مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 40- العدد 1 (2024) 132-147

Damascus university Journal for engineering sciences
Vol 40 No.1 (2024): 132-147

استخدام الركام البيتوني المعاد تدويره في تطبيق وحدات بناء مركبة عازلة ضمن المناطق المهدمة في سورية

نور محمود المرعي[1]، أ. د. غسان برجس عبود[2]

[1]طالبة دكتوراه في قسم علوم البناء والتنفيذ، كلية الهندسة المعمارية، جامعة دمشق.

[2]أستاذ في قسم علوم البناء والتنفيذ، كلية الهندسة المعمارية، جامعة دمشق.

الملخص:

أفرغت الأزمة السورية أطنان من نفايات الهدم والركام البيتوني الذي مازال عائقاً في عملية إعادة الاعمار وإبطاء حركتها كونه لحد الآن لم يتم وضع دراسات وأسس للتخلص منه إلا في إدراجه ضمن أعمال الرصف الطرقي وبعض الخلطات الاسمنتية المسموح بها حسب التجارب التي قام بها باحثون انشائيون، ولذلك كان الهدف الرئيسي للبحث هو كيفية التخلص من الركام البيتوني بشكل فعلي بأبسط الطرق وأقل الكلف بسبب ضعف الإمكانيات المتاحة في سورية بسبب الحصار الاقتصادي الحالي.

تتمحور الدراسة حول تطبيق مواد مركبة عازلة بنفس مبادئ تصنيع الألواح المركبة العازلة عالمياً وذلك من خلال ربط المواد الاسمنتية المعاد تدويرها مع المواد العازلة بطريقة اللصق وليس بطريقة الخلطات التي أظهرت عدم فعاليتها بشكل كامل بالمواد الاسمنتية المعاد تدويرها من ناحية الجودة والكلفة.

تطرق البحث إلى فهم معمق عن الركام البيتوني وألية استخراجه من الموقع بأبسط الطرق ووفق الامكانيات المتاحة في سورية، بالإضافة الى شرح مفصل عن مكونات المواد المركبة العازلة ومعايير تصنيعها.

كما اعتمد البحث على المنهج التحليلي الاستقرائي من خلال جمع نماذج وتجارب عالمية اعتمدت على تنفيذ تجاربها بمواد إسمنتية معاد تدويرها مستخرجة من الموقع المحيط أو المهدم.

توصل البحث إلى تصنيع منتج جديد مكون من الركام البيتوني مع طبقة عازلة باستخدام نظام تصنيع الألواح المركبة العازلة وتم اجراء الاختبارات عليه للتأكد من فعاليته وامكانية إدراجه ضمن السوق المحلية في عملية إعمار الموقع المهدم.

الكلمات المفتاحية: الركام البيتوني، المواد المركبة العازلة، الركام البيتوني المعاد استخدامه، المواد المعاد تدويرها.

تاريخ الإيداع: 2022/6/27
تاريخ القبول: 2022/10/16

حقوق النشر: جامعة دمشق –سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص **CC BY-NC-SA 04**

The use of recycled concrete aggregates in the application of insulating composite building units within the demolished areas in Syria

Noor Mahmood al-Meraie, Prof. Gassan Aboud

[1]PhD student in Faculty of Architecture, University of Damascus.
[2]Professor in Faculty of Architecture, University of Damascus.

Received: 27/6/2022
Accepted: 16/10/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

The Syrian crisis has emptied tons of demolition waste and concrete rubble, which is still an obstacle in the process of reconstruction and slowing its movement, because so far no studies and foundations have been developed for its disposal except in its placement within the road paving works and some cement mixtures allowed according to the experiments carried out by structural researchers, and therefore it was The main objective of the study is how to get rid of concrete rubble effectively in the simplest and least expensive way due to the weak capabilities available in Syria due to the current economic blockade.

The study revolves around the application of composite insulating materials with the same principles of manufacturing insulating composite panels globally, by linking the recycled cement materials with the insulating materials by the method of adhesive, and not by the method of mixtures, which showed their complete ineffectiveness with the recycled cement materials in terms of quality and cost.

The research dealt with an in-depth understanding of the concrete aggregate and the mechanism of extracting it from the site in the simplest ways and according to the available capabilities in Syria, in addition to a detailed explanation of the components of insulating composite materials and the standards for their manufacture.

The research also relied on the inductive analytical method by collecting global models and experiences that relied on implementing their experiments with recycled cement materials extracted from the surrounding or demolished site.

The research found the manufacture of a new product consisting of concrete aggregate with an insulating layer using the insulating composite panels manufacturing system, and tests were conducted on it to ensure its effectiveness and the possibility of its inclusion within the local market in the process of reconstruction of the demolished site.

Key words: Concrete aggregate, insulating composite materials, reused concrete aggregate, recycled materials

المقدمة:

تسعى الدول في جميع أنحاء العالم وخصيصاً في الدول المتقدمة بالتخلص بشكل نهائي من الركام البيتوني الذي يشكل 70% من إجمالي نفايات الهدم.

وعلى صعيد آخر يتراكم الركام البيتوني في بعض الدول بسبب الحروب والكوارث ومنها سورية التي أدت الحرب الأخيرة إلى تهدم بعض المدن والقرى، لذلك بات من الضروري العمل على ابتكار مواد معاد تدويرها من الركام البيتوني تساعد على إزالة هذه المخلفات بشكل كامل ضمن الموقع المهدم، وبدا جلياً في الدراسات الانشائية التي تمت على الركام البيتوني والعمل على تطويره من خلال إدراجه ضمن مواد وحدات البناء والخلطات الخرسانية ولكن لم تصل هذه الدراسات إلى هدفها الأساسي وهو التخلص من كمية الركام بشكل كامل، حيث أوصت الدراسات باستخدام ركام معاد تدويره بنسبة تتراوح من 5 –20% فقط من المادة المستبدلة بسبب عدة عوامل تؤثر على فعاليتها ضمن الخلطات، ولذلك بدأ التفكير باتجاه آخر بامكانية استخدام الركام البيتوني بوضعه الحالي بطريقة تصنيع المواد المركبة العازلة أي عن طريق ترابط طبقات مع بعضها البعض وليس كخلطات وذلك من خلال وضع الركام البيتوني كطبقة خارجية بحيث نستفاد من قوة الطبقة في حال تراص الحصويات بجانب بعضها البعض إضافةإلى الميزة الهامة في تركيب هذه المواد وهي العزل الحراري والصوتي وبما يخدم المتطلبات المعمارية في العمل الهندسي.

أهمية البحث:

يساعد استخدام الركام البيتوني كوحدات مركبة عازلة في إعادة الاعمار بشكل أسرع كونها تعتمد على مكونات موجودة ضمن الموقع مما يؤدي ذلك إلى تكلفة وجهد أقل.

