مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

# إنتاج بيتون خفيف باستخدام حصويات السكوريا المتوافرة في سورية ودراسة خصائصه الفيزيائية والميكانيكية

**الدكتور طارق أصلان** *
**الدكتور عصام ناصر** **
**نسرين الجبيلي** ***

**(تاريخ الإيداع 27 / 10 / 2015. قُبِل للنشر في 4/ 1 / 2016)**

## □ ملخّص □

يعتبر البيتون عنصراً أساسياً في عملية البناء وبما أنّ الوزن الذاتي للمبنى يشكل الجزء الأكبر من الحمولات المؤثرة عليه، لذلك جاء الهدف من البحث حول إنتاج بيتون خفيف محقق لتعريف الكود ACI 213R-03 للبيتون الخفيف الإنشائي (بيتون بكثافة لا تتجاوز $1920kg/m^3$ ومقاومة على الضغط لا تقل عن 17.2MPa) وباستخدام مواد محلية (السكوريا) المتوفرة بكثرة في سورية ودراسة بعض خصائصه الفيزيائية والميكانيكية.

تم تصميم عدة خلطات بيتونية مصنعة بتراكيب مختلفة من حصويات السكوريا من أجل عيار ثابت للإسمنت ($c=450\ kg/m^3$) ونسبة ماء إلى الاسمنت ثابتة ($w/c=0.36$). حُضرت مجموعة من العينات المكعبية والاسطوانية من هذه الخلطات، ثمّ أجريت مجموعة من الاختبارات على هذه العينات لتعيين بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون الناتج كالكثافة والمقاومة على الضغط والمقاومة على الشد بالانفلاق. تراوحت قيم الكثافة للبيتون الناتج ما بين ($1752-1917\ kg/m^3$) وقيم المقاومة الاسطوانية على الضغط بعمر 28 يوماً ما بين (22.2-32.8Mpa) أما قيم المقاومة على الشد بالانفلاق فقد تراوحت ما بين (2.3-3.2Mpa).

بيّنت الدراسة إمكانية إنتاج بيتون خفيف محقق لمتطلبات الكثافة والمقاومة للبيتون الخفيف الإنشائي حسب توصيف الكود ( ACI 213R-03 ).

**الكلمات المفتاحية:** السكوريا، البيتون الخفيف الإنشائي.

*أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية . سورية.
*** طالبة دكتوراه –قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية. سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

# Producing lightweight concrete by using Scoria aggregates Available in Syria and study its mechanical and physical properties

**Dr. Tarek Aslan***
**Dr. Isam Nasser****
**Nisrin Aljubayli *****

**(Received 27 / 10 / 2015. Accepted 4 / 1 / 2016)**

## □ ABSTRACT □

This research deals with producing structural lightweight aggregates concrete (the density is less than 1920kg/m$^3$ and compressive strength is more than 17.2Mpa according to ACI 213R-03) by using scoria aggregates. Several concrete mixes have been designed with different proportions of scoria aggregates. The cement content (c=450 kg/m$^3$), the ratio (w/c = 0.36) were kept constant in all the mixes.

Different tests were performed to determine some properties of product concrete such as density, compressive strength and splitting tensile strength. The density of product concrete was in the range of (1752-1917 kg/m$^3$), compressive strength was in the range of (22.2-32.8Mpa), and the splitting strength was in the range of (2.3-3.2Mpa). The study demonstrated the possibility of production concrete achieved the Requirements of the American code ACI 213R-03 for structural lightweight concrete.

**Keywords**: scoria, structural lightweight concrete.

* **Associate Professor – Department Of structural Engineering–faculty of Civil Engineering- Tishreen University – Lattakia- Syria.**
** **Professor – Department Of structural Engineering–faculty of Civil Engineering- Tishreen University – Lattakia- Syria.**
*** **PHD Student, Department Of structural Engineering–faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

**مقدمة:**

يعتبر البيتون العادي ذو الكثافة $2200\sim2500kg/m^3$ العنصر الأساسي المستخدم في عملية البناء، يعتبر الوزن الذاتي لعناصر المبنى الجزء الأكبر من الحمل الكلي المؤثر عليه، وللتقليل من هذا الوزن تم التوجه لإنتاج واستخدام بيتون خفيف في عملية الإنشاء فهذا الأمر سيؤدي إلى استخدام مقاطع أصغر للعناصر الإنشائية الحاملة كالأعمدة وتقليل حجم الأساسات، إضافة لتخفيض الضغط الجانبي والعمودي على قوالب الصب. كما يستخدم البيتون الخفيف بشكل واسع لأغراض العزل الصوتي والحراري [1].

يتم إنتاج البيتون الخفيف بإحدى الطرق الآتية:

- استخدام حصويات مسامية خفيفة الوزن (البيتون المصنع من حصويات خفيفة lightweight aggregate concrete).
- إيجاد فراغات داخل العجينة الاسمنتية ويسمى بالبيتون المهوى أو الخلوي (Foamed / Aerated concrete)
- إيجاد فراغات بين الحصويات ويسمى بالبيتون الخالي من المواد الناعمة (No- fines concrete).

يُعتبر النوع الأول (البيتون المصنع من حصويات خفيفة) الأكثر شيوعاً واستخداماً إذ يمكن استخدامه في العناصر الإنشائية، وتكون الحصويات المستخدمة فيه إما صناعية كالطين المنتفخ أو طبيعية (كالسكوريا والخفان). أما النوع الثاني (البيتون المهوى أو الخلوي) فيتم إنتاجه بإدخال الفقاعات الهوائية أو الغازية داخل الخلطة البيتونية أثناء عملية الخلط، إذ يتم توليد الفقاعات الهوائية باستخدام مواد مولدة للغازات (كبودرة الألمونيوم أو بودرة الزنك)، أو بإضافة مواد رغوية للخلطة. في حين أن النوع الثالث (البيتون الخالي من المواد الناعمة) فيُستخدم الإسمنت والحصويات الكبيرة فقط، وفي بعض الحالات يستخدم فيه الهواء من خلال إضافة مواد رغوية أو باستعمال تدرجات خاصة للحصويات.

يصنف كود المعهد الأمريكي للبيتون [1] البيتون الخفيف تبعاً لكثافته ومقاومته على الضغط إلى ثلاثة أصناف:

**a- بيتون منخفض الكثافة (LDC): low Density Concrete**

يتميّز هذا النوع من البيتون بانخفاض كثافته إذ تتراوح ما بين ( $320-1100\ kg/m^3$) ومقاومته الاسطوانية على الضغط بعمر 28 يوماً أقل من 7Mpa ويستخدم بشكل رئيسي لأعمال العزل الحراري والصوتي.

**b- بيتون متوسط الكثافة (MDC):Moderate Density Concrete**

تتراوح كثافة هذا النوع من البيتون ما بين ( $1100-1600kg/m^3$)، ومقاومة على الضغط بعمر 28 يوماً تتراوح مابين (7-14Mpa) وقدرة متوسطة على العزل الحراري.

