

دراسة تجريبية على خلطة البيتون ذاتي الارتصاص المصنَّع من مواد محلية المنشأ

الدكتور بسام حويجة*

الدكتور علي تريكية**

زيد خيريك***

(تاريخ الإيداع 3 / 3 / 2015. قُبِلَ للنشر في 14 / 7 / 2015)

□ ملخص □

يتميز البيتون ذاتي الارتصاص (self-compacting concrete) SCC بالقدرة العالية على ملء القالب وقابلية المرور عبر الحواجز تحت تأثير وزنه الذاتي دون الحاجة إلى الرج مما يخفض عدد العمالة المطلوب ويقلل من الضجيج المترافق مع عملية الرج، وتركز التطبيقات الحديثة على تحسين مواصفة الأداء العالي والمقاومة وسرعة الإنشاء.

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية للحصول على خلطة البيتون ذاتي الارتصاص (SCC) المصنعة من مواد محلية المنشأ، تتضمن إجراء التجارب اللازمة على خلطة البيتون المقترحة والمعتمدة في الكودات العالمية، وتحدد هذه التجارب الخصائص الأساسية لـ (SCC) في الحالة الطرية، كما تم تحديد مقاومة (SCC) على الضغط وتحديد قيمة معامل المرونة (E) ورسم منحنيات السلوك.

تم الوصول إلى خلطات حققت المعايير والشروط العالمية وأجريت جميع التجارب في مخبر كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين.

الكلمات المفتاحية: تصميم الخلطة البيتونية، البيتون ذاتي الارتصاص، المواد محلية المنشأ.

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

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير)-قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

An Experimental Study on Self Compacting Concrete Mix Produced From Local Materials

Dr. Bassam Hwajeh*
Dr. Ali Turikieh**
Zaid Kherbek***

(Received 3 / 3 / 2015. Accepted 14 / 7 / 2015)

□ ABSTRACT □

Featuring a self-compacting concrete (SCC) high capacity to fill the mold and passing ability through barriers under the influence of self-weight without vibration, thereby reducing the required labour and reduces the noise associated with vibration. Modern applications focused on improving the specifications of high performance, resistance and speed of construction. The research presents an experimental study for an (SCC) mix produced from local materials, including the necessary tests on the proposed concrete mix, which approved in the global codes. These experiments determine the basic characteristics of (SCC) in fresh case were also identified pressure resistance of (SCC) and determine the value of the modulus of elasticity (E) and the behavior curvatures. All mixes have been achieved global standards and conditions, and the required experiments were done in the laboratory of civil engineering faculty at Tishreen University.

Keywords: Concrete mix design, Self-compacting concrete, local material.

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

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

*** Postgraduate student, Department of Structural engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تمثل عملية رج البيتون الإجراء الأساسي والأكثر أهمية أثناء صب البيتون، لتحقيق أكبر ارتصاص أو اكتناز ممكن للبيتون المصبوب الذي بدوره يؤدي للوصول إلى المقاومة المناسبة والديمومة. كما أن تصميم خلطة بيتونية مناسبة مرتبط بعوامل كثيرة منها نوع العنصر وشكله أي شكل القالب الذي سيوضع فيه البيتون ونسبة التسليح ما يسمى قابلية التشغيل المطلوبة إضافة إلى المقاومة المطلوب الحصول عليها [1].

إن اعتماد أو تطبيق 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 [2].

إن المكونات الأساسية المستخدمة في خلطات (SCC)، هي مشابهة لتلك المستخدمة في البيتون التقليدي، ما عدا أنها تخلط بكميات مختلفة، إضافة إلى إضافات خاصة لتفي بمتطلبات مواصفات (SCC) [3]. إن التطور الحاصل في أبحاث البيتون ذاتي الارتصاص، أدى إلى تطور على المواد الداخلة في تركيب خلطة (SCC) مثل (CSF) سليكا فوم، و (GGBS) حبيبات خبث الأفران الانفجارية، ورماد الوقود المسحوق (PFA) [4]. وهذه الإضافات تم استبدالها بمواد محلية المنشأ في الدراسة التجريبية المطروحة.

يجب أن تحقق خلطة (SCC) شروطاً ثلاثة تؤثر على السلوك اللزج لـ (SCC)، كقابلية المرور (Passing Ability)، وقابلية الملء (Filling Ability)، ومقاومة انفصال الحبيبات (Segregation Resistance) [3]. إن المواصفات التشغيلية العالية لخلطة البيتون (SCC) تدفعنا لمحاولة استخدامه في أعمال التقوية والتدعيم للعناصر البيتونية المسلحة، وخاصة الجوائز، لأنه يقلل من سماكة القميص البيتوني اللازم، مما يؤدي إلى عدم زيادة أبعاد مقاطع هذه العناصر بعد التقوية بشكل كبير، وهي قضية مهمة معمارياً ووظيفياً. وسيتم إجراء التجارب على خلطة (SCC) موضوع الدراسة للتحقق من هذه المواصفات.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الوصول إلى خلطة بيتون ذاتي الارتصاص (SCC) تحقق المواصفات والشروط العالمية في الكود الأوروبي [5] ومصنعة من مواد محلية المنشأ، وتحقق مقاومة مميزة للبيتون لا تقل عن (25MPa)، له جدوى اقتصادية جيدة نسبياً حيث يؤدي إلى تخفيض كلفة تصنيع (SCC) نظراً لانخفاض كلفة المواد الداخلة في التصنيع مقارنة مع المواد المستوردة، إضافة لإمكانية استخدامه في أعمال التقوية والتدعيم. وانطلاقاً مما سبق تم إجراء الدراسة التجريبية على الخلطة للوصول إلى هدف البحث المتمثل بالحصول على خلطة (SCC) مصنعة من مواد محلية للاستغناء عن المواد الأجنبية المذكورة سابقاً.

منهجية البحث:

تتلخص منهجية البحث التي تم اتباعها في المراحل التالية:

- 1-مرحلة تحضير المواد وتصميم خلطة البيتون (SCC).
- 2-مرحلة إجراء التجارب الخاصة بـ (SCC).

3- قياس المقاومة الأسطوانية لخلطات البيتون ذاتي الارتصاص (SCC) (اختبار على الضغط البسيط)، وتحديد قيمة معامل المرونة (E) والتشوه عند الذروة.

