

Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Concrete Aggregates with Addition of Steel Fibres

Lama Sayed Ahmad*

(Received 1 / 11 / 2021. Accepted 9 / 6 / 2022)

□ ABSTRACT □

In the building process, the recycling of aggregates arising from building and demolition debris is one of the best alternatives to maintain the environment and the areas needed to bury these debris. It also helps to preserve natural concrete sources from depletion efficiently. The use of recycled aggregates in new concrete manufacturing, however, leads to a decrease in concrete's strength characteristics. This reduction rises with the rise in the percentage of recycled aggregates used in concrete, which led us to conduct this research, which aims to study the properties of concrete containing recycled aggregates in proportions (0% -50% -100%) with the addition of steel fibers in proportions (0.5% -1% - 1.5%) and study the effect of this on the behavior of concrete.

The results showed an increase in concrete resistance to pressure when using fibers by (0.5-1%), while it decreased when using the ratio 1.5%.

The experimental results also showed an increase in the splitting tensile strength, the flexural strength, and the modulus of elasticity by increasing the steel fibers ratios.

Keywords: Recycle-Steel Fibres-Recycled aggregate-Behavior of concrete-Mechanical properties -Natural Resources.

*Work Supervisor, Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email : Lamasaeed78@hotmail.com

الخواص الميكانيكية للبيتون المصنع باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها مع إضافة الألياف الفولاذية

لما سيد أحمد*

(تاريخ الإيداع 1 / 11 / 2021. قُبِلَ للنشر في 9 / 6 / 2022)

□ ملخّص □

إن إعادة استخدام الركام الناتج من مخلفات البناء والهدم مرة ثانية، هي أفضل الحلول التي تم إتباعها للحفاظ على البيئة والمساحات المطلوبة لدفن هذه النفايات، كما أنها تساعد بشكل فعال في الحفاظ على المصادر الطبيعية المكونة للخرسانة من الاستنزاف، إلا أن استخدام الحصويات المعاد تدويرها في إنتاج بيتون جديد يؤدي إلى انخفاض في تحمل الخرسانة ويزداد هذا الانخفاض مع زيادة نسبة الحصويات المعاد تدويرها المستخدمة في الخرسانة، الأمر الذي قادنا إلى إجراء هذا البحث الذي يهدف إلى دراسة خواص الخرسانة الحاوية على حصويات معاد تدويرها بنسب (100%-50%-0%) مع إضافة الألياف الفولاذية بنسب (1.5%-1%-0.5%) ودراسة تأثير ذلك على سلوك البيتون . أظهرت النتائج زيادة في مقاومة البيتون على الضغط عند استخدام الألياف بنسبة (1%-0.5%)، بينما انخفضت عند استخدام النسبة 1.5%.

كما بيّنت النتائج التجريبية زيادة مقاومة الشد بالفلق ومقاومة الشد بالانعطاف ومعامل المرونة بزيادة نسب الألياف الفولاذية.

الكلمات المفتاحية: إعادة التدوير - ألياف فولاذية - حصويات معاد تدويرها - سلوك البيتون - الخواص الميكانيكية - الموارد الطبيعية.

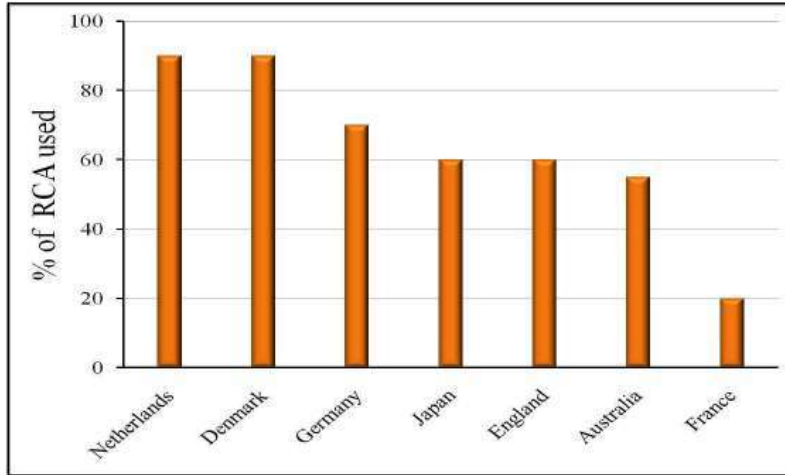
* مشرفة على الأعمال - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. البريد الإلكتروني: Lamasaeed78@hotmail.com

مقدمة:

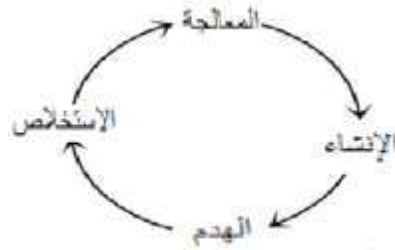
تعتبر الخرسانة من أهم مواد البناء لما لها من ميزات إيجابية ولاسيما كونها مادة بناء رخيصة ومحلية، وفي نهاية العقد الأخير من القرن العشرين تزايدت حركة هدم وإعادة إعمار المباني بغرض ملائمة أغراض جديدة أو بسبب انتهاء العمر التصميمي للمباني مما أدى إلى تراكم كميات كبيرة من المخلفات التي تشكل الخرسانة جزءاً كبيراً منها، فأصبح ذلك تحدياً جديداً للبيئة والمجتمع.

ازداد الوعي البيئي عالمياً في الآونة الأخيرة وأصبح إعادة استخدام أو تدوير مخلفات الهدم والبناء أحد أهداف التنمية المستدامة التي لها أثر إيجابي كبير على الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية.

أصبحت عملية إعادة التدوير سياسة تعتمدها وتصر عليها كثير من الدول المتقدمة وتعتبر نيوزيلاندا والدنمارك رائدة فيها كما يظهر في الشكل (1)، وتتلخص هذه العملية بتجميع نفايات الهدم والبناء ومعالجتها وإعادة استخدامها من جديد، أي إعادتها إلى دورتها الحياتية وجعلها مادة صالحة للاستعمال لنفس الغرض أو لأغراض أخرى الشكل (2). وهذه الطريقة مفيدة بيئياً كونها تقلل حجم النفايات المتولدة وبالتالي توفر مساحة الأرض المستغلة كمكب للنفايات، كما أنها تساهم في الحفاظ على المصادر الطبيعية الأصلية.



الشكل (1) : كمية النفايات الخرسانية التي يتم تدويرها في بعض دول العالم



الشكل (2): دورة حياة مواد الإنشاء

قامت دراسات عدة بالبحث في خواص الركام المعاد تدويره (Recycled Aggregate, RA) وخصائص الخرسانة المنتجة منه (Recycled Aggregate Concrete, RAC)، حيث توصل كثير من الباحثين منهم: (Kooiman [1] 2000) إلى أن قابلية التشغيل Workability للخلطة الخرسانية هي المعيار الرئيسي لتحديد خواص الخلطة في

الحالة الطازجة. يؤدي إضافة الألياف إلى تأثير سلبي على قابلية التشغيل حيث يؤثر على تدفق الخلطة flow وعلى توافقها compatibility ، يمكن أن تتكثف الألياف بسبب إضافتها بسرعة إلى الخلطة أو بسبب الخلط غير الفعال بشكل عام تتأثر خصائص الخرسانة بالألياف الفولاذية في الحالة الطرية بالنسبة المعيارية لليف aspect ratio، نسبة الألياف في الخلطة fiber volume، نسب مجموعات الحصىات volume fractions، طريقة المزج mixing. أوضح [2] (Poon et al, 2004) أن قوام الخرسانة المنتجة من الركام المعاد تدويره تتأثر برطوبة الركام المعاد تدويره، فعند استخدام ركام مجفف في الفرن لاحظ زيادة في هبوط المخروط بسبب ارتفاع كمية المياه التي استخدمت لتعويض الامتصاص العالي للركام المعاد تدويره.

