



جامعة حلب

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

# مقاومة الشد والضغط للخرسانة ذاتية الارتصاص

(دراسة تجريبية)

*Tensile and Compression Strength of Self-Compacting Concrete  
(Experimental Study)*

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد

المهندس أحمد ديو



جامعة حلب

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

# مقاومة الشد والضغط للخرسانة ذاتية الامرتصاص

(دراسة تجريبية)

*Tensile and Compression Strength of Self-Compacting Concrete  
(Experimental Study)*

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد

المهندس أحمد ديو

بإشراف

الدكتور المهندس سهيل الجنزير

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 2015/8/2

وأجيزت

لجنة الحكم

الأستاذ الدكتور

الأستاذ الدكتور

الأستاذ الدكتور

محمد عدنان علواني دباغ

يوسف الرغبان

سهيل الجنزير

رئيساً للجنة

عضواً

مشرفاً وعضواً

## تصريح

أصرح بأن هذا البحث "مقاومة الشد والضغط للخرسانة ذاتية الارتصاص (دراسة تجريبية)" لم يسبق أن قبل للحصول على أية شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على أية شهادة أخرى.

المرشح

أحمد ديبو

## Declaration

I hereby certify that this work "Tensile and Compression Strength of Self-Compacting Concrete (Experimental Study)" has not been accepted for any degree or it is not submitted to any other degree.

Candidate  
Ahmad Dibou

## شهادة

نشهد بأن العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح أحمد ديبو بإشراف الدكتور المهندس سهيل الجنزير الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية من كلية الهندسة المدنية في جامعة حلب. إن أية مراجع أخرى ذكرت في هذا العمل موثقة في نص الرسالة وحسب ورودها في النص.

المشرف على الرسالة  
الدكتور المهندس سهيل الجنزير

المرشح  
أحمد ديبو

## Testimony

We witness that the described work in this thratise is the result of scientific search conducted by the candidate Ahmad Dibou under the supervision of Doctor Souheil Al-Janzir professor at the department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo.

Any other references mentioned in this work are documented in the text of the treatise.

Candidate  
Ahmad Dibou

Main Supervisor  
Dr.Souheil Al-Janzir

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
بِإِذْنِ اللَّهِ  
بِإِذْنِ اللَّهِ

إلى كل من أضاء بعلمه عقل غيره  
أو هدى بالجواب الصحيح حيرة سائله  
فأظهر بسماحته تواضع العالم  
وبرحابته سماحة العارف

أتوجه بصادق الشكر وعميق الامتنان إلى صاحب الفضل الأعظم أستاذي الدكتور  
سهيل الجنزير وأتمنى أن تجد في عملي ثمرة لجهدك ومتابعتك لي .

كما أتوجه بالشكر لجميع من ساهم في انجاز هذا العمل: أساتذتي الكرام في  
قسم الهندسة الإنشائية، جميع المهندسين والعاملين في كلية الهندسة المدنية والذين أغنوا  
البحث بجزئهم .

إلى من تجرع مرّ الكأس ليستقيني قطرة حب

إلى من كَلَّتْ أُنَامِلُهُ لِيَقْدَمَ لِي لِحِظَةِ سَعَادَةٍ

إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم

أبي وأمي أطل مرّبي بعمر كما وجعلكما دائماً نوراً لدرّبي

إلى الورود التي فتحت عيوني على براءتها وتشابكت يدي بأيديهم فأعانوني على مصاعب

الحياة وسيكونون إن شاء الله العون لي في مسيرتي .

إخوتي

إلى أسرتي الكبيرة، إلى من وقف بجانبني بحب وإخلاص وكانوا لي كل العون . . . إلى من

شاركني مقعد الدراسة إلى من سَطَع في قلوبهم حب العلم . . . إلى الأوفياء دائماً

وأبداً، كل الحب والتقدير . . . .

أصدقائي

## Table of Contents

## فهرس الرسالة

i	فهرس الرسالة
v	قائمة الجداول
vii	قائمة الأشكال
1	ملخص الأطروحة
3	الفصل الأول: مدخل إلى البحث
3	1.1. مقدمة
4	2.1. تاريخ تطور الخرسانة ذاتية الارتصاص
4	3.1. الدافع لتطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص
5	4.1. لماذا نستعمل الخرسانة ذاتية الارتصاص
6	5.1. تطبيقات الخرسانة ذاتية الارتصاص
7	6.1. أهمية البحث
7	7.1. الغاية من البحث
8	الفصل الثاني: مراجعة بحثية
8	1.2. مقدمة
8	2.2. دراسة (Okamura H. & Ozawa K.)
11	3.2. دراسة (Subramanian & Chattopadhyay)
12	4.2. دراسة (Cristian D.)
14	5.2. دراسة (P. Dinakar, K. G. Babu & M. Santhanam)
15	6.2. دراسة (Ilker B., Turnan B. & Tayfun U.)
16	7.2. دراسة (Surabhi .C .S, Mini S. & SyamPrakash V.)
20	8.2. دراسة (Rejeb S. K. & Mohammed R. I.)

23.....	9.2 دراسة (م. رانيا ضاهر، د. مارال سركيس، د. سهيل الجنزير)
25.....	10.2 دراسة (Al-Feel J. R. & Al-Saffar N. S.)
28.....	<b>الفصل الثالث: الأجهزة والأدوات التجارب المتعلقة بالخرسانة ذاتية الارتصاص</b>
28.....	1.3 مقدمة
28.....	2.3 تجربة تدفق المخروط $T_{500}+$ (Slump Flow + $T_{500}$ )
28.....	1.2.3 الغاية من التجربة
29.....	2.2.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة
30.....	3.2.3 مراحل إجراء التجربة
31.....	4.2.3 نتائج التجربة
33.....	3.3 تجربة الصندوق L- (L-box)
33.....	1.3.3 الغاية من التجربة
33.....	2.3.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة
34.....	3.3.3 مراحل إجراء التجربة
36.....	4.3.3 نتائج التجربة
36.....	4.3 تجربة الحلقة J- (J-ring)
36.....	1.4.3 الغاية من التجربة
37.....	2.4.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة
37.....	3.4.3 مراحل إجراء التجربة
39.....	4.4.3 نتائج التجربة
40.....	5.3 تجربة استقرار المنخل (Sieve Stability)
40.....	1.5.3 الغاية من التجربة
40.....	2.5.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة
41.....	3.5.3 مراحل إجراء التجربة

42.....	4.5.3. نتائج التجربة
43.....	6.3. تجربة القمع-V (V-funnel)
43.....	1.6.3. الغاية من التجربة
43.....	2.6.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة
43.....	3.6.3. مراحل إجراء التجربة
45.....	4.6.3. نتائج التجربة
46.....	<b>الفصل الرابع: خواص المواد المستخدمة في التجارب</b>
46.....	1.4. مقدمة
46.....	2.4. مكونات الخلطة الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC)
46.....	1.2.4. الإسمنت
47.....	2.2.4. الحصىات
47.....	1.2.2.4. التحليل الحبي
48.....	2.3.4. الرمل
49.....	1.3.2.4. المكافئ الرملي
49.....	2.3.2.4. التحليل الحبي
51.....	4.2.4. المادة المائلة للفراغات
51.....	5.2.4. الملدن
52.....	6.2.4. ماء الجبل
53.....	3.4. نسب مكونات الخلطة الخرسانية
56.....	4.4. تحضير الخلطات الخرسانية
57.....	<b>الفصل الخامس: تأثير المادة المائلة على مقاومة الخرسانة ذاتية الارتصاص</b>
57.....	1.5. مقدمة
57.....	2.5. نتائج التجارب

57.....	1.2.5. مقاومة الضغط المكعبية لخطات خرسانة الـ (SCC)
65.....	2.2.5. مقاومة الضغط الأسطوانية لخطات خرسانة الـ (SCC)
70.....	3.2.5. مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة (التجربة البرازيلية)
76.....	5.2.5. مقاومة الشد بالانعطاف
83.....	<b>الفصل السادس: الخلاصة والتوصيات</b>
83.....	1.6. مقدمة
83.....	2.6. النتائج العامة
83.....	1.2.6. الفصل الثاني
83.....	2.2.6. الفصل الثالث
83.....	3.2.6. الفصل الرابع
84.....	4.2.6. الفصل الخامس
86.....	3.6. المقترحات والتوصيات
87.....	<b>المراجع</b>
89.....	<b>ملخص الأطروحة باللغة الإنكليزية</b>

## List of Tables

## قائمة الجداول

- الجدول (2-1): كميات المواد المستخدمة في خلطات عينات خرسانة SCC ..... 13
- الجدول (2-2): كميات المواد المستخدمة في خلطات عينات الخرسانة العادية NC ..... 13
- الجدول (2-3) : تفاصيل الخلطة، تطور الخواص البيتونية في الحالة الطرية والمقاومات ..... 15
- الجدول (2-4) : مكونات خلطات خرسانة SCC وفق دراسة ILKER ..... 16
- الجدول (2-5): كمية مكونات خلط خرسانة الـ SCC ..... 17
- الجدول (2-6): أنواع الخلطات تبعا لنسب الاستبدال ..... 17
- الجدول (2-7): الخصائص الطرية لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي ..... 17
- الجدول (2-8): مقاومة الضغط المكعبية والأسطوانية ومقاومة الشد بالفلق والانعطاف لخرسانة SCC ..... 18
- الجدول (2-9): تفاصيل نسب الخلط المستخدمة ..... 20
- الجدول (2-10): تجربة تدفق المخروط ..... 20
- الجدول (2-11): تجربة الحلقة L ..... 21
- الجدول (2-12): تجربة القمع V ..... 21
- الجدول (2-13): مقاومة الشد بالفلق للخرسانة ذاتية الارتصاص ..... 21
- الجدول (2-14) : نسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC ..... 22
- الجدول (2-15): كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير ( $1m^3$ ) من الخلطة الأولى ..... 24
- الجدول (2-16): كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير ( $1m^3$ ) من الخلطة الثانية ..... 24
- الجدول (2-17): قيم المقاومة المكعبية للخلطات الخرسانية من مكونات الخلطة الأولى ..... 24
- الجدول (2-18): قيم المقاومة المكعبية للخلطات الخرسانية من مكونات الخلطة الثانية ..... 25
- الجدول (3-1): فئات التدفق ..... 32
- الجدول (3-2): فئات اللزوجة ..... 32
- الجدول (3-3): فئات قابلية المرور للصندوق-L ..... 36
- الجدول (3-4): فئات التدفق ..... 40
- الجدول (3-5): فئات اللزوجة ..... 40
- الجدول (3-6): فئات قابلية المرور للصندوق-L ..... 42
- الجدول (3-7): فئات الميوعة ..... 45
- الجدول (4-1): النسب المئوية المارة للبحص الفراتي المكسر ..... 47
- الجدول (4-2): النسب المئوية المارة للبحص للزراة الكلسية ..... 48
- الجدول (4-3): القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمال النهري ..... 49
- الجدول (4-4): القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمال الكلسي (النحاتة) ..... 49

49	الجدول (4-5): النسب المئوية المارة للرمال النهري
50	الجدول (4-6): النسب المئوية المارة للرمال الكلسي (النحاتة)
	الجدول (4-7): كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير ( $1m^3$ ) من الخلطة الأولى المضاف لها Fly Ash
53	كمادة مألثة
	الجدول (4-8): كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير ( $1m^3$ ) من الخلطة الأولى المضاف لها الغبار
54	الصخري كمادة مألثة
54	الجدول (4-9): النسبة المئوية المارة للمنحني الحبي للمواد الحصوية المستخدمة في التجارب
56	الجدول (4-10): نتائج التجارب على الخلطات
57	الجدول (5-1): عدد العينات المجربة في هذا البحث
60	الجدول (5-2): قيم مقاومة الضغط المكعبية
68	الجدول (5-3): قيم مقاومة الضغط الأسطوانية عند العمر 28 يوم
70	الجدول (5-4): تدقيق عامل التصحيح الخاص بالمكعب ذو الأبعاد $(10 \times 10 \times 10)cm$
73	الجدول (5-5): قيم مقاومة الشد غير المباشر
	الجدول (5-6): نسبة مقاومة الشد غير المباشر إلى مقاومة الضغط الأسطوانية لمختلف عينات الخلطات
75	الخرسانية
79	الجدول (5-7): قيم مقاومة الشد بالانعطاف
	الجدول (5-8): نسبة مقاومة الشد بالانعطاف إلى مقاومة الضغط الأسطوانية لمختلف عينات الخلطات
81	الخرسانية
	الجدول (5-9): نسبة مقاومة الشد بالانعطاف إلى مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) لمختلف عينات
82	الخلطات الخرسانية

## List of Figures

## قائمة الأشكال

- الشكل (1-1): ضرورة الخرسانة ذاتية الارتصاص ..... 5
- الشكل (2-1): برج جسر معلق في اليابان ..... 6
- الشكل (1-2): طريقة الحصول على خرسانة ذاتية الارتصاص ..... 9
- الشكل (2-2): آلية الوصول إلى قابلية الارتصاص الذاتي ..... 9
- الشكل (2-3): مقارنة بين النسب المئوية لمكونات خلطة SCC ومكونات خلطة الخرسانة العادية NC ومكونات الخلطة الخرسانية الخاصة بخرسانة السدود RCD ..... 10
- الشكل (2-4): حجم المواد الحصوية الخشنة إلى حجم المواد الصلبة وحجم المواد الحصوية الناعمة في المونة بالنسبة إلى حجم المواد الصلبة ..... 10
- الشكل (2-5) : العلاقة بين حجم المونة ونسبة  $V_w/V_p$  ..... 11
- الشكل (2-6): مقاومة الضغط لخرسانة (SCC) مع ومن دون مركب HPMC ..... 12
- الشكل (2-7): مقاومة الشد بالفلق مع تغير نسبة الماء/الإسمنت ..... 14
- الشكل (2-8): مقاومة الضغط مع تغير نسبة الماء/الإسمنت ..... 14
- الشكل (2-9): نتائج المقاومة الأسطوانية ومقاومة الشد بالانعطاف وفق دراسة ILKER ..... 16
- الشكل (2-10): مقاومة الضغط المكعبية لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي ..... 18
- الشكل (2-11): مقاومة الضغط الأسطوانية لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي ..... 18
- الشكل (2-12): مقاومة الشد بالفلق لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي ..... 19
- الشكل (2-13): مقاومة الشد بالانعطاف لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي ..... 19
- الشكل (2-14): العلاقة بين نوع المادة المألثة ونسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC . 23
- الشكل (2-15): التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص المحفوظة في الماء والهواء ..... 26
- الشكل (2-16): التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالماء ..... 26
- الشكل (2-17): التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالهواء ..... 26
- الشكل (2-18): التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC المحفوظة في الماء والهواء ..... 27
- الشكل (2-19): التغير في مقاومة الشد مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالماء ..... 27
- الشكل (2-20): التغير في مقاومة الشد مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالهواء ..... 27

- الشكل (3-1): الصفيحة المعدنية ..... 29
- الشكل (3-2): المخروط ..... 29
- الشكل (3-3): وضع المخروط على الصفيحة ..... 31
- الشكل (3-4): انتشار الخرسانة في تجربة المخروط ..... 31
- الشكل (3-5): الشكل الفراغي للصندوق-L ..... 33
- الشكل (3-6): المسقط الأمامي والأفقي للصندوق-L ..... 34
- الشكل (3-7): صب الخرسانة في الجزء الشاقولي للصندوق-L ..... 35
- الشكل (3-8): فتح بوابة الصندوق-L ..... 35
- الشكل (3-9): توقف تدفق الخرسانة في الصندوق-L ..... 36
- الشكل (3-10): أدوات تجربة الحلقة-J ..... 37
- الشكل (3-11): أدوات تجربة الحلقة-J ..... 38
- الشكل (3-12): صب العينة الخرسانية في تجربة الحلقة-J ..... 39
- الشكل (3-13): انتشار الخرسانة في تجربة الحلقة-J ..... 39
- الشكل (3-14): وضع المنخل والقعر على الميزان ..... 41
- الشكل (3-15): صب العينة في المنخل ..... 41
- الشكل (3-16): الخرسانة أثناء الانتظار في تجربة المنخل ..... 42
- الشكل (3-17): العينة المارة من المنخل ..... 42
- الشكل (3-18): القمع-V ..... 43
- الشكل (3-19): وضع القمع-V على الأرض ..... 44
- الشكل (3-20): صب الخرسانة في القمع-V ..... 44
- الشكل (3-21): توقف تدفق الخرسانة في القمع-V ..... 44
- الشكل (4-1): الإسمنت البورتلاندي المستخدم ..... 46
- الشكل (4-2): البحص الفراتي المكسر ..... 47
- الشكل (4-3): الزيادة الكلسية ..... 47
- الشكل (4-4): منحنى التحليل الحبي للرمل الفراتي المكسر ..... 47
- الشكل (4-5): منحنى التحليل الحبي للزيادة الكلسية ..... 48
- الشكل (4-6): الرمل النهري ..... 48
- الشكل (4-7): الرمل الكلسي ..... 48
- الشكل (4-8): منحنى التحليل الحبي للرمل النهري ..... 50
- الشكل (4-9): منحنى التحليل الحبي للرمل الكلسي ..... 50
- الشكل (4-10): الغبار الصخري ..... 51
- الشكل (4-11): الرماد المتطاير (Fly Ash) ..... 51

- الشكل (4-12): الملدن المستخدم ..... 52
- الشكل (4-13): منحنى التحليل الحبي للمواد الحصوية المستخدمة في التجارب ..... 55
- الشكل (4-14): مقارنة بين المنحني الحبي للخطلة المستنتجة مع المنحنيات الحبية الخاصة بالموصفات البريطانية ..... 55
- الشكل (5-1): صب العينات ..... 58
- الشكل (5-2): حفظ العينات بالماء ..... 58
- الشكل (5-3): جهاز الضغط المحوري ..... 59
- الشكل (5-4): عينة مكعبية أثناء إجراء تجربة الضغط المحوري ..... 59
- الشكل (5-5): مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 7 أيام ..... 61
- الشكل (5-6): مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 28 يوم ..... 61
- الشكل (5-7): مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 7 أيام ..... 62
- الشكل (5-8): مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم ..... 62
- الشكل (5-9): العلاقة بين مقاومة الضغط المكعبية لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الـ (Fly Ash) عند الأعمار 7 و 28 يوم ..... 63
- الشكل (5-10): العلاقة بين مقاومة الضغط المكعبية لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري مع الزمن عند الأعمار 7 و 28 يوم ..... 64
- الشكل (5-11): العلاقة بين مقاومة الضغط المكعبية للعينات الخرسانية المختلفة عند الأعمار 7 و 28 يوم ..... 64
- الشكل (5-12): تحضير العينة الأسطوانية للتجربة ..... 65
- الشكل (5-13): تحضير العينة الأسطوانية للتجربة ..... 65
- الشكل (5-14): جهاز MG-Plus ..... 66
- الشكل (5-15): العلاقة بين الإجهاد والانفعال في المرحلة المرنة ..... 66
- الشكل (5-16): العلاقة بين الإجهاد والانفعال في المرحلة اللدنة ..... 67
- الشكل (5-17): عينة أسطوانية أثناء إجراء تجربة الضغط المحوري ..... 67
- الشكل (5-18): مقاومة الضغط الأسطوانية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 28 يوم ..... 69
- الشكل (5-19): مقاومة الضغط الأسطوانية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم ..... 69
- الشكل (5-20): أسطوانة الشد غير المباشر ..... 71

- الشكل (5-21): توزع الاجهادات في أسطوانة الشد البرازيلي 71 .....
- الشكل (5-22): وضع العينة الاسطوانية بين فكي المكبس 72 .....
- الشكل (5-23): العينة الاسطوانية عند انهيارها بالفلق 72 .....
- الشكل (5-24): مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 28 يوم 74 .....
- الشكل (5-25): مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم 74 .....
- الشكل (5-26): العلاقة بين مقاومة الضغط الأسطوانية ومقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم 75 .....
- الشكل (5-27): شكل العينة في اختبار الشد بالانعطاف 76 .....
- الشكل (5-28): تحضير العينة الموشورية للاختبار 77 .....
- الشكل (5-29): تحضير العينة الموشورية للاختبار 77 .....
- الشكل (5-30): تحضير العينة الموشورية للاختبار 78 .....
- الشكل (5-31): العينة الموشورية بعد انهيارها 78 .....
- الشكل (5-32): القوى المطبقة على الجائز أثناء التجربة 79 .....
- الشكل (5-33): مقاومة الشد بالانعطاف للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 28 يوم 80 .....
- الشكل (5-34): مقاومة الشد بالانعطاف للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم 80 .....
- الشكل (5-35): العلاقة بين مقاومة الضغط الأسطوانية ومقاومة الشد بالانعطاف لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم 81 .....
- الشكل (5-36): العلاقة بين مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) ومقاومة الشد بالانعطاف لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم 82 .....

## ملخص البحث

تعتبر الخرسانة ذاتية الارتصاص خرسانة ذات قابلية تدفق وارتصاص تحت تأثير وزنها الذاتي فقط وبدون أن يحدث فصل في مكونات الخرسانة بحيث تملأ الخرسانة كامل القالب وتغلف حديد التسليح دون الحاجة لأي تعزيزات ميكانيكية (رج). تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة كل من الرماد المتطاير (Fly Ash) والغبار الصخري إلى الاسمنت على مقاومات خرسانة SCC.

في الفصل الأول تم استعراض أهمية وتطور الخرسانة، حيث وجد الباحثون اليابانيون أن الحل الوحيد لإنجاز منشآت خرسانية ذات ديمومة عالية بشكل مستقل عن أداء العمال عند صب الخرسانة هو الحصول على خرسانة تستطيع إملء القالب في كافة مواضعه وزواياه تحت تأثير وزنها الذاتي وبدون الحاجة إلى الرج وذلك للحصول على الرص الذي يضمن الديمومة.

في الفصل الثاني تم استعراض عدد من الأبحاث الحديثة المتعلقة بالخرسانة ذاتية الارتصاص، حيث أعطت الأبحاث التي أطلعنا عليها أهميه هذا النوع من الخرسانة وميزاتها والفروقات بينها وبين الخرسانة العادية وكيفية الحصول على خرسانة SCC باستخدام مواد وإضافات مختلفة.

أما في الفصل الثالث فقد تم توصيف الأجهزة والأدوات المستخدمة في تجارب هذا النوع من الخرسانة، وفيه أيضاً تم شرح التجارب المتعلقة بالخرسانة ذاتية الارتصاص في الحالة الطرية تلك التجارب التي تهدف لتحقيق الخواص الثلاثة لخرسانة SCC في الحالة الطرية:

- قابلية الملاء (filling ability).
- قابلية المرور (passing ability).
- مقاومة الفصل (resistance to segregation).

وتضمن الفصل الرابع دراسة خواص المواد المستخدمة في التجارب، من مواد حصوية واسمنت وملدن، بالإضافة إلى المادة المائلة للفراغات، حيث تم إجراء التحليل الحبي والمكافئ الرملي على المواد الحصوية المستخدمة. إن الاختلاف الأساسي ما بين الخرسانة ذاتية الارتصاص والخرسانة العادية يتمثل بوجود المادة المائلة للفراغات (Filler)، في هذا البحث تم استخدام نوعين من الإضافات الناعمة الناتجة عن المخلفات الصناعية وهما الرماد المتطاير (Fly Ash) والغبار الصخري، بعد ذلك تم تحديد كمية المواد المستخدمة في تحضير الخلطات المدروسة.

وخصص الفصل الخامس لعرض نتائج الدراسة التجريبية، التي أجريت على الخلطات التي تم اعتمادها في هذا البحث. حيث أظهرت النتائج بأن عينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الرماد المتطاير (Fly Ash) لها مقاومات (ضغط، شد غير مباشر، شد بالانعطاف) أعلى من الخرسانة العادية NC، وأعلى نسبة زيادة في المقاومات حصلنا عليها عند إضافة الرماد المتطاير (Fly Ash) إلى الاسمنت بنسبة 40%.

أما عينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري فقد أعطت مقاومات (ضغط ، شد غير مباشر، شد بالانعطاف) أعلى من الخرسانة العادية NC عند إضافة الغبار الصخري إلى الاسمنت بنسبة 25% و 40% وانخفضت عند اضافة الغبار الصخري بنسبة 50%، وأعلى زيادة في المقاومات حصلنا عليها عند إضافة الغبار الصخري إلى الاسمنت بنسبة 25%.

أظهرت الدراسة التجريبية لمقاومة الضغط المكعبية عند العمرين 7 و 28 يوم بأن مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 28 يوم تساوي تقريبا 1.55 مرة من مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 7 أيام.

تبين لنا في هذا البحث بأن عامل التصحيح اللازم لتحويل المقاومة المكعبية للمكعب ذو الأبعاد  $10 \times 10 \times 10$  cm إلى مقاومة اسطوانية والنتاج عن الدراسة التجريبية مطابق لعامل التصحيح الموجود في جداول الكود العربي السوري.

كما بينت الدراسة التجريبية لهذا البحث العلاقة بين المقاومات المختلفة لعينات خرسانة SCC المختلفة، فكانت مقاومة الشد غير المباشر تساوي تقريبا 10% من مقاومة الضغط الاسطوانية و مقاومة الشد بالانعطاف تساوي 17% من مقاومة الضغط الاسطوانية.

واحتوى الفصل السادس النتائج العامة بالإضافة إلى المقترحات والتوصيات.

## الفصل الأول: مدخل إلى البحث

### Chapter 1: Introduction to the Research

#### 1.1. مقدمة:

تعرف الخرسانة بأنها مادة غير متجانسة تتكون من الركام الصلب المتدرج القياس ومن المادة الرابطة، ولها قابلية تشغيل تستمر لمدة محدودة يتم خلالها تشكيلها وقولبتها حسب الحاجة، ويتسع استعمال الخرسانة باستمرار ويمتد بسرعة ليشمل كثير من النواحي، وبجانب التزايد في استعمال الخرسانة يتم العمل باستمرار على تطويرها لتكون ذات أداء ومقاومة وديمومة أفضل.

يعتبر تطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) انجازاً مرغوباً به في مجال صناعة البناء والتشييد للتغلب على المشاكل المتعلقة بصب الخرسانة، فالخرسانة ذاتية الارتصاص لا تتأثر بمهارة العمال أثناء عملية الصب - (يتم استبعاد العامل البشري) - وشكل وكمية قضبان التسليح أو توضع القالب وذلك نظراً لخصائصها الانسيابية العالية ومقاومتها للانفصال مما يُمكن من ضخها لمسافات أطول [1]، تم اقتراح مفهوم الخرسانة ذاتية الارتصاص عام 1986 من قبل البروفسور (Okamura) وتم تطوير النموذج الأولي في اليابان عام 1988 بواسطة البروفسور (Ozawa) [2] في جامعة طوكيو، وكانت الغاية من تطوير ذلك النوع من الخرسانة هو تحسين ديمومة المنشآت الخرسانية، ومنذ ذلك الوقت أجريت العديد من الأبحاث وتم استخدام خرسانة SCC من قبل شركات البناء الكبرى بشكل عملي في بعض المنشآت في اليابان، وتم إجراء الكثير من الاختبارات والدراسات من أجل إعطاء طرق قياسية لتصميم نسب الخلطة وإعطاء طرق مرجعية لاختبار الخرسانة ذاتية الارتصاص.

تصب الخرسانة ذاتية الارتصاص دون أي عملية رج داخلي أو خارجي لها، إنها تتدفق مثل العسل ولها سطح صقيل بعد الصب، أما فيما يتعلق بتركيبها فإن الخرسانة ذاتية الارتصاص تتألف من نفس المكونات الموجود في الخرسانة التقليدية المرجوجة والتي هي: الإسمنت، البحص، الرمل، الماء مع إضافة مركبات كيميائية أو معدنية بنسب مختلفة، عادةً الإضافات الكيميائية المستخدمة هي مخفضات الماء (الملدنات عالية الأداء) أو معاملات تعديل اللزوجة مما يؤدي إلى تغيير الخصائص الانسيابية (اللزوجة) للخرسانة، وتستخدم الإضافات المعدنية كمواد ناعمة إضافية للإسمنت وفي بعض الحالات يتم استبدال كمية من الإسمنت بها.

