

مقاومة الأفتلاع لحديد التسليح المدعم برأس مطمور في خرسانة ليفية

سامر سامي مجيد

أ.د. سعد علي الطعان

جامعة الموصل / كلية الهندسة / قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

يتضمن هذا البحث دراسة تأثير ربط قطع حديدية مربعة الشكل بسلك (10mm) وأبعاد (20×20,25×25,30×30mm) بواسطة اللحام بنهايات قضبان حديد تسليح بأقطار (10,12,16mm) مطمورة في خرسانة ليفية بنسب إضافة حجمية للألياف الفولاذية (0.0,0.4,0.8,1.2%) على طول التثبيت المطلوب توفيره لأيسال حديد التسليح إلى إجهاد الخضوع (f_y) في حالة قضبان حديد تسليح ممتدة مستقيمة بنفس الاقطار غير مدعمة برؤوس حديدية.

Pullout Strength of Headed Deformed Reinforcement Embedded in Fibrous Concrete

Prof. Dr. Saad Ali AlTaan

Samir Sami Majeed

University of Mosul / College of Engineering / Civil Engineering Department

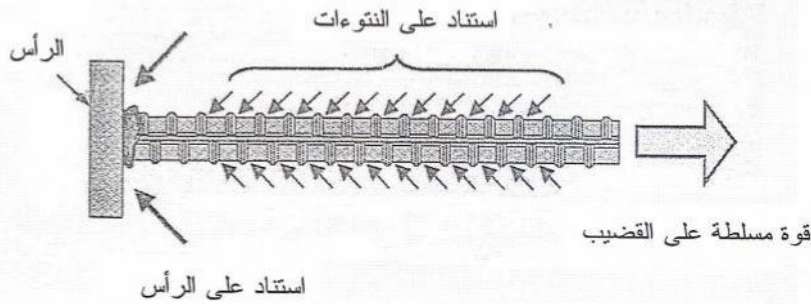
Abstract

This research contains a study of the effect of connecting square steel pieces (10mm) thick with dimensions (20×20,25×25,30×30mm) by welding with the ends of reinforced steel bars with diameters (10,12,16mm) embedded in fibrous concrete with a percentage volume of steel fibers (0.0,0.4,0.8,1.2%) over the development length required to reach steel reinforcement to yield strength (f_y) in case of straight reinforcement steel bars with the same diameters without steel headed.

Keywords: fibrous concrete; anchors; headed reinforcement

المقدمة

عند تصميم مفاصل الأعمدة-العتبات الخرسانية المسلحة يجب تدقيق طول التثبيت لقضبان تسليح العتبات الداخلة في الأعمدة التي تكون في حالة شد وخاصة تلك الواقعة في الزوايا أو النهايات [1] حيث لا تتوفر المسافة اللازمة كي تنتهي القضبان بشكل مستقيم . وفي أغلب الحالات يجب أن تنتهي القضبان بكتلايب بزواوية (90°) أو (180°) حسب مقطع العتبة والعمود الملتقيين . إن طول التثبيت للقضبان المستقيمة وكذلك المنتهية بكتلايب يتناسب طردياً مع حاصل ضرب إجهاد الخضوع للحديد ومساحة القضبان وعكسياً مع مقاومة الشد للخرسانة [2] . وبأزيد استعمال حديد تسليح ذي مقاومة خضوع عالية لا يمكن في بعض الحالات توفير طول التثبيت اللازم للقضبان المستقيمة أو المنتهية بكتلايب . لذا أصبح من المهم التفكير في إيجاد بدائل أخرى تؤدي إلى تقليل طول التثبيت . من هذه البدائل استعمال قضبان تسليح مدعمة برأس وكذلك إضافة الألياف الفولاذية إلى الخرسانة لزيادة مقاومة الشد فيها والتي تزيد بدورها مقاومة الارتباط بين قضبان التسليح والخرسانة . إن حديد التسليح المدعم برأس هو عبارة عن قضيب حديد تسليح يحتوي في نهايته على قطعة من الحديد بأبعاد معينة وسمك معين يعتمد على التصميم الإنشائي . شكل الرأس قد يكون بمقطع مربع أو مستطيل أو دائري أو بيضوي . تعتمد طريقة الربط بين الرأس الحديدي وقضيب حديد التسليح على طريقة الشركات المنتجة لهذه الرؤوس . فهناك طريقة الربط باللحام والربط بالسنين والربط بطريقة الاحتكاك حيث تتولد حرارة كبيرة بين الرأس الذي يدور بسرعة كبيرة وقضيب حديد التسليح الذي يكسب فيه أثناء الدوران مما يؤدي إلى الإلتحام القطعتين معاً . وهناك طريقة يتقرب فيها الرأس الحديدي ثم يلحم الرأس مع قضيب حديد التسليح حيث يكون اللحام من أسفل الرأس الحديدي ومن أعلاه [3] . ومهما تكن طريقة الربط فالمهم فيها هو ضمان عدم انفصال الرأس عن قضيب حديد التسليح عند تعرض العضو الخرساني للتحميل إذ يفترض وصول الحديد إلى إجهاد الخضوع (f_y) قبل حصول فشل في الربط بين الرأس وحديد التسليح [3] . والغاية من ربط الرأس الحديدي بنهاية قضيب حديد التسليح هو إعاقة إنسحابه أثناء السحب حيث يوفر الرأس مساحة ضغط تعيق الانسحاب وكذلك إيصال حديد التسليح إلى إجهاد الخضوع (f_y) باستخدام طول أقل من الطول المطلوب توفره (Development Length) في القضبان المستقيمة الممتدة التي لا تحتوي على رؤوس والاستغناء عن عمل الكتلايب (Hooks) في نهاية قضبان حديد التسليح سواء بزواوية (90°) أو (180°). إن عمل هذه الأحناءات في بعض الأحيان يكون صعباً وخاصة في قضبان حديد التسليح ذات الأقطار الكبيرة وكذلك في الأماكن الضيقة التي لا يكون فيها متسع من المسافة للعمل الموقعي [4] . والغاية هي الاقتصاد في كميات حديد التسليح المستخدم وكذلك إختصار الوقت والجهد المطلوبين للعمل وتقليل التشابك في حديد التسليح في بعض المناطق [4] . والشكل (1) يوضح شكل وآلية عمل قضيب حديد تسليح مدعم برأس .



