

دراسة تجريبية لتحديد سلوك التماسك في البيتون ذاتي الارتصاص المصنع من مواد محلية المنشأ

الدكتور علي تريكية *

(تاريخ الإيداع 9 / 3 / 2019. قُبِلَ للنشر في 23 / 4 / 2019)

□ ملخص □

نقوم في هذا البحث باختبار آلية التماسك بين فولاذ التسليح والخرسانة، حيث تم إجراء الاختبارات على الخرسانة التقليدية (conventional vibrated concrete - CVC) وعلى الخرسانة ذاتية الارتصاص (self-SCC) ((compacting concretes)) بهدف دراسة تأثير أنواع الاسمنت البورتلاندي العادي الأسود بصنفه الأول I - (32.5Mpa) ، والثاني II - (42.5Mpa) المستخدمة في تصنيع خلطات الاختبار، وذلك على التماسك بين الخرسانة بنوعها (SCC,CVC) والقضبان الفولاذية .

تم تحميل عينات الاختبار وفق معدل ثابت وتمّ تسجيل كل من انزلاق القضبان والحمولة المطبقة خلال إجراء الاختبارات حتى الوصول إلى انهيار التماسك والانسحاب الموافق له.

تُبين نتائج الاختبارات والتي تمّ إجراؤها على عينات بقياس (150mm) بأن قوى التماسك بين الخرسانة وقضبان التسليح ترتبط بقطر القضيب، ونوع الإسمنت المستخدم ونوع الخرسانة (تقليدية أم ذاتية الارتصاص).

تُبين النتائج التي تمّ الحصول عليها على ازدياد مقاومة الخرسانة على الضغط وازدياد قوى التماسك بين فولاذ التسليح والخرسانة وذلك للخرسانة العادية (CVC) وللخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) عندما استخدمنا الاسمنت البورتلاندي الأسود من صنف II - (42.4 Mpa) عنه من صنف I - (32.5Mpa) .

الكلمات المفتاحية: قوة التماسك - الخرسانة ذاتية الارتصاص - اختبار الانبساط - (اختبار العلية L - box) - اهتزاز - الفيلر .

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

Experimental study to determine the bond behavior on Self-Compacting Concrete Mix produced from locally sourced materials

Dr. Ali Turikieh*

(Received 9 / 3 / 2019. Accepted 23 / 4 / 2019)

□ ABSTRACT □

In this paper, we test the mechanism of bond between reinforcing steel and concrete, where the tests were carried out on the conventional vibrated concrete CVC and self-compacting concretes SCC to study the effect of the ordinary black Portland cement with its first I-(32.5Mpa) And the second II-(42.5Mpa) used in the manufacture of test mixtures, on the bond between concrete (SCC, CVC) and steel bars.

Test samples were loaded at a fixed rate and both the sliding bars and load applied during the tests were recorded until the collapse of cohesion and corresponding withdrawal was achieved. The samples were loaded according to a fixed rate and recording of both sliding rods and load applied during the tests.

The results of the tests, which were conducted on 150 mm samples, show that the bonding forces between the concrete and the reinforcement bars are related to the diameter of the bars, the type of cement used and the type of concrete mix.

The results obtained showed an increase in resistance to pressure and increased strength between reinforcing steels and concrete for CVC and self-tapping concrete when we used black Portland cement of (42.4 Mpa) type (32.5Mpa).

Keywords: bond strength; Self-compacting concrete; slump flow test; L-box test vibration; compaction; Filler.

*Associate Professor, Department of Structural engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تُمثل الخرسانة ذاتية الارتصاص (self-compacting concrete - SCC) واحدة من أهم التطورات الحديثة في عالم تكنولوجيا البناء لعقود من الزمن، وكان لها استخداماً واسعاً في السنوات الأخيرة بهدف وضعها في الهياكل الخرسانية المسلحة المكتنزة بالتسليح والمترافقة مع ظروف تسليح صعبة من أجل هذه التطبيقات للخرسانة يجب أن تمتلك الخرسانة حديثة المزج سيولة عالية وتماسك جيد بين مكوناتها ، وتُعتبر الخرسانة (SCC) بمثابة الخرسانة التي يمكن وضعها وضغطها تحت وزنها الذاتي مع القليل أو بدون جهد الرَّج، بحيث تبقى في نفس الوقت مُتماسكة بما فيه الكفاية ليتم التعامل معها دون انفصال مكوناتها أو حدوث تصدعاتٍ فيها.

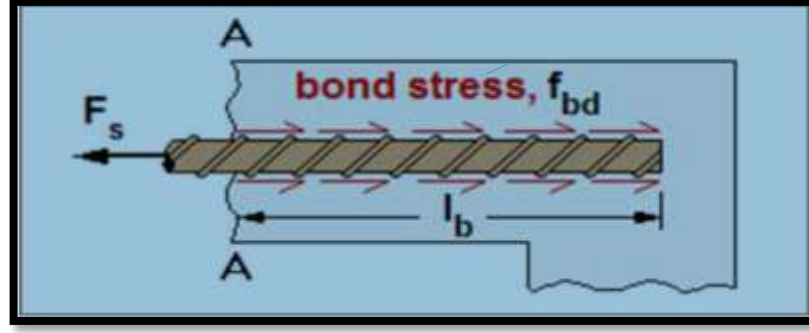
يتم استخدام هذا النوع من الخرسانة لتسهيل وضمان الملء المناسب والأداء الهيكلي الجيد للعناصر الإنشائية المسلحة بشكل كثيف ويُعتبر تطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) إنجازاً مرغوباً في الصناعة الهيكلية من أجل التغلب على المشكلات المرتبطة بالخرسانة التقليدية (conventional vibrated concrete - CVC) والخرسانة SCC لا تتأثر بمهارات العمال ولا بشكل أو مقدار قضبان التسليح ولا بترتيبات المبنى، وبسبب سيولتها العالية ومقاومتها لانفصال المكونات يمكن ضخها لمسافات أطول.

تم اقتراح مفهوم الخرسانة ذاتية التوضع في عام 1986 من قبل البروفيسور (Hajime Okamura) [1]، واستُخدم النموذج الأولي لأول مرة في عام 1988 في اليابان من قبل البروفيسور Ozawa في جامعة طوكيو [2]، حيث تم تطويرها في ذلك الوقت لتحسين متانة الهياكل الخرسانية، واستُخدمت الخرسانة SCC منذ ذلك الحين في الهياكل الإنشائية في اليابان بشكل رئيسي من قبل شركات البناء الكبيرة، وأجريت تحقيقات عديدة لإنشاء طريقة منطقية لتصميم هذا المزيج من الخرسانة وتم اختبار قابلية جعل الخرسانة ذاتية الارتصاص خرسانة قياسية إذ يتم صب الخرسانة SCC بحيث لا تكون هناك أية اهتزازات داخلية أو خارجية ضرورية للمزيج.