## 2.1. تاريخ تطور الخرسانة ذاتية الارتصاص:

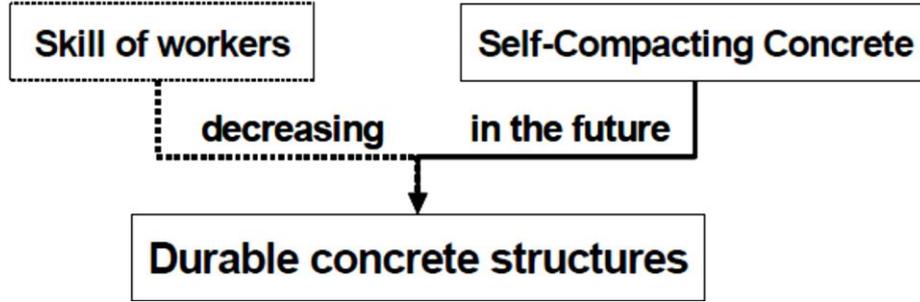
الخرسانة ذاتية الارتصاص من حيث المبدأ ليست جديدة، فالتطبيقات الخاصة مثل الخرسانة المصبوبة تحت الماء تتطلب خرسانة يمكن صبها دون الحاجة إلى أي عملية رج [1]، إذ أنه في مثل هذه الظروف فإن عملية الرج تكون مستحيلة، في البداية اعتمدت الخرسانة ذاتية الارتصاص على محتوى عالي جداً من العجينة الإسمنتية وما إن توفرت الملدنات حتى تم إضافتها إلى الخلطة الخرسانية، كان تحضير الخلطة يتطلب طرق مراقبة خاصة ودقيقة لتجنب حدوث ظاهرة الانفصال (segregation)، والمحتوى العالي من العجينة الإسمنتية يجعلها عرضة للانكماش، بالمحصلة كانت التكاليف الإجمالية مرتفعة جداً والتطبيقات محدودة للغاية.

اعتبر اليابانيون أن العامل الرئيسي المسؤول عن ضعف أداء المنشآت الخرسانية هو النقص في عملية الرج المنتظم والكامل، وبدأ العمل منذ عام 1983 للحصول على خرسانة جيدة الأداء ولا تحتاج إلى عملية رج داخلي أو خارجي، وفي عام 1986 توصل الباحثان (Okamura) و (Ozawa) في جامعة طوكيو إلى الحصول على أول خرسانة SCC، وعلى الفور التقطت شركات البناء اليابانية العملاقة أمثال (Kajima Co., Maeda Co., Taisei Group Co., etc.) الفكرة، وعمدت كل شركة إلى تطوير تصاميم الخلطة الخاصة بها ودربت موظفيها على العمل كفنيين لاختبار خرسانة SCC الخاصة بهم في الموقع، والجانب الهام في هذا هو أن كل واحدة من هذه الشركات الكبرى طورت طرق وأجهزة الاختبار الخاصة بها [1]، وفي بداية التسعينات من القرن الماضي كان هنالك عدد محدود من الأشخاص لديهم معلومات عن خرسانة SCC، فقط باللغة اليابانية، وبقيت المعلومات الأساسية والعملية سرّاً خاصاً بالشركات الكبرى للحفاظ على المزايا التجارية، وتم استخدام خرسانة SCC تحت أسماء تجارية مثل (Non-Vibrated concrete) NVC لشركة (Kajima Co.) أو (Super quality concrete) SQC لشركة (Maeda Co.) أو (Biocrete) لشركة (Taisei Co.)، وبالتزامن مع تقدم اليابانيين في مجال تطوير خرسانة SCC، قامت العديد من مراكز الأبحاث ومنها على سبيل المثال (جامعة Paisley في اسكتلندا، جامعة Sherbrooke في كندا) [3] بتطوير أبحاث في مجال خلطات الخرسانة المصبوبة تحت الماء حيث تم إنتاج خلطات من خرسانة SCC ذات أداء يشبه خرسانة SCC المطورة من قبل اليابانيين.

## 3.1. الدافع لتطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص:

الدافع لتطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص كان نتيجة المشاكل المتعلقة بديمومة المنشآت الخرسانية، ونتيجة الانخفاض التدريجي في عدد العمال المهرة في مجال صناعة البناء في اليابان، أدى إلى انخفاض في جودة أعمال البناء. كنتيجة لهذا الواقع كان هنالك حل واحد لضمان متانة وديمومة المنشآت الخرسانية بشكل مستقل عن مهارة عمال البناء، وهو استخدام الخرسانة ذاتية الارتصاص والتي يمكنها تحت تأثير وزنها الذاتي

فقط ملء جميع زوايا القالب كما هو مبين في الشكل (1-1)، تم إجراء الدراسات لتطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص المستندة أساساً على قابلية التشغيل لهذه الخرسانة، من قبل العالمان (Maekawa) و (Ozawa) في جامعة طوكيو [2].



الشكل (1-1)

ضرورة الخرسانة ذاتية الارتصاص

حيث تبين لهما خلال أبحاثهم أن السبب الرئيسي للأداء الضعيف للخرسانة في اليابان في المنشآت هو الرج غير الكافي للخرسانة خلال عملية الصب، وبتطوير الخرسانة ذاتية الارتصاص قضوا على سبب رئيسي لضعف ديمومة ومتانة الخرسانة.

بحلول عام 1988 تطور المصطلح وكان جاهزاً لأول اختبار على نطاق واسع، وفي الوقت نفسه تم انجاز النموذج الأولي من الخرسانة ذاتية الارتصاص باستخدام مواد موجودة مسبقاً في الأسواق، أداء النموذج الأولي كان مرضياً وقد سميت هذا النوع من الخرسانة بالخرسانة عالية الأداء ( High Performance Concrete).

في نفس الوقت تقريباً عُرفت الخرسانة عالية الأداء (High Performance Concrete) كخرسانة ذات ديمومة عالية نتيجة انخفاض نسبة الماء إلى الإسمنت وذلك بواسطة العلماء (Aiclin, Gange, Pigeon) [4]، ومنذ ذلك الوقت استخدم مصطلح الخرسانة عالية الأداء حول العالم للإشارة للخرسانة ذات الديمومة العالية، لذلك قام العالم (Okamura) عام 1997 [5] بتغيير المصطلح إلى الخرسانة ذاتية الارتصاص عالية الأداء (Self-Compacting High Performance Concrete)، هذه التسمية اختصرت فيما بعد إلى ( Self Compacting Concrete) أو اختصاراً (SCC).

#### 4.1 لماذا نستعمل الخرسانة ذاتية الارتصاص:

تلقى الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC رواجاً متزايداً في الاستخدام في مختلف أنواع الإنشاءات ويعود ذلك لأسباب عديدة نذكر منها [6]:

1. إمكانية صب الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC بسرعة أكبر من الخرسانة العادية NC التي تحتاج إلى رج.
2. عدم الحاجة إلى عملية تسوية للسطح النهائي للصب الخرسانية ذاتية الارتصاص أو التقليل من أعمال إنهاء السطوح وتسويتها.
3. سهولة وصول هذه الخرسانة وملئها للأماكن التي يصعب الوصول إليها باستخدام الخرسانة العادية NC.
4. تحسين الارتصاص والتلاحم حول قضبان التسليح.
5. قابلية الضخ العالية.
6. الحصول على خرسانة متجانسة المقاومة في مختلف أماكن صبها وذلك لإزالة العوامل المتعلقة بمجهود الرج.
7. اختصار مدة انجاز المنشآت مما ينعكس على الكلفة للمشروع.
8. إنهاء الضجة الناتجة عن استخدام الرجاجات مما يساعد في زيادة ساعات العمل في المناطق المأهولة بالسكان.

### 5.1 تطبيقات الخرسانة ذاتية الارتصاص:

إن التطبيق الأول لخرسانة SCC تم في إنشاء بناء في اليابان عام 1990 ثم استخدمت بعد ذلك في الخرسانة المنفذة في أبراج أحد الجسور المعلقة في اليابان عام 1991 كما هو مبين في الشكل (1-2).



Shin-kiba Ohashi bridge.

الشكل (1-2)

برج جسر معلق في اليابان

كما استخدمت هذه الخرسانة في إنشاء ركيزتين في جسر (Akashi - Kaikyo) المعلق والذي أنجز في عام 1998 في اليابان [7]، كما استخدمت خرسانة SCC في إنشاء جدران الخزانات الضخمة العائدة لشركة (OSAKAGAS) [8].

إن نسبة الخرسانة SCC المنتجة في معامل تصنيع الخرسانة في اليابان تبلغ (1%) من الإنتاج السنوي للخرسانة الجاهزة RMC.

في الولايات المتحدة الأمريكية فإن معامل القطع الخرسانية مسبقة الصنع تقود تطبيق تكنولوجيا خرسانة SCC بمساعدة معهد دراسات الخرسانة مسبقة الصنع/ الإجهاد بدءاً من عام 1999 (Bartos, 2000) [1]، وتشير التقديرات أن الإنتاج اليومي من خرسانة SCC في معامل القطع مسبقة الصنع كان بحدود  $8000 \text{ m}^3$  في الربع الأول من عام 2003 (حوالي 1% من الإنتاج السنوي للخرسانة الجاهزة).

في السويد كانت حصة خرسانة SCC 5% من الإنتاج السنوي للخرسانة (الخرسانة الجاهزة RMC و الخرسانة مسبقة الصنع PC) في عام 2002، في هولندا وألمانيا فإن معامل العناصر مسبقة الصنع تقود عملية تطوير خرسانة SCC وقد بلغت حصة خرسانة SCC حوالي 8% من الإنتاج السنوي للخرسانة في عام 2003 في هولندا.

حالياً توجد العديد من الأبحاث في هذا المجال منها ما يتعلق بتركيب الخلطات للحصول على هذه الخرسانة ومنها ما يتعلق بتأثير المواد المضافة للحصول على هذا النوع من الخرسانة. إن موضوع مقاومة الخرسانة على الشد والضغط وتحسين هذه المقاومات هدف تسعى إليه الدراسات الهندسية.

## 6.1. أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في دراسة تأثير المواد المألئة على مقاومات خرسانة SCC والعلاقة بين تلك المقاومات ذلك أنه يوجد العديد من الحالات التي يطلب فيها استعمال خرسانة ذات مقاومة عادية.

## 7.1. الغاية من البحث:

- دراسة مقارنة بين مقاومة الضغط لعينات من خرسانة SCC و NC عند الأعمار 7 و 28 يوم.
- دراسة مقارنة بين مقاومة الشد بالفلق والشد بالانعطاف لخرسانة SCC و NC عند العمر 28 يوم.
- دراسة علاقة مقاومة الشد بالضغط لخرسانة SCC و NC عند الأعمار المختلفة.
- دراسة مدى صلاحية علاقات تطور مقاومة الضغط مع الزمن المستخدمة في NC.

#### 1.2. مقدمة:

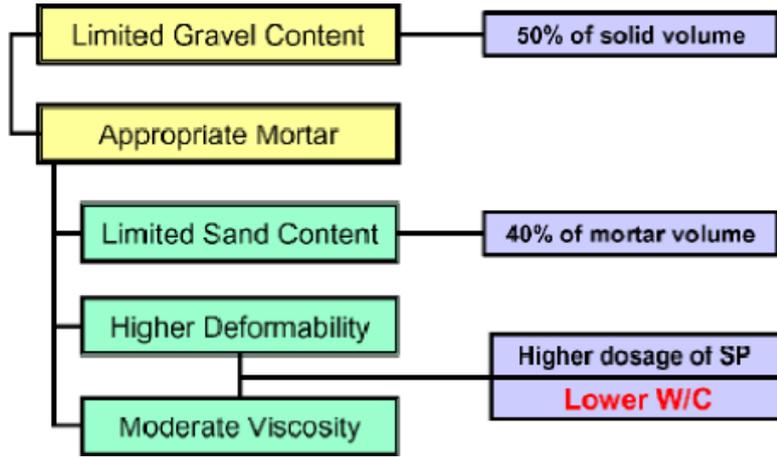
عُرفت الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) في اليابان في أواخر الثمانينات حيث أنجزت دراسات للحصول على خرسانة تضمن ديمومة عالية للمنشآت الخرسانية، وبهذا النوع من الخرسانة تم حل مشاكل صب وتوضع الخرسانة في المنشآت كثيفة التسليح. ومن ثم انتشر هذا النوع من الخرسانة تدريجياً حول العالم، وتم التعرف والاهتمام بخصائص هذا النوع من الخرسانة في المخابر أولاً ثم في التطبيقات.

إن اختيار المواد المكونة للخرسانة تحدده الغاية من استخدامها، وبالرغم من معرفة الكثير من خواص مكونات الخرسانة المختلفة إلا أنه مازال اختيار الأفضل لمنشأ ما موضع دراسة واهتمام من جانب الباحثين. وجد الباحثون في الآونة الأخيرة أن استعمال مواد مضافة للإسمنت مثل (الرماد المتطاير - غبار السليكا - خبث الاقران ...) يمكن أن يحسن في خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة، وبدأت مراكز الأبحاث المختصة بإجراء الأبحاث والدراسات المتعلقة بالخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) نظراً للمزايا الكبيرة التي تقدمها على الصعيد الاقتصادي والهندسي، واعتمدت الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) أحد أفضل أنواع الخرسانة التي تستفيد من النواتج والنفايات الصناعية باستخدامها كمادة مألوفة في تركيب الخرسانة. سيتم استعراض بعض من الأبحاث التي أنجزت في هذا المجال في الفقرات التالية.

#### 2.2. دراسة (Okamura H. & Ozawa K.) [9]:

أعطى الباحثان في الدراسة التي نشرها عام 1995 طريقة للحصول على خلطة خرسانة SCC كما هو مبين في الشكل (1-2)، وتعتمد هذه الطريقة على ثلاثة أمور أساسية:

1. محتوى محدود من البحص.
2. نسبة منخفضة للماء إلى المواد الناعمة (البودرة).
3. استخدام الملدنات.

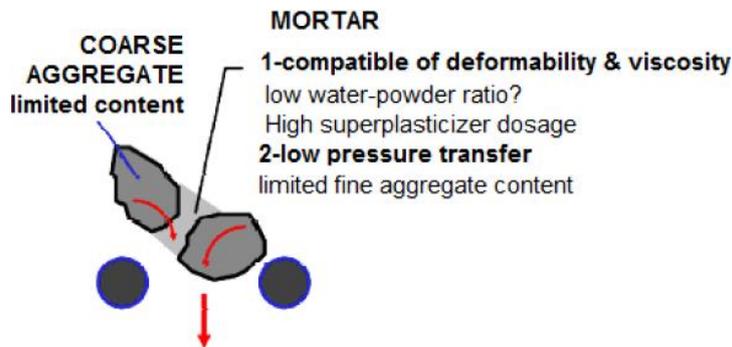


الشكل (2-1)

طريقة الحصول على خرسانة ذاتية الارتصاص [9]

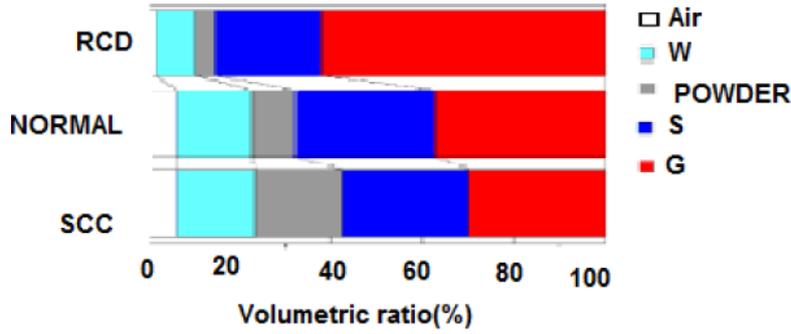
وجد الباحثان أن تواتر الاصطدام والتلامس بين حبات البحص يمكن أن يزداد مع ازدياد المسافات النسبية بين جزيئات البحص نتيجة انخفاض كمية البحص، وبالتالي فإن الإجهاد الداخلي يمكن أن يزيد عندما تتشكل الخرسانة وبشكل خاص قرب العوائق، ونتيجة لذلك سيحدث تكثف لجزيئات البحص في الخلطة. إن تحديد كمية الحصىات الخشنة التي تستهلك الطاقة المذكورة ضروري جداً وذلك للوصول إلى الحد الأدنى من المواد الحصىية وتجنب حدوث التكتلات الحصىية، كما أن اللزوجة العالية للمونة مطلوبة أيضاً لتجنب العرقلة الناتجة عن البحص الخشن عند تدفق الخرسانة عبر المناطق الضيقة. إن استخدام الملدنات يسمح بالحصول على قابلية تشغيل جيدة للخلطة بالإضافة إلى المحافظة على نسبة منخفضة من الماء إلى المواد الناعمة.

يبين الشكل (2-2) آلية الوصول إلى قابلية الارتصاص الذاتي، كما يبين الشكل (2-3) مخططاً للنسب المثوية لمكونات الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) مقارنة مع مكونات الخلطة الخرسانية العادية ومكونات الخلطة الخرسانية الخاصة بخرسانة السدود (Roller Compacted Concrete for Dams).



الشكل (2-2)

آلية الوصول إلى قابلية الارتصاص الذاتي [9]



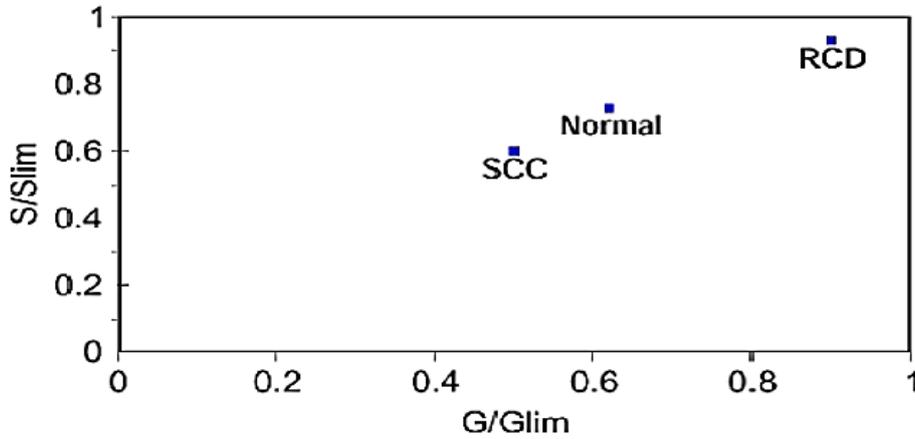
الشكل (2-3)

مقارنة بين النسب المئوية لمكونات خلطة SCC ومكونات خلطة الخرسانة العادية NC ومكونات الخلطة الخرسانية

الخاصة بخرسانة السدود RCD [9]

نلاحظ أن كمية البحص في خلطة الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC أقل منها في خلطة الخرسانة العادية NC التي تتطلب الرج.

كما يبين الشكل (2-4) نسبة حجم المواد الحصوية الخشنة إلى حجم المواد الصلبة (G/Glim) لكل من أنواع الخرسانة المذكورة، نلاحظ من الشكل (2-4) أن حجم المواد الحصوية الخشنة يبلغ حوالي 50% من حجم المواد الصلبة في الخرسانة ذاتية الارتصاص SCC.



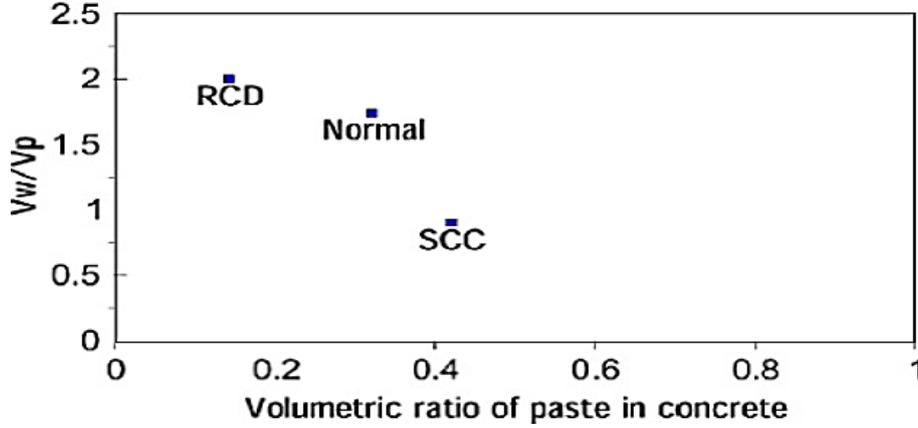
الشكل (2-4)

حجم المواد الحصوية الخشنة إلى حجم المواد الصلبة وحجم المواد الحصوية الناعمة في المونة بالنسبة إلى حجم

المواد الصلبة [9]

ويبين الشكل (2-4) نسبة حجم المواد الحصوية الناعمة إلى حجم المواد الصلبة في المونة (S/Slim)، نلاحظ من الشكل أن حجم المواد الصلبة يشكل حوالي 60% من حجم المواد الصلبة في المونة.

من جهة أخرى فإن لزوجة المونة في الخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) هي الأعلى بين نماذج الخرسانة الأخرى وهذا يعود إلى أنها تمتلك أدنى نسبة لـ Water/Powder، كما هو مبين بالشكل (2-5)، وهذه الميزة يكون لها دور فعال في إبطاء حدوث ظاهرة انفصال الحصىات الخشنة.



الشكل (2-5)

العلاقة بين حجم المونة ونسبة  $V_w/V_p$  [9]

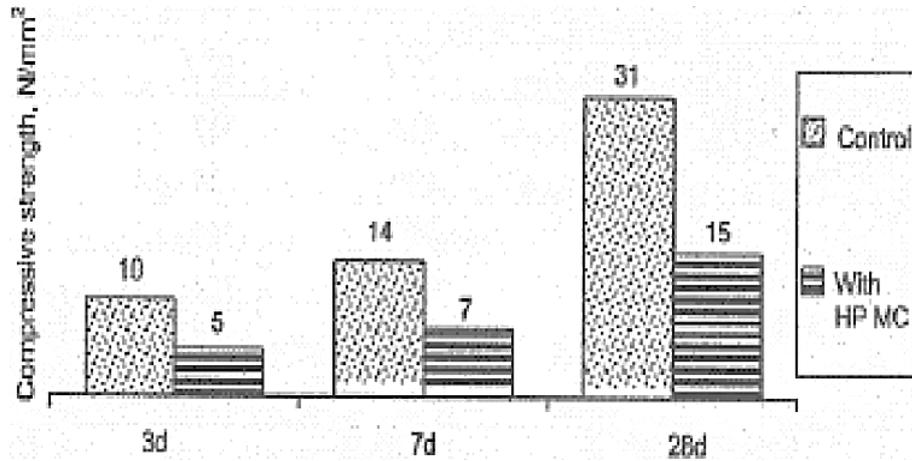
### 3.2. دراسة (Subramanian & Chattopadhyay) [10]:

عمل الباحثان في دراستهما على تحديد محتوى المواد الخشنة (البحص) والناعمة (الرمل) التي قام العالم Okamura بتطويرها، محتوى المواد الخشنة (البحص) كان متغيراً وكذلك الأمر بالنسبة لنسبة الماء إلى البودرة (إسمنت - رماد متطاير - خبث أفران) وكانت نسبة المواد الخشنة هي (46%, 48%, 50%) من حجم المواد الصلبة في الخرسانة، وتراوح نسبة (الماء/البودرة) بين (0.3-0.7) بخطوة مقدارها 0.1، تبين على ضوء هذه التجارب أنه يمكن تحقيق خاصية الارتصاص الذاتي عندما يكون محتوى المواد الخشنة (البحص) يساوي 46% بدلاً من 50% من حجم المواد الصلبة في الخرسانة والتي استخدمها سابقاً العالم Okamura.

وفي السلسلة التالية من التجارب التي أجراها الباحثان، تم تثبيت محتوى المواد الخشنة (البحص) عند نسبة 46% من حجم المواد الصلبة في الخرسانة ونسبة محتوى المواد الناعمة (الرمل) في المونة الإسمنتية كان متغيراً من (36%-44%) بخطوة مقدارها 2%، وتراوح نسبة (الماء/البودرة) بين (0.3-0.7)، بالاعتماد على تجربة القمع U تم اختيار محتوى المواد الناعمة يساوي 42% من حجم المواد الصلبة في المونة الإسمنتية.

من أجل إيجاد حل لمشكلة الفصل (segregation) التي تحدث عند أي تغيير طفيف في المحتوى المائي أو حجم حبيبات البحص المستخدمة بالرغم من استخدام ملدنات عالية الأداء، ولإظهار أهمية استخدام معامل تعديل الزوجة جنباً إلى جنب مع الملدنات، عمد الباحثان إلى إجراء تجارب على عينات هي عبارة عن بلاطات كثيفة التسليح أبعادها (2400×600×80 mm).

إن معامل تعديل اللزوجة يمكن أن يكون عبارة عن بوليمر طبيعي مثل صمغ الغار أو بوليمر شبه صناعي (تركيبه) مثل هيدروكسي بروبيل مثيل السليلوز (HPMC) أو عديد السكريد القابل للذوبان في الماء بما في ذلك تلك المستمدة من مصادر ميكروبية مثل صمغ ويلان (Welan Gum)، تم استخدام الأصناف السابقة لمعامل تعديل اللزوجة لدراسة مدى صلاحية استخدامها في الخرسانة ذاتية الارتصاص، فتبين أن بوليمر هيدروكسي بروبيل مثيل السليلوز (HPMC) أدى إلى زيادة مفرطة في حجم الهواء المحبوس مما سبب انخفاضاً في المقاومة كما هو مبين في الشكل (2-6)، وتبين أن صمغ ويلان (Welan Gum) مناسب للاستخدام في الخرسانة ذاتية الارتصاص لأنه يتوافق مع معظم أنواع الملدنات وله قوة تأثير فائقة مقارنة مع صمغ الغار ومع (HPMC).



الشكل (2-6)

مقاومة الضغط لخرسانة (SCC) مع ومن دون مركب HPMC [10]

ومن أجل التوصل للجرعة المطلوبة من (Welan Gum) والملدن الفائق قام العالمان بالعديد من التجارب تتعلق بميل الخرسانة للانفصال وقدرتها على المرور في تجربة القمع U وتبين لهما أنه باستخدام مركب مكون من 0.1% من (Welan Gum) و 0.53% من (water acrylic copolymer) يمكن الحصول على خلطة SCC مرضية.

#### 4.2 دراسة (Cristian D.) [11]:

بين الباحث في دراسته أنه يمكن الحصول على خرسانة (SCC) بإضافة مركبات كيميائية أو معدنية بحيث تكون مقاومة الشد بالفلق ومقاومة الضغط لهذه الخرسانة أكبر منها في الخرسانة العادية المرجوجة، حيث بلغ متوسط الزيادة في مقاومة الضغط 60% لخرسانة SCC، والزيادة في مقاومة الشد بالفلق تبلغ 30%، بالإضافة إلى ذلك مقاومة الشد بالفلق لخرسانة SCC بعد 7 أيام من الصب أعلى تقريباً من تلك المقاومة التي

نحصل عليها في الخرسانة العادية بعد 28 يوم، كما أظهرت خرسانة SCC نتيجة استخدام المركبات الكيميائية و المعدنية شقوق مجهرية أقل منها مقارنة مع الخرسانة العادية مما يؤدي إلى التحام أفضل بين المواد الخشنة (الركام) والعجينة الإسمنتية مما يؤدي إلى زيادة في مقاومة الشد بالفلق والضغط.