إضافة إلى ذلك فإن إعادة استخدام الركام البيتوني ستحل مشكلة كبيرة في ألية التخلص منها ونقلها خارج الموقع. ويمكن اعتبار استخدام الركام البيتوني كمواد مركبة عازلة قفزة نوعية في صناعة مواد البناء لتنمية وصيانة وإعادة إعمار التجمعات الحضرية بحيث تلبي المتطلبات البيئية العالمية كونها تعمل على التخلص من النفايات البيتونية.

إشكالية البحث:

تتطلب الأزمة الراهنة تطوير مواد بناء تساعد على التخلص من الركام البيتوني بكميات تتوافق مع كمية الأنقاض الموجودة في المناطق المهدمة وبكلفة أقل من المواد المتوفرة بالسوق المحلية لإعادة سكان تلك المناطق إلى ديارهم والتسريع في عملية إعادة الإعمار.

هدف البحث:

التوصل لمنتج جديد يعمل على إزالة كمية لا بأس بها من الركام البيتوني في الموقع المهدم ووضعه تحت الاختبارات اللازمة للتأكد من فعاليته وإمكانية إدراجه في السوق المحلية.

منهجية البحث:

اعتمدت الدراسة على المنهج الاستقرائي التحليلي وذلك في تحليل أسس تصنيع المواد المركبة العازلة ومن ثم رصد عدة تجارب عالمية تستعرض كيفية استخدام الركام البيتوني لتصنيع مواد للانشاء والاكساء للوصول إلى دراسة تطبيقية لمنتج جديد يعمل على التخلص من الركام البيتوني واستغلاله ضمن الأعمال المعمارية.

1- الاطار النظري.

1-1- تعاريف ومصطلحات الدراسة.

- **الركام (Aggregates):** هو مادة حبيبية خامدة مثل الرمل والحصى والصخور المسحوقة وهي تشكل المادة الأساسية للخلطات البيتونية وذلك بعد إضافة الماء والاسمنت

ويمثل الركام من 60-80 % من حجم الخلطة البيتونية ويعتبر كمالئ رخيص التكلفة نسبيًا، إلا أن له تأثير كبير على مقاومة البيتون للأحمال التي تتعرض لها.

ومن أهم أنواع الركام (الركام المدور) هو الناتج من إعادة تدوير بعض المواد الانشائية مثل البيتون القديم أو من مخلفات عمليات الإنشاء أو الإنهاءات وركام مخلفات المواد غير الانشائية مثل مخلفات الزجاج والخبث والمطاط وغيرها [4].

- **الركام البيتوني (concrete aggregate):** مخلفات صلبة من مواد اسمنتية غير خطرة تتولد من نشاط البناء والصيانة وهدم المنشآت والأبنية، الطرق والجسور، إنشاء الصرف الصحي وهذه المخلفات تختلف من موقع بناء إلى آخر [14].
- **الركام المعاد تدويره (Recycled aggregate)** هو الركام المصنوع من الخرسانة أو النفايات الهدم والبناء بكافة أشكاله [14].
- **الركام الخرساني المعاد تدويره (Recycled concrete aggregate):** وتشمل الركام الخشن وغير الخام [14].
- **المواد المركبة العازلة:** هي عبارة عن وحدات مصنعة ذو أشكال هندسية مختلفة تُصنع من خلال ربط قشرتان قويتان ذات سماكة قليلة بالنسبة للنواة تعملان تحت قوى الضغط والشد إلى طبقة وسطية عازلة "نواة" مؤلفة من مواد ذات قوة منخفضة ولكنها ذات سماكة عالية، تزود المادة المركبة صلابة عالية ضد الانحناء مع كثافة منخفضة بشكل عام [5].

1-2- مميزات إعادة استخدام وتدوير الركام البيتوني

يعتبر استخدام وتدوير الركام البيتوني ذو فعالية جيدة وخصيصاً على الاطار البيئي للموقع المهدم من خلال عدة مميزات وهي:

1- تقلل من استخدام الركام البكر الجديد والتكاليف البيئية المرتبطة بالاستغلال للموارد الطبيعية.[8]

2- تقلل من الأراضي غير الضرورية من المواد التي يمكن استردادها وإعادة استخدامها. [8]

3- الحد من انبعاثات الكربون حيث يعتبر إنتاج الاسمنت مصدر رئيسي لانبعاثات الكربون. [9]

4- الحد من النفايات وزيادة عدد المكبات والمطامر بهذه النفايات. [8]

5- انخفاض تكاليف النقل حيث غالباً مايتم إعادة تدوير الركام البيتوني في مواقع الهدم أو بالقرب من المناطق الحضرية المراد إعادة استخدامها هناك. [13]

6- تخفيض تكاليف التخلص من النفايات البيتونية وذلك بتجنب ضرائب ورسوم الأراضي وغيرها.[8]

7- تعتبر الركام البيتوني ذات أداء جيد لبعض التطبيقات بسبب خصائص الضغط والكثافة الجيدة نسبياً حسب الدراسات التي تمت عليها وذلك في حال تنفيذها كقاعدة تأسيس للطرقات الاسفلتية. [13]

8- إنشاء فرص عمل في صناعة إعادة التدوير لم تكن موجودة بقطاعات أخرى.[13]

2-1- سلبيات الركام البيتوني المعاد تدويره.

توصلت الدراسات إلى وجود عدة مساوىء ببنية الحصويات البيتونية المعاد تدويرها وأهمها امتصاصها للمياه بشكل كبير والتصاق المواد الاسمنتية بها وصعوبة إزالة هذه الطبقة واختلاطها بمواد سمية كانت موجودة ضمن الموقع المهدم.

أولاً: امتصاص الركام البيتوني للمياه:

تعد المسامية وامتصاص المياه من أهم خواص الركام البيتوني المشكلة كحصويات معاد تدويرها حيث تؤثر هذه الخاصية على عدة خواص أخرى كالتجمد والتأثر بالمواد الكيميائية والوزن الحجمي والترابط مع الاسمنت، حيث أشارت

الدراسة التي قام بها العالم Xiao عام 2008 أن نسب الحصويات ضمن الخلطة ممكن أن تعتمد على الكود المحلي للبناء بشرط زيادة نسبة الماء المستعملة بالخلطة كون تشرب هذه الحصويات المدورة أكثر من الحصويات الطبيعية لتحقيق قابلية التشغيل والمقاومة المطلوبة. [15]

ثانياً: تأثير الاسمنت الملتصق على الركام البيتوني:

يؤثر الاسمنت الملتصق على الركام البيتوني بشكل سلبي حيث يسبب تشكل كمية اضافية من سيليكات الكالسيوم مما يؤدي إلى فقدان المتانة فيها.