**c-البيتون الخفيف الإنشائي (SLWC):structural lightweight Concrete**

تتراوح كثافة هذا النوع من البيتون ما بين ( $1120-1920kg/m^3$)، ومقاومة اسطوانية على الضغط بعمر 28 يوماً لا تقل عن 17.2 Mpa، ويعتبر هذا النوع من البيتون ذو كفاءة إنشائية جيدة.

هناك دراسات متعددة في مجال إنتاج البيتون الخفيف نذكر منها:

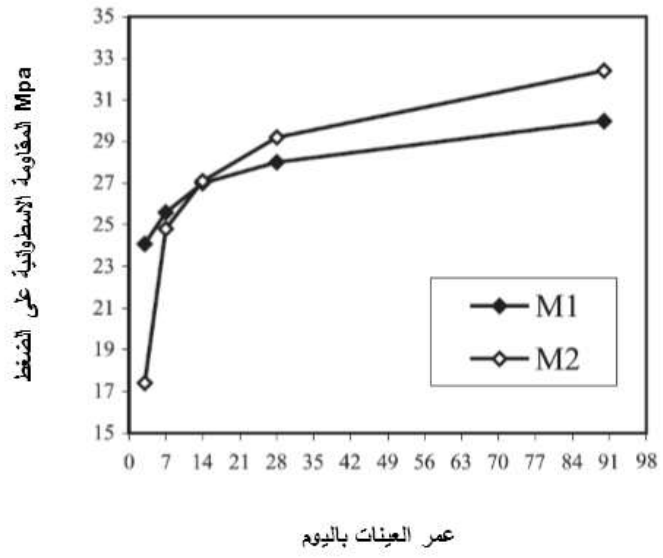
دراسة للباحث(Yasar, 2003) وأخرون [2] تناولت إنتاج بيتون خفيف إنشائي باستخدام حصويات السكوريا والرماد المتطاير. قام الباحث باستخدام الرماد المتطاير كبديل جزئي عن الاسمنت بهدف تخفيض التأثيرات البيئية

السلبية للرماد المتطاير المتسرب إلى الهواء من محطات توليد الطاقة وللحصول على بيتون بكلفة أقل. تم تحضير خلطتين (M1,M2) من البيتون الخفيف كما هو مبيّن في الجدول(1).

**الجدول(1) تراكيب الخلطات المدروسة من أجل متر مكعب وزناً (kg) [2]**

| المواد المستخدمة | الخلطة M1 | الخلطةM2 |
|---|---|---|
| اسمنت | 500 | 400 |
| رماد متطاير | 0 | 100 |
| الماء | 275 | 275 |
| الحصويات(8-16mm) | 300 | 300 |
| الحصويات(4-8mm) | 250 | 250 |
| الرمل(2-4mm) | 175 | 175 |
| الرمل(1-2mm) | 125 | 125 |
| الرمل(0.5-1mm) | 150 | 150 |
| الرمل(0.25-0.5mm) | 150 | 150 |
| الرمل(0-0.25mm) | 100 | 100 |

بيّنت الدراسة إمكانية إنتاج بيتون خفيف إنشائي باستخدام حصويات السكوريا بمقاومة اسطوانية على الضغط حوالي30Mpa وبكثافة جافة 1860±23 $kg/m^3$ للخلطة M1 وكثافة 1850±18 $kg/m^3$ للخلطة M2، وأنّه من الممكن الحصول على بيتون بكلفة أقل وصديق للبيئة وذلك عن طريق استخدام الرماد المتطاير على أساس استبدال جزئي للإسمنت. يبيّن الشكل (1) مقاومة الضغط للخلطات المدروسة.




**الشكل(1) مقاومة الضغط للخلطات المدروسة [2]**

كما قدم الباحث(Hossain, 2006) [3] دراسة حول إمكانية إنتاج بيتون خفيف باستخدام حصويات السكوريا. تبيّن الجداول(2) و(3) و(4) التدرج الحبي والخصائص الفيزيائية والتركيب الكيميائي للحصويات المستخدمة.

**الجدول(2) التدرج الحبي للحصويات المستخدمة [3]**

| فتحة المنخل (mm) | النسبة المئوية المارة للحصويات الخفيفة (سكوريا) | النسبة المئوية المارة للحصويات العادية | النسبة المئوية المارة للرمل الخفيف (رمل سكوريا) | النسبة المئوية المارة للرمل العادي |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 100 | 100 | | |
| 19 | 90 | 94 | | |
| 12.5 | 40 | 50 | | |
| 9.5 | 20 | 28 | 100 | 100 |
| 4.75 | 5 | 10 | 92 | 93 |
| 2.36 | | | 74 | 70 |
| 1.18 | | | 65 | 51 |
| 0.3 | | | 15 | 20 |
| 0.15 | | | 6 | 15 |

**الجدول(3) الخصائص الفيزيائية للحصويات المستخدمة [3]**

| الحصويات والرمل | الوزن النوعي | الكثافة النوعية المشبعة الجافة السطح $kg/m^3$ | الامتصاص في 24 ساعة % |
|---|---|---|---|
| الحصويات العادية | 2.47 | 2540 | 2.86 |
| رمل نهري عادي | 2.61 | 2660 | 2.04 |
| حصويات السكوريا | 1.15 | 1556 | 35.6 |
| رمل السكوريا | 1.545 | 1885 | 22.2 |

**الجدول(4) التركيب الكيميائي لحصويات السكوريا المستخدمة[3]**

| المكونات | $SiO_2$ | $SO_3$ | $Al2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MgO | CaO | $Na_2O+K_2O$ | L.I.O |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النسبة المئوية | 45-50 | 0.01-0.02 | 13-15 | 3-4 | 4-6 | 4-6 | 5-8 | 4-6 | 1.25-1.5 |

تمت دراسة خصائص البيتون المصنّع من السكوريا من خلال إجراء سلسلة من التجارب كقابلية التشغيل والمقاومة على الضغط والكثافة. استخدم الباحث عيار ثابت للإسمنت ($490kg/m^3$) ونسبة ثابتة للماء إلى الاسمنت W/C=0.45 ورمل عادي وزنه $615kg/m^3$، ثمّ أجرى استبدال للحصويات العادية بحصويات السكوريا كنسبة مئوية (على قاعدة الحجم)، يبيّن الجدول(5) تراكيب الخلطات البيتونية المدروسة وبعض خصائصها (الكثافة الجافة وقيم

المقاومة الاسطوانية والمكعبية على الضغط في عمر 28 يوم). يمثل الرّمز الموجود في اسم الخلطة نسبة الاستبدال للحصويات العادية بحصويات السكوريا.

