مجلة العلوم الهندسية
FES Journal of Engineering Sciences
http://journal.oiu.edu.sd/ojs/index.php/fjes/index
FJES
FES Journal of Engineering Sciences

# Feasibility of recycling concrete construction waste in environmental and economic sides

# جدوى إعادة تدوير مخلفات البناء البيتونية من الناحيتين البيئية و الاقتصادية

**ايلاف محمود حسن[1]*،**

[1] كلية الهندسة المدنية -قسم الهندسة البيئية ، جامعة البعث، سوريا.

* Corresponding author: Elbagir Eltayeb (e-mail: elaf.hasan2511@gmail.com).

Article history: Received 23 May 2020, Received in revised form 10 April 2021, Accepted 12 November 2021
Digital Object Identifier (doi): https://doi.org/10.52981/fjes.v11i1.503

**الملخص** في ظل الأوضاع التي عاشتها سوريا، ونظراً لما تعرضت له من تخريب وهدم لأبنيتها، تراكمت الأنقاض واحتلت مساحة كبيرة من أراضيها،لذلك كان لا بد من وضع استراتيجية مناسبة تهتم بدراسة هذه الأنقاض كماً ونوعاً، و تقديم الحلول المثالية لإمكانية الاستفادة منها قدر الإمكان، وبالتالي التخفيف من أثرها الضار على البيئة ، و الوسط المحيط .تم تقسيم العمل في هذه الدراسة الى قسمين: الأول: تم دراسة إحدى آليات الإستفادة من الحصويات المعاد تدويرها من خلال استخدامها في صناعة البيتون، وذلك بعد دراسة خصائصها( تدرج حبي – وزن حجمي – امتصاص ..) و من ثم مزجها مع الحصويات الطبيعية كبديل عن الحصويات الخشنة بنسب (15%–30–45–75–100)) وصب 6 مكعبات بيتونية لكل خلطة، ثم كسر نصف عدد العينات على عمر 7 ايام و النصف الاخر على عمر 28 يوماً .حيث تم استنتاج العلاقة بين نسبة الحصويات المعاد تدويرها و المقاومة على الضغط البسيط . بينت النتائج أن النسبة المقبولة لاستبدال الحصويات الطبيعية بحصويات الأنقاض البيتونية قد تصل إلى 75% مع تسجيل قيم للمقاومة الأسطوانية تصل إلى20.9 **Mpa** على عمر 28 يوماً من أجل عيار اسمنت 350 =**Kg/m3** . الثاني : تم دراسة الجدوى البيئية و الاقتصادية من استخدام الحصويات المعاد تدويرها حيث بينت النتائج أن استخدام نسبة 75% من الحصويات المعاد تدويرها في أعمال البيتون الإنشائي سوف يخفف من استهلاك الطاقة و انبعاثات **CO2** بنسبة 28% و33% على التوالي كما بلغت نسبة الوفر الاقتصادية 63.71 . **%**من خلال هذه الدراسة يمكن تحقيق غايتين : الأولى إزالة كميات كبيرة من مصادر التلوث البيئي الناتج عن هذه المخلفات، و بالتالي تحقيق غاية بيئية . الثانية : توفير مصادر أخرى لأنقاض البيتون و بالتالي حماية المقالع الطبيعية و تحقيق غاية اقتصادية.

**كلمات مفتاحية :**

**الكلمات المفتاحية** الحصويات المعاد تدويرها – ركام البيتون – المقاومة على الضغط البسيط – التشرب – الجدوى البيئية و الاقتصادية .

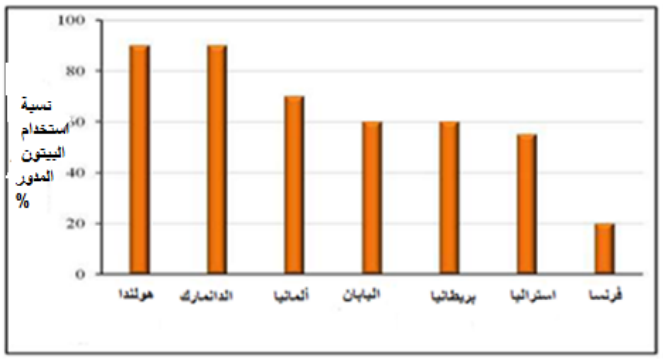
**ABSTRACT** In light of the conditions experienced by Syria and due to the destruction and demolition of its buildings built up rubble and occupied a large area of its territory. Therefore, it was necessary to develop an appropriate strategy to study these debris and provide the ideal solutions to be able to benefit from them as much as possible and thus mitigate the harmful impact on the environment and the surrounding environment. The work is divided into two parts: First: The study focuses on one of the mechanisms of benefiting from the recycled aggregate by using them in producing concrete, after studying their characteristics(Sieve Analysis-density- Absorption) and then mixing them with natural aggregate as replacement of natural coarse aggregate at different rates(15-30-45-75-100)%. Six concrete cubes were made for each mixture and 3 cubes were broken after 7 days and the other after 28 days. it was concluded The relationship between the percentage of recycled aggregates and compressive strength, as well as the relationship between the percentage of stones and the rate of Absorption The results showed that the acceptable percentage of replacement of natural aggregates with recycled aggregates may reach 100% with the recording of values of resistance of up to 21.9Mpa. Second :The environmental and economic feasibility of using recycled aggregates has been studied the results showed that use 75% of the recycled aggregates in structural concrete works will reduce

energy consumption and carbon dioxide emissions by 28% and 33%, respectively, and the economic saving rate is 63.71%. Through this study two objectives can be achieved: First: removing large quantities of environmental pollution sources resulting from these wastes and thus achieving an environmental goal Second: Provide other sources of concrete aggregates and thus protect the natural quarries and achieve an economic goal.

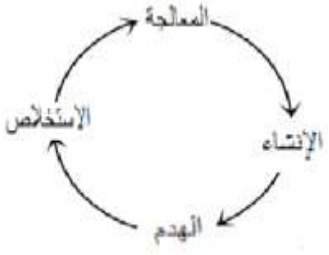
**Keywords**: Recycled aggregate -Concrete aggregate - compressive strength - Absorption- environmental and economic feasibility.

