٢,٧١٧
75%CRCA+25%NA	٢٥,٧١	٣	٢,٦١٨	٢٠,٣	٢,٢٥	٢,٦٨٥	٢٠	٢,١٥	٢,٦٩٤
100%CRCA+0%NA	٢٦,١٨	٣,٨١٢	٢,٥٦٩	١٩	٢,٨	٢,٦٥٨	١٨,٥	٢,٦٧	٢,٦٧٠

تبين نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالكلس لمدة أسبوع تحسن الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخليط الحصوي مع تزايد نسبة الكلس، إلا أن جميع نسب الكلس أدت إلى تحسن واضح في خصائص امتصاص الماء والاهتراء بنسب تتراوح من 55%–37 في حين أن الوزن النوعي تحسن بنسبة 5%–3 ، وهذا يعود إلى تفاعل الكلس مع مكونات المونة الإسمنتية مما نتج عن التفاعل زيادة في الكثافة الصلبة وانخفاض المسامية وتحسن مقاومتها للاهتراء .

- المعالجة بالكلس لمدة أسبوعين

يبين الجدول رقم (٣) نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالكلس لمدة أسبوعين وفق نسب الاستبدال للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها والمعالجة.

جدول رقم (٣) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخليط الحصوي بالكلس لمدة اسبوعين تبعاً لنسب الاستبدال

mixture	2%lime			3%lime			4%lime		
	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥
25%CRCA+75%NA	٢٣,٥١	١,٣٢	٢,٧٢٤	٢٣	١,٠٢	٢,٧٣٩	٢٣	١,٠٢	٢,٧٤٢
50%CRCA+50%NA	٢٢,٧١	٢,٠٤	٢,٦٨٢	٢١,٧	١,٤٤	٢,٧١٤	٢١,٧١	١,٤٤	٢,٧١٩
75%CRCA+25%NA	٢١,٩	٢,٧٧	٢,٦٤١	٢٠,٤٦	١,٨٧	٢,٦٨٨	٢٠,٤	١,٨٧	٢,٦٩٧
100%CRCA+0%NA	٢١,١١	٣,٥٠١	٢,٦	١٩,١٨	٢,٣	٢,٦٦٣	١٩,١٢	٢,٣	٢,٦٧٤

نلاحظ من الجدول رقم (٣) بأن تزايد مدة المعالجة إلى أسبوعين أدت إلى تحسن امتصاص الماء بنسبة تصل لـ10% في حين أن التحسن في الوزن النوعي والاهتراء لايتجاوز 1%.

٢) المعالجة بالاسمنت لمدة أسبوع

يبين الجدول رقم (٤) نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالاسمنت لمدة اسبوع وفق نسب الاستبدال.

جدول رقم (٤) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعالجة بالاسمنت لمدة اسبوع تبعاً لنسب استبدال الحصويات

mixture	2%cement			3%cement			4%cement		
	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥
25%CRCA+75%NA	٢٦,٣٨	١,٦١٥	٢,٧١٣	٢٤,٨	١,٣١٥	٢,٧٣١	٢٤,٣٥	١,١٧	٢,٧٣٣
50%CRCA+50%NA	٢٨,٤٥	٢,٦٤	٢,٦٦١	٢٥,٤	٢,٠٢	٢,٦٩٧	٢٤,٣٩	١,٧٦	٢,٧٠٢
75%CRCA+25%NA	٣٠,٥	٣,٧١	٢,٦٠٩	٢٥,٩	٢,٧٣	٢,٦٦٣	٢٤,٤٣	٢,٣٥	٢,٦٦٩
100%CRCA+0%NA	٣٢,٦	٤,٧٤٥	٢,٥٥٨	٢٦,٤	٣,٤٥	٢,٦٢٩	٢٤,٤٧	٢,٩٤	٢,٦٣٨

تبين نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالاسمنت لمدة أسبوع تحسن خصائص امتصاص الماء والاهتراء للخليط الحصوي مقارنة بما كانت عليه قبل المعالجة بنسب تصل لـ 50% ، أما الوزن النوعي فقد تحسن بنسبة تصل لـ3% كما نلاحظ أن الكلس كان أفضل من الإسمنت فيه تحسين الخصائص، حيث أن الاسمنت يعمل على إغلاق المسام السطحية في الحصويات كما يتلاحم مع طبقة المونة القديمة مكونا طبقة متماسكة ساعدت على تخفيض عامل الاهتراء ، كما يلاحظ ارتفاع نسب امتصاص

الماء عند نسب الاستبدال للحصوبات الطبيعية بالمعاد تدويرها ٧٥ و ١٠٠ هذا يعود في تقديرنا الى بقاء حجم البنية المسامية على الرغم من تزايد صلابة البنية الشبكية للمونة الاسمنتية بفعل التفاعلات البوزولانية بين الاسمنت والمونة .