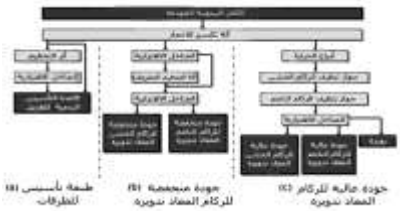
ولتخفيف التأثير السلبي للإسمنت الملتصق أوصى العالم Hansen بغمر الركام البيتوني "الحصويات المعاد تدويرها" وترطيبها للتخفيف من آثاره بحيث يتم زيادة كمية المياه كقيمة تساوي الماء الزائد لإشباع هذه الركام. [16-15]

ثالثاً: تأثير المواد السمية التي من الممكن أن تتواجد ضمن الركام البيتوني:

ومن أهم الصعوبات التي قد تواجه استخدام الركام المعاد تدويره هو وجود مواد سمية ضمنه كالأسبستوس والتي تعتبر مادة أساسية في صناعة مواد العزل ومادة الرصاص المتواجد بكثرة في أنابيب الصرف الصحي وخصيصاً للمباني القديمة التي كانت تستخدم في ذاك الوقت ،كما يتواجد في الأبنية الصحية كالمستوصفات – المشافي – المراكز المختصة بالتصوير الشعاعي،وللأسف لم يتم استخراجها أو الإشارة إليها في العديد من الدراسات والتأكيد على فصلها أثناء فرز نفايات الهدم وغالباً من الممكن أن تكون هذه المواد ملتصقة بالمادة البيتونية ،وبالتالي من الصعوبة إزالتها ومن الواجب التخلص منها لحماية الانسان والبيئة منها من خلال خبراء معنيين بهذه المواد ومعرفتهم بكيفية التخلص من تلك المواد.[3]

1-4-تقنيات إعادة تدوير الركام البيتوني:

تعتمد هذه التقنية على تحطيم الكتل البيتونية وتنقيتها من الشوائب من أخشاب ومواد بلاستيكية ومواد معدنية الخ... ومن ثم طحن هذه الكتل وتمريرها على مصافي "مناخل" رجاجة لفرزها حسب الحجم مع الغسل بعض الأحيان ،ويوضح المخطط التالي تقنية الفرز للحصول على حصويات معاد تدويرها بمواصفات مختلفة.

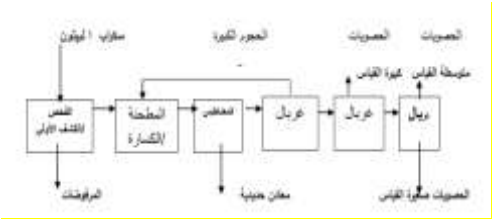


مخطط توضيحي /1/ يوضح آلية الحصول على حصويات من ركام بيتوني [15].

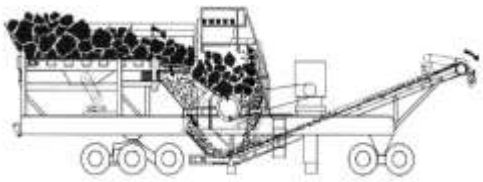
نستنتج من المخطط أن الطرق التقليدية المعتمدة على الطحن والصدم والمناخل الرجاجة تعطي مواصفات متوسطة إلى رديئة نسبياً، حيث تعتبر الحصويات المعاد تدويرها ذات مواصفات عالية تلك التي يكون فيها نسبة الاسمنت الملتصق ضعيف. ولكن حسب الامكانيات المتاحة في سورية فمن الصعوبة تأمين مستلزمات التقنيات الأخرى التي تعمل على إزالة الاسمنت الملتصق وتحسين جودة الحصوية وبالتالي سيتم الإكتفاء بالتحطيم الميكانيكي بواسطة الكسارة الحجرية المتاحة في السوق المحلية.

ومن خلال هذا التقنية ينتج لدينا عدة أقطار للركام البيتوني وبالتالي سينتج لدينا حصويات خشنة وحصويات ناعمة وكتل بيتونية ذات أقطار تصل إلى 50 سم.

وهنا يجب التنويه إلى ضرورة الفصل والفرز الجيد لينتج لدينا مواد حصوية جيدة لحد ما ،كما من الممكن تواجد كمية لا بأس بها من الحصويات الناتجة عن تكسير مواد غير الخرسانة وهي مرتبطة بشكل مباشر بها كالسيرميك والبلاط والجبس والمواد الطينية.



مخطط /2/ يوضح طريقة نقل وتنصيب محطة معالجة متنقلة لإنتاج الركام المعاد تدويره[16]



صورة /1/ رسم تمثيلي عن كسارة متنقلة[16]

1-5- المكونات الأساسية للمواد المركبة العازلة.

يمكن تشكيل أنواع غير محدودة من المواد المركبة العازلة عن طريق التنوع بموادها مابين القشرة والنواة وطرق تركيبها، حيث تتألف المواد المركبة العازلة من عدة طبقات وهي [5]:

1- طبقتين خارجتين: وتكون مادتها من الخشب – المعدن المطلي أو المغلفن – الاسمنت- البلاستيك.

2-طبقة اللواصق: يجب اختيار نوع اللواصق بشكل جيد لأنه يضمن جودة الألواح فيما يتعلق بالمتانة و القوة وتكون حسب متطلبات المنتجات الأوربية الغير قابلة للاشتعال -A2 S1، حيث يجب أن يغطي اللاصق كامل سطح الوجه والنواة.

3-الطبقة الوسطى "النواة": يجب أن تكون مادة غير قابلة للاشتعال وذات عازلية حرارية وصوتية كبيرة ومستقرة كيمائياً وتتراوح سماكتها من 2مم-150 مم.

4-الطبقات المتعددة التمهيدية: تضمن الترابط بين اللواصق والطبقات الخارجية.

1-6- معايير اختيار المواد المشكلة للوحدات المركبة العازلة:

هناك عدة معايير من الواجب أخذها بعين الاعتبار عند البدء بتصنيع مواد مركبة عازلة لتنفيذها بشكل صحيح والوصول إلى أعلى جودة للمنتج [11-6-5].

أولاً: المعيار الإنشائي:

- **القوة:** ويقصد بها جميع القوى الميكانيكية التي يمكن أن تواجه الوحدات المركبة العازلة وخصوصاً النواة.

يتم اختيار شكل وأبعاد ومواد الوحدات للجدران وفقاً للقوى الأفقية من رياح وزلازل التي يمكن أن يتعرض له البناء.