إن مقاومة الضغط ومعامل المرونة للخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره أقل بالمقارنة مع قيمهما في الخرسانة التقليدية [3] (Katz, 2004).

كما أوضح [4] (Tam et al, 2005) أن الاختلاف في الشكل والحجم والملمس بين الركام الطبيعي والركام المعاد تدويره يؤثر على المنطقة البينية الرابطة بين الركام والعجينة الإسمنتية بالتالي يؤثر على المقاومة. بين [5] (Oikonomou, 2005). أنه عند نسب استبدال منخفضة للحصىات الطبيعية بحصىات معاد تدويرها لا تتجاوز % 30 لا تتأثر الخواص الميكانيكية للخرسانة بشكل كبير.

يعتبر الامتصاص العالي للماء للركام المعاد تدويره من أهم الأسباب التي تعطي جودة منخفضة للخرسانة، لذلك قام [6] (Rahal, 2007) بدراسة تجريبية على الخواص الميكانيكية لـ RAC واستخدم الركام المعاد تدويره وهو في الحالة المشبعة وذلك من أجل التخلص من مشكلة الامتصاص العالي له، أظهرت النتائج أن مقاومة الضغط لـ RAC عند استخدام % 100 من الركام المعاد تدويره حققت ما يقارب % 75 من مقاومة الضغط للخرسانة المنتجة من ركام طبيعي وفيما يخص تطور المقاومة والديمومة كانت النتائج متقاربة بين الخرسانتين.

توصل أيضاً [7] (Etxeberria et al, 2007) أنه من أجل نسبة استبدال كاملة للركام الطبيعي بالركام المعاد تدويره تكون مقاومة الضغط أخفض بـ % 25-20 عن حالة الخرسانة التقليدية ، في حين أن معامل المرونة يكون أقل بحوالي % 16. بين [8] (Chanh, 2007) أن طريقة المزج تساهم في تكثف الألياف من خلال إضافة الألياف بشكل سريع، تشابك الألياف قبل إضافتها، وفي حال استخدام جباله ذات استطاعة منخفضة، وإضافة الألياف قبل بقية مكونات الخلطة. تعرف النسبة المعيارية لليف (وتعرف بأنها معامل النحافة Slenderness) بأنها نسبة طول الليف إلى القطر للألياف ذات المقطع العرضي الدائري وعندما يكون المقطع غير دائري (مربعاً أو مضلعاً) يستخدم القطر المكافئ. يؤدي استخدام ألياف فولاذية ذات نسبة معيارية أكبر من 100 إلى تشابك الألياف وتشكل كتلة أو حصيرة يصعب فصلها بواسطة الرج لوحده. بينما لا تشابك الألياف الفولاذية القصيرة ذات النسبة المعيارية الأقل من 65 وبالتالي يمكن فصلها بسهولة بواسطة الرج.

وبحسب الباحث تتراوح نسبة المزج بالألياف Fiber Volume % (2-0.25) من حجم الخلطة حيث تؤدي إضافة الألياف لنقصان هبوط المخروط بالمقارنة مع الخرسانة العادية بدون ألياف. تكون الخرسانة بالألياف الفولاذية في الحالة الطرية جامدة جداً ولكنها تستجيب بشكل جيد جداً للرج لذلك فإن إضافة المدونات يحسن من قابلية التشغيل. عمل الباحث [9] (Tam et al, 2007) على تحسين الركام المعاد تدويره بمحاولة إزالة العجينة الإسمنتية الملتصقة على سطحه من خلال نغعه بمحاليل كيميائية.

كما حاول [10] (Montgomery, 2008) تحسين الركام المعاد تدويره وذلك بطحنه في مطحنة دوارة لإزالة العجينة الإسمنتية القديمة من على سطحه ، ووجد أن الركام الأكثر نظافة يعطي خرسانة بجودة أعلى. إضافة إلى ذلك أوضح [11] (Maslesve et al, 2010) أن جودة الركام المعاد تدويره ومصدره عامل هام جداً ويؤثر بشكل كبير على جودة الخرسانة المنتجة منه حيث تم اعتماد نفايات المخبر في دراستهم والتجارب التي أجروها. أكد [12] (Park et al, 2010) أن زيادة كمية الاسمنت للخرسانة لها أثر جيد في تحسين مقاومة الضغط للخرسانة في حال استخدام الركام المعاد تدويره.

أجرى [13] (Akbari et al, 2011) دراسة حول أثر نسبة الركام المعاد تدويره واعتمد فيها على تدوير نفايات المخبر وأخذ النسب التالية (0%، 15%، 30%، 50%) للركام المعاد تدويره كبديل عن الركام الطبيعي، أظهرت النتائج أن المقاومة على الضغط تقل كلما زادت نسبة الركام المعاد تدويره ، وتم تسجيل انخفاض في المقاومات من أجل نسبة استبدال 50% قدرت بـ (25%، 23%، 26%) في المقاومة على الضغط ، الانعطاف والشد بالفلق على التوالي. قام [14] (Paul, 2011) بدراسة الخصائص الميكانيكية لـ RAC كمقاومة الضغط، معامل المرونة، التقلص والزحف، كما درس ديمومتها وذلك من أجل نسبة (0%، 30%، 100%) من RA، بيّنت الدراسة إمكانية الحصول على خرسانة منتجة من ركام معاد تدويره بمواصفات الخرسانة التقليدية تقريباً عندما يتم استخدام 30% من RA. بيّن [15] (Konin et al, 2011) أنّ استخدام كمية للاسمنت أعلى من 300kg/m^3 تحسن مقاومة الضغط للخرسانة الناتجة من ركام معاد تدويره لتصبح شبيهة بالخرسانة المنتجة من ركام طبيعي. كما أكد [16] (Jankovic et al 2011) أن المنطقة البيئية الرابطة بين الركام والعجينة الإسمنتية تؤثر بشكل كبير على المقاومة.

ويحسب الباحث [17] (Murali et al, 2012) فإن الركام المعاد تدويره RA يختلف عن الركام الطبيعي NA بنواح عدة أهمها أن الكثافة أقل، امتصاص أكبر للماء وفاقد الإهترأ أعلى وذلك بسبب المونة الاسمنتية القديمة التي تبقى ملتصقة على سطح RA. حيث قام بنقع الركام المعاد تدويره بالماء، أو بمحاليل الأحماض كحمض الكبريت 24 ساعة ومن ثم تجفيفه واستعماله في صب العينات، وبيّنت النتائج أن مقاومة الضغط عند استخدام الركام المعالج زادت عن مقاومة الضغط للركام المعاد تدويره غير المعالج بنسب تتراوح 4.93% حتى 11.88%. توصل الباحثون [18] (Naresh et al, 2013) إلى أنه يمكن الوصول إلى مقاومة ضغط قريبة من مقاومة الضغط في حال كون الحصويات طبيعية (بدون إضافة الرماد المتطاير) وذلك بإضافة 10% من الرماد المتطاير (الذي يعطي قابلية تشغيل أفضل) لنسبة الاستبدال 20%.

