

تغير الخواص الميكانيكية للبيتون المصنع باستخدام الحصويات البيتونية المعاد تدويرها

الدكتور عماد فاضل*

(تاريخ الإيداع 15 / 6 / 2016. قُبِلَ للنشر في 10 / 8 / 2016)

□ ملخص □

أدت الزيادة الكبيرة في حجم نفايات الهدم البيتونية وتأثيرها على البيئة إلى إعادة النظر في استخدام ركام الهدم البيتوني كبديل جزئي أو كلي عن الحصويات الطبيعية، والعمل على إنتاج بيتون جديد يحقق الخواص المطلوبة لاستخدامه في المنشآت الهندسية [1]. مع التنويه إلى إمكانية تحسين بعض الخصائص الميكانيكية لهذا البيتون من خلال معالجة هذه الحصويات قبل استخدامها، أو تدعيم هذا البيتون بالألياف لتحسين سلوكه الإنشائي. يعالج هذا البحث دراسة استبدال الحصويات الطبيعية المستخدمة في البيتون بحصويات بيتونية معاد تدويرها ناتجة عن ركام الهدم وذلك وفق نسب استبدال مختلفة تتراوح بين 0%، 25%، 50%، 75%، 100%، وتأثير ذلك على سلوك البيتون مقارنة مع البيتون ذي الحصويات الطبيعية، مع تحديد نسبة الاستبدال المثلى. أظهرت النتائج انخفاض نسبي في مقاومة البيتون على الضغط البسيط، وانخفاض محدود للكتلة الحجمية أيضاً، و تعديل طفيف على سلوك البيتون تحت تأثير التحميل وذلك بزيادة نسبة استبدال الحصويات الطبيعية بحصويات بيتونية معاد تدويرها.

الكلمات المفتاحية: بيتون - إعادة تدوير - حصويات معاد تدويرها - سلوك البيتون - الخواص الميكانيكية.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Aggregates

Dr.Imad Fadel*

(Received 15 / 6 / 2016. Accepted 10 / 8 / 2016)

□ ABSTRACT □

The large increase in the volume of demolition concrete waste and its impact on the environment has led to reconsider of using concrete demolition rubble as a partial or a whole alternative of natural aggregates to produce new concrete which has the required properties to use in engineering constructions[1]. With the possibility of improving the mechanical properties of this concrete by processing this aggregates before using it or support this concrete with fiber to improve its structural behavior.

This research deals with the study of the replacement the natural aggregates used in concrete with recycled concrete aggregates resulting from the demolition rubble , according to different replacement ratios ranging between 0 % -25 % -50 % -75 % -100% and the impact on the concrete behavior with a natural aggregates and determine the optimal replacement percentage.

The results showed a relative decrease in the concrete resistance on the simple pressure , limited decrease in the volumetric mass also, and a slight adjustment to the behavior of concrete under the loading effect by increasing the replacement proportion of the natural aggregates with recycled concrete aggregates..

Keywords: Concrete-Recycle- Recycled aggregate-Behavior of concrete- Mechanical properties.

*Assistant Professor, Department Of Construction Engineering and Management , Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تُعتبر حماية البيئة من أهم العوامل المؤثرة على استمرارية الحياة و تحسين ظروف المعيشة. إذ تلعب عوامل مختلفة مثل الوعي البيئي و حماية المصادر الطبيعية و التنمية المستدامة دوراً هاماً في المتطلبات العصرية لأعمال التشييد و البناء في العصر الحديث.

تكتسب مواد البناء أهمية قصوى في حياة البشر إذا ما علمنا أن الإنسان يمضي أكثر من 90% من حياته و نشاطاته مستخدماً الأبنية أو البنى التحتية المختلفة كالطرق و الأوتوسترادات والجسور،..).

يحتل قطاع مواد البناء ما يقارب الـ 4% من إجمالي المنتج الأوروبي [2]، كما يعمل في صناعة التشييد الملايين من الناس. من هنا يبدو قطاع البناء على قدر كبير من الأهمية لأنه:

- يستهلك 50% من المواد الخام من الطبيعة.
- يستهلك 40% من الطاقة الإجمالية .
- يسهم في إنتاج 50% من إجمالي النفايات.

تعود الأسباب الرئيسية للزيادة في حجم نفايات الهدم البيتونية إلى :

- تخطي الكثير من المباني لعمرها الاستثماري.
- هدم الكثير من المنشآت مع أنها صالحة للاستثمار و ذلك لظهور متطلبات جديدة للاستثمار .
- تزايد ركام الهدم الناتج عن الظواهر الطبيعية المدمرة كالزلازل و العواصف و غيرها من الكوارث[3].

يبين الشكل (1) النسب المئوية التقريبية لمختلف مواد البناء في ركام الهدم.



الشكل (1): المكونات الأساسية لناتج هدم الأبنية

من المعلوم أن البيتون هو مادة البناء الأكثر استخداماً حول العالم بسبب مقاومته العالية على الضغط و طول عمره الخدمي و كلفته المنخفضة، دون أن نهمل بعض نقاط ضعفه كمقاومته المنخفضة على الشد و التشقق [4]. وكما يبين الشكل (1) أعلاه فإن نسبة البيتون في ركام الهدم هي نسبة كبيرة، لذلك تُعتبر عملية إعادة تصنيع ركام البيتون من الأعمال الضرورية للحفاظ على البيئة و الاستفادة الفعالة من الموارد. نحاول في هذا البحث دراسة إمكانية الاستفادة من ركام البيتون واستخدامه كحصىات بيتونية في تكوين بيتون جديد.

