

## دراسة السلوكية الانشائية للبلاطات الخرسانية المجوفة المسلحة احادية الاتجاه والمقواة باستخدام الياف الكربون

وصيف خضير مجيد، ميسر محمد جمعة، مازن برهان الدين عبد الرحمن

كلية الهندسة، جامعة تكريت

الخلاصة

السقوف الخرسانية المسلحة المجوفة احادية الاتجاه هي احدى انواع السقوف التي تستخدم على نحو واسع في انحاء العالم في الابنية السكنية والصناعية وذلك للاستفادة منها من الجانب الاقتصادي والعزل الحراري ، وكذلك لتقليل وزن المنشأ . إن الهدف من الدراسة الحالية هو دراسة السلوكية الانشائية للسقوف الخرسانية المجوفة المسلحة احادية الاتجاه لحد الفشل باستخدام الخرسانة العادية والخرسانة الليفية، حيث تضمنت الدراسة صب (6) نماذج تختلف من حيث نسب الفجوات (Vv) ومقدار النسبة الحجمية للألياف الحديدية ( $V_f$ )، ومن ثم تقويتها باستخدام ألياف الكربون، إذ ان الهدف من إعادة التأهيل بواسطة الياف الكربون البوليمرية (CFRP) هو لمعرفة مدى كفاءة العنصر الإنشائي عند معالجته بعد حدوث الفشل ومدى صلاحية استخدامه في حال حدوث فشل كلي او جزئي في السقف، وإعادة فحصها باستخدام نفس الطريقة والظروف التي تم فحص السقوف غير المتضررة من خلالها ، علماً أن هذه السقوف قد تم معالجتها وتقويتها بنفس الطريقة. أظهرت نتائج الفحص للنماذج التي تم إعادة تأهيلها باستخدام الياف الكربون البوليمرية (CFRP) مقارنة مع النماذج نفسها قبل التقوية والتي تم فحصها لحد الفشل، زيادة عالية جداً في قابلية التحمل القصوى، إذ كانت الزيادة تتراوح بين (51.6%) الى (96.2%) كما قد لوحظ نقصان في مقدار الأود الحاصل للنماذج بعد التقوية .

وقد تبين من خلال هذه الدراسة امكانية استخدام السقوف الخرسانية المجوفة المسلحة احادية الاتجاه كنظام تسقيف للأبنية كما واثبتت السقوف المعاد تأهيلها باستخدام الياف الكربون (CFRP) كفاءة جيدة .

الكلمات الدالة: السقوف المجوفة، الخرسانة الليفية، الياف الكربون، السقوف باتجاه واحد

### Structural Behavior of Fibrous Reinforced Concrete Hollow Core One-Way Slabs Strengthening by C.F.R.P

#### Abstract

A reinforced concrete hollow core one-way slab is one of the types of slabs used widely around the world in residential and industrial buildings to take advantage of them Economic and thermal insulation as well as to reduce the self-weight of the construction. The aim of the present study is to examine the structural behavior of the reinforced concrete hollow core one-way slabs reduce failure using the normal concrete and fibrous concrete and then strengthened using carbon fiber(CFRP)

This study include molding of ( 6) specimens differ in terms of the voids volume (Vv) , volumetric percentage of steel fibers ( $V_f$ ) , and then strengthened by using fibers of carbon , with the aim of rehabilitation by fibers, carbon polymer (CFRP) is to find out how efficient element structural when treated after the occurrence of the failure and the validity of its use in the event of a failure has occurred entirely or partly in the roof, and re- examined using the same method and conditions that were examined ceilings is affected through it, knowing that these ceilings have been addressed and strengthened in the same way , the results of the tests of the models that have been rehabilitated using carbon fiber (CFRP), compared with the same models before strengthening and examined reduce failure, increased very high susceptibility endurance extreme , with the increase ranging from (51.6%) to (96.2%), as has been observed decrease in deflection value of models after strengthening by (CFRP).

It is concluded through this study the possibility of using its concrete hollow core one-way slab as a roofing system for buildings also proved the highly efficient for this slab after rehabilitation using carbon fiber (CFRP).

**Keywords:** Hollow core one-way slabs, Fibrous concrete, Carbon fibers.

## المقدمة

تستخدم الخرسانة المسلحة لبناء المنشآت على نحو واسع في كافة انحاء العالم ، وتعدُّ السقوف الخرسانية المسلحة الاجزاء الرئيسية من هذه الانشاءات ، ومن المعروف أنَّ الخرسانة العادية لها مقاومة شد قليلة ومطيلية (Ductility) محدودة ومقاومة قليلة لنمو التشققات ، وقد وجد أنَّ اضافة الألياف بكمية قليلة وبمسافات متقاربة تعمل على تحسين خواص الخرسانة على نحو فعلي وملحوظ ، فضلاً عن تحسين الخواص الديناميكية لها ويسمى هذا النوع من الخرسانة بالخرسانة الليفية (Fibrous concrete)، وقد تم استخدام الألياف الفولاذية في هذا البحث للنماذج الخرسانية المستخدمة كون هذا النوع من الألياف هو من أكثر الأنواع شيوعاً والأعلى مقدرة على تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة، كما وقد تضمنت الدراسة إعادة تأهيل ستة نماذج من السقوف الخرسانية المسلحة التي تختلف من حيث نسب الفجوات ومقدار النسبة الحجمية للألياف الحديدية وإعادة فحصها باستخدام نفس الطريقة والظروف التي تم فحص السقوف غير المتضررة من خلالها .