يبين الجدول (2-1) كمية المواد المكونة للخلطات المستخدمة في هذه الدراسة حيث أن المتغير هو نسبة الماء إلى المواد الناعمة وبالتالي كمية الملدن ومعدل اللزوجة.

#### الجدول (2-1)

كميات المواد المستخدمة في خلطات عينات خرسانة SCC [11]

Water/Cement Ratio	0.3	0.4	0.45	0.5	0.6
Water (kg)	3	4	4.5	5	6
Cement (kg)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Slag Cement (kg)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Fly Ash (kg)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Silica Fume (kg)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fine Aggreg. (kg)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
Coarse Aggreg. (kg)	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1
HRWR (ml)	340	100	80	50	20
VMA (ml)	0	15	25	50	100

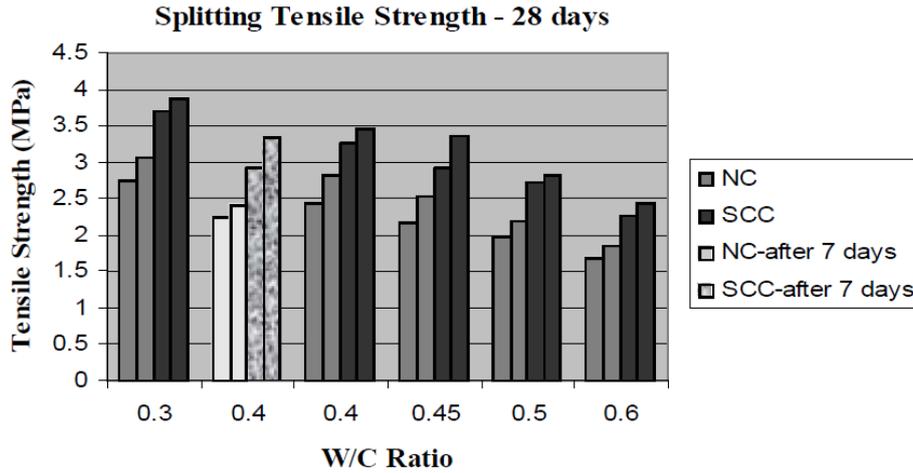
كما يبين الجدول (2-2) كميات المواد المكونة لخلطات الخرسانة العادية NC المستخدمة في هذه الدراسة.

#### الجدول (2-2)

كميات المواد المستخدمة في خلطات عينات الخرسانة العادية NC [11]

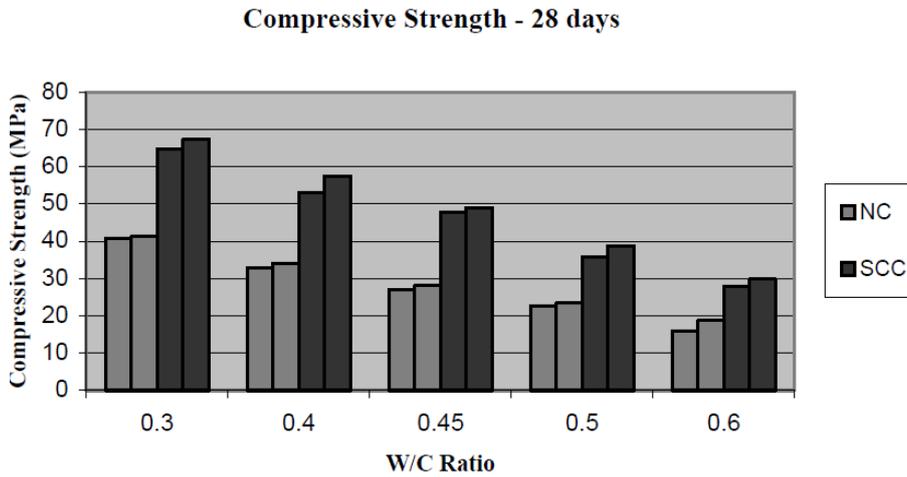
Water/Cement Ratio	0.3	0.4	0.45	0.5	0.6
Water (kg)	1.9	2.5	2.8	3.1	3.7
Cement (kg)	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Fine Aggreg. (kg)	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
Coarse Aggreg. (kg)	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8

توضح الأشكال (2-7) و (2-8) مقاومة الشد بالفلق ومقاومة الضغط الأسطوانية تبعاً لتغير نسبة الماء/الإسمنت.



الشكل (2-7)

مقاومة الشد بالفلق مع تغير نسبة الماء/الإسمنت [11]



الشكل (2-8)

مقاومة الضغط مع تغير نسبة الماء/الإسمنت [11]

## 5.2 دراسة (P. Dinakar, K. G. Babu & M. Santhanam) [12]:

ركزت الدراسة التجريبية التي أنجزها هؤلاء الباحثون عام 2008 على دراسة خصائص الديمومة للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC التي يدخل في تركيبها حجم كبير من الرماد المتطاير (Fly Ash)، تم تصميم ثماني خلطات من الخرسانة ذاتية الارتصاص باستبدال ما نسبته (0%, 10%, 30%, 50%, 70%, 85%) من الإسمنت بالرماد المتطاير (Fly Ash)، وتمت مقارنة النتائج مع خمس خلطات من الخرسانة العادية NC المرجوة تقليدياً، يبين الجدول (2-3) الخلطات المختلفة مع نسب الرماد المتطاير (Fly Ash) وكميات الإسمنت المستخدمة في كل خلطة، كما يظهر المقامات على الضغط بعد (28, 90, 180) يوم.

وقد تبين للباحثين أن خرسانة SCC ذات مقاومات على الضغط (20-30 Mpa) يمكن الحصول عليها باستبدال (70%-85%) من وزن الإسمنت بالرماد المتطاير (Fly Ash) ، أما من أجل خرسانة SCC ذات مقاومات (60-90 Mpa) فيمكن الحصول عليها من استبدال نسبة (30%-50%) من الإسمنت بالرماد المتطاير (Fly Ash).

### الجدول (2-3)

تفاصيل الخلطة، تطور الخواص البيتونية في الحالة الطرية والمقاومات [12]

NO.	Concrete grade (MPa)	Concrete name	TCM(p) (kg/m <sup>3</sup> )	Fly Ash (%)	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Total Aggregat (kg/m <sup>3</sup> )	w/p ratio	HRWR liquid weight (%)	Compressive Strength (MPa)		
									28 days	90 days	180 days
1	20	NC20	234	0	234	1874	0.79	0	29	35.5	38.85
2		SCC558	550	85	83	1418	0.41	2	14.64	22.07	27.74
3	30	NC30	319	0	319	1681	0.58	0	43	44.5	45
4		SCC557	550	70	165	1491	0.34	2	34.9	45.52	57.25
5		SCC757	750	70	225	1107	0.33	2	34.83	44.96	55.81
6	60	NC60	500	0	500	1462	0.37	0	74	76	76
7		SCC555	550	50	275	1571	0.34	2.5	57.9	66.72	79.5
8		SCC655	650	50	325	1388	0.34	2	50.07	60.63	72.05
9	90	NC90	552	0	552	1465	0.29	1	78	80	84
10		SCC553	550	30	385	1663	0.31	2.5	77.08	91.95	13.25
11		SCC530	500	30	350	1608	0.36	1.75	71.62	75.26	89.53
12	100	NC100	659	0	659	1334	0.22	1	87	86	88
13		SCC551	550	10	495	1718	0.29	3	86.41	90.75	102.5

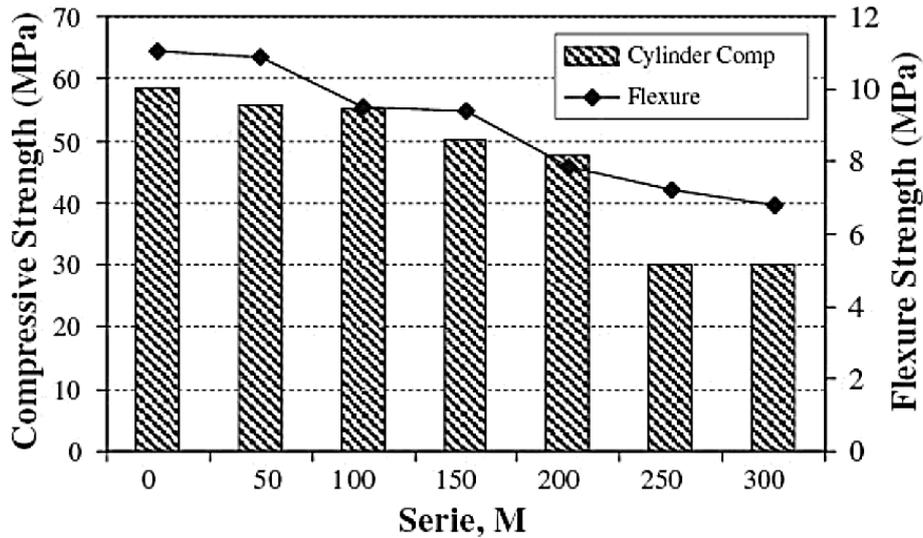
### 6.2 .دراسة (Ilker B., Turnan B. & Tayfun U.) [13]:

تم في هذا البحث استخدام الغبار الكلسي كمادة مألثة للفراغات في SCC، وتأتي أهمية هذا البحث في التخلص من كميات كبيرة من غبار مناشر الرخام واستخدامها كمادة مألثة للفراغات حيث يتم استخدام غبار الرخام مباشرة دون معالجة وقد تم تحضير خلطات خرسانية باستخدام كميات مختلفة من غبار الرخام مقدارها (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300) kg/m<sup>3</sup>، وتبعاً لنتائج الاختبارات تم استنتاج أن قابلية تشغيل SCC لا تتأثر حتى كمية من محتوى غبار الرخام تصل إلى 200 kg/m<sup>3</sup> بينما تنخفض الخصائص الميكانيكية للخرسانة المتصلبة عندما يتجاوز محتوى غبار الرخام 200 kg/m<sup>3</sup>.

## الجدول (2-4)

## مكونات خلطات خرسانة SCC وفق دراسة [13] ILKER

Materials (kg/m <sup>3</sup> )	Specific gravity	M0	M50	M100	M150	M200	M250	M300
Cement (C)	3.07	495	450	405	360	315	270	225
Fly Ash (FA)	2.2	55	50	45	40	35	30	25
Binder (b) (c+FA)	-	550	500	450	400	350	300	250
Marble dust (MD)	2.47	0	50	100	150	200	250	300
Fine (c+FA+MD)	-	550	550	550	550	550	550	550
Superplasticizer	1.1	13.75	12.5	11.25	10	8.75	7.5	6.25
Water (w)	-	190	191	192	194	195	196	197
RS (river sand)	2.62	327	326	325	324	323	322	321
CSS (crushed sand stone)	2.65	599	597	595	594	592	590	588
CS I (crushed stone I)	2.71	467	466	465	463	462	461	459
CS II (crushed stone II)	2.70	193	192	192	191	190	190	189
w/b	-	0.35	0.38	0.43	0.49	0.55	0.65	0.79
w/fine	-	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36	0.36



الشكل (2-9)

نتائج المقاومة الأسطوانية ومقاومة الشد بالانعطاف وفق دراسة [13] ILKER

## 7.2 دراسة (Surabhi .C .S, Mini S. &amp; SyamPrakash V.): [14]

في هذه الدراسة تم استبدال محتوى الإسمنت الموجود في خلطة خرسانة (SCC) بنسب مختلفة من مسحوق الحجر الكلسي وتم دراسة خصائص الخرسانة الطرية والمتصلبة، أجريت الاختبارات التجريبية لتطوير نسب الخلط لخرسانة SCC كما تم تحديد الخلطة الشاهدة، حيث تم استبدال نسبة (10%, 20%, 25%, 30%) من الإسمنت بمسحوق الحجر الكلسي كما هو مبين بالجدول (2-6) وتم إجراء تجربة تدفق المخروط، تجربة القمع V، تجربة القمع U، لتقييم قابلية التشغيل لخرسانة SCC في الحالة الطرية،

يبين الجدول (2-7) نتائج تلك التجارب وتم اجراء الاختبارات التالية: مقاومة الضغط المكعبية، مقاومة الضغط الأسطوانية، مقاومة الشد بالفلق، مقاومة الشد بالانعطاف وذلك لعينات مأخوذة من تلك الخلطات، يبين الجدول (2-8) نتائج تلك المقاومات.

الجدول (2-5)

كمية مكونات خلط خرسانة الـ SCC [14]

Particulars	Quantity (kg/m <sup>3</sup> )
Cement	420
Fly Ash	180
Fine Aggregate	900.28
Coarse Aggregate	522.33
Water	216
Superplasticizer	6

الجدول (2-6)

أنواع الخلطات تبعا لنسب الاستبدال [14]

Mix designation	% replacement of cement with lime stone powder
ML0	0
ML10	10
ML20	20
ML25	25
ML30	30

الجدول (2-7)

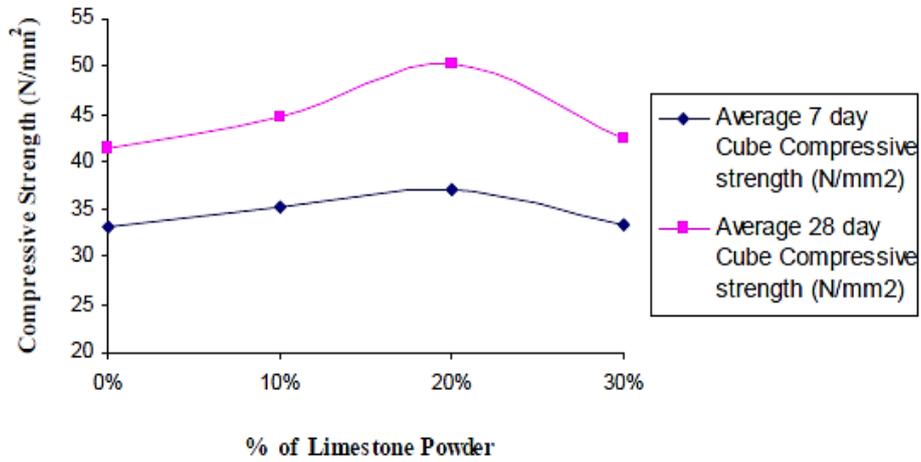
الخصائص الطرية لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي [14]

Percentage of Limestone powder	Slump flow test (mm)	Slump flow Test at T <sub>50</sub> (sec)	V-funnel flow test (s)	V-funnel flow test (s)	U-box value (mm)	Reference
ML0	657	4.15	9.65	11.45	18	SCC
ML10	680	3.37	7.55	9.31	12	SCC
ML20	765	2.53	6.56	7.31	10	SCC
ML25	605	3.51	13.50	17.20	26	Not SCC
ML30	535	5.30	16	20.12	37	Not SCC

الجدول (2-8)

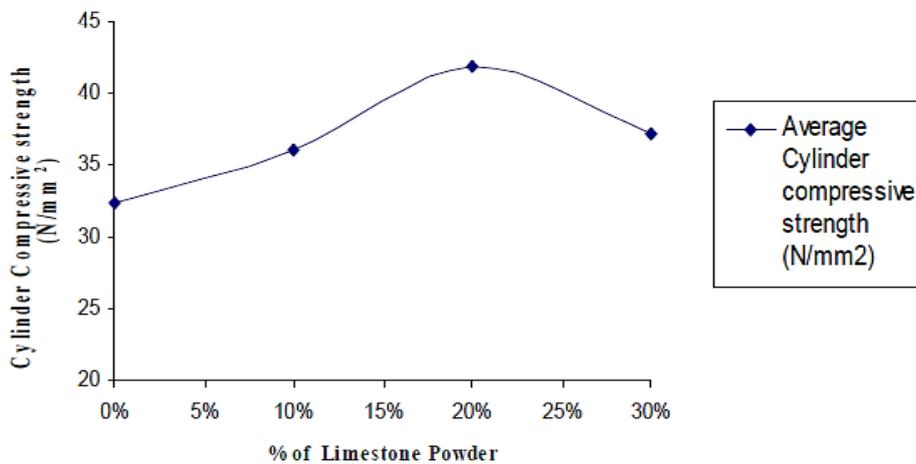
مقاومة الضغط المكعبية والأسطوانية ومقاومة الشد بالفلق والانعطاف لخرسانة SCC [14]

Percentage of Limestone powder	Cube Compressive Strength (N/mm <sup>2</sup> )		Cylinder Compressive Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Split Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Flexural Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Modulus of Elasticity (N/mm <sup>2</sup> )
	7 day	28 day				
ML0	33.15	41.44	32.40	2.83	4.4	$2.68 \times 10^4$
ML10	35.25	44.66	36.05	2.92	5.2	$2.82 \times 10^4$
ML20	37.18	50.22	41.89	3.77	5.5	$3.10 \times 10^4$
ML30	33.40	42.52	37.18	3.39	4.6	$2.90 \times 10^4$



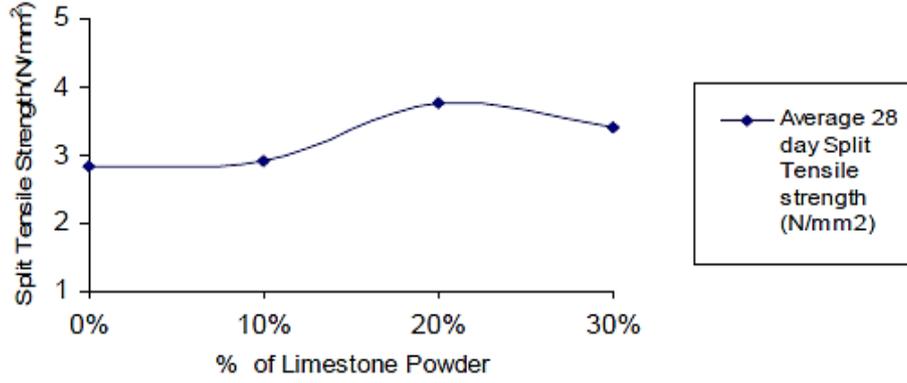
الشكل (2-10)

مقاومة الضغط المكعبية لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي [14]



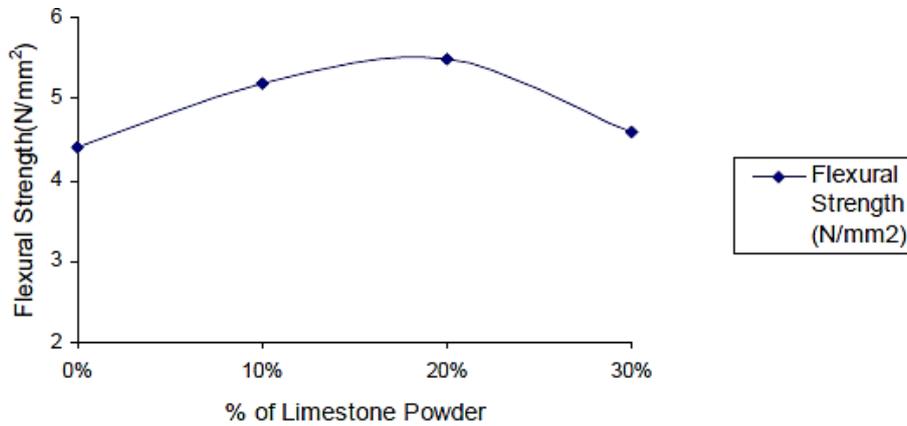
الشكل (2-11)

مقاومة الضغط الأسطوانية لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي [14]



الشكل (2-12)

مقاومة الشد بالفلق لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي [14]



الشكل (2-13)

مقاومة الشد بالانعطاف لخرسانة SCC المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي [14]

وقد تبين للباحثين ما يلي:

- يمكن استخدام مسحوق الحجر الكلسي كإضافة معدنية ناجحة في خرسانة (SCC).
- إن استخدام مسحوق الحجر الكلسي يحسن قابلية التشغيل لخرسانة (SCC) وذلك حتى نسب استبدال تبلغ (20%) من وزن الإسمنت.
- تزداد مقاومة الضغط لخرسانة SCC بعد (7-28) يوم من صب العينات مع زيادة مسحوق الحجر الكلسي حتى نسبة تصل إلى 20%.
- التحسن في مقاومة الضغط بعد 28 يوم تبلغ حوالي 20% وذلك عند استبدال 20% من الإسمنت بمسحوق الحجر الكلسي، لكن استبدال نسبة أكبر من ذلك تؤدي إلى انخفاض في المقاومة.
- جميع الخصائص للخرسانة المتصلبة مثل مقاومة الضغط الأسطوانية، مقاومة الشد بالفلق، مقاومة الشد بالانعطاف ومعامل المرونة تحسنت بإضافة مسحوق الحجر الكلسي حتى نسبة استبدال تبلغ (20%).

## 8.2. دراسة (Rejeb S. K. & Mohammed R. I.) [15]:

الغاية من هذه الدراسة بيان تأثير أنواع المواد المألثة (غبار السليكا و مسحوق الحجر الكلسي) مع الملدن الفائق (Sikament-163) على قابلية التشغيل ومقاومة الشد بالفلق للخرسانة ذاتية الارتصاص. يبين الجدول (9-2) نسب الخلط، حيث أن نسبة الماء إلى الإسمنت كانت 0.52 للخليط غير الحاوي مواد مألثة وملدن، بينما كانت نسبة الماء إلى الإسمنت 0.41 للخليط الحاوي على ملدن فقط، وتم إضافة غبار السليكا ومسحوق الحجر الكلسي إلى الخرسانة باستبدال جزئي بنسب تبلغ (0%, 7.5%, 15%) من وزن كمية الإسمنت.

### الجدول (9-2)

تفاصيل نسب الخلط المستخدمة [15]

Mix designation	Mix Proportion	(W/C) or (W/Cm)*	Silica Fume (%)	Limestone dust (%)	Superplasticizer (%)
SCC1	1:2.2:1.8	0.52	0	0	0
SCC2	1:2.2:1.8	0.41	0	0	3
SCC3	1:2.2:1.8	0.41	0	7.5	3
SCC4	1:2.2:1.8	0.43	0	15	3
SCC5	1:2.2:1.8	0.42	7.5	0	3
SCC6	1:2.2:1.8	0.43	15	0	3

يبين الجدول (10-2) نتائج تجربة تدفق المخروط و الجدول (11-2) نتائج تجربة الحلقة J والجدول (12-2) نتائج تجربة القمع V والجدول (13-2) نتائج مقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC:

### الجدول (10-2)

تجربة تدفق المخروط [15]

Mix designation	T <sub>500</sub> (sec)		Slump Flow (mm)	
	Results	Limits of specifications	Results	Limits of specifications
SCC1	3	(2-5) sec	745	(650-800) mm
SCC2	4		695	
SCC3	4		690	
SCC4	3		720	
SCC5	3		730	
SCC6	4		675	

الجدول (2-11)

تجربة الحلقة J [15]

Mix designation	J-Ring Flow Spread (mm)		J-Ring Blocking Step (mm)	
	Results	Limits of specifications	Results	Limits of specifications
SCC1	680	-	13	< 20 mm
SCC2	705		11	
SCC3	745		10	
SCC4	690		13	
SCC5	738		10	
SCC6	674		11	

الجدول (2-12)

تجربة القمع V [15]

Mix designation	T <sub>0</sub> (sec)		T <sub>5</sub> (sec)	T <sub>5</sub> - T <sub>0</sub> (sec)	
	Results	Limits of specifications	Results	Results	Limits of specifications
SCC1	8	(6-12) sec	9	1	(0-3) sec
SCC2	10		13	3	
SCC3	8		10	2	
SCC4	11		13	2	
SCC5	9		12	3	
SCC6	10		11	1	

الجدول (2-13)

مقاومة الشد بالفلق للخرسانة ذاتية الارتصاص [15]

Mix designation	Splitting Tensile Strength (MPa)	
	Splitting Tensile Strength Results (MPa)	Average Splitting Tensile Strength (MPa)
SCC1	3.4, 3.0, 3.1	3.2
SCC2	3.7, 3.9, 4.0	3.9
SCC3	4.6, 4.2, 4.2	4.3
SCC4	4.8, 4.7, 4.5	4.7
SCC5	4.8, 4.7, 4.9	4.8
SCC6	4.8, 5.3, 5.0	5.0

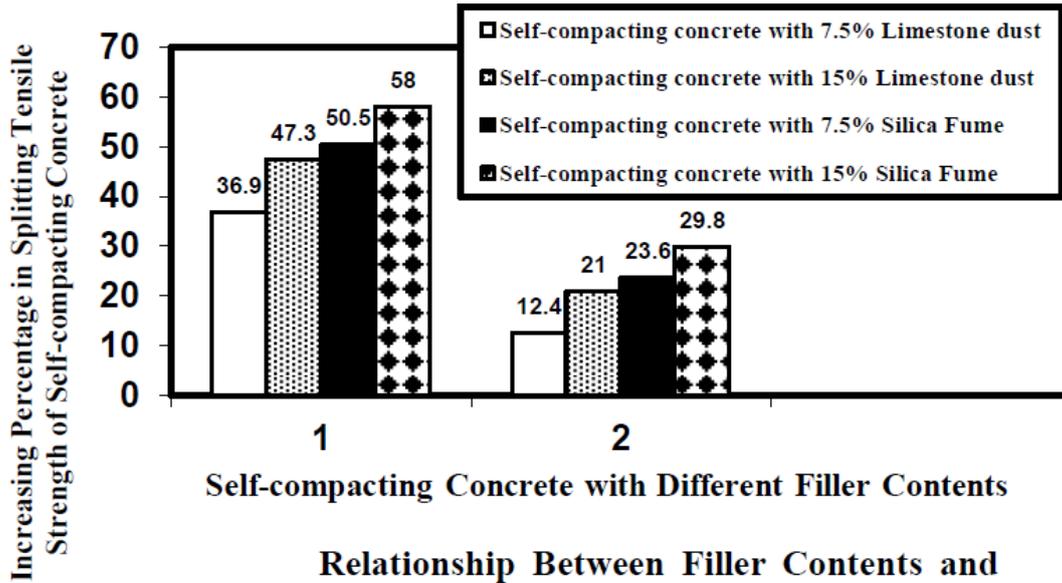
وقد تبين للباحثين ما يلي:

- إن جرعة الملدن المقدر ب 3% من وزن الإسمنت للخرسانة ذاتية الارتصاص الحاوية على مسحوق الحجر الكلسي بنسبة (15%-7.5%-0%) أدت إلى تخفيض ماء الخلط اللازم بنسبة (17.3%-21.15%-21.15%) على التوالي، بينما كان تأثير وجود كمية من الملدن تقدر ب 3% من وزن الإسمنت للخرسانة ذاتية الارتصاص الحاوية على غبار السليكا بنسبة (15%-7.5%-0%) أدت إلى تخفيض ماء الخلط اللازم بنسبة (17.30%-19.23%-21.15%) على الترتيب.
- كلما زادت نسبة مسحوق الحجر الكلسي وغبار السليكا فإن خواص قابلية التشغيل (قابلية التدفق والمرور والملئ) لخرسانة SCC تتناقص مع زيادة في مقاومة الشد بالفلق.
- أعطت الخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها غبار السليكا خصائص أفضل من تلك المضاف لها مسحوق الحجر الكلسي ويعود ذلك إلى التفاعل البوزلوني لغبار السليكا وتزداد قوة التفاعل بزيادة نعومة غبار السليكا.
- ازدادت مقاومة الشد بالفلق للخرسانة ذاتية الارتصاص الحاوية على مسحوق الحجر الكلسي بنسبة (15%-7.5%) وكمية من الملدن تبلغ 3% من وزن الإسمنت، ازدادت بنسبة (36.9%-47.13%) على التوالي مقارنة مع خرسانة SCC غير الحاوية على ملدن (العينة SSC1). بينما ازدادت مقاومة الشد بالفلق للخرسانة الحاوية على غبار السليكا بنسبة (15%-7.5%) وكمية من الملدن تبلغ 3% بمقدار (50.47%-58.04%) على الترتيب كما هو مبين بالجدول (2-14) والشكل (2-14).
- ازدادت مقاومة الشد بالفلق لخرسانة SCC الحاوية على مسحوق الحجر الكلسي بنسبة (15%-7.5%) وكمية من الملدن تبلغ 3% من وزن الإسمنت، ازدادت بنسبة (12.43%-20.98%) على التوالي مقارنة مع الخرسانة ذاتية الارتصاص الحاوية على ملدن (العينة SSC2). بينما ازدادت مقاومة الشد بالفلق لخرسانة SCC الحاوية على غبار السليكا بنسبة (15%-7.5%) وكمية من الملدن تبلغ 3% بمقدار (23.57%-29.79%) على الترتيب كما هو مبين بالجدول (2-14) والشكل (2-14).