**الجدول(5) تراكيب الخلطات البيتونية المدروسة[3]**

| اسم الخلطة | حصويات السكوريا $Kg/m^3$ | الحصويات العادية $Kg/m^3$ | الكثافة الجافة $Kg/m^3$ | المقاومة الاسطوانية (المكعبية) Mpa |
|---|---|---|---|---|
| A-100 | 456 | 0 | 1845 | 24 (28) |
| A-90 | 411 | 98 | 1963 | 26 (30) |
| A-75 | 342 | 245 | 2022 | 28 (32) |
| A-50 | 228 | 490 | 2135 | 30 (35) |
| A-0 | 0 | 980 | 2520 | 35 (40) |

بيّنت النتائج انخفاض قيم الكثافة للبيتون الناتج من $2520kg/m^3$ الموافقة لنسبة الاستبدال 0% لتصبح $1845kg/m^3$ الموافقة لنسبة الاستبدال 100%. كما أظهرت النتائج تناقص مقاومة الضغط مع زيادة نسبة حصويات السكوريا الخفيفة نتيجة لمقاومتها الضعيفة نسبياً، فقد تناقصت المقاومة الاسطوانية لهذه الخلطات من 35Mpa إلى 24Mpa والمقاومة المكعبية لها من 40Mpa إلى 28Mpa عند تزايد نسبة الاستبدال من 0% إلى 100%.

خلص الباحث إلى إمكانية إنتاج بيتون خفيف إنشائي باستخدام حصويات السكوريا ومحقق لمواصفات الكود الأمريكي213-03 ACI [1] الواردة في البند C من المقدمة والذي يُسمح باستخدامه في جميع العناصر الإنشائية.

أجرى الباحث (Degirmenci, 2011) [4] دراسة تجريبية لمعرفة تأثير استبدال الرمل الطبيعي بالرمل الخفاني على الخصائص الميكانيكية للمونة الاسمنتية. بيّنت الدراسة أنّ مقاومة الضغط للعينات تجاوزت 12Mpa في حين تراوحت الكثافة ما بين $1140-1146kg/m^3$. كما أبدت العينات الحاوية على الرمل الخفاني مقاومة أفضل على الحرارة العالية من العينات الحاوية على رمل طبيعي وذلك نتيجة الفراغات الموجودة في الرمل الخفاني.

قام الباحث (PARHIZKAR, 2012) وآخرون[5] بإجراء دراسة تجريبية على خصائص البيتون المصّنع من حصويات خفيفة (الخفان pumice)، وذلك بتصميم واختبار نوعين (نموذجين) من الخلطات البيتونية، تضمنت الخلطة الأولى (LCNF) (Lightweight Coarse aggregates and Natural Fine aggregates)حصويات خفيفة مع رمل عادي، أما الثانية (LCF) (Lightweight Coarse and Fine aggregates) فقد تضمنت حصويات ورمل خفيفين. يبيّن الجدول(6) خصائص الخلطات البيتونية المدروسة والتي تحقق متطلبات البيتون الخفيف الإنشائي.

**الجدول(6) خصائص الخلطات البيتونية المدروسة[5]**

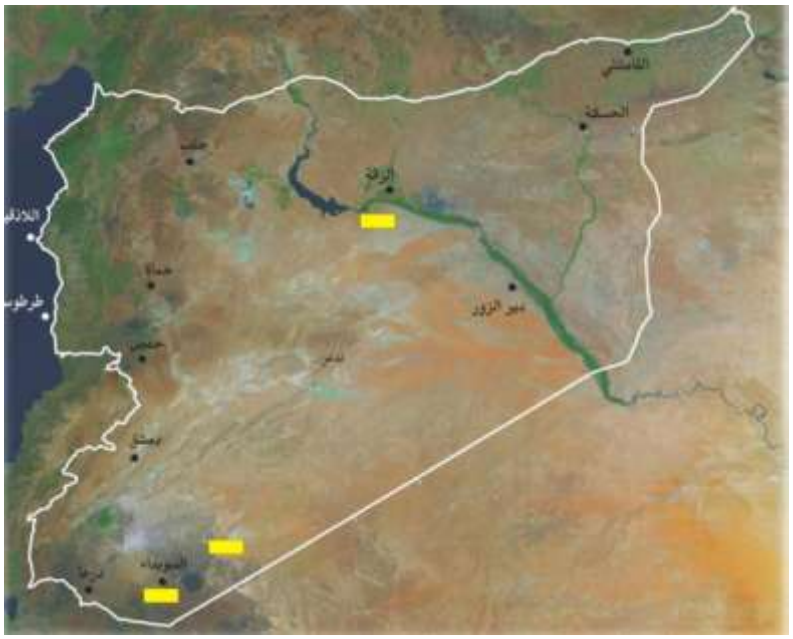
| اسم الخلطة | المقاومة على الضغط (Mpa) | الكثافة ($kg/m^3$) |
|---|---|---|
| LCNF | 20.3-30.2 | 1735-1830 |
| LCF | 15.9-19.6 | 1440-1510 |

في حين قام الباحث (Shannag, 2014) [6] وأخرون بإنتاج بيتون خفيف إنشائي باستخدام حصويات السكوريا المتوافرة في المملكة العربية السعودية وباستخدام قيم مختلفة لعيار الإسمنت في الخلطة البيتونية ( 250, 300, 350, 400, 450, 500 $kg/m^3$) وكمية ثابتة من السليكا فيوم (هباب السيليس) مساوية لـ $40kg/m^3$. تراوحت قيم الكثافة للبيتون الناتج ما بين ($1739-1914kg/m^3$) ومقاومة اسطوانية على الضغط لعينات أبعادها (150×300mm) ما بين (17.9–47.6Mpa)، ومقاومة على الشد بالانفلاق ما بين (1.82–4.36Mpa) ومقاومة على الشد بالانعطاف ما بين (2.65–4.82Mpa).

**2- ميزات استخدام السكوريا في البيتون:**

السكوريا هي في الأصل مصهور بازلتي صعد للسطح وتطاير في الهواء نتيجة فعاليات بركانية انفجارية متلاحقة. تعتبر السكوريا من المواد البوزولانية وذلك بسبب تفاعلها مع الكلس (هيدروكسيد الكالسيوم) المتحرر خلال عملية إماهة الاسمنت. تتحد السليكا($SiO_2$) غير المتبلورة الموجودة في المواد البوزولانية مع الكلس وتشكل مواد رابطة

تتوافر السكوريا بكثرة في الجمهورية العربية السورية وخصوصاً في محافظتي السويداء والرقة كما هو مبيّن في الشكل(2) وتستخدم للأعمال التي تتطلب خفة في الوزن أوعزلاً حرارياً [7].




**الشكل(2) أماكن تواجد السكوريا في الجمهورية العربية السورية [7]**

يبيّن الجدول(7) التركيب الكيميائي لسكوريا تل شيحان –جنوب سورية–المستخدمة في هذا البحث [7].