### الهدف من البحث

هدف البحث هو دراسة التصرف الانشائي والمقاومة القصوى لأنواع مختلفة من السقوف الخرسانية المسلحة المجوفة احادية الاتجاه ، ومعرفة امكانية استخدام تلك السقوف كوحدة مسبقة الصب تستخدم لتسقيف الأبنية . ولأجل القيام بهذه الدراسة تم التحري عن تأثير تغير نسبة الفجوات (Vv) إذ تم اعتماد ثلاث نسب فجوات هي (36%,24%,20%) لاحظ الشكل رقم (1)، وكذلك تأثير تغير النسبة الحجمية للألياف الحديدية ( $V_f$ ) إذ تم استخدام ثلاث نسب حجمية هي (1.5%,1%,0.5%) على مقاومة الانتشاء للبلاطات الخرسانية المسلحة ، ثم بعد ذلك إعادة تأهيل واصلاح البلاطات الخرسانية الليفية المسلحة المجوفة والخرسانية المسلحة غير المجوفة التي تم فحصها مسبقاً عن طريق تقويتها باستخدام ألياف الكربون (CFRP) ودراسة تأثير التقوية بألياف الكربون عن طريق تحديد الحمل الأقصى، ومنحني الحمل — الأود للبلاطات الخرسانية المجوفة المسلحة احادية الاتجاه ومعرفة مقدار كفاءة هذه السقوف بعد إعادة تأهيلها .

### البرنامج العملي للبحث

#### 1. المواد

ان المواد التي تم استخدامها في هذا البحث هي من المواد المتوفرة في الاسواق المحلية والتي تعدُّ انها الافضل من حيث الاداء الوظيفي.

#### 1.1 السمنت

إنَّ السمنت الذي تم استخدامه في هذا البحث هو السمنت البورتلاندي الاعتيادي نوع كرسنتة (Cresta)، إذ تم اجراء الفحوصات المخبرية عليه في مختبرات كلية الهندسة في جامعة تكريت ، وكانت نتائج فحصه مطابقة للمواصفات العراقية القياسية (IQS No.5/1984) [1]، الخواص الكيميائية والفيزيائية لهذا السمنت موضحة في الجدول رقم (1).

#### 2.1 الركام الناعم

الركام الناعم المستخدم في البحث هو رمل نهري مار من منخل رقم (4.75mm)، إذ كان الرمل مطابقاً للمواصفة العراقية (IQS 45/1984) [2]، ضمن منطقة التدرج الثالثة ، وله

معامل نعومة (2.42)، تدرج الرمل موضح في الجدول رقم (2) .

#### 3.1 الركام الخشن

تم استخدام حصي نهري مكسر وبمقاس أقصى بلغ (M.A.S=12.5mm) ، وهو مطابق للمواصفات الأمريكية (ASTM C33-01) [3]، الخواص الكيميائية والفيزيائية للركام الخشن المستخدم موضحة في الجدول رقم (3).

#### 4.1 حديد التسليح

قضبان حديد التسليح المستخدمة في هذا البحث هي قضبان محززة اوكرانية المنشأ بقطر (6mm)، وكان التسليح لنماذج السقوف الخرسانية المسلحة المجوفة بشكل طبقتين من حديد التسليح تتكون الطبقة الاولى من (4) قضبان بالاتجاه الرئيس و(7) قضبان بالاتجاه الاخر، اما الطبقة الثانية فتتكون من قضيبين بالاتجاه الرئيس و (4) قضبان بالاتجاه الاخر لمنع حدوث تشققات أو فشل القص عند المساند، لاحظ الشكل (2).

#### 5.1 ماء الخلط (Mix Water)

أستخدم ماء الشرب الاعتيادي في أعمال الخلطة الخرسانية للبحث الحالي، كما تم استخدامه في معالجة النماذج .

#### 6.1 الالياف الحديدية

الالياف الحديدية المستخدمة في هذا البحث من نوع (Dramix® ZP305) [4] مصنوعة من قبل شركة (Bekaert) البلجيكية معقوفة عند النهايتين، وتكون ملتصقة مع بعضها بواسطة غراء قابل للذوبان في الماء يذوب اثناء عملية الخلط وتنتشر الالياف في الخلطة الخرسانية، ان الالياف الحديدية المستخدمة هي بقطر (0.55) ملم وبطول (35) ملم وكما في الشكل رقم (3).

#### 7.1 الملدن الفائق

أستخدم في هذا البحث المضاف (Structuro502) [5] كمضاف مقلل للماء بدرجة عالية لتعزيز المقاومة المبكرة والنهائية ، وكملدن فائق ذي تأثير فعال لإنتاج خرسانة سهلة الانسياب ذات قابلية تشغيل جيدة ، لا يحتوي المضاف على الكلوريدات او اي مركبات تساعد على تآكل حديد التسليح وهو مطابق للمواصفة الامريكية (-ASTM C494 C494M/0TypeF)

#### 8.1 الياف الكربون

إنَّ الياف الكربون التي تم استخدامها في هذا البحث من نوع (SikaWrap®-300 C/60) [6] من انتاج شركة سيكا العالمية ، إذ تم وضع الالياف بشكل ثلاث قطع للنموذج الواحد وبطول (1100) ملم وعرض (100) ملم والمسافة بين قطعة واخرى (100)ملم، وكما في الشكل رقم (4).

#### 9.1 المادة اللاصقة

ان المادة اللاصقة التي استخدمت في هذا البحث هي من نوع (Sikadur330) [7] من انتاج شركة سيكا العالمية لاحظ الشكل رقم (5).

#### 10.1 الفلين

تم استخدام قطع الفلين الاعتيادي في هذا البحث وبكثافة (9) كغم / م<sup>3</sup> لغرض عمل الفجوات في البلاطات الخرسانية حيث تم تقطيع الفلين بشكل قطع مستطيلة (40×50) ملم وبطول (1500) ملم بالنسبة لنماذج البلاطات الخرسانية المسلحة المجوفة بنسبة (20%، 24%) وتم تثبيتها بشكل جيد في القالب

تم في هذا البحث إجراء فحص مقاومة شد الانشطار ( $f_{ct}$ ) للخرسانة المتصلبة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C496-96) [10]. وقد اجري الفحص على نماذج خرسانية اسطوانية الشكل بعمر 28 يوماً ذات ابعاد قياسية قطر (150) ملم وارتفاع (300) ملم وتم إجراء الفحص باستخدام ماكينة الفحص الكهربيئة نوع (wekob) وكما في الشكل رقم (8). وتم حساب مقاومة شد الانشطار باستخدام المعادلة التالية ، إذ تم اعتماد معدل مقاومة شد الانشطار لثلاثة نماذج خرسانية اسطوانية لكل نوع من انواع الخلطات الخرسانية المختلفة التي استخدمت في صب نماذج السقوف الخرسانية المجوفة .