#### الجدول (2-14)

نسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC [15]

Mix designation	Increasing percentage of splitting tensile strength, after compared with:	
	SCC1	SCC2
SCC2	21.8	-
SCC3	36.9	12.4
SCC4	47.3	21.0
SCC5	50.4	23.6
SCC6	58.0	29.8



**Relationship Between Filler Contents and Increasing Percentage in Splitting Tensile Strength of Self-compacting Concrete, (1: comparable with SSC1, 2: Comparable with SSC2)**

الشكل (2-14)

العلاقة بين نوع المادة المألثة ونسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC [15]

## 9.2 دراسة (م. رانيا ضاهر، د. مارال سركييس، د. سهيل الجنزير) [16]:

تم إعداد عدد من الخلطات وفق معايير وتوصيات الدليل الأوربي الموحد [17] للحصول على خرسانة SCC حيث تم الحصول على خلطتين ناجحتين.

تم في هذا البحث استخدام مادة الرماد المتطاير (Fly Ash) كمادة مألثة (Filler) وهو ناتج عن صهر المعادن أو انفجار البراكين ولديه إمكانية لتحسين العديد من خواص الخلطة الخرسانية، إن نسبة الإسمنت إلى الرماد المتطاير كانت تقارب (C/FA=62/38) في المجموعة الأولى من التجارب، أما المجموعة الثانية استخدموا نسبة تقارب (C/FA=56/44)، بالنسبة للرماد المتطاير المستخدم في التجارب فإن كثافته كانت (1399 Kg/m<sup>3</sup>).

تم استخدام ملدن نوع [super plasticizer (RM 108)]، علماً أن المجال المسموح لهذا الملدن (0.6%-2.4%) من وزن البودرة.

يبين الجدول (2-15) و (2-16) كميات المواد المستخدمة من أجل تحضير (1m<sup>3</sup>) من الخلطة الخرسانية للمجموعة الأولى والثانية على الترتيب.

## الجدول (2-15)

كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير (1 m<sup>3</sup>) من الخلطة الأولى [16]

المكونات	الوحدة	C1	C2	C3	C4
الإسمنت	kg	428	428	428	428
الزراة	kg	843	843	843	843
الرمل النهري	kg	324	324	324	324
الرمل الكلسي	kg	455	455	455	455
FILLER	kg	257	257	257	257
نسبة المملدن من البودرة	(%)	2.25	2.20	2.00	1.93
الماء	Litre	234.4	243.4	243.4	243.4
w/b	(%)	35.5	35.5	35.5	35.5

## الجدول (2-16)

كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير (1 m<sup>3</sup>) من الخلطة الثانية [16]

المكونات	الوحدة	M1	M2	M3	M4
الإسمنت	kg	300	300	300	300
الزراة	kg	582	582	582	582
الرمل النهري	kg	466	466	466	466
الرمل الكلسي	kg	466	466	466	466
الرمل النبكي	kg	275	275	275	275
FILLER	kg	240	240	240	240
نسبة المملدن من البودرة	(%)	2.2	2	1.8	1.6
الماء	Litre	224	224	224	224
w/b	(%)	41.5	41.5	41.5	41.5

يبين الجدولان (2-17) و (2-18) قيم المقاومة المكعبية لمختلف الخلطات الواردة في الجدولين

(2-15) و (2-16) وتطور المقاومة مع الزمن.

## الجدول (2-17)

قيم المقاومة المكعبية للخلطات الخرسانية من مكونات الخلطة الأولى [16]

عمر العينات	7 أيام	28 يوم	90 يوم
الخلطة	المقاومة المكعبية الوسطية (MPa)	المقاومة المكعبية الوسطية (MPa)	المقاومة المكعبية الوسطية (MPa)
C1	37.8	60.2	65.6
C2	51.7	58.7	63.4
C3	53.7	67.7	73.5
C4	46.6	57.5	61.8
C2-1	45.0	58.5	62.5
C2-2	49.9	51.5	61.0
C2-3	41.0	59.3	64.2

## الجدول (18-2)

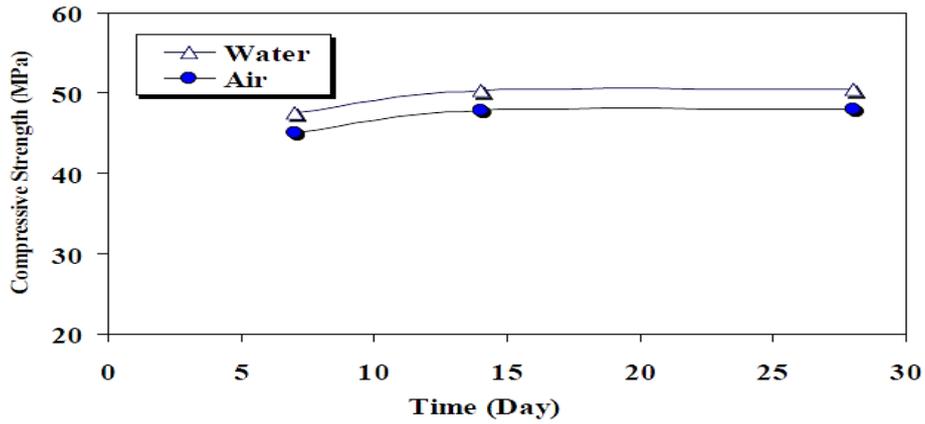
قيم المقاومة المكببة للخلطات الخرسانية من مكونات الخلطة الثانية [16]

عمر العينات	7 أيام	28 يوم	90 يوم
الخلطة	المقاومة المكببة الوسطية (MPa)	المقاومة المكببة الوسطية (MPa)	المقاومة المكببة الوسطية (MPa)
M1	35.07	52.06	52.10
M2	35.93	50.83	51.77
M3	38.13	51.92	52.13
M4	36.30	52.43	53.0

وقد تبين للباحثة بأن المجال الفعال للملدن يتراوح في الخلطة الأولى بين (1.93%-2.25%) من وزن المواد الناعمة لكن النسبة (2.2%) أعطت أفضل النتائج أما في الخلطة الثانية فإن المجال الفعال للملدن (1.6%-2.2%) من وزن المواد الناعمة. بالاستفادة من هذا البحث وبعد إجراء عدة اختبارات قمنا باعتماد نسبة الملدن هي 2.2% من وزن المواد الناعمة.

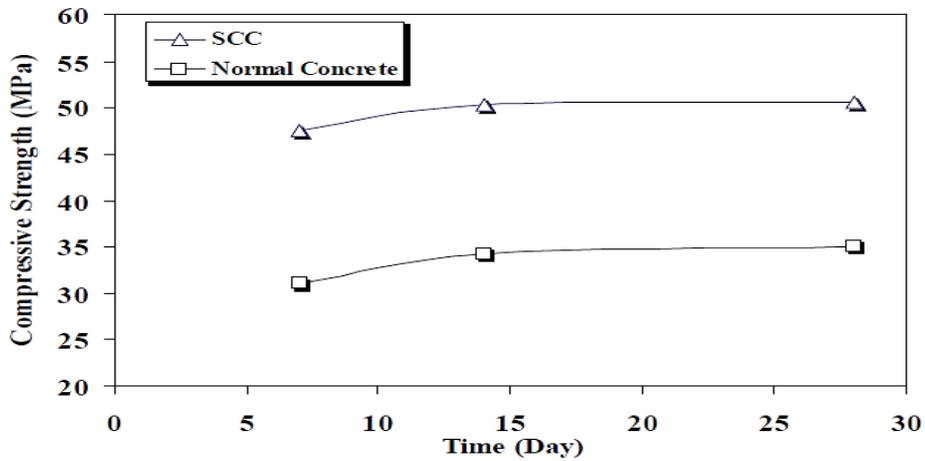
## 10.2. دراسة (Al-Feel J. R. &amp; Al-Saffar N. S.) [18]:

تم في هذا البحث اجراء اختبارات لدراسة تأثير طرق المعالجة على مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالفلق ومقاومة الشد بالانعطاف لخرسانة SCC مقارنة مع الخرسانة العادية، تتألف خرسانة SCC من إسمنت بورتلندي، بوردرة الحجر الكلسي، بنسبة (8%) و (92%) إسمنت بورتلندي، رمل، بحص، ملدن. تم معالجة (حفظ) العينات في الماء والهواء لمدد (7, 14, 28) يوم، أظهرت النتائج أن العينات التي حفظت في الماء أعطت مقاومة ضغط ومقاومة شد بالفلق ومقاومة شد بالانعطاف أعلى بـ (11%, 10%, 11%) على الترتيب من العينات التي تم حفظها في الهواء وذلك لخرسانة SCC بعد 28 يوم، كما أظهرت النتائج أن مقاومة الشد بالفلق لخرسانة SCC المحفوظة بالماء أو الهواء عند العمر 28 يوم أعطت زيادة بالمقاومة بمقدار 25% بالمقارنة مع الخرسانة العادية كما هو مبين في الأشكال (15-2) حتى (20-2)، وهذا يظهر أن نوعية المعالجة (الحفظ) ليس له أهمية أو تأثير على تطور مقاومة الشد لخرسانة SCC، تشير المقارنة بين مقاومة الشد والضغط أن مقاومة الضغط أكثر حساسية لطريقة المعالجة (الحفظ) مقارنة بمقاومة الشد.



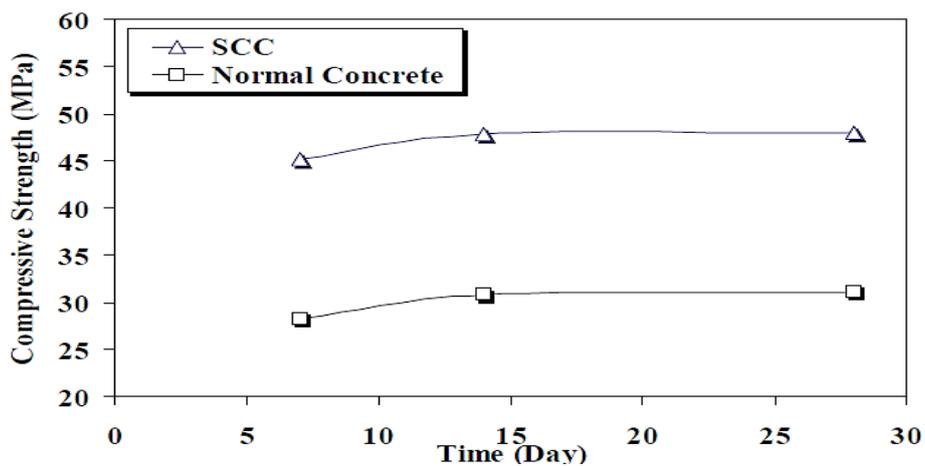
الشكل (2-15)

التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص المحفوظة في الماء والهواء [18]



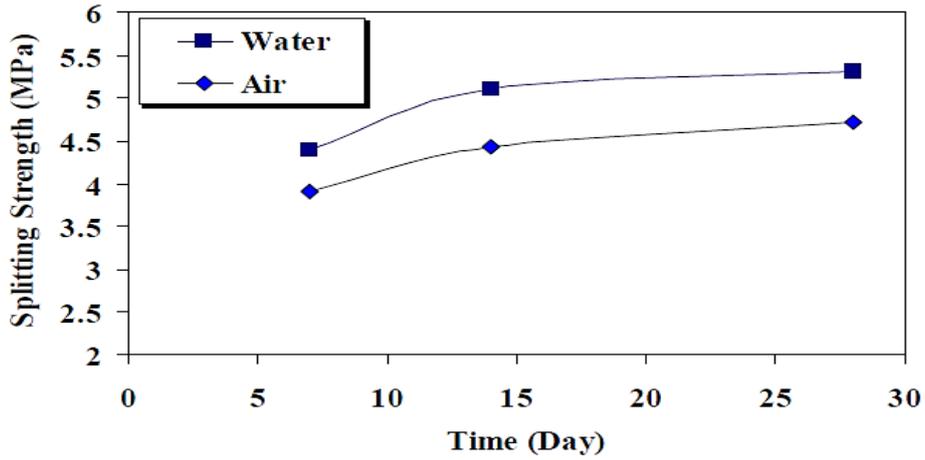
الشكل (2-16)

التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالماء [18]



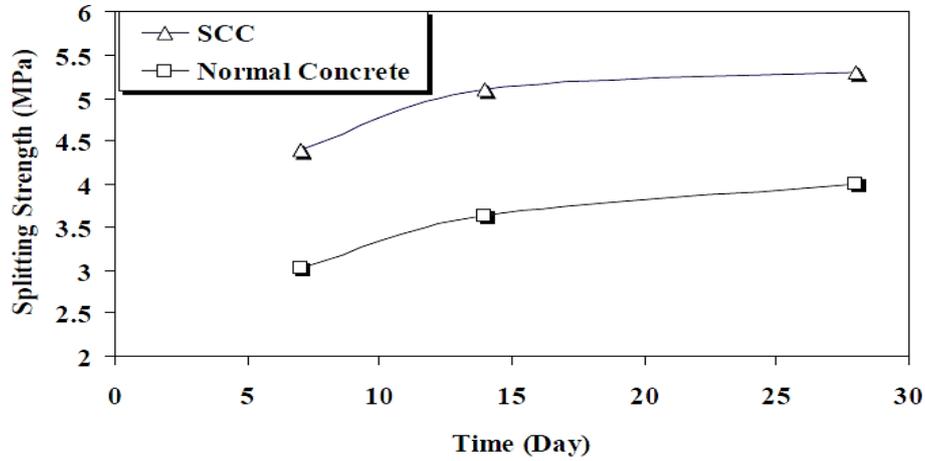
الشكل (2-17)

التغير في مقاومة الضغط مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالهواء [18]



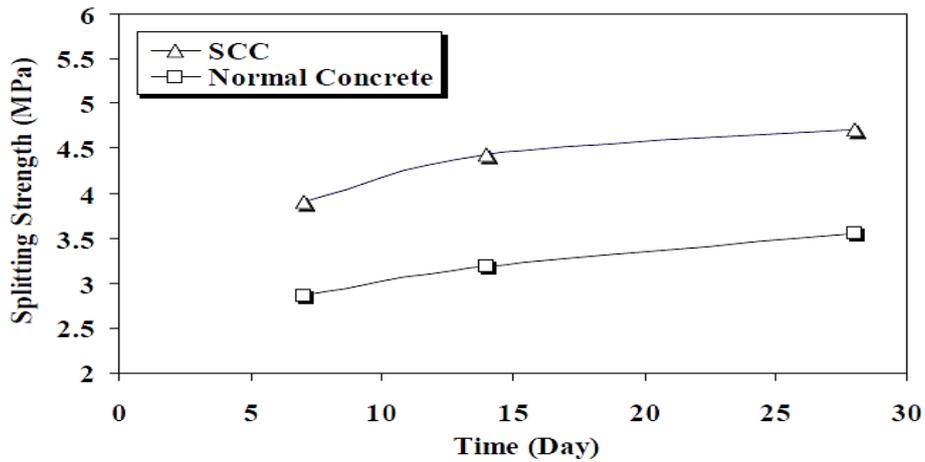
الشكل (2-18)

التغير في مقاومة الشد مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC المحفوظة في الماء والهواء [18]



الشكل (2-19)

التغير في مقاومة الشد مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالماء [18]



الشكل (2-20)

التغير في مقاومة الشد مع الزمن للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC والخرسانة العادية المحفوظة بالهواء [18]

## الفصل الثالث: الأجهزة والأدوات التجارب المتعلقة بالخرسانة ذاتية الارتصاص

### Chapter 3: Appliances, Equipments and Tests Related to SCC

#### 1.3 . مقدمة:

يشرح الدليل الأوربي [17] لتجارب الخرسانة الطرية ذاتية الارتصاص كيفية قياس خواص الخرسانة

الطرية ذاتية الارتصاص (SCC) والتجارب التي تحدد مفاتيح الخواص الثلاثة لـ (SCC) الطرية:

- قابلية الملء (filling ability).
- قابلية المرور (passing ability).
- مقاومة الفصل (resistance to segregation).

أعطى الدليل الأوربي ثلاث تجارب أساسية للتحقق من الخواص السابقة وهي تجارب المخروط

والصندوق L- واستقرار المنخل، بالإضافة إلى استعمال تجارب أخرى تفيد في تأكيد الخواص السابقة لـ (SCC):

- تجربة تدفق المخروط (الانتشار الكلي وزمن  $T_{500}$ ) ( $T_{500} + \text{slump flow}$ ): لتحديد بشكل أولي قابلية الملء، وهي مناسبة للمخبر والموقع.
  - تجربة الصندوق L- (L-box): لتحديد بشكل أولي قابلية المرور، وهي مناسبة للاستعمال في المخبر.
  - تجربة استقرار المنخل (Sieve stability): لتحديد مقاومة الفصل (resistance to segregation)، وهي مناسبة للمخبر والموقع.
  - تجربة القمع V- (V-funnel): تشير بشكل جزئي لقابلية الملء، وهي مناسبة للاستعمال للمخبر والموقع.
  - تجربة الحلقة J- (J-ring): لتحديد بشكل أولي قابلية المرور، وهي مناسبة للاستعمال في المخبر والواقع.
- وسنقوم بشرح كل من هذه التجارب بالتفصيل.

#### 2.3 . تجربة تدفق المخروط $T_{500} + \text{Slump Flow}$ :

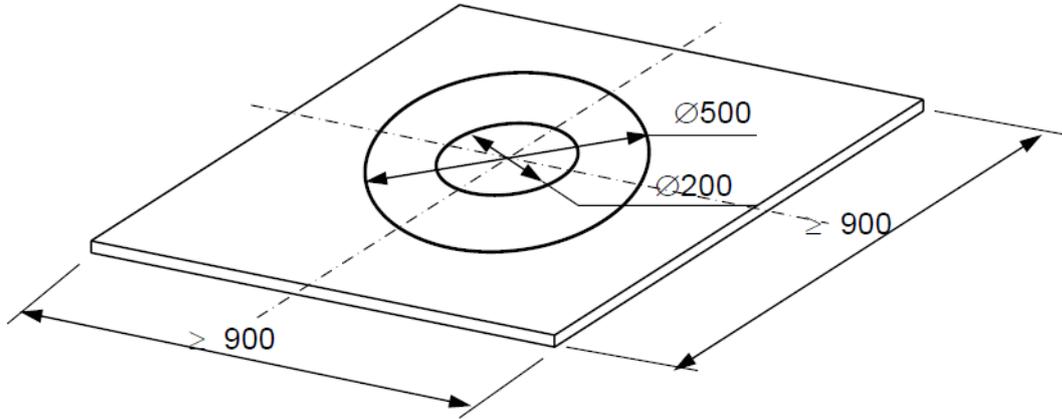
##### 1.2.3 . الغاية من التجربة:

تحديد قابلية الملء للخرسانة ذاتية الارتصاص (SCC) وفي هذه التجربة نحدد مؤشرين:

- انتشار التدفق للخلطة الخرسانية (Total spread).
- زمن التدفق  $T_{500}$ .

### 2.2.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

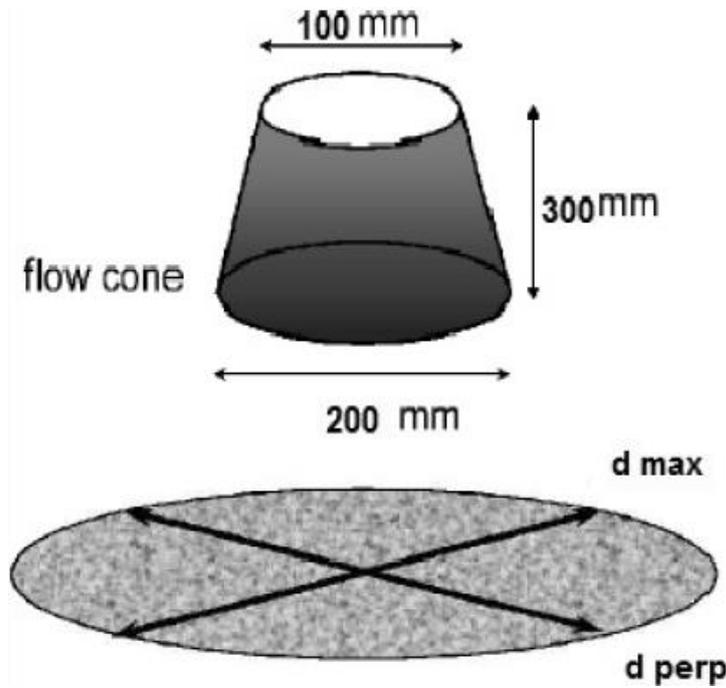
- صفيحة أساس بأبعاد  $(900 \times 900)$  mm ، وسماكة لا تقل عن  $(2\text{mm})$  مصنوعة من فولاذ غير قابل للصدأ (stainless steel) مع سطح مستوي ناعم، ومؤشر عليها بوضوح دائرتين قطرها  $(200\text{mm})$  و  $(500\text{mm})$  مراكزهما متطابقة مع نقطة مركز الصفيحة كما هو مبين بالشكل (3-1).



الشكل (3-1)

الصفيحة المعدنية

- مخروط مع قطر داخلي (علوي/سفلي) يساوي إلى  $(200/100)$  mm وارتفاع  $(300)$  mm، كما في الشكل (3-2).



الشكل (3-2)

المخروط

- حلقة وزن kg (9) لجعل المخروط يبقى مكانه أثناء وضع العينة. ويمكن الاستغناء عن هذه الحلقة اذا تجاوز وزن المخروط المعدني (10 kg) وإلا نحافظ على وضع المخروط بقوة بشرية.
- مقياته تقيس الزمن بدقة (0.1 sec) لتسجيل زمن ( $T_{500}$ ).
- مسطرة مرقمة بالمليمتر لقياس قطر الانتشار.
- وعاء بسعة أكبر من المخروط لأخذ عينات الخرسانة الطرية.
- قطعة من الاسفنج أو القماش الرطب لترطيب السطح الداخلي للمخروط وسطح صفيحة الأساس.
- يجب الحفاظ على صفيحة الأساس نظيفة قبل البدء برفع المخروط .

### 3.2.3. مراحل إجراء التجربة:

- نضع الصفيحة المعدنية النظيفة في موضع مستقر وأقوي.
- نملى الوعاء ب (6~7) ليترات من الـ (SCC) الطري ونحافظ على العينة في الوعاء حوالي (1 min ± 10 sec).
- خلال دقيقة الانتظار نرطب السطح الداخلي للمخروط وسطح الصفيحة المعدنية بقطعة اسفنج رطبة.
- نضع المخروط في مركز الدائرة (200) للصفيحة المعدنية كما في الشكل (3-3) ونضع حلقة الوزن في أعلى المخروط للمحافظة عليه في مكانه.
- نملأ المخروط بالعينة من الوعاء بدون عمل أي ضغط أو هز اضافي.
- نزيل الخرسانة الفائضة أعلى المخروط، كما نزيل أي خرسانة تدفقت فوق الصفيحة المعدنية.
- نتحقق ونتأكد أن سطح الصفيحة المعدنية رطباً، إذ أنه من غير المسموح بوجود منطقة جافة على الصفيحة المعدنية، كما يجب إزالة أي زيادة في الماء بحيث تكون الصفيحة رطبة فقط.
- بعد مدة لا تزيد عن (30 sec) نرفع المخروط بشكل عمودي على الصفيحة المعدنية بحركة واحدة بأسلوب يسمح للخرسانة بالتدفق بحرية دون إعاقة من المخروط، ونبدأ بتسجيل الزمن من لحظة رفع المخروط على الصفيحة المعدنية.
- نوقف الميقاتية عندما تلمس الخرسانة المتدفقة أول مرة دائرة القطر mm (500) ونسجل القراءة على الميقاتية كقيمة ( $T_{500}$ ).
- تكتمل التجربة عندما يتوقف تدفق الخرسانة.
- نقيس قطري الانتشار ( $d_{max}$ ) و ( $d_{prep}$ ) كما في الشكل (3-4).
- نتظف الصفيحة المعدنية والمخروط بعد التجربة.

**ملاحظة:** لا تلمس الصفيحة المعدنية ولا يتم إعاقة حركة الخرسانة المتدفقة حتى انتهاء أخذ القياسات والقراءات.



الشكل (3-3)

وضع المخروط على الصفيحة



الشكل (3-4)

انتشار الخرسانة في تجربة المخروط

#### 4.2.3. نتائج التجربة:

تسمح لنا هذه التجربة بإيجاد:

- انتشار التدفق والذي يحسب من العلاقة:

$$Sf = \frac{d_{max} + d_{perp}}{2}$$

SF: انتشار التدفق مقرباً إلى أقرب (5mm).

$d_{max}$  (mm): قطر الانتشار الأعظمي.

$D_{prep}$  (mm): قطر الانتشار المتعامد مع ( $d_{max}$ ).

- زمن التدفق للمخروط ( $T_{500}$ ): هو الزمن بين لحظة رفع المخروط عن صفيحة الأساس وأول ملامسة لخرسانة (SCC) للدائرة ذات القطر (500mm) ، ويعبر عن هذا الزمن بالثواني مقرباً لأقرب (0.1sec).

يوضح الجدولان (3-1) و (3-2) الحدود والمؤشرات التي تحدد نجاح التجربة:

### الجدول (3-1)

#### فئات التدفق

الفئة	تدفق المخروط (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

- SF1 (550-650 mm) مناسب ل:

المنشآت البيتونية غير المسلحة أو المسلحة بشكل خفيف التي تصب من الأعلى (بلاطات الأبنية السكنية) .  
الصب باستخدام نظام الحقن بالضحخ (الأنفاق).

المقاطع الصغيرة إلى الحد الذي يمنع التدفق الأفقي الطويل (الأوتاد وبعض الأساسات العميقة).

- SF2 (660-750 mm) مناسب للعديد من الاستخدامات العادية (الأعمدة والجانان).

- SF3 (760-850 mm) يُعتمد نموذجياً للحصويات ذات القياس الأعظمي (أقل من 16 ملم) ويعد مناسب للاستخدامات في المنشآت كثيفة التسليح، المنشآت ذات الأشكال المعقدة. غالباً ما يوفر SF3 سطح نهائي أفضل من SF2 للاستخدامات العادية ولكنه أصعب من ناحية القدرة على التحكم بمقاومة انفصال الحصويات.

### الجدول (3-2)

#### فئات اللزوجة

الفئة	T500(sec)
VS1	$\leq 2$
VS2	$> 2$

VS1 يتمتع بقدرة إملاء جيدة حتى في التسليح الكثيف وهو قادر على تسوية نفسه ويتمتع بأفضل سطح نهائي، ولكنه أكثر قابلية للتعرض للنزف والانفصال.

VS2 ليس له حد أعظمي ولكن مع تزايد زمن التدفق فإنه من المرجح أن يظهر زيادة في سيولة التدفق و يكون مفيداً في تحسين مقاومة انفصال الحصويات.