- المعالجة بالإسمنت لمدة أسبوعين

يبين الجدول رقم (٥) نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالاسمنت لمدة أسبوعين وفق نسب الاستبدال.

جدول رقم (٥) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخليط الحصوي بالاسمنت لمدة اسبوعين تبعاً لنسب الاستبدال

mixture	2%cement			3%cement			4%cement		
	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥
25%CRCA+75%NA	٢٦,٣٦	١,٥٣	٢,٧٢٤	٢٤,٨	١,٢٨	٢,٧٣١	٢٤,٣	١,١٢	٢,٧٣٥
50%CRCA+50%NA	٢٨,٤٢	٢,٤٦	٢,٦٨٣	٢٥,٣	١,٩٨	٢,٦٩٨	٢٤,٢	١,٦٥	٢,٧٠٥
75%CRCA+25%NA	٣٠,٥	٣,٤	٢,٦٤٣	٢٥,٧	٢,٦٨	٢,٦٦٤	٢٦,٤	٢,٢	٢,٦٧٥
100%CRCA+0%NA	٣٢,٥٣	٤,٣٤	٢,٦٠٢	٢٦,٢	٣,٣٧٧	٢,٦٣١	٢٤,١٣	٢,٧٢	٢,٦٤٥

نلاحظ من الجدول رقم(٥) بأن تزايد مدة المعالجة بالاسمنت إلى أسبوعين أدت إلى تزايد التحسن في خصائص امتصاص الماء إلا إنه كان بنسبة تتراوح من ٢-٦% ،واقتصر التغير فيها تبعاً لنسبة الاسمنت المضافة .

كما يلاحظ ارتفاع نسب امتصاص الماء عند نسب الاستبدال للحصوبات الطبيعية بالمعاد تدويرها ٧٥ و ١٠٠ هذا يعود في تقديرنا الى بقاء حجم البنية المسامية على الرغم من تزايد صلابة البنية الشبكية للمونة الاسمنتية بفعل التفاعلات البوزولانية بين الاسمنت والمونة .

٣) المعالجة بالكلس والاسمنت لمدة أسبوع

يبين الجدول رقم (٦) نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالكلس مع إضافة نسبة اسمنت ثابتة 2% لمدة اسبوع وفق نسب الاستبدال للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها والمعالجة.

جدول رقم (٦) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعالجة بالكلس والاسمنت لمدة اسبوع تبعاً لنسب الاستبدال الحصوي

mixture	2%lime+2%cement			3%lime+2%cement			4%lime+2%cement		
	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥
25%CRCA+75%NA	٢٥,٦	١,٥٣	٢,٧١٩	٢٥	١,٢٨	٢,٧٢٥	٢٤,٥	١,٠٢	٢,٧٢٩

50%CRCA+50%NA	٢٦,٩	٢,٤٨	٢,٦٧٣	٢٥,٧	١,٩٤	٢,٦٨٦	٢٤,٧	١,٤٥	٢,٦٩٣
75%CRCA+25%NA	٢٨,٢	٣,٤٢	٢,٦٢٧	٢٦,٣	٢,٦	٢,٦٤٦	٢٤,٨	١,٨٩	٢,٦٥٧
100%CRCA+0%NA	٢٩,٥	٤,٣٧	٢,٥٨١	٢٧	٣,٣	٢,٦٠٧	٢٥	٢,٣١	٢,٦٢١

تبين النتائج الموضحة بالجدول رقم (٦) بأن معالجة الحصويات المعاد تدويرها عبر معالجتها بخليط الكلس والإسمنت قد ساهمت بتحسن خصائص الوزن النوعي لـ RCA بنسب تصل لـ 3%، أما خصائص الاهتراء وامتصاص الماء فقد تحسنت بنسب تتراوح من 30–50%، إلا أن المعالجة بالكلس لوحده كانت أكثر كفاءة إذ قد يعمل الاسمنت المضاف إلى إبطاء التفاعلات البوزولانية بين المونة القديمة و الكلس حيث تحدث التفاعلات الأكبر بين الكلس والاسمنت المضاف من أجل تشكيل طبقة كثيفة تعمل على تغليف سطح الحصويات دون التأثير على التوزع الفراغي للمسامات في الحصويات القديمة، وهو ما يفسر قيم امتصاص الماء العالية في حالة المعالجة بالاسمنت أو بالكلس والاسمنت مقارنة مع قيمها عند المعالجة بالكلس لوحده .