النتائج والمناقشة:

ونبين فيما يلي التفاصيل الخاصة بكل مرحلة:

1-مرحلة تحضير المواد وتصميم الخلطة:

1-1- خواص المواد المستخدمة:

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 بيتون الـ (SCC) نسبة عالية من المواد الناعمة مقارنة مع البيتون التقليدي، مع استخدام بودة الحجر الكلسي كمالئ (Filler)، وكمية مدروسة من ملدن فائق الأداء. هذا يعطي الخلطة قابلية تشغيل جيدة واستقرار وثبات أفضل [8].

لا توجد طريقة موحدة لتصميم مزيج SCC، والعديد من المعاهد الأكاديمية وشركات المجهول الجاهز والإضافات ومسبق الصنع وشركات المقاولات قد طورت الخلطة المناسبة الخاصة بها [5].

2-1- 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 الكود الأوروبي، إضافة إلى الخبرة اليابانية. ونبين فيما يلي المكونات التي تم استخدامها في الخلطات المذكورة، وهي مكونات محلية الصنع والمنشأ:

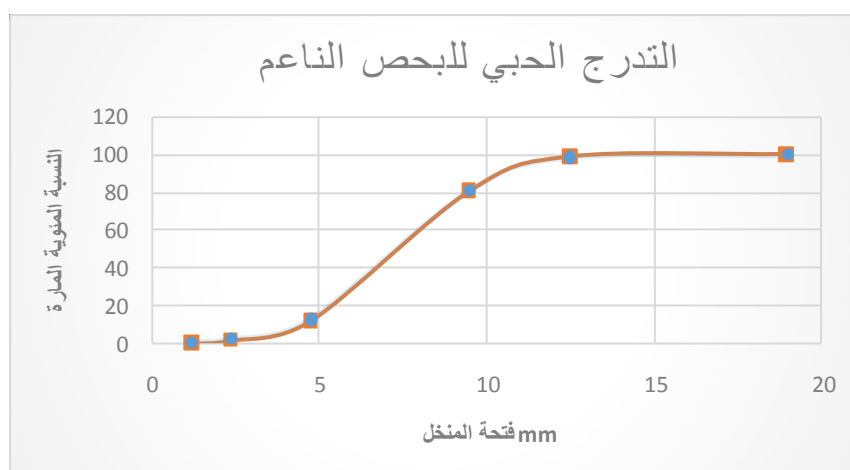
1-2-1- الإسمنت: تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (32.5)، المصنع في معمل إسمنت طرطوس.

2-2-1- البحص الناعم:

تم استخدام بحص ناعم بقطر أعظمي (12.5mm)، منشؤه حسياء-حمص. وقمنا بإجراء التجارب التالية:
أ تجربة التدرج الحبي: أعطت النتيجة المبينة في الجدول (1-1) للبحص الناعم المستخدم (MO) والموضحة بالشكل (1-1) مع مقارنتها بمنحنيات التدرج الحبي النظامية المعتمدة في الكود السوري:

جدول (1-1): النسب المئوية المارة للبحص الناعم

فتحة المنخل(مم)	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18
النسبة المئوية المارة(%)	100	98.7	79.34	6.3	0.78	0



الشكل (1-1): منحنى التدرج الحبي للبحص الناعم

ب اختبار لوس أنجلوس: تم إجراء اختبار الاهتراء (لوس أنجلوس) لعينات من البحص، وتطابقت النتائج مع تلك المعروفة والمجرية لحصويات حسياء القاسية، وكانت قيمة عامل الاهتراء (لوس أنجلوس) معادلة لـ (19%).

1-2-3- الرمل النبكي:

تم استخدام الرمل النبكي الناعم ذي اللون الأصفر (السمني - القيرواني)، الذي يتصف بالنعومة والنقاوة وقلة الشوائب والغضار. وقد أجريت عليه التجارب الآتية:

أ - المكافئ الرملي: يبين الجدول (2-1) القيمة الوسطية للمكافئ الرملي لهذا الرمل.

جدول (2-1): القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمل النبكي

رقم التجربة	1	2	3
المكافئ الرملي (%)	74.46	75.55	72.83
المكافئ الرملي الوسطي (%)	74.28		

إن القيمة الوسطية للمكافئ الرملي تحقق المواصفات المحددة لاستخدام الرمل في أعمال البيتون وفق

A.S.T.M

ب معامل النعومة:

تدل قيمة هذا المعيار على نعومة أو خشونة الرمل المستخدم، ويبين الجدول (3-1) قيمة هذا المعامل للرمل

النبكي المستخدم في تجاربنا:

جدول (3-1): معادل النعومة للرمل النبكي

فتحة المنخل Mm	0.15	0.3	0.6	1.18	2.38	4.75
النسبة المئوية المحجوزة (%)	92.86	64.35	13.46	3.02	0.0	0.0

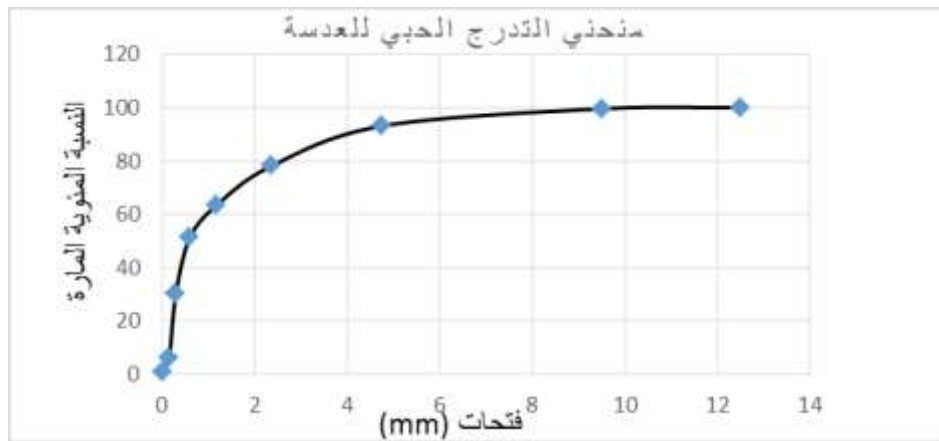
173.69	مجموع النسب المئوية المحجوزة للرمل النبكي
1.74	معادل النعومة FM

نلاحظ من النتائج المبينة في الجدول السابق أن هذا الرمل النبكي هو رمل ناعم.