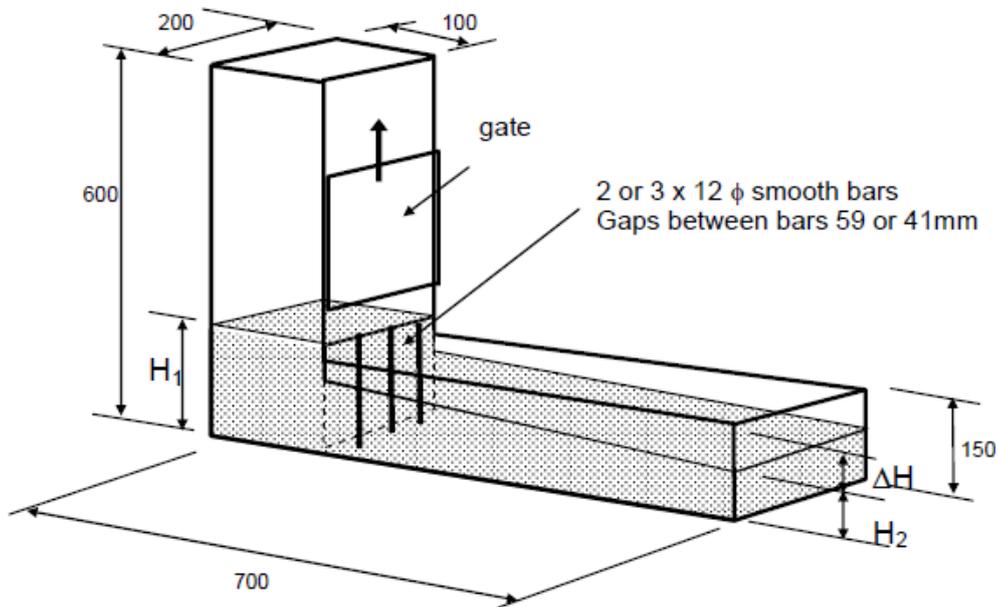
### 3.3. تجربة الصندوق L-(L-box):

#### 1.3.3. الغاية من التجربة:

تهدف هذه التجربة للتحري عن قابلية مرور الـ (SCC) من خلال عوائق تمثلها قضبان التسليح وذلك بقياس الارتفاع الذي تصل إليه خرسانة (SCC) الطرية بعد مرورها من فتحات محددة بين قضبان التسليح وتدفعه لمسافة تدفق معينة. بمعرفة الارتفاع الحاصل ، فإن سلوك المرور أو العرقلة لخرسانة (SCC) يمكن حسابه.

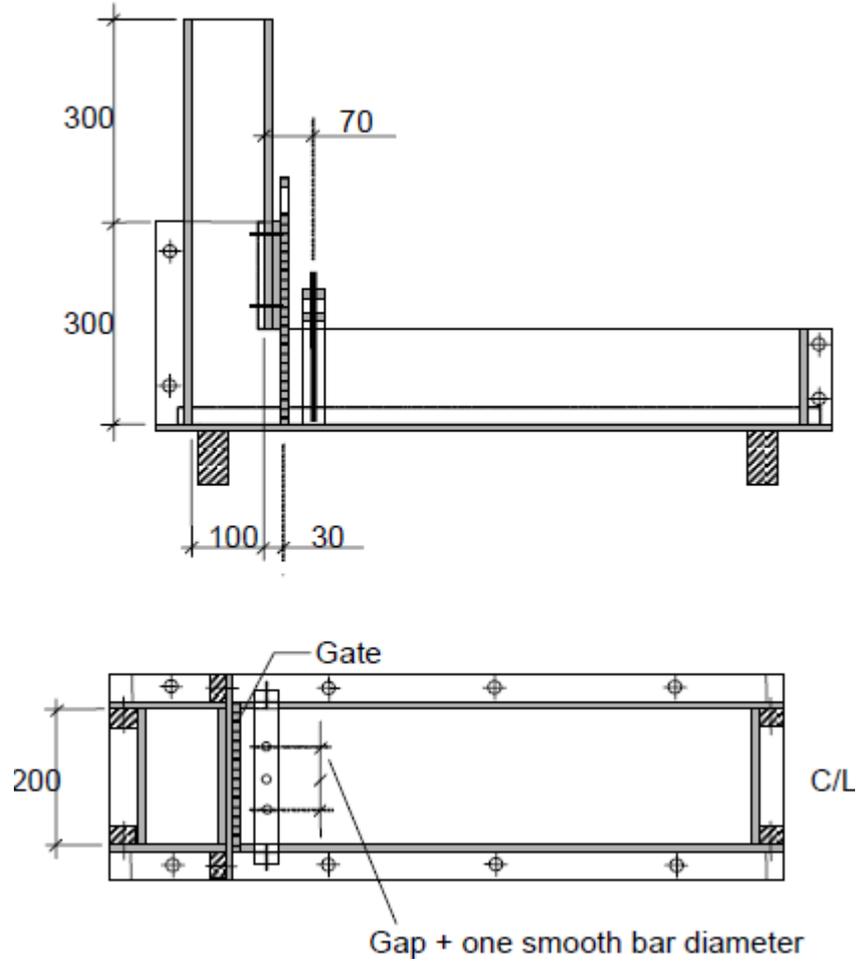
#### 2.3.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- صندوق L-(L-box) : كما هو مبين في الأشكال (3-5) (3-6) مصنوع من فولاذ غير قابل للصدأ (stainless steel).
- بوابات الإعاقة وهي إما أن تحتوي على (3) قضبان أو قضيبين وعليه فإن الفتحات بين القضبان (41mm) أو (59mm) .
- وعاء بلاستيكي لأخذ عينة الـ (SCC) من الخلط.



الشكل (3-5)

الشكل الفراغي للصندوق L-



الشكل (3-6)

المسقط الأمامي والأفقي للصندوق L-

## 3.3.3. مراحل إجراء التجربة:

- نضع الصندوق L- (L-box) في وضعية مستقرة وأفقية تماماً.
- نأخذ عينة الـ (SCC) من الخلاط.
- نملأ الجزء الشاقولي من الصندوق L- (L-box) بعينة الـ (SCC) التي أخذت من الخلاط كما في الشكل (3-7).
- نترك الخرسانة في الجزء الشاقولي لمدة  $(60 \pm 10 \text{ sec})$ ، خلال هذه المدة يمكن ملاحظة فيما إذا كانت الخرسانة مستقرة أما حصل فيها فصل (segregation).
- نرفع البوابة بسرعة ونسمح للخرسانة بالتدفق من الجزء الشاقولي إلى الجزء الأفقي للصندوق L- (L-box) كما في الشكل (3-8).
- عندما يتوقف تدفق الخرسانة نقيس المسافة  $H'1$  و  $H'2$  كما في الشكل (3-9).

- (cm) H'1: من أعلى حافة للقسم الشاقولي للصندوق حتى وجه الخرسانة في هذا الجزء من الصندوق.
- (cm) H'2: من أعلى حافة للطرف الآخر للصندوق حتى وجه الخرسانة في هذا الجزء من الصندوق.
- علما أن قيم H'1 و H'2 المعتمدة هي وسطي لثلاثة قياسات مأخوذة (عند المركز وعند كل جانب).



الشكل (3-7)

صب الخرسانة في الجزء الشاقولي للصندوق-L



الشكل (3-8)

فتح بوابة الصندوق-L



الشكل (3-9)

توقف تدفق الخرسانة في الصندوق L-

#### 4.3.3. نتائج التجربة:

تسمح لنا هذه التجربة بحساب نسبة المرور (PA) والتي تحسب من العلاقة:

$$PA = H2/H1$$

H1(cm): من أسفل حافة للقسم الشاقولي للصندوق حتى وجه الخرسانة في هذا الجزء من الصندوق.

H2(cm): من أسفل حافة الطرف الآخر للصندوق حتى وجه الخرسانة في هذا الجزء.

يوضح الجدول (3-3) الحدود والمؤشرات التي تحدد نجاح التجربة.

الجدول (3-3)

فئات قابلية المرور للصندوق L-

الفئة	قابلية المرور
PA1	$\geq 0.8$ مع قضيبي تسليح
PA2	$\geq 0.8$ مع ثلاثة قضبان تسليح

#### 4.3. تجربة الحلقة J-(J-ring):

##### 1.4.3. الغاية من التجربة:

تهدف تجربة الحلقة J-(J-ring) للتحري عن كل من قابلية الملء وقابلية المرور للخرسانة ذاتية

الارتصاص (SCC).

ويمكن استعمالها أيضا للبحث عن مقاومة الـ (SCC) للفصل (segregation) بالمقارنة بين نتائج تجارب عينتين مختلفتين.

تسمح لنا تجربة الحلقة-J (J-ring) بأن نقيس:

- انتشار التدفق.

- زمن الانتشار  $T_{500j}$ .

يشير انتشار تدفق الحلقة-J (J-ring) إلى قابلية التشوه المحدود لخرسانة (SCC) الناتجة عن تأثير العرقلة لقضبان التسليح والزمن  $T_{500j}$  يشير إلى نسبة التشوه ضمن حدود مسافة التدفق المعروفة.

### 2.4.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- جميع الأجهزة والأدوات التي استخدمت في تجربة المخروط.

- حلقة (J-ring) مبينة بالشكل (3-10) مع الأبعاد.

- وعاء بلاستيكي.

### 3.4.3. مراحل إجراء التجربة:

- نضع الصفيحة المعدنية النظيفة في موضع مستقر وأفقي.

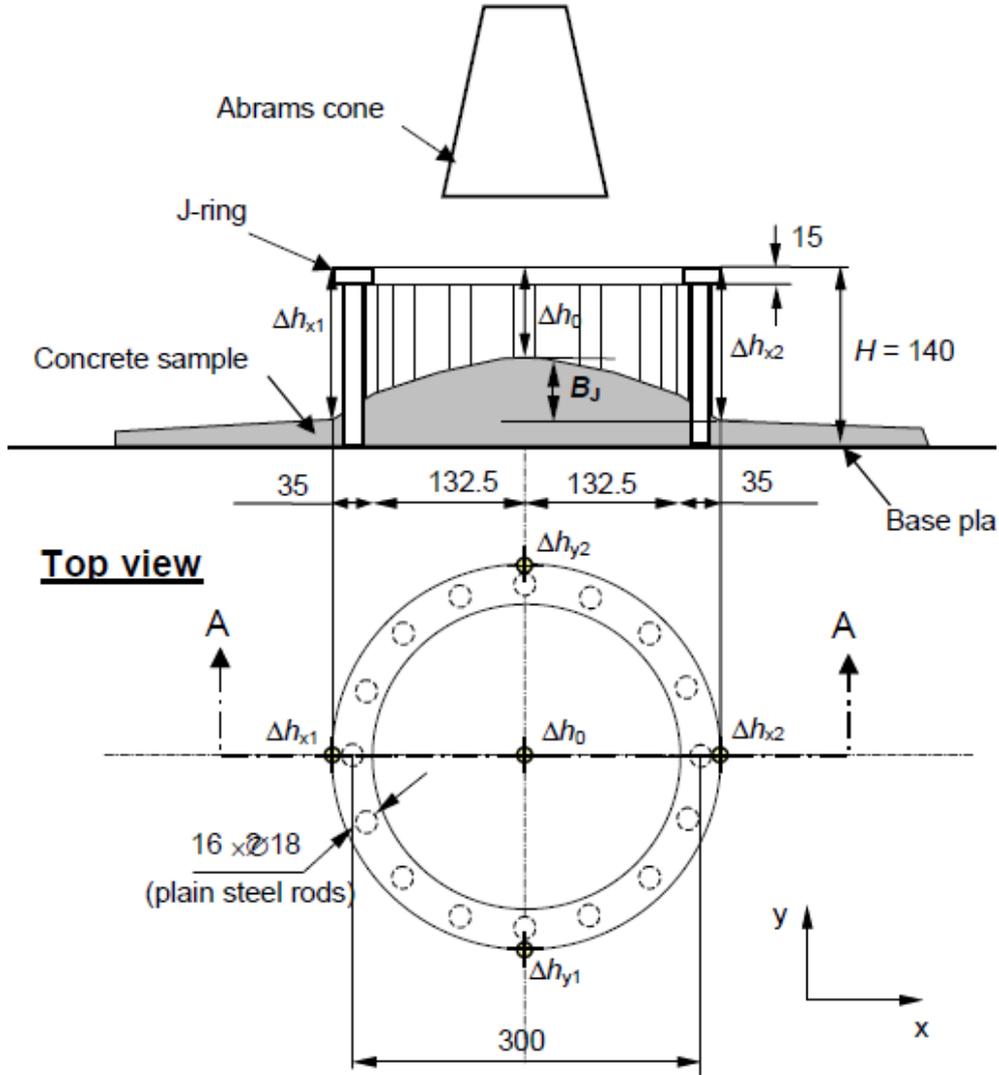
- نضع الحلقة-J (J-ring) على الصفيحة المعدنية وحول المخروط الشكل (3-10) و (3-11).

- نملأ الوعاء بـ (6~7) لترات من الـ (SCC) الطازج ونحافظ على العينة في الوعاء حوالي (1 min ± 10 sec)، الشكل (3-12).



الشكل (3-10)

أدوات تجربة الحلقة-J



الشكل (3-11)

أدوات تجربة الحلقة-J

- خلال دقيقة الانتظار نرطب السطح الداخلي للمخروط وسطح الصفيحة المعدنية بقطعة اسفنج رطبة.
- نضع المخروط في مركز الدائرة (200) للصفيحة المعدنية ونضع حلقة الوزن في أعلى المخروط للمحافظة عليه في مكانه.
- نملاً المخروط بالعينة من الوعاء بدون عمل أي ضغط أو هز إضافي.
- نزيل الخرسانة الفائضة أعلى المخروط، كما نزيل أي خرسانة تدفقت فوق الصفيحة المعدنية.
- نتحقق ونتأكد أن سطح الصفيحة المعدنية رطباً، إذ أنه من غير المسموح بوجود منطقة جافة على الصفيحة المعدنية، كما يجب إزالة أي زيادة في الماء بحيث تكون الصفيحة رطبة فقط.

- بعد مدة لا تزيد عن (30 sec) نرفع المخروط بشكل عمودي على الصفيحة المعدنية بحركة واحدة بأسلوب يسمح للخرسانة بالتدفق بحرية دون إعاقة من المخروط، ونبدأ بتسجيل الزمن من لحظة رفع المخروط على الصفيحة المعدنية، الشكل (3-12).
  - نوقف الميقاتية عندما تلمس الخرسانة المتدفقة أول مرة دائرة القطر (500) mm ونسجل القراءة على الميقاتية كقيمة (T<sub>500j</sub>).
  - نقيس قطري الانتشار (d<sub>max</sub>) و (d<sub>prep</sub>) كما في الشكل (3-13).
  - نتظف الصفيحة المعدنية والمخروط بعد التجربة.
- ملاحظة:** لا تلمس الصفيحة المعدنية ولا يتم إعاقة حركة الخرسانة المتدفقة حتى انتهاء أخذ القياسات والقراءات.



الشكل (3-13)

انتشار الخرسانة في تجربة الحلقة-J



الشكل (3-12)

صب العينة الخرسانية في تجربة الحلقة-J

#### 4.4.3. نتائج التجربة:

تسمح لنا هذه التجربة بإيجاد:

- انتشار التدفق والذي يحسب من العلاقة:

$$SJ = \frac{d_{max} + d_{prep}}{2}$$

SJ: انتشار التدفق مقرباً إلى أقرب (5mm).

d<sub>max</sub> (mm): قطر الانتشار الأعظمي.

D<sub>prep</sub> (mm): قطر الانتشار المتعامد مع (d<sub>max</sub>).

- زمن التدفق للمخروط ( $T_{500j}$ ): هو الزمن بين لحظة رفع المخروط عن صفيحة الأساس وأول ملامسة للـ (SCC) للدائرة ذات القطر (500mm)، ويعبر عن هذا الزمن بالثواني مقرباً لأقرب (0.1sec).

يوضح الجدول (3-4) و (3-5) الحدود والمؤشرات التي تحدد نجاح التجربة:

الجدول (3-4)

فئات التدفق

الفئة	تدفق المخروط (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

الجدول (3-5)

فئات اللزوجة

الفئة	T500(sec)
VS1	$\leq 2$
VS2	$> 2$

### 5.3. تجربة استقرار المنخل (Sieve Stability):

#### 1.5.3. الغاية من التجربة:

تهدف هذه التجربة لمعرفة مقاومة الـ (SCC) للفصل (segregation) وذلك عن طريق قياس مرور عينة من الـ (SCC) من المنخل (5 mm).

إذا كان الـ (SCC) لديه مقاومة قليلة للفصل يمكن أن تمر العجينة أو الملاط بسهولة، لذلك تشير تجربة المنخل إذا كان الـ (SCC) مستقر أم لا.

#### 2.5.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- منخل مثقب بفتحات مربعة طول ضلعها (5 mm)، قطر الاطار (300 mm) أو (315 mm) والارتفاع (40 mm) أو (70 mm) [17].
- وعاء معدني عميق بشكل وحجم مناسب للاحتفاظ بالمواد المارة من المنخل (وعاء القعر)، ويسهل على العامل تحريك المنخل بدون قوة اضافية لإمرار المواد.
- ميزان رقمي ذو قدرة (10 Kg) وبدقة ( $\pm 20$  gr).
- وعاء مصنوع من البلاستيك القاسي أو المعدن بقطر داخلي أعظمي حوالي (300 $\pm$ 10 mm) وسعة من (10~12 liter).
- غطاء مناسب لحماية الخرسانة الطرية من التبخر الواسع.

### 3.5.3. مراحل إجراء التجربة:

- نضع الميزان في وضع مستقر وأقفي.
- نملأ الوعاء بكمية ( $10 \pm 0.5$  liter) من الـ (SCC) ونغطي الوعاء بالغطاء.
- نضع الوعاء في وضع مستقر وأقفي وتبقى العينة ( $15 \pm 0.5$  min).
- أثناء فترة الانتظار نزن وعاء القعر المعدني لوحده ( $W_p$ ).
- نضع المنخل فوق القعر المعدني بدون تحريكه على الميزان.
- بعد مرور (15 min) من ملئ الوعاء البلاستيكي، نفحص سطح الوعاء من أجل مشاهدة وجود نزف ماء ونسجل ذلك إن وجد.
- نصفر الميزان ونضع كمية ( $4.8 \pm 0.2$  kg) من العينة في منتصف مركز المنخل كما في الشكلين (3-14) و (3-15).



الشكل (3-15)

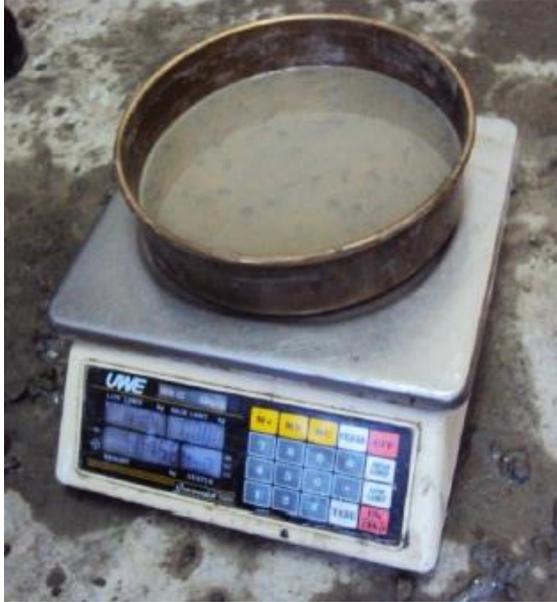
صب العينة في المنخل



الشكل (3-14)

وضع المنخل والقعر على الميزان

- نسجل وزن العينة المصبوبة على المنخل ( $W_c$ ).
- ننتظر دقيقتين بعد صب العينة بلطف كما في الشكل (3-16) ثم نفصل المنخل عن القعر بدون أي هز لأن ذلك قد يجبر مواد أكثر على النزول عبر المنخل كما في الشكل (3-17).
- نزن القعر مع ما فيها من مواد المنخل ونسجلها ( $W_{ps}$ ).
- ننظف المنخل والقعر بعد التجربة.



الشكل (3-17)  
العينة المارة من المنخل



الشكل (3-16)  
الخرسانة أثناء الانتظار في تجربة المنخل

#### 4.5.3. نتائج التجربة:

تحسب كتلة العينة المارة من خلال المنخل باستخدام المعادلة التالية:

$$P = \frac{W_{Ps} - W_P}{W_c} \times 100$$

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

$W_p$ : وزن وعاء قعر المنخل.

$W_c$ : وزن العينة.

$W_{ps}$ : وزن القعر مع المواد المارة من المنخل.

يوضح الجدول (3-6) الحدود والمؤشرات التي تحدد نجاح التجربة:

الجدول (3-6)

فئات قابلية المرور للصندوق-L

الفئة	مقاومة الفصل %
SR1	$\leq 20$
SR2	$\leq 15$

SR1 قابل للتطبيق في البلاطات الرقيقة والتطبيقات الشاقولية مع مسافة تدفق أقل من 5m وفتحات الإعاقة أكبر من 80mm.

SR2 يفضل في التطبيقات الشاقولية في حال كانت مسافة التدفق أكبر من 5m وفتحات الإعاقة أكبر من 80mm وذلك لضمان عدم انفصال الحصى خلال الصب.

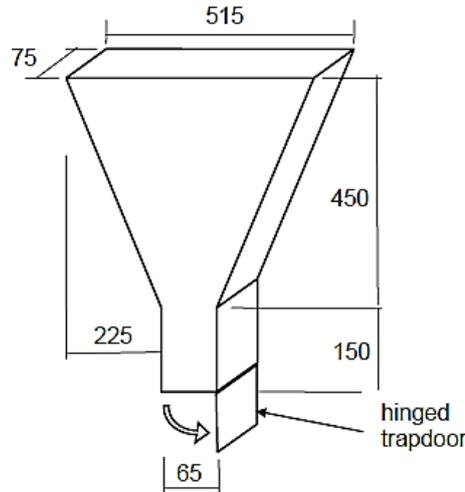
### 6.3. تجرية القمع V-(V-funnel):

#### 1.6.3. الغاية من التجربة:

تعتبر هذه التجربة بديلة لإيجاد ( $T_{500}$ ) وزمن تدفق القمع هو المدة التي يحتاجها حجم من الـ (SCC) ليجتاز الفتحة الضيقة، كما أن هذه التجربة تعطي مؤشر على قابلية الماء لخرسانة (SCC) وتعطي مؤشراً على التكتل أو الفصل في حال حدوثه، إذ أنه سيكون هناك صعوبة في نزول العينة من فتحة القمع، إن تجربة زمن تدفق القمع V-(V-funnel) تعتمد على لزوجة الخرسانة.

#### 2.6.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- القمع V-(V-funnel) كما نشاهده في الشكل (3-18)، مصنوع من الفولاذ غير القابل للصدأ (stainless steel)، مع سطح أفقي وموضوع على استناد شاقولي مع قابلية تحرير سريع لبوابة القمع.
- مقياتيّة بدقة (0.1 sec) لتسجيل زمن التدفق.
- مسطرة مستقيمة لتسوية سطح الخرسانة.
- وعاء بسعة (12~14 liter) لأخذ عينة الخرسانة.
- قطعة من الاسفنج الرطب لترطيب السطح الداخلي للقمع V-(V-funnel).



الشكل (3-18)

القمع V-

#### 3.6.3. مراحل إجراء التجربة:

- نضع القمع V-(V-funnel) النظيف بشكل شاقولي على أرض مستقرة وأفقية للمحافظة على أفقية الفتحات العلوية للقمع الشكل (3-19).
- نرطب داخل القمع بالإسفنج ونزيل الزائد من الماء خلال الفتحات.
- نغلق البوابة ونضع الوعاء تحتها لحفظ الخرسانة المارة من القمع.

- نملئ القمع بشكل كامل بعينة الـ (SCC) بدون ضغط أو هز، الشكل (3-20).
- نزيل الخرسانة الزائدة أعلى القمع باستخدام المسطرة المستقيمة.



الشكل (3-20)

صب الخرسانة في القمع-V



الشكل (3-19)

وضع القمع-V على الأرض

- ننتظر مدة  $(10 \pm 2 \text{ sec})$  ونشغل الميقاتية عند لحظة فتح البوابة.
- ننظر داخل القمع ونوقف الزمن لحظة رؤية الفراغ عبر القمع ونسجل زمن تدفق القمع كما في الشكل (3-21).

**ملاحظة:** لا نلمس القمع-V أو نحركه حتى يفرغ محتواه.



الشكل (3-21)

توقف تدفق الخرسانة في القمع-V

### 4.6.3. نتائج التجربة:

تعطينا هذه التجربة زمن تدفق القمع (Tv) وهو المدة من لحظة تحرير البوابة لأول ضوء نراه داخل اسفل القمع ويعبر عنه إلى أقرب (0.1 sec). يوضح الجدول (3-7) الحدود والمؤشرات التي تحدد نجاح التجربة.

الجدول (3-7)

فئات الميوعة

الفئة	زمن القمع-V (sec)
VS1	$\geq 8$
VS2	9-25

## الفصل الرابع: خواص المواد المستخدمة في التجارب

### Chapter 4: Properties of Materials Used in the Tests

#### 1.4. مقدمة:

إن وجود الفراغات في الخرسانة (ظاهرة التعشيش) يؤدي إلى تدني مقاومتها بالإضافة إلى تأثير هذه الفراغات على ديمومة المنشآت، ويتم معالجة هذا الأمر في الخرسانة العادية من خلال رج الخرسانة أثناء الصب، إلا أن هذا الأسلوب من المعالجة لا يؤدي إلى الحصول على خرسانة مرجوجة بشكل كامل، وذلك أن العامل البشري يلعب دوراً هاماً في هذا المجال.

إن خرسانة الـ (SCC) تماثل في مكوناتها الخرسانة العادية (NC) والاختلاف الرئيسي بينهما هو بوجود المادة المألئة للفراغات (Filler) في خلطة خرسانة الـ (SCC)، وهذه الخرسانة يمكنها ملء القالب تحت تأثير وزنها الذاتي وبدون الحاجة إلى الرج، فنستطيع بذلك الحصول على خرسانة مكنتزة بدون أي عملية رج ميكانيكية. سنعرف في هذا الفصل دراسة لمكونات خلطة خرسانة الـ (SCC) وتحديد نسب هذه المواد في الخلطة.

#### 2.4. مكونات الخلطة الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC):

تم تحضير عدد لا بأس به من الخلطات عند اجراء التجارب و سنعرض في هذا الفصل الخلطات التي نجحت وفق معايير وتوصيات الدليل الأوربي [17]. إن مكونات الخلطة الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC) هي الإسمنت والحصى والرمل والماء والملدن والمادة المألئة للفراغات.

#### 1.2.4. الإسمنت:

تم استخدام إسمنت بورتلاندي عادي انتاج الشركة السورية لصنع الإسمنت ومواد البناء ( $32.5\text{N/mm}^2$ )

كما هو مبين بالشكل (4-1).



الشكل (4-1)

الإسمنت البورتلاندي المستخدم

#### 2.2.4. الحصويات:

تم استخدام خليط من البحص الفراتي المكسر والزرادة الكلسية ذات بعد أعظمي 12.5 mm في التجارب كما هو مبين بالشكل (4-2) و (4-3)، وأجريت عليهما تجربة التحليل الحبي.