- **الصلابة:** يجب أن تكون القشرة ذات صلابة عالية لتحقيق أقصى قدر منها كون المادة بشكل كلي ذو وزن منخفض نسبياً، ومع ذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار مقدار السماحية لانحراف القص والتقوس بالقشرة.
- **الحمولة المطبقة:** يجب الأخذ بعين الاعتبار الحمولة المطبقة على الوحدات المركبة العازلة، حيث تتألف حمولة المواد من حمولتها الذاتية والحركية. في العموم تعتبر الوحدات المركبة العازلة مواد خفيفة تمتلك القشرة 60-67% من وزن اللوح الكلي بالنسبة للجدران، أما بالنسبة للأرضيات فتمتلك القشرتين 50 % من الوزن الكلي و50 % للنواة والمواد اللاصقة.

يجب تنفيذ إطار على طول المحيط الأفقي والشاقولي عند الاتصال كون الوحدات إذا كانت بشكل ألواح لا تنقل الحمولات الشاقولية من السقف إلى الأساس.

- تحديد المجاز: يعتمد تحديد المجاز تبعاً لسماكة الوحدات، حيث يحدد نسبة السماكة للمجاز كحد أقصى للجدران الخارجية بـ 100/1 أما للجدران الداخلية بـ 150/1 وللأسقف بـ 250/1.

وفي حال المباني متعددة المجازات، يجب الأخذ بعين الاعتبار حساب سماكات الألواح في كل طابق.

ثانياً: المعيار الترابطي (أداء المادة الرابطة):

يجب أن تربط المادة اللاصقة بشكل متين بين طبقات الوحدات المركبة العازلة، أي مابين القشرة الخارجية إلى النواة إلى القشرة الداخلية لنقل الحمولات بشكل أفضل من طبقة إلى طبقة.

يجب أن تضمن المادة الرابطة معامل عالي وذات ملمس لزج على شكل شرائح جافة بحيث لا تترك ثغرات بين القشرة والنواة، كما يجب التأكد من الجودة التفاعلية بين مواد الألواح" بين القشرة والنواة والمواد اللاصقة" وانتقائها من خلال قوة الشد للمادة.

ثالثاً: المعيار الاقتصادي:

- **التكلفة:** توفر الوحدات المركبة العازلة جزءاً من التكلفة على حسب النوع المختار، حيث يتم تحليل الكلفة من خلال تقييم تكاليف الإنتاج والتجميع والتركيب والعناصر المضافة من شبكات تقوية أو مثبتات إضافية.
- **الجودة:** يتم تعزيز الجودة بأن تكون المادة العازلة منتج صلب ذات مادة عازلة فعالة، وأن تكون موفرة للطاقة وتعمل على التقليل من انبعاث الملوثات في البيئة وخفض التكلفة وسرعة التجهيز.

رابعاً: المعيار الفيزيائي "الحراري"

- **درجة الحرارة** :تلعب البيئة الحرارية دوراً مهماً في اختيار المواد المركبة العازلة، وتعتبر أية مادة محققة لهذا الشرط كونها ذات صفة عازلة حيث يجب أن تعطي المادة أداء حراري يصل إلى 55 إلى 170 درجة مئوية.

ولكن يجب الأخذ بعين الاعتبار إمكانية دراسة قدرتها على العزل الحراري ومعالجة ذلك لتصل إلى أفضل قيمة ويتم ذلك أثناء التصنيع.

- **النقل الحراري:** يزداد النقل الحراري في حالة واحدة فقط عندما تكون النواة والقشرة مكونتان من مواد معدنية فيجب الابتعاد عنها.

يعتمد العزل على كثافة تحددها سماكة الوحدات ويمكن زيادة تحسين أدائها الحراري من خلال تعبئة طبقة النواة إن كانت جوفاء بمواد رغوية لزيادة مقاومتها للحرارة.

يجب أن تكون سماكة النواة 4–8 أضعاف سماكة القشرة ولا تقل سماكتها عن 5 سم .

خامساً: المعيار الكيميائي:

- **الرطوبة:** يجب انتقاء مواد ذات مقاومة جيدة للرطوبة والتعفن.
- **إذابة المادة اللاصقة والانبعاث الحراري:** تنبعث من بعض أنواع المواد اللاصقة غازات وأبخرة مذيبة أثناء عملية القص للمادة المركبة والتي يمكن أن تتفاعل مع مواد القشرة والنواة وخصوصاً إن كانت المواد معدنية ،فيجب فحص اللاصق بشكل كامل لضمان خصائص ميكانيكية وبيئية مثلى.
- **مقاومة التآكل:** يجب الأخذ بعين الاعتبار المواصفات الكيمائية للمادة لمقاومتها ضد التآكل من العوامل الخارجية والانبعاثات الغازية المحيطة.

سادساً: المعيار البيئي:

- **قابلية المواد للاشتعال:**

تصنف المواد المركبة العازلة إلى ثلاث فئات:

- عدم إمكانية حرق المنتج.
- الإطفاء الذاتي: وتعني أن المنتج سوف يحترق ولكن سوف تخمد النار عند انتهاء اللهب.
- قابلية الاشتعال: وهي مواد قابلة للاشتعال ويتم عندها تحديد معدل انتشار اللهب تحت شروط محددة.

- **نوع المادة:**

–عند اختيار مادة بيئية طبيعية محلية متوفرة في المكان يقلل ذلك من كلفة التصنيع والانبعاث الحراري.

- اختيار مواد قابلة للتدوير تساعد على عدم وجود نفايات بناء ضمن البيئة المحلية.

- مادة قابلة للفك والتركيب ذات أبعاد صغيرة.

مـواد مقتصـدة بالطاقـة مـن اسـتخراج المـادة وإنتاجهـا واستخدامها وإعادة استخدامها.

2- التجارب العالمية في استخدام الركام البيتوني المعاد تدويره ضمن التطبيقات المعمارية.

- **نظام الأحجار ضمن الأقفاص GabionWall**

الفكرة المعمارية لهذه الجدران هو التخلص من المخلفات البيتونية أو الحجرية ضمن الموقع وبأقل كلفة ممكنة حيث يمكن تعبئة هذه الأقفاص إما بأحجار من الموقع أو مخلفات بيتونية وهي ذات كلفة منخفضة للتكسير والتعبئة كونها تنفذ بأيدي عاملة لقاطني المكان وبدون الحاجة إلى معدات وآليات ضخمة.

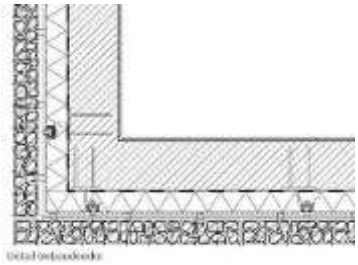
يمكن أن يصل قطر الركام المراد تعبئته حتى 30 سم، وبالتالي نكون قد أضفنا وفورات على الكلف الاقتصادية الناشئة عن عملية التحطيم الآلي والنقل والأيدي العاملة والتخلص من مشاكل بيئية للمنطقة المستهدفة[9-3].