1-2-4 - رمل عدسة: تم استخدام رمل عدسة (زرادة - حسياء)، ذات اللون الفاتح، وأجريت التجارب التالية:
أ - التدرج الحبي: أعطى الاختبار النتيجة المبينة في الجدول (1-4) والموضحة بيانياً بالشكل (1-2):

جدول (1-4): النسب المئوية المارة للرمل العدسة (زرادة حسياء)

فتحة المنخل (mm)	0	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	12.5	النسبة المئوية المرارة (%)
	1.014	6.13	33.46	53.46	60.02	67.25	91.39	99.6	100	



الشكل (1-2): المخطط البياني لتحليل الحبي للرمل العدسة

ب - المكافئ الرملي: يبين الجدول (1-5) القيمة الوسطية للمكافئ الرملي لهذا الرمل.

جدول (1-5): القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمل النبكي

رقم التجربة	1	2	3
المكافئ الرملي (%)	68.87	73.83	74.76
المكافئ الرملي الوسطي (%)	72.48		

ت -معامل النعومة:

يبين الجدول (1-6) قيمة معامل النعومة للرمال للعدسة (زرادة حسياء). إن هذه القيمة لمعامل النعومة ($2.915 < 3.38 \text{ FM max}$) تعطي مؤشراً أن هذا الرمل مقبول من حيث الحدود المسموحة ولكنه خشن نسبياً.

جدول (1-6): يبين قيمة معادل النعومة للعدسة

0.15	0.3	0.6	1.18	2.38	4.75	فتحة المنخل (mm)
96.82	68.13	42.25	36.1	29.6	18.65	النسبة المئوية المحجوزة (%)
291.55						مجموع النسب المئوية المحجوزة للعدسة
2.915						معامل النعومة FM

1-2-5-المادة المألئة (Filler):

لهذه المادة تأثير رئيسي وهام في خلطة (SCC)، من حيث تحسين عامل انزلاقية الحصىات وبالتالي قابلية السيلان دون انفصال المكونات (Segregation). لقد تم استخدام مادة (بودرة) ناتجة عن مسحوق الحجر الكلسي الطبيعي ذات المنشأ المحلي. تتمتع هذه المادة (البودرة) بنعومة كبيرة جداً، مما يعطيها ميزة إضافية عن تحسين جودة الخلطة ل (SCC) حيث تساهم في تحسين مقاومة البيتون.

1-2-6-المدن:

لقد تم استخدام نوعين من المدنات فائقة الأداء التي تؤثر مباشرة على خصائص خلطة البيتون ذاتي الارتصاص وأهمها تحسين قابلية التشغيل، وهي تساعد على تقليل نسبة الماء اللازمة للخلطة البيتونية مما يؤدي بطبيعة الحال إلى تحسين مقاومة البيتون.

• ملدن نوع [super plasticizer RM 108]. ملدن (1).

• ملدن نوع [Super Plasticizer , Poly Flex -3HI/Y1.8/100]. ملدن (2).

1-2-7-الماء المستخدم للخلطة:

يستخدم ماء الشرب، بنسبة الماء إلى الرابط ($w/b = 0.3-0.36$). حيث أن الرابط يشمل المادة المألئة والإسمنت.

2-مرحلة إجراء التجارب الخاصة بـ (SCC):

1-2-النسب المعتمدة لمكونات الـ (SCC):

عند تحديد نسب مكونات البيتون، تم الاعتماد على مجموعة من الأبحاث والمراجع العلمية العالمية، والاستئناس بالنتائج التي تم التوصل إليها في تلك المراجع. هناك العديد من طرق تصميم خلطة (SCC) التي طورت في المعاهد الأكاديمية العالمية والتي تم الاعتماد عليها، وليس المقصود بهذه المبادئ التوجيهية تقديم طريقة محددة لتصميم الخلطة وقد قدمت الأبحاث الخاصة بالـ (SCC) مقترحات للخلطات التي تم اعتمادها عالمياً وخصوصاً الدليل الأوروبي والتجربة اليابانية، فالجدول (1-2) المعتمد في الدليل الأوروبي [5] يعطي مجالاً محدداً من مكونات SCC من حيث الوزن والحجم، هذه النسب ليست بأي حال مقيدة والعديد من خلطات SCC تقع خارج هذا النطاق لواحد أو أكثر من المكونات [5].

جدول (1-2): النسب النموذجية لخلطة SCC في الدليل الأوروبي

المكون	المجال النموذجي بالنسبة للكثافة (kg/m ³)	المجال النموذجي بالنسبة للحجم (liters/m ³)
البودرة	600-380	
العجينة الإسمنتية		380-300
الماء	210-150	210-150
الحصويات الخشنة	1000-750	360-270
الحصويات الناعمة	55-48% من إجمالي وزن الحصويات	
نسبة الماء/بودرة	1.10-0.85	

يعطي الجدول (2-2) مقترحاً لإحدى الخلطات التي تعتمد في اليابان المتعلقة بالمنشآت الخرسانية العادية [6].

جدول (2-2): نسب المواد المكونة لإحدى خلطات SCC المعتمدة في اليابان [6]

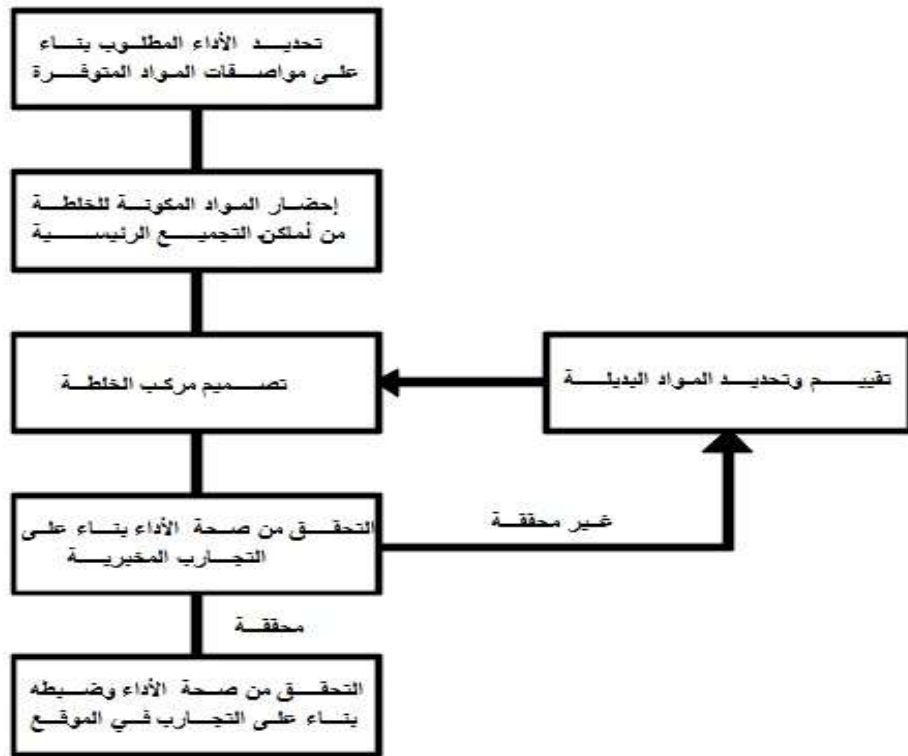
المكون	الماء (Litter)	الإسمنت Kg/m ³	البودرة Kg	الحصويات الناعمة Kg	الحصويات الخشنة Kg	الملدن (Litter)
الكمية	175	298	206	702	871	10.6

ويبين الجدول (3-2) مقترحاً آخر حول نسب المواد الداخلة في تصنيع خلطة (SCC) ويظهر تنوعاً وتغيراً واضحاً للنسب من خلطة لأخرى [7].