الشكل (4-3)  
الزرادة الكلسية



الشكل (4-2)  
البحص الفراتي المكسر

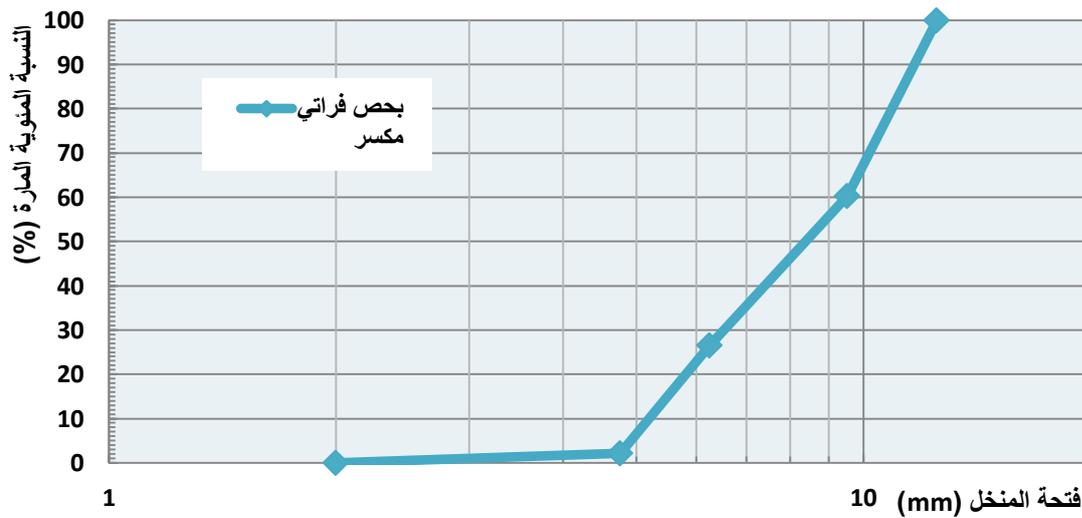
#### 1.2.2.4. التحليل الحبي:

يبين الجدولان (4-1) و (4-2) النسب المئوية المارة للبحص الفراتي المكسر والزرادة الكلسية، كما يبين الشكلان (4-4) و (4-5) منحنيات التحليل الحبي للبحص الفراتي المكسر والزرادة الكلسية على الترتيب.

الجدول (4-1)

النسب المئوية المارة للبحص الفراتي المكسر

فتحة المنخل (mm)	2	4.75	6.25	9.5	12.5	19	النسبة المئوية المارة المارة (%)
	0	2.08	26.57	60.23	100	100	



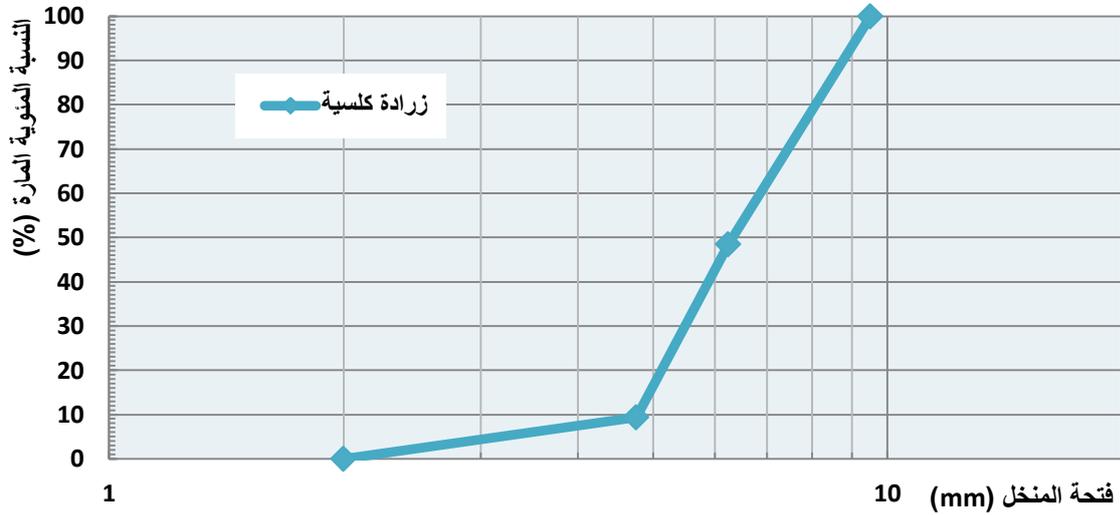
الشكل (4-4)

منحني التحليل الحبي للرمل الفراتي المكسر

## الجدول (4-2)

النسب المئوية المارة للبحص للزراعة الكلسية

فتحة المنخل (mm)	2	4.75	6.25	9.5	12.5	19	النسبة المئوية المارة (%)
	0	9.35	48.45	100	100	100	



## الشكل (4-5)

منحني التحليل الحبي للزراعة الكلسية

## 2.3.4. الرمل:

تم استخدام خليط من الرمل الكلسي (النحاتة) والرمل النهري كما هو مبين بالشكل (4-6) و (4-7)، وأجريت على كل من النوعين تجربة المكافئ الرملي والتحليلي الحبي.



الشكل (4-7)  
الرمل الكلسي



الشكل (4-6)  
الرمل النهري

#### 1.3.2.4. المكافئ الرملي:

يبين الجدولان (4-3) و (4-4) نتائج تجارب المكافئ الرملي للرمل النهري والرمل الكلسي على الترتيب.

الجدول (4-3)

القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمل النهري

رقم التجربة	1	2	3
المكافئ الرملي %	89.7	91.1	89.6
المكافئ الرملي الوسطي %	90.1		

الجدول (4-4)

القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمل الكلسي (النحاة)

رقم التجربة	1	2	3
المكافئ الرملي %	70.5	69.8	71.1
المكافئ الرملي الوسطي %	70.5		

نلاحظ أن القيمة الوسطية للمكافئ الرملي للرمل الكلسي والنهري تحقق المواصفات المحددة لاستخدام الرمل في اعمال الخرسانة [70~90] وفق ال A.S.T.M.

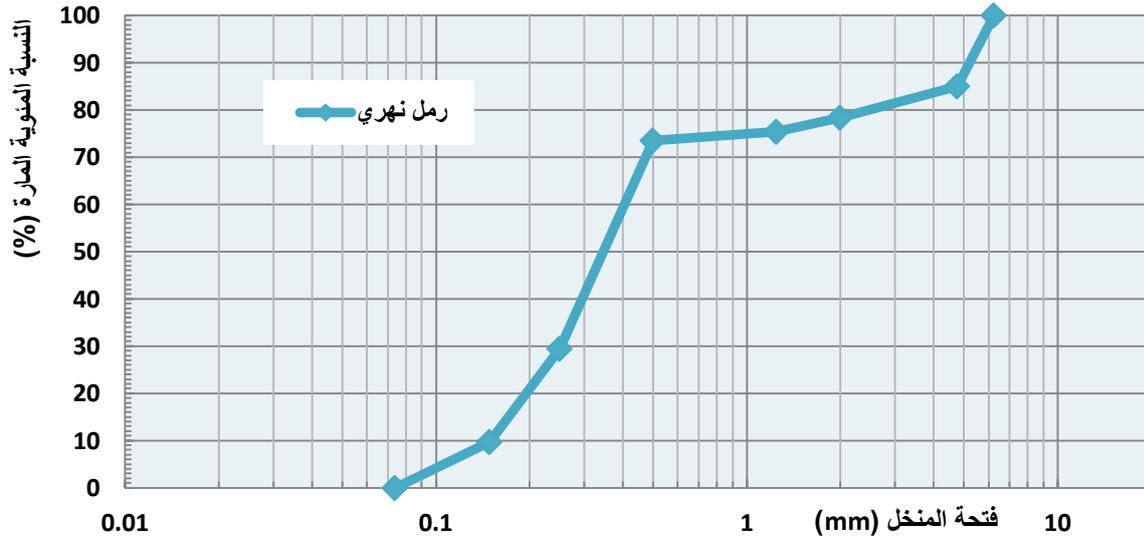
#### 2.3.2.4. التحليل الحبي:

يبين الجدولان (4-5) و (4-6) النسب المئوية المارة للرمل النهري والرمل الكلسي، كما يبين الشكلان (8-4) و (4-9) منحنيات التحليل للرمل النهري والرمل الكلسي على الترتيب.

الجدول (4-5)

النسب المئوية المارة للرمل النهري

فتحة المنخل (mm)	19	12.5	9.5	6.25	4.75	2	1.25	0.5	0.25	0.149	0.074
النسبة المئوية المارة (%)	100	100	100	84.93	84.93	78.41	75.46	73.56	29.39	9.7	0



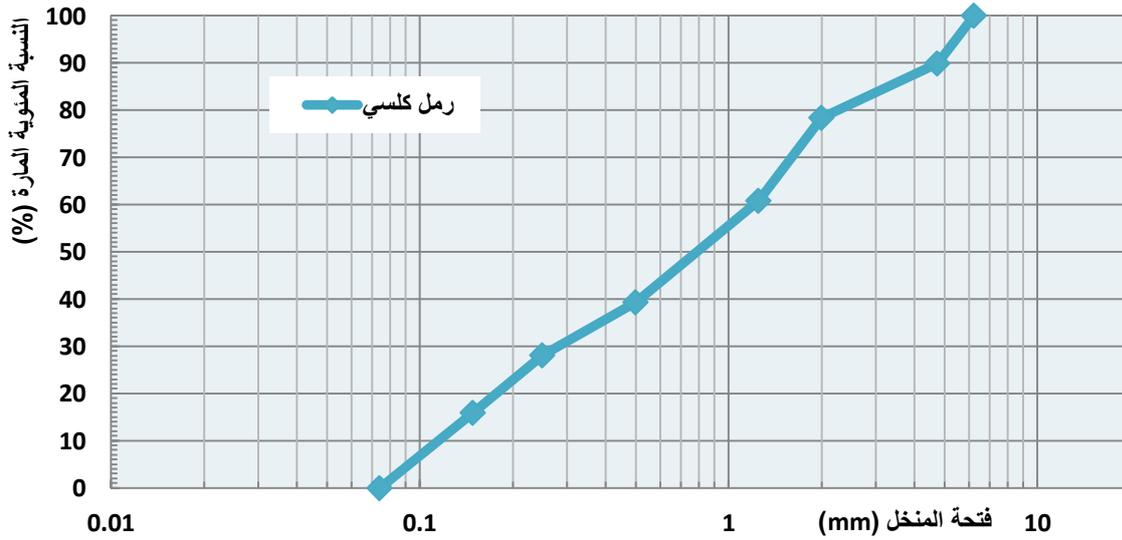
الشكل (4-8)

منحني التحليل الحبي للرمل النهري

الجدول (4-6)

النسب المئوية المارة للرمل الكلسي (النحاة)

0.074	0.149	0.25	0.5	1.25	2	4.75	6.25	9.5	12.5	19	فتحة المنخل (mm)
0	15.91	28.12	39.32	60.78	78.38	89.8	100	100	100	100	النسبة المئوية المارة (%)



الشكل (4-9)

منحني التحليل الحبي للرمل الكلسي

#### 4.2.4. المادة المائنة للفراغات:

تلعب المواد الناعمة دوراً كبيراً وهاماً في الحصول على خلطة الـ (SCC) من حيث تحسين قوام الخلطة وتأمين اللزوجة المطلوبة للمحافظة على استقرار الخلطة وعدم حصول الفصل (segregation) في مكوناتها، وتم في تجارب هذا البحث استخدام مادة الرماد المتطاير (Fly Ash) والغبار الصخري كمادة مائنة للفراغات (Filler) كما هو مبين بالشكلين (4-10) و (4-11). تم اضافة كل من الرماد المتطاير (Fly Ash) والغبار الصخري الى الإسمنت بالنسب التالية:

***Filler/Cement = 25%, 40%, 50%.***



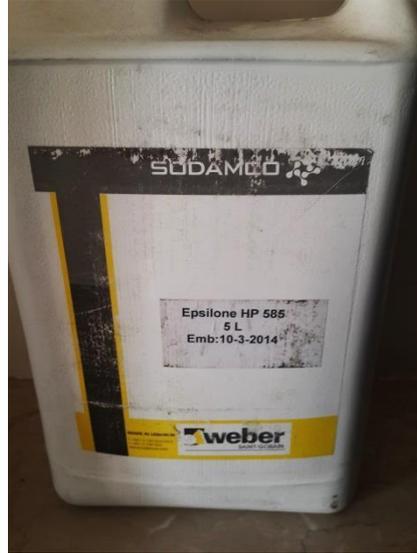
الشكل (4-10)  
الغبار الصخري



الشكل (4-11)  
الرماد المتطاير (Fly Ash)

**5.2.4. الملدن:**

تم استخدام ملدن خاص بالـ (SCC) يساعد على اعطاء قابلية تشغيل جيدة بالرغم من النسبة المنخفضة لـ (w/b) ويعد تنفيذ عدد من التجارب تم اختيار ملدن من نوع (Epsilone HP 585) انتاج شركة سودامكو (SODAMCO) كما هو مبين بالشكل (4-12)، علماً أن المجال المسموح لهذا الملدن (0.5%~2.2%) من وزن البودرة [19]. حيث كانت نسبة الملدن المستعملة في التجارب هي 2.2% من وزن البودرة.



الشكل (4-12)  
الملدن المستخدم

**6.2.4. ماء الجبل:**

تم استخدام ماء الشرب العادي في خلط مكونات الخرسانة. إن تحديد كمية المياه اللازمة للخرسانة يعتبر مشكلة تقابل المهندس حيث تتراوح نسبة الماء إلى الإسمنت في الخلطة الخرسانية بين (0.35~0.5) وتتوقف هذه النسبة على الكثير من المواصفات التي نرغب بتوفيرها بالخلطة نذكر منها:

- قابلية التشغيل.
- نوع العمل الهندسي.
- كمية الإسمنت.
- المواد الحصوية.
- درجة حرارة الجو ومقدار الرطوبة النسبية.

وزيادة هذه النسبة تسبب مشاكل خطيرة نذكر منها:

- حدوث انفصال الحبيبات (Segregation) للخرسانة الطرية.
- حدوث ظاهرة النزف (Bleeding).
- ظهور الفراغات في الخرسانة المتصلبة.
- صعوبة وصل الخرسانة القديمة بالخرسانة الحديثة الصب.
- صعوبة الصب في الأجواء شديدة البرودة.
- ضعف مقاومة الخرسانة للاهتراء والتماصك.

كما أن نقص هذه النسبة يؤثر سلباً على مقاومة الخرسانة، كما يؤثر على قابلية التشغيل وسهولة الخلط والصب، لذا يجب الانتباه إلى اضافة كمية من الماء كافية لتبليل المواد الحصوية وإجراء التفاعلات الكيميائية للإسمنت. وكانت نسبة الماء إلى الإسمنت المستعملة في التجارب ( $w/b = 0.42$ ).

### 3.4. نسب مكونات الخلطة الخرسانية:

تختلف خطة خرسانة الـ (SCC) عن خطة الخرسانة العادية بأنه لا توجد منحنيات مقارنة لها بل يرسم المنحني الحبي لتدرج الخلطة بعد الانتهاء من التجارب والتأكد من تحقيقها لشروط الدليل الأوربي وبالتالي الإعلان عن الحصول على خطة خرسانية ذاتية الارتصاص (SCC) من الممكن استخدامها على أرض الواقع. يبين الجدولان (4-7) و (4-8) كمية المواد المستخدمة لتحضير ( $1m^3$ ) من الخلطة الخرسانية، ونلاحظ من الجدولين أن الدراسة تبحث أثر تغيير المادة المألئة للفراغات (Filler) على تشكيل الخلطة الخرسانية.

#### الجدول (4-7)

كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير ( $1m^3$ ) من الخلطة الأولى المضاف لها Fly Ash كمادة مألئة

المكونات	الواحدة	SCCF25	SCCF40	SCCF50
الإسمنت	kg	350	350	350
بحص فراتي مكسر	kg	596	596	596
زرادة كلسية	kg	340	340	340
رمل نهري	kg	255	255	255
رمل كلسي	kg	511	511	511
Fly Ash	kg	87.5	140	175
نسبة الملدن من البودرة	%	2.2	2.2	2.2
الماء	Litre	184	206	221
w/b	%	0.42	0.42	0.42

## الجدول (4-8)

كمية المواد المستخدمة من أجل تحضير (1m<sup>3</sup>) من الخلطة الأولى المضاف لها الغبار الصخري كمادة مائنة

المكونات	الواحدة	SCCD25	SCCD40	SCCD50
الإسمنت	kg	350	350	350
بحص فراتي مكسر	kg	596	596	596
زرادة كلسية	kg	340	340	340
رمل نهري	kg	255	255	255
رمل كلسي	kg	511	511	511
الغبار الصخري	kg	87.5	140	175
نسبة الملدن من البودرة	%	2.2	2.2	2.2
الماء	Litre	184	206	221
w/b	%	0.42	0.42	0.42

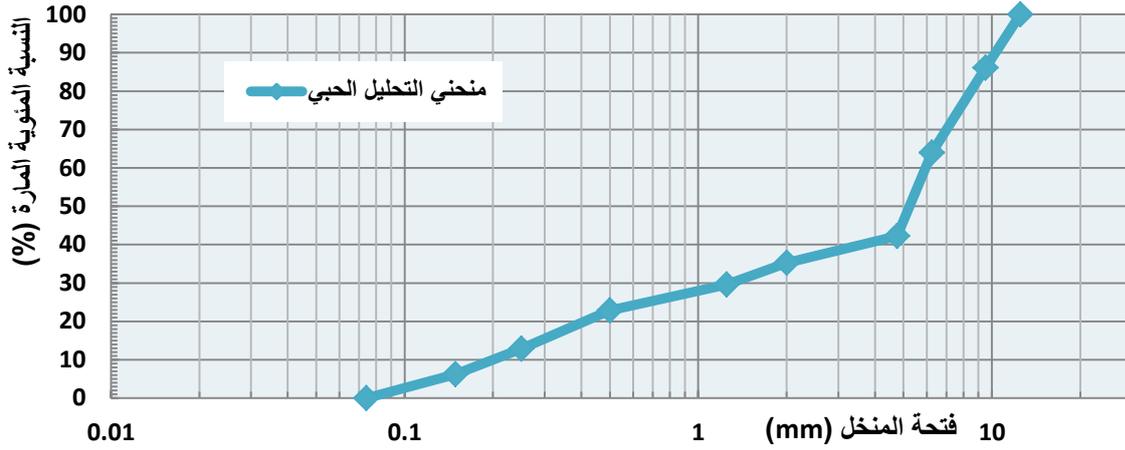
يبين الجدول (4-9) النسب المئوية لمكونات الخلطة المدروسة كما يبين الشكل (4-13) منحنى

التحليل الحبي لها:

## الجدول (4-9)

النسبة المئوية المارة للمنحنى الحبي للمواد الحصوية المستخدمة في التجارب

النسبة المئوية المارة (%)	النسبة المئوية المارة لكل نوع في الخليط وفق النسب المستخدمة (%)				النسبة المئوية المارة لكل نوع في الخليط وفق التحليل الحبي لها (%)				قياس المنخل (mm)
	رمل كلسي	رمل نهري	زرادة كلسية	بحص فراتي مكسر	رمل كلسي	رمل نهري	زرادة كلسية	بحص فراتي مكسر	
100	30	15	20	35	100	100	100	100	12.5
86.08	30	15	20	21.08	100	100	100	60.23	9.52
63.99	30	15	9.69	9.3	100	100	48.45	26.57	6.25
42.28	26.94	12.74	1.87	0.73	89.8	84.93	9.35	2.08	4.76
35.27	23.51	11.76	0	0	78.38	78.41	0	0	2
29.55	18.23	11.32	0	0	60.78	75.46	0	0	1.25
22.83	11.8	11.03	0	0	39.32	73.56	0	0	0.5
12.85	8.44	4.41	0	0	28.12	29.39	0	0	0.25
6.23	4.77	1.46	0	0	15.91	9.7	0	0	0.149
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.074



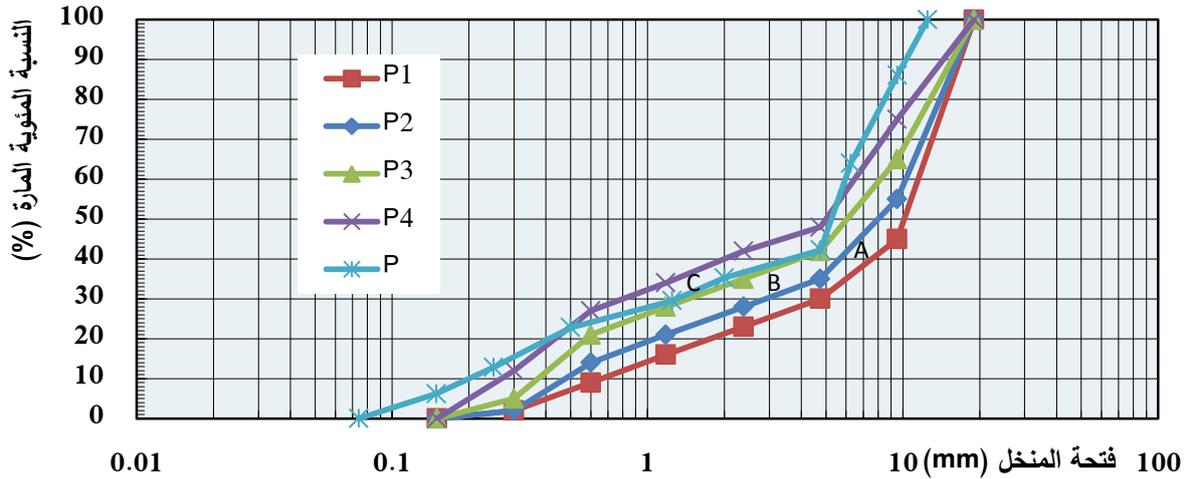
الشكل (4-13)

منحني التحليل الحبي للمواد الحصوية المستخدمة في التجارب

تعطي بعض الأنظمة العالمية منحنيات حبية لمزيج المواد الحصوية المستعملة في أعمال الخرسانة وذلك حسب القطر الأعظمي للحبات، إن المواصفات البريطانية تعطي أربع منحنيات حبية حدية من أجل قطر أعظمي للحبات (19 mm)، تترك هذه المنحنيات الحدية بينها ثلاث مجالات حيث يعتبر المجال (A) منطقة مفضلة والمجال (B) منطقة جيدة والمجال (C) منطقة مقبولة.

من أجل الاستئناس قمنا بمقارنة المنحني الحبي للخلطة التي حصلنا عليها بالتجارب المبين بالشكل

(4-13) إلى المنحنيات الحبية الخاصة بالمواصفات البريطانية كما هو مبين بالشكل (4-14).



الشكل (4-14)

مقارنة بين المنحني الحبي للخلطة المستنتجة مع المنحنيات الحبية الخاصة بالمواصفات البريطانية

من الشكل (4-14) نجد بأن منحني التحليل الحبي المستنتج من التجارب يقع ضمن المجال (C) أي

في المنطقة المقبولة.

#### 4.4. تحضير الخلطات الخرسانية:

بعد دراسة مكونات الخلطة الخرسانية وتحديد نسبها، تم إجراء التجارب التي نص عليها الدليل الأوربي [17]. وقد تم إجراء التجارب حسب الترتيب المبين بجداول النتائج المذكور في هذا الفصل علماً أنه تم تنفيذ جميع التجارب بما فيها البديلة وذلك للمقارنة وربط القيم بعضها ببعض ومن أجل تحضير الخلطة الخرسانية يتم خلط مكونات الخرسانة مع بعضها بواسطة جباله كهربائية، وذلك على النحو التالي:

- يتم وضع الحصى والرمل أولاً ونبدأ بعملية الخلط لمدة دقيقتين.
- إضافة المواد الناعمة من إسمنت ومادة مألثة (Filler) ويستمر الخلط لدقائق أخرى.
- إضافة نصف كمية الماء المستخدم بشكل تدريجي مع استمرار الخلط.
- أما النصف الآخر من كمية الماء فيضاف إليه الملدن ويتم المزج جيداً ثم تتم الإضافة تدريجياً للخلطة.
- تستمر عملية الخلط مدة (15 min).
- ثم يتم البدء بإجراء التجارب بشكل متتابع دون إيقاف عملية الخلط في الجباله، علماً أن إجراء التجارب يستغرق مدة (45±5 min).

أما التجارب التي يتوجب إجراؤها على الخرسانة الطرية ذاتية الارتصاص فغايتها وكما ذكرنا في الفصل الثالث تحقيق الخواص الثلاث التالية: قابلية الملء (filling ability)، قابلية المرور (passing ability)، مقاومة الفصل (resistance to segregation).

يبين الجدول (4-10) نتائج التجارب على الخرسانة الطرية للخلطات المختلفة التي تم اعتمادها في هذه الدراسات التجريبية.

#### الجدول (4-10)

##### نتائج التجارب على الخلطات

النسبة	غبار صخري			Fly Ash			القيم المسموحة
	25%	40%	50%	25%	40%	50%	
w/b	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	
ملدن	2.20%	2.20%	2.20%	2.20%	2.20%	2.20%	
T <sub>500</sub> (Sec)	4.13	3.7	2.55	4.26	3.9	2.8	> 2
SF (cm)	78	81	84	76.5	80	83.5	≤ 85
T <sub>500J</sub> (Sec)	3.55	3.12	2.3	3.88	3.2	2.2	> 2
SFJ (cm)	73.5	76.5	79	72	75.5	78.5	≤ 85
PA (%)	0.82	0.88	0.9	0.84	0.86	0.89	≥ 0.8
T <sub>v</sub> (sec)	16.8	13.4	10.8	15.3	13.2	11.2	9 ~ 25
SR (%)	11.4	12.96	13.65	10.5	12.8	13.9	≤ 15

نلاحظ من النتائج السابقة أن جميع الخلطات تحقق المواصفات والشروط حسب الدليل الأوربي [17].

## الفصل الخامس: تأثير المادة المألئة على مقاومة الخرسانة ذاتية الارتصاص

### Chapter 5: The Effect of Filler on Strength of SCC

#### 1.5. مقدمة:

تتأثر مقاومة الخرسانة على الشد أو الضغط بعدد من العوامل، منها خواص المواد المكونة للخلطة (البحص - الرمل - الإسمنت ...) بالإضافة إلى نسب هذه المواد في الخلطة. سيتم في هذا الفصل دراسة تأثير نوع المادة المألئة (Filler) ونسبتها على مقاومة خرسانة (SCC) وذلك من خلال دراسة تأثير نوعين من المواد المألئة هما الرماد المتطاير (Fly Ash) والغبار الصخري (Dust Stone)، بالإضافة إلى التحقق من صلاحية العوامل الواردة في الكود العربي السوري للربط بين مقاومة الضغط الأسطوانية والمكعبية، وتطور هذه المقاومة تبعاً للعمر بالإضافة إلى تأثير هذه الإضافات على مقاومة الشد غير المباشر والشد بالانعطاف. ولإنجاز هذه الدراسة تم صب مجموعة العينات المبينة في الجدول (1-5).

#### الجدول (1-5)

عدد العينات المجرية في هذا البحث

المقاومة	الضغط		شد غير مباشر	شد بالانعطاف
	مكعبية	اسطوانية		
NC	6	3	3	3
SCCF25	6	3	3	3
SCCF40	6	3	3	3
SCCF50	6	3	3	3
SCCD25	6	3	3	3
SCCD40	6	3	3	3
SCCD50	6	3	3	3
المجموع	42	21	21	21

وبذلك كان عدد العينات الكلي لإنجاز هذه الدراسة /105/ عينة.

#### 2.5. نتائج التجارب:

سنذكر في هذه الفقرة نتائج التجارب التي حصلنا عليها من الخلطات التي تم اعتبارها خلطات (SCC) ناجحة وفق الدليل الأوربي [17].

#### 1.2.5. مقاومة الضغط المكعبية لخلطات خرسانة الـ (SCC):

بعد أن يتم التأكد من خلطة خرسانة (SCC) وفق الدليل الأوربي [17] يتم صب عينات مكعبية أبعادها  $10 \times 10 \times 10$  cm لاختبار مقاومتها على الضغط عند الأعمار 7 و 28 يوم وبعد صب العينات وتصلبها تم

حفظها في حوض مائي بدرجة حرارة ( $22 \pm 2$  °C) يؤمن لها الرطوبة التامة (100%) كما في الشكلين (5-1) و (5-2).

وقبل إجراء تجارب تحديد المقاومة بمدة (24) ساعة يتم إخراج العينات من الحوض المائي، وفي الموعد المحدد يتم إجراء تجارب الضغط البسيط عليها بواسطة جهاز تصل استطاعته حتى (3000 kN) مع سرعة تحميل (2.5kN/sec) كما هو مبين بالشكل (5-3).