شكل (1) شكل وآلية عمل قضيب حديد تسليح مدعم برأس

الخرسانة الليفية

من المعروف أن الخرسانة العادية لها مقاومة شد قليلة ومطيلية محدودة ومقاومة قليلة لنمو التشققات وقد وجد أن إضافة الألياف بكمية قليلة وبمسافات متقاربة تعمل على تحسين خواص الخرسانة على نحو فعلي وملحوظ فضلاً عن تحسين الخواص الديناميكية لها ويسمى هذا النوع من الخرسانات بالخرسانة الليفية (Fibrous Concrete) [5] وهناك أنواع مختلفة من الألياف مثل الألياف الفولاذية والزجاجية والبلاستيكية والنايلون والأسبست والكاربون والألياف النباتية [5] . وفي هذه الدراسة تم الأخذ بنظر الاعتبار استعمال الألياف الفولاذية كون هذا النوع من الألياف هو من أكثر الأنواع شيوعاً وأعلىها مقدرة على تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة . إن إضافة الألياف قد تعمل على زيادة مقاومة الأنضغاط للخرسانة بشكل أقل من الزيادة في الشد ومقاومة الصدم وامتصاص الطاقة وزيادة مقاومة الخرسانة لنمو التشققات في منطقة الشد وزيادة المطيلية [5] . إن زيادة مقاومة الشد للخرسانة يزيد من مقاومة الارتباط

بين قضبان التسليح والخرسانة المحيطة بها وهذا ما يقلل من طول التثبيت اللازم سواء إنتهت القضبان بشكل مستقيم أم على شكل كلابيب .

البرنامج العملي

المواد المستخدمة في البحث

- 1- الأسمنت :-
الأسمنت المستخدم في البحث هو أسمنت عراقي محلي من نوع الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي (Ordinary Portland Cement) مصنوع في معمل سميت بادوش في مدينة الموصل .
- 2- ماء الخلط :-
أستخدم ماء الشرب الاعتيادي (Tap Water) في الأعمال الخرسانية للبحث الحالي .
- 3- الركام الناعم (الرمل) :-
الرمل المستخدم في الأعمال الخرسانية للبحث الحالي هو رمل نهري (River Sand) من منطقة الكنهرش في مدينة الموصل(العراق) وقد أجريت عليه عملية الغربلة واختير الرمل المار من منخل (4.75mm) .
- 4- الركام الخشن (الحصى) :-
إنّ الحصى المستخدم حصى نهري ناعم (River Gravel) والمسمى محلياً (البحص) ذو حبيبات مدورة الشكل (Rounded Agregate) وأستخدم الحصى بمقاس أقصى يبلغ (12.5mm) .
- 5- الألياف الفولاذية (Steel Fibers) :-
الألياف الفولاذية المستخدمة في هذا البحث كانت ذات مقطع قشري غير منتظم منحنى النهايتين (Shelled Deformed Section) . طول الليف المستخدم (16mm) والنسبة الباعية (Aspect Ratio) كانت تساوي (19.635)

$$\cdot \left(\frac{l_f}{d_f} \right) \text{ وهي عبارة عن طول الليف إلى القطر المكافئ}$$

6- حديد التسليح :-

أستعملت قضبان حديد تسليح بقطر (6mm) لعمل الحلقات المستعملة في التسليح المحيطي للجزء الأسطواني السفلي من النموذج. وأستعملت قضبان حديد تسليح بقطر (8mm) لعمل الحلقة المستعملة في التسليح المحيطي للجزء الأسطواني العلوي من النموذج . وأستعملت قضبان حديد تسليح بقطر (10mm) للتسليح الطولي للنموذج وذلك لمنع حدوث شقوق أو فشل في الاتجاه الأفقي أثناء الفحص . وكذلك لزيادة مقاومة الأرتباط للقضبان داخل الخرسانة في الجهة المقابلة للمثبت . وأستخدمت أيضا قضبان من حديد التسليح بأقطار (16 , 25mm) لتثبيت النموذج بجهاز الفحص . كما أستخدمت قضبان حديد تسليح بأقطار (10 , 12 , 16mm) مدعمة برؤوس فولاذية مربعة الشكل بأبعاد متغيرة وبسمك ثابت هو (10mm) . الجدول (1) يبين خصائص قضبان التسليح المستخدم والتي دعمت برأس حديدي.