جدول (3-2): نسب المواد الداخلة في خلطة الـ (SCC) [7]

الماء (L)	البودرة (Kg/m ³)	الإسمنت (Kg/m ³)	حصويات خشنة (Kg/m ³)	حصويات ناعمة (Kg/m ³)	الملدن (L)
189.4	100	350	807	888	3.6
188.9	100	350	807	888	4.5
198	125	350	781	859	3.8
197.4	125	350	781	859	4.7

نستنتج من نتائج الدراسات والأبحاث الخاصة بهذا النوع من البيتون أنه يوجد إجراءات خاصة يجب العمل بها، لذلك قمنا بتحديد خلطتنا المناسبة بالتجريب حيث أننا نستخدم مكونات محلية الإنتاج والصنع، والشكل (1-2) [5] يبين المراحل المتبعة في تصميم الخلطة.



الشكل (1-2): مراحل تصميم خلطة SCC [5]

يبين الجدول (4-2) كمية المواد المستخدمة لإنتاج 1m^3 من البيتون ذاتي الارتصاص للمجموعة الأولى من التجارب (M1):

جدول (4-2): كميات المواد المستخدمة في التجربة الأولى لإنتاج 1m^3 من (SCC)

المادة	الوحدة	الكمية
الإسمنت (طرطوس)	kg	400
الحصي	kg	880
الرمال الخشن (عدسة)	kg	200
الرمال النبكي	kg	375
Filler	kg	240
ماء	L	205
ملدن (1)	kg	6.5
w/b (cement+ filler)	%	0.32
الكثافة النظرية Δ		2.306

والجدول (5-2)، يوضح نسب المواد المستخدمة في الخلطة الخاصة بالتجربة الثانية (M2) والتي تم فيها تغيير نسبة الملدن ونوعيته.

جدول (5-2): كميات المواد المستخدمة في التجربة الثانية (M2) لإنتاج 1 m³ من SCC

المادة	الوحدة	الكمية
الإسمنت (طرطوس)	kg	400
الحصى	kg	880
الرمل الخشن (عدسة)	kg	200
الرمل النبكي	kg	375
Filler	kg	240
ماء	L	192
ملدن (2)	kg	4.5
w/b (cement+filler)	%	0.3
الكثافة النظرية Δ		2.291

في الجدول (6-2)، نوضح نسب المواد المستخدمة في الخلطة الخاصة بالتجربة الثالثة (M3) والتي تم فيها تغيير نسبة الإسمنت (350 kg/m³)، والحفاظ على الملدن (2).

جدول (6-2): كميات المواد المستخدمة في التجربة الثالثة (M3) لإنتاج 1 m³ من SCC

المادة	الوحدة	الكمية
الإسمنت (طرطوس)	Kg	350
الحصى	Kg	880
الرمل الخشن (عدسة)	Kg	200
الرمل النبكي	Kg	430
Filler	Kg	240
ماء	Kg	192
ملدن (2)	Kg	4
w/b (cement+filler)	%	0.33
الكثافة النظرية Δ		2.26

2-2- الأجهزة والأدوات والتجارب المتعلقة بـ (SCC):

تم إجراء التجارب التالية المعتمدة في الدليل الأوروبي والتجربة اليابانية، [5]، [3].

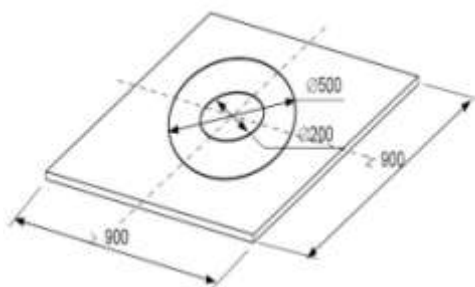
2-2-1- تجربة تدفق المخروط + (slump flow + T500) - الشكل (1-2):

أولاً: الغاية من التجربة: تحديد قابلية الملاء (Filling Ability)، حيث يجب قياس مؤشرين:

- أ -انتشار الخلطة البيتونية (قطر الانتشار الأعظمي والقطر المتعامد معه).
 ب - زمن التدفق T500 ، أي الزمن اللازم لوصول الخلطة البيتونية إلى القطر 500mm.

ثانياً: الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- صفيحة معدنية بأبعاد (900*900mm)، وسماكة لا تقل عن (2mm)، من فولاذ غير قابل للصدأ و سطح مستوي وأملس، مؤشر عليها بدائرتين بقطرين (200mm-500mm) ذات مراكز منطبقة مع مركز الصفيحة، الشكل (2-2).

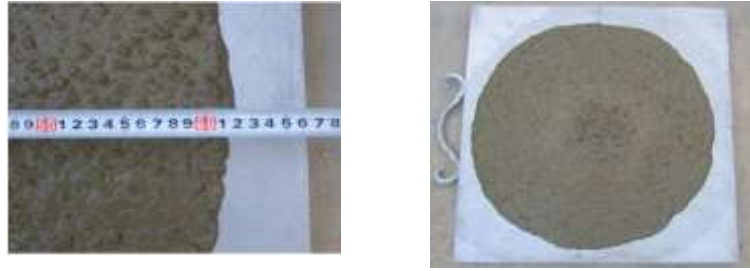


الشكل (2-2): قياس قطر انتشار الخلطة على الصفيحة

- مخروط أبرامز النظامي. ويجب تثبيت المخروط في مكانه جيداً أثناء صب العينة البيتونية.
 - ميقاياته لقياس زمن الانتشار، تقيس بدقة (0.1sec) لتسجيل زمن (T500) (500 ملم).
 - مسطرة مرقمة بالمليمتر لقياس قطر الانتشار، مع وعاء بسعة مناسبة لتعبئة عينات البيتون الطري في المخروط، ويجب ترطيب سطح الصفيحة والسطح الداخلي للمخروط.

ثالثاً: مراحل إجراء التجربة:

- نضع الصفيحة المعدنية في وضع مستوي وألقي، وتكون نظيفة ومرطبة ونملاً الوعاء بكمية تقارب (7 لتر) من البيتون (SCC) الطري، ونبقي العينة في الوعاء قبل صبها في المخروط حوالي (1 دقيقة)، ثم نثبت المخروط على الدائرة الصغيرة المرسومة على الصفيحة (200mm)، ونملاً المخروط بالعينة البيتونية بدون أي رج أو اهتزاز إضافي ثم نزيل البيتون الإضافي أعلى المخروط، كذلك نزيل أي بقايا على الصفيحة.
 - نتحقق من رطوبة الصفيحة حيث يجب ألا تكون هناك أية بقعة جافة، إضافة لعدم وجود رطوبة زائدة، ونرفع المخروط بعد (30 sec)، بشكل عمودي على الصفيحة وبحركة واحدة بحيث نسمح للبيتون بالتدفق بحرية دون أية إعاقة من المخروط، ونسجل الزمن بدءاً من لحظة رفع المخروط عن الصفيحة، ونوقف الميقاتية لحظة ملامسة البيتون الدائرة ذات قطر (500mm)، ونسجل القراءة التي تعطي (T500). تنتهي التجربة عندما تتوقف البيتون عن التدفق والجريان ثم نقيس قطري الانتشار (dmax-dperp)، الشكل (2-3).



الشكل (2-3): قياس قطري انتشار الخلطة على الصفيحة

رابعاً: نتائج التجربة الخاصة بالخلطة الأولى (M1):

1 انتشار التدفق الذي يحسب من العلاقة: $SF = (d_{max} + d_{perp})/2 \leq 85$.O.K. حيث :

- $SF(mm)$: يحدد انتشار التدفق مقرباً إلى أقرب (5mm)

- $d_{max}(mm)$: قطر الانتشار الأعظمي، $d_{perp}(mm)$: القطر المتعامد .

$$d_{max} = 677 \text{ mm}, d_{perp} = 661 \text{ mm}$$

$$SF1 = (677 + 661)/2 = 669 \approx 700 \text{ mm} = 70 \text{ cm} < 85 \text{ O.K.}$$

2 زمن تدفق المخروط (T500): الذي يبين الزمن بين لحظة رفع المخروط عن الصفيحة ولحظة وصول البيتون المتدفق إلى الدائرة ذات قطر (500mm)، ويعطى هذا الزمن بالثواني مقرباً إلى أقرب (0.1sec). ويجب أن يكون هذا الزمن أقل من 6 ثوان.

$$(T500)1 = 3.6 \text{ sec} < 6 \text{ sec O.K.}$$

خامساً: نتائج التجربة الخاصة بالخلطة الثانية (M2):

1 انتشار التدفق الذي يحسب من العلاقة: $SF = (d_{max} + d_{perp})/2 \leq 85$.O.K. حيث :

$$d_{max} = 692 \text{ mm}, d_{perp} = 688 \text{ mm}$$

$$SF1 = (692 + 688)/2 = 690 = 69 \text{ cm} < 85 \text{ O.K.}$$

2 زمن تدفق المخروط (T500): الذي يبين الزمن بين لحظة رفع المخروط عن الصفيحة ولحظة وصول البيتون المتدفق إلى الدائرة ذات قطر (500mm)، ويعطى هذا الزمن بالثواني مقرباً إلى أقرب (0.1sec). ويجب أن يكون هذا الزمن أقل من 6 ثوان.

$$(T500)1 = 3.9 \text{ sec} < 6 \text{ sec O.K.}$$

سادساً: نتائج التجربة الخاصة بالخلطة الثانية (M3):

1 انتشار التدفق الذي يحسب من العلاقة: $SF = (d_{max} + d_{perp})/2 \leq 85$.O.K. حيث :

$$d_{max} = 636 \text{ mm}, d_{perp} = 625 \text{ mm}$$

$$SF1 = (636 + 625)/2 = 635 \approx 63.5 \text{ cm} < 85 \text{ O.K.}$$

2 زمن تدفق المخروط (T500): الذي يبين الزمن بين لحظة رفع المخروط عن الصفيحة ولحظة وصول البيتون المتدفق إلى الدائرة ذات قطر (500mm)، ويعطى هذا الزمن بالثواني مقرباً إلى أقرب (0.1sec). ويجب أن يكون هذا الزمن أقل من 6 ثوان.

$$(T500)_1 = 4.1 \text{ sec} < 6 \text{ sec O.K.}$$

2-2-2- تجربة الصندوق (L-Box) - الشكل (4-2):

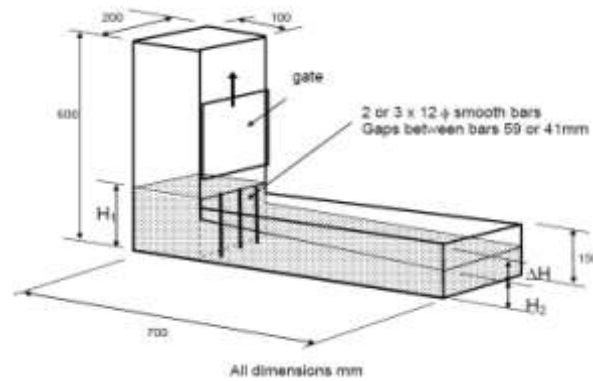
أولاً: الغاية من التجربة: تهدف التجربة للتحري عن قابلية المرور لـ (SCC) من خلال عوائق تمثل قضبان التسليح، وذلك بقياس الارتفاع الذي يصل إليه الببتون الطري بعد مروره من فجوات محددة بين قضبان التسليح. بمعرفة الارتفاع الحاصل يمكن حساب سلوك المرور أو العرقلة.

ثانياً: الأجهزة والأدوات المستخدمة:

صندوق بشكل (L) مصنوع من البلاستيك عالي المقاومة.

بوابات الإعاقة: وهي تحتوي على (3) قضبان، المسافة بين القضبان (41 mm).

مسطرة مرقمة بالمليمتر للقياس.



الشكل (4-2): يبين شكل الصندوق L-

ثالثاً: مراحل إجراء التجربة:

- نضع الصندوق L (L-Box) في وضعية أفقية مستقرة ونأخذ عينة (SCC) من الخلط.
- نملأ الجزء الشاقولي من الصندوق بعينة الببتون المذكورة، ونرفع البوابة بسرعة ونسمح للببتون بالتدفق من الجزء الشاقولي إلى الأفقي، الشكل (5-2).



الشكل (5-2): يبين شكل الصندوق L- لحظة رفع الحاجز ومرور الببتون

- عندما يتوقف تدفق الببتون نقيس المسافة (H'1) و (H'2)، الشكل (6-2).
- حيث: (H'1 cm): من أعلى حافة القسم الشاقولي للصندوق حتى وجه الببتون في هذا الجزء من الصندوق.

- (H'2 cm): من أعلى حافة الطرف الآخر للصندوق حتى وجه البيتون في هذا الجزء.
- علماً أن قيم (H'1-H'2) المعتمدة هي وسطية لثلاثة قيم من المركز وعند كل جانب.



الشكل (2-6): يبين قياس قيمة (H'1, H'2)

رابعاً: نتائج التجربة:

- تسمح لنا هذه التجربة بحساب نسبة المرور (PL) التي تحسب من العلاقة:

$$PL = H2/H1 = (15-H'2)/(60-H'1)$$

- حيث H1(cm) من أسفل حافة القسم الشاقولي للصندوق حتى وجه البيتون في هذا الجزء من الصندوق .
- H2 (cm) : من أسفل حافة الطرف الآخر للصندوق حتى وجه البيتون في هذا الجزء .
- حتى تحقق الخلطة المواصفات والمعايير الخاصة بالبيتون ذاتي الارتصاص، يجب أن تكون نسبة المرور من الحاجر المؤلف من ثلاثة قضبان كما في تجاربنا، أكبر من 80%، ($PL \geq 80\%$) .

1 الخلطة الأولى (M1):

$$H'1 = 48.7 \text{ cm} , \quad H'2 = 5.6 \text{ cm}$$

$$H1 = 60 - H'1 = 60 - 48.7 = 11.3 \text{ cm}$$

$$H2 = 15 - H'2 = 15 - 5.6 = 9.4 \text{ cm}$$

$$PL1 = 9.4/11.3 = 0.831 = 83.1 \% > 80 \% \text{ O.K.}$$

2 الخلطة الثانية (M2):

$$H'1 = 50 \text{ cm} , \quad H'2 = 5.8 \text{ cm}$$

$$PL1 = 9.2/10 = 0.92 = 92 \% > 80 \% \text{ O.K.}$$

3 الخلطة الثالثة (M3):

$$H'1 = 49.8 \text{ cm} , \quad H'2 = 5.7 \text{ cm}$$

$$PL1 = 9.3/10.2 = 0.913 = 91.3 \% > 80 \% \text{ O.K.}$$

2-2-3- تجربة استقرار المنخل (sieve stability):

أولاً: الغاية من التجربة:

- تهدف إلى معرفة مقاومة الانفصال لـ (SCC) (Segregation Resistance)، وذلك عن طريق قياس مرور عينة من البيتون من المنخل (5mm).
- إذا مرت العجينة بسهولة فهذا يعني أن مقاومة البيتون (SCC) للانفصال ضعيفة.

ثانياً: الأجهزة والأدوات:

- منخل منقّب بفتحات مربعة طول ضلع المربع (5mm)، وقطر الإطار (300mm) أو (315 mm)، وارتفاع (40-70 mm) .
- وعاء معدني عميق بشكل وحجم مناسب للاحتفاظ بالمواد المارة من المنخل.
- ميزان رقمي (20 Kg).
- غطاء مناسب للوعاء لحماية البيتون من التبخر الواسع.

ثالثاً-مراحل إجراء التجربة:

- نضع الميزان في وضع مستقر وألقي ونملاً الوعاء البلاستيكي بكمية (10Litre) من (SCC) ونغطي الوعاء.
- نبقى العينة في وضع مستقر مدة (15 min) ثم نزن وعاء القعر المعدني لوحده (Wp).
- نضع المنخل فوق القعر المعدني بدون تحريكه على الميزان ونضع كمية (5 Kg) من العينة في منتصف مركز المنخل ونسجل وزن العينة المصبوبة على المنخل (Wc).
- ننتظر دقيقتين بعد صب العينة بلطف ثم نفصل المنخل عن القعر بدون أي اهتزاز حتى لا يؤدي إلى مرور كمية إضافية بشكل قسري عبر المنخل ثم نزن القعر مع ما فيه من مواد المنخل ونسجلها (Wps).

رابعاً-نتائج التجربة:

- تحسب نسبة كتلة العينة المارة من خلال المنخل باستخدام المعادلة:

$$P = [(Wps - Wp) / Wc] * 100$$

حيث: P - نسبة كتلة العينة المارة من المنخل مقربة إلى أقرب (1%) .

Wp - وزن وعاء قعر المنخل .

Wc - وزن العينة .

Wps - وزن القعر مع المواد المارة من المنخل .

حتى توافق الخلطة الشروط والمواصفات الخاصة بالبيتون ذاتي الارتصاص يجب أن تكون نسبة كتلة العينة المارة أقل من 15% .

جاءت نتائج التجربة للخلطات الثلاثة المعتمدة لدينا كما يلي:

$$(M1) \quad P1 = 13.7 \% < 15 \% \rightarrow O.K.$$

$$(M2) \quad P2 = 11.8 \% < 15 \% \rightarrow O.K.$$

$$(M3) \quad P3 = 12.1 \% < 15 \% \rightarrow O.K.$$

3- الخواص الميكانيكية للبيتون ذاتي الارتصاص (SCC):

باعتبار أن المكونات الأساسية المستخدمة في خلطات (SCC) هي عملياً مشابهة لتلك المستخدمة في البيتون التقليدي المرجوح، ما عدا أنها تخلط بكميات ونسب مختلفة بالإضافة لبعض الإضافات الخاصة لتفي بمتطلبات مواصفات (SCC)، فإن خصائص الحالة الصلبة لـ (SCC) تكون مشابهة بشكل كبير جداً للبيتون العادي [1]. وفيما يلي نبين بعض هذه الخصائص والمواصفات لـ (SCC) في الحالة الصلبة:

3-1- المقاومة الأسطوانية لخلطات البيتون ذاتي الارتصاص (SCC):

بعد الحصول على خلطات (SCC) (M1, M2, M3) مطابقة لمواصفات الدليل الأوربي والتجربة اليابانية للبيتون الطري، تم تصميم خلطة من البيتون العادي (Mo) بمقاومة تصميمية (25 MPa). وصب عينات أسطوانية لكل خلطة بأبعاد (15*30)، وتم غمرها بالماء بدرجة حرارة (22±2 c)، من ثم إجراء اختبار الضغط المحوري بعد 28 يوم، ويوضح الجدول (3-1) القيم الخاصة بكل عينة، ويبين الشكل (3-1) إجراء اختبار الضغط البسيط على العينة البيتونية.



الشكل (3-1): اختبار عينة أسطوانية على الضغط المحوري

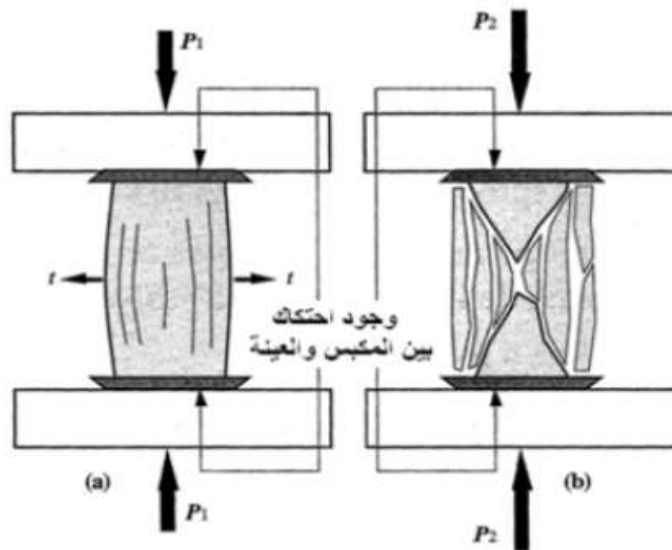
الجدول (3-1): المقاومات الأسطوانية للعينات في الخلطات (M0, M1, M2, M3)

عمر العينة	28 يوم		المقاومة التصميمية
الخلطة	المقاومة الأسطوانية MPa	المقاومة الأسطوانية الوسطية MPa	
Mo	30	29.8	
	30.2		
	29.2		

M1	32.2	33.5	25 MPa
	33.5		
	34.8		
M2	35.8	35.93	
	35.4		
	36.6		
M3	29.8	29.8	
	30.2		
	29.4		

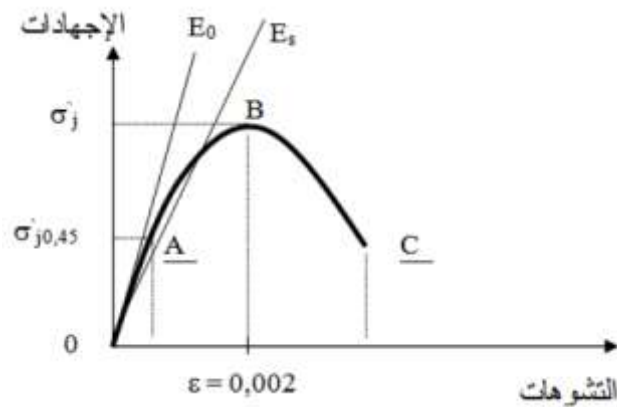
2-3- المنحني التجريبي (ع-6):

تبين الدراسات التجريبية أن انهيار عينة بيتونية معرضة للضغط البسيط يكون بتشكيل الشقوق بين العجينة الإسمنتية والحصى، إضافة إلى الشقوق المتشكلة في المونة حيث أن هذه الشقوق تتصل مع بعضها البعض مما يؤدي إلى انهيار المادة [9]. ويوضح الشكل (2-3) نمط انهيار العينة البيتونية على الضغط البسيط في حالة وجود احتكاك بين المكبس والعينة حيث تكون الشقوق مائلة لتشكلاً، مخروطاً.



الشكل (2-3): أنماط الانهيار لعينة بيتونية على الضغط البسيط [9]

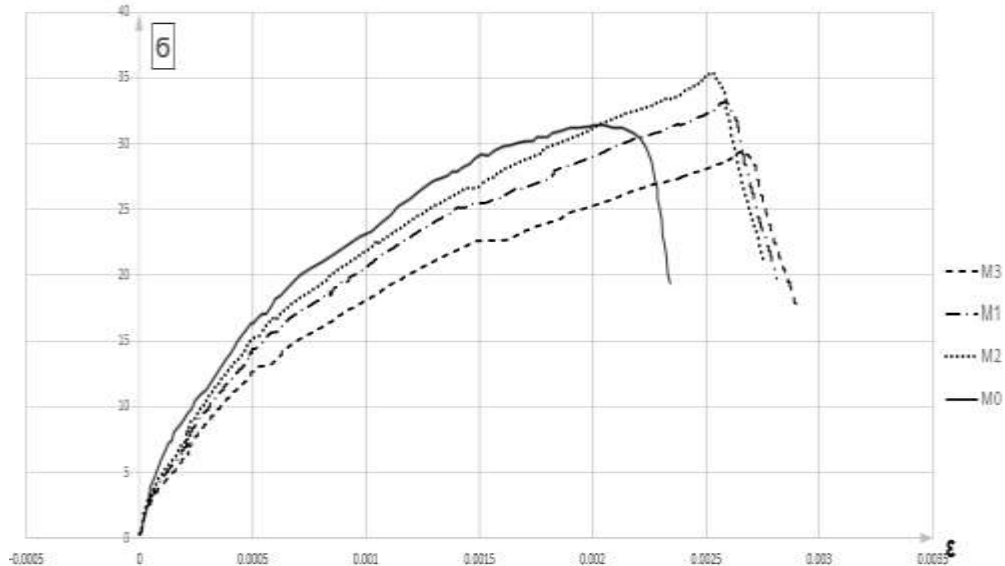
تدل جميع الدراسات على أن التطور المستقر للتشققات يعطي المظهر اللاخطي للمنحني التجريبي (إجهاد-تشوه)، كما هو مبين في الشكل (3-3).



الشكل (3-3): المنحني إجهاد-تشوه للببتون المعرض لضغط بسيط [9]

يحيوي المنحني قسماً خطياً OA ينتهي تقريباً عند حوالي 45% من مقاومة الضغط (σ_j)، حيث تكون المادة في هذه المرحلة شبه سليمة لأن التشققات تكون متماثلة وهذا ما يعبر عنه بالمرونة الخطية. ويبدأ المنحني عند النقطة A بالتقوس نتيجة انتشار التشققات مما يؤدي إلى ازدياد تضرر المادة مع زيادة الحمولة المطبقة حتى الوصول إلى 80% من المقاومة (σ_j) فتنتشر التشققات بسرعة، وبعد ذلك تدخل العينة في حالة تؤدي إلى انهيارها (BC) [9].