تتكون الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) من مكونات الخرسانة التقليدية (CVC) ذاتها وهي الإسمنت والحصى (الخشنة والناعمة) والماء، مع إضافات كيميائية غير عضوية (معدنية) بنسب مختلفة. يكون عادةً لهذه الخرسانة قابلية تشغيل أعلى ، وخصائص ميكانيكية متفوقة ومقاومة أكبر للهجوم الكيميائي مقارنةً مع الخرسانة التقليدية (CVC) ، ولها القدرة على الجريان تحت تأثير وزنها الذاتي والقدرة على ملء الحيز المكاني دون الحاجة إلى أي رج خارجي، علماً بأن مجموع الكتلة الخشنة أقل ومجموع الكتلة الناعمة أكبر في الخرسانة ذاتية الارتصاص عنه في الخرسانة العادية ، والسؤال المطروح هنا هو عن أثر استخدام مثل هذه الخلطات الخرسانية للـ (SCC) على الخواص المختلفة للخرسانة المتصلبة والتي تعتمد على كفاية الرص مثل سلوك التماسك بين الخرسانة وقضبان التسليح.

يعتمد عمل الخرسانة المسلحة بشكل أساسي على العمل المشترك بين الفولاذ والخرسانة المحيطة به والذي يتطلب نقلاً فقلاً للإجهادات من مادة لأخرى، وتلاحم المادتين مع بعضهما البعض، حيث يتم تأمين هذا العمل من خلال التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح [3]، وتأتي أهمية التماسك بأنه العامل المميز لتأمين نقل الحملات والإجهادات ما بين الخرسانة وقضبان فولاذ التسليح.

يُعرف إجهاد التماسك بأنه إجهاد قص موضعي على السطح الجانبي للقضيب هذا الإجهاد ينتقل من الخرسانة إلى سطح القضيب، ويبين الشكل (1) آلية انتقال القوى الداخلية من خلال إجهاد التماسك (bond stress) بين قضيب التسليح والخرسانة المحيطة بقضيب التسليح المحمل بقوة شد F_s .



الشكل (1) : يبين آلية انتقال القوى الداخلية [جهاد التماسك (bond stress)] بين قضيب التسليح والخرسانة [4]

يعتمد الأداء الصحيح للعناصر الخرسانية المسلحة فيما يتعلق بالإرساء ووصل القضبان والتشققات والسهوم بشكل أساسي على تأمين التماسك الكافي بين مكونات المنشآت الخرسانية المسلحة، وللتماسك دوراً مسيطراً بالنسبة للسلوك الزلزالي للمنشآت الخرسانية المقاومة للزلازل، ويؤثر التماسك على الصلابة وعلى القدرة على تبديد الطاقة الزلزالية في المنشآت الخرسانية المسلحة، كما يجب أن تكون قضبان الفولاذ في العناصر الإنشائية المقاومة للزلازل قادرة على العمل المشترك مع الخرسانة المحيطة بها بشكل فعال، خاصة في المناطق التي تنشأ فيها تشوهات لا مرنة كبيرة نتيجة التحميل المتناوب (أي في مناطق المفاصل المرنة) ، وبالتالي فإن مسألة التماسك بين الفولاذ والخرسانة تأخذ أهمية خاصة في المنشآت الخرسانية المسلحة المقاومة للزلازل [5] .

1-1- التماسك بين الفولاذ والخرسانة:

يعتبر التماسك بين الفولاذ والبيتون عنصراً هاماً عند أخذ أطوال الإرساء المطلوبة للتسليح بالاعتبار، وإن سلوك تماسك التسليح يعتمد إلى حد كبير على بنية سطح القضبان الفولاذية وتوضع هذه القضبان بالإضافة إلى هذين العاملين فإن نوعية الخرسانة ستؤثر بالضرورة على هذا السلوك، فالتغيرات في تصميم الخلطة وتوضع المواد كما في حالة الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC يمكن أن تسهم في تعديل التماسك بين الفولاذ والخرسانة.

تعتبر قوى التماسك بين فولاذ التسليح والخرسانة المحيطة به أمراً أساسياً في الخرسانة المسلحة بغية تحقيق مواد إنشائية موحدة تنتقل القوى المطبقة بين الخرسانة وقضبان التسليح من خلال إجهاد التلاحم (التماسك) الذي ينتج عن متحولات عدة [3] ، [4] هي:

1- الالتصاق المتبادل بين الفولاذ والخرسانة (هو فعل فيزيائي كيميائي).

2- الاحتكاك Fraction بين سطح قضبان التسليح والخرسانة.

3- إجهادات الضغط التي يولدها انكماش الخرسانة.

ومن الثابت أن هناك العديد من العوامل لها تأثير مباشر على إجهاد التماسك منها [3] ، [4] ، [5]:

1- تزداد مقاومة التماسك بزيادة مقاومة الخرسانة على الضغط والشد.

2- تزداد مقاومة التماسك مع ازدياد نسبة الاسمنت الداخل في صنع الخرسانة.

3- يتأثر التماسك بوضعية قضبان التسليح وبشروط الصب إذا بقيت جميع الشروط الأخرى متماثلة، إذ يكون تلاحم قضيب تسليح ما وُضِع باتجاه شاقولي أكبر من تلاحم قضيب تسليح آخر وُضِع في الاتجاه الأفقي أثناء الصب ويمكن تفسير هذه النتيجة إلى أن درجة رص البيتون حول قضيب التسليح تكون كبيرة في الوضعية الشاقولية في حين

تكون وضعية الرص حول قضيب أفقي أقل من جهة، وغير متساوية على سطحي القضيب السفلي والعلوي من جهة ثانية.

4- يولد انكماش الخرسانة إجهادات ضغط في الفولاذ، وإن التلاحم يزداد بوجود الانكماش الذي يكون بمثابة قوى عرضانية تؤثر في الفولاذ وتزيد في مقاومة الاحتكاك مع الخرسانة.

5- كما أن للبيتون المغطى للقضبان الفولاذية أثر على قوى التماسك فنتيجة الشد في قضيب التسليح تتولد إجهادات شد في الخرسانة المجاورة وقد تصل هذه الإجهادات إلى انهيار التماسك ولهذا السبب تشترط الكودات سماكة أصغرية للتغطية يجب تأمينها في جميع مقاطع الخرسانة المسلحة.

6- في الجوائز تكون قضبان التسليح السفلية ذات إجهاد تماسك أكبر من العلوية ولذلك تم الاعتماد في الكودات قيمة لطول الإرساء / Lb / للقضبان السفلية وقيمة / 1.4Lb / للقضبان العلوية.