- المعالجة بالكلس و الإسمنت لمدة أسبوعين

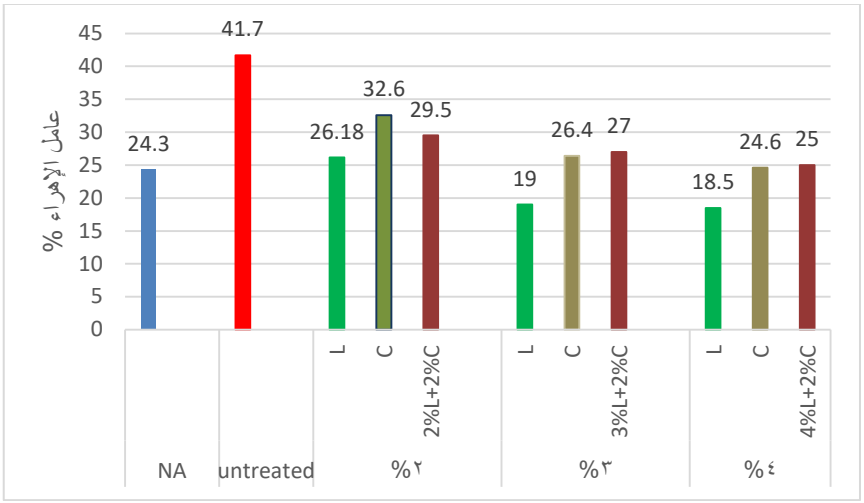
يبين الجدول رقم (٧) نتائج التجارب التوصيفية للخليط الحصوي بعد معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون RCA بالاسمنت لمدة أسبوعين وفق نسب الاستبدال للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها والمعالجة.

جدول رقم (٧) تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخليط الحصوي بالكلس و الاسمنت لمدة اسبوعين تبعاً لنسب الاستبدال

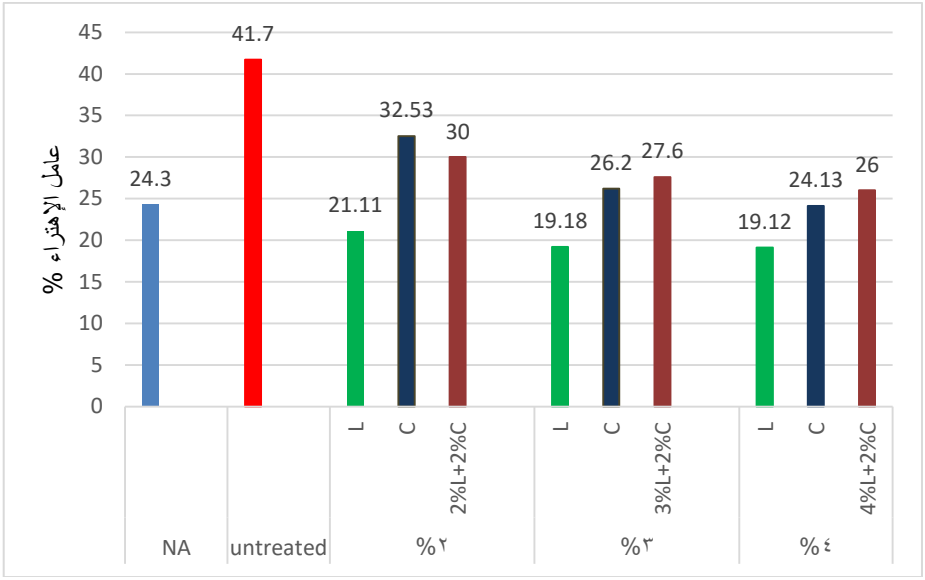
mixture	2%lime+2%cement			3%lime+2%cement			4%lime+2%cement		
	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي	عامل الاهتراء %	امتصاص الماء %	الوزن النوعي
0%CRCA+100%NA	٢٤,٣١	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥	٢٤,٣	٠,٥٨٧	٢,٧٦٥
25%CRCA+75%NA	٢٥,٧	١,٥٢٢	٢,٧٢١	٢٥,١	١,١٦	٢,٧٢٨	٢٤,٧	١,٠٢	٢,٧٣٠
50%CRCA+50%NA	٢٧,٢	٢,٤٥	٢,٦٧٧	٢٦	١,٧٤	٢,٦٩١	٢٥,٢	١,٤٤	٢,٦٩٥
75%CRCA+25%NA	٢٨,٥٧	٣,٣٩	٢,٦٣٣	٢٦,٧	٢,٣٢	٢,٦٥٤	٢٥,٧	١,٨٧	٢,٦٦١
100%CRCA+0%NA	٣٠	٤,٣٣	٢,٥٨٩	٢٧,٦	٢,٩	٢,٦١٧	٢٦	٢,٣	٢,٦٢٦