**الجدول(7) التركيب الكيميائي لسكوريا تل شيحان[7]**

| المكونات | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | Mgo | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | FeO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النسبة المئوية | 41.97 | 3.09 | 17.04 | 4.98 | 8.30 | 9.78 | 2.99 | 1.9 | 9.95 |

## أهمية البحث وأهدافه:

يُستخدم البيتون الخفيف بشكل أساسي لتخفيض الأحمال الميتة في الأبنية البيتونية، مما يسمح باستخدام مقاطع أصغر للجوائز والأعمدة وتصغير حجم الأساسات المستخدمة، إضافة لتخفيض الأحمال الزلزالية المؤثرة عليها. استخدمت حصويات السكوريا الخفيفة الوزن في دراسات عديدة عربية وعالمية [2],[3],[5],[6] لإنتاج بيتون خفيف إنشائي (مقاومة لا تقل عن 17.2Mpa وكثافة لا تزيد عن $1920kg/m^3$ بحسب ACI 213R-03[1]) في حين يقتصر استخدامها في الجمهورية العربية السورية حتى الآن على الأعمال التي تتطلب خفة في الوزن أو عزلاً حرارياً[7]. تنتشر السكوريا في مناطق عديدة من الجمهورية العربية السورية وتعتبر مكامن السكوريا في المنطقة الجنوبية من أهم المكامن من حيث النوعية والكمية والمواصفات الفيزيائية والميكانيكية وظروف الاستثمار المناسبة وخاصة "تل شيحان" والتي تقدر بـ 20 مليون طن[7].

من هنا جاء هدف البحث حول إمكانية استخدام هذه الحصويات المتوفرة في سورية لإنتاج هذا النوع من البيتون الخفيف، وهذا الأمر تطلب توصيف حصويات السكوريا وعرض بعض خصائص البيتون الناتج كالكثافة والمقاومة على الضغط والمقاومة على الشد بالانفلاق.

## طرائق البحث ومواده:

اعتمد هذا البحث التجريبي على كودي المعهد الأميركي للبيتون ACI 211.2-98 [8] و ACI213R-03 [1] في تصميم الخلطات وتوصيفها ، إضافة للاسترشاد ببيانات المؤسسة العامة للجيولوجيا لتحديد أماكن تواجد الحصويات الخفيفة في سورية وكمياتها، كما تم الاستعانة ببعض الدراسات والتجارب التي تناولت دراسة البيتون الخفيف [2],[3],[4],[5],[6] في إغناء هذا البحث الذي تم تنفيذه في مخابر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين خلال العامين 2014,2015.

### 1. مواصفات المواد الداخلة في تركيب خلطات البيتون الخفيف المقترحة:

استُخدمت المواد التالية لتحضير الخلطات البيتونية المختلفة في هذا البحث:

**a)** المواد الإسمنتية المستخدمة هي الإسمنت البورتلاندي العادي صنف ( $42.5N/mm^2$) .

**b)** ماء الخلط: ماء صالح للشرب (ماء شبكة مياه الشرب في مدينة اللاذقية).

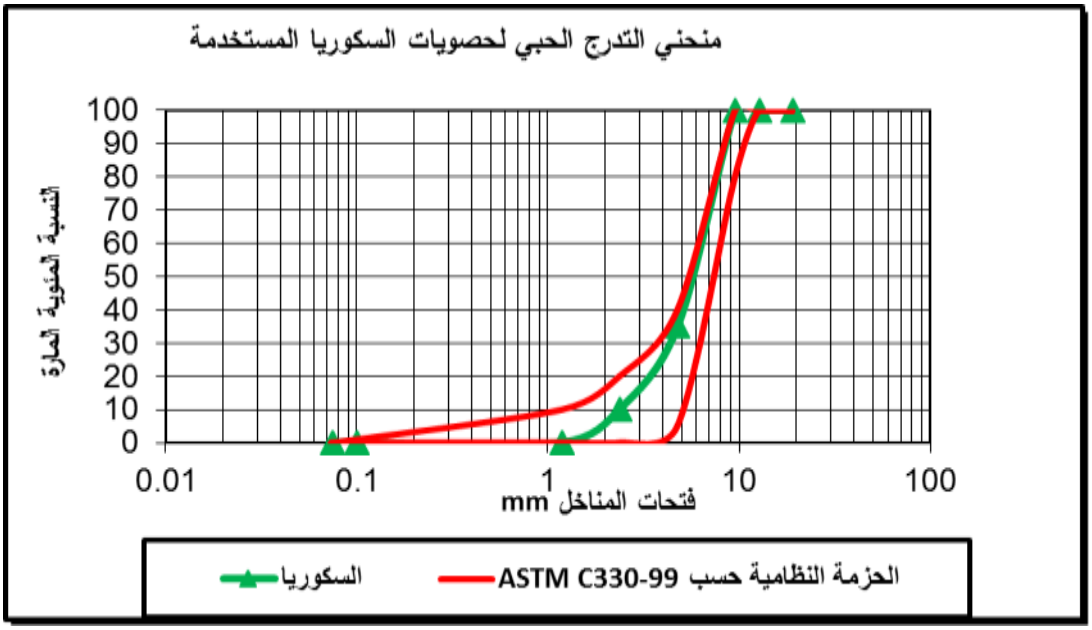
**c)** الحصويات المستخدمة هي حصويات السكوريا الخفيفة الوزن من محافظة السويداء-منطقة شهبا-تل شيحان. تمّ تحديد مواصفاتها في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين للتأكد من مطابقة خصائص هذه الحصويات للمواصفة ASTM C330-99 [9] التي تحدد مواصفات الحصويات الخفيفة المستخدمة في البيتون الخفيف الإنشائي. يظهر الجدول(8) الخصائص الفيزيائية لهذه الحصويات.

**الجدول (8) خصائص حصويات السكوريا المستخدمة في هذا البحث**

| اسم المواصفة الأمريكية المستخدمة | الخصائص الفيزيائية | نتائج الاختبار |
|---|---|---|
| حسب المواصفة ASTM C127[10] | الوزن النوعي للحصويات(OD) | 1.130 |
| | الكثافة النوعية المشبعة جافة السطح(SSD) | 1349 $kg/m^3$ |
| | الكثافة النوعية الظاهرية (AD) | 1445 $kg/m^3$ |
| | نسبة الامتصاص للماء % | بعد ساعة 17.7<br>بعد24 ساعة<br>19.3 |
| حسب المواصفة ASTM C29[11] | الكثافة الحجميةLoose density | 612 $kg/m^3$ |