جدول (1) خصائص حديد التسليح المستخدم

db mm	fy (MPa)	fult (MPa)
10.0	440	710
12.0	468	702
16.0	399	714

الخلطة الخرسانية (نسبة المزج) :-

تم استخدام خلطة خرسانية بنسبة وزنية تساوي (1 : 1.7 : 3.0) وكانت نسبة الماء إلى الأسمنت (w/c) تساوي (0.45) . تم إختيار هذه الخلطة الخرسانية بعد إجراء فحص مقاومة الأضغاط على عدد من الخلطات التجريبية وظهر من خلال الفحص بأن هذه النسب تعطي مقاومة إنضغاط تزيد عن (35MPa) بعمر (28) يوم والتي كانت هي المقاومة المطلوبة في هذا البحث (مقاومة متوسطة) وهطول بحدود (100mm) لغرض الحصول على

خطة ذات قابلية تشغيل جيدة حيث أوصى العديد من الباحثين باستخدام هذا الهطول لأنه يعطي قابلية تشغيل جيدة للخطة عند إضافة الألياف الفولاذية [6,7].

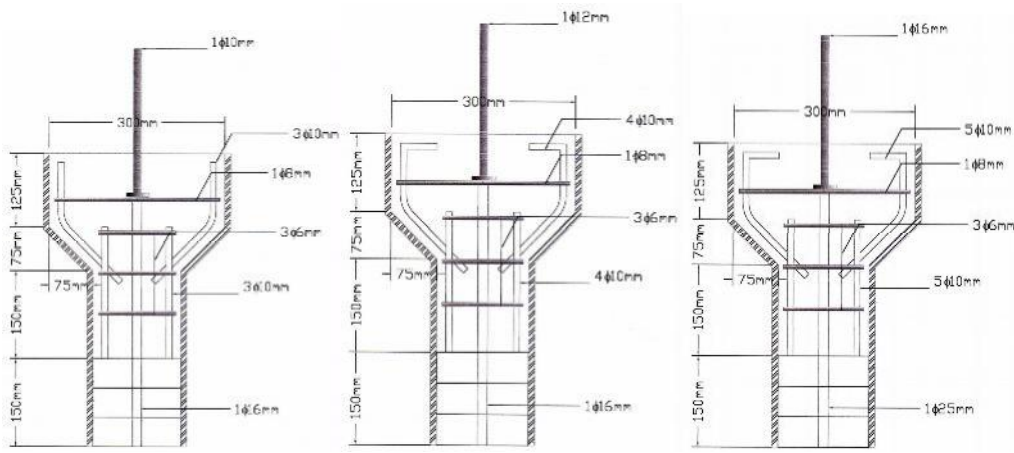
المتغيرات المعتمدة في البحث :-

يشمل موضوع البحث دراسة تأثير المتغيرات التالية على مقاومة التثبيت لحديد التسليح المدعم برأس المظموور في الخرسانة الاعتيادية والليفية .

- 1- نسبة الأضافة الحجمية للألياف الفولاذية (% Vf) .
- 2- أبعاد الرأس الحديدي المدعم .
- 3- قطر قضيب حديد التسليح المدعم برأس (db) .
- 4- عمق الدفن (hef) .

النماذج المستعملة :-

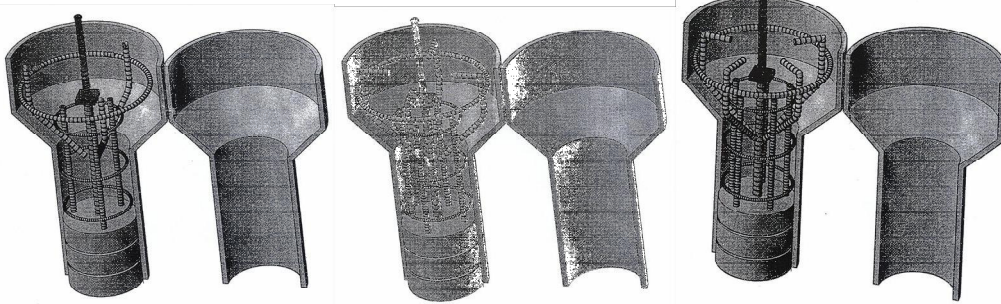
- 1- نماذج التثبيت (تثبيت قضبان حديد التسليح المدعم برأس في الخرسانة)
- 2- نماذج السيطرة (لقياس مقاومة الأنضغاط ومقاومة الأنتشار للخرسانة)