استناداً إلى نتائج التجارب المخبرية المبينة في الجداول السابقة فقد تم تمثيلها بيانياً وفق الأشكال التالية ، حيث يوضح الشكلين رقم (٢) و (٣) تغير عامل الإهتراء تبعاً لطريقة ونسبة المعالجة ومدة المعالجة ، وتظهر القيم الموضحة على المخطط بأن الكلس كان المادة الأكثر فعالية في تحسين عامل الإهتراء بنسبة تتراوح بين 37–55% تبعاً لنسبة الكلس المضافة في حين أن المعالجة بالإسمنت أو الإسمنت والكلس أدت إلى تحسن عامل الاهتراء بنسبة تتراوح 22–40% تبعاً لنسبة المادة المعالجة .

أما مدة المعالجة فقد كان لها أثر خفيف في تحسين العامل الإهتراء بعد الأسبوع الأول وكان هذا التحسن بمعدل 1–5% تبعاً لنسبة ونوع المادة المعالجة .



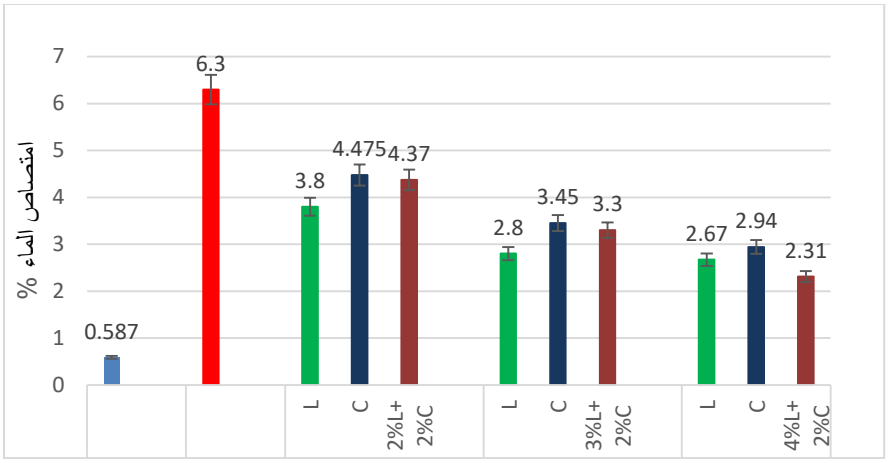
الشكل رقم(٢) تغير عامل الإهتراء تبعاً لنسب وطريقة المعالجة خلال الأسبوع الأول



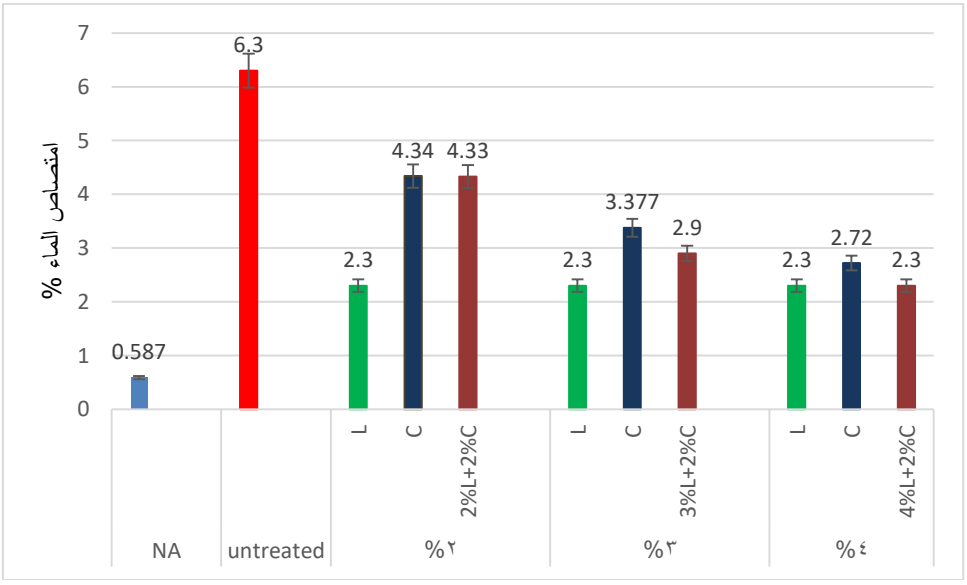
الشكل رقم(٣) تغير عامل الإهتراء تبعاً لنسب وطريقة المعالجة خلال الأسبوع الثاني من المعالجة