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi dl} \quad (3)$$

حيث إن  $f_{ct}$ : مقاومة شد الانشطار (MPa)

$P$ : أعلى حمل مسلط (N)

$d$ : قطر الاسطوانة (mm)

$l$ : طول الاسطوانة (mm)

### 3.4. فحص مقاومة الانثناء

إن نماذج السقوف الخرسانية المجوفة التي تم بفحص مقاومة الانثناء لها هي بأبعاد (100\*500\*1500) ملم ، إذ تم فحص ستة نماذج وكانت المسافة الصافية بين دعائمي الاسناد هي (1300) ملم ، هذه النماذج كانت بسيطة الاسناد و عرضت لحمل خطي (line load) في منتصف الفضاء ، كافة الفحوصات اجريت باستخدام ماكينة الفحص (universal testing machine SANS) بسرعة (5000kN) بسرعة تحميل (1.5 مللمتر في الدقيقة) ، ثم بعد ذلك تم اعادة تأهيل تلك النماذج الستة باستخدام الياف الكربون (CFRP) ، ثم تم فحصها مرة ثانية بنفس الطريقة والظروف في الحالة الاولى .

### 5. اعادة تأهيل نماذج السقوف الخرسانية المجوفة

تم القيام بإعادة تأهيل نماذج السقوف الخرسانية المجوفة التي تم فحصها مسبقاً لمعرفة مقدار مقاومة الانثناء الاضافية للنموذج بعد تقويته باستخدام الياف الكربون ، إذ كانت طريقة العمل كالآتي: 1- تنظيف المنطقة المراد تقويتها جيداً باستخدام الفرشة الحديدية ، او باستخدام الكورسة الكهربائية.

2- تقطيع الالياف بالأطوال المطلوبة ، وهي بعرض (100) ملم وبطول (1100) ملم .

3- وضع المادة اللاصقة (الايبيوكسي) فوق المنطقة المهيأة لتثبيت اشربة التقوية ونشرها بواسطة فرشاة.

4- وضع الالياف فوق الايبيوكسي مع مراعاة الشد اثناء وضعها مع الضغط عليها بقوة لطرد فجوات الهواء بين الايبيوكسي والياف الكربون ويكون وضع الالياف على شكل ثلاث قطع لكل نموذج من السقوف المجوفة بطول (1100) ملم وعرض (100) ملم والمسافة بين قطعة واخرى (100) ملم وكما في الشكل رقم (9).

5- وضع طبقة ثانية من الايبيوكسي فوق الالياف وتغطيتها بشكل جيد، وتترك النماذج لفترة 7 ايام للمعالجة حسب تعليمات الشركة المنتجة [6] ثم تفحص النماذج في جهاز الحمل والالود بواسطة الحاسبة الالكترونية المربوطة مع جهاز الفحص كما في الشكل رقم (10).

الحديدي اما بالنسبة للبلطات الخرسانية المسلحة المجوفة بنسبة (36%) فقد تم استخدام قطعة واحدة من الفلين بقياس (45\*400) ملم وبطول (1500) ملم لكل نموذج من نماذج السقوف المجوفة .

## 2. خواص الخرسانة

### 1.2. الخلطة الخرسانية

الخلطة الخرسانية المستخدمة في هذا البحث (نسب الخلط) صممت بموجب مدونة معهد الخرسانة الأمريكي (ACI211.4R-08) [8] للحصول على خرسانة عادية ذات مقاومة انضغاط للمكعب ( $f_{cu}$ ) مساوية او اكبر من (25 MPa) بعمر ثمانية وعشرين يوماً.

### 2.2. الصب والمعالجة

تم صب النماذج باستعمال القوالب الحديدية التي خصصت لهذا الغرض وكالاتي:

تنظف القوالب جيداً، وتدهن بطبقة خفيفة من الزيت قبل الصب لتجنب تلاحق الخرسانة المتصلبة مع السطح الداخلي للقوالب ، ثم تملئ القوالب بالخرسانة بشكل ثلاث طبقات، حيث ترص كل طبقة باستخدام جهاز هزاز ميكانيكي، بعدها يتم تسوية الوجه العلوي للقالب بشكل جيد وتغطي القوالب بطبقة من النايلون لمدة 24 ساعة لمنع تبخر الماء لتجنب تشققات الانكماش اللدن (plastic shrinkage)، بعدها تفتح القوالب وتغطي بطبقة من الرمل واكياس عزل للمحافظة على الرطوبة اثناء معالجة النماذج ولمدة 28 يوماً، وكما في الشكل رقم (6) ، ففي الدراسة الحالية تم صب نموذج للسقوف الخرسانية المجوفة وثلثة مكعبات قياس (150\*150\*150) ملم وثلثة اسطوانات قطر (150) ملم وارتفاع (300) ملم لكل نوع من انواع الخلطات الخرسانية المختلفة.

### 4. فحوصات الخواص الميكانيكية للخرسانة المتصلبة

#### 1.4. فحص مقاومة الانضغاط

تم في هذا البحث فحص مقاومة الانضغاط للنماذج المكعبة الشكل (150\*150\*150) ملم حسب المواصفة البريطانية (BS 1881: part 116:1989) [9] ، إذ تم تحميلها باتجاه احادي المحور باستخدام ماكينة فحص كهربيئة نوع (wekob) ذات سعة (2500kN) وكما في الشكل رقم (7)، حيث تم اعتماد معدل مقاومة الانضغاط لثلاث مكعبات بعمر 28 يوماً محسوبة من لحظة اضافة ماء الخلط الى مكونات الخرسانة لكل نوع من انواع الخلطات الخرسانية المختلفة .