$\Phi = 10\text{mm}$

$\Phi = 12\text{mm}$

$\Phi = 16\text{mm}$



$\Phi = 10\text{mm}$

$\Phi = 12\text{mm}$

$\Phi = 16\text{mm}$

شكل (2) تفاصيل التسليح وأشكال القوالب المستخدمة لكل قطر من قضبان التسليح

1- نماذج التثبيت :-

النموذج المستخدم في البحث عبارة عن قالب حديدي يتكون من ثلاثة أجزاء . الجزء السفلي عبارة عن إسطوانة قياسية بأبعاد (150×300mm) والجزء الوسطي مخروط ناقص مقلوب رأسه إلى الأسفل بقطر (

(150mm) وقاعدته إلى الأعلى بقطر (300mm) وارتفاعه (75mm) والجزء العلوي عبارة عن إسطوانة بقطر (300mm) وارتفاع (125mm) . تم ربط الأجزاء مع بعضها بواسطة اللحام (Welding) الشكل (2) يوضح تفاصيل التسليح وأشكال القوالب المستخدمة في البحث . لكل قطر من أقطار قضبان حديد التسليح المدعمة برأس كان هنالك تسليح للنموذج يختلف عن تسليح النماذج الأخرى وسبب ذلك كون زيادة القطر تستدعي زيادة قوة السحب المطلوبة لأىصال الحديد إلى مقاومة الخضوع (f_y) وبالتالي زيادة التسليح المستخدم للنموذج لمنع فشل النموذج قبل وصول الأجهاد في الحديد إلى مقاومة الخضوع (f_y) . كما أستخدم قضيب تسليح بقطر (16mm) وبعمق دفن صافي في الخرسانة مقداره (250mm) لتثبيت النماذج من الأسفل بجهاز الفحص عند فحص القضبان قطر (12mm , 10) المدعمة برأس ولمختلف أعماق الدفن. بينما أستخدم قضيب تسليح بقطر (25mm) وبعمق دفن صافي في الخرسانة مقداره (250mm) أيضا لتثبيت النماذج بجهاز الفحص عند فحص القضبان قطر (16mm) المدعمة برأس ولمختلف أعماق التثبيت.

2- نماذج السيطرة :-

تضمنت فحوص السيطرة فحص مقاومة الأنضغاط ومقاومة الأنتشار [8] لنماذج إسطوانية بأبعاد (100 × 200mm) حيث يتم صب ست إسطوانات مع كل نموذج تثبيت من نفس الخلطة الخرسانية ويتم فحص ثلاث إسطوانات لمقاومة الأنضغاط وثلاث لمقاومة الأنتشار ويتم أخذ المعدل لثلاثة نماذج .

النتائج و المناقشة

تشمل المجموعة الأولى قيم إجهادات الشد لقضبان حديد تسليح قطر (10mm) مدعمة برأس حديدي مربع الشكل سمك (10mm) وبطول ضلع (20mm, 25mm, 30mm). وكانت الخرسانة المستخدمة في صب النماذج مسلحة بثلاثة نسب مئوية حجمية من الألياف الفولاذية وهي (0.4, 0.8, 1.2%) وكان طول الألياف الفولاذية المستخدمة (16mm) والنسبة الباعية لها (19.635) ولأعماق دفن (50,55mm) وكان عدد النماذج المفحوصة (24) نموذجا أي (12) نموذجا لكل عمق دفن . أما المجموعة الثانية فتشمل قيم إجهاد الشد لقضبان حديد تسليح قطر (12mm) مدعمة برأس حديدي مربع الشكل سمك (10mm) وبطول ضلع (20mm, 25mm, 30mm). وكانت الخرسانة بنفس المواصفات السابقة . أما أعماق الدفن فكانت (55, 60, 65mm) ، وكان عدد النماذج المفحوصة (36) نموذجا أي (12) نموذجا لكل عمق دفن . أما المجموعة الثالثة فتشمل قيم إجهاد الشد لقضبان حديد تسليح بقطر (16mm) مدعمة برأس حديدي مربع الشكل سمك (10mm) وبطول ضلع (25mm, 30mm). وكانت الخرسانة بنفس المواصفات السابقة أيضا . أما أعماق الدفن فكانت (95, 100mm) ، وكان عدد النماذج المفحوصة (16) نموذجا أي (8) نماذج لكل عمق دفن . تم إعتداد ترميز معين لسهولة وصف النموذج . فعلى سبيل المثال (501025.4) يعني أن عمق الدفن هو (50mm) وقطر قضيب حديد التسليح المدعم برأس هو (10mm) والرأس المدعم بقضيب حديد التسليح بأبعاد (25×25mm) والنسبة المئوية الحجمية للألياف الفولاذية المضافة هي (0.4%) .

