

## Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Concrete Aggregates Taken From Salma Area

Dr. Bassam HWAJJA\*  
Dr. Nazih MANSOUR\*\*  
Ahmad NASSER\*\*\*

(Received 23 / 5 / 2019. Accepted 16 / 6 / 2019)

### □ ABSTRACT □

The increasing urbanization of the world and the demands of new buildings in line with growing population growth are creating a major problem in securing the raw materials needed for the construction of these new buildings, especially the bulk of these materials.

This means paying attention to finding a way or ways to reduce the depletion of raw materials for the concrete industry, most importantly recycling.

Many countries have succeeded in utilizing waste in general and construction waste in particular by recycling waste and producing building materials that play the same role as conventional building materials in providing natural resources exploitation and achieving sustainability for future generations.

The main objective of the research is to study the replacement of the natural aggregates used in the concrete with recycled concrete aggregates properties resulting from the state of destruction in the Salma area according to the replacement ratios of 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, and the effect on the behavior of the concrete compared to the concrete With natural aggregates, with a better replacement ratio.

The results showed a decrease in the resistance of the concrete to pressure, tensile strength, flexural Strength and low volumetric weight as well, by increasing the ratio of replacement natural aggregates with recycled concrete aggregates.

**Keywords:** Recycle; Recycled aggregate; Natural Resources; Concrete; Mechanical properties.

---

\*Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria

\*\* Assistant Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria

\*\*\* Postgraduate student , Department Of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

## الخواص الميكانيكية للبيتون المصنع باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها مأخوذة من منطقة سلمى

د. بسام حويجة\*

د. نزيه منصور\*\*

أحمد ناصر\*\*\*

(تاريخ الإيداع 23 / 5 / 2019. قُبِلَ للنشر في 16 / 6 / 2019)

### □ ملخّص □

إن التوسع العمراني المتزايد في العالم ومنتطلبات الأبنية الجديدة المتوافقة مع تزايد النمو السكاني يولد مشكلة كبيرة تتعلق بتأمين المواد الأولية اللازمة لتشييد هذه الأبنية الجديدة، وخصوصاً الحصويات التي تشكل الحجم الأكبر من هذه المواد.

هذا يعني توجيه الاهتمام إلى إيجاد طريقة أو طرق للحد من استنزاف المواد الأولية لصناعة البيتون، وأهمها إعادة تدويره.

وقد نجحت العديد من الدول في الاستفادة من المخلفات بصفة عامة ومخلفات البناء بصفة خاصة عن طريق إعادة تدوير تلك المخلفات، وإنتاج مواد بناء تقوم بنفس الدور الذي تقوم به مواد البناء التقليدية وذلك للحد من استغلال الموارد الطبيعية وتحقيق مبدأ الاستدامة للأجيال القادمة.

إن الهدف الرئيسي للبحث هو دراسة استبدال الحصويات الطبيعية المستخدمة في البيتون بحصويات بيتونية معاد تدويرها ناتجة عن حالة الدمار في منطقة سلمى وذلك وفق نسب استبدال 0%، 25%، 50%، 75%، 100%، وتأثير ذلك على سلوك البيتون مقارنة مع البيتون ذو الحصويات الطبيعية، مع تحديد نسبة الاستبدال الفضلى. حيث أظهرت النتائج انخفاض مقاومة البيتون على الضغط والشد الفلق والانعطاف وانخفاض الوزن الحجمي أيضاً وذلك بزيادة نسبة استبدال الحصويات الطبيعية بحصويات بيتونية معاد تدويرها.

**الكلمات المفتاحية:** إعادة التدوير - حصويات معاد تدويرها - الموارد الطبيعية - بيتون - خواص ميكانيكية.

\* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مقدمة:**

في ظل الاستنزاف المخيف للموارد الطبيعية على كوكب الارض برزت الحاجة إلى العديد من التقنيات التي من خلالها إما يقلل استخدام هذه الموارد او يعاد استخدامها أو إعادة تدويرها إلى مواد أخرى صالحة للاستخدام سواء في نفس المجال الذي أخذت منه أو في مجال آخر، وخصوصاً الحصويات التي تشكل الحجم الأكبر من هذه المواد.

مع توسع المدن تضاف إلى مشكلة التخلص من النفايات المنزلية والصناعية مشكلة أخرى وهي التخلص من النفايات وأنقاض المباني، ومن المعلوم بأن هذه الأنقاض لاتتحلل بالماء أو الهواء أو بالأثنين معاً .

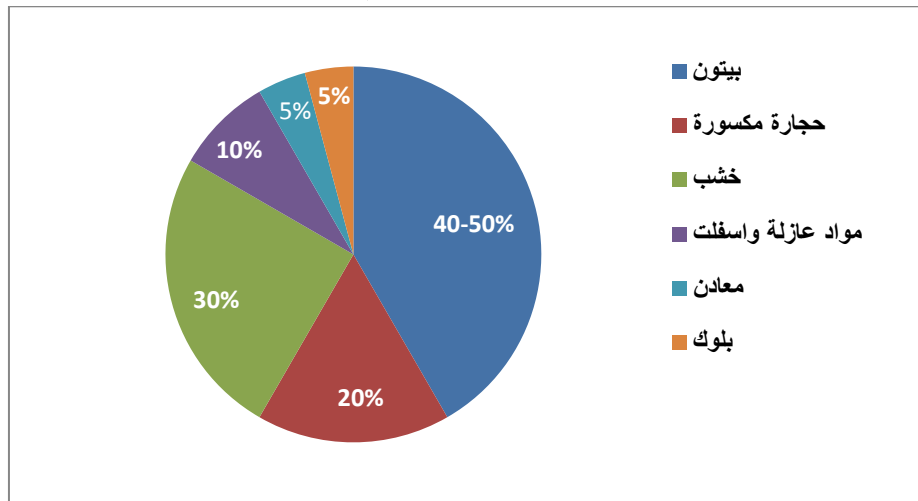
وبسبب حالة الحرب التي تعاني منها بلدنا والتي نتج عنها كميات كبيرة من أنقاض المباني التي تحتاج الى مساحات كبيرة من المكبات والتي تتطلب تكاليف عالية للنقل.

كان لابد من التفكير بمنهجية معينة للتخلص من هذه الانقاض بحيث تكون صالحة للاستخدام في الاعمال الهندسية لما لها من دور اقتصادي كبير وعاملاً مهماً في الحفاظ على البيئة.