الشكل (5-1)

صب العينات



الشكل (5-2)

حفظ العينات بالماء



الشكل (5-3)

جهاز الضغط المحوري

كما يبين الشكل (5-4) أحد المكعبات عند إجراء التجارب.



الشكل (5-4)

عينة مكعبية أثناء إجراء تجربة الضغط المحوري

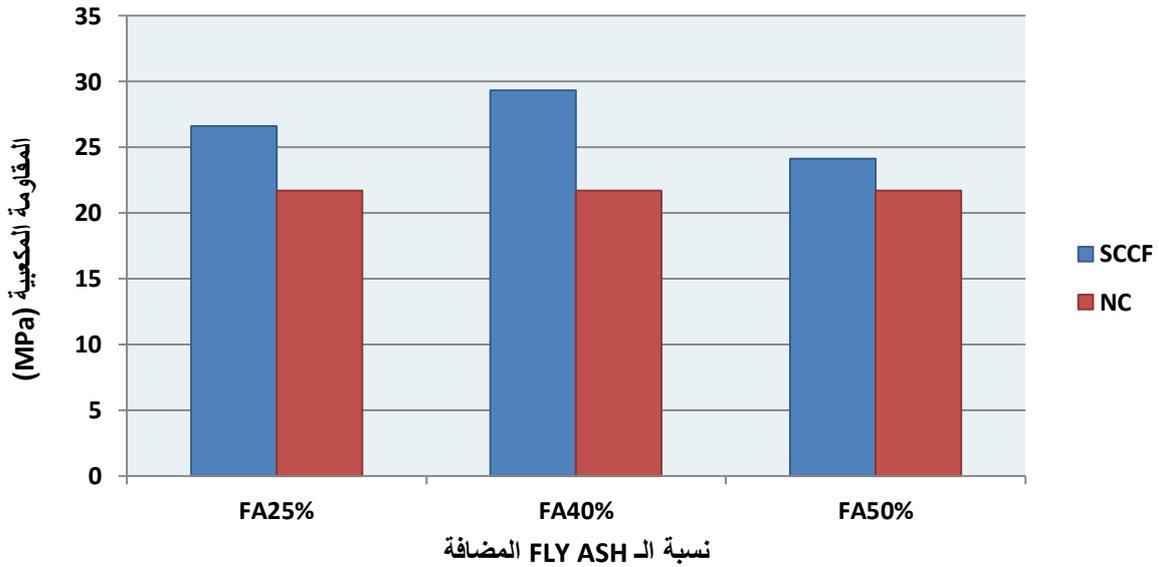
يبين الجدول (5-2) مقاومة الضغط المكعبية للخلطات الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC) عند الأعمار 7 و 28 يوم.

الجدول (5-2)

قيم مقاومة الضغط المكعبية

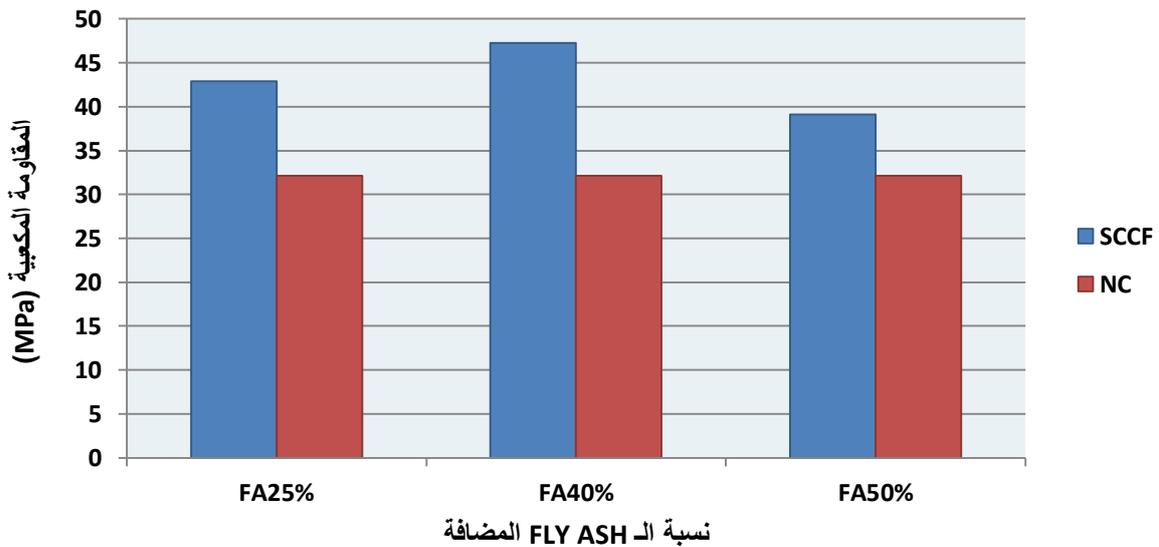
عمر العينة			7 أيام			28 يوم		
اسم الخلطة	نوع المادة المألثة	نسبة المادة المألثة للإسمنت	المقاومة المكعبية الوسطى (MPa)	المقاومة المكعبية الوسطى (MPa)	نسبة زيادة المقاومة (%)	المقاومة المكعبية (MPa)	المقاومة المكعبية الوسطى (MPa)	نسبة زيادة المقاومة (%)
NC	لا يوجد	لا يوجد	20.9	21.7	-	32.1	32.1	-
			22.3			32.6		
			21.8			31.7		
SCCF25	FLY ASH	25%	27.8	26.6	23	43.8	42.9	34
			25			42.6		
			27			42.2		
SCCF40	FLY ASH	40%	29.0	29.3	35	47.4	47.3	47
			30.0			47.6		
			29.0			46.9		
SCCF50	FLY ASH	50%	24.4	24.1	11	39.2	39.1	22
			27.0			38.6		
			21.0			39.4		
SCCD25	غبار صخري	25%	26.4	27.3	26	42.1	41.3	29
			28.0			40.8		
			27.4			41.0		
SCCD40	غبار صخري	40%	24.5	24.7	14	35.8	36.1	12
			22.0			36.2		
			27.5			36.4		
SCCD50	غبار صخري	50%	18.0	19.5	-10	31.2	30.5	-5
			21.0			29.6		
			19.6			30.6		

يبين الشكلان (5-5) و (5-6) مقارنة بين مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية NC والخرسانة ذاتية الارتصاص SCC المضاف لها نسب مختلفة من المادة المألثة (Fly Ash) وذلك عند العمر 7 أيام و 28 يوماً.



الشكل (5-5)

مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 7 أيام

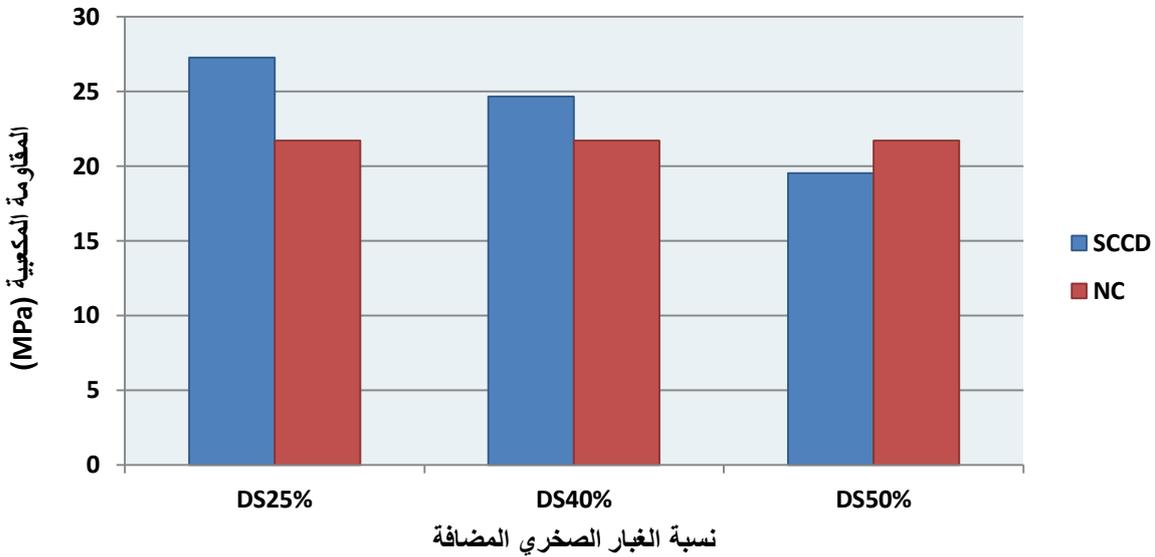


الشكل (5-6)

مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من Fly Ash عند العمر 28 يوم

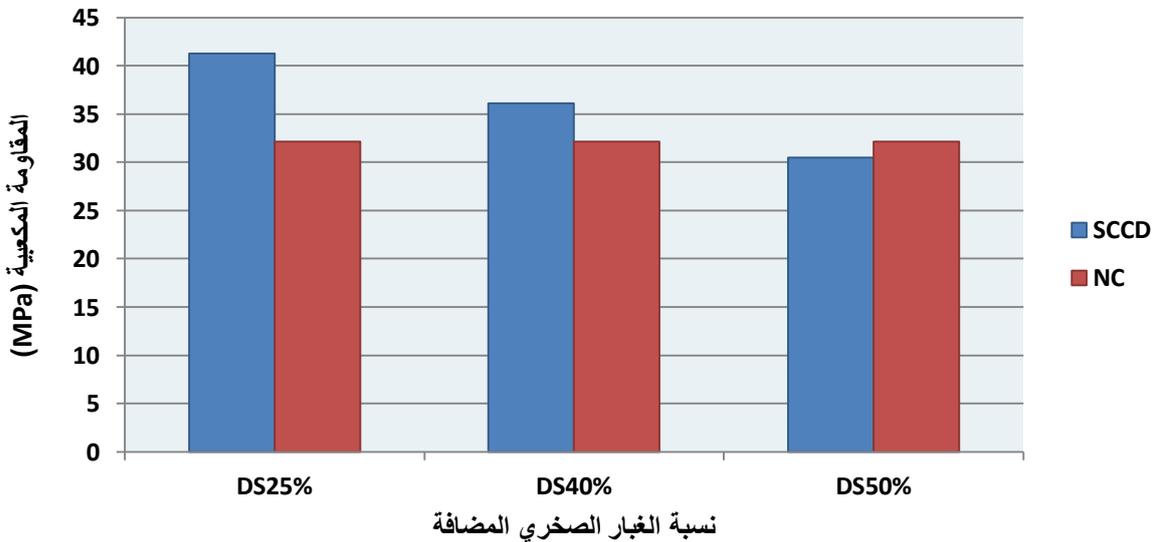
نلاحظ من الشكلين (5-5) و (5-6) أن مقاومة الضغط المكعبية لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الـ (Fly Ash) أعلى من مقاومة الضغط للخرسانة العادية NC وذلك عند العمرين 7 و 28 يوم، وتراوحت الزيادة في مقاومة الضغط المكعبية بين (11%-35%) عند العمر 7 أيام، وبين (22%-47%) عند العمر 28 يوم.

يبين الشكلان (5-7) و (5-8) مقارنة بين مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية NC والخرسانة ذاتية الارتصاص SCCD المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري كمادة مألثة وذلك عند العمر 7 أيام و 28 يوماً.



الشكل (5-7)

مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 7 أيام

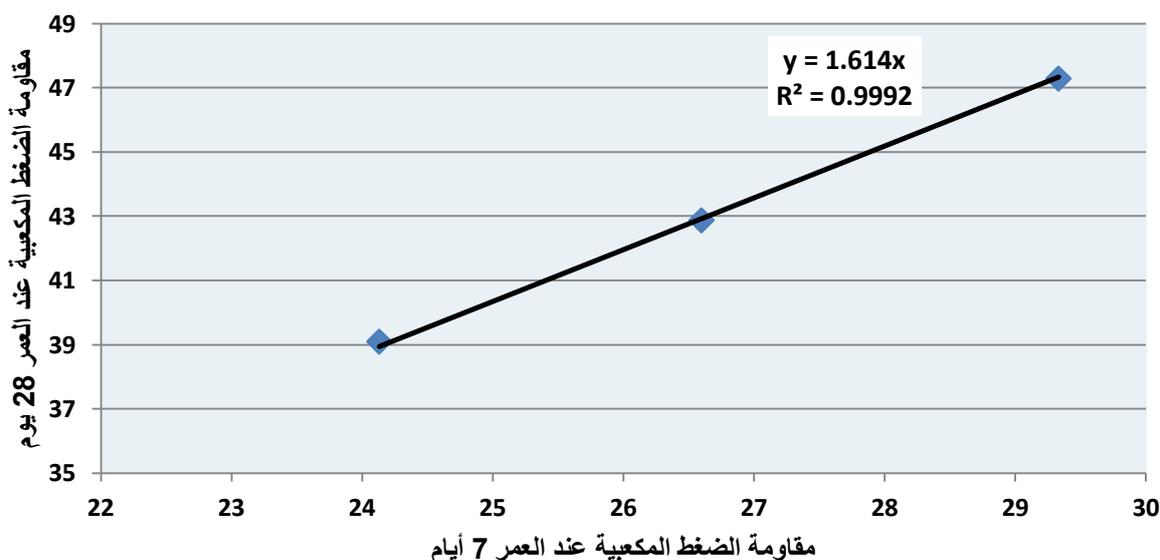


الشكل (5-8)

مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم

نلاحظ من الجدول (5-2) والشكلين (5-7) و (5-8) أن مقاومة الضغط المكعبية تحسنت عند إضافة الغبار الصخري بنسبة 25% حيث بلغت النسبة المثوية لزيادة المقاومة 26% و 29% عند الأعمار 7 أيام و 28 يوم على التوالي، لكن هذا التحسن في المقاومة عاد إلى التناقص عند زيادة نسبة الغبار الصخري إلى 40% لتصبح نسبة زيادة المقاومة 14% و 12% عند الأعمار (7-28) يوم، وعند إضافة نسبة 50% غبار صخري انخفضت مقاومة الخرسانة 10% و 5% عند الأعمار (7-28) يوم.

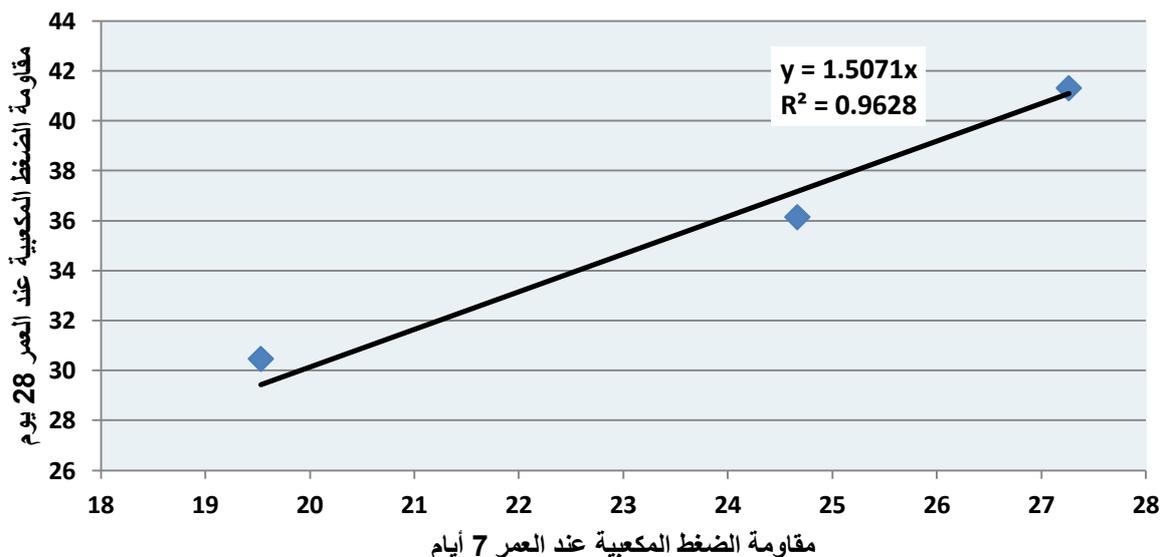
يبين الشكل (5-9) تطور المقاومة المكعبية بالضغط للعينات الخرسانية المختلفة مع الزمن عند الأعمار 7 و 28 للخلطات الخرسانية المضاف لها نسب مختلفة من الرماد المتطاير (Fly Ash).



الشكل (5-9)

العلاقة بين مقاومة الضغط المكعبية لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الـ (Fly Ash) عند الأعمار 7 و 28 يوم

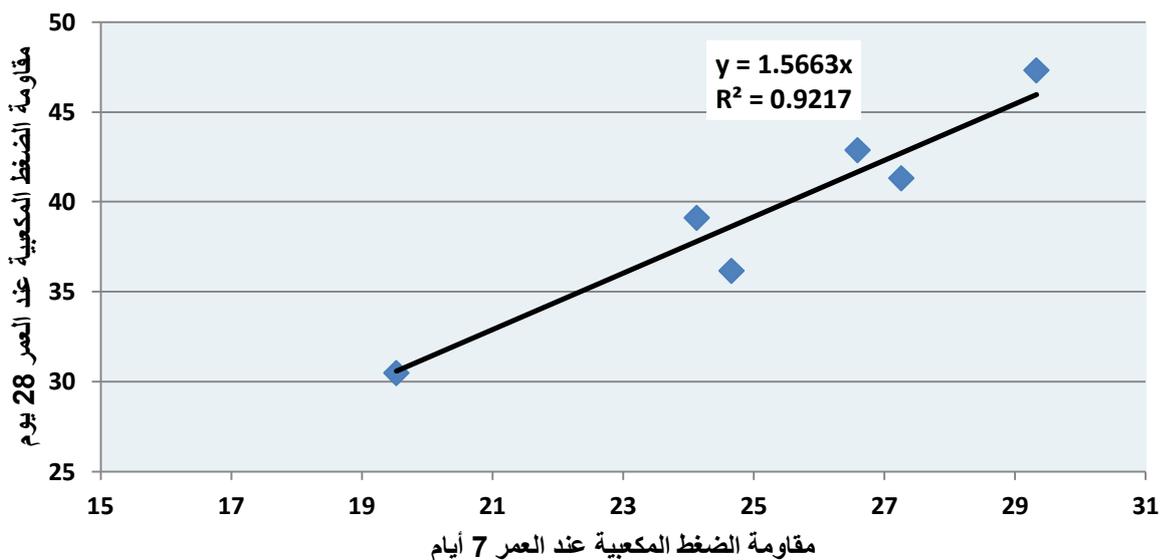
من الشكل (5-9) نلاحظ أن مقاومة الضغط المكعبية للعينات المضاف لها نسب مختلفة من الـ (Fly Ash) عند العمر 28 يوم تساوي تقريبا 1.61 مرة من مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 7 أيام. يبين الشكل (5-10) تطور المقاومة المكعبية بالضغط لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري مع الزمن عند الأعمار 7 و 28 يوم.



الشكل (5-10)

العلاقة بين مقاومة الضغط المكعبية لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري مع الزمن عند الأعمار 7 و 28 يوم

من الشكل (5-10) نلاحظ أن مقاومة الضغط المكعبية للعينات المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم تساوي تقريبا 1.51 مرة من مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 7 أيام. يبين الشكل (5-11) تطور المقاومة المكعبية بالضغط للعينات الخرسانية المختلفة مع الزمن عند الأعمار 7 و 28.



الشكل (5-11)

العلاقة بين مقاومة الضغط المكعبية للعينات الخرسانية المختلفة عند الأعمار 7 و 28 يوم

من الشكل (5-11) نلاحظ أن مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 28 يوم تساوي تقريبا 1.57 مرة من مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 7 أيام وهي مساوية تقريبا إلى القيمة التي أعطتها الكود العربي السوري والمساوية ل 1.5.

### 2.2.5. مقاومة الضغط الأسطوانية لخلطات خرسانة الـ (SCC):

من أجل إيجاد قيمة عامل التصحيح لتحويل المقاومة المكعبية إلى مقاومة اسطوانية في خرسانة SCC تم صب مجموعة من العينات الأسطوانية (150×300 mm) من الخلطات الخرسانية كما هو مبين بالشكل (5-1)، وفي الموعد المحدد يتم إجراء تجارب الضغط البسيط عليها بواسطة جهاز تصل استطاعته حتى (3000 kN) مع سرعة تحميل (2.5kN/sec) كما هو مبين بالشكل السابق (5-3).

في هذه التجارب قمنا بتثبيت ثلاثة حساسات (حساس للضغط مركب على جهاز الضغط المحوري وحساسين مركبين على العينة لقياس الانفعالات بالاتجاهين الطولي والعرضي) كما هو مبين بالشكلين (5-12) و (5-13).



الشكل (5-13)

تحضير العينة الأسطوانية للتجربة



الشكل (5-12)

تحضير العينة الأسطوانية للتجربة

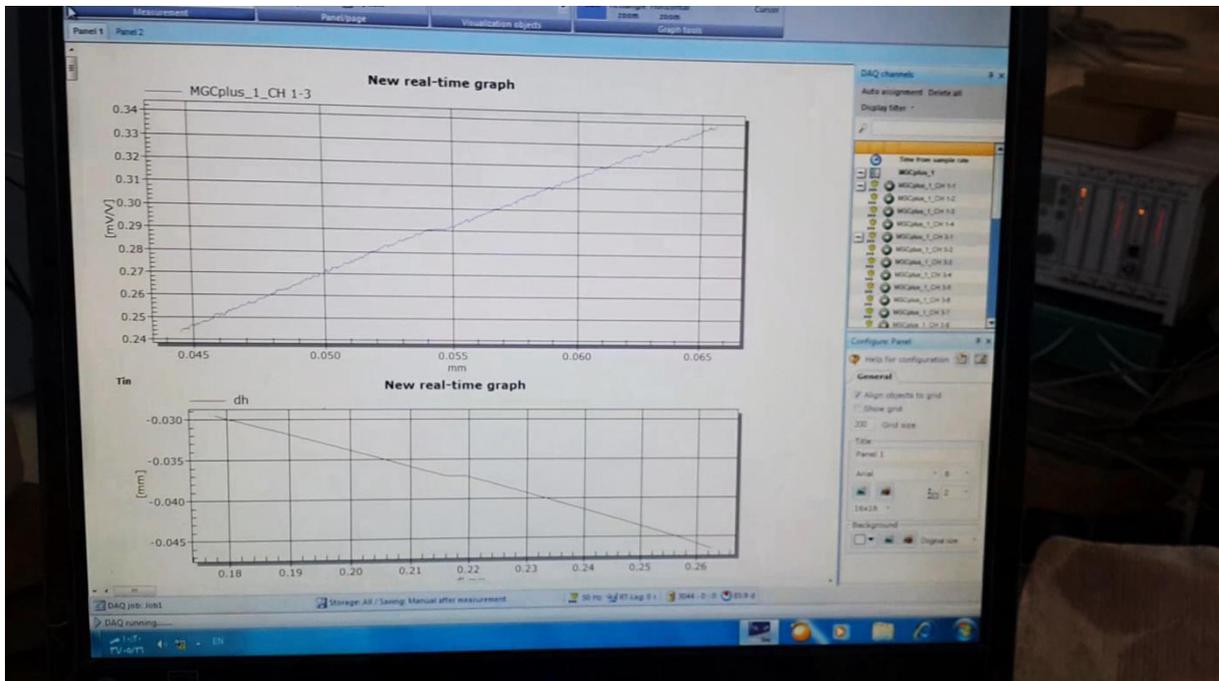
وتم ربط هذه الحساسات إلى جهاز كومبيوتر كما هو مبين بالشكل (5-14) لقراءة النتائج التي تظهر على شكل ملف EXCEL.



الشكل (5-14)

جهاز MG-Plus

أثناء عملية تحميل العينة نلاحظ أنه قبل انهيار العينة تكون العلاقة بين الاجهاد والانفعال خطية كما هو مبين بالشكل (5-15) اي أننا نكون في المرحلة المرنة Elastic Phase.

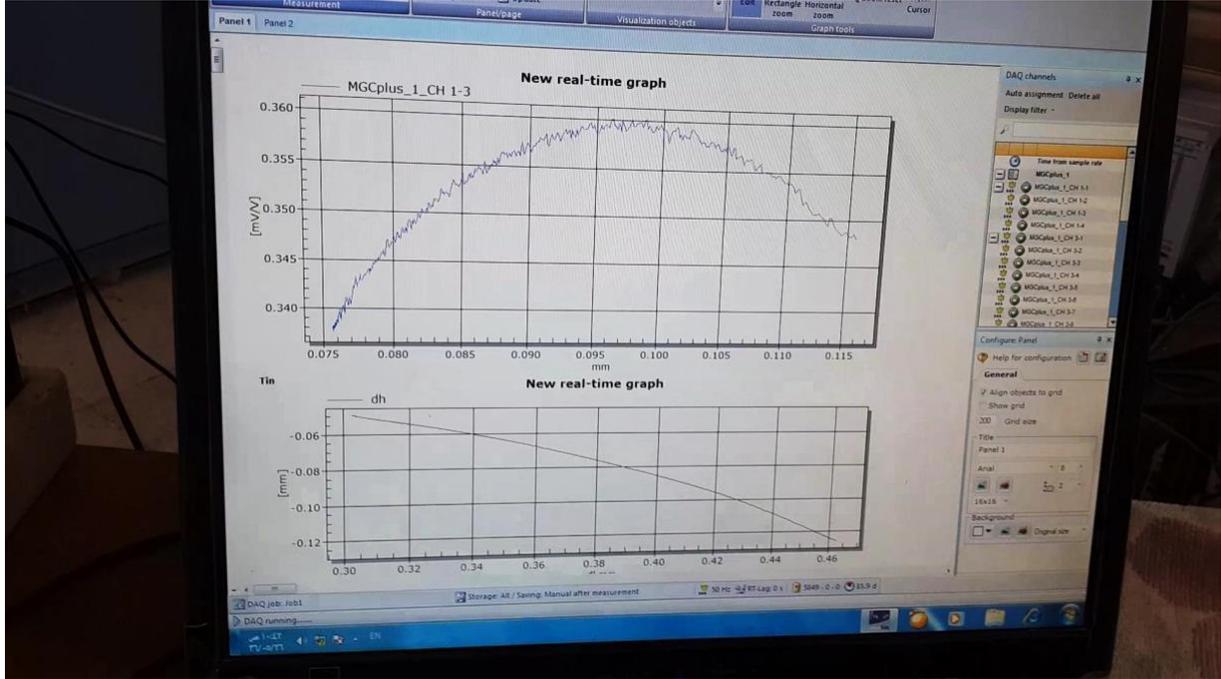


الشكل (5-15)

العلاقة بين الإجهاد والانفعال في المرحلة المرنة

عند انهيار العينة نلاحظ حصول تشوه في العلاقة بين الاجهاد والانفعال كما هو مبين بالشكل (5-16)

أي أننا أصبحنا في المرحلة اللدنة Plastic Phase.



الشكل (5-16)

العلاقة بين الإجهاد والانفعال في المرحلة اللدنة

كما يبين الشكل (5-17) أحد العينات الاسطوانية أثناء اجراء التجارب.