## 1. مقدمة

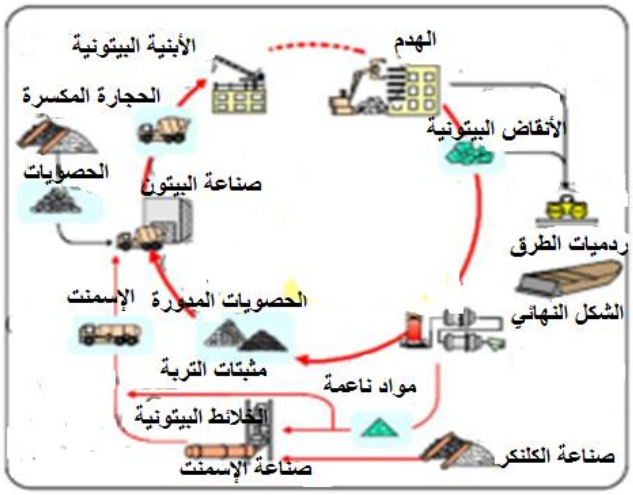
يعتبر البيتون من أهم مواد البناء لما له من ميزات إيجابية، ولا سيما كونه مادة بناء رخيصة ومتوفرة محلياً، ومع تطور المدن تزداد حركة هدم واعادة إعمار المباني بغرض ملائمة أغراض جديدة أو بسبب انتهاء العمر التصميمي للمباني، مما يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة من المخلفات التي يشكل البيتون جزءاً كبيراً منها، و يشكل ذلك تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع. ازداد الوعي البيئي عالمياً في الآونة الأخيرة وأصبح إعادة استخدام أو تدوير مخلفات الهدم والبناء أحد أهداف التنمية المستدامة التي لها أثر إيجابي كبير على الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية. حيث أصبحت عملية إعادة التدوير سياسة معتمدة في الكثير من الدول المتقدمة، وتعتبر هولندا والدانمارك رائدة فيها كما يظهر في الشكل(1) ، وتتلخص هذه العملية بتجميع نفايات الهدم والبناء ومعالجتها واعادة استخدامها من جديد، أي إعادتها إلى دورتها الاستثمارية وجعلها مادة صالحة للاستعمال لنفس الغرض أو لأغراض أخرى كما في الشكل(2). وهذه الطريقة مفيدة بيئياً كونها تقلل حجم النفايات المتولدة وبالتالي توفر مساحة الأرض المستغلة كمكب للنفايات، كما أنها تساهم في الحفاظ على المصادر الطبيعية الأصلية.




الشكل (1) النسب المئوية لإعادة تدوير البيتون في دول العالم[1]




الشكل (2) دورة حياة مواد البناء




الشكل (3) منهجية إعادة تدوير البيتون[4]

## 2. الأضرار التي تخلفها أنقاض مواد البناء :

1 –ملء المطامر الصحية بشكل سريع.

2 –تلوث الهواء و زيادة نسبة الرمال والغبار فيه، و بالتالي تلوث البيئة و إلحاق الضرر بالروح البشرية.

3 –احتمال تلوث المياه الجوفية (حيث أنه بعد تعرض مخلفات المباني لمياه الأمطار في أماكن تكدسها، تذوب كميات كبيرة من سيلكات الكالسيوم الممزوجة بالمياه وهيدروكسيد الكالسيوم الموجودة في قطع البيتون، وكميات كبيرة من أيونات الكبريت الموجودة في مخلفات الجبس، وكميات كبيرة من أيونات المعادن الثقيلة الموجودة في مخلفات المعادن، وفي الوقت نفسه يحدث تآكل لاهوائي ذاتي لمخلفات الكرتون ومخلفات الأخشاب فتنتج مواد تتحلل إلى أحماض عضوية، وهذه المواد المنتجة تتسرب إلى المياه فتصبح شديدة القلوية وتحتوي على كمية كبيرة من أيونات المعادن الثقيلة وكبريتيد الهيدروجين وكمية معينة من المواد العضوية، مما قد يؤدي إلى تلوث المياه فوق سطح الأرض والمياه الجوفية.

4–تأخذ حيزاً كبيراً من الأمكنة الضرورية لإنشاء ساحات أوشوارع أوحتى ممرات يستفاد منها.

5 –كلف عالية للإزالة و التنظيف.

6–قد تكون عرضة لعبث الأطفال مما يشكل خطراً عليهم.

7 –قد تتجمع الأنقاض فوق خطوط الصرف الصحي أو خطوط الكهرباء فتعيق العمل.

8 –تأثيرات اقتصادية حيث أكدت الدراسات أن المخلفات الإنشائية هي الجانب الأكثر تكلفة في مواقع مشاريع البناء، وأن فقدان الموارد يقلص الأرباح ويزيد التكاليف على المالك ، وإذا كانت مواد البناء تمثل نسبة 50% فإن فقدان 20% من هذه المواد يتسبب في خسارة 10%من الكلفة الإجمالية للمشروع ، وتصبح هذه النسبة في منتهى الخطورة عندما يتعلق الأمر بالمشروعات الضخمة[4].

**في البلدان العربية يأخذ الموضوع أهمية استثنائية خاصة في ظل الطروف التي نعيش فيها من الحروب و الأزمات التي خلفت مئات الاطنان من مخلفات البناء و الهدم*

### 3. فوائد اعادة التدوير:

إن عملية التشييد و البناء بطبيعتها ليست صديقة للبيئة لذلك إعادة التدوير فعالة جداً في معالجة هذه المشكلة ولها فوائد بيئية و اقتصادية كبيرة منها:

1 –الحفاظ على الطبيعة حيث أن استخدام الحصويات المدورة يقلل من اللجوء إلى الحصويات الطبيعية من المقالع. فعلى سبيل المثال، في الولايات المتحدة الاميركية أصبحت موارد الحصويات الطبيعية محدودة ، مما دفع إلى استخدام الحصويات المدورة على نطاق واسع كحل اقتصادي وصديق للبيئة [2] .

2 –تحسين البيئة العامة عن طريق تقليل صناعة التعدين، و بالتالي الحد من تلوث الهواء الناتج عن إنتاج الركام، و أيضاً الحد من تلوث المركبات أثناء نقل المواد من مكان الصناعة الى نقطة الاستهلاك.

3 –استخدام تقنية المغنطة الكهربائية في عملية نزع فولاذ التسليح من البيتون و الاستفادة منه.

4 –تقليص مساحة المطامر المستخدمة للتخلص من النفايات، و إذا صار الطلب على المخلفات االبيتونية أكبر فإنه يمكن فتح مناطق الردم القديمة وإعادة تدوير المخلفات البيتونية فيها ،و هذا من شأنه أن يعيد تأهيل هذه المناطق.

5 –الوفر الاقتصادي في المشروع من خلال تخفيض المال للازم لتأمين الحصويات، على سبيل المثال في إحدى الدراسات التي أجريت على مشروع في الصين، بلغت القيمة التقريبية للربح الصافي الناتج عن التدوير حوالي ال 2.5% من ميزانية المشروع الكلية [3] .

في الولايات المتحدة الامريكية سنوياً يتم تدوير 140 مليون طن من البيتون، و بالتالي حققت العديد من الولايات نسبة توفير تصل الى 60% من خلال استخدام الركام المدور بدلا من الركام الطبيعي في مشاريع البناء .

في استراليا انخفضت التكاليف السنوية بحدود 85% عند استخدام الركام المدور ، وذلك بسبب إلغاء رسوم المكب و انخفاض التكاليف المرتبطة به.

بالنسبة للبلدان الاقل نمواً، أقيمت دراسة في تايلند بينت أن استخدام 100% من الركام المدور يمكن أن يؤدي إلى إنتاج كتل بيتونية ذات مواصفات جيدة، و بالتالي يتم تقليل التكلفة لكل كتلة ببيتونية الى 70% مقارنة مع التكلفة للكتلة البيتونية الاعتيادية في السوق التايلندية [5].

6 –توفير فرص عمل واستثمار من خلال إنشاء مصانع إعادة تدوير المخلفات البيتونية.

7–تحسين صورة البلد امام الرأي العالم العالمي.

### 4. أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر البيتون في قطاع البناء و التشييد من مواد البناء الأكثر استخداماً، وبالتالي فإن هدم المباني القائمة في ظل الظروف الراهنة نتج عنه كم هائل من النفايات البيتونية التي يجب العمل على الاستفادة منها، حتى يتحقق النفع البيئي والاقتصادي معاً. ويتم ذلك من خلال إجراء أبحاث علمية تبين مدى إمكانية الاستفادة من هذه النفايات، وبالتالي يتوفر بيانات ومعطيات قد تشجّع الحكومة مستقبلاً على تقديم التسهيلات والتجهيزات اللازمة لاستخدام الركام المعاد تدويره وستغلال النفايات البيتونية بالشكل المفيد والصحيح.

ويبقى السبب الأكبر لتراكم الأنقاض في بلادنا هو الإرهاب الذي تعرضت له سوريا منذ عام 2011، و الذي نتج عنه كميات كبيرة من المخلفات التي يشكل البيتون الجزء الأكبر منها، ولعل أبرز التحديات في مرحلة إعادة الإعمار هو التعامل مع هذه المخلفات والتفكير بالحل للاستفادة منها بدلاً من إرسالها الى المكبات وتشكيل كارثة بيئية خطيرة نحن بغنى عنها، وليس هناك خيار جيد غير إعادة التدوير و الاستخدام من جديد .

يهدف هذا البحث إلى

1 –دراسة كفاءة البيتون المنتج من الركام الخشن المعاد تدويره عند استخدامه كبديل جزئي أو كلي عن الركام الخشن الطبيعي، من خلال تقييم بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وقياس المقاومة على الضغط البسيط ، وإجراء مقارنة لخصائص هذا البيتون مع البيتون التقليدي.

2 –تحديد الأثر البيئي الناتج من إعادة تدوير مخلفات البناء البيتونية.

3 –دراسة الجدوى الاقتصادية للبحث.

تندرج أهمية البحث تحت ثلاث نقاط رئيسية:

1-حماية الموارد الطبيعية.

2-التنمية المستدامة على اساس بيئي.

3-التخلص من الحجوم الضخمة للركام البيتوني الناجم عن الهدم.

## 5. طرائق البحث و مواده :

اعتمد البحث المنهجية التجريبية فيما يتعلق بدراسة الأنقاض البيتونية ونواتج التدوير والمواد المصنعة، والمنهجية التحليلية الرياضية لدراسة تأثير خصائص المواد المدورة في المنتجات المصنعة. وقد تم العمل وفق المراحل التالية:

1-الحصول على الأنقاض ومعالجتها مخبرياً) فرز – طحن – دراسة خصائص.(

2-توصيف الحصويات بعد تحضيرها كقياس التدرج الحبي والوزن الحجمي و النوعي.

3-صناعة النماذج المخبرية من البيتون و تحليل خواصها.

## 6. مواد البحث:

1 -الاسمنت : تم استخدام الصنف الأول من الاسمنت البورتلاندي العادي المنتج محليا في محافظة طرطوس ذو الصنف Mpa32.5 .

2- الرمل : تم استخدام رمل قرواني مصدره مدينة القريتين في حمص ،وتم دراسة خصائصه الفيزيائية و الميكانيكية و النتائج موضحة في الجدول (1) .

الجدول (1) الخواص الميكانيكة و الفيزيائية للرمل المستخدم.

| التدرج الحبي mm | الوزن الحجمي Kg/m3 | الوزن النوعي | معامل النعومة | المكافئ الرملي % |
|---|---|---|---|---|
| 0-2.36 | 1474 | 2.5 | 1.83 | 60 |

3- الحصويات الطبيعية (رمل خشن و بحص ناعم و بحص خشن):

تم استخدام الحصويات الطبيعية التي مصدرها كسارات مدينة حسياء في محافظة حمص ، حيث تم دراسة خصائصها الفيزيائية و الميكانيكية و النتائج موضحة في الجدول(2)

الجدول (2) الخواص الميكانيكة و الفيزيائية للحصويات الطبيعية

| | التدرج الحبي mm | الوزن الحجمي $Kg/m^3$ | الوزن النوعي | نسبة الامتصاص % | معامل النعومة |
|---|---|---|---|---|---|
| رمل خشن | 0-4.75 | 1550 | 2.5 | 6 | 4.1 |
| بحص ناعم | 0-12.5 | 1408 | 2.67 | 3.5 | 6 |
| بحص خشن | 0-19 | 1373 | 2.69 | 3 | 7 |

4 -الحصويات المعاد تدويرها ( الأنقاض البيتونية):

في هذا البحث تم اعتماد حصويات بيتونية مختارة وهي عبارة عن أنقاض بيتونية فقط تم الحصول عليها من الأبنية المهدمة من عدة أحياء في محافظة حمص ، حيث تم إحضارها إلى مخبر مديرية الخدمات الفنية في حمص وتكسيرها يدوياً باستخدام مطرقة معدنية . مواصفات هذه الحصويات موضحة بالجدول(3)

الجدول(3) الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للحصويات المعاد تدويرها

| التدرج الحبي mm | الوزن الحجمي Kg/m3 | الوزن النوعي | معامل النعومة | نسبة الامتصاص % |
|---|---|---|---|---|
| 0.075-20 | 1102 | 2.6 | 6.5 | 7.4 |

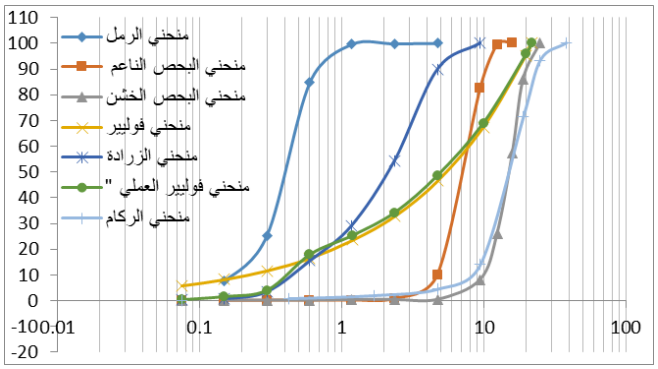
## 7. تصميم الخلطات البيتونية:

يبين الجدول (4) الكميات و الترميز المعتمد للخلطات البيتونية الخمس التي تم تحضيرها في المخبر من أجل هذا البحث، حيث تختلف الخلطات البيتونية عن بعضها باختلاف نسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات البيتونية المعاد تدويرها و التي هي كالتالي .(0-15-30-45-75-100)%

يشير الرمز SM إلى الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات طبيعية، أما الرمز M15 فيشير الى الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها بنسبة استبدال15% من الحصويات الطبيعية، و هكذا.

تم استخدام عيار اسمنت350 Kg/m3 و تم تثبيت قيمة الهبوط الى 5 cm في جميع الخلطات البيتونية. و تم اعتماد طريقة فولبير تومسون لتصميم الخلطة البيتونية وكانت نسب المواد كالتالي:( هذه النسب حجمية )

رمل قرواني 15% رمل خشن 35% بحص ناعم 20% بحص خشن 30% .




الشكل (4) منحنيات التحليل الحبي للمواد الداخلة في الخلطة البيتونية

الجدول (4) كمية المواد الداخلة في الخلطة من أجل 1 m3

| الخلطة | النسب الوزنية للحصويات المعاد تدويرها من وزن الحصويات الخشنة (البحص) % |
|---|---|
| SM | 0 |
| M15 | 15 |

| | |
|---|---|
| M30 | 30 |
| M45 | 45 |
| M75 | 75 |
| M100 | 100 |

تابع الجدول (4) كمية المواد الداخلة في الخلطة من أجل 1 $m^3$

| الخلطة | نسبة الماء إلى الاسمنت % | وزن الاسمنت Kg | وزن الماء l |
|---|---|---|---|
| SM | 0.54 | 350 | 189 |
| M15 | 0.56 | | 196 |
| M30 | 0.56 | | 203 |
| M45 | 0.58 | | 203 |
| M75 | 0.60 | | 210 |
| M100 | 0.62 | | 217 |

تابع الجدول (4) كمية المواد الداخلة في الخلطة من أجل 1 $m^3$

| الخلطة | وزن الرمل القرواني kg | وزن الرمل الخشن kg | وزن البحص الناعم kg | وزن البحص الخشن kg | وزن الركام kg |
|---|---|---|---|---|---|
| SM | 268.88 | 627.38 | 382.89 | 578.62 | 0.00 |
| M15 | | | 325.46 | 491.83 | 135.67 |
| M30 | | | 268.02 | 405.03 | 266.99 |
| M45 | | | 210.59 | 318.24 | 432.68 |
| M75 | | | 95.72 | 144.66 | 721.13 |
| M100 | | | 0.00 | 0.00 | 961.51 |

ملاحظة : تم زيادة نسبة الماء إلى الاسمنت بزيادة نسبة الاستبدال و ذلك من أجل الحفاظ على قابلية تشغيل ثابتة و مقبولة ( قيمة الهبوط في مخروط أبرامز 5cm).

### 8. تحضير و صب العينات:

تم خلط الحصويات البيتونية المعاد تدويرها مع الحصويات البيتونية الطبيعية ثم إضافة الرمل ومن ثم الإسمنت إلى الخليط، حيث تم الخلط في حوض جبالة بيتونية في المخبر، بعد ذلك تمت إضافة الماء إلى الخليط، واستمر الخلط حتى تجانس المزيج، ومن ثم أجريت اختبارات قياس قابلية التشغيل ثلاث مرات لكل خلطة وذلك باستخدام مخروط أبرامز. بعد هذا تم خلط البيتون مرة أخرى ومن ثم صب 6 عينات مكعبية بأبعاد (200*200*200) mm ) لكل نسبة استبدال وذلك في قوالب معدنية ورصها بواسطة قضيب معدني، ثم تم فك القوالب بعد يوم كامل ووضعها في حوض مياه درجة حرارته محققة للشروط النظامية 20±20 C ،وبعد مرور 7 ايام تم اختبار 3 عينات ،و من ثم بعد 28 يوم تم اختبار باقي العينات لمعرفة مقاومتها على الضغط البسيط.

### 9. النتائج و مناقشتها :

الخواص الفيزيائية :

– إن الخواص الفيزيائية للحصويات البيتونية المعاد تدويرها تختلف عن الخواص الفيزيائية للحصويات الطبيعية، وكما توضح الجداول السابقة فإن الوزن الحجمي للحصويات البيتونية المعاد تدويرها أقل من الوزن الحجمي للحصويات الطبيعية ، بينما ازدادت نسبة الامتصاص للحصويات البيتونية المدورة عن الحصويات الطبيعية ،و تعود أسباب اختلاف هذه الخصائص الى المونة الإسمنتية القديمة (الملاط الاسمنتي ) التي بقيت عالقة على سطح الركام المعاد تدويره ،حيث أن مسامية هذه المونة تسمح للمياه باختراق المسام وبالتالي زيادة كمية الماء الممتصة و تقليل الورن الحجمي له.

– الوزن الحجمي للبيتون:

يعطي الجدول (5) قيم الأوزان الحجمية المحسوبة في الحالة الجافة على عمر 7 و 28 يوم ،حيث انخفضت قيم الوزن الحجمي بازدياد نسبة استبدال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها بالحصويات الطبيعية، والسبب في ذلك ايضا المونة الإسمنتية الملتصقة بسطحه.

الجدول (5) قيم الاوزان الحجمية للبيتون

| نسب الاستبدال% | 0 | 15 | 30 | 45 | 75 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الوزن الحجمي الجاف على عمر 28 يوم (Kg/m3) | 2443 | 2435 | 2408 | 2395 | 2351 | 2308 |

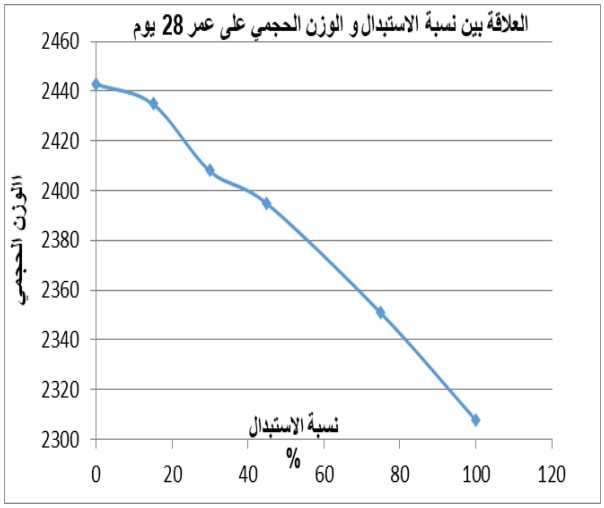
يوضح الشكل(6) انخفاض الوزن الحجمي الجاف بازدياد نسبة استبدال الحصويات البيتونية بالطبيعية، حيث انخفض الوزن الحجمي الجاف للبيتون ذو الحصويات المعاد تدويرها بنسبة 100% بمقدار يعادل5.5% عن البيتون الطبيعي.

المقاومة على الضغط البسيط :

يوضح الجدول (6) قيم المقاومات على الضغط للعينات الإسطوانية على عمر 7 ايام و 28 يوم للبيتون ذي الحصويات المعاد تدويرها بالنسب %(100–75–45–30–15) مقارنةً مع البيتون ذي الحصويات الطبيعية ،حيث تنخفض مقاومة البيتون بزيادة نسبة استبدال الحصويات كما هو مبين في الجدول حيث كل قيمة هي عبارة عن وسطي مقاومة الضغط لثلاث مقاومات أسطوانية محولة.

قمنا بتمثيل العلاقة بين مقاومة العينات على الضغط البسيط ونسب الاستبدال وذلك على الشكل (7)

يوضح الشكل(8) العلاقة بين التشرب ونسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها.

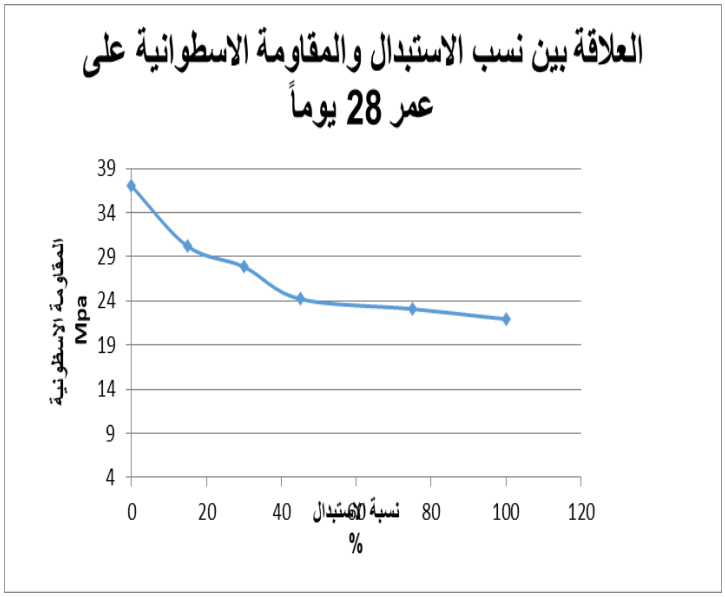



الشكل (6) العلاقة بين نسبة الاستبدال و الوزن الحجمي

الجدول (6) قيم المقاومات على الضغط للعينات الأسطوانية على عمر 7 و 28 يوم

| نسبة الاستبدال % | متوسط المقاومة الاسطوانية على عمر 7 ايام Mpa | متوسط المقاومة الاسطوانية على عمر 28 يوم Mpa |
|---|---|---|
| 0 | 22.08 | 33.12 |
| 15 | 20.53 | 30.42 |
| 30 | 18.86 | 26.70 |
| 45 | 17.90 | 23.40 |
| 75 | 17.02 | 20.90 |
| 100 | 15.00 | 19.20 |

إذ تسجل العينات ازدياداً في تشربها من النسبة 5.50 للعينات دون استبدال ( حصويات طبيعية ) إلى النسبة 7.12 للعينات المنفذة كليا ًمن الحصويات المعاد تدويرها، يعود ذلك لنفس السبب المشروح سابقا وهو امتصاص الحصويات المدورة للماء . سيحتاج المهندس عند استخدام هذه الحصويات إلى العناية بمسألة التعرض للماء، وذلك بتأمين العزل الجيد للبيتون، أو إضافة بعض الإضافات البيتونية التي تسمى في مجال مواد البناء بإضافات تكتيم دون إهمال تصميم الخلطة الجيد الذي يفترض أن يحقق أكبر اكتناز وأقل مسامية مما سينجم عنه تشرب محدود.

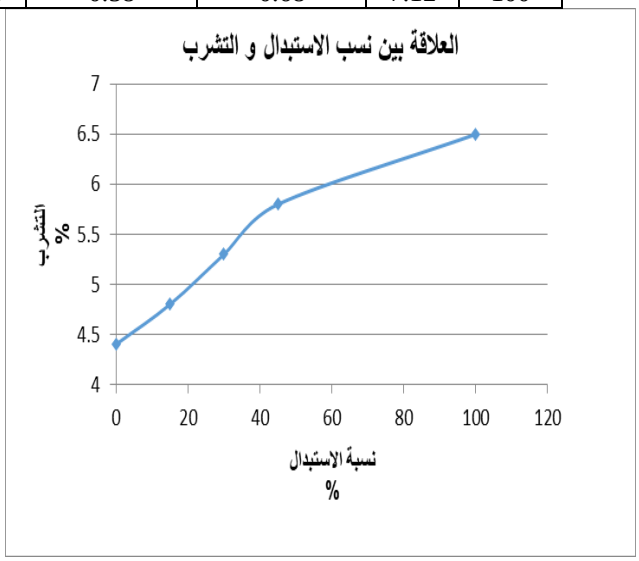



الشكل (7) العلاقة بين نسبة الاستبدال و المقاومة على الضغط البسيط

نسبة التشرب :

تابع الجدول (6) قيم المقاومات على الضغط للعينات الأسطوانية على عمر7 و 28 يوم

| نسبة الاستبدال % | التشرب % | $\frac{\rho \text{ استبدال}}{\rho \text{ طبيعي}}$ على عمر 7 ايام % | $\frac{\rho \text{ استبدال}}{\rho \text{ طبيعي}}$ على عمر28 يوم % | $\frac{\rho 28}{\rho 7}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 5.50 | 1.00 | 1.00 | 1.50 |
| 15 | 5.90 | 0.93 | 0.92 | 1.48 |
| 30 | 6.23 | 0.85 | 0.81 | 1.41 |
| 45 | 6.50 | 0.81 | 0.71 | 1.31 |
| 75 | 6.83 | 0.77 | 0.63 | 1.23 |
| 100 | 7.12 | 0.68 | 0.58 | 1.28 |



الشكل (8) العلاقة بين نسبة الاستبدال و التشرب

10. **الاستنتاجات لهذا الجزء من البحث :**

يمكن تسجيل النقاط التالية كاستنتاجات هامة لهذا البحث:

- 1- تعطي الحصويات المعاد تدويرها قيم مقبولة للمقاومات في البيتون عند استخدامها بنسب مختلفة .وهو مايفسح المجال واسعاً للتفكير باستخدامها في بيتون المنشآت المدنية.
- 2- يمكن استخدام الحصويات المعاد تدويرها بنسبة 100% كمواد حصوية ضمن بيتون النظافة و الإملائيات الترابية . و يمكن استخدام نسبة 75% ضمن أعمال البيتون الإنشائي .
- 3- تظهر أغلب المنحنيات (التي تعبر عن تغير مواصفات البيتون بدلالة نسب الاستبدال) انسيابية يبدو معها تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها غير حاد ولا يغير مواصفات البيتون المختلفة بشكل جذري.

4- من أجل الحفاظ على قابلة تشغيل مقبولة ، تم زيادة نسبة الماء الى الإسمنت مع زيادة نسبة الحصويات المدورة، ( من أجل الخلطة SMكانت w/c = 0.54 و من اجل الخلطة M100كانت w/c=0.62) و يرجع ذلك إلى المونة الإسمنتية العالقة على سطح الحصويات المعاد تدويرها والتي تزيد من قابلية امتصاصه.

11. **دراسة الأثر البيئي :**

تم في هذا البحث افتراض وجود ثلاث اتجاهات و إجراء مقارنة بيئية بينهما :

الأول : إنتاج الحصويات الطبيعة (NA) (Natural Aggregate)من المقالع .

الثاني: إنتاج الحصويات المعاد تدويرها من البيتون المهدم (Recycled concrete Aggregate)(RCA) .

الثالث : إنتاج خلطة بيتونية بنسبة 75% من الحصويات المعاد تدويرها و نسبة 25%من الحصويات الطبيعة ،( هذه النسبة حصلنا عليها من التجارب السابقة التي قمنا بها على الخلطات البيتونية الداخل في تركيبها حصويات بيتونية معاد تدويرها ).

تمت المقارنة البيئية وفقا لمعيارين: استهلاك الطاقة و انبعاثات Co2 و ذلك من خلال دراسة دورة حياة هذه المواد ، و تم اختيار هذين المعيارين كونهما يعدان من الجوانب الرئيسية تجاه القضايا البيئية في مجال البناء .

- بشكل عام إن انتاج الحصويات الطبيعية يتكون من مرحلتين :

اولاً: الحصول على المواد الخام عن طريق التفجير أو الحفر أو الجمع بينهما.

ثانياً: نقل الصخور إلى مصنع التكسير حيث يتم هناك تكسير الحصويات إلى الحجم المطلوب.

- إن تكنولوجيا إنتاج الحصويات المعاد تدويرها يشبه إنتاج الحصويات الطبيعية، و لكن اجراءات التكسير و إعادة التدوير و الآلات المستخدمة تختلف قليلاً .

- من خلال الرجوع إلى الدراسات العالمية استطعنا الوصول إلى دراسة أكاديمية، و تصور عن الآلات و المعدات المستخدمة ضمن عمليات إنتاج الحصويات الطبيعة و الحصويات المعاد تدويرها، كذلك تم الحصول على مواصفات تلك الآلات من حيث طاقتها الإنتاجية و العدد اللازم من كل آلة. نبين في الجدولين (7) و (8) مواصفات الآلات المستخدمة في إنتاج الحصويات الطبيعية و الحصويات المعاد تدويرها .

الجدول (7) مواصفات الآلات المستخدمة و اللازمة لإنتاج الحصويات الطبيعية

| المرحلة | اسم المرحلة | | اسم الآلة | استطاعة الآلة KW | عدد العناصر المطلوبة من الآلة |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | استخراج المواد الطبيعية | A1 | تركس جنزير | 238.6 | 2 |
| | | A2 | حفارة هيدروليكية | 287 | 3 |
| | | A3 | تركس دواليب | 162 | 2 |
| | | A4 | شاحنة الكفاءة | 179 | 6 |
| | | A5 | حفارة متعددة الاستخدامات | 72 | 1 |
| 2 | تكسير و طحن و فرز | A6 | كسارة اساسية | 165 | 1 |
| | | A7 | كسارة صدمية | 195 | 1 |
| | | A8 | رجاجات لعملية الغربلة | 16 | 2 |
| | | A9 | غربال | 19 | 3 |
| | | A10 | الة لغسل الرمال | 18 | 1 |
| | | A11 | الة لغسل الحصى | 20 | 3 |
| | | A12 | لوحة تحكم | | 1 |
| | | A13 | سيور ناقلة | 11 | 16 |

في كلا الجدولين نلاحظ أن المرحلة الأولى تعتمد على معدات الديزل، بينما المرحلة الثانية تعتمد على المعدات الكهربائية، كما هو مبين في الجدول(9)

- الطاقة التي تستهلكها المعدات ( ديزل و كهرباء ) تسمى الطاقة النهائية أي ما يعادل الطلب على الطاقة ، لكن هذه الطاقة النهائية في الحقيقة هي نتاج مصدر أولي يعرف باسم الطاقة الأولية .

– في هذه الدراسة: تم حساب الطاقة الأولية انطلاقاً من الطاقة النهائية ، كما تم حساب انبعاثات Co2 انطلاقاً من الطاقة النهائية المستخدمة، و ذلك بناء على العوامل الواردة في الجدول (9).

الجدول (8) مواصفات الآلات المستخدمة و اللازمة لإنتاج الحصويات المعاد تدويرها

| المرحلة | اسم المرحلة | | اسم الآلة | استطاعة الآلة KW | عدد العناصر المطلوبة من الآلة |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | تحضير | 1A | حفارة هيدروليكية | 107 | 1 |
| | | A2 | تركس دواليب | 162 | 1 |
| | | A3 | شاحنة | 179 | 6 |
| 2 | تكسير و طحن و فرز | A4 | كسارة اساسية | 90 | 1 |
| | | A5 | كسارة صدمية | 250 | 1 |
| | | A6 | رجاجات لعملية الغربلة | 15 | 1 |
| | | A7 | غربال | 30 | 1 |
| | | A8 | لاقط مغناطيسي لفصل المواد المعدنية | 3 | 1 |
| | | A9 | لاقط للشوائب و المواد البلاستيكية | 5.5 | 2 |
| | | A10 | فلتر للغبار | 83 | 1 |
| | | A11 | لوحة تحكم | | 1 |
| | | A12 | سيورناقلة | 7.5 | 11 |

– المصطلحات والتعاريف المستخدمة في هذه الدراسة مبينة في الجدول( 10 ) ، حيث الكيلو غرام مكافئ من النفط واحدة تستخدم لحساب الطاقة، كذلك الكيلو غرام مكافئ من Co2 واحدة تستخدم لحساب انبعاثات ال Co2.

فيما يلي نستعرض الصيغ الرياضية المستخدمة لتقدير استهلاك الطاقة و انبعاثات Co2 في كل من الاتجاهين المعتمدين .

أولاً حساب الطاقة :

الاستهلاك النهائي من الطاقة ( الطلب على الطاقة ) من كل مرحلة يتم حسابه من جملة المعادلة 1، وهذا القانون يعتمد على الطاقة الانتاجية للآلات و العدد اللازم منها.

الجدول (9) عوامل التحويل المستخدمة في الدراسة و هذه الارقام وفقاً لوكالة الطاقة الدولية2014 IEA

| | المرحلة | الطاقة المستخدمة | معامل تحويل الطاقة | معامل تحويل انبعاثات co2 |
|---|---|---|---|---|
| الاتجاه الأول | استخراج | ديزل | 0.086 | 3.032 |
| | طحن و غربلة | كهرباء | 0.29 | 1.2 |
| الاتجاه الثاني | تحضير | ديزل | 0.086 | 3.032 |
| | طحن و غربلة | كهرباء | 0.29 | 1.2 |
| الاتجاه الثالث | استخراج و تحضير | ديزل | 0.086 | 3.032 |
| | طحن و غربلة | كهرباء | 0.29 | 1.2 |

الجدول(10 )الرموز المستخدمة في الدراسة

| الرمز | التوصيف |
|---|---|
| $Ai$ | الآلة i |
| Pi | استطاعة الآلة i |
| $R$ | الطاقة الإنتاجية للمصنع تم فرضها 200ton/h |
| $Ni$ | عدد العناصر المطلوبة من الجهاز $i$ |
| $n$ | عدد الأجهزة في الخطوة 1 |
| $m$ | عدد الأجهزة في الخطوة 2 |
| FED | استهلاك الطاقة النهائي = الطلب النهائي على الطاقة Kwh/ton. |
| PED | الطلب الرئيسي على الطاقة(kgoe/ton) |
| COE | انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المحددة (kg CO2eq/ton) |
| $F$PEF | معامل تحويل الطاقة |
| $F$COE | معامل تحويل الانبعاثات |

$$FEDstep\ 1=\sum_{i=1}^{n}\frac{Pi*Ni}{R} \qquad (1)$$

$$FEDstep\ 2=\sum_{i=n+1}^{m}\frac{Pi*Ni}{R}$$

وفقا للمعادلة 2 إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في كل اتجاه يساوي مجموع استهلاك الطاقة الأولية للديزل والآلات الكهربائية ، التي يتم الحصول عليها عن طريق ضرب طاقتهم النهائية بمعامل تحويل الطاقة من الجدول (9) .

PEDtotal= PEDstep1+ PEDstep2= (FED*FPEF) step1 +(FED*FPEF)step2 (2)

ثانياً حساب انبعاثات Co2:

وفقا للمعادلة (3 ) إجمالي انبعاثات ثاني اكسيد الكربون في كل اتجاه يتم حسابه عن طريق جمع انبعاثات Co2 لكل مرحلة ، و التي نحصل عليها من خلال ضرب طاقتها الأساسية بمعامل تحويل انبعاثات Co2 .

COEtotal=COEstep1+ COEstep2=

(PED*FCOE)step1+(PED*FCOE)step2(3)

ثالثاً النتائج :

بتطبيق المعادلات السابقة وفقا للمعطيات الواردة في الجدولين 1 و 2 نحصل على النتائج المبينة في الجدول (11)

الجدول (11) نتائج الدراسة البيئية

| الاتجاه | مرحلة المعالجة | الطلب من الطاقة الأولية Kgoe/ton | انبعاثات CO2 Kg co2eq /ton |
|---|---|---|---|
| الاتجاه الاول | استخراج | 1.21 | 3.66 |
| | طحن و غربلة | 0.99 | 1.19 |
| | المجموع | 2.2 | 4.85 |
| الاتجاه الثاني | تحضير | 0.58 | 1.75 |
| | طحن و غربلة | 0.82 | 0.98 |
| | المجموع | 1.4 | 2.73 |
| الاتجاه الثالث | تحضير | 0.74 | 2.23 |
| | طحن و غربلة | 0.86 | 1.03 |
| | المجموع | 1.6 | 3.26 |

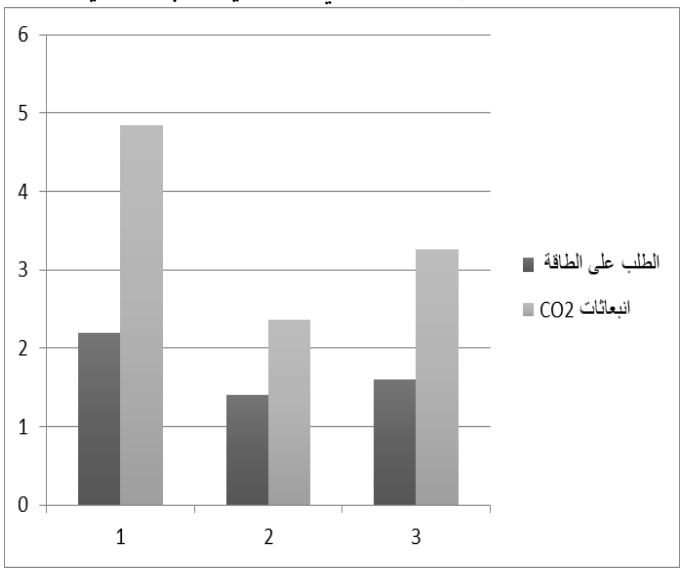
## 12. دراسة الجدوى الاقتصادية :

تم في هذا القسم أيضاً المقارنة بين حلين :

الأول :استخدام الحصويات المعاد تدويرها بنسبة معينة كخليط مع الحصويات الطبيعية ضمن الأعمال المدنية ( و هذا ما قمنا بإجراء التجارب عليه في الفقرات السابقة)، و إرسال المرفوض من الانقاض البيتونية إلى المطمر .

الثاني: إرسال كافة الانقاض المهدمة الى المطمر، و استخدام الحصويات الطبيعية فقط ضمن الأعمال المدنية .

ملاحظة : جميع الارقام الواردة في هذه الدراسة وفقاً لمديرية الخدمات الفنية التابعة لوزارة الإدارة المحلية في الجمهورية العربية السورية .




الشكل (9) مقارنة بيئية بين الاتجاهات المدروسة

اولا الدراسة الاقتصادية للحل الأول :

إن عملية إعادة التدوير تقسم الى ثلاث مراحل :

المرحلة الأولى :

أعمال الهدم و تكسير الكتل الكبيرة و نقل و تجميع نواتج الهدم إلى موقع التكسير و الفرز

مجموع كلف الهد مع الترحيل الى مواقع التكسير 3.5 $

المرحلة الثانية :

تكسير الكتل و فرز المواد الناتجة و سحب الحديد وتجميع المواد الصالحة للاستخدام و نقل المواد المرفوضة إلى المطامر العامة.

الكلفة الاجمالية 4.5$

المرحلة الثالثة :

نقل المواد الحصوية بعد تصنيفها و اختبارها الى مواقع الاستخدام.

الكلفة الاجمالية 3$

بناء على ماسبق يمكن حساب تكلفة المتر المكعب الواحد من نواتج التدوير، و ذلك لاستخدامه كمواد حصوية ضمن أعمال البيتون الإنشائي اعتماداً على النسبة التي حصلنا عليها من التجارب السابقة.

هذه الكلفة تتضمن 75% (كلفة الهدم + كلفة التكسير و الفرز) +25% (ثمن المواد الطبيعية )

حيث تبلغ ثمن المتر المكعب من المواد الحصوية الطبيعة 3$ و ثمن نقلها أيضاً 3$ .

$ 9.75= (6*0.25)+(3.5+4.5+3)*0.75

ووفقاً لنتائجنا السابقة فإنه يمكن استخدام الحصويات المعاد تدويرها بنسبة 100% في أعمال البيتون غير الإنشائي ( بيتون نظافة – إملاء ) و بالتالي تكون كلفة المتر المكعب الواحد لهذا النوع

4.5+3.5+3=11$

الدراسة الاقتصادية للحل الثاني :

يتضمن الحل الثاني إرسال كل الأنقاض المدمرة الى المطمر، و استخدام الحصويات الطبيعية فقط ضمن أعمال البيتون الإنشائي ، و بالتالي فان هذا الحل يتضمن كلفة هدم و ترحيل الأنقاض و كلفة الطمر و التسوية و كلفة إنتاج الحصويات الطبيعية .

و بالتالي كلفة المتر المكعب الواحد تتضمن كلفة الهدم (3.5) +كلفة الترحيل لكامل الهدميات للمقالب العامة (4.5) + ثمن الحصويات الطبيبية بأرض الكسارة (6)

3.5+4.5 +6=14$

نبين في الجدول (12) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها أي بين كلفة الهدم و التكسير و الفرز (و استخدام الناتج مطروحاً منه قيمة حديد التسليح الناتج عن عملية التدوير ) ، و بين الهدم وترحيل كامل الكميات إلى المكبات و استخدام كامل كميات المواد الحصوية من الخامات الطبيعية حسب مجال الاستخدام ، و ذلك بفرض أن كمية حديد التسليح المستخرج من الأنقاض بمعدل 20Kg/m3 و سعر ال كغ الواحد من حديد النفايات 0.15$و بالتالي تكون قيمة الحديد:

.20*0.15=3$

| مجال الاستخدام | الواحدة | الكلفة باستخدام نواتج التدوير – قيمة حديد التسليح المستخرج من الأنقاض $ | الكلفة باستخدام المقالع الطبيعية و ترحيل كامل ناتج الهدم للمقالب العامة $ | نسبة الوفر % |
|---|---|---|---|---|
| مواد حصوية لتصنيع بيتون إنشائي | m3 | 9.75-3 =6.7511 | 12 | 43.75 |
| مواد حصوية لتصنيع بيتون نظافة و إملاء | m3 | 11-3 =8 | 12 | 33.33 |

الجدول (12) نتائج الدراسة الاقتصادية

13. **تحليل النتائج :**

بالنسبة للدراسة البيئية :

1- كشفت النتائج أن الاتجاه الأول يتسبب بنسبة أعلى من استهلاك الطاقة و انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ، علاوة على ذلك فإن هذا الحل يقلل من الموارد الإجمالية للأجيال القادمة ، و بالتالي فان هذا المقترح يعارض مبدأ التنمية المستدامة ، كما و أنه يضع البلديات تحت الضغط لتوفير المطامر الكافية للتخلص من مخلفات البناء الناتجة عن عملية التشييد .

2- يعد الاتجاه الثاني الأفضل بيئياً كونه يخفف من استهلاك الطاقة و انبعاثات Co2 بنسبة 37% و 44% على التوالي مقارنة مع السيناريو الأول ، كما و أنه يخفف من المساحات اللازمة لطمر المخلفات البيتونية وبالتالي حماية المساحات الخضراء و حماية البيئة .

3- وفقاً للنتائج التي حصلنا عليها في الفصل الرابع عبرنا عنها بالاتجاه الثالث فإن استخدام هذه النسبة سوف يخفف من استهلاك الطاقة و انبعاثات Co2 بنسبة 28% و 33% على التوالي .

بالنسبة للدراسة الاقتصادية :

4- بلغت نسبة التوفير الاقتصادي من استخدام الحصويات المعاد تدويرها في أعمال البيتون الإنشائي ما يقارب ال 44% ، و النسبة الناتجة من استخدام تلك الحصويات في تصنيع بيتون النظافة والإملائيات الترابية ما يقارب ال 34% .

5- في بعض الأحيان تكون تكلفة إنتاج الحصويات المعاد تدويرها مرتفعة نوعاً ما مقارنة بالحصويات الطبيعية، و لكن يمكن بسهولة تعويض التكلفة الزائدة عن طريق جوانب أخرى من الفوائد، حيث أنه لا يمكن قياس التحليل بهذه البساطة و ربطه فقط بتكلفة الإنتاج و المؤشر الاقتصادي فقط ، و لكن يجب دمج التحليل الاقتصادي مع الفوائد الاجتماعية و البيئية

13- التوصيات :

- إن أي نفايات ناتجة عن النشاط البنائي يجب أن نتعامل معها بالشكل الصحيح حيث يجب ألا يتم القاءها بشكل تعسفي ،و يجب على الحكومة زيادة الجهود المتعلقة بحماية البيئة ،وضع القوانين الصارمة ،و فرض دفع الغرامات و استخدام السياسات الضريبية لتشجيع إعادة تدوير مخلفات البناء .

2- لا يزال معدل إعادة التدوير ضعيف في بعض البلدان ، و يعود ذلك إلى الافتقار إلى سياسة دعم إعادة التدوير و برامج إعادة التدوير، لذلك يجب اصدار الأنظمة والقوانين والتشريعات التي تحدد أساليب التعامل مع

مخلفات البناء والهدم على أن تتضمن تشجيع أساليب الخفض من المصدر وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير مع الحد من التخلص منها في المطامر.

3-بعد النتائج الهامة التي خلص إليها البحث من حيث صلاحية أنقاض البيتون المهدم كلياً أو جزئياً لصناعة البيتون، لابد من إيلاء مكبات الأنقاض أهمية خاصة ،و العمل على دراستها و فصل موادهاعن طريق محطات خاصة بإعادة التدوير تمهيداً لاستخدامها في المجابل البيتونية لذلك يجب تشجيع تأسيس مصانع ومعامل مركزية لإعادة تدوير مخلفات البناء والهدم في المدن الكبرى.

4- إقامة مؤتمرات طبية متخصصة لدراسة مدى خطورة أنقاض البناء على صحة الإنسان وبيئته .

5- التعاون مع الإعلام السمعي والمرئي لتوعية المواطنين بخطورة الأنقاض بيئياً

6- إجراء المزيد من الأبحاث لتحسين سلوك البيتون الذي يحتوي على حصويات معاد تدويرها،و ذلك بمحاولة الحصول على حصويات بيتونية بجودة عالية أو من خلال استخدام إضافات كالألياف، أو المواد البوزولانية وغيرها.

7- من أجل الحفاظ على نسبة ماء إلى اسمنت مقبولة لا تؤثر على مقاومة البيتون يمكن استخدام الملدنات فائقة الأداء.

**قائمة المصادر و المراجع :**

[1] PAUL, S-2011- "Mechanical Behaviour And Durability Performance Of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate", South Africa.

[2] Rao .A ,Jba , K .N .and Misra S - 2007- "Use of aggregate from recycled construction and demolition waste in concrete" , Conservation and Recycling , Journal of Resources.

[3] Akmal S. Abdelfatah and SamiW. Tabsh –2011- "Review of Research on and Implementation of Recycled Concrete Aggregate in the GCC" .

[4] Tomas U, Ganiron Jr -2010-" Recycling Concrete Debris from Construction and Demolition Waste College of Architecture", Qassim University.

[5] World Business Council for Sustainable Development- 2009 - "The Cement Sustainability Initiative- Recycling Concrete" .