أهمية البحث و أهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من خلال ثلاثة نقاط رئيسية :

- حماية الموارد الطبيعية للدولة.
 - التخلص من الحجوم الضخمة من الركام البيتوني الناجم عن الهدم والتي ينتهي بها الأمر في مكبات غير قانونية.
 - التنمية المستدامة على أساس بيئي.
- يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية إنتاج بيتون من مخلفات الهدم و الصناعة، وذلك من خلال دراسة خصائص البيتون المصنع من المخلفات في حالته الطرية و الصلبة و من ثم إجراء دراسة مقارنة لخصائص هذا البيتون مع البيتون العادي التقليدي.

طرائق البحث و مواد:

1-المواد المستخدمة في البحث:

استخدمت في تصنيع العينات البيتونية المختلفة في هذا البحث المواد التالية:

- **إسمنت بورتلاندي عادي أسود نوع 1:** صنع معمل إسمنت طرطوس مُصنَّع وفق المواصفة السورية

2008/3411 بصنف 32.5 .

- **ملدن (Plasticizer)** مصنع حسب FASTM C-494- TYPE بنسبة (1%).

- **الحصىات (Aggregates):** تم استخدام الحصىات الطبيعية التي تتطابق مواصفاتها مع متطلبات

المواصفة السورية رقم 1985/332، و الحصىات الناتجة عن إعادة تدوير البيتون و التي تم الحصول عليها من نفايات هدم مبنى ضمن مدينة اللاذقية، حيث تم تكسيها باستخدام الكسارة الموجودة في مخبر كلية الهندسة المدنية، الشكل (2)، و كان المقاس الاعتباري للحصىات الطبيعية والحصىات المعاد تدويرها ($D_{max}=25mm$)، الشكل (3).

- **رمل ناعم طبيعي (مقالع القريتين) و رمل خشن.** يبين الجدول (3) الخصائص الفيزيائية للرمل المستخدم.

- **ماء للجيل قابل للشرب.**

يبين الجدول (1) أهم الخصائص الفيزيائية للحصىات الطبيعية و المعاد تدويرها المستخدمة في هذا البحث.

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

نوع الحصويات	حدود التدرج (mm)	الكتلة الحجمية (Kg/m ³)	الامتصاص (%)	الفاقد بالاهتراء (%)
حصويات طبيعية	25 - 5	2446	2.83	21.63
حصويات معاد تدويرها	25 - 5	2310	6.92	33.17

❖ تم اقتطاع عينات بيتونية من المبنى الذي تم هدمه الشكل (4)، و إجراء الاختبارات اللازمة عليها و ذلك لمعرفة الكتلة الحجمية و المقاومة الميكانيكية. يوضح الجدول (2) نتائج هذه الاختبارات.



الشكل (3): الحصويات البيتونية نواتج تكسير الكتل البيتونية



الشكل (2): كسارة الكتل الحجرية مخبرياً



الشكل (4): العينات المكعبة البيتونية من العناصر الإنشائية للمبنى المهدم

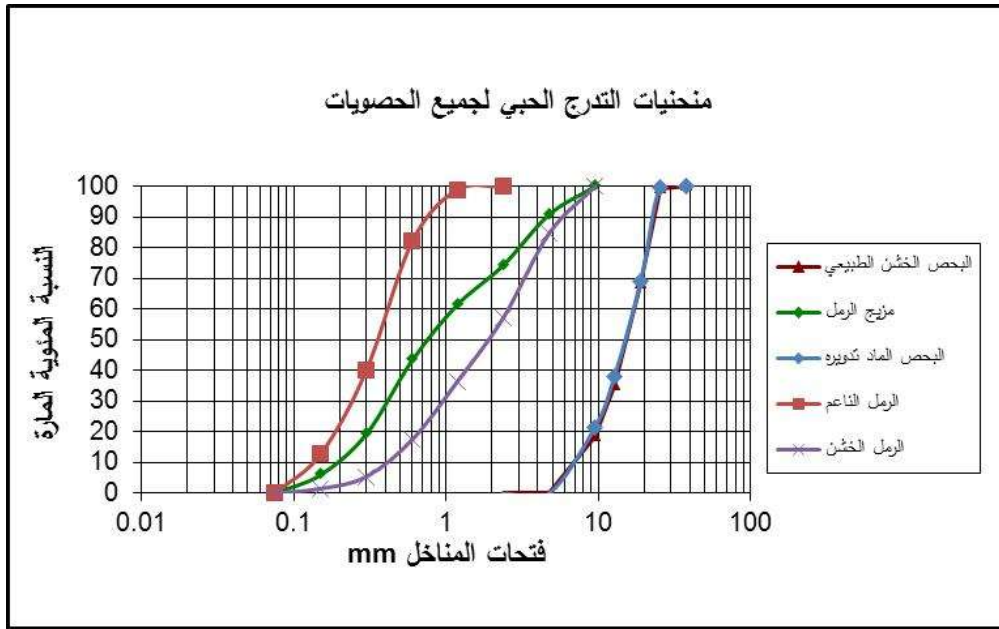
الجدول (2): الكتلة الحجمية و المقاومة على الضغط البسيط للعينات المكعبية من بيتون المبنى المهذوم.