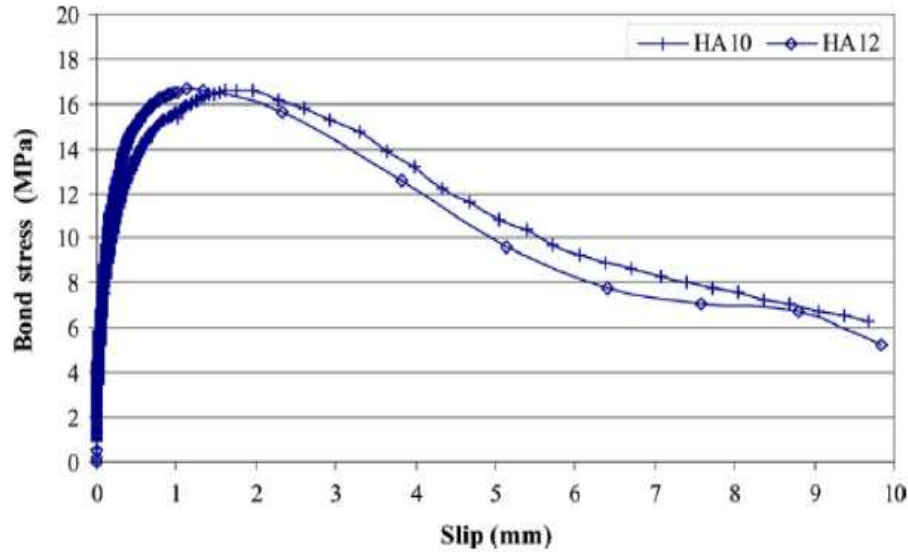
7- قطر وشكل ونوع القضبان (ملساء أم محلزته) وتباعدها وأماكن توضعها لها تأثير كبير على قوى التماسك. كما ترتبط مقاومة التماسك بطبيعة السطوح الخارجية لقضبان التسليح فتكون هذه المقاومة كبيرة كلما كانت القضبان نظيفة خالية من الشحوم والزيوت المعدنية، كما أن خشونة السطح الخارجي تزيد من مقاومة التماسك (بداية تشكل الصدأ الخفيف في القضبان) بشكل جيد، تتميز القضبان المحرزة والمسننة بقوة تماسك (تلاحم) أكبر فلولا مقاومة التماسك لما أمكن استخدام الفولاذ عالي المقاومة في منشآت الخرسانة المسلحة.

هذا وتلعب نوعية الخرسانة وقطر قضبان التسليح دوراً هاماً في تطوير التماسك وبالتالي فإن قوة التماسك الناتجة تتأثر إلى حد كبير بأي تغييرات على تصميم الخلطة الخرسانية وتتأثر بنوع وكمية الاسمنت المستخدم وبطريقة توضع واستقرار الخرسانة.

1-2-مراجعة الأعمال السابقة:

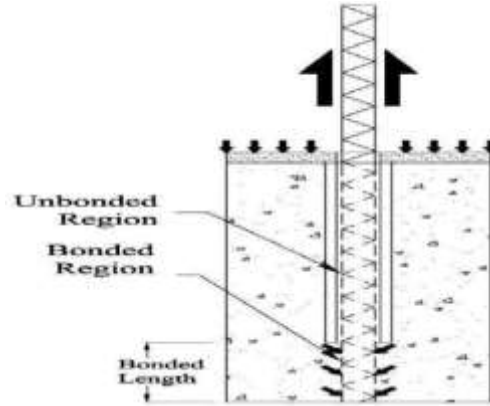
أجريت العديد من الأبحاث لتحديد الخواص الميكانيكية والخواص الريولوجية في الحالة الطرية والحالة الصلبة للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC ومع ذلك هنالك حاجة لتوفير معارف أساسية إضافية خاصة بسلوك التماسك في البيتون ذاتي الارتصاص SCC لأنها تساعد المصممين والمهندسين عند استعمال هذا النوع في المنشآت الخرسانية.

قام العديد من الباحثين من جامعات مختلفة بإجراء أبحاث متنوعة على إجهادات التماسك في الخرسانة المسلحة ومدى علاقتها بالانزلاقات النسبية التي تحدث بين الفولاذ والخرسانة عند حدوث التشققات حيث قام الباحثون Dahou et al. بإجراء دراسة تجريبية [6] تم فيها استخدام البيانات التجريبية على 112 نموذج انسحاب مؤلف من التسليح المحلزن وخرسانة مختلفة المواصفات وذلك للنتيئة بحمولة الانسحاب القصوى المطبقة، واستنتاج منحنيات (إجهاد تماسك - انزلاق)، ويبين الشكل (2) نموذج عن المنحنيات التي تم استنتاجها، والتي تبين علاقة إجهاد التماسك مع الانزلاق وذلك لقضبان بقطر 10 ملم و12 ملم.



الشكل (2) : علاقة إجهاد التماسك مع الانزلاق وذلك لقضبان بقطر 10 ملم و12 ملم [6],[7]

ومن خلال دراسة أعدّها الباحث Martin J.S. [7] في جامعة واشنطن عام 2006 ، قام خلالها بإجراء دراسة تجريبية وذلك باستخدام نماذج انسحاب ذات بارامترات مختلفة لمعرفة تأثيرها على سلوك التماسك في البيتون العادي، وتم تمثيل النتائج بشكل منحنيات قوة - انتقال وهي مشابهة للمنحنيات المبينة في الشكل (2) ويبين الشكل (3) نموذج التجريبي المستخدم.



الشكل (3) : نموذج التماسك التجريبي للباحث J.S. martin [6], [7]

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث لدراسة تأثير استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي الأسود بنوعين:

- 1- الأول من صنف I- المصنع في معمل إسمنت طرطوس بصنف 32.5.
- 2- والثاني اسمنت بورتلاندي مركب (اسمنت البادية) مطابق للمواصفة السورية 3800:2015 النوع والصنف II- [CEM II /A-M (P-L0) 42.5N-] بحسب المواصفة القياسية الأوروبية EN 197-1.

في تصنيع أربع خلطات خرسانية، خلطتان مصنعتان من الخرسانة العادية CVC هما (CVC-I و CVC-II)، وخطتان مصنعتان من الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC هما (SCC-I و SCC-II)، والمصنعة بمواد محلية على التماسك بين الخرسانة والقضبان الفولاذية بأقطار ثلاث (18,14,10 ملم) لعينات الاختبار المكعبة المصنعة من الخلطات الأربعة .

حيث تضمنت الاختبارات دراسة المتغيرات التالية:

- صنف الاسمنت.
 - نوع الخلطة الخرسانية (CVC أو SCC).
 - أقطار قضبان حديد التسليح (10-14-18 ملم) .
- وتأثيرها على سلوك التلاحم بين الخرسانة وفولاذ التسليح حيث تم تسجيل قوى الشد F_s والانزلاق (الانسحاب) الموافق لها ومقارنتها.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التجريبية في إجراء البحث وذلك من خلال تحضير عدد كبير من الخلطات أجريت في مخبر تجريب المواد بكلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين باللاذقية.

وأجريت عليها اختبارات المطابقة اللازمة الخاصة بالخرسانة ذاتية الارتصاص SCC ، والتي كانت تقود بعد كل اختبار إلى تعديل نسب الخلط بما يتوافق مع القيم المطلوبة بكل اختبار مطابقة، كتعديل نسبة الماء إلى الاسمنت (W/C) عندما لا يتحقق اختبار الجريان في العلبة (L-Box) وزيادة النواعم عندما يحصل انفصال الحصى ، وتخفيض نسبة الماء إلى الاسمنت عندما يتجاوز الطفو القيم المسموحة وفق التعليمات الأوروبية [8] والخبرات اليابانية والمحلية [9], [10], [11] .