إذا علمنا أن مخلفات البناء والهدم عند انتهاء العمر النافع للمباني والمنشآت تمثل 10-30% من كمية المخلفات التي ترمى إلى أماكن الطمر الصحي فبذلك سيتضح حجم الاثر البيئي التي تمثله هذه المخلفات [1] .

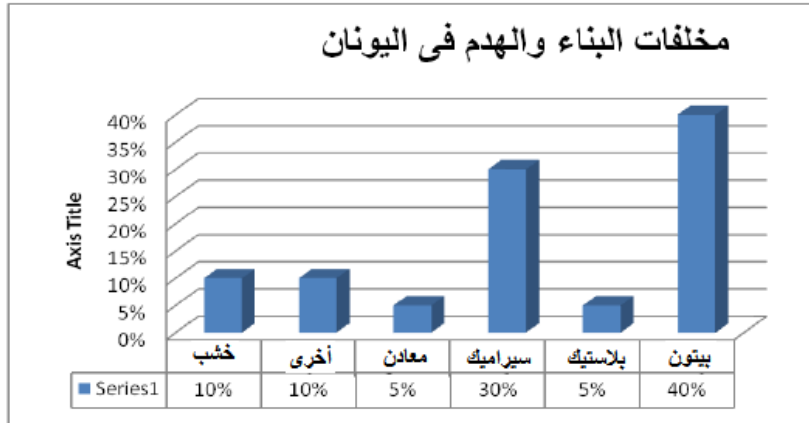
وقد بدأت العديد من الدول الاستفادة من مخلفات البناء بإجراء العديد من الأبحاث لإعادة تدويرها واستخدامها مجدداً في صناعة التشييد [2]. وقد بدأت بعض الدول في وضع المواصفات لإعادة استخدام المخلفات وخاصة المخلفات البيتونية حيث تعتبر مادة البيتون من المواد الرئيسية في عملية البناء، ومن هذه الدول الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وهولندا والمملكة المتحدة والمانيا والدنمارك [3].

كما أن نسب هذه المخلفات تختلف من بلد إلى آخر باختلاف طريقة التشييد والمواد التي تستخدم، ويوضح الشكل (1) تصنيف وكالة حماية البيئة الأمريكية لمخلفات البناء والهدم [4] .

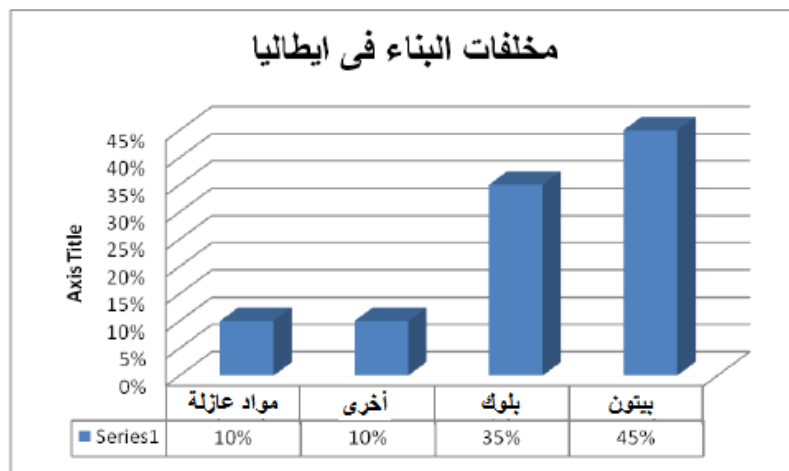


الشكل (1) : تصنيف وكالة حماية البيئة الأمريكية لمخلفات البناء والهدم [4]

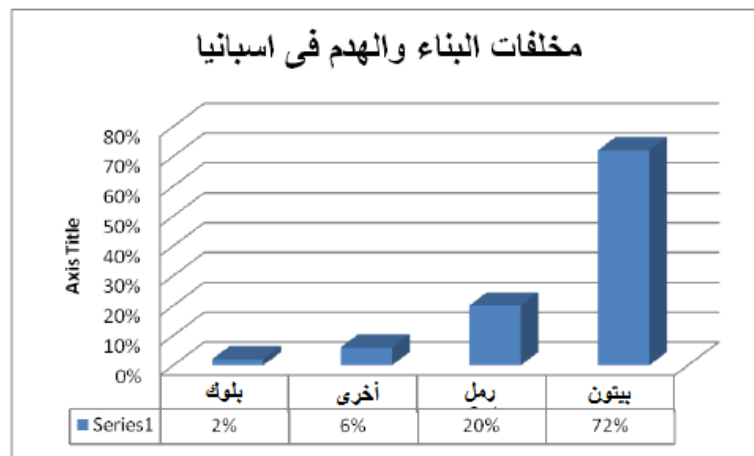
وتوضح الأشكال (2) و(3) و(4) اختلاف نسبة مخلفات البناء والهدم في بعض الدول الأوروبية [4] .



الشكل(2): مخلفات البناء والهدم في اليونان [4]



الشكل(3): مخلفات البناء والهدم في إيطاليا [4]



الشكل(4): مخلفات البناء والهدم في إسبانيا [4]

هذا يعني توجيه الاهتمام إلى إيجاد طريقة أو طرق للحد من استنزاف المواد الأولية لصناعة البيتون، وأهمها إعادة تدويره لأنه ضروري من ناحية الحفاظ على البيئة و من ناحية الاستفادة الفعالة من الموارد. لهذا نلاحظ وجود أبحاث مهمة حول هذا الموضوع نبين بعض النقاط الهامة فيها:

قامت دراسات عده بالبحث في خواص الحصويات المعاد تدويرها وخصائص البيتون المنتج منه، وقد توصل كثير من الباحثين [5,6] إلى أنها تختلف عن الحصويات الطبيعية بنواح عده أهمها أن الكثافة أقل، امتصاص أكبر للماء، وفاقد الاهتراء أعلى وذلك بسبب المونة الاسمنتية القديمة التي تبقى ملتصقة على سطح الحصويات المعاد تدويرها. كما أن الاختلاف في الشكل والحجم والملمس بين الحصوات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها يؤثر على المنطقة الانتقالية الرابطة بين الحصويات والعجينة الإسمنتية وبالتالي يؤثر على المقاومة [7,8].

أيضا فيما يخص الخصائص الميكانيكية لهذا النوع من البيتون فقد توصل العديد من الباحثين [9,10,11] إلى أن مقاومة الضغط ومعامل المرونة للبيتون المنتج من حصويات معاد تدويرها أقل مقارنة مع قيمها في البيتون التقليدي وخاصة عندما تكون نسبة الاستبدال للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها 100%.