خلص [19] (Xiao et al, 2015) إلى أن مقاومة الضغط ومعامل المرونة للخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره أقل بالمقارنة مع قيمهما في الخرسانة التقليدية عند تكون نسبة الاستبدال للركام الطبيعي بالركام المعاد تدويره 100%. بيّن الباحث [20] (Lamen et al, 2015) أنه بزيادة نسبة الألياف الفولاذية في الخلطة البيبتونية تنخفض قابلية التشغيل، بينما تزداد المقاومة على الضغط، المقاومة على الشد بالفلق والانعطاف مقارنة بالعينات المرجعية. قام أيضاً الباحث [21] (باسل أصلان) 2016 بدراسة تجريبية وتوصل إلى أن الحصويات المعاد تدويرها تعطي قيمة جيدة للمقاومة على الضغط البسيط عند استخدامها بنسب مختلفة في البيتون. وكانت النسب المقبولة للاستبدال محصورة بين (0-50)%. وحصل على بيتون بمقاومات مرتفعة تجاوزت 300 kg/cm^2 ، وعند نسب الاستبدال

المرتفعة علماً بأن عيار الاسمنت المستخدم في الخلطات لم يتجاوز 350kg/m^3 . أما فيما يتعلق بتأثر ديمومة البيتون الذي يدخل في تركيبه حصويات معاد تدويرها، تبدو نسب الاستبدال بين (0-30) الأكثر ملائمة لتأمين ديمومة جيدة للبيتون. توصل [22] (Bhan et al, 2018) إلى أن مقاومة الضغط، مقاومة الشد بالفلق، مقاومة الشد بالانحناء تزداد عند إضافة الألياف الفولاذية إلى الخلطة البيتونية بنسب محددة مقارنة بالعينات المرجعية.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من خلال ثلاثة نقاط رئيسية:

- ❖ حماية الموارد الطبيعية للدولة.
 - ❖ التخلص من الحجم الضخم للركام البيتوني الناتج عن الهدم والتي ينتهي بها الأمر في مكبات غير قانونية.
 - ❖ تقليل تكلفة نقل هذه المخلفات إلى المكبات وما يتبع ذلك من استهلاك للطاقة.
- لذلك فإن استخدام الحصويات المعاد تدويرها في إنتاج بيتون جديد يساهم في تحقيق النقاط السابقة.

يهدف البحث إلى:

دراسة الخواص الميكانيكية للبيتون المصنع باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها مع إضافة الألياف الفولاذية، حيث من المعلوم أن استخدام الركام المعاد تدويره في إنتاج بيتون جديد يؤدي إلى انخفاض في تحمل الخرسانة ويزداد هذا الانخفاض مع زيادة نسبة الحصويات المعاد تدويرها المستخدمة، لكن يمكن تحسين خواص هذا البيتون من خلال إضافة الألياف الفولاذية.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا النهج التجريبي في إعداد هذا البحث ونبين فيما يلي المواد والاختبارات المستخدمة في عملنا:

1-المواد المستخدمة في البحث:

1-1- الإسمنت (Cement): استخدمنا النوع الأول من الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج محلياً ذو الصنف 32.5MPa.

2-1 - الحصويات (Aggregates): استخدمنا الحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها من بقايا مبنى مهدم ضمن مدينة اللاذقية، حيث كسرت باستخدام الكسارة الموجودة في مخبر كلية الهندسة المدنية الشكل (3)، وكان المقاس الاعتيادي للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها يساوي (25mm) الشكل (4)، والتوزيع الحجمي للحببيات مطابق للشروط و المواصفات وفق الكود العربي السوري.



الشكل (3): كسارة الكتل الحجرية الشكل (4): الحصويات البيتونية الناتجة عن إعادة التدوير

الخواص الفيزيائية للحصويات الخشنة الطبيعية و المعاد تدويرها مبينة في الجدول (1).

الجدول (1): الخصائص الفيزيائية للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها

نوع الحصويات	التدرج (mm)	الوزن الحجمي (Kg/m ³)	الامتصاص (%)	الفاقد بالاهتراء (%)
حصويات طبيعية	5-25	2450	2.81	22.41
حصويات معاد تدويرها	5-25	2310	7.40	34.84

3-1- الرمل: استخدمنا رمل ناعم طبيعي ورمل خشن في جميع الخلطات البيتونية في هذا البحث. يبين الجدول (2) الخصائص الفيزيائية للرمل المستخدم.

الجدول (2): الخصائص الفيزيائية للرمل الناعم والرمل الخشن

نوع الرمل	التدرج (mm)	المكافئ الرملي (%)	معادل النعومة	نسبة المزج (%)	معادل النعومة لمزيج النوعين
رمل ناعم طبيعي	0-1.18	83	1.8	36	3.05
رمل خشن	0-5	85.67	3.76	64	

4-1- الملدنات : اختبرنا مجموعة من الملدنات وتحققنا من مدى فعاليتها من أجل الحصول على درجة تشغيل مناسبة واستطعنا تأمين ملدن (Plasticizer) المصنع حسب ASTM -494 TYPE -F وأضافناه إلى جميع الخلطات البيتونية بنسبة 1% من وزن الاسمنت.

5-1- الألياف الفولاذية:

استخدمنا ألياف فولاذية بطول 35mm وقطر 0.55mm، النسبة المعيارية 65 مقاومة الشد الحدية 1180 Mpa وينسب (0.5-1-1.5)%.

6-1- الماء: استخدم ماء للجيل صالح للشرب.

2-الخلطات البيتونية Concrete mixes:

لدراسة تأثير الألياف الفولاذية على الخواص الميكانيكية للخرسانة المعاد تدويرها، صممت 12 خلطة بيتونية، استخدمت في الخلطات الأربعة الأولى الحصويات الطبيعية الخشنة مع إضافة الألياف الفولاذية بنسب: 1.5% - 1% - 0.5% - 0%، بينما استخدمت الحصويات الخشنة المعاد تدويرها في الخلطات الثمانية بنسبة استبدال 100%، 50% مع إضافة الألياف الفولاذية لها بنفس النسب السابقة.

استخدمنا عيار اسمنت $350 \text{ m} / \text{kg}^3$ و نسبة ماء إلى إسمنت 0.52 في جميع الخلطات البيتونية.

يبين الجدول(3) الكميات والترميز المعتمد للخلطات البيتونية المحضرة.

يدل الرمز NC على الخلطة المجهزة من حصويات طبيعية، أما الرمز (RAC-50-0.5) فيدل على الخلطة البيتونية المحضرة باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها بنسبة 50% من الحصويات الطبيعية مع إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 0.5% وهكذا.

الجدول(3): مكونات ونسب الخلطات من أجل (1m^3)

رمز الخلطة	النسبة المئوية للحصويات المعاد تدويرها %	نسبة الماء / الاسمنت	عيار الاسمنت (Kg/m^3)	وزن الحصويات الطبيعية (kg)	وزن الحصويات المعاد تدويرها (kg)	وزن الرمل الناعم (Kg)	وزن الرمل الخشن (Kg)	وزن الماء (Kg)
NC	0	0.52	350	1024	0	303	455	183
NC-0.5	0	0.52	350	1024	0	303	455	183
NC-1.0	0	0.52	350	1024	0	303	455	183
NC-1.5	0	0.52	350	1024	0	303	455	183
RAC-50	50	0.52	350	512	512	303	455	183
RAC-50-0.5	50	0.52	350	512	512	303	455	183
RAC-50-1.0	50	0.52	350	512	512	303	455	183
RAC-50-1.5	50	0.52	350	512	512	303	455	183
RAC-100	100	0.52	350	0	1024	303	455	183
RAC-100-0.5	100	0.52	350	0	1024	303	455	183
RAC-100-1.0	100	0.52	350	0	1024	303	455	183
RAC-100-1.5	100	0.52	350	0	1024	303	455	183

3 - صب العينات:

قمنا بصب 4 عينات اسطوانية بأبعاد $150*300\text{mm}$ و 3 عينات موشورية بأبعاد $100*100*500\text{mm}$ لكل مزيج ، ووضعناها في قوالب معدنية، ثم قمنا بفك القوالب بعد يوم كامل ووضعناها في حوض مياه درجة حرارته محققة للشروط النظامية. وبعد مرور 28 يوم اختبرنا العينات الإسطوانية لمعرفة مقاومتها على الضغط البسيط، والشد بالفلق ، والشد بالانعطاف للعينات الموشورية، وقياس معامل المرونة (E_c).