تتلخص منهجية البحث التي تم اتباعها في المراحل التالية:

- I- مرحلة تحضير مواد الخلطات الخرسانية لـ (CVC) - (SCC).
- II- مرحلة تصميم وإجراء التجارب الخاصة بالخلطات الخرسانية.
- III- مرحلة صب عينات الاختبار من الخرسانة وفق الخلطات الموضحة في الجدولين (1 و2) وإجراء التجارب للتحقق من سلوك التماسك، وفيما يلي التفاصيل الخاصة بكل مرحلة:

I- مرحلة تحضير المواد:

إن المعيار الأساسي المعتمد في اختيار المواد المحلية المكونة لـ (SCC)، هو قدرة هذه المكونات على الإسهام في تسهيل الحصول على خلطة بيتونية تحقق مواصفات (SCC) في إملء القالب تحت تأثير الوزن الذاتي ودون رج، حيث تتمتع خلطات (SCC)، بالقدرة الممتازة على التدفق والحركة وملء الفراغات الدقيقة والأشكال المعقدة تحت تأثير وزنها الذاتي كما أنها تستطيع المرور من خلال التسليح الكثيف [6] .

يستخدم في تصنيع الخرسانة (SCC) نسبة عالية من المواد الناعمة مقارنة مع الببتون العادي (التقليدي)، مع استخدام بودة الحجر الكلسي كمادة مألئة (Filler)، وكمية مدروسة من ملدن فائق الأداء. هذا يعطي الخلطة قابلية تشغيل جيدة واستقرار وثبات أفضل [8] ، [9] ، [10] ، [11] .

1-1- مكونات خلطة البيتون ذاتي الارتصاص (SCC):

تم إجراء عدد من الخلطات المختلفة بكمية الملدن فائق الأداء، ونسبة الإسمنت المستخدم، بهدف الحصول على خلطة تحقق المواصفات الميكانيكية والفيزيائية المطلوبة مترافقة مع أقل كلفة ممكنة. إن المعايير المعتمدة من أجل تقييم جودة الخلطة ومدى ملاءمتها لأغراض البحث هي معايير وتوصيات التعليمات الأوروبية [8] ، إضافة إلى الخبرة اليابانية. وفيما يلي المكونات (الإحضارات) التي تم استخدامها في إعداد الخلطات الخرسانية التي تم تجهيز عينات الاختبار منها، وهي مكونات محلية الصنع والمنشأ وهي:

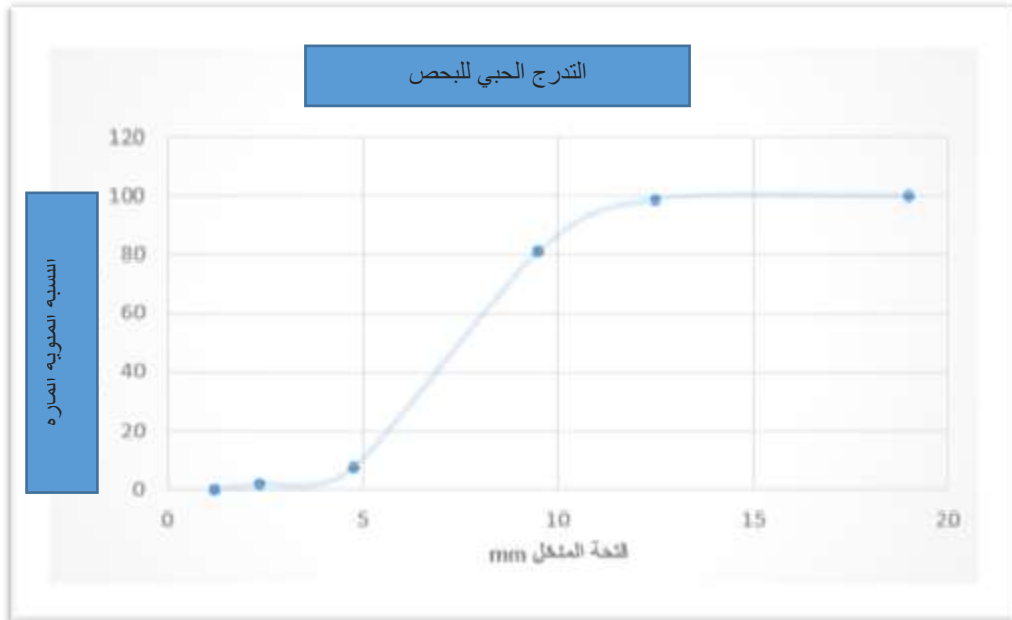
a- الإسمنت:

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي أسود اللون بنوعين وهما متوفران في السوق المحلية:

- الأول من تصنيف I ، المصنع في معمل إسمنت طرطوس بصنف (32.5 Mpa).
- والثاني اسمنت بورتلاندي مركب (اسمنت البادية) مطابق للمواصفة السورية 3800:2015 النوع والصنف (42.5Mpa) , [CEMII/A-M(P-L)] حسب المواصفة القياسية الأوروبية EN 197-1.

b- الحصويات:

تم استخدام حصويات من مقالع حسياء بمعامل لوس أنجلوس للاهتراء منخفض نسبياً ($A=18\%$) تم استبعاد الحصويات ذات الأقطار التي تتجاوز ($D_{max}=15$ mm) لتوافق متطلبات الحصول على خرسانة ذاتية الارتصاص [11]. والشكل (4) يوضح المخطط البياني للتحليل الحبي للبحص المستخدم .



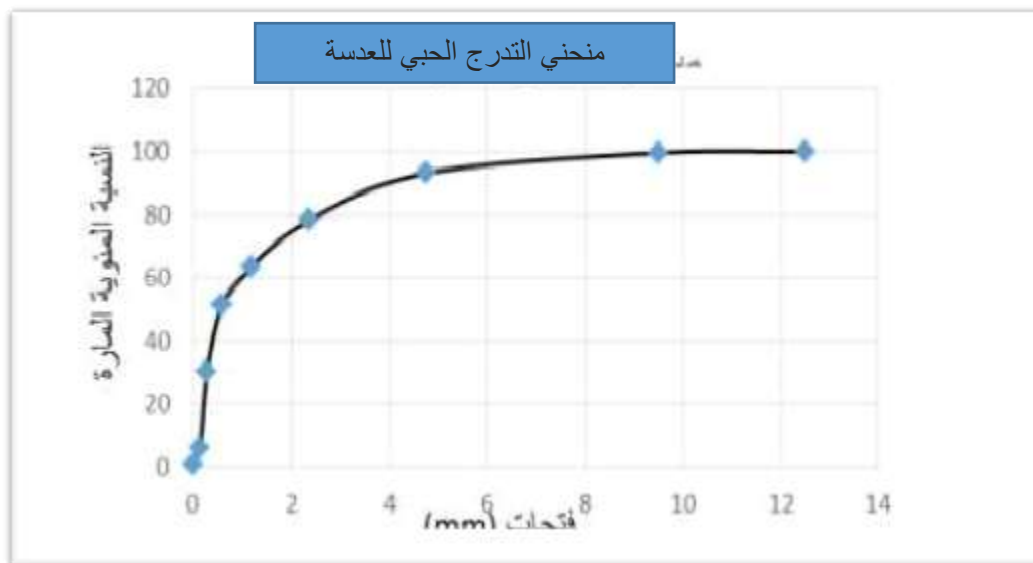
الشكل (4) : المخطط البياني للتحليل الحبي للبحص المستخدم