مقاومة الانضغاط للمكعب والاسطوانة تم حسابها كالاتي:

$$f_{cu} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$f_{cu}$ : مقاومة الانضغاط للمكعب (MPa)

$P$ : أعلى حمل مسلط (N)

$A$ : مساحة مقطع النموذج ( $mm^2$ )

$$f'_c = \frac{f_{cu}}{1.25} \quad (2)$$

$f'_c$ : مقاومة الانضغاط للأسطوانة

### 2.4. فحص مقاومة شد الانشطار

## النتائج والمناقشة

### 1.6 قابلية التشغيل للخرسانة الطرية

تم فحص قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية مباشرة بعد الخلط عن طريق فحص الهطول وحسب المواصفة ( ASTM C143-03 ) [11] إذ تم اعتماد الهطول بمقدار (50-100) ملم ، إذ انه يعطي قابلية التشغيل المطلوبة لأغلب التطبيقات الإنشائية ويوفر هذا المقدار من الهطول سهولة انسياب الخرسانة بين قضبان حديد التسليح، وفي الأماكن الضيقة من القالب وسهولة الرص لكل طبقة من طبقات الصب حيث تم صب نماذج السقوف المسلحة المجوفة على شكل ثلاث طبقات كما تم ذكره سابقاً . كما وقد لوحظ انه عند اضافة الالياف الحديدية الى المزيج الخرساني يؤدي الى انخفاض كبير في قابلية التشغيل بزيادة محتوى تلك الالياف، وتم دراسة هذه الخاصية عن طريق إجراء فحص الهطول (Slump test) .

في الدراسة الحالية، تم استخدام نسبة الماء الى كمية السمنت ثابتة (W/C) في جميع الخلطات الخرسانية، وقد لوحظ انه عند اضافة الالياف الحديدية ينخفض مقدار الهطول بزيادة النسبة الحجمية لهذه الالياف. ولغرض الحصول على مقدار الهطول الملائم تم زيادة جرعة الملدن الفائق ( Structuro502 ) للخلطات الخرسانية وكما هو موضح في الجدول رقم (5).

### 2.6 مقاومة الانضغاط

تم قياس مقاومة الانضغاط لكافة الخلطات الخرسانية المستخدمة في صب السقوف الخرسانية المسلحة المجوفة وذلك بأخذ معدل نتائج فحص مقاومة الانضغاط لثلاثة مكعبات قياس (150×150×150) ملم ويعمر 28 يوماً، فعندما تتعرض الخرسانة الى اجهاد انضغاط محوري يحصل انفعال انضغاط محوري وانفعال شد جانبي عمودي على اتجاه قوة الانضغاط ، يزداد الانفعال بزيادة الحمل المسلط وتتشكل التشققات المجهرية في مستوي موازي لاتجاه الحمل المسلط ، تنمو وتتوسع هذه التشققات ويحصل الفشل. وهذا ما تم ملاحظته في الخلطة الخرسانية لنماذج السيطرة الخالية من الالياف (M1)، إذ كان الفشل على شكل مخروط ناقص، اما في الخلطات الخرسانية (M2، M3، M4) التي تحتوي على نسب حجمية مختلفة من الالياف الحديدية، فقد تم ملاحظة زيادة في مقاومة انضغاط الخرسانة نتيجة اضافة هذا النوع من الالياف بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية، والسبب في ذلك يعود الى أن معامل المرونة لألياف الحديد اعلى من معامل المرونة للخرسانة المتصلبة. وبالتالي فان الالياف تساهم في مقاومة الاحمال حتى تتشقق الخرسانة.

كما تم ملاحظة بان الخلطة الخرسانية الحاوية على نسبة حجمية ( $V_f$ ) بمقدار (1%) اعطت اعلى مقاومة انضغاط ، بينما الخلطة الخرسانية الحاوية على نسبة حجمية ( $V_f$ ) بمقدار (1.5%) اعطت اقل مقاومة انضغاط بين الخلطات التي اضيفت اليها الالياف الحديدية بنسب حجمية مختلفة ، والسبب قد يعود الى زيادة نسبة الالياف في الخلطة الخرسانية ادى الى انزال الالياف عن الخلطة وتكورها وبدورها ادى الى ان تكون قابلية التشغيل قليلة وصعوبة رصها وبذلك حدوث فراغات هوائية بين الالياف والخرسانة تسبب في تقليل مقاومة الانضغاط للخلطة الخرسانية ، لاحظ الجدول رقم (5).

### 3.6 مقاومة شد الانشطار

تم في هذا البحث إجراء فحص مقاومة شد الانشطار ( $f_{ct}$ ) للخرسانة المتصلبة على نماذج خرسانية اسطوانية الشكل يعمر 28 يوماً ذات ابعاد قياسية قطر (150) ملم وارتفاع (300) ملم عدد(3) لكل خلطة خرسانية وقد تم احتساب معدل نتائج فحص مقاومة شد الانشطار لكافة الخلطات الخرسانية. يتميز فحص مقاومة شد الانشطار أو فحص الشد غير المباشر بسهولة اجرائه ، إذ تم تسليط قوة انضغاط قُطرية على طول الاسطوانة الخرسانية، هذا التحميل يسبب اجهادات شد في مستوى الحمل المسلط واهادات انضغاط عالية نسبياً في منطقة قريبة من الحمل المسلط ، ويحدث فشل الشد بدلا من فشل الانضغاط لان مناطق تطبيق الحمل في حالة من الانضغاط ثلاثي المحاور يسمح لها بمقاومة اجهادات انضغاط اعلى بكثير من نتائج فحص مقاومة الانضغاط التي تم الاشارة اليها، في الخرسانة المرجعية تبلغ مقاومة شد الانشطار حوالي (4.244) ميكا باسكال وبذلك يكون مقدار نسبة مقاومة شد الانشطار الى مقاومتها للانضغاط حوالي (8.68%). كما وان نمط الفشل يكون بانقسام (انفلاق) الاسطوانة الى جزئين متساويين تقريبا ، وكذلك بالنسبة للأسطوانات الخرسانية المسلحة بنسبة الياف (0.5%) فأنها تنشطر الى قسمين ايضا نتيجة لقلّة محتوى الياف داخل الخلطة الخرسانية، اما بالنسبة للأسطوانات الخرسانية المسلحة بألياف حديد بنسبة (1% و 1.5%) فأنها لا تنشطر الى قسمين بل تفشل نتيجة اتساع عرض الشقوق الناتجة من زيادة احمال الشد المحورية على الاسطوانة الخرسانية.

إذ ان الالياف الحديدية تساهم في مقاومة اجهادات الشد مع الخليط الخرساني بسبب معامل مرونتها العالي (اعلى من معامل مرونة الخرسانة) وقدرتها على السيطرة على نمو التشققات الشعرية (الدقيقة) التي تنشأ عند مستويات التحميل الاولى. مما يؤدي الى تحسين مقاومة الشد عند اضافة هذه الالياف الى الخرسانة بمختلف النسب الحجمية . نتائج فحص مقاومة الانشطار للخرسانة المسلحة بالألياف الحديدية بنسب حجمية (0.5%، 1%، 1.5%) ظهرت بانها تزيد بنسبة (33.3%، 84.5%، 66.5%) على التوالي بالمقارنة مع الخرسانة المرجعية ، لاحظ الجدول رقم (5) .

### 4.6 سلوك الانثناء للسقوف الخرسانية

#### المسلحة المجوفة احادية الاتجاه

ان الهدف الرئيسي في الدراسة الحالية هو البحث في سلوك الانثناء للسقوف الخرسانية المسلحة المجوفة ذات الاتجاه الواحد والمعززة بالألياف الحديدية وهي في الحالة الهيكلية ، كافة البلاطات الخرسانية المسلحة لها نفس الأبعاد والتسليح . يتم تقديم نتائج الفحوصات مستندة الى منحنى (الحمل – الأود) عند منتصف فضاء البلاطات الخرسانية المسلحة ويتم حساب الحمل الاقصى لحين الفشل، ثم بعد ذلك يتم تقويتها باستخدام الياف الكربون (CFRP) وتخصص مرة ثانية ويتم حساب الحمل الاقصى لها بعد التقوية لمعرفة مدى كفاءة السقوف بعد تقويتها.

#### 1.4.6: الحمل الاقصى للنماذج قبل التقوية

إن قيم الحمل الاقصى التي تم ايجادها في هذا البحث هي قيم فحص الانثناء لنماذج السقوف الخرسانية المسلحة والمجوفة احادية الاتجاه لكل خلطة خرسانية ، وذلك بتسليط حمل خطي (line load) في منتصف فضاء النموذج، إذ تم الحصول

3- ان تأثير اضافة الالياف الحديدية في مقدار الحمل الاقصى (Ultimate Load) في السقوف الخرسانية المسلحة احادية الاتجاه المجوفة والمعرضة للانشاء كبير جدا حيث ان زيادة النسبة الحجمية للألياف الحديدية يؤدي الى زيادة مقدار الحمل الاقصى للنماذج .

4- ان اضافة الالياف الحديدية بمختلف النسب الحجمية تعمل على تحسين المطيلية في السقوف الخرسانية المجوفة والمسلحة احادية الاتجاه ، يزداد هذا التحسن بزيادة النسبة الحجمية للألياف الحديدية حيث يزداد مقدار الود المقابل لحمل الخضوع وكذلك الحمل الاقصى للنماذج .

5- ان اعادة التأهيل لكافة نماذج السقوف الخرسانية المسلحة احادية الاتجاه المجوفة والمعززة بالألياف الحديدية باستخدام الياف البوليمر المعزز بالكربون اعطت زيادة في قابلية التحمل القصوى للنماذج تتراوح بين (51.6 - 96.2) % مما يدل على كفاءة هذه الطريقة في التقوية ، كما وان اختلاف النسبة الحجمية للألياف وكذلك نسبة الفجوات للنماذج المعاد تأهيلها كان له تأثير قليل على النتائج كون النماذج تم تقويتها بعد تحميلها لحين الفشل مما يدل على ان نتيجة الحمل الاقصى للفحص بعد التقوية ناتج من مقاومة اشربة الياف الكربون (CFRP) .

#### المصادر

1. المواصفة القياسية العراقية رقم (5)، "السمنت البورتلاندي"، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، بغداد، 1984.
2. المواصفة القياسية العراقية رقم (45)، "ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء" الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، بغداد، 1984.
3. ASTM C33-01 "Standard specification for concrete aggregates" Bekaert Company, "Data sheet of Dramix® ZP 305 Steel Fibers", 2010.
4. Product Guide & Technical Data Sheets of Fosroc International Ltd, "Structure 502", 2010, pp. 1-2.
5. Product Guide & Technical Data Sheets of Sika International Ltd, "SikaWrap®-300 C/60", 2009, pp. 1-5.
6. Product Guide & Technical Data Sheets of Sika International Ltd, "sikadur330", 2010, pp. 1-7.
7. ACI Committee 211, "Guide for Selecting Proportions For Concrete Using Portland Cement and Other Cementations Materials", ACI211.4R-08, American Concrete Institute, 2008 .
8. BS 1881, Part 116, "Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes", British Standards Institution, 1989, PP. 3.

على بيانات قيمة الحمل المسلط على النموذج مع مقدار الود المقابل للحمل المسلط طول مدة التحميل لحين فشل النموذج والتي تم خزنها في الحاسبة الالكترونية الموصولة مع جهاز الفحص لاحظ الجدول رقم(6). كافة نماذج السقوف الخرسانية صممت لتفشل في الانثناء. فعند تسليط الحمل يبدأ ظهور التشققات في منطقة إجهادات الشد (tension zone) في الجزء الأسفل من السقف وعلى امتداد عرض النموذج في منطقة تأثير الحمل الخطي . يرافق ذلك ازاحة محور التعادل (Neutral Axis) الى الأعلى باتجاه منطقة الانضغاط ، وبزيادة التحميل تصل قضبان التسليح الى مرحلة الخضوع ، وعند زيادة التحميل تتسع التشققات ، ويزداد عمقها لتصل الى منطقة الانضغاط في الجزء العلوي عندها تفشل نماذج السقوف المجوفة.

#### 2.4.6 الحمل الاقصى للنماذج بعد التقوية

من خلال النتائج المسجلة في الجدول رقم (6) نلاحظ بان نتائج مقدار الحمل الاقصى للنماذج التي تم معالجتها باستخدام الياف الكربون كانت تقريبا مقاربة بين جميع النماذج المجوفة وغير المجوفة والمعززة بالألياف الحديدية والخالية من الالياف الحديدية مما يثبت بان معظم المقاومة للانشاء للنماذج التي تم اصلاحها ناتج من مقاومة اشربة الياف الكربون، وذلك بسبب كون التحميل قبل التقوية كان لحين فشل النموذج اي بعد خضوع حديد التسليح، كما وتبين النتائج الزيادة في مقدار الحمل الاقصى للنماذج بعد اعادة تأهيلها باستخدام الياف الكربون حيث كانت الزيادة جيدة مما يدل الى كفاءة طريقة المعالجة ونجاحها لاحظ الاشكال رقم (11) و(12).

#### الاستنتاجات

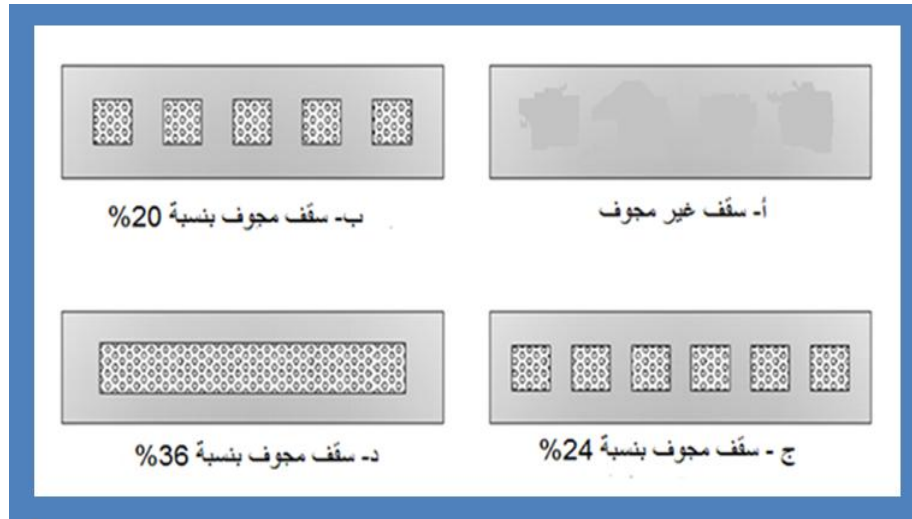
من خلال الفحوصات المختبرية التي اجريت في هذه الدراسة، واستنادا على النتائج التي تم الحصول عليها خلصت الدراسة الحالية الى الاستنتاجات الآتية:

- 1- ان اضافة الالياف الحديدية تؤدي الى تحسن ملحوظ في مقاومة الانضغاط للخرسانة وتزداد مقاومة الانضغاط بنسبة كبيرة بزيادة النسبة الحجمية للألياف الحديدية من (0.5%) الى (1%) مقارنة بالخرسانة المرجعية الخالية من الالياف ، ولكن بزيادة النسبة الحجمية للألياف الحديدية الى (1.5%) فان مقاومة الانضغاط للخرسانة سوف تقل ، وقد وجد من خلال النتائج العملية لهذا البحث بان افضل نسبة حجمية للألياف الحديدية تعطي اكبر مقاومة انضغاط للخرسانة هي النسبة الحجمية (1%) حيث بلغت نسبة الزيادة في مقاومة الانضغاط (33.3%) مقارنة بالخرسانة المرجعية.
- 2- ان اضافة الالياف الحديدية تؤدي الى تحسن كبير في مقاومة شد الانشطار للخرسانة حيث تزداد مقاومة شد الانشطار بشكل تدريجي بزيادة النسبة الحجمية للألياف الحديدية من (0.5%) الى (1%) مقارنة بالخرسانة المرجعية الخالية من الالياف ، ولكن بزيادة النسبة الحجمية للألياف الحديدية الى (1.5%) فان مقاومة شد الانشطار تبدأ بالانخفاض ، وقد وجد من خلال النتائج العملية لهذا البحث بان افضل نسبة حجمية للألياف الحديدية تعطي اكبر مقاومة شد انشطار للخرسانة هي النسبة الحجمية (1%) حيث بلغت نسبة الزيادة في مقاومة شد الانشطار (86.5%) مقارنة بالخرسانة المرجعية .

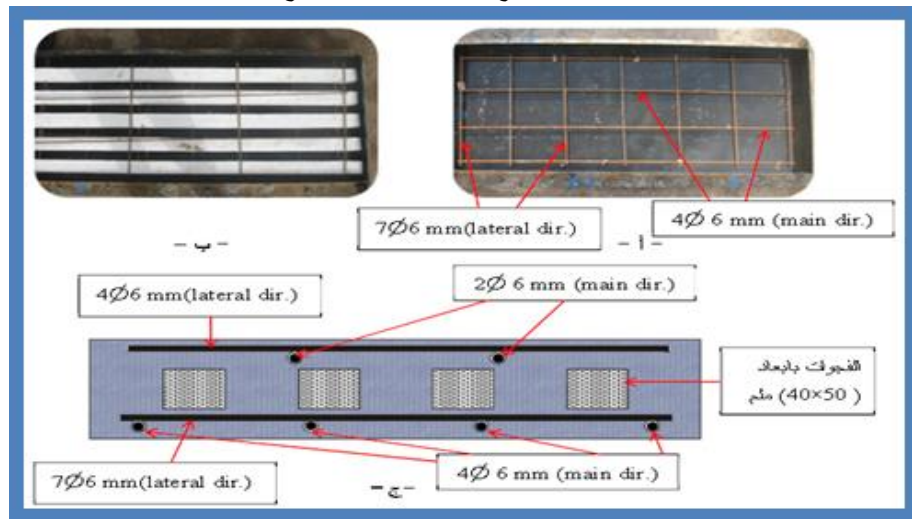
"annual book of ASTM standards, American Society for testing and materials vol 04-02,2007,pp.1-4 .