تكمن تطبيقات الأحجار ضمن الأقفاص في عدة اتجاهات وهي:

1- استخدام الأحجار ضمن الأقفاص كمادة إكساء خارجية:

يمكن استخدام هذا النظام كمادة إكساء خارجي بحيث من الممكن أن تطبق على أقفاص بأبعاد صغيرة وملئها بركام ذات أقطار متوسطة الحجم تصل إلى 7سم كما هو مبين في الصورة رقم/ 2/.

صورة/ 2/ تبين استخدام الأحجار ضمن الأقفاص للإكساء الخارجي بأبعاد صغيرة للقفص.[13]



مخطط /3/ يبين آلية تثبيت الأحجار ضمن الأقفاص للإكساء الخارجي[7].

ومن الممكن استخدام الأحجار ضمن الأقفاص بأبعاد تصل إلى إرتفاع الطابق كامل كما هو موضح في الصورة رقم/3/ وتعطي كلا الحالتين شكلاً جديداً ومظهراً مختلفاً للمباني مغاير لأنظمة الإكساء المعتمدة لدينا في البيئة المحلية.

صورة /3/ استخدام الأحجار ضمن الأقفاص للإكساء الخارجي بأبعاد كبيرة للقفص[13].

2- استخدام الأحجار ضمن الأقفاص كعناصر انشائية حاملة:

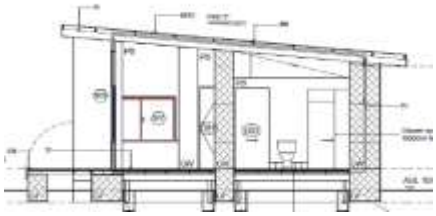
بالإمكان استخدام هذا النظام كجدران حاملة للمباني ذات إرتفاع الطابق الواحد أو كأعمدة حاملة للمظلات أو سطح أخير فقط كونها تطبق بسماكات تصل إلى 40 سم وتستطيع فقط حمل وزنها الذاتي وحمولات بسيطة مطبقة عليها. ففي مدينة هايتي وبعد الزلزال المدمر عام 2010 أقرت الحكومة بتنفيذ المباني المتضررة بنظام الأحجار ضمن الأقفاص حيث بدأ العمل بمطلع عام 2012 وذلك بتنفيذ جدارن من أقفاص سلكية معدنية مبطنة بشبك عين دجاج ومن ثم تم وضع الركام البيتوني، حيث كانت أبعاد القفص 60*30*30 سم وتم

وصل الأسلاك مع بعضها البعض بالإتجاه الشاقولي والأفقي لتعزيز القوة والمتانة بين القفص والذي يليه من خلال أسلاك ملولبة بقطر 12 ملم على طول 200 سم [10].

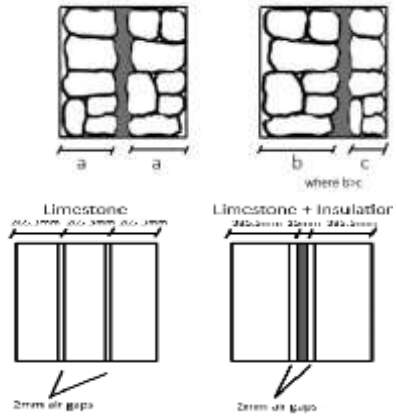
صورة/4/ تبين طريقة تنفيذ الجدران في مدينة هايتي [10]

وبمبدأ آخر من طرق تنفيذ هذا النظام هو مبنى اصطياقي في خليج ستوكس باي في استراليا [12] وبسبب العوامل الجوية المتميزة بها تلك المنطقة تم استخدام جدران gabion wall في بعض جدران المنزل كما هو مبين في المخطط رقم /4/ وذلك للحماية من تأثير قوة الرياح والحمل الحراري للمنطقة. كما تم استخدام نوعين من الجدران أحدهما بدون عزل حراري بين طبقتين الأحجار والآخر مع طبقة عازلة وممكن أن تكون وسطية أو أن تكون في الثلث الداخلي من الجدار كما موضح في المخطط رقم /6/.

مخطط رقم /4/ يوضح المسقط الأفقي للمنزل[12]

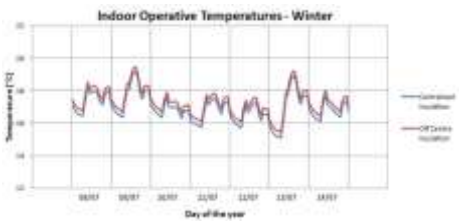


مخطط رقم /5/ يوضح المقطع A-A [12]



مخطط /6/ يوضح توضع العازل الحراري بين الأقفاص.[12]

من خلال هذا المشروع تم التوصل لفعالية جدران gabion wall في عازليتها ومقاومتها للعوامل الجوية وخاصة مع طبقة عازلة وسطية فهي ذات أداء حرار ي جيد حيث كان الفارق بين النموذجين درجتان مئويتان بينما في جدران البلوك التقليدي لم يكن هناك فروقات كبيرة بين الجدار العادي والجدار الذي طبق مع العازل فكان الفارق نصف درجة مئوية فقط.



مخطط بياني /7/ يوضح الفروقات الحرارية باستخدام وعدم استخدام العازل الحراري [12]

مخطط بياني /8/ يوضح الفروقات الحرارية باستخدام وعدم استخدام العازل الحراري لجدران GABION WALL [12]

- **تجارب صناعة وحدات اسمنتية من مواد معاد تدويرها "حصويات بيتونية":**

تخلف المباني المهدمة والبنية التحتية وراءها حوالي خمسة ملايين أطنان مترية من ركام المباني ذات الحبيبات الدقيقة حتى الآن في ألمانيا، وانتهى به المطاف في المطامر أو تم استخدامه في الأعمال الطرقية ولهذا السبب دفع معاهد فراونهوفر للبناء IBP لإطلاق ملف مشروع يسمى BauCycle لإعادة تدوير نفايات البناء وكان هدفهم هو تحويل هذا المزيج من المخلفات إلى مورد مستدام وإظهار التطبيقات المحتملة في البناء.[7]

كانت أحد منتجاتهم صناعة الخرسانة الخلوية من ركام البناء وهي مادة بناء خفيفة ذات خصائص عزل حراري جيدة وتعتبر مناسبة للبناء لمنازل مكونة من طابقين. أظهرت الاختبارات أن تدوير الخرسانة إلى حصويات وإعادة تدوير الطوب الرملي الجيري يمكن أن يكون بمثابة مادة خام ثانوية لصنعه.

حقق العلماء أفضل النتائج بمزيج 80%من الطوب الرملي والجير و20 % من الخرسانة المستصلحة.