سنحاول في بحثنا هذا دراسة مدى إمكانية الاستفادة من ركام البيتون واستخدامه كحصويات بيتونية في تكوين بيتون جديد بمقاومات جيدة ليستخدم في الأعمال الإنشائية.

### أهمية البحث و أهدافه:

تتدرج أهمية البحث تحت ثلاثة نقاط رئيسية :

- الحفاظ على الموارد الطبيعية والحفاظ على البيئة وهو جوهر أي تطور.
  - التخلص من الكميات الكبيرة من الحصويات البيتونية (الناجمة عن الهدم) و التي ينتهي بها الأمر في مكبات غير قانونية .
  - تقليل تكلفة نقل هذه المخلفات إلى المكبات وما يتبع عن ذلك من استهلاك للطاقة.
- يهدف البحث إلى :

- ❖ دراسة إمكانية إنتاج بيتون من مخلفات الهدم.
- ❖ دراسة خصائص البيتون المصنع من هذه المخلفات في حالته الطرية و الصلبة، و من ثم إجراء دراسة لمقارنة خصائص هذا البيتون مع البيتون العادي التقليدي.

### طرائق البحث و مواده:

اعتمدنا النهج التجريبي في إعداد هذا البحث، ونبين فيما يلي المواد و الاختبارات المستخدمة في عملنا:

1- المواد:

**1-1- الإسمنت (Cement):** تم استخدام الصنف الأول من الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج محلياً ذو الصنف 32.5 MPa.

**1-2- الحصويات (Aggregates):** تم استخدام الحصويات الطبيعية و الحصويات المعاد تدويرها والتي تم اعتمادها من بقايا مبنى متهدم في منطقة سلمى، حيث تم تكسيورها باستخدام الكسارة الموجودة في مخابر كلية الهندسة المدنية الشكل (5)، و كان المقاس الاعتياري للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها يساوي (25 mm)،

ويوضح الشكلان (6) و (7) البقايا البيتونية قبل التكسير وبعده، و التوزيع الحجمي للحبيبات مطابق للشروط و المواصفات وفق الكود العربي السوري.  
الخواص الميكانيكية للحصويات الخشنة الطبيعية و المعاد تدويرها مبينة في الجدول (1).



الشكل (6): الكتل البيتونية قبل التكسير



الشكل (7): الحصويات البيتونية الناتجة عن عملية إعادة التدوير

الجدول (1): الخصائص الفيزيائية للحصويات الطبيعية و الحصويات المعاد تدويرها

| نوع الحصويات        | التدرج (mm) | الوزن الحجمي (kN/m <sup>3</sup> ) | الامتصاص (%) | الفاقد بالاهتراء (%) |
|---------------------|-------------|-----------------------------------|--------------|----------------------|
| حصويات طبيعية       | 5 – 25      | 25.04                             | 2.1          | 19.2                 |
| حصويات معاد تصنيعها | 5 – 25      | 23.91                             | 5.9          | 29.7                 |

• ولمعرفة الوزن الحجمي ومقاومة الضغط لبيتون المبنى القديم الذي تم هدمه تم تحضير عينات مكعبية من الكتل البيتونية المأخوذة من الموقع المتضرر موضحة في الشكل (8)، ويوضح الجدول (2) نتائج الاختبارات.



الشكل (8): العينات المكعبية المحضرة من الكتل البيتونية للمبنى المهدم

الجدول(2): الوزن الحجمي و مقاومة الضغط للعينات المكعبية المحضرة من الكتل البيتونية للمبنى المهذوم

| العينة  | الأبعاد (m) | الوزن الحجمي<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | المقاومة<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1       | 0.1*0.1*0.1 | 22.40                                | 13.7                             |
| 2       | 0.1*0.1*0.1 | 22.12                                | 14.5                             |
| 3       | 0.1*0.1*0.1 | 24.20                                | 13.2                             |
| المتوسط | -           | 22.91                                | 13.8                             |

1-3- أما بالنسبة للرمال فقد تم استخدام رمل ناعم طبيعي و رمل خشن في جميع الخلطات البيتونية المستخدمة في هذا البحث. يبين الجدول (3) الخصائص الفيزيائية للرمال المستخدم.

الجدول(3): الخصائص الفيزيائية للرمال الناعم و الرمل الخشن

| نوع الرمل      | التدرج (mm) | المكافئ الرملي (%) | معادل النعومة | نسبة المزج (%) | معادل النعومة لمزيج النوعين |
|----------------|-------------|--------------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| رمل ناعم طبيعي | 0 – 1.18    | 83                 | 1.72          | 42             | 2.9                         |
| رمل خشن        | 0 – 5       | 85                 | 3.74          | 58             |                             |

1-4- تم اختبار مجموعة من المدنات والتحقق من مدى فعاليتها من أجل الحصول على درجة تشغيل مناسبة، واستطعنا تأمين ملدن (Plasticizer) المصنع حسب المواصفات الأمريكية (ASTM C494) (TYPE-F)، وتم استخدامه في جميع الخلطات البيتونية بنسبة (1%) من وزن الاسمنت.

2- **الخلطات البيتونية (Concrete mixes)**: تم اعتماد طريقة درو- غوريس (Dreux - Gorisse) لتصميم الخلطة البيتونية مع مقاومة اسطوانية مطلوبة تساوي 25MPa. حيث تم استخدام اسمنت عيار 350 kg/m<sup>3</sup> و نسبة ماء إلى إسمنت 0.51 في جميع الخلطات البيتونية. يشير الرمز (NA) إلى الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات طبيعية، أما الرمز (25) فيدل على الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها بنسبة استبدال 25% من الحصويات الطبيعية، وهكذا.

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%، 25%، 50%، 75%، 100%.