9. ASTM C 496 – 96 "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens".

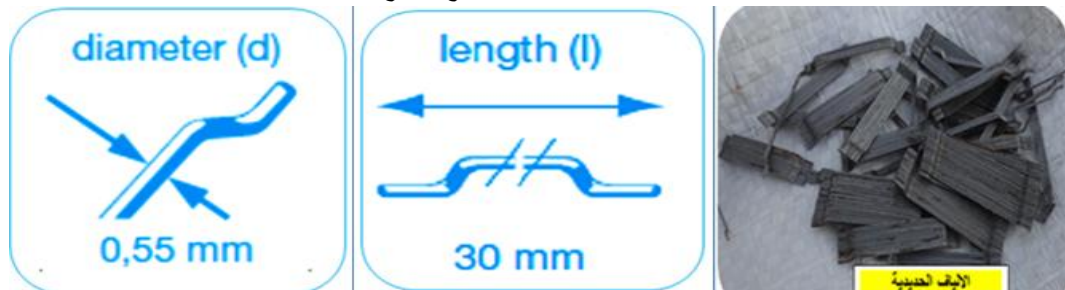
10. ASTM C143-03"standard test method for slump of hydraulic cement concrete



الشكل 1. مقاطع السقوف المجوفة لنماذج البحث



الشكل 2. كيفية التسليح لنماذج السقوف الخرسانية



الشكل 3. الاليف الحديدية المستخدمة في البحث



الشكل 4 قطع اشربة اليف الكاريون المستخدم في البحث



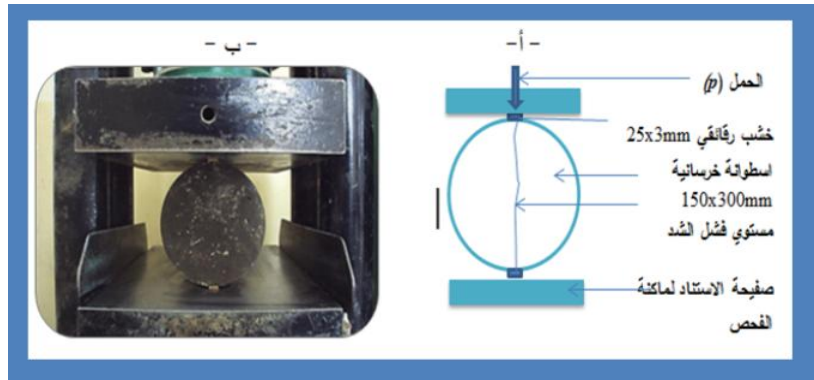
الشكل 5 نوع المادة اللاصقة المستخدمة في البحث