نتائج فحص نماذج السحب بقطر (10mm)

تم صب (24) نموذجا ضمن هذه المجموعة والجدول (2) يبين نتائج الأجهاد في الحديد المستحصل عمليا ($f_{s, exp}$) ومقاومة الأنضغاط والشد للخرسانة . لغرض مقارنة النتائج العملية مع المعادلات النظرية تم استخدام عدد من الطرق المذكورة في الفصل الثالث ولكن الطريقة التي أعطت أفضل نتائج هي طريقة (CCD) فتم استخدامها لحساب مقاومة التثبيت وأضيف إليها المقاومة الناتجة من وجود الحلزنة على جوانب قضيب حديد التسليح على طول عمق الدفن عند سحب النموذج . وعلى هذا الأساس تم تطبيق المعادلات التالية :-
يؤخذ على سبيل المثال النموذج (501025.12) من المجموعة الأولى وتجرى عليه الحسابات التالية :-

1- تحسب سعة الشد للخرسانة الأعتيادية (T_o) حسب طريقة (CCD) 1-

$$T_o = 16.7 \sqrt{fc'} (h_{ef})^{1.5} = 16.7 \sqrt{38.7} (50)^{1.5} = 36730 N$$

2- $f_{s1} = \frac{T_o}{A_b} = \frac{36730}{74.7} = 492 MPa$ (الأجهاد الناتج من إقتلاع الهرم الخرساني)

$$3- A_f = \frac{\sqrt{3}h_{ef}}{2} (12h_{ef} + 4L) \quad (\text{المساحة السطحية الجانبية للهرم الخرساني})$$

$$L = \sqrt{A_b} = \sqrt{74.7} = 8.64 \text{ mm} \quad (\text{طول ضلع المربع المكافئ لمساحة مقطع حديد التسليح})$$

$$A_f = \frac{50\sqrt{3}}{2} (12 \times 50 + 4 \times 8.64) = 27477 \text{ mm}^2$$

$$4- T_f = 1.38 \times \left(\frac{l_f}{d_f} \right) \times V_f \times A_f \quad (\text{القوة الإضافية الناتجة من سحب الألياف})$$

$$T_f = 1.38 \times 19.635 \times \frac{1.2}{100} \times 27477 = 8934 \text{ N}$$

$$5- f_{s2} = \frac{T_f}{A_b} = \frac{8934}{74.7} = 119 \text{ MPa} \quad (\text{الأجهاد الناتج من إضافة الألياف})$$

$$f_s = 492 + 119 = 611 \text{ MPa} \quad (\text{الأجهاد الكلي})$$

يحسب طول التثبيت من معادلة ارتباط التثبيت (Anchorage Bond) التالية :-

$$l_d = \frac{f_y \cdot d_b}{4 \cdot u}$$

$$(5.5 \text{ MPa} \geq \frac{20\sqrt{f_c'}}{d_b}) = \text{حيث أن } (u) = \text{مقاومة الارتباط لقضبان التسليح}$$

$$u = \frac{20\sqrt{38.7}}{9.75} = 12.76 \text{ MPa} \quad \text{يستعمل الحد الأعلى (5.5 MPa)}$$

$$7- l_d = \frac{f_y \times d_b}{4 \times 5.5} = \frac{440 \times 9.75}{4 \times 5.5} = 195 \text{ mm}$$

$$8- f_{so} = \frac{f_s}{\left[1 - \left[\frac{h_{ef}}{l_d} \right]^2 \right]} = \frac{611}{\left[1 - \left[\frac{50}{195} \right]^2 \right]} = 654 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{s. \text{exp}}}{f_{so}} = \frac{673}{654} = 1.029$$

$$\text{Average } (f_{s. \text{exp}} / f_{so}) = 1.017$$

$$\text{Standard deviation} = 0.0739, \quad C.O.V = 7.2 \%$$

يشير معدل نسبة قيمة الأجهاد العملية / القيمة المحسوبة بأنه على الأغلب أعلى قليلاً من (1.0) أي بجانب الأمان وكذلك معدل التباين القليل نسبياً.

جدول (2) نتائج فحص مقاومة التثبيت لقضيب حديد تسليح بقطر (10mm) مدعم برأس

مواصفات النموذج	معدل مقاومة الأنضغاط (MPa)	معدل مقاومة الشد (MPa)	الأجهاد في الحديد (f_s) (MPa)		
			العملي	النظري	العملي/النظري
501020.0	39.1	4.1	470	528	0.890
501020.4	44.1	4.3	625	570	1.096
501020.8	46.6	4.6	703 (S.F)	613	1.146
501020.12	48.3	4.5	681	656	1.038
501025.0	38.7	3.4	570	526	1.083
501025.4	44.1	4.3	623	568	1.097
501025.8	48.3	4.9	673	611	1.101
501025.12	49.1	4.9	673	654	1.029
501030.0	40.1	4.1	507	535	0.947
501030.4	44.1	4.3	610	577	1.057
501030.8	48.3	4.9	702 (S.F)	620	1.132
501030.12	49.1	4.9	697	662	1.052
551020.0	39.1	4.1	610	616	0.990
551020.4	44.1	4.3	644	667	0.966
551020.8	46.6	4.6	707 (S.F)	719	0.983
551020.12	48.3	4.5	696	771	0.903
551025.0	38.7	3.4	588	613	0.959
551025.4	43.9	4.6	717 (S.F)	664	1.080
551025.8	47.8	5.4	712 (S.F)	716	0.994
551025.12	49.9	5.5	713 (S.F)	767	0.929
551030.0	40.1	4.1	649	623	1.041
551030.4	43.9	4.6	699	675	1.035
551030.8	47.8	5.4	693	727	0.953
551030.12	49.9	5.5	717 (S.F)	778	0.921