أما الأشكال رقم (٤)و (٥) فتبين تغير خصائص امتصاص الماء تبعاً لمادة المعالجة ونسبتها و مدة المعالجة ، ويبين الشكل أن الكلس كان الأكثر كفاءة في المعالجة إذ ساهم بتخفيض امتصاص الماء في الأسبوع الأول بنسبة 40– 58% تبعا لنسبة الكلس المستخدمة وكان الاسمنت قد ساعد بتخفيض امتصاص الماء 25–50% تبعاً لنسبة الاسمنت المستخدمة ، أما عند استخدام الكلس مع نسبة 2% اسمنت فقد انخفضت امتصاص الماء بنسبة 30–50% . كما لوحظ بقاء امتصاص الماء بقيم عالية نسبيا عند الخلائط 75%CRCA و 100%RCA عند المعالجة بالاسمنت أو الكلس مع الاسمنت وذلك لانخفاض تأثير مواد المعالجة على البنية المسامية الداخلية للحصويات واقتصر تأثيرها على الطبقة السطحية .

أما عند زيادة مدة المعالجة إلى أسبوعين فقد تحسنت خواص امتصاص الماء ولكن بنسبة قليلة تتراوح 2–7% .

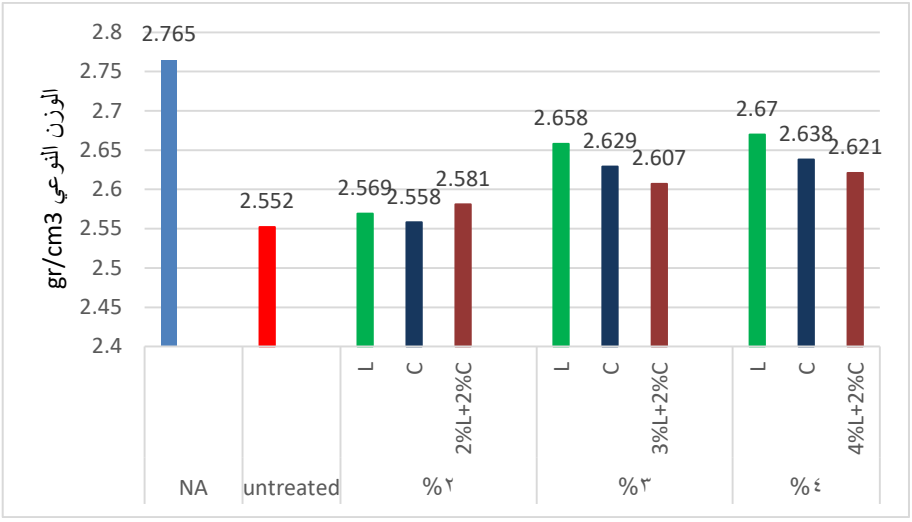


الشكل رقم (٤) تغير امتصاص الماء حسب نسبة وطريقة المعالجة خلال الأسبوع الأول من المعالجة

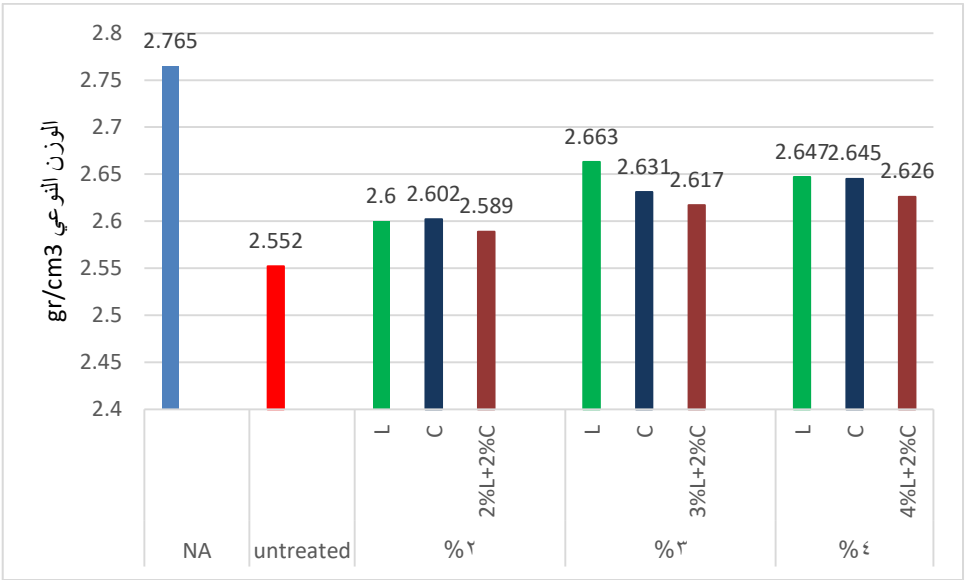


الشكل رقم (٥) تغير امتصاص الماء حسب نسبة وطريقة المعالجة خلال الأسبوع الثاني من المعالجة

تبين الأشكال رقم (٦) و (٧) تغير الوزن النوعي الظاهري للحصويات المعالجة تبعاً لنسبة ونوع المادة ومدة المعالجة، وتظهر النتائج كفاءة الكلس في زيادة الوزن النوعي بنسبة 6–10% تبعاً لنسبة الكلس منذ الأسبوع الأول في حين كانت نسبة الزيادة في الوزن النوعي للاسمنت أو الاسمنت والكلس تتراوح بين 6–9% تبعاً لنسبة الإضافة . أما لمدة المعالجة لأكثر من أسبوع فقد كان مقدار التحسن بسيطا لايتجاوز 2 % عند كل مواد المعالجة المستخدمة .



الشكل رقم (٦) تغير الوزن النوعي الظاهري حسب نسبة وطريقة المعالجة خلال الأسبوع الأول من المعالجة



الشكل رقم (٧) تغير الوزن النوعي الظاهري حسب نسبة وطريقة المعالجة خلال الأسبوع الثاني من المعالجة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

١) إن استخدام الحصويات المعاد تدويرها من نفايات البيتون كبديل جزئي أو كلي عن الحصويات الطبيعية في الأعمال المدنية هو أمر ممكن من الناحية الفنية على الرغم من انخفاض جودتها بالمقارنة مع الحصويات الطبيعية بسبب وجود طبقة المونة الاسمنتية المحيطة بها والتي تعتبر طبقة ضعيفة وعالية المسامية وذات وزن نوعي منخفض.

٢) إن معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون باستخدام مواد كالاسمنت أو الكلس من شأنه أن يدعم البنية الصلبة للحصويات المعاد تدويرها، إذ تحفز هذه المواد التفاعلات الداخلية بين المادة المضافة و أكاسيد الكالسيوم

الموجودة في المونة لتشكيل مركبات الكالسيوم الصلبة التي تتوضع ضمن النسيج المسامي وتتراكب مع طبقة المونة القديمة من أجل تأمين سطح صلب أقل مسامية وأكثر متانة، مما يجعلها ملائمة للاستخدام في الأعمال البيتونية والبيتومينية.

٣) بينت نتائج الدراسة بأن الكلس هو أكثر كفاءة من الاسمنت في معالجة الحصويات المعاد تدويرها، إذ ساهم الكلس بتخفيض عامل الاهتراء بنسبة تتراوح بين 55%–37 تبعاً لنسبة الكلس المضافة، في حين أن المعالجة بالإسمنت أو الإسمنت والكلس أدت إلى تحسن عامل الاهتراء بنسبة تتراوح 40%–22 تبعاً لنسبة المادة المعالجة.

٤) أدت معالجة الحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون بالكلس إلى تخفيض خواص امتصاص الماء بنسبة 58%–40 تبعاً لنسبة الكلس المستخدمة، وساعدت المعالجة بالاسمنت على تخفيض امتصاص الماء 50%–25 تبعاً لنسبة الاسمنت المستخدمة، أما عند المعالجة بالكلس مع نسبة ثابتة 2% اسمنت فقد انخفض امتصاص الماء بنسبة 50%–30 .

٥) إن المعالجة بالكلس أدت إلى تحسن الوزن النوعي للحصويات المعاد تدويرها من ناتج هدم البيتون بنسبة 10%–6 تبعاً لنسبته، في حين كانت نسبة الزيادة في الوزن النوعي لهذه الحصويات عند المعالجة بالإسمنت أو الاسمنت والكلس تتراوح بين 9%–6.

٦) أما مدة المعالجة فقد كان تأثيرها بعد الأسبوع الأول قليل، حيث بلغت نسبة التحسن للخصائص الفيزيائية الوزن النوعي 5%–2 ، يعود ذلك إلى حدوث معظم التفاعلات الكيميائية الداخلية خلال الأسبوع الأول من المعالجة لذا قد تكون مدة المعالجة لغاية أسبوع كافية من أجل الحصول على حصويات بجودة عالية .