العينة	الأبعاد (cm)	الكتلة الحجمية (Kg/m ³)	المقاومة على الضغط البسيط (MPa)
1	10*10*10	2293	13.9
2	10*10*10	2322	13.6
3	10*10*10	2266	14.8
المتوسط		2294	14.1

الجدول (3): الخصائص الفيزيائية للرمل الناعم و الرمل الخشن.

نوع الرمل	حدود التدرج (mm)	المكافئ الرملي (%)	معادل النعومة Mf	نسبة المزج (%)	معادل النعومة Mf للمزج	الكتلة الحجمية الصلبة للمزج (Kg/m ³)
رمل ناعم (قريتين)	1.18 - 0	84.6	1.66	40	3.05	2542
رمل خشن (نهرى)	5-0	86.8	3.98	60		

يبين الشكل (5) أدناه منحنيات التدرج الحبي لجميع الحصىات المستخدمة في هذا البحث.



الشكل (5) : منحنيات التدرج الحبي لجميع الحصىات المستخدمة

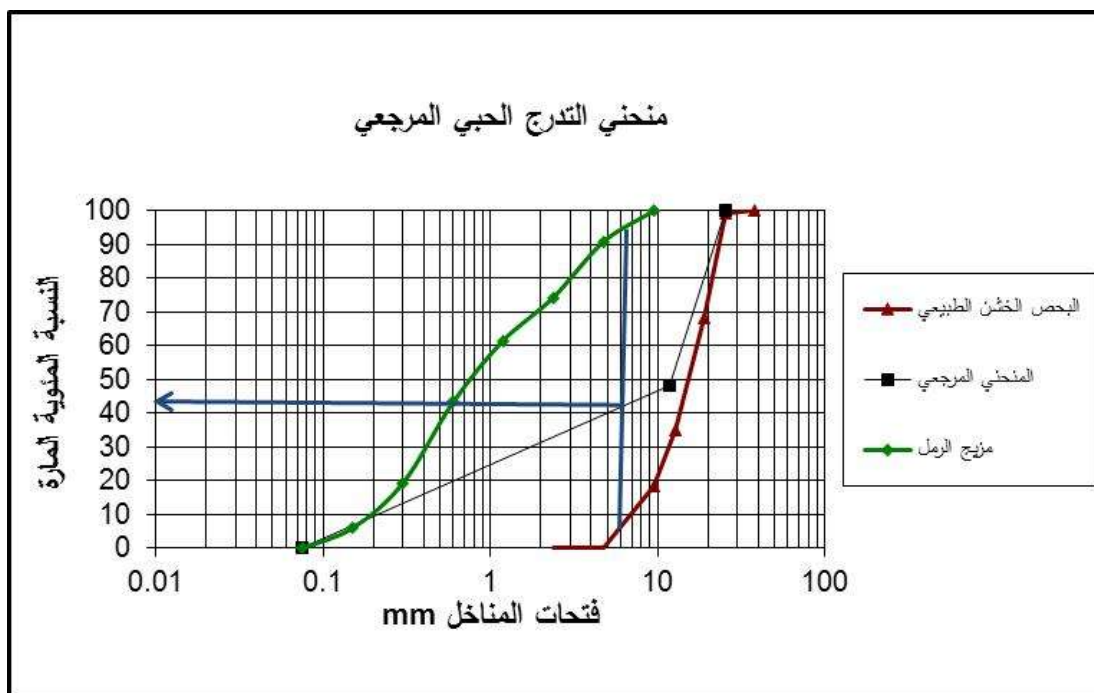
2-الخطاط البيتونية المصممة:

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 الحصىات الطبيعية بالحصىات البيتونية المعاد تدويرها و التي هي كالتالي 0%، 25%، 50%، 75%، 100%.

يشير الرمز (NC) إلى الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصىات طبيعية، أما الرمز (RAC25) فيدل على الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصىات بيوتونية معاد تدويرها بنسبة استبدال 25% من الحصىات الطبيعية، و هكذا.

تم استخدام عيار اسمنت 350 kg/m^3 و نسبة ماء إلى إسمنت 0.52 في جميع الخلطات البيتونية. و تم اعتماد طريقة درو- غوريس (Dreux - Gorisse) لتصميم الخلطة البيتونية مع مقاومة اسطوانية مطلوبة تساوي 20 MPa.

يبين الشكل 6 أدناه الحل التخطيطي لتصميم الخلطة المرجعية باتباع الطريقة الفرنسية [5] المعتمدة في هذا البحث (Dreux-Gorisse).