يمكن استخدام مزيج من الطوب والخرسانة المستعادة لصنع جيوبوليمرات خالية من الإسمنت وهي مواد بناء قوية ومقاومة للأحماض مثل الخرسانة.

صورة /5/ توضح الخرسانة الخلوية المصنوعة من الطوب (الخلفية)، الخرسانة الخلوية المصنوعة من الأحجار الجيرية الرملية (الأمامية).[7]

3- الاطار التطبيقي.

3-1- مفهوم تطبيق الركام البيتوني لإنتاج وحدات مركبة عازلة

من الممكن إعادة استخدام الركام البيتوني ضمن الموقع من خلال عدة أنظمة ممكن إعادة التفكير بها لوضعها ضمن خدمة إعادة استخدام الركام بوضعه الحالي دون الحاجة لتحويله في عدة عمليات معقدة وذات كلفة اقتصادية كبيرة، أي من الممكن استخدامه بعد الفرز والتنظيف وتكسيره ضمن الكسارات المتواجدة في السوق المحلية وذلك حسب الأقطار المطلوبة كما ذكر في الفقرة السابقة/2/ ولكن بدون وضعه ضمن أقفاص معدنية وإنما بطريقة تصنيع وحدات مركبة عازلة مثل ألواح sandwich panel.

من خلال الدراسات حول كيفية تصنيع الألواح المركبة العازلة وخواص الركام البيتوني وايجابياته وسلبياته ،بدأ العمل على تصنيبع وحدة مشابهة لأبعاد البلوك الاسمنتي كونه المادة الأكثر شيوعاً في تطبيقات البناء في سورية.

تم تحديد الأبعاد المطلوبة للوحدة المنتجة ومن ثم تم اختيار المواد المكونة لطبقات الوحدة العازلة من خلال المعايير التي ذكرت أعلاه من مواد رابطة ولاصقة وعازلة بالاضافة لإستخدام الركام البيتوني كقشرة خارجية كونها لم تبدي فعالية عالية في نسب الخلط لانتاج البلوك الاسمنتي أو الخرسانة إلا بنسب ضئيلة تتراوح من 5-20% فقط، حيث تم الحصول عليها لتطبيق العينات من منطقة ماروتاسيتي في مدينة دمشق وهي عبارة عن مزيج من ركام بيتوني للمباني التي تم هدمها وحصويات بكر وأخرى من حفر أرض المشروع حيث تم تحطيمها بواسطة آلة التحطيم الميكانيكي من قبل القائمين على المشروع وفرزها بعدة أقطار واختارت الباحثة القطر المناسب لصناعة العينة وهو 2.5-3 سم.

3-2- المواد المكونة للوحدة المنتجة:

بدأ العمل لإنتاج وحدات مركبة عازلة مؤلفة من قشرتين (خارجية وداخلية) من الركام البيتوني، ونواة ذات كفاءة جيدة للعزل الصوتي والحراري.

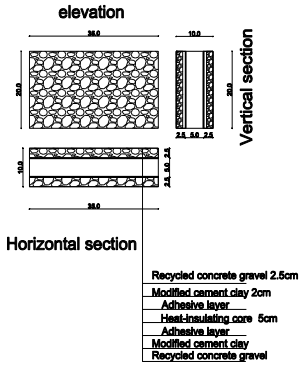
1- القشرة: تتألف من حصويات من ركام بيتوني (تم تحويله إلى حصويات عن طريق التحطيم الميكانيكي ومن ثم فرزه ونخله إلى عدة أقطار حيث يتم استخدام قطر 2.5 – 3 سم للمادة المنتجة).

2- النواة العازلة: تم اختيار ألواح ستيروبور "بولسترين ممدد" بسبب كلفته الجيدة مقارنة مع باقي مواد العزل الأخرى بسماكة 5 سم

صورة /6/ توضح شكل المادة العازلة المستخدمة في المنتج الجديد "البولسترين الممدد"

3- المادة الرابطة: وهي المادة التي ستربط الطبقات الخارجية مع طبقة النواة العازلة وهي عبارة عن طينة اسمنتية معدلة حسب عدة تجارب قامت بها الباحثة للوصول إلى مادة تؤمن الترابط المطلوب وهي عبارة عن اسمنت ورمل وماء ومادة لاصقة مضافة بنسبة 1:2:1:0.5.

4- مواد رابطة اضافية: للترابط الأقوى بين الطبقات تم استخدام مادة لاصقة بولميرية تعمل على ربط طبقة الطينة مع النواة العازلة.



مخطط /9/ يوضح الطبقات المكونة للمنتج

3-3- طريقة تصنيع الوحدة المنتجة

يتم جمع الطبقات المكونة للوحدة المصنعة من خلال الخطوات التالية:

1- تحضير قالب معدني حسب طول اللوح المطلوب ودهنه بمادة زيتية أو مادة دهنية الملمس.

صورة /7/ توضح شكل القالب المعدني المستخدم في انتاج المنتج الجديد.

2- يتم وضع القالب على صفيحة اهتزازية للتأكد من مزج وتوزع الحصويات والمادة الطينية بشكل جيد.

3- يتم رصف حصويات من الركام البيتوني بأقطار تتراوح من 2.5–3 سم.

صورة /8/ توضح الطبقة الأولى للمنتج "القشرة" المكونة من الحصويات المعاد تدويرها.

4- يتم صب المادة الرابطة "الطينة الاسمنتية المعدلة "والعمل على تخلخلها ضمن الحصويات بسماكة 2سم لضمان المتانة.

5- وضع طبقة اللاصق التي تعمل على ربط المادة الطينية مع النواة العازلة.

6- وضع طبقة النواة وهي بمثابة لطبقة العازلة للحرارة والصوت بسماكة5سم .

صورة /9/توضح توضع مادة النواة ضمن طبقات المنتج الجديد.

7- وضع طبقة اللاصق المطلوب.

8- صب المادة الرابطة "الطينة الاسمنتية المعدلة "بسماكة 2 سم.

صورة /10/ توضح توضع المادة الرابطة ضمن طبقات المنتج الجديد.

9- وضع طبقة من الحصويات للقشرة النهائية بنفس أقطارالحصويات القشرة الداخلية.

صورة /11/ توضح الطبقة الأخيرة للمنتج المكونة من الحصويات المعاد تدويرها.

صورة /12/توضح شكل المنتج النهائي

3-4- البيانات الفنية للمنتج.

I. اختبارات المنتج RAU بالشكل اليدوي.

هناك عدة اختبارات يتم إجراؤها بشكل يدوي كبداية لتحديد فعالية المنتج أم لا، وتم أخذ هذه الاختبارات من تجارب الطوب الاسمنتي والآجري المعتمد في المواصفات القياسية المصرية.