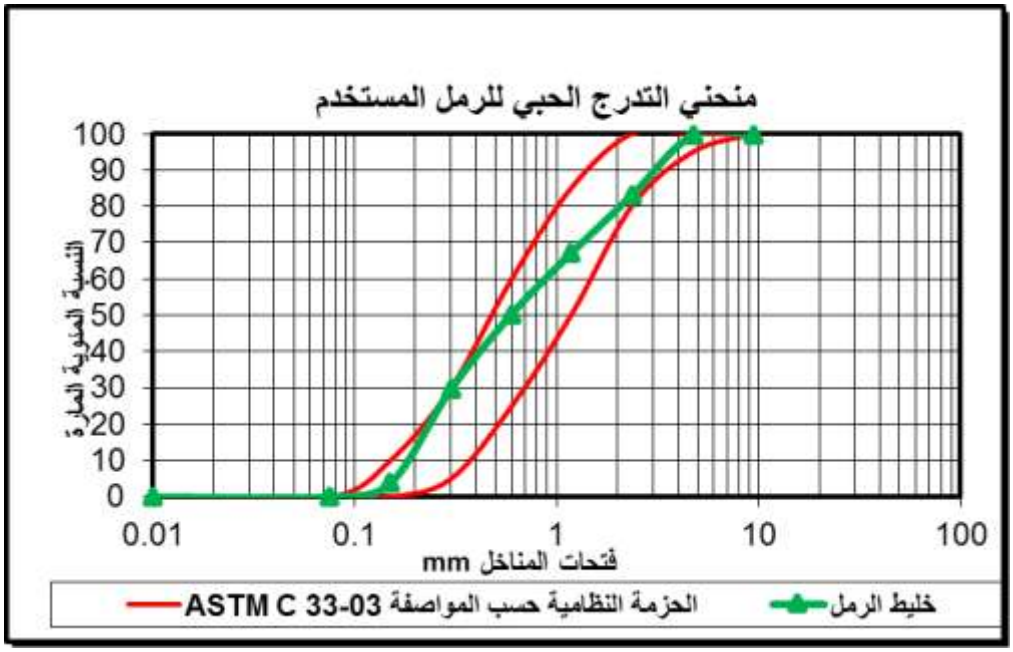
يبيّن الجدول (8) أن قيمة الوزن النوعي لحصويات السكوريا أقل من الوزن النوعي للحصويات العادية ذات القيمة (2.6–2.8) وبالتالي يمكن تسمية هذه الحصويات بالحصويات خفيفة الوزن. كما أنّ قيمة الكثافة الحجمية (الوزن الحجمي) لهذه الحصويات أقل من الحد الأعلى المسموح لكثافة الحصويات الخفيفة التي تستخدم في إنتاج البيتون الخفيف والمقدّرة بـ ( $880kg/m^3$ ) حسب المواصفة ASTM C330–99 [9]. أما بالنسبة لقيمة الامتصاص لهذه الحصويات والمقدرة بـ 19.3% بعد 24 ساعة و 17.7% بعد ساعة، فيعود لوجود الكثير من المسامات وهذه صفة عامة في الحصويات الخفيفة الوزن.

يبيّن الشكل (3) التدرج الحبي لعينة السكوريا المستخدمة وحدود الحزمة النظامية حسب ASTM C 330–99 [9].




**الشكل (3) منحني التدرج الحبي لحصويات السكوريا**

**d)** الرمل المستخدم: أُستخدم رمل عادي مكون من رمل نهري خشن من توضعات نهر مرقية ورمل ناعم من مقالع منطقة القريتين (رمل قيرواني)، استخدمت نسب الخلط التالية ( 65% لرمل مرقية و 35% للرمل القيرواني) وذلك للحصول على خليط رملي بقطر أعظمي 4.75mm ومعامل نعومة قدره Mf=2.67 يؤمن التدرج الحبي المطلوب حسب المواصفة الأمريكية ASTM C33-03 [12] كما يظهر الشكل(4).




**الشكل(4) منحنيات التحليل الحبي لخليط الرمل المستخدم في هذا البحث وحدود الحزمة النظامية حسب ASTM C 33-03 .**

حُدد الوزن النوعي للرمل المستخدم بالقيمة 2.72 وذلك بالاعتماد على المواصفة الأمريكية ASTM C128 [13] وحدد المكافئ الرملي بالقيمة المتوسطة 98% وقد تم الحصول على هذه القيمة بعد غسل الرمل.

**e)** الملدن: تم استخدام الملدن عالي الفعالية، انتاج شركة مختصة بكيماويات البيتون.

**2. تصميم خلطات البيتون الخفيف:**

إنّ أفضل طريقة لتحديد مكونات خلطة من البيتون الخفيف (first trial mixture of lightweight concrete) هي الاعتماد على خلطات تجريبية سابقة استخدم فيه نفس مصدر الحصويات، ومن ثم يتم معايرتها من أجل الحصول على الخصائص المطلوبة للبيتون. ولكن في الحالة التي لا يتوافر فيها معلومات سابقة عن مثل هذه الخلطات (كما هي الحال في بحثنا الحالي) يتم تصميم عدة خلطات تجريبية (تحقق متطلبات التصميم الأساسية وهي المقاومة على الضغط والكثافة وقابلية التشغيل) وذلك بالاعتماد على كود المعهد الأ مريكي ACI 211.2-98 [8] وفق إحدى الطرق الآتية:

- طريقة الوزن-عامل الوزن النوعي (specific gravity pycnometre ): لتصميم خلطات بيتونية تحوي حصويات خفيفة ورمل عادي(Sand-lightweight concrete) .
- الطريقة الحجمية (volumetric method): لتصميم خلطات بيتونية خفيفة تحوي حصويات ورمل خفيفين أو خلطات تحوي خليط من الحصويات الخفيفة والعادية.

يؤثر الحجم المطلق للحصويات الخفيفة (نسبة وزن الحصويات إلى وزنها النوعي) في الخلطة البيتونية بشكل مباشر على قيم الكثافة والمقاومة للبيتون، لذلك فإنّ كود المعهد الأمريكي ACI 213.R-03 [1] يعتبر أنّ الحجم المطلق للحصويات الخفيفة في الخلطة البيتونية هو بحدود( 40±5%) ويمكن معايرته بحيث يتم الحصول على الكثافة المطلوبة.

في هذا البحث تم اعتماد أربع نسب حجمية للسكوريا $(0.3,\ 0.35,\ 0.4,\ 0.45)m^3/m^3$ وعيار محدد للإسمنت $450kg/m^3$ ونسبة ثابتة للماء إلى الاسمنت $w/c=0.36$ (وزناً)، ومن ثم تحديد حجم الرمل المستخدم بالاعتماد على قاعدة الحجم المطلق. تمت إضافة الملدن في هذا البحث بنسبة 1% من وزن الاسمنت.

تم حساب وزن الماء الذي تمتصه الحصويات في ساعة (تبعاً لمحتوى الخلطة من السكوريا ونسبة امتصاصها للماء 17.7%) وهو وزن الماء الواجب إضافته للخلطة البيتونية بالإضافة لوزن ماء الخلط.

يبيّن الجدول (9) تراكيب الخلطات البيتونية المقترحة وتدل الرموز في اسم الخلطة على الحجم المطلق الذي تشغله الحصويات في الخلطة المدروسة.

**الجدول (9) تراكيب الخلطات البيتونية المقترحة**

| اسم الخلطة | وزن الإسمنت ($kg/m^3$) | وزن ماء الخلط ($kg/m^3$) | وزن حصويات السكوريا ($kg/m^3$) | وزن الرمل الطبيعي ($kg/m^3$) | وزن الماء الذي تمتصه الحصويات في ساعة ($kg/m^3$) | وزن الملدن ($kg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| M1-0.3 | 450 | 162 | 339 | 986 | 60 | 4.5 |
| M2-0.35 | 450 | 162 | 396 | 851 | 70 | 4.5 |
| M3-0.4 | 450 | 162 | 452 | 715 | 80 | 4.5 |
| M4-0.45 | 450 | 162 | 508 | 580 | 90 | 4.5 |

**3- طريقة تحضير عينات الاختبار:**

تعتبر طريقة الخلط هامة للحصول على خلطة بيتونية متجانسة وقابلية تشغيل جيدة، ولهذا السبب تم استخدام خلاط آلي، حيث وضعت حصويات السكوريا الجافة ثم أضيفت كمية الماء التي تمتصها الحصويات خلال ساعة واحدة وتركت لمدة ربع ساعة لتحسين قابلية تشغيلها وللتقليل من تأثير امتصاص الحصويات للماء على قابلية التشغيل، بعدها أضيف الرمل الجاف والاسمنت وتم الخلط لمدة دقيقتين، ثمّ أُضيف ماء الخلط والملدن واستمر الخلط لمدة ثلاث دقائق أخرى.

بعد تجهيز قوالب الصب الفولاذية وتنظيفها وتزييتها لتحضير جميع العينات المختبرة، تم وضع البيتون الطري داخل القوالب على طبقتين أو ثلاث طبقات بسماكة 5cm تقريباً. تمّ رج العينات باستخدام الطاولة الرجاجة بعد وضع كل طبقة من البيتون لوقت كافٍ كي نضمن خروج الهواء وبعد ذلك تمت تغطية سطح بيتون العينات برقائق بلاستيكية بعد تسوية سطحها. بعد 24 ساعة تمّ فك القوالب وتسمية العينات ووضعها في الماء بدرجة حرارة $20\pm2\ ^0C$ حتى وقت الاختبار. من أجل كل خلطة من الخلطات البيتونية المقترحة تم اختبار مكعبات بأبعاد 100X100X100mm

لتحديد الكثافة ومكعبات بأبعاد 150X150X150mm لتحديد المقاومة على الضغط واسطوانات بأبعاد 300X150mm لتحديد المقاومة على الضغط والمقاومة على الشد بالانفلاق.

**4- برنامج اختبار العينات البيتونية:**

أجريت مجموعة من الاختبارات على عينات البيتون الطري والمتصلب وهي:

- **قابلية التشغيل:** أجري اختبار قابلية تشغيل الخلطات البيتونية بجهاز مخروط أبرامز.
- **الكثافة الطرية** fresh density: تعتبر الكثافة من الخصائص الفيزيائية المميزة للبيتون الخفيف. تم حساب الكثافة الطرية بقسمة الوزن الطري للعينة على حجمها.
- **الكثافة التوازنية** Equilibrium Density: أو ما يسمّى بالوزن الحجمي للبيتون المتصلب (hardened unit weight):

يصل البيتون الخفيف الإنشائي للكثافة التوازنية في عمر 90 يوم وذلك حسب المواصفة ASTM C567-05 [14]. تسمح هذه المواصفة اعتبار الكثافة التوازنية (الوزن الحجمي) مساوية لقيمة الكثافة الجافة $O_m$ Oven-dry density مضافاً لها قيمة ثابتة مقدارها $50kg/m^3$. أُستخدمت عينات مكعبية أبعادها 100×100×100mm لإيجاد الكثافة الجافة في عمر 28 يوماً، ثمّ حسبت الكثافة وفق العلاقة التالية[14]:

$$O_m = \frac{D \times 997}{F - G}$$

حيث: $O_m$ تمثل الكثافة الجافة وتقاس بالـ $kg/m^3$

D : تمثل كتلة العينة المجففة في الفرن ( لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة $110^0C$ ) وتقاس بـ Kg.

F: تمثل كتلة العينة المشبع بالماء (يتم وزن العينة بعد أخذها من حوض الماء الذي تم حفظها فيه لمدة 28 يوماً وتنشيف سطحها بقطعة قماش) وتقاس بـ Kg.

G: تمثل الكتلة الظاهرية للعينة في الماء (وزن العينة في الماء) وتقاس بـ Kg.

ومن ثم حسب الوزن الحجمي $E$ وفق العلاقة التالية[14]:

$$E = O_m + 50\ kg/m^3$$

- **المقاومة على الضغط** :Compressive strength

تم إجراء اختبار المقاومة على الضغط على عينات مكعبية أبعادها 150×150×150mm وعينات اسطوانية أبعادها 300×150mm بحسب المواصفة الأمريكية ASTM C39-04 [15] في عمر 7 أيام وفي عمر 28 يوماً.

- **المقاومة على الشد بالانفلاق** Splitting tensile strength: أجري اختبار الشد بالانفلاق على عينات اسطوانية طولها 300mm وقطرها 150mm وعمرها 28 يوماً بحسب المواصفة الأمريكية ASTM C496-04 [16]

## النتائج والمناقشة:

### 1-خصائص البيتون الطري (قابلية التشغيل والكثافة الطرية):

تراوحت **قيم الهبوط** للخلطات البيتونية المدروسة ما بين 50~85mm كما هو مبيّن في الجدول(10)، إذ أظهرت النتائج انخفاض لقيمة الهبوط كلما ازداد محتوى الخلطة البيتونية من السكوريا. يمكن تفسير ذلك بأن تأثير الجاذبية يتناقص مع تناقص كثافة الخلطة البيتونية (كلما ازداد محتوى الخلطة من حصويات السكوريا الخفيفة)، وبالتالي يمكن تحسين قابلية تشغيل الخلطات الحاوية على نسب كبيرة من حصويات السكوريا بمعايرة كمية الملدن المستخدمة حتى يتم الحصول على الهبوط المطلوب.

لم يلاحظ حدوث **انفصال** أو وجود ماء على سطح البيتون أو نضح في الخلطات البيتونية المدروسة أثناء إعداد عينات الاختبار.

بالنسبة **للكثافة الطرية** للبيتون الناتج فقد تراوحت ما بين 1923–2058Kg/m$^3$ كما هو موضح في الجدول(10)، وهذا يؤدي لتخفيض أوزان العناصر البيتونية الأمر الذي يساهم في تقليل الضغط العمودي والجانبي على قوالب الصب وبالتالي تقليل كلفة أعمال تصنيع القوالب بالمقارنة مع الحالة التي يستخدم فيها البيتون العادي ذو الكثافة 2500kg/m$^3$.

### 2-خصائص البيتون المتصلب:

- **الوزن الحجمي:** يساهم الوزن النوعي المنخفض لحصويات السكوريا $\rho s=1.13$ في تخفيض الوزن الحجمي للبيتون، فقد تراوحت قيم الوزن الحجمي للبيتون الناتج ما بين (1752–1917kg/$^3$) كما يظهر الجدول(10)، في حين تتراوح قيم الوزن الحجمي للبيتون العادي ما بين (2200–2500kg/m$^3$) أي أن استخدام البيتون الخفيف بدلاً من البيتون العادي سيخفف حوالي 25% من أوزان العناصر البيتونية.