* الرمز (S.F) يعني أن الفشل حصل في الحديد (إنقطاع حديد التسليح)

نتائج فحص نماذج السحب بقطر (12mm)

تم صب (36) نموذجاً ضمن هذه المجموعة والجدول (3) يبين نتائج الأجهاد في الحديد ($f_{s, exp}$) ومقاومة الأنضغاط والشد للخرسانة . أما بالنسبة للحسابات فتكون مشابهة للحسابات السابقة .

$$Average (f_{s, exp} / f_{so}) = 1.036$$

$$Standard deviation = 0.065 , C.O.V = 6.3 \%$$

معدل نسبة القيمة العملية/المحسوبة للأجهاد أكثر قليلاً من (1.0) وهي بجانب الأمان أيضاً ومعدل التباين أفضل من تلك للقضبان بقطر (10mm) وربما يعزى ذلك لعدد النماذج الأكثر في هذه الحالة عن الحالة الأولى .

نتائج فحص نماذج السحب بقطر (16mm)

تم صب (16) نموذجاً ضمن هذه المجموعة والجدول (4) يبين نتائج الأجهاد في الحديد ($f_{s, exp}$) ومقاومة الأنضغاط والشد للخرسانة .

جدول (3) نتائج فحص مقاومة التثبيت لقضيب حديد تسليح بقطر (12mm) مدعم برأس

مواصفات النموذج	معدل مقاومة الأنضغاط (MPa)	معدل مقاومة الشد (MPa)	الأجهاد في الحديد (MPa) (fs)		
			العملي	النظري	العملي/النظري
551220.0	40.8	4.0	423	385	1.098
551220.4	42.0	4.2	451	417	1.081
551220.8	43.1	4.3	487	449	1.085
551220.12	44.7	4.4	508	481	1.056
551225.0	37.5	3.8	393	369	1.065
551225.4	39.1	4.3	448	401	1.117
551225.8	41.8	4.4	508	433	1.173
551225.12	47.0	4.5	515	466	1.105
551230.0	37.5	3.8	400	369	1.084
551230.4	39.1	4.3	460	401	1.147
551230.8	41.8	4.4	485	433	1.120
551230.12	47.0	4.5	520	466	1.116
601220.0	40.8	4.0	468	443	1.056
601220.4	42.0	4.2	475	481	0.987
601220.8	43.1	4.3	500	520	0.961
601220.12	44.7	4.4	558	558	1.000
601225.0	40.8	3.9	476	443	1.074
601225.4	43.9	4.5	497	481	1.033
601225.8	44.5	4.6	520	520	1.000
601225.12	48.7	4.8	530	558	0.950
601230.0	40.8	3.9	463	443	1.045
601230.4	43.9	4.5	489	481	1.016
601230.8	44.5	4.6	493	520	0.948
601230.12	48.7	4.8	555	558	0.995
651220.0	38.3	4.4	472	489	0.965
651220.4	40.8	4.9	506	533	0.949
651220.8	42.2	5.4	570	577	0.988
651220.12	42.9	5.1	610	622	0.981
651225.0	41.4	4.6	548	509	1.076
651225.4	45.8	4.8	620	553	1.121
651225.8	46.6	4.8	623	598	1.041
651225.12	47.0	5.4	625	642	0.973
651230.0	41.4	4.6	516	509	1.013
651230.4	45.8	4.8	567	553	1.025
651230.8	46.6	4.8	580	598	0.970
651230.12	47.0	5.4	583	642	0.908

يؤخذ على سبيل المثال النموذج (951630.4) من المجموعة الثالثة وتجري عليه الحسابات

التالية :-

تحسب سعة الشد (T_o) للخرسانة الاعتيادية حسب طريقة (CCD)

$$1- T_o = 16.7 \sqrt{fc'} (h_{ef})^{1.5} = 16.7 \sqrt{37.9} (95)^{1.5}$$

$$T_o = 95197 \text{ N}$$

$$D = 300 \text{ mm} \quad (\text{قطر النموذج المستخدم في الفحص})$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times (300)^2 = 70685.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{مساحة مقطع النموذج المستخدم في الفحص})$$

$$L = \sqrt{70685.8} = 266 \text{ mm} \quad (\text{طول ضلع المربع المكافئ لهذه المساحة})$$

$$c_1 = c_2 = 133 \text{ mm} \quad (\text{نصف ضلع المربع ، يمثل المسافة من المركز إلى الحافة الجانبية})$$

$$1.5 \times h_{ef} = 1.5 \times 95 = 142.5 \text{ mm} > c_1, c_2$$

يلاحظ في هذه الحالة أن $(1.5h_{ef})$ أكبر من $(c_1 \& c_2)$ ولهذا السبب يجب إدخال تأثير المسافة الجانبية في حساب سعة الشد ولتجنب هذا التأثير يجب أن يكون قطر النموذج :

$$\sqrt{\frac{(2 \times 142.5)^2 \times 4}{\pi}} = 322 \text{ mm}$$

وهنا يدخل تأثير معامل مسقط مساحة الفشل $\left(\frac{A_N}{A_{No}}\right)$. فضلاً عن المعامل $(\psi/2)$ لتأثير توزيع الأجهاد بسبب عدم وجود مسافة كافية لتوزيع الأجهاد بصورة منتظمة في الخرسانة .