الجدول(4): مكونات و نسب الخلطات من أجل (1 m<sup>3</sup>)

| النسبة المئوية للحصويات المعاد تدويرها% | النسبة المئوية للحصويات المعاد تدويرها% | نسبة ماء/ اسمنت | وزن الإسمنت (kN) | وزن الحصويات الطبيعية (kN) | وزن الحصويات المعاد تصنيعها (kN) | وزن الماء الخلط (l) | وزن رمل خشن (kN) | وزن رمل ناعم (kN) |
|---|---|-----------------|------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| 0                                       | 0                                       | 0.51            | 3.50             | 10.62                      | -                                | 180                 | 2.38             | 4.23              |
| 25                                      | 25                                      | 0.51            | 3.50             | 7.10                       | 3.09                             | 180                 | 2.44             | 4.33              |
| 50                                      | 50                                      | 0.51            | 3.50             | 5.56                       | 5.56                             | 180                 | 2.44             | 4.33              |

|      |      |     |       |      |      |      |     |        |
|------|------|-----|-------|------|------|------|-----|--------|
| 4.23 | 2.38 | 180 | 7.14  | 2.98 | 3.50 | 0.51 | 75  | RA 75  |
| 4.43 | 2.50 | 180 | 10.69 | -    | 3.50 | 0.51 | 100 | RA 100 |

**3- تحضير و صب العينات:** تم خلط الحصىات البيتونية المعاد تدويرها مع الحصىات البيتونية الطبيعية ثم اضافة الرمل و من ثم الإسمنت إلى الخليط حيث تم الخلط في حوض جباله بيتونية في المخبر الشكل (9)، بعد ذلك تمت إضافة الماء إلى الخليط و ترك جزء منه لأجل مزجه مع الملدن و استمر الخلط حتى تجانس المزيج و من ثم اجريت اختبارات قياس قابلية التشغيل ثلاث مرات لكل خلطة و ذلك باستخدام مخروط أبرامز. بعد هذا تم خلط البيتون مرة أخرى و من ثم صب 6 عينات أسطوانية بأبعاد 150\*300mm و 3 عينات موشورية بأبعاد 100\*100\*500mm لكل نسبة استبدال، و دكها بواسطة قضيب معدني الشكل (10)، و وضعها في قوالب معدنية الشكل (11)، ثم تم فك القوالب بعد يوم كامل و وضعها في حوض مياه درجة حرارته محققة للشروط النظامية. و بعد مرور 28 يوم تم اختبار العينات الأسطوانية لمعرفة مقاومتها على الضغط البسيط، والشد بالفلق، والشد بالانعطاف، و رسم منحني (الإجهاد-تشوه) حتى الانهيار، و قياس عامل المرونة (EC).



الشكل (9) : الجباله البيتونية – كلية الهندسة المدنية جامعة تشرين



الشكل (11) : صب العينات في قوالب اسطوانية و موشورية



الشكل (10) : دك الخلطة البيتونية بواسطة قضيب معدني



#### 4- إعداد التجربة و آلية الاختبار:

جهاز الاختبار المستخدم المبين في الشكل (12) هو جهاز ضغط كهربائي هيدروليكي ذو طراز MATEST-CYBER-PLUS EVOLUTION-105N يتم التحكم فيه بواسطة حاسوب صغير. خلال التجربة تمت المحافظة على سرعة تحميل (4kN/s) وذلك للحصول على مقاومة الضغط الأعظمية و مخطط (إجهاد - تشوه)، حيث أن قيمتي الضغط المحوري والانتقال الطولي يتم تسجيلها آلياً بواسطة حاسب الجهاز من خلال حساس الانتقال الطولي. إن الانتقال الشاقولي المقاس هو الانتقال للجزء ذي الطول (165mm) في وسط العينة الاسطوانية البيتونية. يتوقف التحميل عند 30% من قيمة الحمولة الأعظمية.



الشكل (12): جهاز اختبار العينات البيتونية على الضغط البسيط - رسم منحنى (إجهاد - تشوه)

أما فيما يخص اختبار العينات على الفلق تم استخدام جهاز من نوع SEIDNER، وعلى الانعطاف تم استخدام جهاز من نوع AMSLER، وذلك في مخبر تجريب المواد واعتمدنا سرعة التحميل التي ينص عليها الكود السوري [12].

#### النتائج و المناقشة:

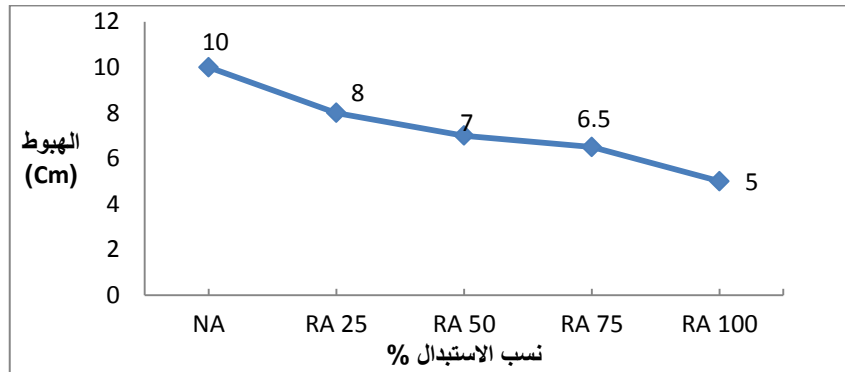
##### 1-الحصويات المعاد تدويرها :

إن الخواص الفيزيائية للحصويات البيتونية المعاد تدويرها تختلف عن الخواص الفيزيائية للحصويات الطبيعية، و كما يوضح الجدول (1) فإن الوزن الحجمي للحصويات البيتونية المعاد تدويرها ( $23.91\text{kN/m}^3$ ) أقل من الوزن الحجمي للحصويات الطبيعية ( $25.04\text{kN/m}^3$ )، بينما زادت نسبة الامتصاص للحصويات البيتونية المعاد تدويرها عن الحصويات الطبيعية بمقدار أكثر من الضعف، فكانت نسبة امتصاص الحصويات البيتونية المعاد تدويرها (5.9%) بينما كانت للطبيعية (2.1%). كما يلاحظ من الجدول (1) أن قيمة فاقد الاهتراء تأثرت بشكل كبير حيث كان فاقد الاهتراء وفقاً لاختبار لوس أنجلس للحصويات البيتونية المعاد تدويرها (29.7%) أكبر من نظيرتها الطبيعية (19.2%). هذا التغير في الخصائص سببه المونة الاسمنتية القديمة التي بقيت ملتصقة على سطح الحصويات البيتونية المعاد

تدويرها والذي تم الحصول عليه من تكسير البيتون القديم، فجعلت كثافته أقل، امتصاصه أعلى وفاقده اهترائه أكبر من الحصويات الطبيعية.

## 2- قابلية التشغيل:

أظهرت نتائج اختبارات قابلية التشغيل بواسطة مخروط أبرامز انخفاض قابلية التشغيل للخلطات البيتونية كلما زادت نسبة استبدال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها بالحصويات الطبيعية مثلما يوضح الشكل (13).



الشكل (13): تغير قابلية التشغيل (الهبوط) مع زيادة نسبة الاستبدال

يبين الشكلان (14،15) انخفاض قابلية التشغيل للبيتون ذو الحصويات البيتونية المعاد تدويرها بنسبة (100%) إلى النصف مقارنة بالبيتون ذو الحصويات الطبيعية، وهذا الأمر يعود إلى الامتصاص الكبير للحصويات البيتونية لماء الخلط مقارنة بالحصويات الطبيعية.



الشكل (15): هبوط الخلطة البيتونية المصنعة من حصويات طبيعية



الشكل (14): هبوط الخلطة البيتونية عند نسبة استبدال (100%)

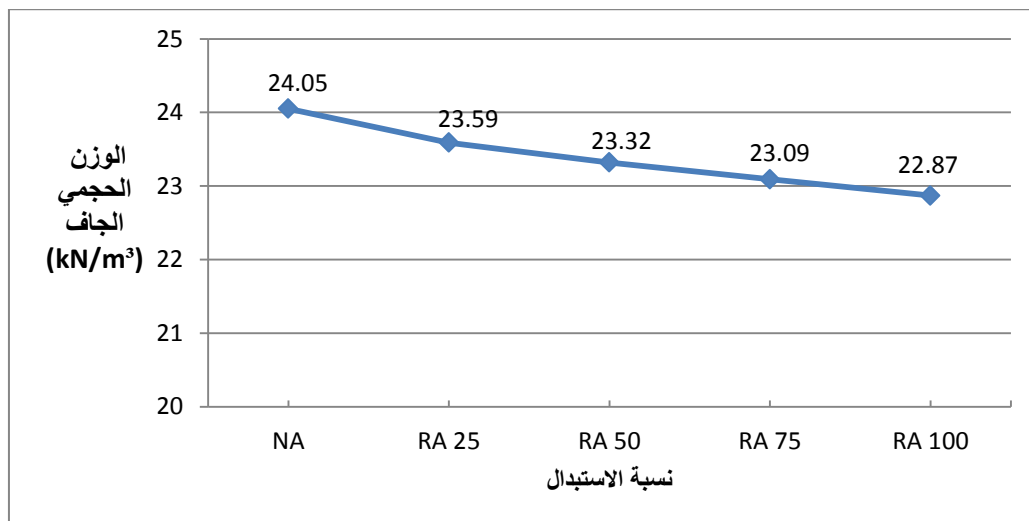
## 3- الوزن الحجمي للبيتون:

يظهر الجدول (5) قيم الأوزان الحجمية المحسوبة و الأوزان الحجمية في الحالتين الرطبة عند الصب و الجافة على عمر 28 يوم، حيث انخفضت قيم الوزن الحجمي في جميع الحالات بازدياد نسبة استبدال الحصويات البيتونية المعاد تدويرها بالحصويات الطبيعية، وتراوحت قيمها من  $23.21 \text{ kN/m}^3$  حتى  $24.63 \text{ kN/m}^3$  وهي في الحالة الرطبة و بين  $22.87-24.05 \text{ kN/m}^3$  وهي في الحالة الجافة في اليوم 28.

الجدول (5): الأوزان الحجمية للبيتون لجميع الخلطات

| وزن حجري رطب<br>$\Delta_0 (W) (kN/m^3)$ | وزن حجري جاف<br>$\Delta_0 (D) (kN/m^3)$ | وزن حجري نظري (محسوب)<br>$\Delta_0 (C) (kN/m^3)$ | نسبة الاستبدال |
|---|---|--|----------------|
| 24.63                                   | 24.05                                   | 22.5   | NA             |
| 24.17                                   | 23.59                                   | 22.91  | RA25           |
| 23.75                                   | 23.32                                   | 22.21  | RA50           |
| 23.48                                   | 23.09                                   | 22.90  | RA75           |
| 23.21                                   | 22.87                                   | 21.72  | RA100          |

من الشكل (16) يمكن ملاحظة أن الوزن الحجمي ينخفض كلما زاد محتوى الخلطة البيتونية من الحصويات المعاد تدويرها، ويعود ذلك إلى انخفاض الوزن الحجمي للحصويات المعاد تدويرها بالمقارنة مع الحصويات الطبيعية نتيجة المونة الاسمنتية القديمة التي تبقى ملتصقة بسطحه.



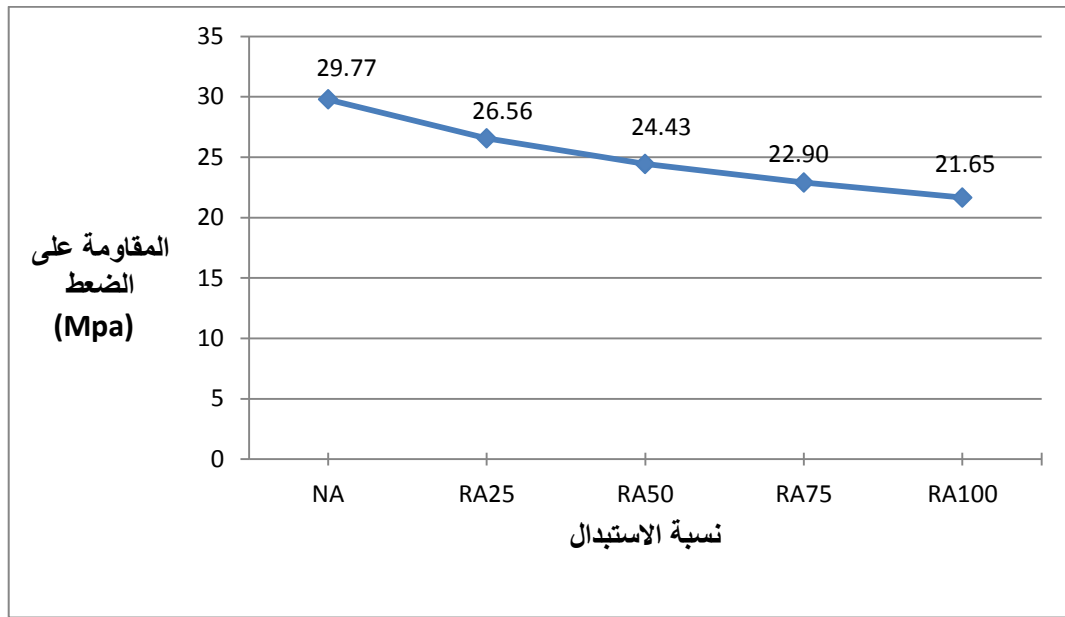
الشكل (16): الوزن الحجمي الجاف كتابع لنسبة الاستبدال

#### 4- مقاومة الضغط:

يوضح الجدول (6) قيم المقاومات على الضغط للعينات الأسطوانية على عمر 28 يوم للبيتون ذو الحصويات المعاد تدويرها بالنسب (RA100، RA75، RA50، RA25) مقارنة مع البيتون ذو الحصويات الطبيعية (NA) حيث كل قيمة هي وسطي مقاومة الضغط لثلاث أسطوانات، ويظهر الشكل (17) انخفاض مقاومة البيتون بزيادة نسبة استبدال الحصويات. نلاحظ أن مقاومة الضغط للبيتون RA25 الموافق لنسبة استبدال حصويات 25% هو أقرب لمقاومة البيتون الطبيعي NA من بقية الخلطات حيث انخفضت مقاومته بمقدار 11% عن مقاومة البيتون الطبيعي مقارنة بـ 18%، 23%، 28% للنسب RA100، RA75، RA50 على التوالي.

الجدول(6): قيم مقاومات العينات الأسطوانية على الضغط عند عمر 28 يوم

| RA100 | RA75  | RA50  | RA25  | NA    | المقاومة على الضغط (MPa) |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| 22.37 | 22.73 | 24.85 | 26.49 | 28.57 |                          |
| 20.13 | 23.63 | 23.93 | 27.25 | 30.98 |                          |
| 22.46 | 22.35 | 24.52 | 25.93 | 29.75 |                          |
| 21.65 | 22.90 | 24.43 | 26.56 | 29.77 | المتوسط                  |



الشكل (17) : تغير المقاومة على الضغط بدلالة نسبة الاستبدال

##### 5- أنماط الانهيار:

يبين الشكل (18) أنماط الانهيار الموافقة للبيتون المعاد تدويره مقارنة مع البيتون الطبيعي، حيث نلاحظ أن البيتون يزداد هشاشة والانهيار يصبح مفاجئاً كلما زادت نسبة الاستبدال.



NA



RA25

RA50

RA75

RA100

الشكل(18): أنماط الانهيار للبيتون المعاد تدويره مقارنة مع البيتون الطبيعي

#### 4-6- المقاومة على الشد بالفلق:

يبين الشكل (19) العينات التي تم اختبارها على جهاز الشد بالفلق. ويبين الجدول (7) قيم هذه المقاومات لجميع الخلطات البيتونية لعمر 28 يوم، حيث كل قيمة هي وسطي مقاومة الشد بالفلق لثلاث أسطوانات. من الشكل (20) نلاحظ انخفاض المقاومة على الشد بمقدار 13%، 20%، 28%، 30% على التوالي لـ RA100، RA75، RA50، RA25.



NA



RA25



RA50



RA75

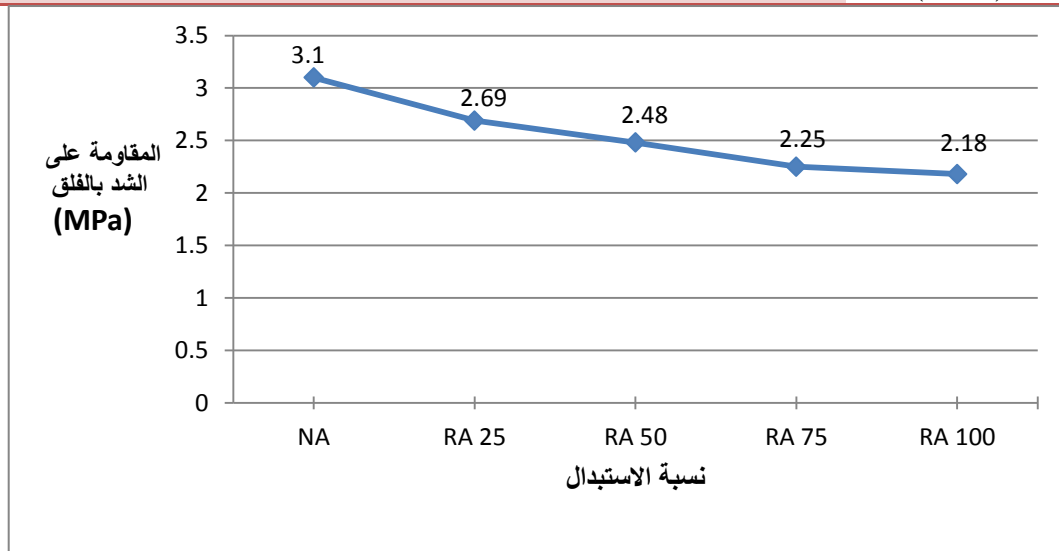


RA100

الشكل (19) : اختبار العينات على الشد بالفلق

الجدول (7) : قيم المقاومة على الشد بالفلق لجميع الخلطات البيتونية عند عمر 28 يوم

| RA100 | RA75 | RA50 | RA25 | NA  | المقاومة على الشد بالفلق (MPa) |
|-------|------|------|------|-----|--------------------------------|
| 2.18  | 2.25 | 2.48 | 2.69 | 3.1 |                                |



الشكل (20) : تغير المقاومة على الشد بالفلق بدلالة نسبة الاستبدال

## 7- المقاومة على الشد بالانعطاف:

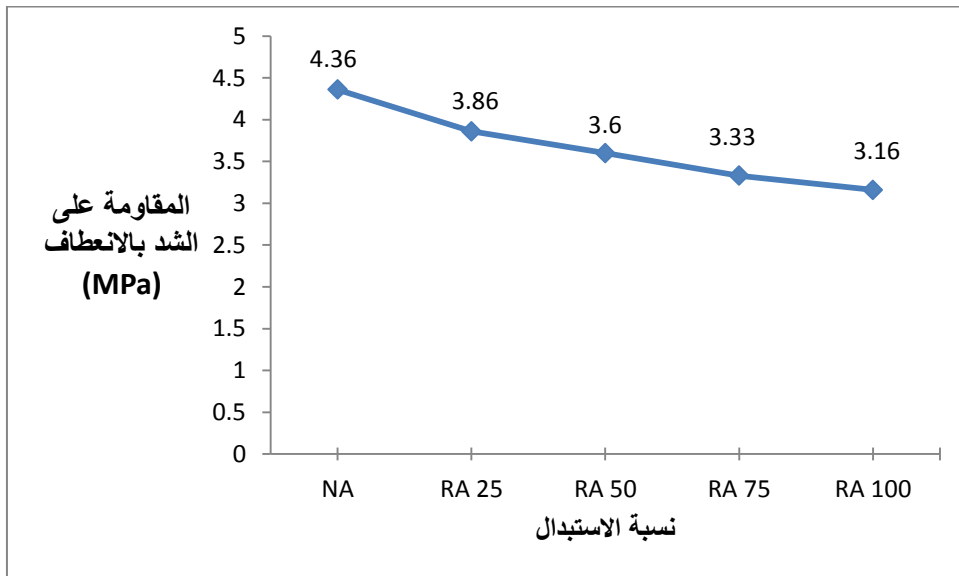
يبين الشكل (21) العينات التي تم اختبارها على جهاز الشد بالانعطاف. ويبين الجدول (8) قيم هذه المقاومات لجميع الخلطات البيتونية لعمر 28 يوم، حيث كل قيمة هي وسطي مقاومة الشد بالانعطاف لثلاث مواشير. من الشكل (22) نلاحظ انخفاض المقاومة على الانعطاف بمقدار 12%، 18%، 24%، 28% على التوالي ل RA100، RA75، RA50، RA25.

الجدول (8) : قيم المقاومة على الشد بالانعطاف عند عمر 28 يوم

| RA100 | RA75 | RA50 | RA25 | NA   | المقاومة على الشد بالانعطاف (MPa) |
|-------|------|------|------|------|-----------------------------------|
| 3.16  | 3.33 | 3.60 | 3.86 | 4.36 |                                   |



الشكل (21) : اختبار العينات على الشد بالانعطاف



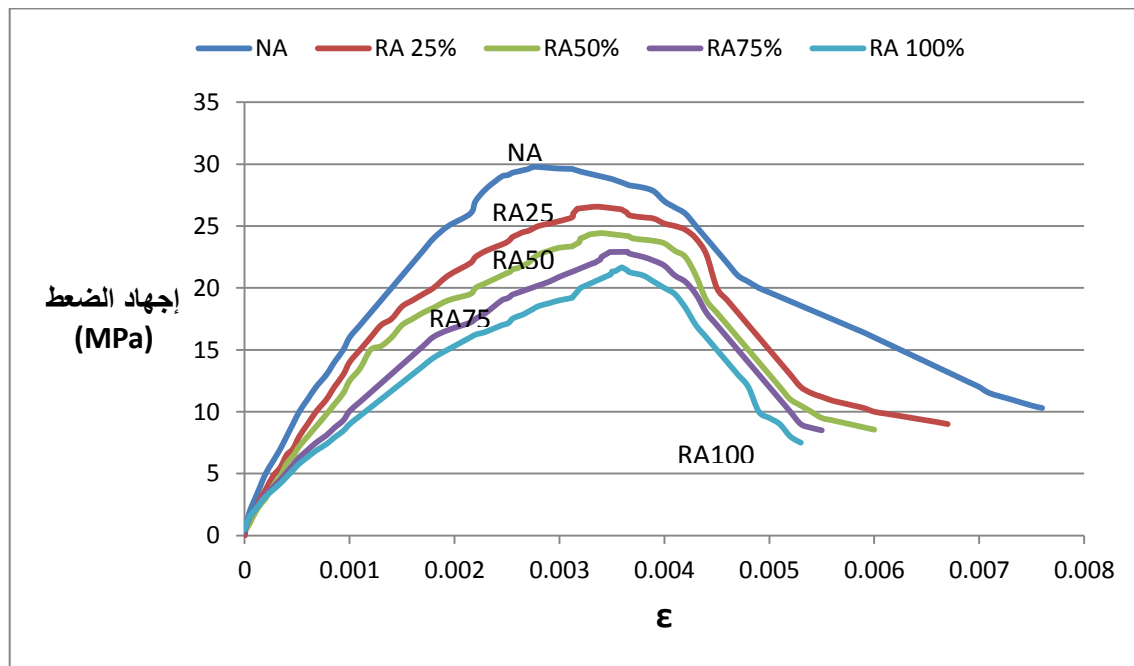
الشكل (22): تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة نسبة الاستبدال

**8- مخططات (إجهاد – تشوه):**

إن مخططات (إجهاد- تشوه) للبيتون الطبيعي والبيتون المعاد تدويره بنسبه المختلفة والمبينة في الشكل (23) توضح ان نسب الاستبدال لها تأثير واضح على سلوك البيتون، إلا أن الشكل العام لمنحني (إجهاد – تشوه) للبيتون المعاد تدويره مشابه لنظيره في البيتون الطبيعي بغض النظر عن نسب الاستبدال .

نلاحظ أيضاً أن التشوهات للبيتون المعاد تدويره بمختلف نسب الاستبدال تزداد مقارنةً بالتشوه للبيتون الطبيعي تحت تأثير الحمولات ذاتها، ويعود ذلك إلى انخفاض قيم عامل مرونة البيتون ذو الحصى المعاد تدويرها.

يمكن تقسيم مخطط (إجهاد – تشوه) للعينات الناتجة إلى قسم صاعد وقسم هابط. يتكون القسم الصاعد من جزئين: خطي يبدأ من بداية التحميل حتى حوالي 35% من الحمولة الأعظمية، ليبدأ الجزء اللاخطي من المنحني والذي ينتهي عند بلوغ الحمولة الأعظمية. أما القسم الهابط يبدأ من الحمولة الأعظمية حتى الانهيار، ويتميز هذا القسم بميلان أكثر حدة للبيتون ذو الحصى المعاد تدويرها مقارنةً بالبيتون الطبيعي، وهذا يؤكد ملاحظتنا أن البيتون ذو الحصى المعاد تدويرها يكون أكثر هشاشةً بقليل من عينات البيتون ذو الحصى الطبيعية.



الشكل (23) : المنحنيات التجريبية (إجهاد-تشوه) بدلالة نسبة الاستبدال

**9- عامل المرونة ( $E_c$ ):**

يبين الجدول (9) قيم عامل المرونة التي قمنا تم حسابها من المنحنيات التجريبية (إجهاد- تشوه) المنجزة، وذلك بالاعتماد على الجزء المرن من القسم الصاعد (35% من الاجهاد الاعظمي)، وفق العلاقة :

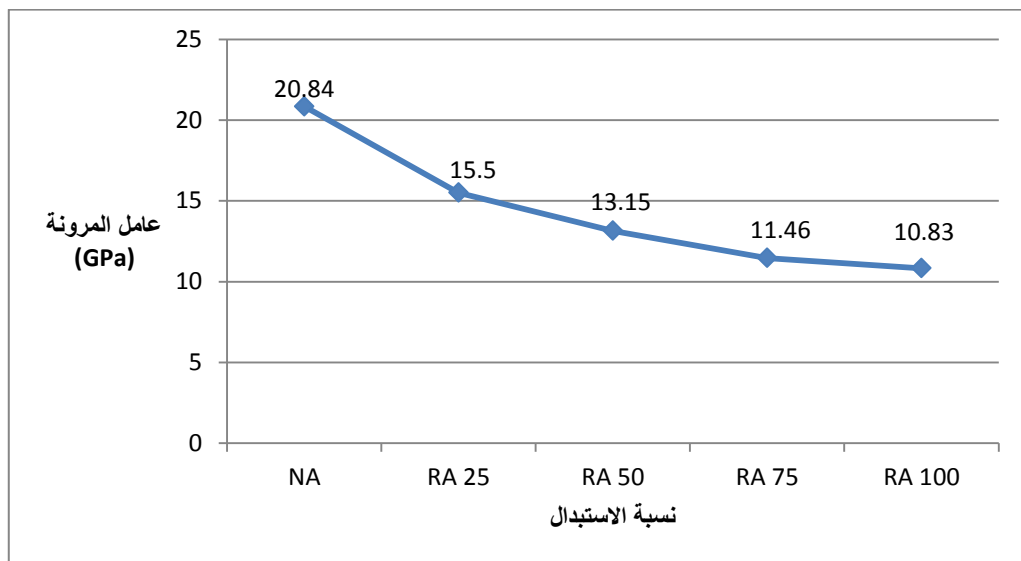
$$E_c = \frac{\sigma_{0.35}}{\epsilon_{0.35}}$$



يبين الشكل (24) انخفاض قيم هذا العامل مع زيادة نسبة الاستبدال بمقدار 26%، 37%، 45%، 48% للنسب RA25، RA50، RA75، RA100 على الترتيب.

الجدول (9) : قيم عامل المرونة عند عمر 28 يوم

| RA100 | RA75  | RA50  | RA25 | NA    | عامل المرونة (GPa) |
|-------|-------|-------|------|-------|--------------------|
| 10.83 | 11.46 | 13.15 | 15.5 | 20.84 |                    |



الشكل (24): تغير عامل المرونة بدلالة نسبة الاستبدال

### الاستنتاجات والتوصيات:

في هذا البحث تم إجراء دراسة تجريبية لمعرفة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون ذو الحصويات المعاد تدويرها بنسب استبدال مختلفة (25%، 50%، 75%، 100%) وذلك في حالتيه الرطبة والصلبة، و توصلنا إلى الاستنتاجات التالية:

- ينخفض الوزن الحجمي الرطب للبيتون بمقدار (2%، 4%، 5%، 6%) على التوالي، بينما الوزن الحجمي الجاف للبيتون ينخفض بمقدار (2%، 3%، 4%، 5%) على التوالي.
- كما تنخفض قابلية التشغيل أيضاً بمقدار (20%، 30%، 35%، 50%) على التوالي.
- أما فيما يخص المقامات فإن :
- المقاومة على الضغط انخفضت بمقدار (11%، 18%، 23%، 28%) على التوالي.
- المقاومة على الشد بالفلق انخفضت بمقدار (13%، 20%، 28%، 30%) على التوالي.
- المقاومة على الشد بالانعطاف انخفضت بمقدار (12%، 18%، 24%، 28%) على التوالي.

- إن الانهيار للبيتون ذو الحصىيات المعاد تدويرها أكثر هشاشة مقارنة مع البيتون العادي.
  - تأثر عامل مرونة البيتون بزيادة نسبة الاستبدال ايضاً حيث انخفض بمقدار (26%، 37%، 45%، 48%) على التوالي.
- نصح باستخدام بيتون ذو حصىيات معاد تدويرها بنسبة استبدال 25% حيث أعطت نتائج متقاربة نسبياً مع البيتون ذو الحصىيات الطبيعية.
- ونظراً لأهمية هذا الموضوع وبهدف تحسين سلوك هذا النوع من البيتون، ننصح بإنجاز أبحاث مع إضافة ألياف بأنواع مختلفة كالألياف البلاستيكية أو الزجاجية أو الكربونية.

### المراجع:

1. المحسن، محمد. إعادة تدوير مخلفات الخرسانة، جامعة البريمي كلية الهندسة (سلطنة عمان). منظمة المجتمع العربي 2016.
2. Al-Sabbagh, N., "Utilization of recycled aggregates in concrete mixes", Ms.C. Project Report, Department of Civil Engineering, Kuwait University, Kuwait, 2002.
3. Hansen, T., "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", E & FN Spon, London, UK, 1992.
4. فجال، أحمد. تدوير مخلفات البناء والتشييد والحفاظ على البيئة، مركز البحوث والاسكان، القاهرة 2018.
5. MURALI, G .;VIVEK ,C .M ;RAJAN , G ; GANANI ,N . Experimental Study On Recycled Aggregate Concrete . International Journal of Engineering Research and Applications , vol 2,2012.407-410.
6. Malešev, M ..RADONJANIN,V..MARINKOVIC , S . Recycled Concrete Aggregate for structural Concrete Production sustainability. VOL 2,2010.1204-1225.
7. JANKOVIC,K;NIKOLIC D.BOJOVI,D.;LONCAR,L.ROMAKOV,Z . The Estimation of compressive strength of normal and Recycled Concrete Aggregate . Architecture and Civil Engineering . VOL .9.No3,2011.419-431.
8. TAM, V.W.; GAO, X. F .;TAM, C .M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. Cement and Concrete Research , vol 35,2005.1195-1203.
9. فاضل، عماد. تغير الخواص الميكانيكية للبيتون المصنع باستخدام الحصىيات المعاد تدويرها، مجلة جامعة تشرين العدد الرابع، 2016.
- 10.KATZ , A; Properties of made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. Cement and Concrete research ,VOL 33.2003,703-711.
11. RAHAL ,KH .Mechanical properties of Concrete with recycled coarse Aggregate. Building and Environment .VOL42, 2007,407-415.
12. الكود العربي السوري، تصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، 2012.