C - رمل ناعم من منطقة القريتين (رمل قيرواني):

تم استخدام رمل ناعم نسبياً بمعامل نعومة قدره $Mf= 1.5$ ذي اللون الأصفر (السمي-القيرواني)، الذي يتصف بالنعومة والنقاوة وقلة الشوائب والغضار. بقيمة متوسطة للمكافئ الرملي تعادل $ES=91\%$.

d- رمل عدسة (زرادة -حسياء):

تم استخدام رمل عدسة (زرادة -حسياء)، ذات اللون الفاتح بمعامل نعومة قدره $Mf=2.915$ ، نظيف نسبياً بقيمة متوسطة للمكافئ الرملي $ES=82\%$ والشكل (5) يوضح المخطط البياني للتحليل الحبي للرمل للعدسة.



الشكل (5) : يوضح المخطط البياني للتحليل الحبي للرمل للعدسة

e-المادة المألثة (Filler):

لهذه المادة تأثير رئيسي وهام في خطة الـ (SCC)، من حيث تحسين قابلية المرور والملاء وتأمين لزوجة معينة تؤدي إلى مقاومة الانفصال (Segregation). تم استخدام فيلر سيليسي أبيض نعومته قريبة من نعومة الأسمنت (سطحه النوعي يساوي $2000 \text{ cm}^2/\text{gr}$) ووزنه الحجمي الصلب يماثل الوزن الحجمي الصلب للحصويات الكلسية ($\rho_s=2.65\text{gr}/\text{cm}^2$ حصلنا عليه من السوق المحلية).

f- ملدن عالي الفعالية:

لقد تم استخدام نوع من الملدنات فائقة الأداء مصنع من مواد كيميائية خاصة خالية من الكلور والنترات تم الحصول عليه من شركة محلية مختصة بكيمائيات البيتون.

g- الماء المستخدم للخطة:

استخدم ماء الشرب، بنسبة الماء إلى الرابط ($w/b = 0.40-0.45$). حيث أن الرابط يشمل المادة المألثة والإسمنت.

3- II- مرحلة تصميم الخلطات الخرسانية Design of Concrete Mixes:

لقد نوهنا بأن تصميم خلطات الخرسانة ذاتية الارتصاص عملية تحتاج إلى معايير عديدة لتحقيق المتطلبات المتنوعة التي تم ذكرها. ولبدء هذه المعايير اتبعنا في تصميم الخلطة الأولى للبيتون العادي (CVC-1) طريقة دروغوريس (Dreux-gorisse) الفرنسية لتصميم الخلطات [11] دون إضافة فيلر وباستخدام حصويات قطرها الأعظمي لا يتجاوز ($D_{max}=15$ mm) و عيار الاسمنت 400 kg/m³ حصلنا على خلطة الخرسانة العادي (الخرسانة التقليدية) حيث بلغت نسبة الحصويات الخشنة 56% والنسبة 44 % للرمال الممزوج بالنسب (45% من الرمل العدسة و 55% من الرمل الناعم) .

إن اعتماد أية طريقة لتصميم الخلطة البيتونية يتطلب إجراء بعض التصحيحات الخاصة كون النتائج هي قيم نظرية مما يجعلنا بحاجة لإجراء دراسات تجريبية على الخلطات المدروسة من أجل تصحيح أو تدعيم النتائج التي نحصل عليها نظرياً [8] , [9] , [10] , [11] .

تم تصميم خلطتين من البيتون التقليدي الأولى (CVC-I) بإضافة اسمنت تصنيع معمل اسمنت طرطوس والخلطة الثانية (CVC-II) نُفذت بإضافة اسمنت البادية ، وعلى الرغم من الهبوط المنخفض للخلطتين (CVC-I , CVC-II) فإنه تم الحصول على خرسانة مرصوصة بشكل جيد بعد رج الخرسانة كذلك تم تصميم خلطتين من البيتون ذاتي الارتصاص (SCC-I) بإضافة اسمنت تصنيع معمل اسمنت طرطوس والخلطة الثانية (SCC-II) نُفذت بإضافة اسمنت البادية .

وبيين الجدول (1) مكونات و خواص الخلطتين (CVC-I , CVC-II) (مكونات الخلطتين للخرسانة العادية ، الهبوط ، هبوط الجريان ،) .

وتمثل عملية رج البيتون الإجراء الأساسي والأكثر أهمية أثناء صب الخرسانة العادية (CVC-I و CVC-II) ، لتحقيق أكبر ارتصاص أو اكتناز ممكن للخرسانة المصبوبة والذي بدوره يؤدي للوصول إلى المقاومة المناسبة والديمومة. كما أن تصميم خلطة بيتونية مناسبة مرتبط بعوامل كثيرة منها نوع العنصر وشكله أي شكل القالب الذي ستوضع فيه الخرسانة ما يسمى قابلية التشغيل المطلوبة إضافة إلى المقاومة المطلوب الحصول عليها [3] .

الجدول (1) تصميم الخلطة المرجعية للخرسانة العادية (CVC-I , CVC-II) ومواصفاتها .

ملدن	ماء	الاسمنت	مزيج الرمل	البحص	التركيب (kg/m ³)
10	165	400	690	1125	
2390					الوزن الحجمي (Kg/m ³)
7 cm					هبوط أبرامز (cm)
لم يحدث جريان					الجريان ضمن العلية L- (H2/H1) Box
0.41					w/c %

وبيين الجدول (2) مكونات و خواص الخلطتين للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC-I SCC-II (مكونات الخلطات الخرسانية، الهبوط ، هبوط الجريان ،) .

الجدول (2) تصميم الخلطة المعتمدة لتركيب الخرسانة SCC ومواصفات الخلطة المعتمدة.

التركيب (kg/m ³)	البحص	مزيج الرمل	الاسمنت	الماء	الفيلر	الملدن
	710	847	400	190	240	13
الوزن الحجمي (Kg/m ³)	2400					
هبوط أبرامز (cm)	انبساط محقق (D1=65cm , D2=65cm)					
الجريان ضمن العلبة L-Box (H2/H1)	جريان كامل إلى نهاية العلبة L-Box (H2/H1=84%)					
الاستقرار في المنخل π	استقرار مقبول ($\pi = 11\%$)					
طفو الماء	مقبول					
w/b % (cement+filler)	0,3					

يوضح الجدول (3) مكونات وخواص الخلطات الخرسانية الأربعة (CVC-I و CVC-II و SCC-I و SCC-II) التي تم تحضير عينات الاختبار المكعبية منها.

الجدول (3) مكونات وخواص الخلطات الأربعة التي تم تحضير عينات الاختبار منها.