4- إعداد التجربة وآلية الاختبار :

جهاز الاختبار المستخدم المبين في الشكل (5) هو جهاز ضغط كهربائي هيدروليكي نو طراز PLUS - 105N MATEST - CYBER-EVOLUTION يتم التحكم فيه بواسطة حاسوب صغير. خلال التجربة تمت المحافظة على سرعة تحميل ($4\text{KN}/\text{S}$) و ذلك للحصول على مقاومة الضغط الأعظمية.



الشكل(5): جهاز اختبار العينات البيتونية على الضغط البسيط

أما فيما يخص اختبار العينات على الفلق استخدمنا جهاز من نوع SEIDNER، وعلى الانعطاف جهاز من نوع AMSLER، وذلك في مخبر تجريب المواد واعتمدنا سرعة التحميل التي ينص عليها الكود السوري [23].

النتائج والمناقشة:

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 (2310 kg/m^3) أقل من الوزن الحجمي للحصويات الطبيعية (2450 kg/m^3)، بينما زادت نسبة الامتصاص للحصويات البيتونية عن الحصويات الطبيعية بمقدار أكثر من الضعف، فكانت نسبة امتصاص الحصويات البيتونية (7.40%) بينما كانت للطبيعية (2.81%) يوضح الجدول (1) أيضاً أن نسبة الفاقد بالاهتراء للحصويات البيتونية (34.84%) أكبر من نظيرتها الطبيعية (22.41%) وتعود أسباب اختلاف هذه الخصائص إلى أن الوزن الحجمي لبيتون المبنى المهذوم أقل من الوزن الحجمي للحصويات الطبيعية كما أنه أكثر مسامية مما زاد من نسبة الامتصاص ونسبة الفاقد بالاهتراء. أجرينا اختبارات على عينات مكعبية - موضحة في الشكل(6) مصنعة من حصويات من البيتون القديم من المبنى المهدم وذلك لمعرفة الوزن الحجمي و المقاومة على الضغط البسيط النتائج موضحة في الجدول (4).



الشكل (6): العينات المكعبية البيتونية من الكتل البيتونية للمبنى المهذوم

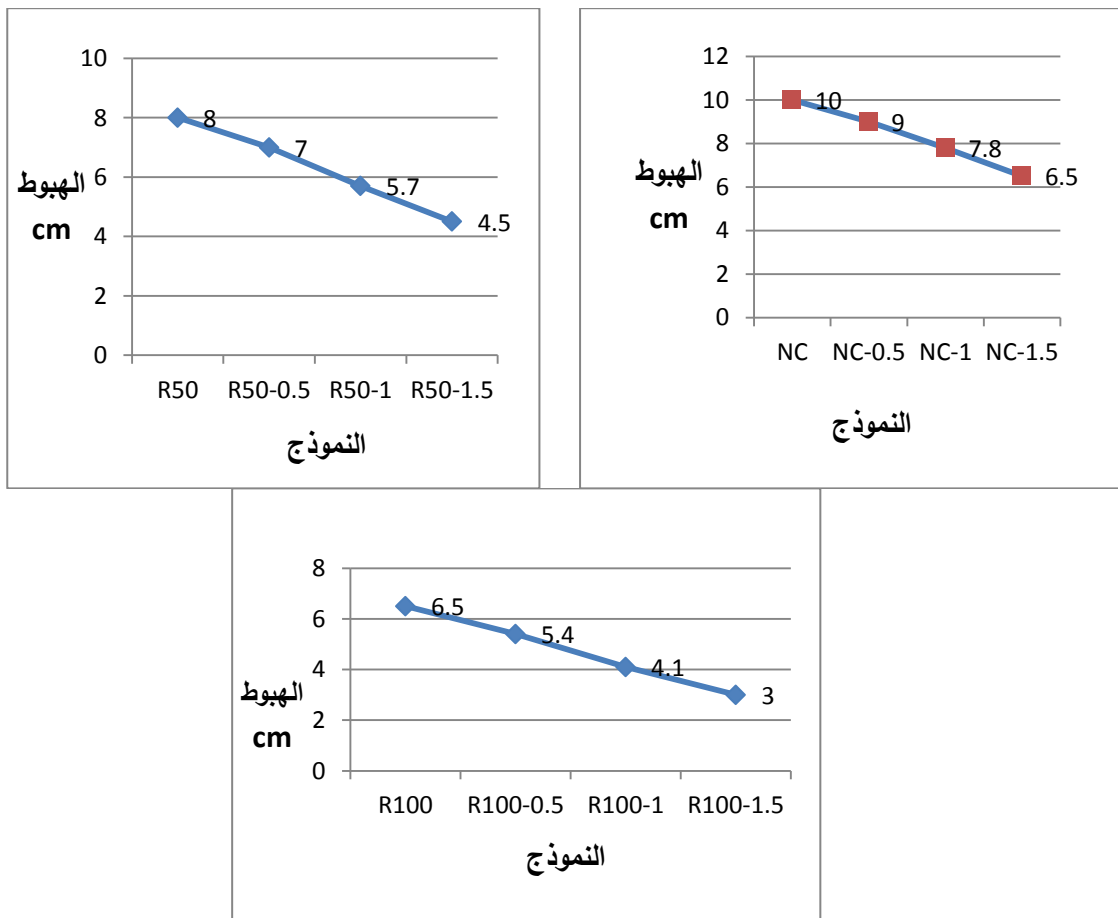
الجدول(4): الوزن الحجمي والمقاومة على الضغط البسيط بعمر 28 يوم للعينات من بيتون المبنى المهذوم

المقاومة على الضغط البسيط (Mpa)	الوزن الحجمي Kg/ m ³	الأبعاد (cm)	العينة
14.0	2236	10*10*10	1
13.2	2312	10*10*10	2
15.0	2260	10*10*10	3
14.1	2270	-	المتوسط

2- قابلية التشغيل:

أظهرت نتائج اختبارات قابلية التشغيل بواسطة مخروط أبرامز انخفاض قابلية التشغيل للخلطات البيتونية كلما زادت نسبة استبدال الحصىات الطبيعية بالحصىات البيتونية المعاد تدويرها وهذا الأمر يعود إلى الامتصاص الكبير للحصىات البيتونية لماء الخلط مقارنةً بالحصىات الطبيعية.

كما أظهرت النتائج انخفاض قابلية التشغيل للخلطات البيتونية كلما زادت نسبة الألياف الفولاذية مثلما يوضح الشكل (7).