1- قياس الأبعاد: يقاس كل من الطول والعرض والارتفاع مرتين لكل عينة من خلال أجهزة القياس (المسطرة الفكية) ويحسب متوسط كل بعد ويجري اختبار قياس الأبعاد لخمس عينات على الأقل، تقياس أبعاد كل عينة على حدى، ويذكر في التقرير أبعاد كل عينة ومتوسط أبعاد العينات المختبرة.

وطبقاً ماذكر أعلاه تم قياس الأبعاد على 5 عينات من المنتج الجديد وأظهرت النتائج تساوي القيم بشكل كامل دون التغير في القيم لكل عينة، حيث أظهرت النتائج أن الأبعاد على الشكل التالي: الطول= 35 سم العرض =20 سم،العمق (السماكة)= 10سم.

2- تعامد الأوجه: توضع المسطرة الفكية بحيث تغطي كامل البعد الطولي للعينة، ويقاس انحراف زاوية تقابل الأوجه من التعامد بقياس المسافة بين الحافة الداخلية لزاوية المسطرة ووجه العينة.

ومن خلال التجربة إتضح تعامد الأوجه بزاوية 90 درجة وذلك بإجراء التجربة على 5 عينات أيضاً.

3- التقوس والالتواء: توضع المسطرة الفكية بحيث تغطي كامل بعد العينة، ويقاس الارتفاع من وجه العينة إلى حافة المسطرة عند المنتصف تقريباً بالنسبة للوجه المقعر، بالنسبة للوجه المحدب يقاس الارتفاع بين وجه العينة وحافة المسطرة عند طرفي العينة ويؤخذ متوسط القراءتين.

ومن خلال التجربة على العينة لدينا تبين عدم وجود أي تقعر أو تحدب لأوجه العينة من كافة الاتجاهات وتمت التجربة على 5 عينات أيضاً.

4- وزن العينة: يتم قياس الوزن ل 3 عينات على الأقل للتأكد من صحة المواد الداخلة فيها وكميتها وذلك على مقياس الوزن (الميزان).

ومن خلال التجربة كان الارتياب بسيط جداً لا يتجاوز 0.5%، حيث بلغ وزن العينات من 5 كغ إلى 5.28 كغ، ووسيطاً يعتبر وزن العينة = 5.25كغ.

II. التجارب المخبرية للمنتج.

أولاً : التجارب الميكانيكية:

يتم إجراء هذه التجارب لمعرفة الأداء الميكانيكي للمنتج، حيث تم تجربة اختبار الضغط على ثلاث عينات من RAU في مخبرمواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق.

صورة /13/توضح جهاز قياس الضغط في المختبر

تم إجراء تجربة الضغط على المحور Y أي على اتجاه التحميل على ثلاث عينات من هذه الوحدات وأظهرت النتائج مايلي:

الجدول/1/ يوضح نتائج تجربة الضغط

رقم العينة	وزن العينة /كغ/	أبعاد العينة / سم /	حمولة الانهيار /كغ/	إجهاد الضغط /كغ/سم2/
1	5.27	10*20*35	5929	15.4
2	5.25	10*20*35	4114	10.68
3	5.27	10*20*35	4114	10.68

وبسبب استخدام مادة البولسترين الممدد كمادة عزل في المنتج كان لابد دراسة خواصه الميكانيكية بشكل منفرد للتأكد من جودة المنتج الفعلي، أظهرت النتائج المخصصة للاختبار الذي أجري في كلية العلوم قسم الكيمياء في جامعة دمشق لخواصه الميكانيكية مايلي:

نسبة التشوه 25%.

استرجاع التشوه بعد 15 د =86.5%.

ثبات الأبعاد =أقل من 0.2%.

ويتم هذا الاختبار من خلال تطبيق قوة ضاغطة على المنتج وحساب القيم الظاهرة بعد تطبيق الحمولة.

وفعلياً نلاحظ أن نسبة استرجاع التشوه متقاربة جداً بين مخبر مواد البناء ومخبر قسم الكيمياء حيث تعتبر نسبة استرجاع التشوه تقريباً 81%.

ثانياً: الاختبارات الكيميائية:

تمت التجربة في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية وذلك بوضع العينات بفرن التجفيف الحراري لمدة 24 ساعة.

صورة/14/ توضح فرن التجفيف الحراري في المختبر

وبعد مرور 24 ساعة تم غمر العينات بالماء لمدة 24 ساعة أيضاً ومن ثم قياس الوزن.

وكانت النتائج كالتالي:

الجدول /2/ يوضح نتائج اختبار الغمر للمنتج

		العينة 1	العينة 2
وزن العينة	قبل التجفيف/غ/	735	1855
	بعد التجفيف/غ/	735	1850
	بعد الغمر/غ/	830	2125
	نسبة الامتصاص	1.12	1.14

وبالتالي نسبة الامتصاص وسطياً = 1.01

وطبعاً لابد من حساب الامتصاص للحصويات بشكل انفرادي كونها تعتبر مادة شارهة للماء وتعتبر أحد مساوئ الحصويات المعاد تدويرها.

صورة /15/ توضح الركام البيتوني المستخدم في قشرة المنتج أثناء الغمر بالماء.

وكانت النتائج كالتالي:

الجدول /3/ يوضح نتائج اختبار الغمر للركام البيتوني المستخدم في المنتج

العملية	الوزن /غ/
قبل التجفيف	1300
بعد التجفيف	1245
بعد الغمر	1300
نسبة الامتصاص	1.04

تعتبر نسبة الامتصاص لمادة الحصويات جيدة نسبياً ولربما كانت غير شارهة للماء بسبب تواجدها ضمن الظروف الجوية وتعرضها لمياه الأمطار.

النتائج:

-في جميع عمليات إعادة تدوير الخرسانة التي تمت من قبل الباحثين والعلماء تدور حول فصل الشوائب عن الخرسانة وفرزها حسب أقطارها ،ولكن ضمن الوحدة المنتجة لا نجد صعوبة في إعادة تدوير الركام البيتوني حيث من الممكن استردادها كما هي واستخدامها بعدة حالات وأقطار كونها جزء من الوحدة المنتجة وتمثل نحو 40% من موادها.