خرسانة ذاتية الارتصاص		خرسانة عادية		نوع الخلطة
SCC-II	SCC-I	CVC-II	CVC-I	رمز الخلطة
-	400	-	400	اسمنت طرطوس صنف I- (32.5N) 3 kg/m
400	-	400	-	اسمنت البادية صنف II- (42.5N) 3 kg/m
190	190	165	165	ماء (kg/m ³)
847	847	690	690	مزيج الرمل (kg/m ³)
710	710	1125	1125	حصويات (kg/m ³)
240	240	-	-	الفيلر (kg/m ³)
13	13			الملدن (kg/m ³)
2400	2400	2390	2390	الوزن الحجمي (Kg/m ³)
انبساط محقق		7	7	هبوط أبرامز (cm)
جريان كامل إلى نهاية العلبة		لم يحدث جريان		الجريان ضمن العلبة L-Box (H2/H1)
-	-	0.41	0.41	w/c %
0.3	0.3	-	-	w/b (cement+filler) %
استقرار مقبول ($\pi = 11\%$)		-	-	الاستقرار في المنخل π
مقبول	مقبول	-	-	طفو الماء

3-III- صب عينات الاختبار:

بعد تحقيق اختبارات المطابقة للخلطات البيتونية الأربعة تم صب عينات من البيتون وهي عبارة عن مكعبات قياس (15x15 cm) تم غرس قضبان فولاذية حد خضوعها $f_y=400$ Mpa بأحد الأقطار (18,14,10mm) في كل مكعب (تسعة مكعبات لكل قطر من كل خلطة) وبطول إرساء يعادل / 5 / مرات قطر قضيب الاختبار وفقاً لتوصيات RILEM [12] وذلك من خلال وصل أكامم بلاستيكية حول بقية طول القضيب داخل المقطع العرضي للمكعب الخرساني وتم تعديل الأكامم وتثبيتها بهدف تفادي تسرب العجينة الإسمنتية داخل الأكامم البلاستيكية وفق الشكل (6) كما تم أخذ ثلاث عينات وتخزينها بدرجة حرارة (20 ± 2) درجة مئوية وغمرها بالماء حتى موعد الاختبار بهدف تحديد مقاومة الكسر المكعبية RC28 ونتائج الكسر موضحة بالجدول (4) .



الشكل (6) : طول إرساء القضيب الفولاذي ضمن عينة الاختبار المكعبية

4- طريقة الاختبار (اختبارات الشد - Pull-out tests):

تم إجراء اختبارات الشد وفقاً لتوصيات RILEM [12] و [13] باستثناء حالة تطبيق القوة على حديد التسليح بدلاً من تطبيقها على المكعب. ثم تطبيق الحمولة بشكل مستمر حتى حدوث انهيار التماسك وتم قياس انزلاق القضيب بواسطة ساعتى قياس مانومتر أحدها تستند إلى النهاية غير المحملة للقضيب الفولاذي والأخرى إلى سطح الخرسانة بجوار الجهاز الآخر. وقد وضعت صفيحة فولاذية قاسية بين العينة وجهاز الشد ليعمل كلوح تحميل والشكل (7) يبين آلية إعداد أجهزة اختبارات الشد.



الشكل (7) : يبين آلية إعداد اختبارات الشد على جهاز شد الحديد لعينات الاختبار

ويبين الشكل (8) كيفية شد قضبان التسليح الفولاذية لعينات الاختبار في جهاز اختبار شد الحديد في مخبر تجريب المواد بكلية الهندسة في جامعة تشرين .



الشكل (8) : كيفية شد قضبان التسليح الفولاذية لعينات الاختبار في جهاز اختبار شد الحديد

النتائج والمناقشة:

1- اختبارات البيتون على الضغط البسيط :

يظهر من خلال تصاميم الخلطات الخرسانية الموضحة بالجدولين (1) و(2) الانتقال من بيتون عادي (تقليدي) ذي قوام لدن ($slump=7cm$) لا يحوي في تركيبه إضافات صلبة (فيلر) إلى بيتون ذاتي الارتصاص غير تقليدي استخدمت فيه الإضافات الصلبة خاملة كيميائياً (الفيلر الكلسي) والسائلة (الملدنات عالية الفعالية) ويحقق جميع اختبارات المطابقة المذكورة أنفاً. كما يوضح الجدول (4) مقاومة الخرسانة على الضغط البسيط بنوعها الخرسانة العادية CVC والخرسانة ذاتية الارتصاص SCC.

الجدول (4) مقاومات الخرسانة على الضغط البسيط في الخلطات الأربعة عند عمر 28 يوم

ملاحظات	المقاومة المكعبية الوسطية على الضغط R_{C28} Mpa	المقاومة المكعبية على الضغط R_{C28} Mpa	الخلطة	
			رمز الخلطة & و قطر القضيب	
-	31	33	CVC-I-10	خرسانة عادية
		31.5	CVC-I-14	
		28.5	CVC-I-18	
---	40	41	CVC-II-10	خرسانة ذاتية الارتصاص
		40	CVC-II-14	
		39	CVC-II-18	
-	25	25.4	SCC -I-10	خرسانة ذاتية الارتصاص
		24.6	SCC -I-14	
		25.0	SCC -I-18	
-	32	35.0	SCC -II-10	خرسانة ذاتية الارتصاص
		35.4	SCC -II-14	
		34.6	SCC -II-18	

هذا وتحليل النتائج الموضحة بالجدول (4) نجد أن الزيادة التي حصلنا عليها عند استخدام الاسمنت من الصنف II ($42.5N$) في مقاومة الخرسانة على الضغط البسيط قد بلغ في الخرسانة العادية حوالي (29 %) بينما بلغت الزيادة في مقاومة الخرسانة على الضغط البسيط في الخرسانة ذاتية الارتصاص حوالي (28%).

2- اختبارات الانسحاب - Pull-out tests

تم إجراء اختبارات الشد (الانسحاب) Pull-out tests لكل العينات عند عمر 28 يوم، حيث تم تطبيق قوى الشد بشكل مستمر حتى الوصول إلى انهيار التماسك وتحديد الانزلاق النسبي مقابل قوة التماسك لكل قضيب تسليح، ويمكننا حساب إجهاد التماسك عند كل لحظة باستعمال المعادلة (1) حيث Φ قطر القضيب و F_s القوة المطبقة و L_d طول الإرساء - Bonded Length للموضحة بالشكل (1)، ويرسم الخط البياني كتابع للانزلاقات المقابلة لإجهاد التماسك τ_b (N/mm²) نحصل على المنحني الموضح بالشكل (7).

$$\tau_b = F / \pi \cdot \Phi \cdot L_d \quad (1)$$

وتم تسجيل النتائج المبينة في الجدول (5).