الشكل(7): تغير قابلية التشغيل (الهبوط) للنماذج المدروسة

3- مقاومة الضغط:

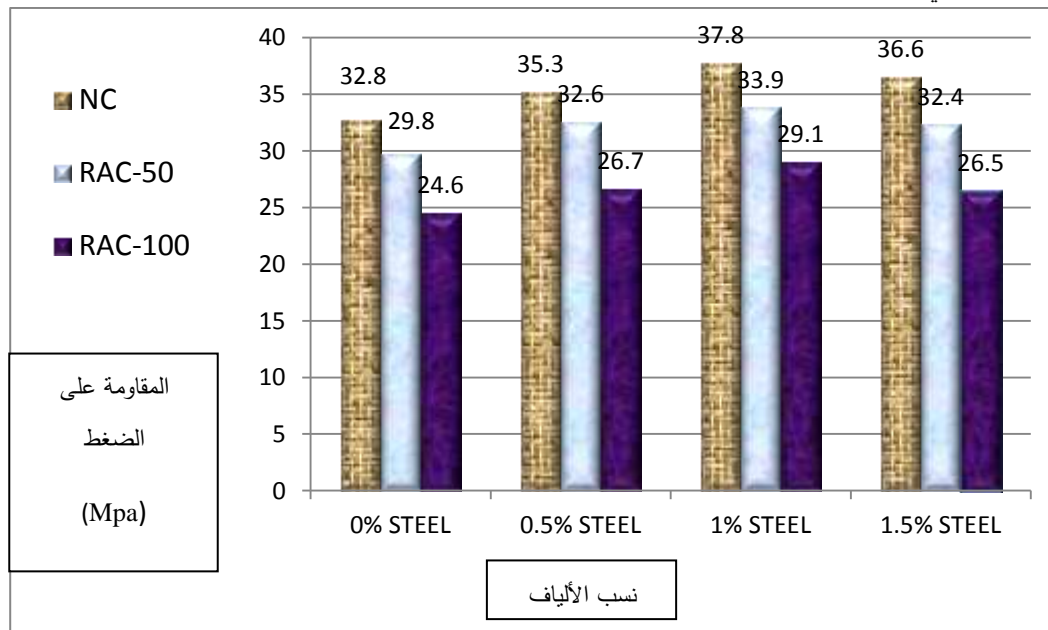
يبين الجدول (5) النتائج التجريبية التي حصلنا عليها، حيث يوضح قيم المقاومات على الضغط للعينات الإسطوانية بعمر 28 يوم للبيتون ذي الحصويات المعاد تدويرها للنسب (RAC50, RAC100) مقارنةً مع البيتون ذي الحصويات الطبيعية (NC) ومع إضافة النسب المختلفة من الألياف الفولاذية، حيث تتخفف مقاومة البيتون بزيادة نسبة استبدال الحصويات كما هو مبين في الشكل (8)، نلاحظ أن مقاومة الضغط للبيتون RAC50 الموافق لنسبة استبدال حصويات 50% قريبة من مقاومة البيتون الطبيعي NC حيث انخفضت عنه بمقدار 9% بينما انخفضت مقاومة الضغط للبيتون RAC100 بمقدار 25% عن مقاومة البيتون الطبيعي.

لكن عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 0.5% ، 1% ارتفعت المقاومة على الضغط بحدود 9% ، 14% لجميع نسب الاستبدال على التوالي، لوحظ انخفاض في مقاومة الضغط عند استخدام الألياف بنسبة 1.5% مقارنة بالنسبة 1% يعزى ذلك إلى محتوى الألياف العالي نسبة إلى حجم العينة، مما يمنع الخليط من أن يكون متجانساً بالشكل الكافي.

الجدول (5) : قيم مقاومات العينات الاسطوانية على الضغط عند عمر 28 يوم

العينة	NC	RAC-50	RAC-100	NC-0.5	RAC-50-0.5	RAC-100-0.5	NC-1.0	RAC-50-1.0	RAC-100-1.0	NC-1.5	RAC-50-1.5	RAC-100-1.5
المقاومة على الضغط البسيط (Mpa)	33.9	29.9	23.9	35.3	31.9	25.9	38.1	34.2	28.9	37.3	32.6	26.4
المتوسط	32.7	28.7	25.1	35.9	32.1	26.8	37.4	33.5	29.4	36.3	31.9	26.1
	32.8	29.8	24.6	37.8	32.6	26.7	37.8	33.9	29.1	36.6	32.4	26.5

يوضح الشكل التالي تأثير إضافة الألياف الفولاذية على مقاومة الضغط للعينات المدروسة.



الشكل (8): تغير المقاومة على الضغط بدلالة نسبة الاستبدال ونسب الألياف الفولاذية

4-المقاومة على الشد بالفلق:

يبين الشكل (9) بعض من نماذج العينات التي تم اختبارها على جهاز الشد بالفلق، ويبين الجدول (6) قيم هذه المقاومات لجميع الخلطات البيتونية بعمر 28 يوم.

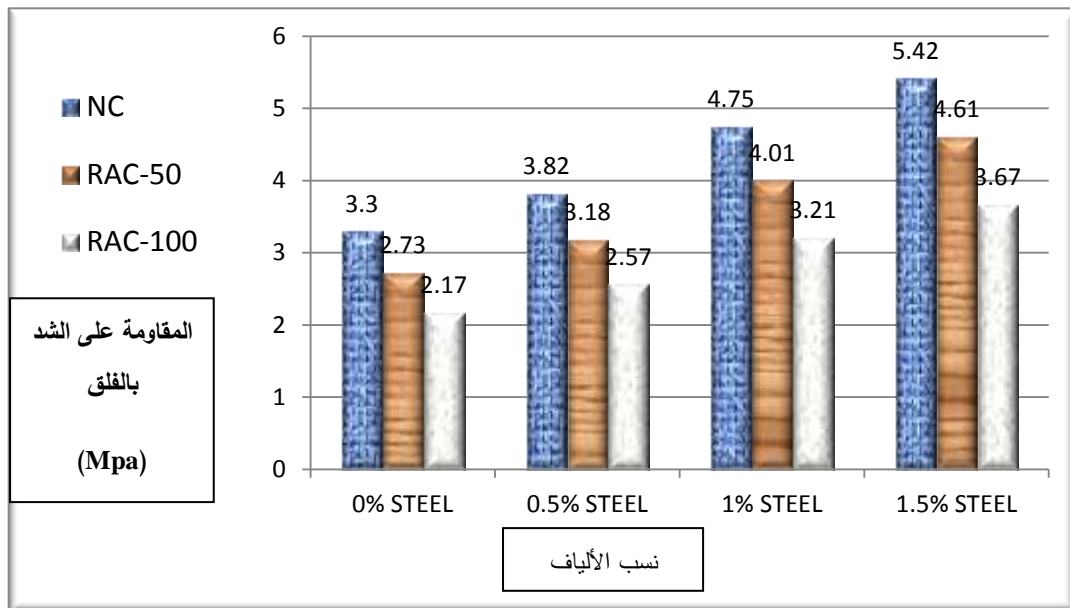


الشكل (9): اختبار العينات على الشد بالفلق

الجدول (6) : قيم المقاومة على الشد بالفلق لجميع الخلطات البيتونية عند عمر 28 يوم

RAC-100-1.5	RAC-50-1.5	NC-1.5	RAC-100-1.0	RAC-50-1.0	NC-1.0	RAC-100-0.5	RAC-50-0.5	NC-0.5	RAC-100	RAC-50	NC	المقاومة على الشد بالفلق (Mpa)
3.67	4.61	5.42	3.21	4.01	4.75	2.57	3.18	3.82	2.17	2.73	3.3	

كما بيّنت النتائج انخفاض المقاومة على الشد بالفلق بمقدار % 17 ، % 34 على التوالي لـ RAC100,RAC50 ، ولكن كما هو متوقع أنه عند إضافة الألياف الفولاذية ارتفعت قيمة المقاومة على الشد بالفلق بحدود % 65 ، % 46 ، % 16 عند إضافة الألياف بنسبة 1.5%-1%-0.5% على التوالي للعينات ولكافة نسب الاستبدال. يظهر الشكل التالي تغير المقاومة على الشد بالفلق.



الشكل (10):تغير المقاومة على الشد بالفلق بدلالة نسبة الاستبدال ونسب الألياف الفولاذية

5- المقاومة على الشد بالانعطاف :

يبين الشكل (11) العينات التي تم اختبارها على جهاز الشد بالانعطاف، ويبين الجدول (7) قيم هذه المقاومات لجميع الخلطات البيتونية بعمر 28 يوم.

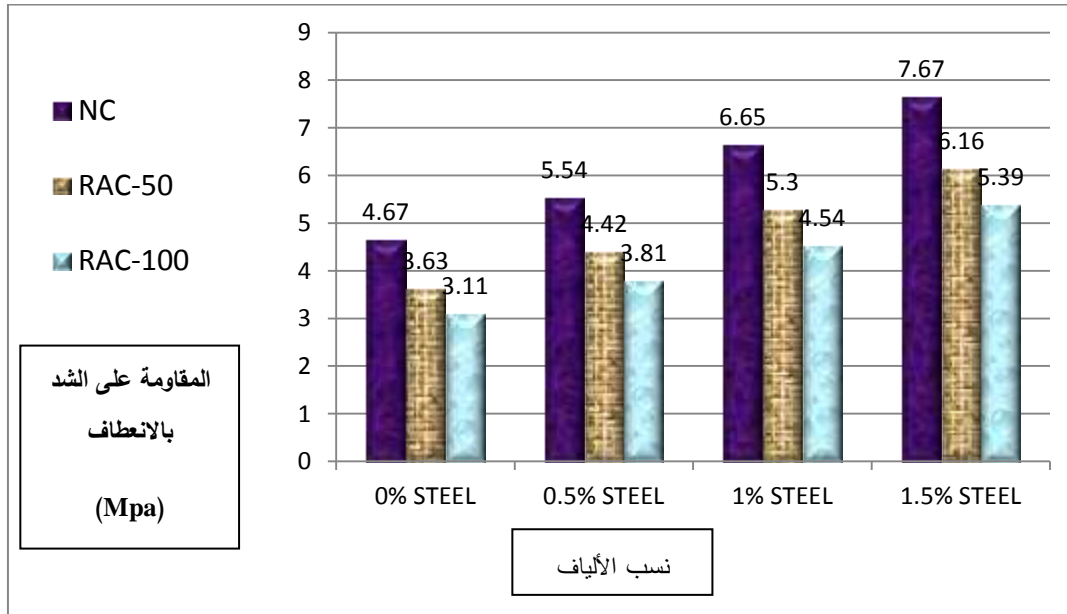


الشكل (11): اختبار العينات على الشد بالانعطاف

الجدول (7): قيم المقاومة على الشد بالانعطاف عند عمر 28 يوم

RAC-100-1.5	RAC-50-1.5	NC-1.5	RAC-100-1.0	RAC-50-1.0	NC-1.0	RAC-100-0.5	RAC-50-0.5	NC-0.5	RAC-100	RAC-50	NC	المقاومة على الشد بالانعطاف (Mpa)
5.39	6.16	7.67	4.54	5.3	6.65	3.81	4.42	5.54	3.11	3.63	4.67	

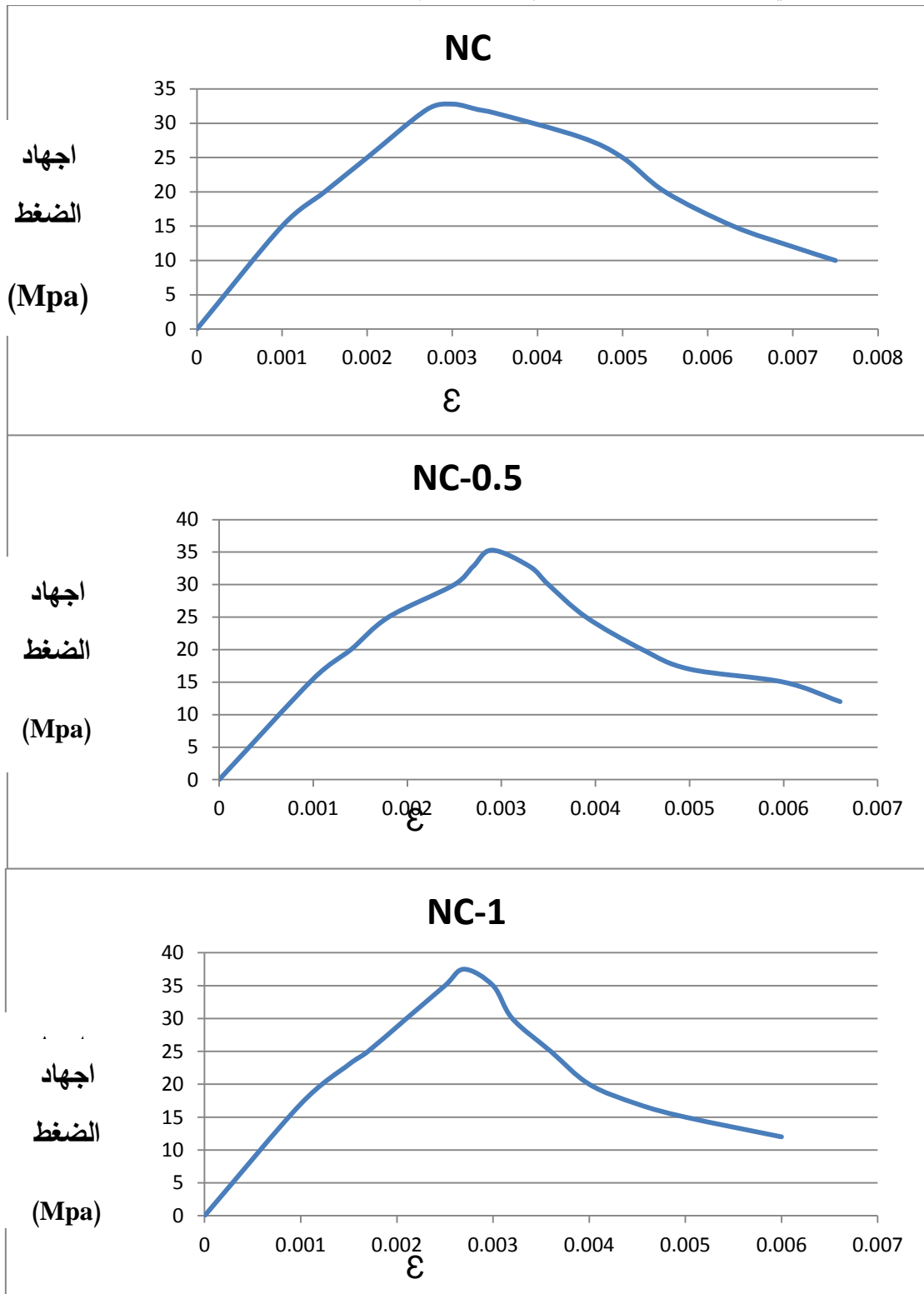
بشكل مشابه لمقاومة الشد بالفلق انخفضت المقاومة على الشد بالانعطاف بمقدار 22 % ، 33 % على التوالي لـ RAC100, RAC50، ولكن عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 0.5%-1%-1.5% لوحظ زيادة في قيمة المقاومة على الشد بالانعطاف بحدود 69% ، 45% ، 20% على الترتيب . يظهر الشكل التالي تغير المقاومة على الشد بالانعطاف.

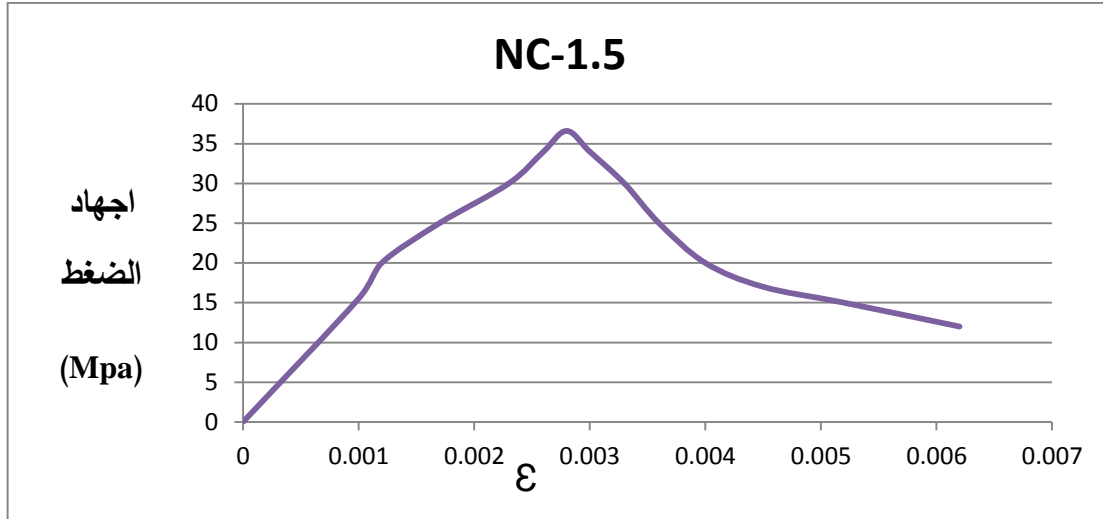


الشكل (12): تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة نسبة الاستبدال ونسب الألياف الفولاذية

6- عامل المرونة (E_C):

يظهر الشكل التالي بعض المنحنيات التجريبية (اجهاد - تشوه) لبعض العينات المدروسة.





الشكل(13): المنحنيات التجريبية (اجهاد - تشوه) لبعض العينات المدروسة

يظهر الجدول (8) قيم معامل المرونة الذي قمنا بحسابه من المنحنيات التجريبية (اجهاد - تشوه) وذلك بالاعتماد على الجزء المرن من القسم الصاعد (40% من الاجهاد الأعظمي) وفق العلاقة:

$$E_C = \frac{\sigma_{0.4}}{\varepsilon_{0.4}}$$

ينخفض معامل المرونة للبيتون ذي الحصويات المعاد تدويرها بزيادة نسبة الاستبدال عن معامل مرونة البيتون الطبيعي كما يظهر من الجدول(8).

الجدول (8): قيم معامل المرونة عند عمر 28 يوم

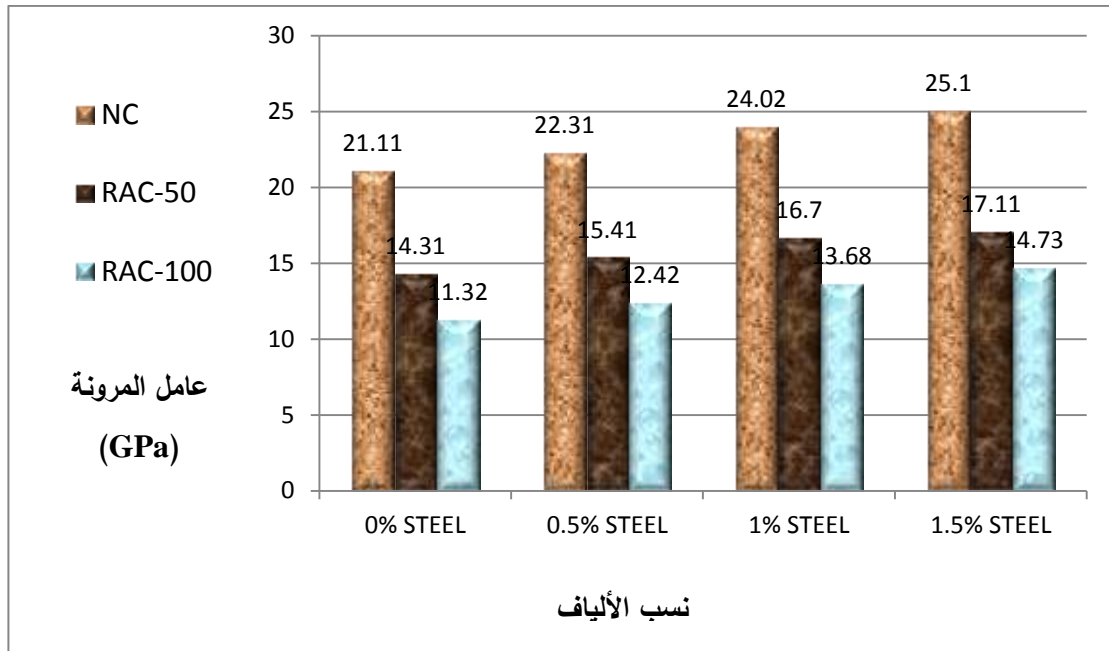
عامل المرونة (GPa)	NC	RAC- 100	NC- 0.5	RAC- 50- 0.5	RAC- 100- 0.5	NC- 1.0	RAC- 50- 1.0	RAC- 100- 1.0	NC- 1.5	RAC- 50- 1.5	RAC- 100- 1.5
	21.11	14.31	11.32	22.31	15.41	12.42	24.02	16.70	25.10	17.11	14.73

يبين الجدول (8) انخفاض قيم عامل مرونة البيتون بزيادة نسب الاستبدال حيث انخفض بمقدار 32% ، 46 % مقارنة بالخلطة ذات الحصويات الطبيعية المقابلة للنسب RAC 50 ، RAC100 على الترتيب.

لكن عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 0.5% زادت قيمة هذا المعامل بمقدار 6% ، 8% ، 10 % الموافقة لـ NC ، RAC50 ، RAC100 على الترتيب.

وعند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1 % ارتفعت قيمته بمقدار 14% ، 17% ، 20 % الموافقة لـ NC ، RAC50 ، RAC100 على الترتيب.

أما عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1.5 % زادت قيمة معامل المرونة بمقدار 19% ، 20% ، 30 % الموافقة للنسب السابقة بالترتيب، يظهر الشكل التالي تغير معامل المرونة.



الشكل (14): تغير معامل المرونة بدلالة نسبة الاستبدال ونسب الألياف الفولاذية

الاستنتاجات والتوصيات:

- أجرينا في هذا البحث دراسة تجريبية لمعرفة الخواص الميكانيكية للبيتون المصنع باستخدام حصويات بيتونية معاد تدويرها مع استخدام الألياف الفولاذية بنسب 0.5%، 1%، 1.5%، وقد توصلنا إلى الاستنتاجات التالية:
- بيّنت نتائج البحث أن إضافة الألياف الفولاذية ساهمت في تحسين الخواص الميكانيكية للبيتون الطبيعي والمصنع باستخدام حصويات معاد تدويرها.
- انخفاض قابلية التشغيل للخلطات البيتونية كلما زادت نسبة استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات البيتونية المعاد تدويرها، وكذلك الأمر كلما زادت نسبة الألياف الفولاذية.
- تنخفض قيم المقاومة على الضغط البسيط كلما زادت نسبة استبدال الحصويات.
- نلاحظ أن مقاومة الضغط للبيتون RAC50 الموافق لنسبة استبدال حصويات 50% قريبة من مقاومة البيتون الطبيعي NC حيث انخفضت عنه بمقدار 9% .
- انخفضت مقاومة الضغط للبيتون RAC100 بمقدار 25% عن مقاومة البيتون الطبيعي، لكن عند إضافة الألياف الفولاذية تزداد المقاومة على الضغط عند استخدام الألياف بنسب 0.5% ، 1% ويعود ذلك لتناقص الفراغات بين الألياف كلما زادت النسبة مما يسمح بنقل أسرع للحمولة ودعم من قبل الألياف المتجاورة. حيث تراوحت هذه الزيادة بين 9% ، 14% لجميع نسب الاستبدال على التوالي.
- لوحظ انخفاض في مقاومة الضغط عند استخدام الألياف بنسبة 1.5% مقارنة بالنسبة 1% ويعزى ذلك إلى محتوى الألياف العالي نسبة إلى حجم العينة ، مما يؤثر على تجانس الخلطة البيتونية.