$$\psi_2 = 0.7 + 0.3 \left(\frac{133}{1.5 \times 95} \right) = 0.98$$

$$A_N = (266)^2 = 70756 \text{ mm}^2$$

$$A_{No} = 9(95)^2 = 81225 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{A_N}{A_{No}} \right) = \left(\frac{70756}{81225} \right) = 0.8711$$

$$T'_o = T_o \times \psi_2 \times \frac{A_N}{A_{No}} = 95197 \times 0.98 \times 0.8711 = 81267 \text{ N}$$

$$f_{s1} = \frac{T'_o}{A_b} = \frac{81267}{199.283} = 408 \text{ MPa}$$

عمق المخروط في هذه الحالة سيساوي $(c_1/1.5)$

$$2- A_f = \frac{\sqrt{3}h_{ef}}{2} (12 h_{ef} + 4 L)$$

سيتم تعويض قيمة (h_{ef}) في هذه المعادلة بالقيمة $(c_1/1.5)$ وتساوي $(133/1.5)$ وكذلك سيتم وضع القيمة $(8c_1)$ بدلاً عن $(12h_{ef})$ التي تمثل محيط المربع .

$$L = \sqrt{199.283} = 14.11 \text{ mm}$$

$$A_f = \frac{133\sqrt{3}}{2 \times 1.5} (8 \times 133 + 4 \times 14.11) = 86035 \text{ mm}^2$$

$$3- \quad T_f = 1.38 \times \left(\frac{l_f}{d_f} \right) \times V_f \times A_f$$

$$T_f = 1.38 \times 19.635 \times \frac{0.4}{100} \times 86035 = 9325 \text{ N}$$

$$4- \quad f_{s2} = \frac{T_f}{A_b} = \frac{9325}{199.283} = 47 \text{ MPa}$$

$$f_s = 408 + 47 = 455 \text{ MPa}$$

$$u = \frac{20\sqrt{37.9}}{15.91} = 7.74 \text{ MPa} \quad (\text{يستعمل الحد الأعلى } 5.5 \text{ MPa})$$

$$6- \quad l_d = \frac{f_y \times d_b}{4 \times 5.5} = \frac{399 \times 15.91}{4 \times 5.5} = 289 \text{ mm}$$

$$7- \quad f_{so} = \frac{f_s}{\left[1 - \left[\frac{h_{ef}}{l_d} \right]^2 \right]} = \frac{455}{\left[1 - \left[\frac{95}{289} \right]^2 \right]} = 510 \text{ MPa}$$

$$8- \quad \frac{f_{s, \text{exp}}}{f_{so}} = \frac{436}{510} = 0.855$$

جدول (4) نتائج فحص مقاومة التثبيت لقضيب حديد تسليح بقطر (16mm) مدعم برأس

مواصفات النموذج	معدل مقاومة الأضغاط (MPa)	معدل مقاومة الشد (MPa)	الاجهاد في الحديد (fs) (MPa)		
			العملي	النظري	العملي/النظري
951625.0	38.3	4.37	406	457	0.888
951625.4	41.8	4.52	411	509	0.807
951625.8	42.7	4.58	423	562	0.753
951625.12	43.1	4.68	472	614	0.769
951630.0	37.9	3.80	431	455	0.947
951630.4	41.8	4.52	436	510	0.855
951630.8	42.7	4.58	453	560	0.809
951630.12	43.1	4.68	475	612	0.776
1001625.0	37.5	4.37	421	441	0.955
1001625.4	41.4	4.42	458	494	0.927
1001625.8	43.5	4.68	482	547	0.881
1001625.12	44.1	4.63	485	600	0.808
1001630.0	37.5	4.37	414	441	0.939
1001630.4	41.4	4.42	453	494	0.917
1001630.8	43.5	4.68	480	547	0.878
1001630.12	44.1	4.63	487	600	0.812

$$\text{Average } (f_s. \text{exp} / f_{so}) = 0.858$$

$$\text{Standard Deviation} = 0.0679 \quad , \quad C.O.V = 7.9 \%$$

يلاحظ أن الفرق بين نتائج معدل الأجهادات المحسوبة والعملية كان أكبر في هذه الحالة عما هو عليه بالنسبة للنماذج ذات قطر (10,12mm) وربما يعزى سبب ذلك إلى صغر قطر النموذج الخرساني من الأعلى والذي كان من المفترض أن يكون بقطر (322mm) لعمق دفن (95mm) و(339mm) لعمق دفن (100mm). أما بالنسبة للنماذج كافة أي بقطر (10,12,16mm) فكان المعدل والانحراف المعياري ومعامل التباين كالاتي :