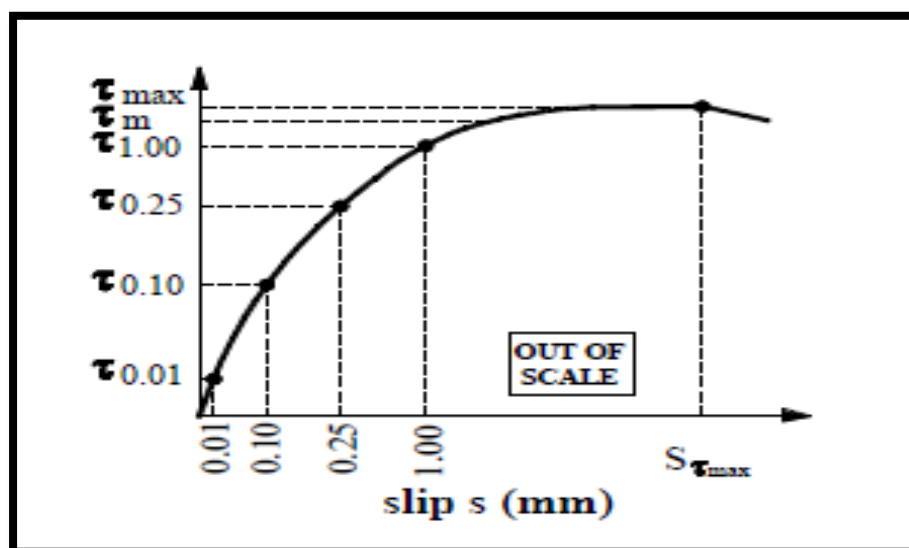
3- تحديد قوة التماسك Bond strength

اعتمدت بعض الكودات والمراجع العلمية في تحديد قيمة τ_b التالي:

أ- وفقاً لـ ACI 318R-08 [14] الذي يعتمد الإجهاد τ_{max} المقابل لقوة الشد F_s القصوى. كما يوضح الشكل (9) العلاقة بين إجهاد التماسك τ وانزلاق قضيب التسليح S mm، حيث يمثل المنحني النموذجي لإجهاد التماسك التجريبي [4].

ب- أو وفقاً لاقتراح FIB [15] الذي يرى اختيار إجهاد التماسك هو $\tau_{0.25}$ المقابل للانزلاق $S=0.25$ mm والذي يكون أخفض من الانزلاقات الأخرى انظر الشكل (9).

سنعتمد في هذه الدراسة إجهاد التماسك τ_{max} المختار هو إجهاد التماسك المقابل للانزلاق $S_{\tau_{max}}$.



الشكل (9) : المنحني النموذجي لإجهاد التماسك التجريبي.

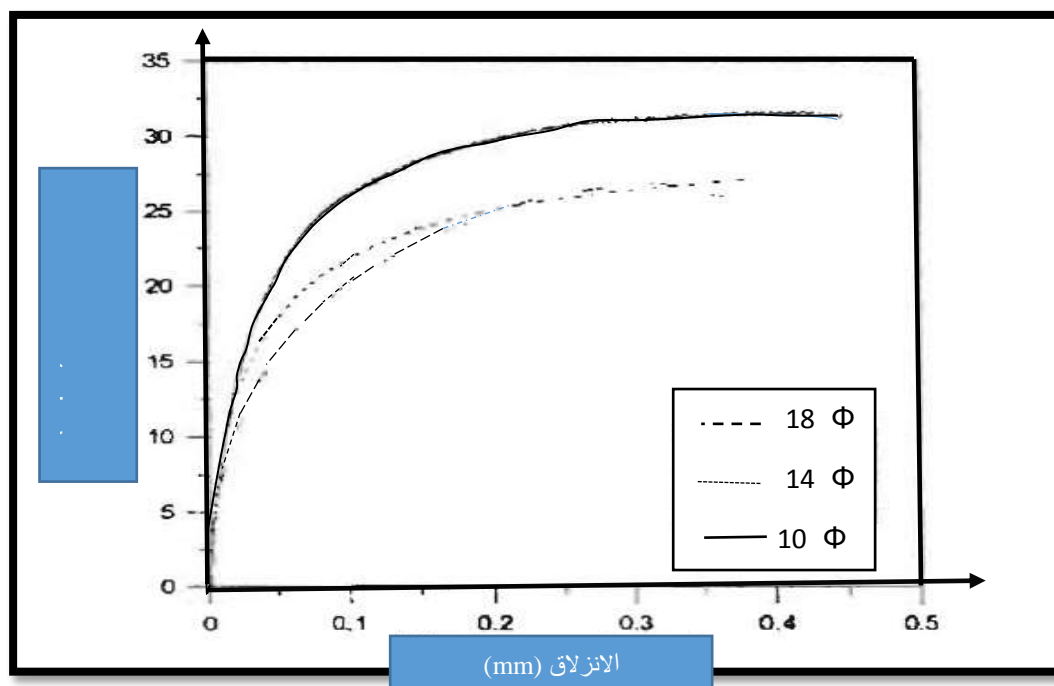
تم حساب إجهاد التماسك من خلال قوى الشد الاعظمية التي انهيار التماسك عندها التي تم الحصول عليها من نتائج التجارب المخبرية والمحددة وفق المعادلة (1) وقيمها مثبتة في الجدول (5).

الجدول (5) يبين إجهاد التماسك من خلال قوى الشد المسجلة من نتائج التجارب المخبرية.

قوة التماسك Bond strength MPa	طول الإرساء L_d [mm]	قوة شد القضيب عند انهيار التماسك [kN]	المقاومة المكعبية الوسطية على الضغط R_{c28} [Mpa]	الخلطة	
				رمز الخلطة & وقطر القضيب mm	
28.66	50	45000	31	CVC-I-10	خرسانة عادية
20.79	70	64000	31	CVC-I-14	
16.71	90	85000	31	CVC-I-18	
31.85	50	50000	40	CVC-II-10	
22.75	70	70000	40	CVC-II-14	
17.69	90	91000	40	CVC-II-18	
26.10	50	41000	25	SCC -I-10	خرسانة ذاتية الارتصاص
19.50	70	60000	25	SCC -I-14	
15.90	90	81000	25	SCC -I-18	
27.38	50	43000	35	SCC -II-10	
20.15	70	62000	35	SCC -II-14	
16.32	90	83000	35	SCC -II-18	

4- تأثير نوع البيتون والخلطة:

الشكل (7) يوضح العلاقة بين إجهاد التماسك للخرسانة العادية (CVC-II) والانتقال لأقطار القضبان الثلاثة كعامل متعلق بنوع الخلطة وقطر قضيب التسليح.



الشكل (7) : يوضح العلاقة بين إجهاد التماسك للخرسانة العادية (CVC-II) والانتقال لأقطار القضبان الثلاثة

من الممكن أن سبب ازدياد إجهاد التماسك في الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC يرجع إلى التجانس الأكبر في مناطق الانتقال البيني حول قضبان التسليح [8]. ويجب الانتباه بأن هناك بيانات متفرقة للخلطات المختلفة من الخرسانة ذاتية الارتصاص والخرسانة العادية وذلك من أجل نفس نوع القوة، وبالتالي فإن استقرار الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC هو عامل مهم للمحافظة على قوة التماسك.

يمكننا أن نلاحظ من خلال الشكل (7) أن خواص وقيمة إجهاد التماسك الأعظمي تزداد بنقصان قطر القضيب هذا ولقد تناولت العديد من الأبحاث [6],[7] النتائج المتعلقة بقوة التماسك والقوة الضاغطة للبيتون ، وقد وُجد أن قوة التماسك تختلف تبعاً لقياس القضيب ونوعه (أملس أو محلزن) وتبعاً لقوة البيتون وأن هنالك فرق واضح ضمن كل برنامج ، إلا أنه ومن خلال النتائج التي توصلنا إليها في بحثنا هذا أن هناك اختلاف بسيط بين التماسك للبيتون SCC والبيتون CVC عندما تكون جميع المتغيرات الأخرى ثابتة وتشير النتائج إلى زيادة في إجهاد التماسك مع نقصان قطر قضيب التسليح.

ومن الجدير بالذكر أنه لا بد من الإشارة إلى أن تصميم خلطات الخرسانة ذاتية الارتصاص يتم دوماً عبر سلسلة من المحاولات والتعديلات التي تنطلق من خصائص الخرسانة في كل مرحلة من مراحل التعديل [12], [16] وعند الوصول إلى التصميم المطلوب يحفظ التصميم لينفذ في الورشة أو في المجبل عند استخدام الإحضارات نفسها ، وعند تغيير مكون أو أكثر من مكونات الخلطة الخرسانية يجب أن يُعاد العمل المخبري التجريبي للحصول على تصميم جديد يحقق معايير القبول .

الاستنتاجات والتوصيات:

تم تنفيذ برنامج تجريبي تفصيلي تضمن إجراء الاختبارات على الخرسانة العادية (CVC)والخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) في الحالة الطرية والحالة الصلبة بهدف اختبار آلية تماسك فولاذ التسليح مع الخرسانة لفهم تأثير نوع الخرسانة وتأثير صنف الاسمنت على التلاحم. ومن خلال ما سبق فإنه يمكننا استخلاص ما يلي:

1- ازدادت مقاومة الخرسانة العادية (CVC) على الضغط بمقدار حوالي 29% عندما استخدمنا الاسمنت البورتلاندي الأسود من صنف II-(42.4 Mpa) عنه من صنف I - (32.5 Mpa) في تصنيع الخرسانة ، وبقيت المواد الأخرى المستخدمة ذاتها .

2- ازدادت مقاومة الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) على الضغط بمقدار حوالي 28% عندما استخدمنا الاسمنت البورتلاندي الأسود من صنف II-(42.4 Mpa) عنه من صنف I-(32.5Mpa) في تصنيع الخرسانة ، وبقيت المواد الأخرى المستخدمة ذاتها وبدون إدخال محسنات جديدة كما يمكن رفع المقاومة بشكل أكبر إذا ما تم ادخال بعض الإضافات الصلبة الأخرى كالرماد المتطاير وهباب السيليس الذي سيسمح بالحصول على خرسانة ذاتية الارتصاص عالية المقاومة.

3- ازدادت قوى التماسك في الخرسانة العادية (CVC) بمقدار حوالي (6-11)% عندما استخدمنا الاسمنت البورتلاندي الأسود من صنف II-(42.4 Mpa) عنه من صنف I-(32.5Mpa) في تصنيع الخرسانة، وبقيت المواد الأخرى المستخدمة ذاتها .

4- ازدادت قوى التماسك في الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) بمقدار حوالي (3-6.5) % عندما استخدمنا الاسمنت البورتلاندي الأسود من صنف II-(42.4 Mpa) عنه من صنف I-(32.5Mpa) في تصنيع الخرسانة، وبقيت المواد الأخرى المستخدمة ذاتها.

5- يزداد إجهاد التماسك كلما صغر قطر قضبان التسليح.

أما التوصيات التي أرى تسجيلها في نهاية هذا البحث فهي:

1- دراسة تأثير الخرسانة ذاتية الارتصاص عالية المقاومة المدعمة أو غير المدعمة بألياف على قوة التماسك بين الخرسانة وقضبان فولاذ التسليح.

2- دراسة تأثير توضع قضبان التسليح في المقطع العرضي للعنصر الإنشائي على التماسك بين الخرسانة ذاتية التوضع وقضبان فولاذ التسليح.

3- دراسة تأثير أنواع الأسمنت الأخرى المتوفرة في السوق المحلية على التماسك بين الخرسانة وقضبان فولاذ التسليح.

4- أوصي بضرورة إدخال تأثير صنف الإسمنت عند تحديد قوة ضغط الخرسانة RC₂₈ في الكودات .

المراجع:

- [1] Foroughi , A.; Dilmaghani, S.; Famili, H. *Bond strength of reinforcement steel in self-compacting concrete*. International Journal of Civil Engineering, Vol. 6, No. 1, March 2008.
- [2] De Schutter, G. and Boel, V. *Self-Compacting Concrete SCC2007. Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium on SCC*, RILEM Publications S.A.R.L., 2007, Proceedings PRO 54, 3 volumes, 1149 pp.
- [3] - الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة. الطبعة الرابعة، نقابة المهندسين في القطر العربي السوري، دمشق ، 2012.
- [4] - صفو، محمد؛ السيد يحيى، سوسن . دراسة إجهاد التلاحم بين البيبتون وفولاذ التسليح باستخدام النمذجة العددية. مجلة جامعة البعث، المجلد (37)، العدد (7) 2015، 35-59.
- [5] Penelis. George. G. *Concrete Buildings in Seismic Regions*. © by Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2014.
- [6] Dahou , Z.; Mehdi Sbartaï ,Z.; Castel, A. and Ghomari F. *Artificial Neural Network Model For Steel Concrete Bond Prediction* . Engineering Structures, 31 (2009) 1724 -1733.
- [7] Martin, J.S. *An Experimental Investigation of Bond in Reinforced Concrete*. MSCE Thesis, University of Washington, Seattle, WA, (2006).
- [8] *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification Production and Use*, May 2005.
- [9] *Applications of Self-Compacting Concrete in Japan*. University of Tokyo, (2005). (Research report)
- [10] - حويجة، بسام ؛ تريكية، علي ؛خير بك، زيد. دراسة تجريبية على خلطة البيبتون ذاتي الارتصاص المصنع من مواد محلية المنشأ. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية ، سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) ، العدد (4) ، 2015 ، 601-620 .
- [11]- خير بك ،علي . تأثير استخدام الفيلر على الخصائص الريولوجية للبيبتون ذاتي الارتصاص. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية -سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012 ، 29-39.
- [12] RILEM(1970) , *Technical recommendations for the testing and use of construction materials* :RC6 ,Bond test for reinforcing steel : 2.Pull-out test (7-II-128) ,Materials and Structures ,pp.175-178 .
- [13] De Schutter, G. Audenaert, K. *Durability of Self- Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 205-DSC*, RILEM Report 38 , 2007, 185 pp.
- [14] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05)*, American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Mich., 2005, 151 pp.
- [15] Thrane, L.N.; Pade, C. and Nielsen, C.V. *Determination of rheology of self-consolidating concrete using the 4C-Rheometer and how to make use of the results*. Journal of ASTM International, vol. 7, n. 1, 2010.
- [16] Valcuende, M. and Parra, C. *Bond behavior of reinforcement in self-compacting concretes*. Construction and Building Materials, vol. 23, 2009.