وباعتبار أن الأبحاث المتعلقة بدراسة منحني الإجهاد-تشوه لـ (SCC) تعتبر قليلة بالمقارنة مع أبحاث الببتون التقليدي، قمنا في هذا البحث برسم المنحني التجريبي للإجهاد-تشوه الخاص بعينات الـ (M1, M2, M3) وعينة الببتون العادي (M0) التي تم اختبارها على الضغط البسيط، ويبين الشكل (3-4) المنحنيات التجريبية للإجهاد-تشوه لعينات الببتون (SCC) وكذلك لعينة الببتون العادي.



الشكل (3-4): المنحنيات التجريبية (مخطط الإجهاد - تشوه) لعينات الـ (M1, M2, M3) (SCC) والببتون العادي (M0)

يتبين من الشكل (3-4) أنه كلما ازدادت المقاومة لعينة الـ (SCC) ازداد ميل الجزء المتصاعد لمنحني (إجهاد-تشوه)، والذي يعبر عن المرحلة الأولى من المنحني حيث تكون التشققات منتظمة وقليلة. بينما نلاحظ في

المرحلة الثانية للمنحني انخفاضاً واضحاً في الميل وهذا يدل على زيادة انتشار التشققات الحاصلة في العجينة، كما يتبين أن هذه المرحلة في البيتون (SCC) تكون أطول من مثيلتها في البيتون العادي وهذا يدل على زيادة في المطاوعة للـ (SCC) مقارنة مع البيتون التقليدي. ويظهر في الجزء الثالث للمنحني هبوطاً حاداً وفجائياً يدل على انتشار التشققات في العينة البيتونية واتصالها مع بعضها البعض مما أدى لانتهيار العينة المدروسة. اعتماداً على المنحنيات التجريبية للإجهاد-تشوه الموضحة في الشكل (3-4)، قمنا بتحديد معامل المرونة الأولي (المماسي) للبيتون عند القيمة (40%) من المقاومة العظمى على الضغط، وتحديد قيمة التشوه المقابل لهذه القيمة على المنحني التجريبي للإجهاد-تشوه [10]، [11]، وبين الجدول (3-2) القيم الخاصة بمعامل المرونة لكل عينات الـ (SCC) ولعينة البيتون العادي (Mo)، إضافة إلى تحديد قيم التشوهات عند الذروة (ε₀).

الجدول (3-2): قيم معامل المرونة والتشوهات عند الذروة

العينه	σ _{max} (MPa)	0.4σ _{max} (MPa)	ε(40%)	ε ₀ (الذروة)	E(MPa)
M0	30.2	12.08	0.00038	0.0021	31790
M1	33.5	13.4	0.00049	0.0026	27345
M2	35.4	14.16	0.00048	0.00255	29500
M3	29.8	11.92	0.00055	0.0027	27720

يظهر من الجدول (3-2) أن معامل المرونة للـ (SCC) أقل من معامل المرونة للبيتون العادي المرجوح ذي مقاومة الضغط المشابهة، ويفسر ذلك نتيجة زيادة حجم العجينة الإسمنتية في الـ (SCC) بالنسبة للبيتون العادي وزيادة نسبة الحصى الناعمة، ويتبين أن نسبة انخفاض معامل المرونة للـ (SCC) تتراوح بين (12-18%). كما يظهر من الجدول (3-2) أن قيمة التشوهات عند الذروة للـ (SCC) هي أكبر من التشوهات الخاصة بالبيتون العادي المشابه في مقاومة الضغط، وأن التشوهات عند الذروة في الـ (SCC) تتناقص بازدياد المقاومة على الضغط للعينات المتماثلة التصنيع والمواد.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 تخيّن لنا من نتائج الاختبارات على الخلطات الثلاثة التي حققت جميعها شروط ومواصفات البيتون ذاتي الارتصاص (SCC)، والمقاومة الأسطوانية المنشودة التي لا تقل عن (25MPa)، أن المقاومات التي تم الوصول إليها مناسبة وتسمح باستخدام واسع للبيتون ذاتي الارتصاص المصنع من مواد محلية.
- 2 خصائص الحالة الصلبة للبيتون (SCC) مشابهة للبيتون العادي المرجوح مع اختلاف قليل في قيمة معامل المرونة (E) حيث يكون للـ (SCC) أقل منه للبيتون العادي بنسبة تتراوح بين (12-18%). وبزيادة مقاومة الضغط تنخفض قيمة التشوه عند الذروة.
- 3 كما سبق من مواصفات تشغيلية وعملية للبيتون ذاتي الارتصاص المصنع من مواد محلية، ونظراً للحاجة لعدد عمالة أقل والاستغناء عن عملية الرج، نوصي بالاستفادة من هذا البيتون في أعمال البناء الحديثة وفي تقوية وتدعيم المنشآت القائمة.

المراجع:

- 1- GAIMSTER, R. *First RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, 13-15 September (2000)*, 23.
- 2- PETERSSON, 13. (2000) *Design of self-compacting concrete, properties of the fresh concrete, Proceedings of Seminar of Self-compacting Concrete , Malmti, November pp. 16-20, 34.*
- 3- *Applications of Self-Compacting Concrete in Japan. (2005), university of Tokyo. (Research report), 13.*
- 4- RANI, M. *Behavior of self-compacting concrete made with GGBS and RHA under axial compression and flexure, (Reg.No.30514 CE/PH), Research and development cell Jawaharlal Nehru technological university, HYDERABAD – 500 085, A.P., INDIA JANUARY 2011, 27.*
- 5- *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, May 2005, 68.*
- 6- OKAMURA & OUCHI. (1999). *University of Tokyo. (Research report), 19.*
- 7- ABDUL HAMEED, M. *A study of mix design and durability of self-compacting concrete, A Thesis Presented to the DEANSHIP OF GRADUTE STUDIES, KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLIUM & MINERALS, DHAHRAN, SAUDI ARABIA, 112.*
- 8- MATA, L. *Implementation of Self-Consolidating Concrete (SCC) for Prestressed Concrete Girders, Civil, Construction, and Environmental Engineering, Raleigh, North Carolina, November 2004, 130.*
- 9 حويجة، بسام. البيتون المسلح(2)، السنة الرابعة قسم الهندسة الجيوتكنيكية، جامعة تشرين، 698.
- 10- ZENDE, A.; KHADIRNAIKAR, R. *An Overview of the Properties of Self-Compacting Concrete. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, 9.*
- 11- DESNERK, P.; BOEL, V.; CRAEYE, P.; ITTERBEEK, P. *Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete, 112.*