٧) إن نسبة الكلس أو الاسمنت المثالية تتراوح بين 4%–3 من أجل الحصول على حصويات بجودة قريبة من الحصويات الطبيعية، أما عند المعالجة بالاسمنت والكلس فإن النسبة 4%L+2%C هي الأكثر ملائمة للمعالجة وذلك يعود الى تحسن لوس انجلس بنسبة تصل لـ 55% .

التوصيات:

- تعتبر معالجة الحصويات المعاد تدويرها بالكلس محفزاً قوياً لاستعمالها في تصنيع الخلائط الاسفلتية بجودة عالية ، ونفترح استخدام الكلس بنسبة (4%–3) لتصنيع هذه الخلائط بما يضمن الأداء المحسن.
- إعتمدت نتائج هذه الدراسة على تحليل الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المعاد تدويرها بعد المعالجة لذا ينصح بإجراء تجارب الديمومة للخلائط الاسفلتية المصنعة من هذه الحصويات .

References:

[1] MARTINEZ .B.G. J , LIZCANO .R . A. F , QUINTANA .R . A .H , ***Use of recycled concrete aggregates in asphalt mixtures for pavements: A review*** , journal of traffic and transportation engineering , Colombia , 2022, 17.

[2] KAVUSSI . A , HASSANI . A , KAZEMIAN . F , TAGHIPOOR . M , ***Laboratory evaluation of treated recycled concrete aggregate in asphalt mixtures*** , international journal of pavement research and technology , Iran , 2018 , 7.

[3] LI . X , CHENG .D , ZHANG . K , JAKHAR .S . M .K , PERICHERLA . V .U , ***Development of a Quality Control Method and Guidelines for Hot Mix Asphalt Using Recycled Concrete Aggreg***ate , **California state university , USA , 2020 , 88.**

[4] AL-BAYATI , H , K , A . ***Evaluation of Various Treatment Methods for Enhancing the Properties of Recycled Concrete Aggregate for Hot Mix Asphalt*** , University of Waterloo , Canada , 2018 , 349 .

[5] Zheng . Y , Zhang .Y, Zhang , P . ***Methods for improving the durability of recycled aggregate concrete: A review ,*** journal of materials research and technology , china , 2021 , 20 .
[6] LIANG . C , PAN .B , MA . Z , HE . Z , ***Utilization of CO2 curing to enhance the properties of recycled aggregate and prepared concrete: A review*** , Cement and Concrete Composites , china , 2019 , 49 .
[7] SHABAN .W . M , YANG . J , SU . H , MO . H .KIM , LI . LIJUAN , **Quality Improvement Techniques for Recycled Concrete Aggregate: A review** , Journal of Advanced Concrete Technology , China , 2019 , 17 .
[8] SAFA ELDEEN . I . G . JAKARNI . M . F***, Improve Recycled Concrete Aggregate properties in Order to Use It in Paving Application as Aggregate ,*** International Conference on Road and Airfield Pavement Technologies **, Iraq , 2019 , 10 .**
[9] MISTRI , A , BHATTACHARYYA , K .S , DHAMI, N , MUKHERJEE , A , BARAI , VS***A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials ,*** construction and building materials jounal , **india , 2020 , 12 .**
[10] RAMAN ,J. V . M , RAMASAMY . V , ***Various treatment techniques involved to enhance the recycled coarse aggregate in concrete: A review ,*** Materials Today journal , india , 2020 , 8 .
[11] CANO . G , JARAMILLO ,Y.P. A , CORREA , TOBÓN . J, I . ***Effect of enhancement treatments applied to recycled concrete aggregates on concrete durability: A review*** **, Materiales de ConstruCCión ,** Vol. 73, Issue 349 , Colombia , 2023 ,14 .
[12] ABBAS .A ,S, A , AL-SHWIKH. H , K, AL-SALLOUM Y , A **,** ***Influence of Treatment Methods of Recycled Concrete Aggregate on Behavior of High Strength Concrete ,*** https://www.mdpi.com/journal/buildings , Saudi Arabia , 2022, 19 .
[13] PAWLUCZUK . E , WICHROWSKA . K, K , BOŁTRYK . M , JIMÉNEZ . J ,R **,** ***The Influence of Heat and Mechanical Treatment of Concrete Rubble on the Properties of Recycled Aggregate Concrete , ,*** https://www.mdpi.com/journal/buildings **,** University of Córdoba, Spain **, 2019,20 .**
[14] KAZMI . S, M, S, MUNIR . M J , WU .Y, F, PATNAIKUNI . I , ZHOU . Y , XING . F , ***Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation*** , construction and building materials jounal , China , 2020 ,13 .
[15] MOSTAZID . I , SAKAI . Y , ***Thermal treatment of recycled compacted concrete: Effects on physical properties and hydration characteristics*** , Journal of Building Engineering ,japan , 2023 ,20 .
[16] YUNUSA . M , ZHANG . X , TIAN . X , ***Durability of Recycled Concrete Aggregates Prepared with Mechanochemical and Thermal Treatment*** , Wuhan University of Technology , china , 2022 , 20 .
[17] NIRANTAR .S , NAKTODE . P , ***Effects of Pre-treatments on Microstructure and Mechanical Properties of Recycled Concrete Aggregates*** , Sandip University , india , 2023, 9 .
[18] RAHAMAN . M , ***development of high quality recycled aggregate by physical treatment using phosphoric acid (H3PO4)*** , global scientific journals ,volume 6 , issue 8 , Bangladesh ,2018, 65 .
[19] ABASS .B ,J , ALBAYATI . A , H , ***Influence of recycled concrete aggregate treatment methods on performance of sustainable warm mix asphalt ,*** https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1718822 , Iraq , 2020 ,21 .
[20] SIVASUBRAMANIAN , ABIDUDDIN . S , MANOJ , VISHNU . T, ASHOK . K, MOUNIKA . P , ***Effect of Acid Treated Recycled Aggregate On Properties of Concrete*** ,