- يمكن استخدام المنتج في عدة تطبيقات معمارية وهي:

مادة تغليف للمباني	جدران عازلة محيطية للمباني السكنية والعامة
مادة مكملة	جدران قاطعة عازلة للحرارة والصوت
	مكملة للجدران المهدمة جزئياً
الأبعاد	35*20*10سم

- تحتاج صناعة العينة إلى عمليات دقيقة أهمها رج الطبقة الرابطة للتأكد من توضعها بالشكل الأنسب وتخلخلها ضمن الحصويات وعلى سطح المادة التي تليها وذلك من خلال وضع صفيحة اهتزازية أسفل القالب،كما من الواجب تخشين أوجه المادة العازلة لضمان الترابط بينها وبين الطبقة التي تليها.
- يتطلب هذا النموذج دراسات اضافية لتحديد مدى عازليتها الحرارية بسبب طريقة تنفيذها ووجود مادة الملاط الاسمنتي الذي يسبب جسور حرارية من الممكن معالجتها بتغيير في مواصفات تشكيل المادة ولكن تتطلب خطوات تصنيعية معقدة إلى حد ما.
- يعتبر النموذج أقل وزناً وكثافةً من البلوك الاسمنتي والآجر المشوي بنسبة 50% تقريباً حيث يحدد وزن البلوك المفرغ الاسمنتي بالقيمة: 12-15 كغ بينما وزن الآجر المشوي المفرغ 9-14كغ.

- يعتبر إجهاد الضغط للنموذج مقبولاً ضمن المواصفات القياسية السورية للأعمال المعمارية وذلك من خلال مقارنتها بين القيم المسموح بها للبلوك الاسمنتي والآجر المشوي وحسب تلك المواصفات يجب أن تكون مقاومة الضغط للبلوك الاسمنتي المفرغ بعد 7 أيام من إنتاجه ب 35كغ/سم2 وبقيمة 50كغ/سم2 بعد28 يوماً، ولكن فعلياً تقاس مقاومة الضغط لديه بقيمة 22-25كغ/سم2.

أما بالنسبة للآجرالمفرغ فكان متوسط مقاومة الضغط للصنف الأول 15كغ/سم2 والحد الأدنى 12كغ/سم2 ،بينما للصنف الثاني فتكون 12كغ/سم2 وسطياً والحد الأدنى ب 8كغ/سم2.

أما بالنسبة للمنتج فكانت قيمة مقاومة قوة الضغط=12.25 كغ/سم2.

- يعتبر النموذج مادة غير شارهة للماء ومقاومة للرطوبة والتعفن بعكس مادتي البلوك الاسمنتي والآجر المشوي،حيث يتراوح امتصاص البلوك الاسمنتي المفرغ بين 6-15 % أي يعتبر مادة شارهة للماء. بينما امتصاص البلوك الآجري للماء فيتراوح من 6-8 %. أما بالنسبة للمنتج فكانت قيمة امتصاص العينة للماء 1%.
- يعتبر النموذج ذو عازلية جيدة للحرارة والصوت كونها مؤلفة من مواد عازلة.
- يمكن تلخيص الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمنتج ضمن الجداول التالية:

الخواص الميكانيكية			قيم المقارنة [17]	
			الأدنى	الأعلى
الوزن	5.25	كغ	9	15
اجهاد الضغط	12.25	كغ/سم2	8	22
نسبة التشوه	%81		ـــــ	
ثبات الأبعاد	أقل من %0.2		ـــــ	

الخواص الكيميائية		قيم المقارنة [17]	
		الادنى	الأعلى
نسبة الامتصاص	%1.01	%6	%15
الكثافة	732 كغ/م3	1000	1900
مقاوم للرطوبة والتعفن	نعم	ـــــ	
مقاوم للأحماض	نعم	ـــــ	
العزل الصوتي	نعم	ـــــ	

التوصيات:

1- تشجيع الخبرات العلمية والعملية على وضع دراسات ومعايير للمواد المعاد تدويرها ومن الممكن أن تدخل في العملية التصميمية لترويجيها ضمن السوق المحلية بأعلى جودة ونشر الثقافة المجتمعية بذلك.

2- العمل على بناء مخابر مختصة بتصنيع مواد معاد تدويرها من الركام البيتوني.

3- زيادة الوعي المجتمعي في المواد المعاد تدويرها وخصيصاً في المناطق المهدمة.

وضع تشريعات وقوانين باستخدام المواد المعاد تدويرها ضمن المناطق المهدم وعدم نقل الركام البيتوني إلى المكبات والمطامر.**التمويل:** هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

المراجع: References

1- Amy Ransom. 2011. **INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF FREE-STANDING GABIONS IN SEISMIC REGIONS.** Master of Science in Architecture with a Specialization in Architectural Engineering.

2- Enviromesh. 2008. **A Reference Guide for Architectural Gabion Cladding and Free Standing Walls Office at Bristol BS16 7FQ.** Designing with Gabions Volume 2. No. 5065615. England.

3- EU Construction & Demolition WasteManagement Protocol. September 2016. **Directorate-General for Internal market, Industry,Entrepreneurship and SMEs** .p:52.

4- EU Construction and Demolition Waste Management.2018.**Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings**.p:37
5- http://www.span.com.ua,Kiev, Ukraine.
6- https://pursuitist.com/seouls-unforgettable-stone-cage-wall-display-at-cafe-ato.
7- J. J. Hajek, G. J. Chong, R. C. G. Haas, and W. A. Phang.1987. Knowledge-Based Expert System Technology Can Benefit Pavement Maintenance. **Transportation Research Record1145, TRB**. p 37-47. National Research Council, Washington:UN.
8- N.D. **Handbook for Emergencies United Nations High Commissioner for Refugees**. February 2007. Geneva Third Edition.
9- N.d.2011. **Australian Building Codes Board**. Australia's Future Conference. Australia.
10- Robert W. Kates, Thomas M. Parris, and Anthony A. Leiserowitz. December 2005. **Building Local Sustainability After a Natural Disaster**. School of the Environment, Yale University, New Haven: United States.
11- T. M. ADAMS, C. HENDRICKSON, AND P. CHRISTIANO, **Expert System Architecture for Retaining Wall Design**. TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1187, Department of Civil Engineering, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 15213.
12- www.hy-ten.co.uk
13- Yasuhiro Dosho.2008. Sustainable Concrete Waste Recycling.
14- قاسم، ايمان. محمود، حسان. 2011.**استخدام مخلفات البناء في الخلطات البيتونية** .المعهد التقني، جامعة الموصل. الموصل: العراق.
15- النجار، م. عمار .2016.**استخدام الحصويات المدورة المستخلصة من ركام البناء في العناصر البيتونية**. رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق. دمشق: سورية.
16- النعيم، م. زاهر. شيخ أوغلي، م. نور. الشعار، م. محمد وليد.2018. **الإدارة البيئية للأنقاض البيتونية الناتجة عن الحروب"الحالة الدراسية: منطقة حرستا"**. رسالة ماجستير، كلية الهندسة المعمارية، جامعة دمشق. دمشق: سورية.
17- **المواصفات الفنية السورية للأعمال المعمارية** . نقابة المهندسين .دمشق: سورية.