**الجدول(10) نتائج اختبار الهبوط والكثافة للخلطات البيتونية المدروسة**

| اسم الخلطة | الهبوط Mm | كثافة البيتون الطري kg/m$^3$ | الكثافة الجافة للبيتون kg/m$^3$ | الوزن الحجمي kg/m$^3$ |
|---|---|---|---|---|
| M1-0.3 | 85 | 2058 | 1870 | 1917 |
| M2-0.35 | 70 | 2000 | 1811 | 1862 |
| M3-0.4 | 55 | 1955 | 1754 | 1805 |
| M4-0.45 | 50 | 1923 | 1700 | 1752 |

ملاحظة: تمثل كل قيمة للكثافة في الجدول(10) متوسط الكثافة لثلاث عينات متماثلة.

- **المقاومة على الضغط:**

تراوحت قيم المقاومة المكعبية على الضغط للبيتون الناتج ما بين (25.2–33.4Mpa) في عمر 7 أيام و(29.3–39.7Mpa) في عمر 28 يوماً ، في حين سجلت المقاومة الاسطوانية على الضغط في عمر 28 يوماً قيماً

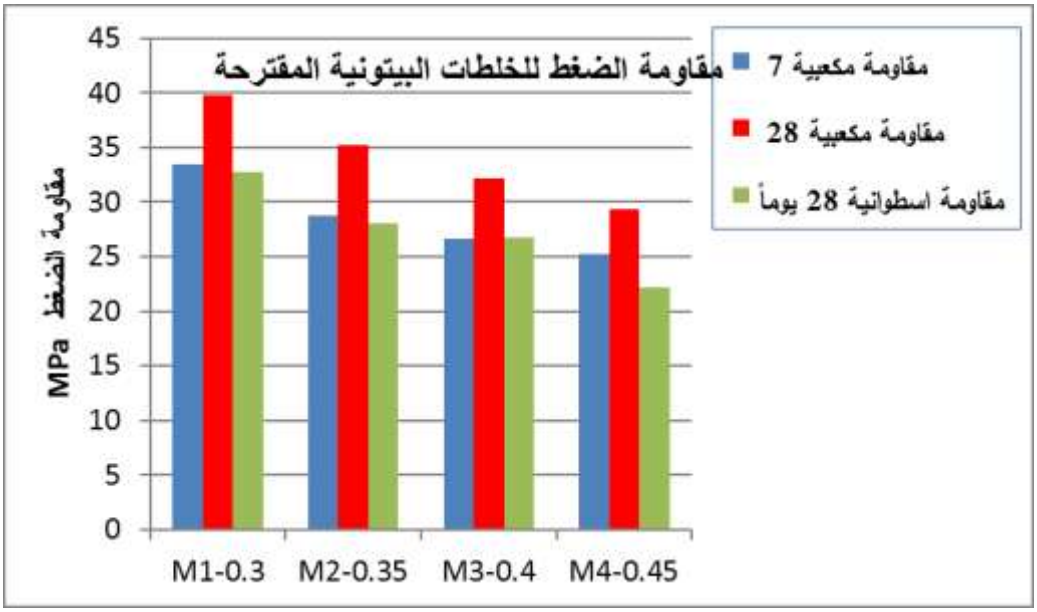
تراوحت ما بين (22.2–32.8Mpa). وتعتبر هذه المقاومات جيدة وتحقق متطلبات الكود العربي السوري لكثير من العناصر الإنشائية.

أمّا الجدول (11) فيبيّن نتائج اختبار المقاومة للخلطات البيتونية المدروسة، حيث تمثل كل قيمة متوسط المقاومة على الضغط لثلاث عينات متماثلة، وكذلك الأمر بالنسبة للمقاومة على الشد بالانفلاق.

**الجدول(11) نتائج اختبار المقاومة للخلطات البيتونية المدروسة**

| اسم الخلطة | المقاومة المكعبية على الضغط عمر 7 يوم Mpa | المقاومة المكعبية على الضغط عمر 28 يوماً Mpa | المقاومة الاسطوانية على الضغط عمر 28 يوم Mpa | المقاومة على الشد بالانفلاق عمر 28 يوم Mpa |
|---|---|---|---|---|
| M1–0.3 | 33.4 | 39.7 | 32.8 | 3.2 |
| M2–0.35 | 28.8 | 35.2 | 28 | 2.7 |
| M3–0.4 | 26.6 | 32.2 | 26.7 | 2.5 |
| M4–0.45 | 25.2 | 29.3 | 22.2 | 2.3 |

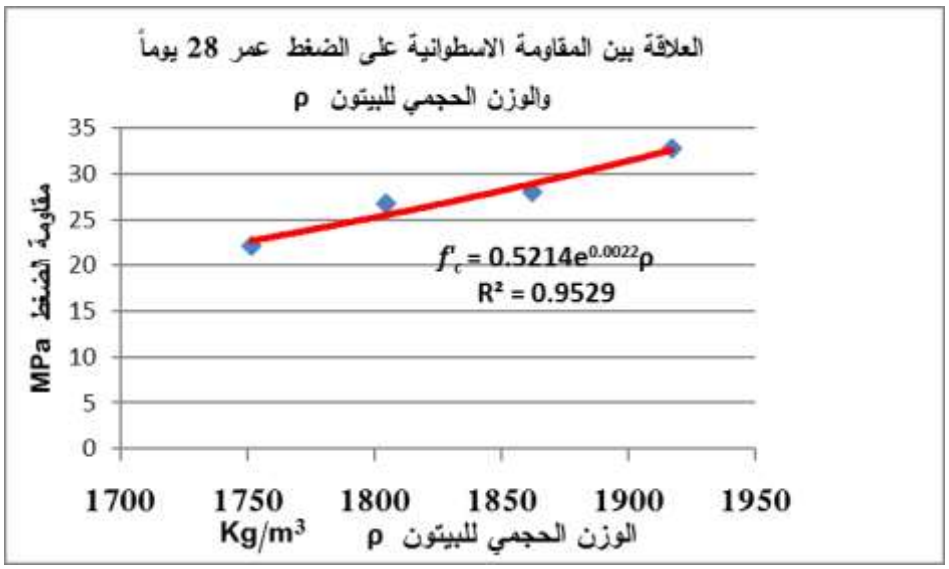
يبيّن الشكل(5) مقاومة الضغط الاسطوانية والمكعبية للخلطات البيتونية المدروسة.




**الشكل(5) المقاومة على الضغط للخلطات البيتونية المدروسة**

بالاعتماد على النتائج التجريبية لهذا البحث وبرنامج Excel تم إيجاد العلاقة التي تربط ما بين ال مقاومة الاسطوانية على الضغط في عمر 28 يوماً $f'_c$ والوزن الحجمي للبيتون $\rho$ (اللذين يمثلان الأساس التصميمي لهذا النوع من البيتون)، وهذه العلاقة هي علاقة تابع أسي كما يبيّن الشكل(6).