International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST) , Volume 11, Issue 2 *, india , 2023 , 19* **.**
[21] ALBAYATI. A, WANG. Y, WANG . Y, HAYNES .B **,** ***A sustainable pavement concrete using warm mix asphalt and hydrated lime treated recycled concrete aggregates*** **,** University of Baghdad, Iraq , 2018 . 27 .
[22] SHABAN . W, M , ELBAZ . K, YANG .J , THOMAS . B , S , SHEN . X , LI . L , DU .Y , ***Effect of pozzolan slurries on recycled aggregate concrete: Mechanical and durability performance ,*** Construction and Building *Materials , China , 2021 ,16* .
[23] MERIN . M , GIRIJA . K, SREEDEVI .A , R, ***Strengthening of Recycled Coarse Aggregate using Different Surface Treatment Techniques*** *, India , 2022 , 5* .
[24] SERAWAT . A , SHARMA . P , SINGH . P **,** ***Polymeric Actions to Make Recycled Aggregate of Concrete Improved*** *,* Journal of Polymer & Composites *, India , 2022, 15* .
[25] ABDRABBOU . A, A , ***Quality improvement of recycled concrete aggregate using polymers*** *,* Eastern Michigan University, USA , 2018 , 76 .
[26] PU .Y, LI . L, WANG . Q, SHI . X, LUAN . C, ZHANG . G, , ***Accelerated carbonation technology for enhanced treatment of recycled concrete aggregates: a state-of-the-art review***. Construct Build Material , china , 2021, 21.
[27] LEEMANN . A , WINNEFELD . F , MÜNCH .B , TIEFENTHALER . J , ***Accelerated carbonation of recycled concrete aggregates and its implications for the production of recycling concrete*** *,* journal of building materials , Switzerland , 2023, 14 .
[28] SERENG . M , DJERBI . A, METALSSI .O , O , DANGLA . P, TORRENTI .J ,M , ***Improvement of Recycled Aggregates Properties by Means of CO2 Uptake , https://www.mdpi.com/journal/applsci*** **,** France , 2021 ,22.
[29] ZENG . W , ZHAO . Y , POON . C,S , FENG . Z , LU .Z , ***Using microbial carbonate precipitation to improve the properties of recycled aggregate,*** Construct Build Material **,** china , 2019 , 9.
[30] FENG . C, CUI . B , GE . H , HUANG . Y , ZHANG . W, ZHU . J , ***Reinforcement of Recycled Aggregate by Microbial-Induced Mineralization and Deposition of Calcium Carbonate—Influencing Factors, Mechanism and Effect of Reinforcement ,*** https://www.mdpi.com/journal/crystals , china , 2021 , 20 .
[31] AHMAD . M ,A , LIU . B , LI . Q , ADEEL . M , ZHANG . J , ZHOU . Y , DENG . X , ***Bio-deposition approaches for sustainable execution of recycled aggregates in concretes*** , The University of Tennessee, USA , 2023 ,13 .
[32] ABBAS .S , ***Study of using recycled concrete aggregates RCA in hot mixed asphalt HMA ,*** Tishreen university , Syria ,2017 , 70 **.**