الشكل 6 طريقة صب ومعالجة النماذج



شكل 7 طريقة فحص المكعبات الخرسانية للخلطات المختلفة



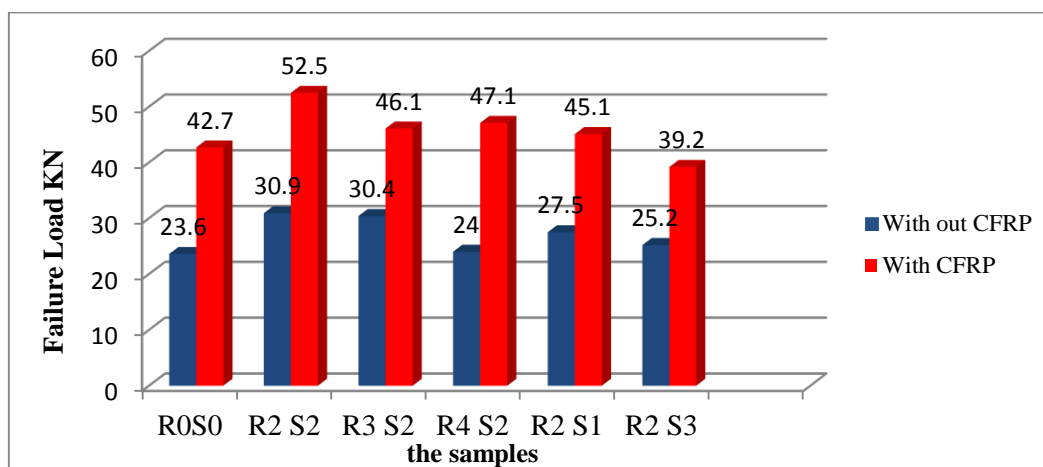
شكل 8 طريقة فحص مقاومة شد الانتشار



شكل 9 تقوية النماذج باستخدام اليااف الكربون

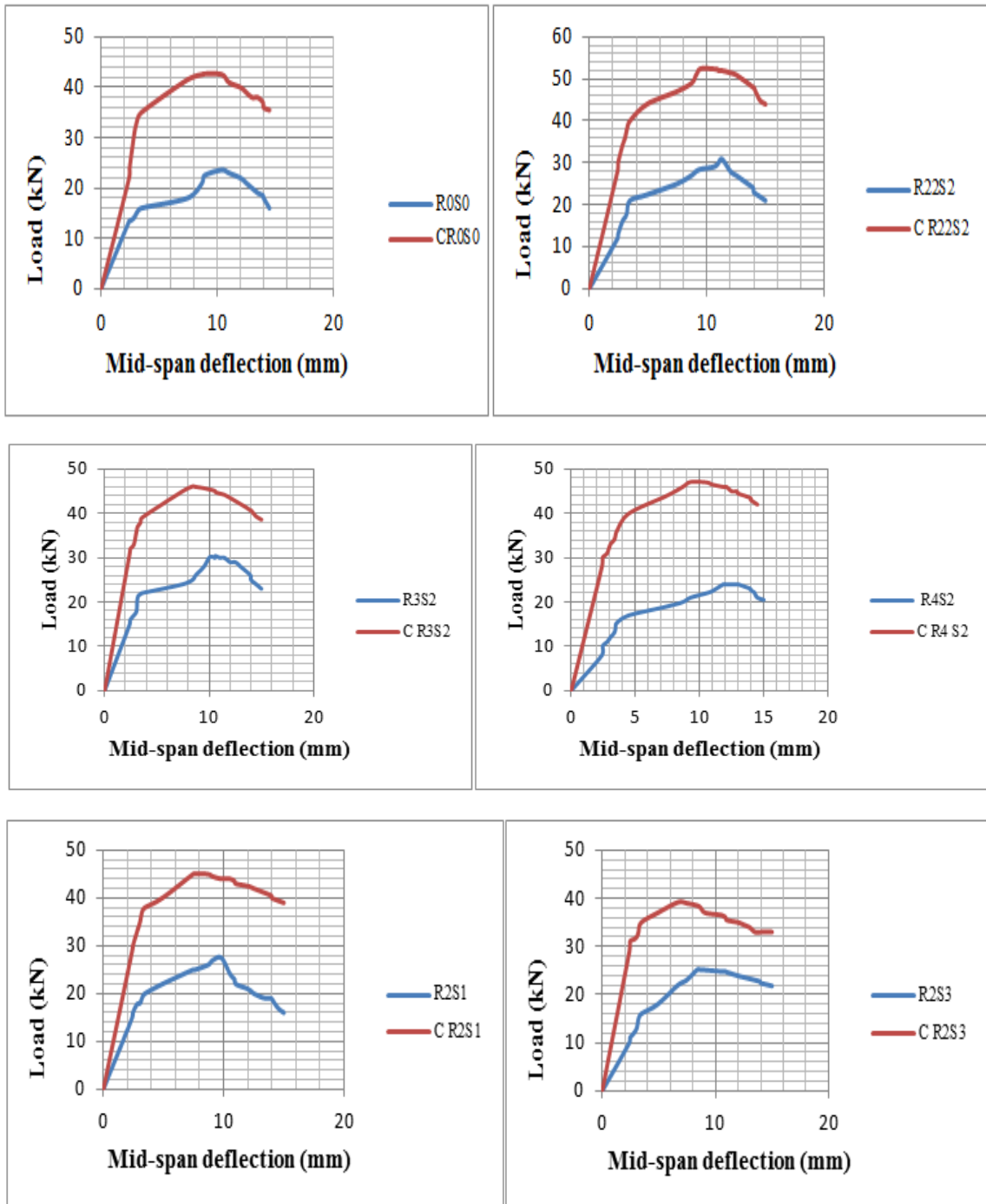


شكل 10 طريقة فحص نماذج السقوف الخرسانية المجوفة بعد التقوية باليااف الكربون



شكل 11 مقارنة بين احمال الفشل القصوى لنماذج السقوف الخرسانية قبل وبعد التقوية





شكل 12. منحني الحمل - الاود لنماذج السقوف الخرسانية المجوفة قبل وبعد التقوية باستخدام الياف الكربون

جدول (1) الخواص الكيميائية والفيزيائية للسمنت المستخدم في البحث

Composition	Content %	Limit of Iraqi specification No. 5/1984
Silica, SiO <sub>2</sub>	14.2	21 % Max.
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.6	8 % Max.
Iron oxide, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	6 % Max
Magnesia, MgO	-	5 % Max
Sulfate, SO <sub>3</sub>	2.23	2.8 % Max
Loss on Ignition, (L.O.I)	0.95	4 % Max
Insoluble material	0.89	1.5 % Max
Lim Saturation Factor, (L.S.F)	0.9	(0.66-1.02)
Physical Properties	Test Results	Limit of Iraqi specification No. 5/1984
Specific surface area (Blaine method), (m <sup>2</sup> /kg)	301	250 m <sup>2</sup> /kg (lower limit)
Setting time (vacate apparatus)		
Initial setting, hrs : min	55	Not less than 45 min
Final setting, hrs : min	8	Not more than 10 hrs
Compressive strength (MPa )For 3-day	27	15 MPa (lower limit)

جدول (2) تدرج الركام الناعم

Sieve size	Cumulative retained%	Cumulative passing %	Limit of IQS No. 45/1984 for zone No. (3)
4.75-mm (No.4)	0	100	90-100
2.36-mm (No.8)	8.5	91.5	85-100
1.18-mm(No.16)	19.75	80.25	75-100
600-µm(No.30)	39.25	60.75	60-79
300-µm(No.50)	78.75	21.25	12-40
150-µm(No.100)	95.75	4.25	0-10
Fineness modulus =2.42			

جدول (3) تدرج الركام الخشن

Sieve size	Cumulative passing %	Limit of ASTM C33-01
12.5-mm	100	90-100
9.5-mm	90	85-100
4.75-mm	15	10-30
2.36mm	0	0-10

جدول (4) نسب الخلط في الخرسانة المرجعية ( reference concrete )

Constituent	Water (kg)	Cement (kg)	Fine Aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg)	SP (kg)
Amount (kg/m <sup>3</sup> )	140	459.5	738.4	896	4.59

جدول (5) نتائج فحص الهطول ومقاومة الانضغاط ومقاومة شد الانشطار

No	Mix No.	Steel fibers (%)	W/C (%)	SP (%)	Slump (mm)	Comp. strength $f_{cu}$ MPa	Comp. strength $f'_c$ MPa	Splitting tensile - strength ( $f_{ct}$ ) MPa
1	M1	0	30.5	1	95	48.88	39.1	4.244
2	M2	0.5	30.5	1	85	60.44	48.35	5.658
3	M3	1	30.5	1.25	80	65.18	52.14	7.83
4	M4	1.5	30.5	1.5	65	58.66	46.92	7.07

الجدول (6) مقارنة بين نتائج فحص التحميل للسقوف قبل و بعد التقوية باستخدام اليااف الكربون

Sample No.	Vv %	Steel fibers %	Failure Load before strengthening by (CFRP) (KN)	Failure Load after strengthening by (CFRP) (KN)	% Incr. in Failure load	Deflection at Failure Load without (CFRP) (mm)	Deflection at Failure Load with (CFRP) (mm)	% Decr.in Deflection at Failure Load
R1S0	0	0	23.6	42.7	80.9	10.4	8.9	14.4
R2 S2	20	1	30.9	52.5	69.9	11.3	9.5	15.9
R3 S2	24	1	30.4	46.1	51.6	10.6	8.4	20.7
R4 S2	36	1	24	47.1	96.2	12.1	9.3	23.1
R2 S1	20	0.5	27.5	45.1	64	9.8	7.6	22.4
R2 S3	20	1.5	25.2	39.2	55.5	8.4	6.7	20.2