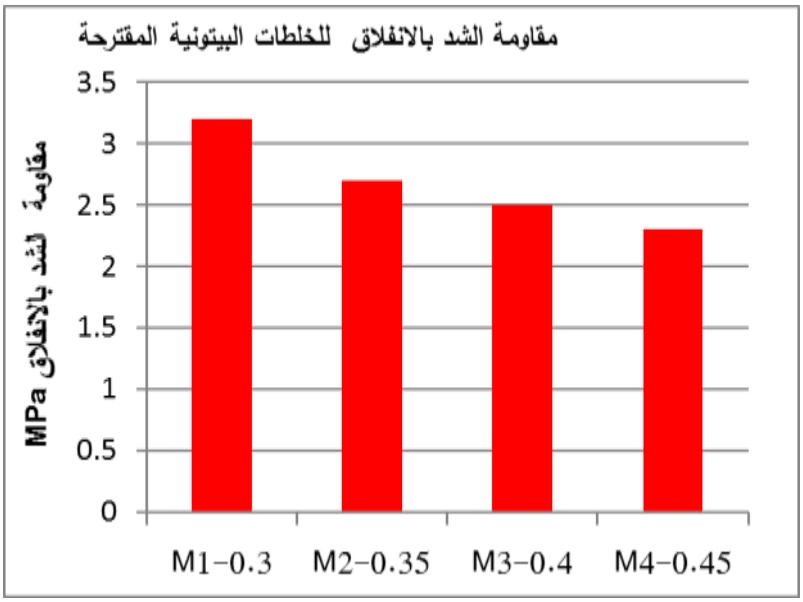
يتضح من الشكل (6) أنّ تخفيض الوزن الحجمي من $1917kg/m^3$ (وفقاً للعينة M1–0.3 ) إلى $1752kg/m^3$ (وفقاً للعينة M4–0.45) أدّى لانخفاض المقاومة الاسطوانية على الضغط بعمر 28 يوماً من (32.8 Mpa) إلى (22.2 Mpa) ، أي أنّ تخفيض الوزن الحجمي بمقدار 10% خفّض قيمة المقاومة الاسطوانية على الضغط بمقدار 32.3%، وذلك نتيجة لتزايد حصويات السكوريا المسامية الضعيفة نسبياً في العينات البيتونية. لذا فإنّ أي تغيير لمحتوى السكوريا في الخلطة البيتونية سيؤثر على قيمة المقاومة على الضغط بشكل أكبر من تأثيره على قيمة الكثافة.




**الشكل(6) العلاقة بين المقاومة الاسطوانية على الضغط والوزن الحجمي للبيتون**

- **المقاومة على الشد بالانفلاق:**

يبيّن الشكل (7) مقاومة الشد بالانفلاق للخلطات البيتونية المدروسة فقد تراوحت قيم المقاومة ما بين (2.3–3.2Mpa) في عمر 28 يوماً، وتعتبر هذه المقاومات محققة لكل من المواصفة ASTM C330–99 [9] والكود الأمريكي ACI 213R–03 [1]، إذ يُعتبر الحد الأدنى المقبول لمقاومة البيتون على الشد بالانفلاق هو 2.1Mpa بحسب [9].




**الشكل(7) مقاومة الشد بالانفلاق للخلطات البيتونية المقترحة**

## الاستنتاجات والتوصيات:

1) بيّنت الدراسة إمكانية إنتاج بيتون خفيف إنشائي من السكوريا محقق لتوصيات الكود الأمريكي ACI 213R-03 [1] (وزن حجمي لا يتجاوز $1920kg/m^3$ ومقاومة اسطوانية على الضغط لا تقل عن 17.2MPa)، إذ تراوحت قيم الوزن الحجمي للبيتون الناتج ما بين ($1752-1917\ kg/m^3$) وقيم المقاومة الاسطوانية على الضغط في عمر 28 يوماً ما بين 22.2-32.8 Mpa .

2) تراوحت قيم الكثافة الطرية للبيتون الناتج ما بين ($1923-2058kg/m^3$) وقيم الكثافة الجافة ما بين($1700-1870kg/m^3$). سجلّت المقاومة المكعبية على الضغط للبيتون الناتج قيماً تتراوح ما بين (25.2-33.4Mpa) في عمر 7 أيام و بين (29.3-39.7Mpa) في عمر 28 يوماً .

3) تمثل قيم المقاومة على الشد بالانفلاق للبيتون الناتج (2.3-3.2Mpa) في عمر 28 يوماً قيماً محققة لتوصيات ASTM C330-99 [9] والكود الأمريكي ACI 213R-03[1].

4) يوصى بإجراء دراسة لمعرفة ديمومة هذا البيتون المقترح استخدامه في المنشآت الهندسية.

5) كما يوصى بإجراء دراسة لمعرفة الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذا النوع من البيتون.

6) إجراء دراسات مستقبلية للخصائص الميكانيكية لهذا البيتون المدعم بألياف ودراسة سلوكه.

**المراجع:**


1. ACI Committee 213R-03, "*Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*",American Concrete Institute, 2003, 38.
2. Yasar, E; Atis, C; Kilic, A; Gulsen,H. " *Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash*", Materials Letters, Vol.57, 2003, 2267–2270.
3. Hossain, A. " *Blended cement and lightweight concrete using scoria: mix design, strength, durability and heat insulation characteristics*", International Journal of Physical Sciences, Vol. 1, No.1, 2006, 5-16.
4. Degirmenci,N; yilmaz,A. "*use of pumice fine aggregate as an alternative to standard sand in production of lightweight cement mortar*" Indian journal of engineering & material Sciences, vol. 18, No. 1,2011 , 61-68.
5. Parhizkar,T; Najimi,M; Pourkhorshidi,A.R. "*Application of pumice aggregate in structural lightweight concrete*" Asian journal of civil engineering (building and housing), vol. 13, No. 1,2012 , 43- 54.
6. Shannag,J; Charif,A; Dghaither,S· " *Developing Structural lightweight Concrete Using Volcanic Scoria Available in Saudi Arabia*" Arabian Journal for Science and Engineering, vol. 39, No. 5, 2014 , 3525-3534.
7. موقع المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية في سوريا.
<http://www.geology-sy.org/index.php?m=20>
8. ACI Committee 211.2. "*Standard Practical for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*", American Concrete Institute 1998, 20.
9. ASTM C 330 "*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*" 1999, 6.
10. ASTM C 127 "*Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption* of Coarse Aggregate", 2007, 7.
11. ASTM C 29 "*Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*", 2007, 5 .
12. ASTM C33 "*Standard Specification for Concrete Aggregates*", 2003, 11.
13. ASTM C128. "*Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate.* "1988, 7.
*14.* ASTM C567 "Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete", 2005, 3
*15.* ASTM C39 "*Standard Test Method for compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*",2004, *7*
*16.* ASTM C496 "*Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimen*", 2004, 5.