$$\text{Average } (f_s. \text{exp} / f_{so}) = 0.993$$

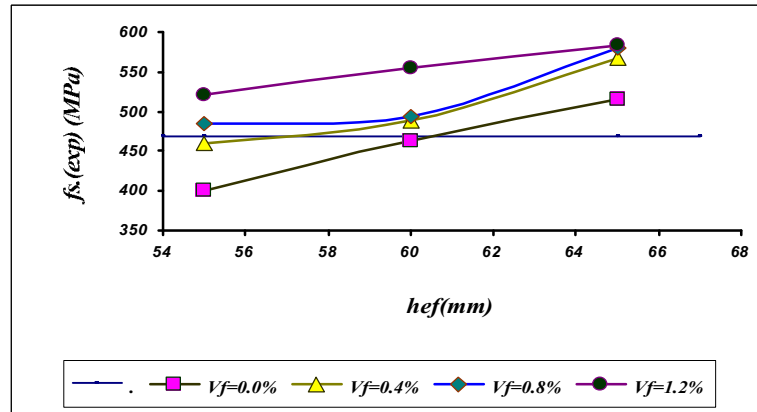
$$\text{Standard Deviation} = 0.098$$

$$C.O.V = 9.87 \%$$

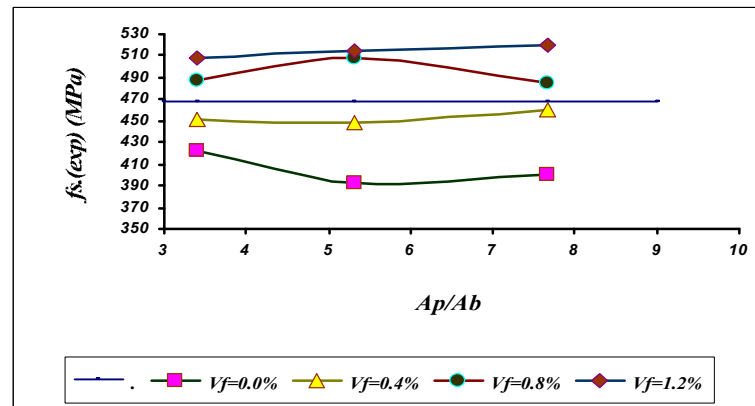
الاستنتاجات والتوصيات

من خلال نتائج الفحوصات المخبرية التي أجريت خلال هذه الدراسة ، وما تم التوصل إليه من معادلات رياضية يمكن الوصول إلى الاستنتاجات الآتية :-

1. أن مقاومة التثبيت تتأثر بنسبة الأضافة المئوية الحجمية للألياف الفولاذية . إذ بزيادة هذه النسبة تزداد مقاومة التثبيت ضمن الحدود المثلثي التي أختيرت على أساسها نسب الأضافة للألياف في البحث كما يوضح الشكل (3) .
2. أنه يمكن أن يعد عمق الدفن من أهم العوامل تأثيراً على إجهادات الأفتلاع إذ تؤدي أي زيادة في قيمته إلى زيادة هذه الأجهادات وتغيير هذا المعامل يؤثر أيضاً على تصرف الألياف وعلى تأثيرها على قيمة إجهادات الأفتلاع المقاسة كما يوضح الشكل (3).
3. أن تغيير أبعاد الرأس الحديدي ضمن الأبعاد المعتمدة في هذا البحث (20mm, 25mm, 30mm) لم يكن له تأثير ملموس على مقاومة التثبيت كما يوضح الشكل (4) .



شكل (3) تغير الأجهاد مع نسب الأضافة الحجمية للألياف الفولاذية وعمق الدفن لقضيب بقطر (12mm) مدعم برأس قياس (30×30mm)



شكل (4) العلاقة بين قيمة الأجهاد ونسبة مساحة الرأس الحديدي إلى مساحة القضبان بقطر (12mm) وعمق دفن (55mm)

المصادر

1. ACI - ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete structures", (ACI -352R) American Concrete Institute , Farmington Hills, MI. 1991, 18 pp .
2. ACI Committee (318-05), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318-05) , Farmington Hills , 2005 , 430 pp.
- 3- Thompson, M. K., Klingner, R. E., Jirsa, J. O., and Breen, J. E., "Anchorage Behavior of Headed Reinforcement: Literature Review", Centre for Transportation Research , The University of Texas at Austin, Report 1855-1, May, 2002, pp.1-102.
- 4- Thompson, M. K., Young, M. J., Jirsa, J. O., Breen, J. E., and Klingner, R. E. , "Anchorage of Headed Reinforcement in CCT Nodes", Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Research Report 1855-2, May, 2002, pp.1-146.
- 5- السبعواوي عبد القادر ، " سعة الشد لبراغي مثبتة بعمق دفن قصير في خرسانة مسلحة بألياف فولاذية " ، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل ، العراق ، كانون الثاني ،
- 6- ACI committee 544, "State-of-the Art Report on Fiber Reinforced Concrete" , (2006) ، 120 صفحة . ACI Journal, TITLE NO. 70-65, November 1973, pp .729-742.
- 7- ACI committee 544.3 R-93, "Guide for Specifying Proportioning Mixing , Placing , and , Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete", American Concrete Institute , 1998, pp.1-10.
- 8- ASTM, Designation: C496-96, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens" , Annual Book of ASTM Standards, VOL. 04. 02, 4 pp.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل