# إنتاج خرسانة خفيفة الوزن وصديقة للبيئة بتوظيف مخلفات الإطارات والفلين المتوفرة محلياً

**أ. إبراهيم حسين بلاش*** a.blash@ceh.edu.ly
**أ. محمد بشير أبوهدمة*** m.abohedmh@ceh.edu.ly
**د.فرحات غريبي فرحات*** Farhat.g.Farhat@gmail.com
**د. عمر السنوسي فلغوش*** o.falagush@ceh.edu.ly
**كلية التقنية الهندسية – هون**

**الملخص**
إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير إضافة مخلفات الإطارات والفلين المستهلكة إلى الخرسانة للحصول على خرسانة خفيفة الوزن وعازلة للحرارة وصديقة للبيئة، وقد تم إضافة مخلفات الفلين والإطارات معاً كبديل جزئي للركام الكبير وبنسب وزنية ( 0.25% ، 0.50% ، 1% ) على شكل قطع بمقاس 2 سم ، وإجراء كل من إختبار الضغط والشد والكثافة الجافة والرطبة ونسبة الامتصاص وسرعة الموجات فوق الصوتية للعينات الخرسانية .
أظهرت النتائج انخفاض في مقاومة الضغط ومقاومة الشد وانخفاض في الكثافة مقارنةً بالخرسانة القياسية المرجعية ، كما أظهرت النتائج أن نوعية الخرسانة جيدة ومرنة ويمكن استخدامها في الأرصفة والأرضيات وخاصة في رصف الطرق لما للإطارات من مرونة عالية وقدرة على امتصاص الصدمات، وبإضافة هذه المخلفات نستطيع أن نساهم في الحفاظ على البيئة والتقليل من أسباب التلوث البيئي .
**الكلمات المفتاحية :** الخرسانة ، مقاومة الضغط ، مخلفات الإطارات ، مخلفات الفلين ، البولي ستارين ، البيئة .

**Abstract**

The aim of this project is to study the influence of adding wastes of tires and polystyrene to concrete mixture to obtain ecological lightweight thermal insulating one. Polystyrene and tire elements were added both with 2cm size with different percentages (0.25% , 0.5% , and 1% ) of coarse aggregate weight. Different tests were applied to the specimens which are compression test, tensile test, determination of density and absorption and ultrasonic pulse velocity.
Results show a loss in compression and tension force, and density too. But have got a concrete with high ductility which can be used in pavement, sidewalk and roads because of tires properties which have good impact absorption. With this practice we participate in saving nature by using these wastes instead of letting them making pollution.
**Keywords:** concrete, compressive strength, tires wastes, polystyrene wastes, environment.

## 1. المقدمة

تعتبر الخرسانة أكثر المواد الإنشائية شيوعاً واستعمالا في عصرنا الحديث وذلك لسهولة تواجدها والرخص النسبي للمواد المكونة لها وأيضاً لسهولة ورخص تصنيعها [1]. وقد مرت الخرسانة بعدة مراحل سواءً في طرق الصناعة أو في طرق التشكيل وهي مادة حديثة من حيث الصناعة والإنشاء إلا أن لها أصولاً عميقة عبر التاريخ. ولا يمكن أن تتقدم أي صناعة دون التقدم البحثي فيها [2].
ولقد أتجه الباحثون في السنوات الأخيرة إلى إنتاج خرسانة اقتصادية وصديقة للبيئة وهي ما تعرف بالخرسانة الخضراء وذلك عن طريق تدوير المخلفات البيئية والاستفادة منها في المباني والأعمال الإنشائية. ومن أهم هذه الملوثات البيئية هي مخلفات الفلين والإطارات. إن الفلين مهم في كافة نواحي الحياة العملية نظراً للمميزات العديدة التي يتمتع بها ومن أهمها سهولة ضغطه وتصنيعه بما يتلاءم مع حاجات الإنسان اليومية والحياتية ، وكان من النتائج السلبية في صناعة الفلين هو تراكم كميات كبيرة من مخلفاته المستهلكة ، وبما أنه لا يتحلل بسرعة فقد أسهمت فضلاته بطريقة محسوسة في تلوث البيئة ، ولم يكن باستطاعة الباحثين إتلاف هذه المادة ، فتراكمت هذه المخلفات الصناعية وأخذت تهدد صحة الإنسان وكافة عناصر البيئة [3] .

ومن الملوثات البيئية أيضاً مخلفات مطاط الإطارات فقد أدى التطور الكبير في وسائل النقل والزيادة الهائلة في أعداد السيارات بشكل كبير ومتسارع إلى ظهور مشاكل مختلفة أهمها التلوث البيئي . فقد خلف إحراق ملايين الأطنان من نفايات الإطارات مشاكل خطيرة جداً كالغازات الكيميائية الضارة مثل ثاني أكسيد الكبريت وتوزيع جزيئات الكربون في الهواء ، وعلى سبيل المثال في سنة 1990 أكثر من 240 مليون إطار مستهلك تم رميها في الولايات المتحدة ، وفي العراق خمن مليونا إطار يرمى في البيئة في السنة [4] .

شكل 1 الغازات السامة الناتجة من حرق الإطارات [3]

إن العالم يصنع أكثر من 800 مليون إطار جديد سنوياً ، تتجاوز أوزانها أكثر من 15 مليون طن، ويعتبر هذا الرقم أحد التحديات البيئية الرئيسية التي تواجه العالم بصفة عامة وليبيا بصفة خاصة ، علاوةً على أن المطاط غير قابل للتحلل بسهولة حتى بعد مدة طويلة من فترة المعالجة في موقع دفن النفايات ، وينتج عن حرقها أخطر المركبات المؤثرة سلباً على البيئة والتربة [5] .
ولذلك سعت العديد من البحوث للتخلص من هذه المواد بدون أن تكون لها أضرار جانبية على البيئة من خلال دفنها في الخرسانة عن طريق استخدامها كإضافات للخلطة الخرسانية.

## 2. أهداف الدراسة

- بيان تأثير الإطارات المطاطية المستهلكة والفلين المضافة إلى الخلطات الخرسانية كبديل جزئي من وزن الركام الكبير على خواص الخرسانة.
- استعمال الإطارات المستهلكة والفلين في صناعة مواد البناء لإنتاج خرسانة خفيفة ذات عزل حراري جيد لما تتمتع به هذه المواد من خصائص مناسبة مثل المقاومة العالية للأحوال الجوية وامتصاص منخفض للماء ووزن خفيف مع التركيز على الجانب الاقتصادي في إنتاج هذا النوع من الخرسانة من مواد متوفرة وبأقل كلفة ممكنة .
- تخليص البيئة من هذه النفايات (الإطارات المستهلكة والفلين) ولتفادي التأثير الخطر من الغازات الكيميائية السامة والملوثة للبيئة الناتجة من عملية إحراق الإطارات مثل غاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ السام والملوث للبيئة .

## 3. المواد المستخدمة

- **الأسمنت :**

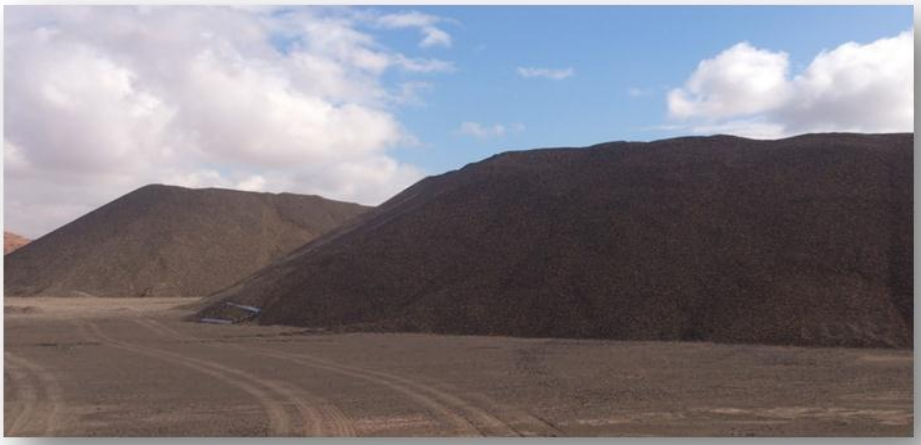
تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي Portland Cement طبقاً للمواصفة الليبية ( 1997/340 ) [6] المنتج من قبل مصنع البرج بمدينة زليتن والشائع استخدامه محلياً وإجراء الاختبارات اللازمة وتبين أن الإسمنت مطابق للمواصفات الأمريكية ASTM والجدول 1 يبين نتائج اختبارات الإسمنت .

**جدول 1 : نتائج اختبارات الأسمنت**

| الاختبار | المواصفات | النتيجة | الحدود |
|---|---|---|---|
| صلاحية الإسمنت في الموقع | ASTM C150 [7] | صالح للاستعمال | - |
| القوام القياسي للعجينة الإسمنتية | ASTM C187 [8] | 33 ملم | 33 – 35 ملم |

- **الركام الكبير ( الخشن ) :**

مصدر هذا الركام هو إحدى الكسارات الواقعة في مدينة سوكنه بمنطقة الجفرة وتم إحضاره بمقاسات مختلفة والجداول 2 ، 3 يبين نتائج الاختبارات للركام الكبير .



شكل 2 مصدر الركام الكبير

**جدول 2 نتائج اختبارات الركام الكبير**

| الإختبار | المواصفات | النتيجة | الحدود |
|---|---|---|---|
| الوزن النوعي | ASTM C127[9] | 2.69 | 2.8 – 2.5 |
| الوزن الحجمي | ASTM C29 [10] | 1381 كجم / م$^3$ | - |
| نسبة الفراغات | | % 35.13 | - |
| نسبة الإمتصاص | ASTM 1585 – 04 [11] | % 1.68 | - |

**جدول 3 نتائج اختبارات التحليل المنخلي للركام الكبير [12]**

| فتحة المنخل ( ملم ) | وزن المحجوز ( كجم ) | نسبة المحجوز ( % ) | النسبة التراكمية المحجوزة ( % ) | النسبة المارة ( % ) |
|---|---|---|---|---|
| 40 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 20 | 0.1458 | 4 | 4 | 96 |
| 10 | 1.85895 | 51 | 55 | 45 |
| 5 | 1.458 | 40 | 95 | 5 |
| Pan | 0.18225 | | 500 | |
| المجموع | 3.645 | | 654 | |

شكل 3 التدرج الحبيبي للركام الكبير

- **الركام الصغير ( الناعم ) :**

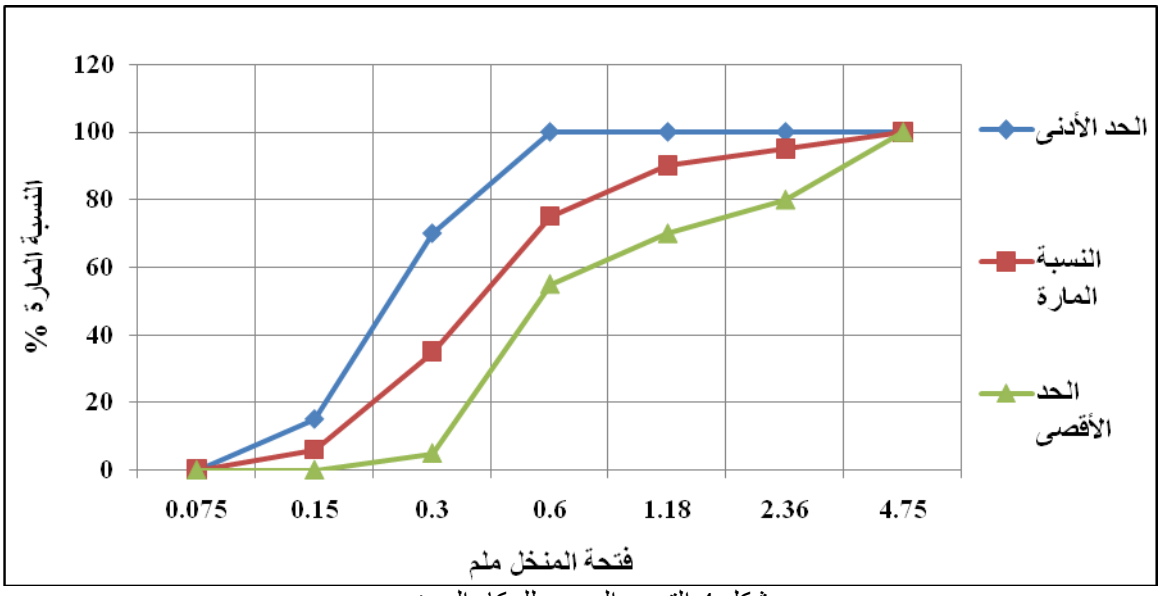
مصدره مدينة زلة وتم جلبه من أحد محاجر مدينة هون بمنطقة الجفرة ، والجدول 4 يبين نتائج الاختبارات للركام الصغير .

**جدول 4 نتائج اختبارات الركام الصغير**

| الاختبار | المواصفات | النتيجة | الحدود |
|---|---|---|---|
| الوزن النوعي | ASTM C128 [13] | 2.7 | 2.5 – 2.8 |
| الوزن الحجمي | ASTM C29 [10] | 1036 كجم / م$^3$ | - |
| نسبة الفراغات | | % 19.2 | - |

**جدول 5 نتائج اختبارات التحليل المنخلي للركام الصغير [12]**

| فتحة المنخل (ملم) | وزن المحجوز (كجم) | نسبة المحجوز (%) | النسبة التراكمية المحجوزة (%) | النسبة المارة (%) |
|---|---|---|---|---|
| 4.75 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2.36 | 0.091125 | 5 | 5 | 95 |
| 1.18 | 0.091125 | 5 | 10 | 90 |
| 0.6 | 0.273375 | 15 | 25 | 75 |
| 0.3 | 0.729 | 40 | 65 | 35 |
| 0.15 | 0.528525 | 29 | 94 | 6 |
| 0.075 | 0.10935 | 6 | 100 | 0 |
| المجموع | 1.8225 | | 299 | |



شكل 4 التدرج الحبيبي للركام الصغير

- **البولي ستايرين (الفلين) :**

تم استخدام حبيبات البولي ستايرين المعروف محلياً بالفلين وهو من المواد المتوفرة بشكل كبير في النفايات البشرية حيث يستخدم في تغليف البضائع والأجهزة المنزلية وتم تقطيعه بمقاس 2 سم .

**شكل 5 يوضح قطع الفلين المستخدم في الدراسة**

- **الإطارات :**

تم استخدام مخلفات الإطارات المرمية بجانب الطرقات العامة والموجودة في النفايات البشرية وتم تقطيعها بمقاس 2 سم بعضها باليد بواسطة أداة حادة والبعض الأخر بواسطة سكين قطع كهربائي نظراً لوجود أسلاك معدنية بهذه الإطارات .

شكل 6 قطع الإطارات المستخدمة في الدراسة

### 4. تصميم الخلطة الخرسانية

تم تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة الحجم المطلق والجدول 6 يوضح أوزان المواد لجميع الخلطات الخرسانية:

**جدول 6 أوزان المواد لجميع الخلطات الخرسانية**

| الخلطة الخرسانية | الإسمنت (كجم) | الرمل (كجم) | الزلط (كجم) | الماء (لتر) | الفلين (كجم) | الإطارات (كجم) | الإثنان معا (كجم) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | الفلين | الإطارات |
| القياسية | 11.446 | 13.082 | 26.164 | 5.151 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| الاثنان معا0.25% | 11.446 | 13.082 | 26.098 | 5.251 | 0 | 0 | 0.03 | 0.03 |
| الاثنان معا 0.5% | 11.446 | 13.082 | 26.033 | 5.251 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 |
| الاثنان معا 1% | 11.446 | 13.082 | 25.902 | 5.351 | 0 | 0 | 0.13 | 0.13 |

### 5. نتائج إختبارات الخرسانة الطازجة ومناقشتها

- **إختبار الهبوط :**

تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C143 [14] وتبين من خلال النتائج أن قوام جميع الخلطات الخرسانية بما فيها الخلطة القياسية تقع ضمن التصنيف اللدن .

**جدول 7 نتائج اختبار الهبوط لجميع الخلطات الخرسانية**

| نوع الخلطة | مقدار الهبوط (ملم) | وصف القوام |
|---|---|---|
| القياسية | 45 | لدن |
| الاثنان معا 0.25% | 58 | لدن |
| الاثنان معا 0.5% | 61 | لدن |
| الاثنان معا 1% | 71 | لدن |

- **إختبار كرة كيلي :**

تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C360 [15] وتبين من خلال النتائج أن قوام جميع الخلطات الخرسانية بما فيها الخلطة القياسية تقع ضمن التصنيف اللدن .

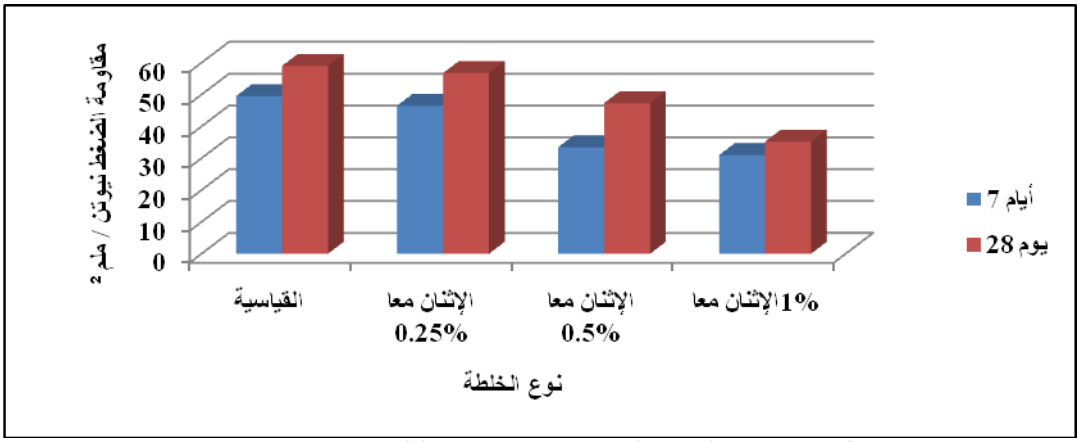
**جدول8 نتائج اختبار اختراق كرة كيلي لجميع الخلطات الخرسانية**

| نوع الخلطة | مقدار الاختراق (ملم) | وصف القوام |
|---|---|---|
| القياسية | 22 | لدن |
| الاثنان معا 0.25% | 27 | لدن |
| الاثنان معا 0.5% | 29 | لدن |
| الاثنان معا 1% | 33 | لدن |

## 6. نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة ومناقشتها

- **اختبار مقاومة الضغط :**

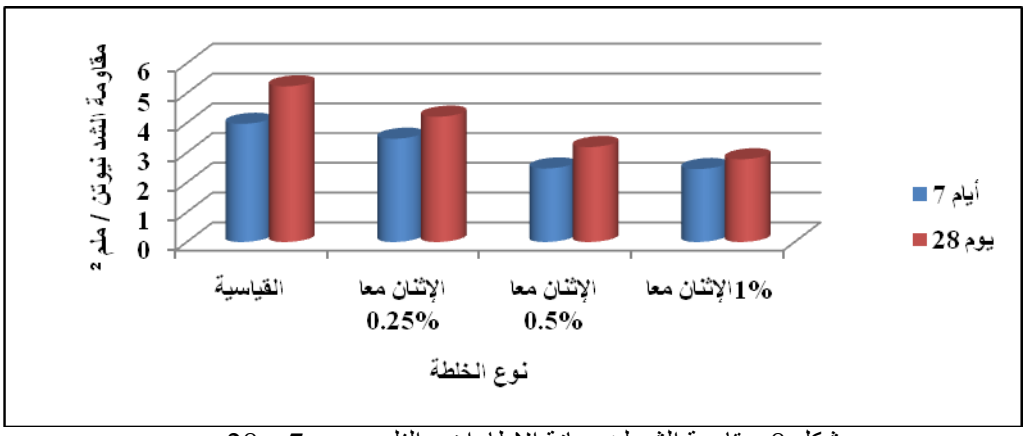
تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة البريطانية BS 1881 [16] ونلاحظ انخفاض في مقاومة الضغط بالنسبة لجميع الخلطات مقارنةً بالخلطة القياسية المرجعية ، وهذا يعني أن إضافة هذه المخلفات تؤثر على مقاومة الضغط للخرسانة بشكل سلبي ، ولكن عند إضافة هذه المخلفات بنسب قليلة لا تتأثر مقاومة الضغط بشكل كبير ، والذي يعود إلى انخفاض أوزان هذه المواد مقارنةً بالركام الكبير .




شكل 7 مقاومة الضغط لخرسانة الإطارات والفلين بعمر 7 و 28 يوم

- **اختبار مقاومة الشد الغير مباشر :**

تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة ASTM C496 – 86 [17] نلاحظ أن هناك انخفاض في مقاومة الشد عند إضافة مخلفات الفلين والإطارات معاً في الخلطة كبديل جزئي للركام الكبير لجميع الخلطات مقارنةً بالخلطة القياسية المرجعية ، الأمر الذي يدل على ضعف مقاومة هذه المواد للشد وبالتالي تأثيرها السلبي على مقاومة الشد للخرسانة .




شكل 8 مقاومة الشد لخرسانة الإطارات والفلين بعمر 7 و 28 يوم

- **اختبار سرعة الموجات فوق الصوتية :**

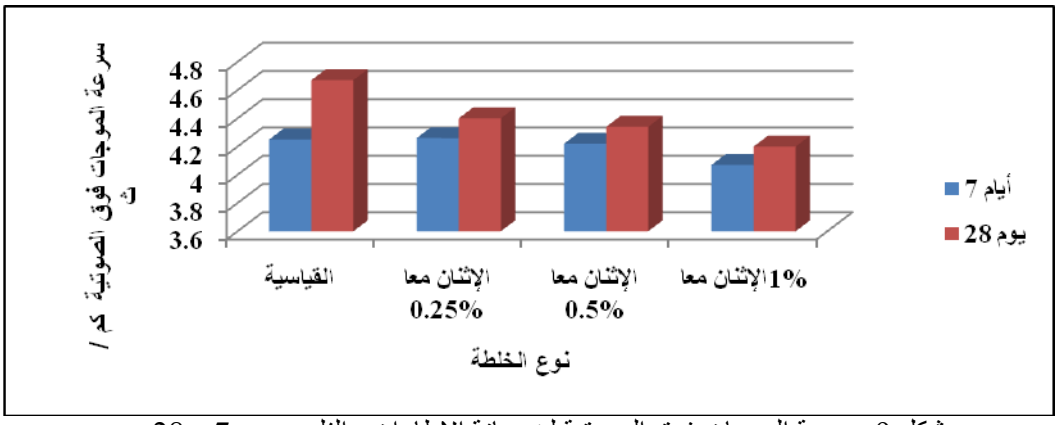
تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C597 [18] تبين النتائج أن جودة الخرسانة جيدة في عمر 7 أيام لكل الخلطات، وفي عمر 28 يوم زادت جودة الخرسانة بالنسبة للخلطة القياسية المرجعية وأصبحت ممتازة، بينما باقي الخلطات زادت جودتها ولكنها بقيت في حدود الخرسانة الجيدة ولم تصل إلى الممتازة ، وهو نتيجة طبيعية نظراً للتأثير السلبي لهذه المواد على كثافة الخرسانة بسبب زيادة الفراغات في الخلطة.

**جدول 9 الحدود العامة لسرعة الموجات لأنواع مختلفة من الخرسانة [2]**

| جودة الخرسانة | حدود سرعة الموجات (كم / ثانية) |
|---|---|
| ممتازة | أكثر من 4.58 |
| جيدة | 4.57-3.66 |
| مقبولة | 3.66-3.05 |
| ضعيفة | 3.05-2.14 |
| ضعيفة جدا | أقل من 2.14 |

جدول 10 نتائج جودة الخرسانة المصنوعة في الدراسة

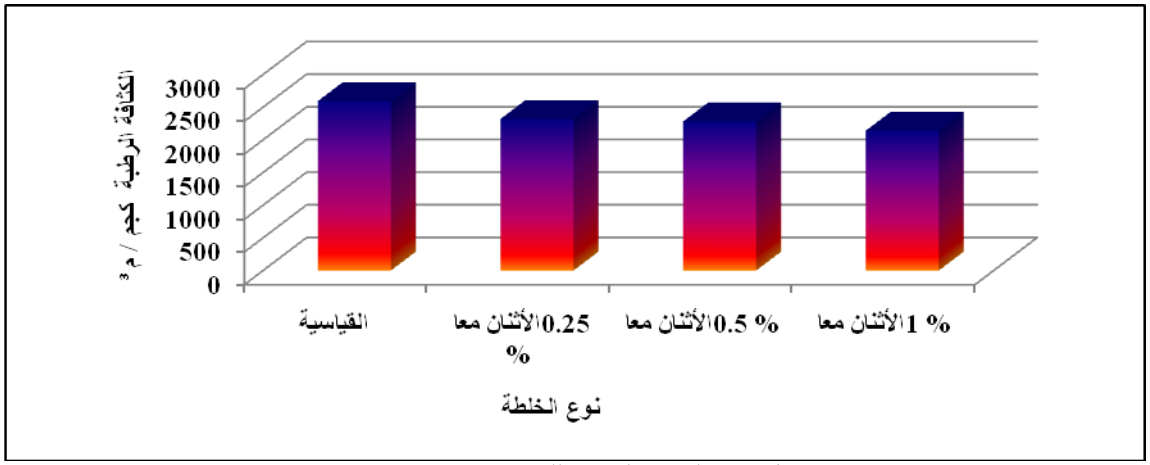
| نوع الخلطة | جودة الخرسانة عند عمر | |
|---|---|---|
| | 7 أيام | 28 يوم |
| القياسية | جيدة | ممتازة |
| الاثنان معا 0.25% | جيدة | جيدة |
| الاثنان معا 0.5% | جيدة | جيدة |
| الاثنان معا 1% | جيدة | جيدة |



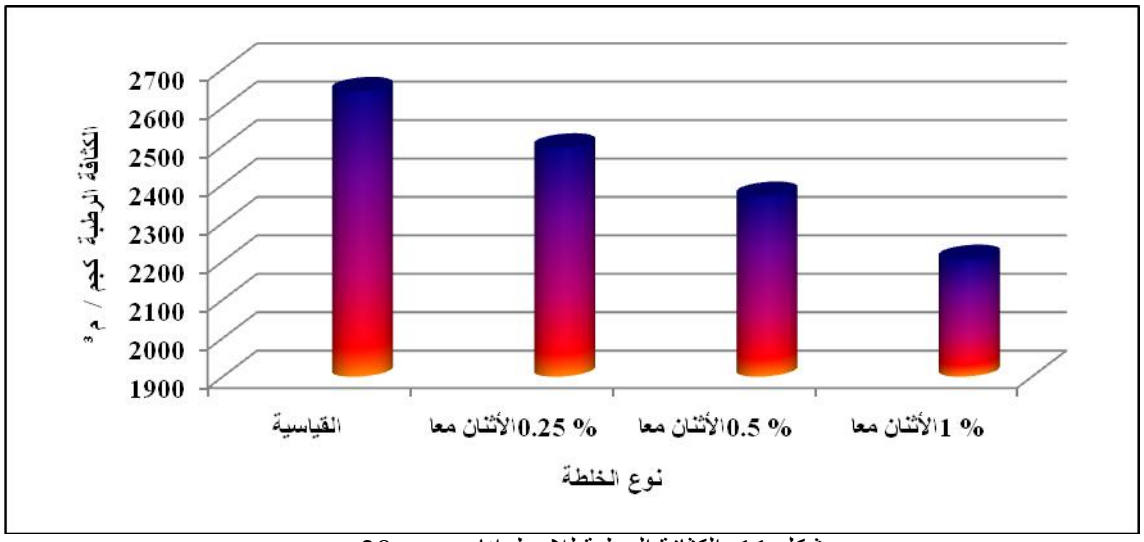

شكل 9 سرعة الموجات فوق الصوتية لخرسانة الإطارات والفلين بعمر 7 و 28 يوم

- **الكثافة الرطبة :**

تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C642 – 13 [19] نلاحظ أن هناك انخفاض في الكثافة الرطبة لجميع الخلطات الخرسانية مقارنةً بالخلطة القياسية المرجعية ، وهذا الانخفاض في الكثافة يزداد بزيادة نسبة هذه المخلفات.



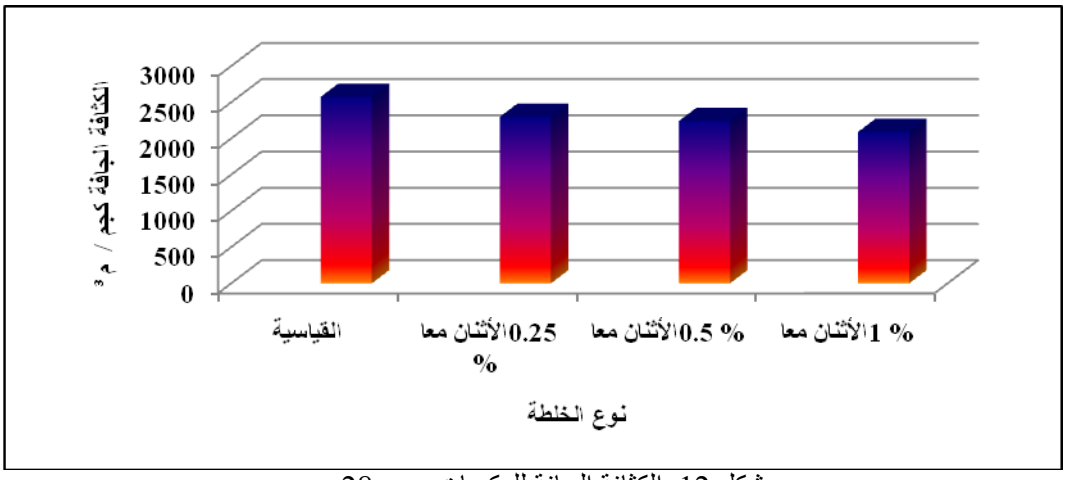

شكل 10 الكثافة الرطبة للمكعبات بعمر 28 يوم



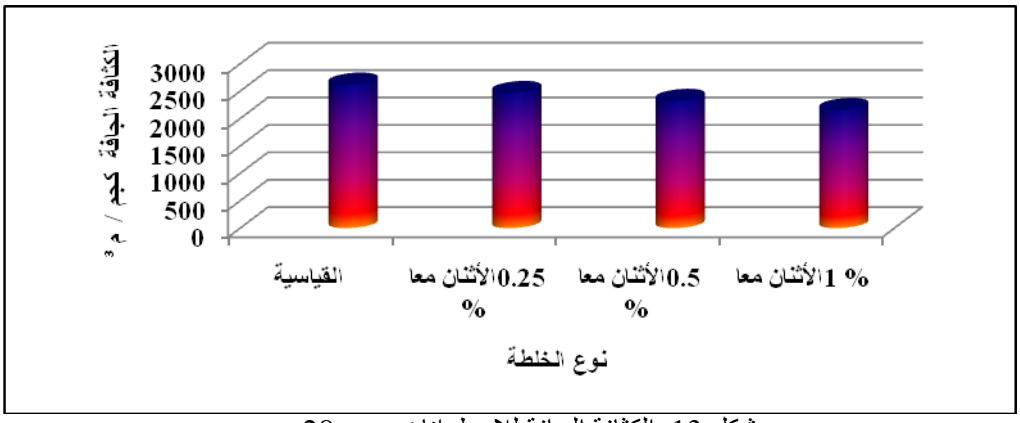

شكل 11 الكثافة الرطبة للاسطوانات بعمر 28 يوم

- **الكثافة الجافة**

تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C642 – 13 [19] نلاحظ أن هناك انخفاض في الكثافة الجافة لجميع الخلطات الخرسانية المضاف إليها مخلفات الفلين والإطارات والاثنان معاً مقارنةً بالخلطة القياسية المرجعية، وهذا الانخفاض يزداد كلما زادت نسبة إضافة هذه المخلفات في الخرسانة ، وحدث هذا الانخفاض بسبب أن الوزن النوعي للفلين والإطارات أقل بكثير من الوزن النوعي للركام الكبير، وأن الكثافة الرطبة لجميع الخلطات الخرسانية للمكعبات والاسطوانات بما فيها الخلطة القياسية المرجعية أعلى من الكثافة الجافة.



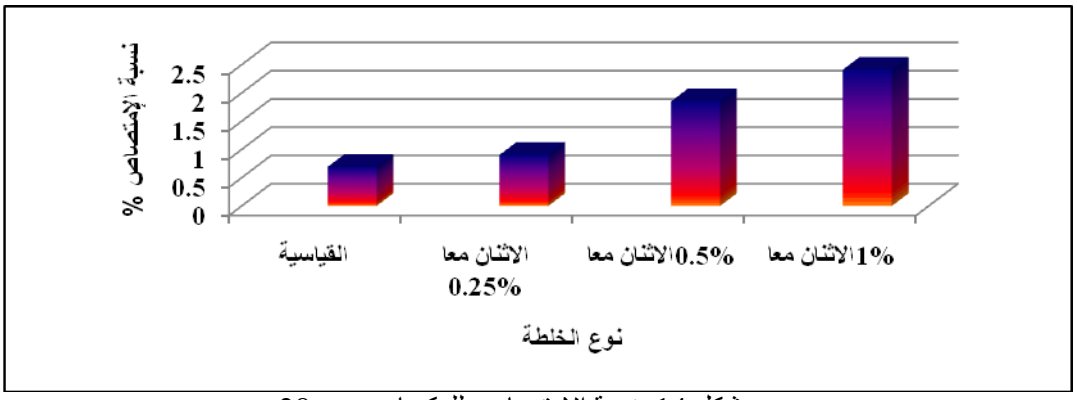

شكل 12 الكثافة الجافة للمكعبات بعمر 28 يوم



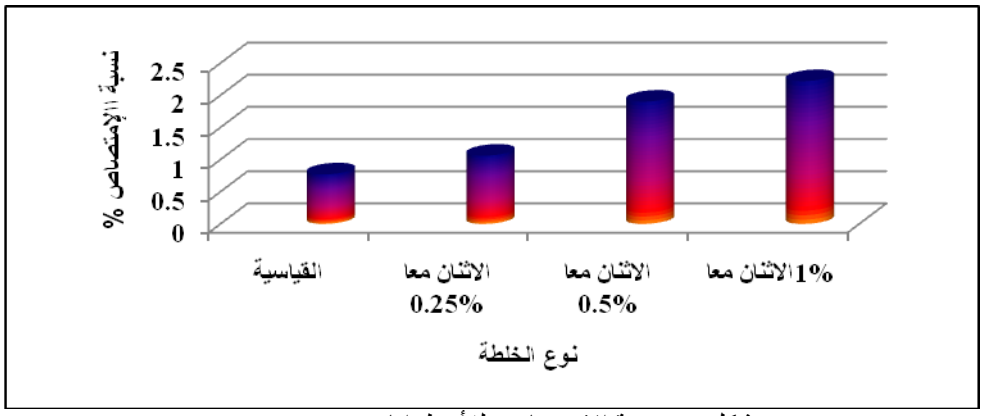

شكل 13 الكثافة الجافة للاسطوانات بعمر 28 يوم

- **نسبة الامتصاص**

تم إجراء الاختبار وفقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C1585 [11] من خلال النتائج نلاحظ أن نسبة الامتصاص للماء في الخرسانة تزداد بزيادة مخلفات الفلين والإطارات معاً في نفس الخلطة الخرسانية مقارنةً بنسبة الامتصاص للخلطة الخرسانية القياسية المرجعية .




شكل 14 نسبة الامتصاص للمكعبات بعمر 28 يوم




شكل 15 نسبة الامتصاص للأسطوانات بعمر 28 يوم

## 7. الخلاصة

1. تبين لنا من دراستنا الحالية أنه يمكن استخدام هذه المخلفات في صناعة خرسانة تساهم في الحفاظ على البيئة.
2. عند إضافة مخلفات الفلين والإطارات معاً في نفس الخلطة الخرسانية فإن مقاومة الضغط ومقاومة الشد تنخفض وتزداد في الانخفاض كلما زادت كمية إضافة هذه المخلفات.
3. إضافة مخلفات الفلين والإطارات معاً في نفس الخلطة الخرسانية يقلل من كثافتها فكلما زادت الكمية المضافة من هذه المخلفات كلما قلت الكثافة وأصبحت الخرسانة خفيفة الوزن.
4. مخلفات الفلين والإطارات تسبب في زيادة نسبة الامتصاص في الخرسانة بزيادة الكمية المضافة من هذه المخلفات.
5. تبين من نتائج إختبار سرعة الموجات فوق الصوتية أن جودة الخرسانة جيدة ومرنة لكل أنواع الخلطات باستثناء الخلطة القياسية فهي ذات جودة ممتازة .
6. استخدام الإطارات والفلين معاً في الخرسانة سوف يكون أفضل وأكثر جدوى في صنع خرسانة صديقة للبيئة .

## 8.التوصيات

من خلال النتائج المتحصل عليها في الدراسة فإننا نوصي بالتالي :

1. إجراء بحوث مستقبلية بإضافة نسب أعلى من الإطارات والفلين معاً وبأحجام مختلفة كبديل جزئي من الركام الكبير والصغير.
2. إجراء اختبارات أخرى على هذه الخرسانة مثل مقاومة الانحناء والتوصيل الحراري وغيرها من الاختبارات.
3. إدخال هذه المخلفات في صناعة الخرسانة لكي نساهم في الحفاظ على البيئة وتقليل مسببات التلوث البيئي وخاصةً أن هذه الخرسانة تتميز بخفة الوزن والعزل الحراري.
4. استخدام هذه الخرسانة في الأرصفة والأرضيات لتقليل التكلفة وللحفاظ على البيئة.

## 9. المراجع


[1] محمود إمام ، " الخرسانة ، الخواص، الجودة والاختبارات " ، الإصدار الأول ، 5 - 50 – ISBN 977-5069 ، جامعة المنصورة ، مصر، 2002 .

[2] د. أحمد على العريان ، د.عبد الكريم محمد عطا ، " تكنولوجيا الخرسانة " ، الطبعة الثانية ، الجزء الأول ، عالم الكتب ، مصر ، 1974 .

[3] د.إياد عبد الرزاق مطر- كلية العلوم، د.عبد القادر إسماعيل عبد الوهاب الحديثي – كلية الهندسة .

[4] إنتصار قدوري جمعة ، عبير فؤاد حسين ، بيداء قتيبة ، " تأثير مفروم الإطارات المطاطية على بعض خواص الخرسانة " ، معهد تكنولوجيا ، العراق ، 2010 .

[5] هشام أسامة كامل ، حذيفة خالد ، محمد حمدي ، " استخدام بقايا الإطارات المعاد تدويرها في الخرسانة " ، كلية الهندسة - جامعة البحرين ، البحرين ، 2014 .

[6] المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية، " المواصفة القياسية الليبية رقم 340 للإسمنت البورتلاندي " ، ليبيا، 1997 .

[7] America Society for Testing and Materials," ASTM C150: Standard Specification for Portland Cement ", 2007.

[8] America Society for Testing and Materials, " ASTM C187 : Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste " , 2002.

[9] America Society for Testing and Materials," ASTM C127: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates ", 1985.

[10] America Society for Testing and Materials, " ASTM C29: Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Concrete ", 1985.

[11] American Society for Testing and Materials, " ASTM C1585 : Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Concrete ", London , 2004 .

[12] British Standard Institution, " BS 882 : 1992 , Specification of Aggregate from Natural Sources for Concrete " , London , 1983 .
[13] America Society for Testing and Materials, " ASTM C128: Standard Test Method for Testing for Specific Gravity and Absorption Capacity of Fine Aggregates ", 1985.
[14] America Society for Testing and Materials, "ASTM C143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic - Cement Concrete ", 2003.
[15] America Society for Testing and Materials, "ASTM C360: Standard Test Method for for Ball penetration in Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete ", 1992.
[16] British Standard Institution, " BS 1881 Part 116: The Compressive Strength of Cubic Concrete Specimens ", London , 1983.
[17] America Society for Testing and Materials, "ASTM C143: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens ", 1998.
[18] America Society for Testing and Materials, " ASTM C597: Standard Test Method for Pules Velocity Through Concrete ", 2016.
[19] American Society for Testing and Materials, " ASTM C642 : Standard Test Method for Density , Absorption, and Voids in Hardened Concrete ", London , 2013.