الشكل 6 الحل التخطيطي لتصميم الخلطة المرجعية باتباع الطريقة الفرنسية (Dreux-Gorisse)

الجدول(4): مكونات و نسب الخلطات من أجل (1 m³)

رمز الخلطة	نسبة الحصىات المعاد تدويرها (%)	W/C	عيار الإسمنت (Kg/m ³)	وزن الحصىات الطبيعية (Kg)	وزن الحصىات المعاد تدويرها (Kg)	وزن الرمل الناعم (Kg)	وزن رمل الخشن (Kg)	وزن الماء (Kg)
NC	0	0.52	350	1047	0	303	455	183
RAC 25	25	0.52	350	785	262	303	455	183
RAC 50	50	0.52	350	524	524	303	455	183
RAC 75	75	0.52	350	262	785	303	455	183
RAC 100	100	0.52	350	0	1047	303	455	183

3- تحضير و صب العينات:

تم خلط الحصىات البيتونية المعاد تدويرها مع الحصىات الطبيعية ثم اضافة الرمل و من ثم الإسمنت إلى الخليط حيث تم الخلط في حوض جبالة بيتونية في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين. 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 ومنتهم صب خمس عينات أسطوانية بأبعاد 150*300mm لكل نسبة استبدال و ذلك في قوالب معدنية و دكها بواسطة قضيب معدني، 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 و رسم منحنى اجهاد- تشوه لها ثم استنتاج المقاومة الأعظمية على الضغط (RC) و معامل المرونة (E_c) والتشوه الموافق للمقاومة الأعظمية (ε₀).

4- إعداد التجربة و آلية الاختبار:

استخدم في هذا البحث جهاز الاختبار المبين في الشكل (7) و هو جهاز ضغط كهربي هيدروليكي من نوع MATEST-CYBER-PLUS EVOLUTION-105N يتم التحكم فيه بواسطة حاسوب. خلال التجربة تمت المحافظة على سرعة تحميل (4kN/S) و ذلك للحصول على مقاومة الضغط الأعظمية و مخطط السلوك (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 (165 mm) في وسط العينة الاسطوانية البيتونية. يتوقف التحميل عند 30% من قيمة الحمولة الأعظمية.



الشكل (7): جهاز اختبار العينات الببتونية على الضغط البسيط - رسم منحنى السلوك (اجهاد - تشوه)

النتائج و المناقشة:

1. الحصويات المعاد تدويرها:

تختلف الخواص الفيزيائية للحصويات الببتونية المعاد تدويرها عن الخواص الفيزيائية للحصويات الطبيعية، و كما يوضح الجدول (1) فإن الكتلة الحجمية للحصويات الببتونية المعاد تدويرها كانت بحدود الـ 2310Kg/m^3 أي أقل نسبياً من أقل من الكتلة الحجمية للحصويات الطبيعية و التي كانت بحدود الـ 2446Kg/m^3 ، كما زادت نسبة الامتصاص للحصويات الببتونية المعاد تدويرها بمقدار أكثر من الضعف، إذ بلغت نسبة امتصاص الحصويات الببتونية المعاد تدويرها (6.92%) بينما كانت للطبيعية (2.83%). يوضح الجدول (1) أيضاً أن نسبة الفاقد بالاهتراء للحصويات الببتونية المعاد تدويرها (33.17%) و هي أكبر بشكل واضح من نظيرتها الطبيعية (21.63%). تعود أسباب اختلاف هذه الخصائص إلى أن الكتلة الحجمية لببتون المبنى المهذوم أقل من الكتلة الحجمية للحصويات الطبيعية كما أنه أكثر مسامية مما زاد من نسبة الامتصاص و نسبة الفاقد بالاهتراء.

2. الكتلة الحجمية للببتون:

يبين الجدول (5) تغير الكتلة الحجمية المقاسة للببتون المصبوب في الحالتين الرطبة و الجافة على عمر 28 يوم بتغير نسب الاستبدال، حيث انخفضت قيم الكتلة الحجمية في جميع الحالات بازدياد نسبة استبدال الحصويات الببتونية المعاد تدويرها بالحصويات الطبيعية.

الجدول (5): الكتل الحجمية للبيتون لمختلف الخلطات.

RAC100	RAC75	RAC50	RAC25	NC	
2236	2324	2347	2385	2432	الكتلة الحجمية الرطبة (kg/m ³)
2217	2283	2304	2327	2364	الكتلة الحجمية الجافة (kg/m ³)

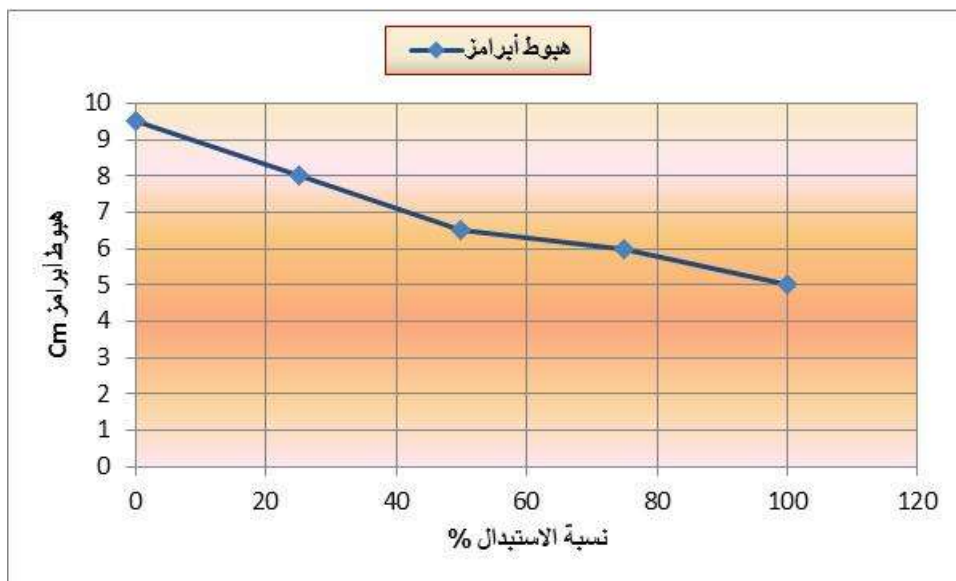
يوضح الشكل (8) انخفاض الكتلة الحجمية الجافة بازياد نسبة استبدال الحصى الببتونية بالطبيعية حيث انخفضت الكتلة الحجمية الجافة للبيتون الحصى المعاد تدويرها RAC100 بنسبة قليلة تعادل (7%) عن بيتون الحصى الطبيعية NC.



الشكل (8): الكتلة الحجمية الرطبة و الجافة كتابع لنسبة الاستبدال

3. قابلية التشغيل:

أظهرت نتائج اختبارات قابلية التشغيل بواسطة مخروط أبرامز انخفاض قابلية التشغيل للخلطات الببتونية كلما زادت نسبة استبدال الحصى الببتونية المعاد تدويرها بالحصى الطبيعية مثلما يوضح الشكل (9)، حيث انخفضت قابلية التشغيل للبيتون ذي الحصى الببتونية المعاد تدويرها بنسبة (100%) إلى النصف مقارنة بالبيتون ذي الحصى الطبيعية، وهذا الأمر يعود إلى الامتصاص الكبير للحصى الببتونية لماء الخلط مقارنة بالحصى الطبيعية [6].



الشكل (9): انخفاض قابلية التشغيل (الهبوط) مع زيادة نسبة الاستبدال

4. المقاومة على الضغط البسيط:

يوضح الجدول (6) قيم المقاومات على الضغط للعينات الأسطوانية على عمر 28 يوم للبيتون ذو الحصىات المعاد تدويرها بالنسب (RAC25 ، RAC50 ، RAC75 ، RAC100) مقارنةً مع البيتون ذو الحصىات الطبيعية (NC)، حيث تنخفض مقاومة البيتون بزيادة نسبة استبدال الحصىات كما هو مبين في الشكل (10). نلاحظ أن مقاومة الضغط للبيتون RAC25 الموافق لنسبة استبدال حصىات 25% هو أقرب لمقاومة البيتون الطبيعي NC من بقية الخلطات إذ تنخفض هذه القيم بشكل متزايد كلما ارتفعت نسبة الاستبدال لتصل قيمة الانخفاض عند النسبة 100% إلى ما يزيد عن الـ 39%.

الجدول (6): قيم مقاومات العينات الأسطوانية على الضغط البسيط (MPa) بعمر 28 يوم

العينة	NC	RAC25	RAC50	RAC75	RAC100
1	30.4	27.3	27.5	25.5	22.4
2	29.1	26.4	27.3	26.2	20.7
3	28.1	26.5	27.3	25.3	20.1
4	33.7	29.6	24.3	22.2	20.6
5	32.5	28.8	23.6	22.4	21.9
المتوسط	30.8	27.7	26.0	24.3	21.1



الشكل (10): متوسط قيم المقاومة الأعظمية على الضغط البسيط بحسب نسب الاستبدال

4-5. مخططات السلوك (إجهاد - تشوه):

إن مخططات السلوك (الإجهاد- التشوه) لبيتون الحصىات الطبيعية وبيتون الحصىات المعاد تدويرها بنسبه المختلفة والمبينة في الأشكال من (11) إلى (15) توضح ان نسب الاستبدال لها تأثير واضح على منحنى السلوك في منطقة الانهيار، إلا أن الشكل العام لمنحنى الاجهاد - التشوه للبيتون المصنع باستخدام حصىات معادة التدوير مشابه لنظيره في البيتون المصنع باستخدام حصىات طبيعية بغض النظر عن نسب الاستبدال، و هو ما يبدو مشجعاً لاستخدام هذا البيتون في المنشآت الهندسية.

أما فيما يخص قيم التشوه النسبي، فنلاحظ أيضاً أن البيتون المصنع باستخدام حصىات معادة التدوير مختلف نسبته فتزداد قيمة هذا التشوه مقارنةً بنظيراتها للبيتون المصنع باستخدام حصىات طبيعية تحت تأثير الحملات ذاتها. يعود ذلك إلى معامل المرونة المنخفض للبيتون ذي الحصىات المعاد تدويرها [7].

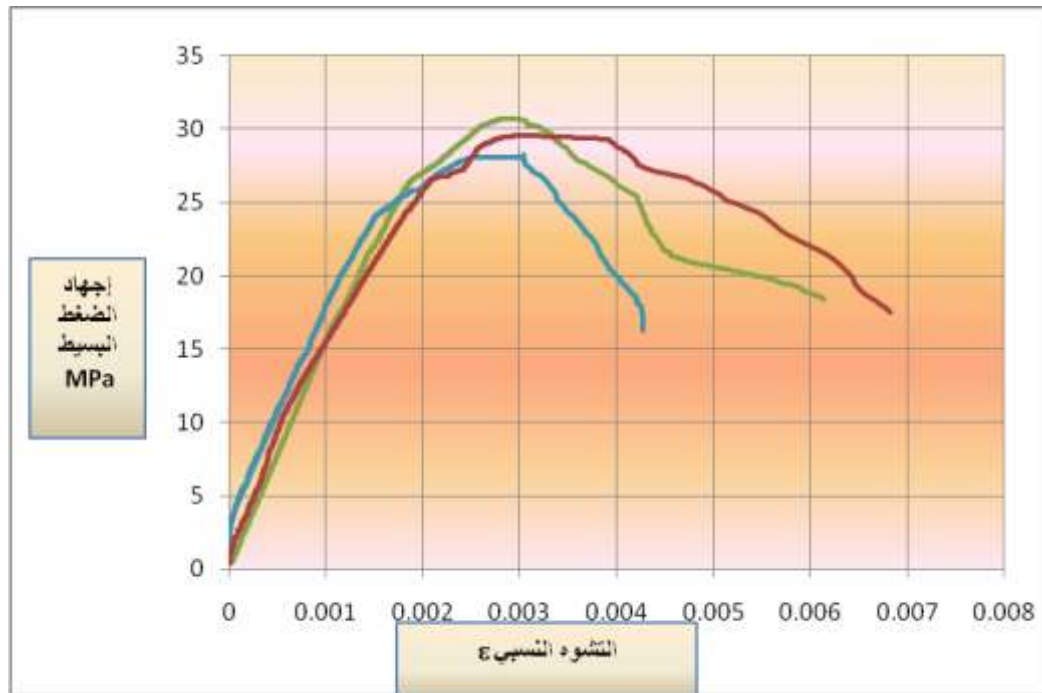
يمكن تقسيم مخطط الإجهاد - التشوه للعينات المختبرة إلى ثلاثة أقسام:

- قسم خطي يبدأ بعيد بداية التحميل و هو جزء من القسم الصاعد للمنحنى يتميز بزيادة التشوه مع زيادة الإجهاد خطياً، و ينتهي عند قيمة الإجهاد المتوافق مع 40% من مقاومة البيتون على الضغط البسيط.
- قسم لا خطي من المنحنى ينتهي عند بلوغ الحملية الأعظمية.
- قسم هابط يظهر في البيتون ذي الحصىات المعاد تدويرها بشكل أكثر انحداراً مقارنةً بالقسم الهابط

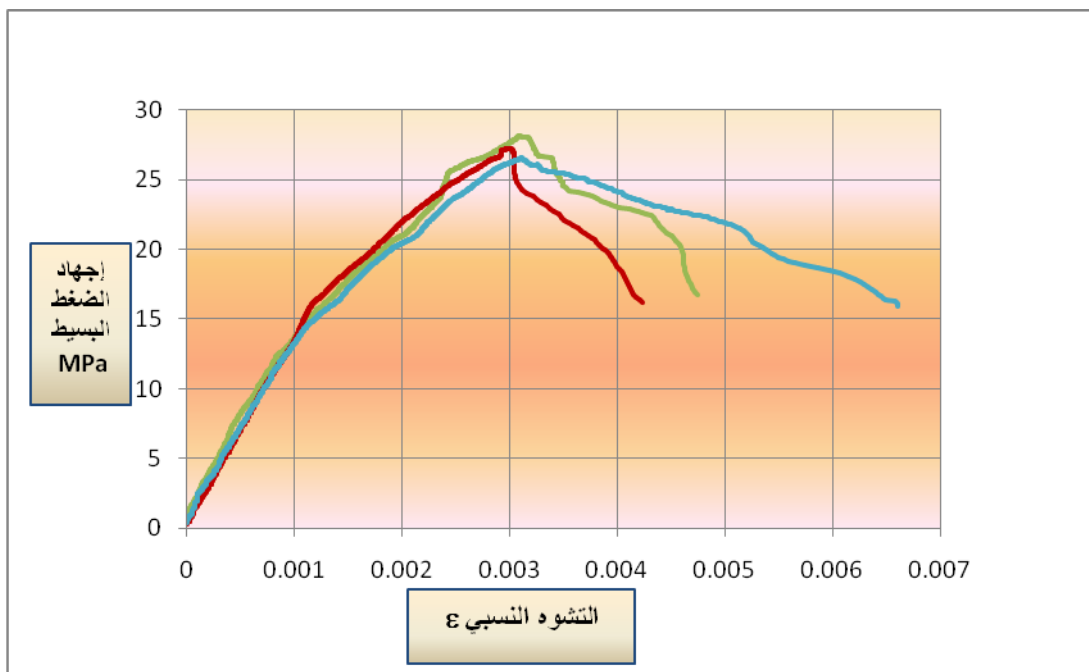
للبيتون المصنع باستخدام حصىات طبيعية. و هو ما يدل على أن انهيار عينات البيتون ذي الحصىات المزيج من الطبيعية و معادة التدوير يكون أكثر هشاشةً من عينات البيتون المصنع باستخدام حصىات طبيعية.

من المهم التنويه إلى أن شكل منحنى السلوك عند الذروة يكون مديبا في حالات الاستخدام المزدوج للحصىات الطبيعية و المعاد تدويرها، أما لمنحنيات الانهيار الخاصة بالبيتون المصنع بشكل كامل من الحصىات الطبيعية أو معادة التدوير فتصبح الذروة أقل حدة و الهبوط أكثر انسيابية. مما يؤكد ما ذكرناه سابقاً بأن مزيج

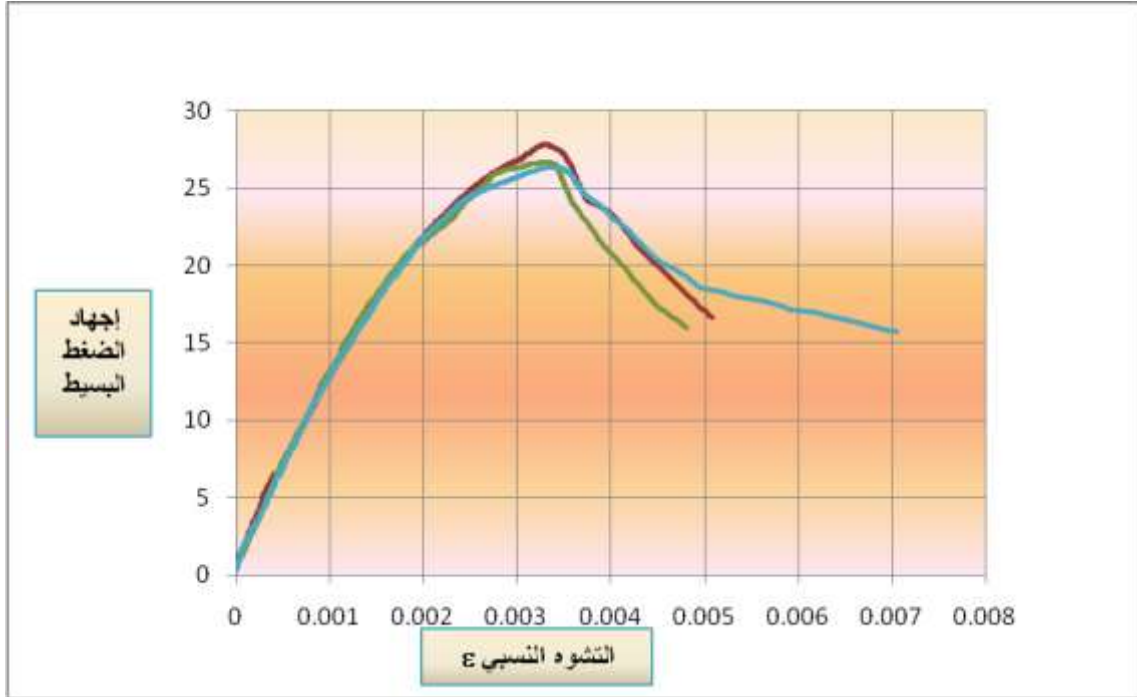
الخصويات الطبيعية و معادة التدوير مهما اختلفت نسب الاستبدال (RAC25, RAC50, RAC75) يؤثر بشكل واضح على آلية الانهيار المعبر عنه بشكل الذروة.



الشكل (11): منحنى السلوك (الإجهاد التشوه) لثلاث عينات من الخلطة NC



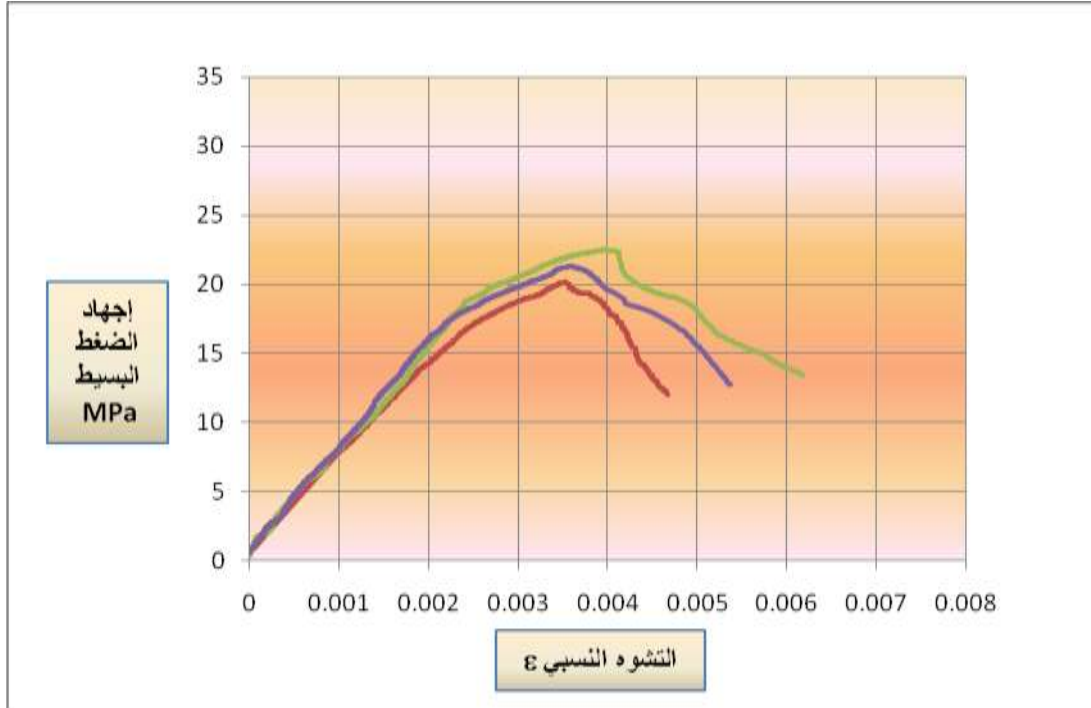
الشكل (12): منحنى السلوك (الإجهاد التشوه) لثلاث عينات من الخلطة RAC25



الشكل (13): منحنى السلوك (الإجهاد التشوه) لثلاث عينات منالخطة RAC50



الشكل (14): منحنى السلوك (الإجهاد التشوه) لثلاث عينات منالخطة RAC75



الشكل (15): منحنى السلوك (الإجهاد التشوه) لثلاث عينات مناخلطة RAC100

4-6. معامل المرونة (E_c)

ينخفض معامل المرونة للبيتون ذي الحصىات المعاد تدويرها بزيادة نسبة الاستبدال عن معامل مرونة البيتون المصنع باستخدام حصىات طبيعية [8]. يظهر على الأشكال من (11) إلى (15) أن القسم الأول الخطي من منحنى السلوك يصبح أقل ميلاً كلما ازدادت نسبة الاستبدال.

يبين الشكل (16) قيم معامل المرونة التي تم استنتاجها من ميل الجزء الخطي من منحنيات السلوك السابقة لمختلف التراكيب.



الشكل (16): تغير قيم معامل المرونة بدلالة نسب الاستبدال

5- الاستنتاجات و التوصيات:

ركز البحث الذي تم إجراؤه على دراسة الخواص الميكانيكية للبيتون ذي الحصىات المعاد تدويرها بنسب مختلفة و ذلك في حالتيه الطرية و الصلبة. يمكن من خلال تحليل النتائج و المخططات التي تم التوصل إليها تقديم الاستنتاجات التالية:

- تنخفض قيمة الكتلة الحجمية الرطبة و الجافة للبيتون بزيادة نسبة استبدال الحصىات المعاد تدويرها بالحصىات الطبيعية. كما تنخفض قابلية التشغيل بشكل واضح مع زيادة نسبة الاستبدال، حيث انخفضت من هبوط بجوار الـ 10سم إلى هبوط بجوار الـ 5سم أي ما يعادل فقدان 50% تقريباً من قابلية التشغيل.
- تتميز منحنيات الانهيار الخاصة بالبيتون المصنع بشكل كامل من الحصىات الطبيعية أو معادة التدوير بشكل انسيابي عند الذروة يعبر عن انهيار أقل هشاشة.
- تنخفض قيم المقاومة على الضغط البسيط كلما زادت نسبة الاستبدال مع تسجيل إمكانية الحصول على بيتون بدرجات جودة مقبولة (C20) مع أعلى نسبة استبدال (RAC100).
- كان لاستخدام الحصىات المعاد تدويرها في البيتون بمختلف النسب أثر ملحوظ على مخطط السلوك (اجهاد-تشوه) للبيتون، إذ ازدادت قيمة التشوه النسبي عند الذروة بزيادة نسبة الاستبدال. وهو ما يتوافق مع انخفاض قيمة عامل المرونة كلما ازدادت نسبة الاستبدال [9].
- أظهرت جميع العينات مخططات اجهاد- تشوه متشابهة في الشكل، مع زيادة قليلة في انحدار القسم الهابط لمنحني الإجهاد - التشوه للبيتون ذي الحصىات المعاد تدويرها.
- يتأثر معامل المرونة للبيتون بشكل واضح بزيادة نسبة الاستبدال حيث انخفض بمقدار 50% للبيتون ذي نسبة الاستبدال 100%.
- ننصح في هذا المجال باستخدام الحصىات المعاد تدويرها بنسب لا تتجاوز الـ 50% عند استخدام حصىات معاد تدويرها من أنقاض البناء المختلفة، و يمكن زيادة هذه النسبة حتى الـ 100% إذا ما تم استخدام حصىات معادة التدوير من أنقاض البيتون حصراً.

6- المراجع:

- 1- J.S. Ryu, "An experimental study on the effect of recycled aggregate concrete properties, Mag. Concr. Res. 54 (1) (2002) 7 – 12.
- 2- Symonds Group Ltd 46967, "Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts". Final Report to DGXI, European Commission, February 1996.
- 3- Topcu , I.B and sengel .,"Properties of concrete produced with waste concrete aggregate" , Journal of cement and concrete Research ,34 (2004) , 1307-1312.

- 4- **Merlet JD, Pimienta P.**"Mechanical and physico-chemical properties of concrete produced with coarse and fine recycled concrete aggregates". Demolition and reuse of concrete and masonry. In: RILEM, proceedings 23, Odense, 1993. p. 343-53.
- 5- **BARON, J. , OLIVIER, J. P.** "Les bétons, bases et données pour leur formulation", Eyrolles, Paris, 1999, 522.
- 6- **Kasai Y.** "Guidelines and the present state of the reuse of demolished concrete in Japan". Demolition and reuse of concrete and masonry. In: RILEM proceedings 23, Odense, 1993, p. 93-104.
- 7- **Kou, S.C., Poon, C.S., Etxeberria, M., 2011.**" Influence of recycled aggregates on long, term mechanical properties and pore size distribution of concrete". Cement and, Concrete Composites 33, 286e291.
- 8- **JianzhuangXiao, Jiabin Li, Ch. Zhang,** "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading", Cement and Concrete Research 35 (2005) 1187 – 1194.
- 9- **NELSON, S.** "High-Strength structural concrete with recycled aggregates", ,University of Southern Queensland, 2004.112.