- كما بيّنت النتائج انخفاض المقاومة على الشد بالفلق بمقدار % 17 ، % 34 على التوالي لـ RAC100،RAC50 ، ولكن كما هو متوقع أنه عند إضافة الألياف الفولاذية ارتفعت قيمة المقاومة على الشد بالفلق بحدود % 65 ، % 46 ، % 16 عند إضافة الألياف بنسبة % 1.5-1%-0.5 على التوالي للعينات ولكافة نسب الاستبدال.
- انخفضت المقاومة على الشد بالانعطاف بمقدار % 22 ، % 33 على التوالي لـ RAC100،RAC50 ، ولكن عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة % 1.5-1%-0.5 لوحظ زيادة في قيمة المقاومة على الشد بالانعطاف بحدود % 69 ، % 45 ، % 20 على الترتيب للعينات ولكافة نسب الاستبدال.
- تأثر معامل مرونة البيتون بزيادة نسبة الاستبدال حيث انخفض بمقدار (% 46 ، % 32) الموافق لـ RAC50،RAC100 لكن عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة % 0.5 ارتفعت قيمة هذا المعامل بمقدار (% 6 ، % 8 ، % 10) الموافق لـ RAC100 ، RAC50 ، NC على التوالي، بينما ارتفعت قيمته بمقدار (% 14 ، % 17 ، % 20) عند استخدام الألياف بنسبة % 1 ، أما قيمة الزيادة الحاصلة عند النسبة % 1.5 فبلغت (% 19 ، % 20 ، % 30).
- ننصح بإضافة الألياف الفولاذية بنسبة (% 0.5 ، % 1) حيث ساهمت كما أسلفنا في تحسين الخواص الميكانيكية للبيتون الطبيعي والمصنع باستخدام الحصويات المعاد تدويرها، ولكن عند استخدام الألياف بنسبة % 1.5 يزداد محتوى الألياف نسبة إلى حجم العينة ، مما يمنع الخليط من أن يكون متجانساً بالشكل الكافي.
- نظراً لأهمية هذا الموضوع ننصح بانجاز أبحاث أخرى مع إضافة ألياف أنواع مختلفة كالألياف البلاستيكية أو الزجاجية أو الكربونية .

References:

- 1-Kooiman, 2000. *Modelling Steel Fibre Reinforced Concrete for Structural Design*. International Journal of Science and Research. Vol .2, N^o.4, 2000, 275-307.
- 2- POON, C; SHUI, H. *Influence Of Moisture States Of Natural And Recycled Aggregates On The Slump And Compressive Strength Of Hardened Concrete*. Cement and Concrete Research . Vol.4, N^o.1,2004, 31–36.
- 3- KATZ, A. *Properties Of Concrete Made With Recycled Aggregate From Partially Hydrated Old Concrete*. Cement and Concrete Research. Vol. 33, N^o.2, 2004, 703-711.
- 4- TAM, W; GAO, X; TAM, C. *Microstructural Analysis of Recycled Aggregate Concrete Produced from two-Stage Mixing Approach*. Cement and Concrete, Research. Vol. 35, N^o.1, 2005, 1195–1203.
- 5- OIKONOMOU, N. *Recycled Concrete Aggregates*. Cement & Concrete Composites. Vol.27, N^o.6, 2005, 315–318.
- 6- RAHAL, Kh. *Mechanical Properties Of Concrete With Recycled Coarse Aggregate*. Building and Environment. Vol. 42, N^o.3, 2007, 407-415.
- 7- ETXEBERRIA, M; VÁZQUEZ, E. *Influence Of Amount Of Recycled Coarse Aggregates And Production Process*. Cement and Concrete Research. Vol .37, N^o.5, 2007, 735-742.
- 8- Chanh,T. *Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 4, N^o.3, 2007, 385-392.

- 9- TAM, V; TAM, M. *Removal Of Cement Mortar Remains From Recycled Aggregate Using Pre-Soaking Approaches*. Resources, Conservation and Recycling. Vol.15, N^o.4,2007, 82–101.
- 10- MONTGOMERY, G. *Workability and Compressive Strength Properties of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate*. Sustainable Construction , 2008, 287-296.
- 11- MALEŠEV, M; RADONJANIN, V; MARINKOVIĆ, S. *Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production*. Sustainability. Vol. 2, N^o.6,2010, 1204-1225.
- 12- PARK, S. *Recycled Concrete Construction Rubble As Aggregate For New Concrete*. Building Research Association of New Zealand . Vol. 2 ,N^o. 6, 2010, 1-20.
- 13- AKBARI, V; ARORA, K; VAKIL, D. *Effect On Recycled Aggregate On Concrete Properties*. International Journal of Earth Sciences and Engineering. Vol. 4, N^o.6, 2011, 924-928.
- 14- PAUL, S. *Mechanical Behaviour And Durability Performance Of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate*. Master's Thesis .The Department Of Civil Engineering Of The University Of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, 2011, 128.
- 15- KONIN, A; KOUAIDO, D. *Influence Of Cement Content On Recycled Aggregates Concrete*. Modern Applied Science. Vol. 5, N^o. 1, 2011, 23-31.
- 16- JANKOVIĆ, K; NIKOLIĆ, D; BOJOVIĆ, D; LONČAR, L; ROMAKOV, Z. *The Estimation Of Compressive Strength Of Normal And Recycled Aggregate Concrete*. Architecture and Civil Engineering. Vol. 9, N^o. 3, 2011, 419 – 431.
- 17- MURALI, G; VIVEK, C; RAJAN, G; JANANI, N. *Experimental Study On Recycled Aggregate Concrete*. International Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 2, N^o.2, 2012, 407 -410.
- 18- Naresh, A; Reddy,K. *High-Strength Structural Concrete with Recycled Aggregates*. International Journal of Science and Research. Vol.4, N^o.1,2013, 1174-1177.
- 19- XIAO, J; ZHANG, C. *Mechanical Properties Of Recycled Aggregate Concrete Under Uniaxial Loading*. Cement and Concrete Research. Vol. 25, N^o.3,2015, 1187-1194.
- 20- Lamén,S; John,F. *Experimental Investigation On The Effect Of Steel Fibres On The Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete*. Cement and Concrete Research.Vol. 3, N^o.7, 2015, 64-82.
- 21- Basil Aslan. *Study the suitability of using recycled local demolition rubble in the manufacture of some building materials*. M.Sc. 2016.
- 22- Bhan, C; Kaur,M. *Strength Characteristics of Recycled Concrete Aggregate With Addition of Steel Fibre*. International Journal of Advance Research and Development . Vol. 3, N^o.2, 2018, 10-15.
- 23- The Syrian Arab Code, the design and implementation of structures with reinforced concrete.