الشكل (5-17)

عينة اسطوانية أثناء إجراء تجربة الضغط المحوري

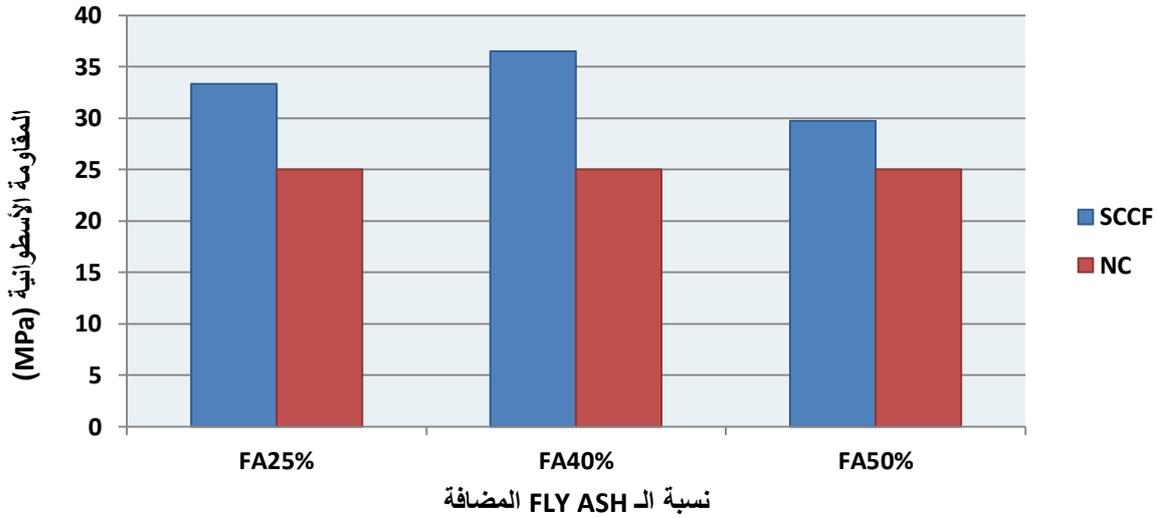
يبين الجدول (3-5) مقاومة الضغط الأسطوانية للخلطات الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC) التي قمنا باعتمادها سابقا عند العمر 28 يوم.

الجدول (3-5)

قيم مقاومة الضغط الأسطوانية عند العمر 28 يوم

اسم الخلطة	نوع المادة المألثة	نسبة المادة المألثة للإسمنت	المقاومة الأسطوانية (MPa)	المقاومة الأسطوانية الوسطى (MPa)	نسبة زيادة المقاومة (%)
NC	لا يوجد	لا يوجد	24.9	25.0	-
			25.4		
			24.7		
SCCF25	FLY ASH	25%	33.8	33.3	33
			31.6		
			34.5		
SCCF40	FLY ASH	40%	35.8	36.5	46
			37.4		
			36.2		
SCCF50	FLY ASH	50%	29.4	29.7	19
			28.6		
			31.1		
SCCD25	غبار صخري	25%	31.5	32.3	29
			32.6		
			32.9		
SCCD40	غبار صخري	40%	26.8	27.6	10
			28.6		
			27.4		
SCCD50	غبار صخري	50%	23.9	23.0	-8
			22.2		
			22.8		

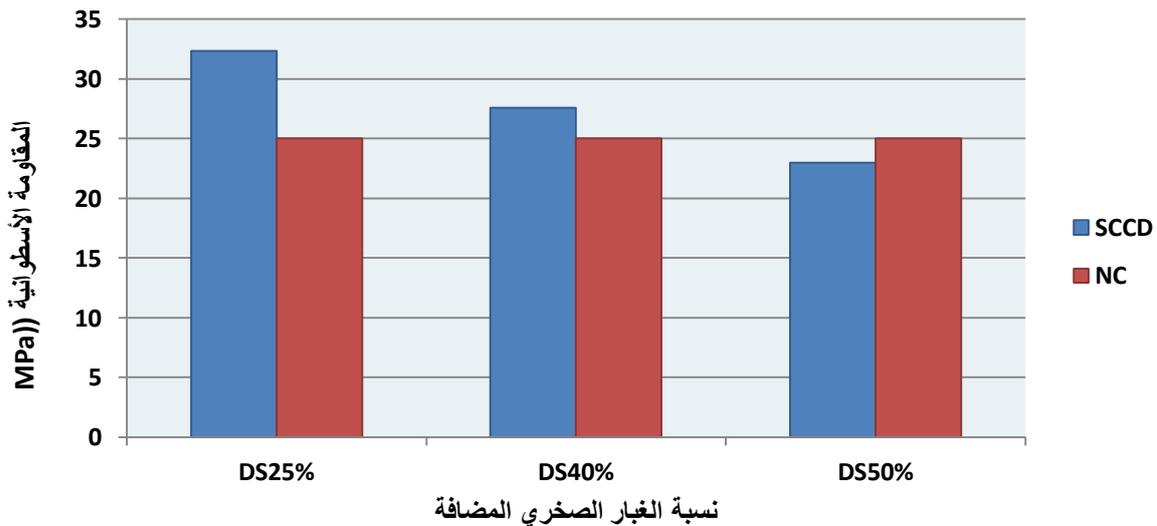
يبين الشكلان (5-18) و (5-19) مقارنة بين مقاومة الضغط الأسطوانية للخرسانة العادية NC والخرسانة ذاتية الارتصاص SCC المضاف لها نسب مختلفة من المادة المألثة (Fly Ash) والغبار الصخري على التوالي وذلك عند العمر 28 يوم.



الشكل (5-18)

مقاومة الضغط الأسطوانية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من FLY ASH عند العمر 28 يوم

نلاحظ من الشكل (5-18) بأن مقاومة الضغط الأسطوانية لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الـ (Fly Ash) أعلى من مقاومة الضغط للخرسانة العادية NC وذلك عند العمر 28 يوم ، بلغت نسبة الزيادة في المقاومة 46% عندما كانت نسبة الإضافة من الـ (Fly Ash) 40% من وزن الإسمنت، وبالرغم من انخفاض نسبة ازدياد المقاومة إلى 19% عندما كانت نسبة الإضافة 50% إلا أنها بقيت أعلى من المقاومة الأسطوانية للخرسانة العادية.



الشكل (5-19)

مقاومة الضغط الأسطوانية للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم

نلاحظ من الشكل (5-19) أن مقاومة الضغط الأسطوانية للخرسانة ذاتية الارتصاص تتناقص كلما ازدادت نسبة الغبار الصخري المضافة، ومع ذلك فإن المقاومة كانت أعلى من الخرسانة العادية عند نسبة الإضافة 25% و 40%، إلا أن هذه المقاومة انخفضت بنسبة 8% عن مقاومة الخرسانة العادية عندما كانت نسبة الإضافة 50%.

يبين الجدول (5-4) عامل التصحيح لتحويل المقاومة المكعبية للمكعب ذو الأبعاد (10×10×10cm) إلى مقاومة اسطوانية.

الجدول (5-4)

تدقيق عامل التصحيح الخاص بالمكعب ذو الأبعاد 10×10×10 cm

اسم الخلطة	نوع المادة المألثة	نسبة المادة المألثة للإسمنت	المقاومة الأسطوانية الوسطى (MPa)	المقاومة المكعبية الوسطى (MPa)	عامل التحويل المستنتج	عامل التحويل الموجود في الكود
NC	لا يوجد	لا يوجد	25.0	32.1	0.78	0.78
SCCF25	FLY ASH	25%	33.3	42.9	0.78	
SCCF40	FLY ASH	40%	36.5	47.3	0.77	
SCCF50	FLY ASH	50%	29.7	39.1	0.76	
SCCD25	غبار صخري	25%	32.3	41.3	0.78	
SCCD40	غبار صخري	40%	27.6	36.1	0.76	
SCCD50	غبار صخري	50%	23.0	30.5	0.75	

نلاحظ من الجدول (5-4) بأن عامل التصحيح الناتج عن الدراسة التجريبية مطابق لعامل التصحيح الموجود في جداول الكود العربي السوري.

### 3.2.5. مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة (التجربة البرازيلية):

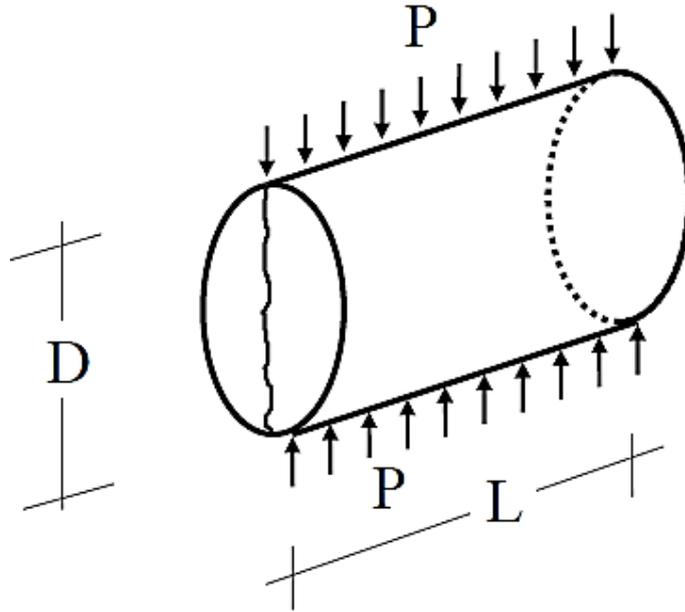
تجرى التجربة على أسطوانة قطرها (15cm) وارتفاعها (30cm) حيث توضع هذه الاسطوانة بين رأسي ماكينة الاختبار في وضع أفقي ويعين حمل الضغط المسبب لكسر العينة وعند انهيارها يسجل الحمل الأقصى ( $P_{max}$ ) كما في الشكل (5-20).

$$\text{مقاومة الشد غير المباشر} = \frac{2 \times P_{max}}{\pi \times D \times L}$$

$P_{max}$ : الحمل الأعظمي.

D: قطر الأسطوانة.

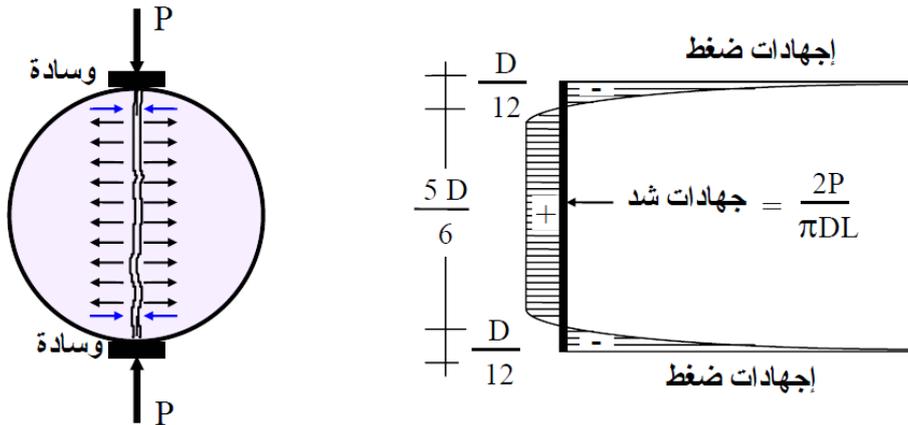
L: طول الأسطوانة.



الشكل (5-20)

أسطوانة الشد غير المباشر

ويكون المستوى الرأسي للانهياب هو مستوى إجهادات الشد الرئيسية حيث تكون موزعة على 80% من طوله وفي نفس الوقت توجد إجهادات ضغط تتراوح قيمتها من 16 إلى 18 مرة من إجهادات الشد وذلك في المنطقتين تحت تأثير الحمل مباشرة (في طرفي مستوى الانهياب).  
ويتميز اختبار الشد غير المباشر بسهولة الإجراء وذلك لوجود إجهادات الشد بقيمة ثابتة منتظمة على حوالي 60% من طول مستوى الانهياب كما في الشكل (5-21).



الشكل (5-21)

توزيع الاجهادات في أسطوانة الشد البرازيلي

يبين الشكلان (5-22) و (5-23) أحد الاسطوانات أثناء إجراء التجارب عليها.



الشكل (5-22)

وضع العينة الاسطوانية بين فكي المكبس



الشكل (5-23)

العينة الاسطوانية عند انهيارها بالفلق

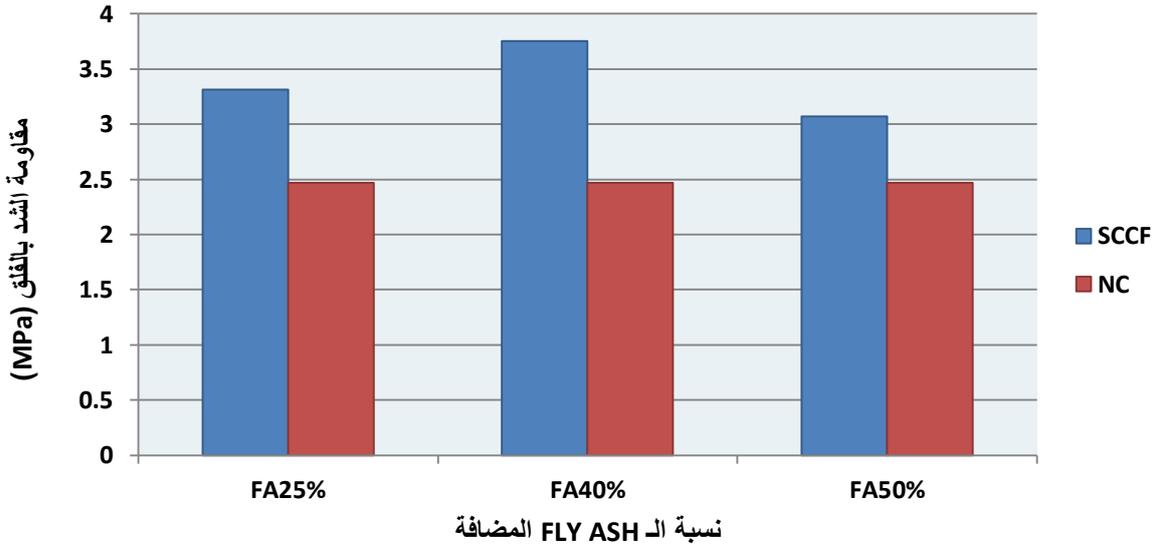
يبين الجدول (5-5) مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) للخلطات الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC) التي قمنا باعتمادها سابقا عند العمر 28 يوم.

الجدول (5-5)

قيم مقاومة الشد غير المباشر

اسم الخلطة	نوع المادة المألثة	نسبة المادة المألثة للإسمنت	قوة المكبس (T)	الاجهاد (MPa)	مقاومة الشد بالفلق	نسبة زيادة المقاومة (%)
NC	لا يوجد	لا يوجد	16.8	2.4	2.5	-
			17.4	2.5		
			18.2	2.6		
SCCF25	FLY ASH	25%	24.2	3.4	3.3	32
			22.2	3.1		
			23.9	3.4		
SCCF40	FLY ASH	40%	25.5	3.6	3.8	52
			27.2	3.8		
			26.9	3.8		
SCCF50	FLY ASH	50%	21.8	3.1	3.1	24
			21.0	3.0		
			22.3	3.2		
SCCD25	غبار صخري	25%	22.0	3.1	3.3	32
			22.8	3.2		
			24.6	3.5		
SCCD25	غبار صخري	40%	19.4	2.7	2.8	12
			18.9	2.7		
			20.6	2.9		
SCCD25	غبار صخري	50%	17.0	2.4	2.4	-4
			18.0	2.5		
			15.5	2.2		

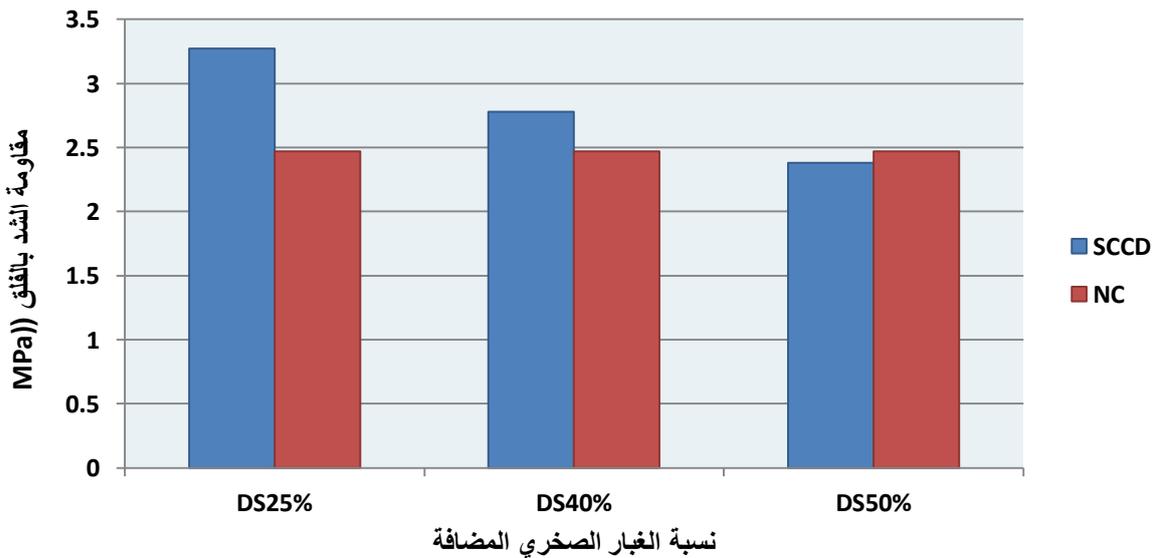
يبين الشكلان (5-24) و (5-25) مقارنة بين مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) للخرسانة العادية NC والخرسانة ذاتية الارتصاص SCC المضاف لها نسب مختلفة من المادة المألثة (Fly Ash) و الغبار الصخري على التوالي وذلك عند العمر 28 يوم.



الشكل (5-24)

مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من FLY ASH عند العمر 28 يوم

نلاحظ من الشكل (5-24) أن مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) لعينات خرسانة SCC المضاف لها نسب مختلفة من الـ (Fly Ash) أعلى من مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة العادية NC وذلك عند العمر 28 يوم، وتراوحت نسبة الزيادة في المقاومة بين (24%-52%) وأعلى نسبة زيادة في مقاومة الشد غير المباشر كانت في العينات المضاف إليها 40% من الـ (Fly Ash).



الشكل (5-25)

مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم

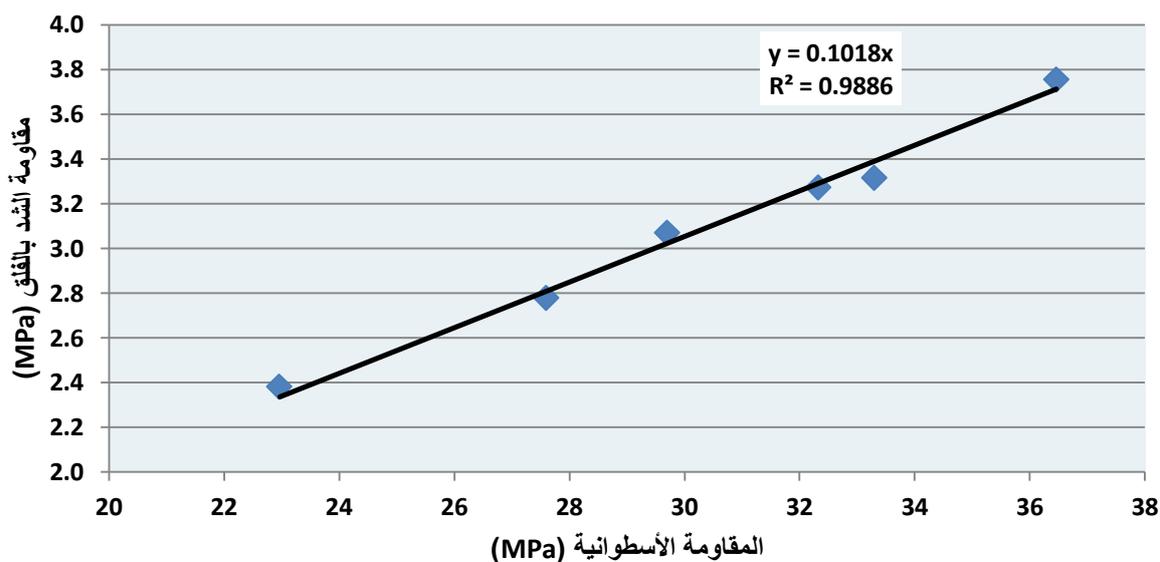
نلاحظ من الشكل (5-25) والجدول (5-5) أن تحسن مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة ذاتية الارتصاص SCC يتناقص مع زيادة نسبة الغبار الصخري في الخلطة ، وأعلى نسبة زيادة في المقاومة 32% توافق نسبة إضافة 25% من الغبار الصخري، لنجد أنه عندما كانت نسبة الإضافة 50% انخفضت مقاومة الشد غير المباشر بمقدار 4% عن مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة العادية. يبين الجدول (5-6) نسبة مقاومة الشد غير المباشر إلى مقاومة الضغط الأسطوانية لمختلف عينات الخلطات الخرسانية.

الجدول (5-6)

نسبة مقاومة الشد غير المباشر إلى مقاومة الضغط الأسطوانية لمختلف عينات الخلطات الخرسانية

اسم الخلطة	مقاومة الضغط الأسطوانية P (MPa)	مقاومة الشد غير المباشر T (MPa)	T/P (%)
NC	25	2.5	10
SCCF25	33.3	3.3	9.9
SCCF40	36.5	3.8	10.4
SCCF50	29.7	3.1	10.4
SCCD25	32.3	3.3	10.2
SCCD40	27.6	2.8	10.1
SCCD50	23	2.4	10.4

كما يبين الشكل (5-26) العلاقة بين مقاومة الضغط الأسطوانية ومقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) لعينات خرسانة SCC التي تم اعتمادها سابقا عند العمر 28 يوم.



الشكل (5-26)

العلاقة بين مقاومة الضغط الأسطوانية ومقاومة الشد بالفلق لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم

نلاحظ من الجدول (5-6) والشكل (5-26) أن مقاومة الشد غير المباشر (مقاومة الشد بالفلق) تساوي تقريباً 10% من مقاومة الضغط الأسطوانية لعينات خرسانة SCC.

### 5.2.5. مقاومة الشد بالانعطاف:

تجرى التجربة عادة على عينة خرسانية موشورية الشكل، حيث توضع على مسندين وتطبق عليها قوتين مركبتين على بعد الثلث من المساند.

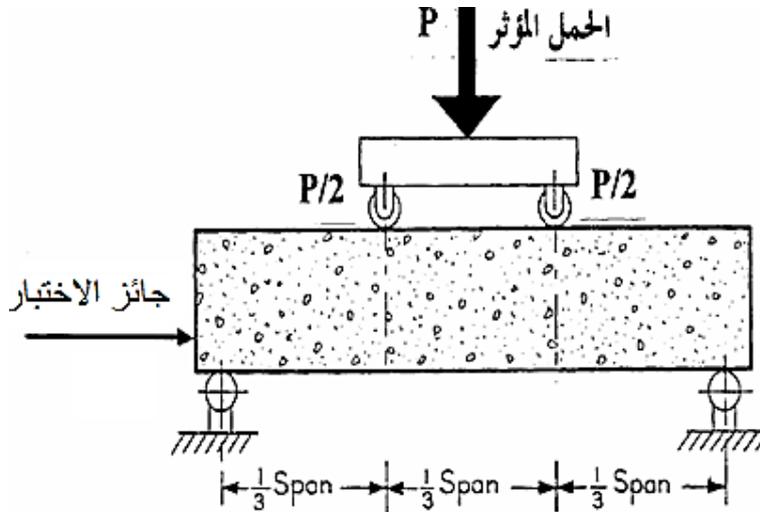
تؤخذ ابعاد العينة الخرسانية (55×10×10)cm أو (70×15×15)cm، تخضع العينة بعد صبها وحفظها بالشروط النظامية لمدة 28 يوم لتأثير القوتين المركبتين التي شدة كل منهما (P<sub>max</sub>/2)، وتزداد القوة تدريجياً حتى يتم الانكسار في المقطع المركزي للعينة تحت تأثير الانعطاف كما هو مبين بالشكل (5-27). حيث يسجل حمل الكسر (P<sub>max</sub>) وتحسب مقاومة الشد بالانعطاف من العلاقة التالية:

$$\text{مقاومة الشد بالانعطاف} = \frac{M_{\max} \times Y}{I}$$

$$M = \frac{P \times L}{6} \text{ : عزم الانعطاف المطبق.}$$

$$Y = \frac{h}{2} \text{ : بعد أبعد مقطع عن المحور السليم.}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \text{ : عزم العطالة للمقطع.}$$



الشكل (5-27)

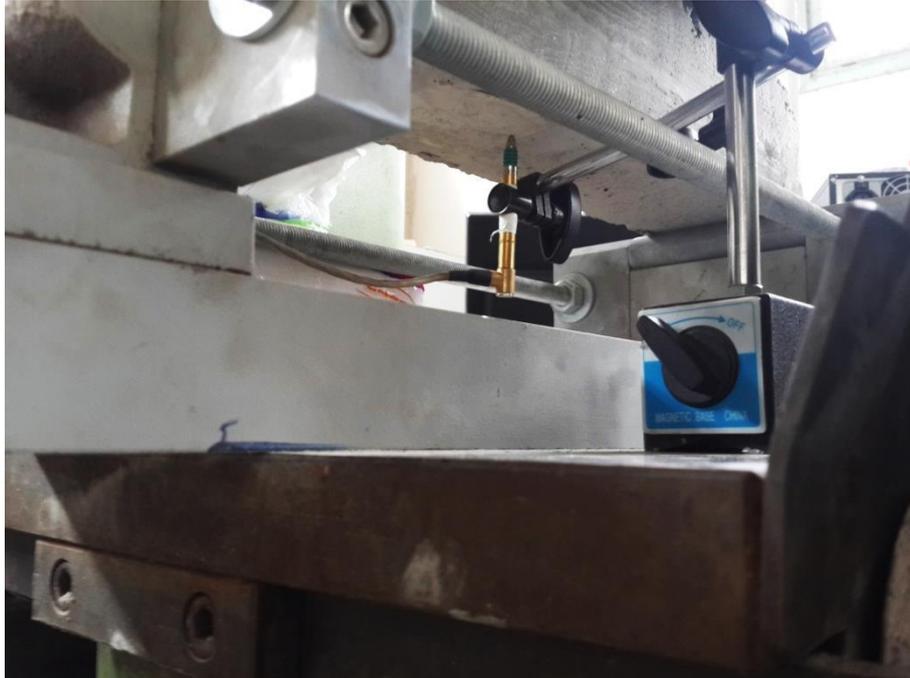
شكل العينة في اختبار الشد بالانعطاف

تم في هذا البحث صب عينات موشورية ذات الابعاد (55×10×10)cm وتم تركيب حساسين (حساس للضغط مركب على جهاز الضغط المحوري وحساس أسفل منتصف العينة الموشورية لقراءة السهم الناتج عن القوة الأعظمية التي تتحملها العينة) كما هو مبين بالشكلين (5-28) و (5-29).



الشكل (5-28)

تحضير العينة الموشورية للاختبار



الشكل (5-29)

تحضير العينة الموشورية للاختبار

وتم ربط هذه الحساسات إلى حاسوب كما هو مبين بالشكل (5-30) لقراءة النتائج التي تظهر على

شكل ملف EXCEL.



الشكل (5-30)

تحضير العينة الموشورية للاختبار

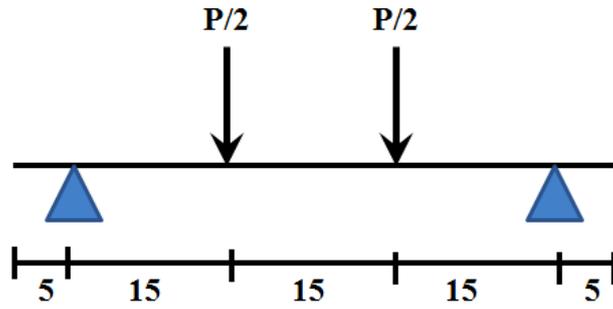
يبين الشكل (5-31) أحد المواشير بعد الانتهاء من التجربة.



الشكل (5-31)

العينة الموشورية بعد انهيارها

يبين الشكل (5-32) رسماً توضيحياً للجائز الذي يتم تطبيق القوة عليه.



الشكل (5-32)

القوى المطبقة على الجائز أثناء التجربة

كما يبين الجدول (5-7) مقاومة الشد بالانعطاف للخلطات الخرسانية ذاتية الارتصاص (SCC) التي

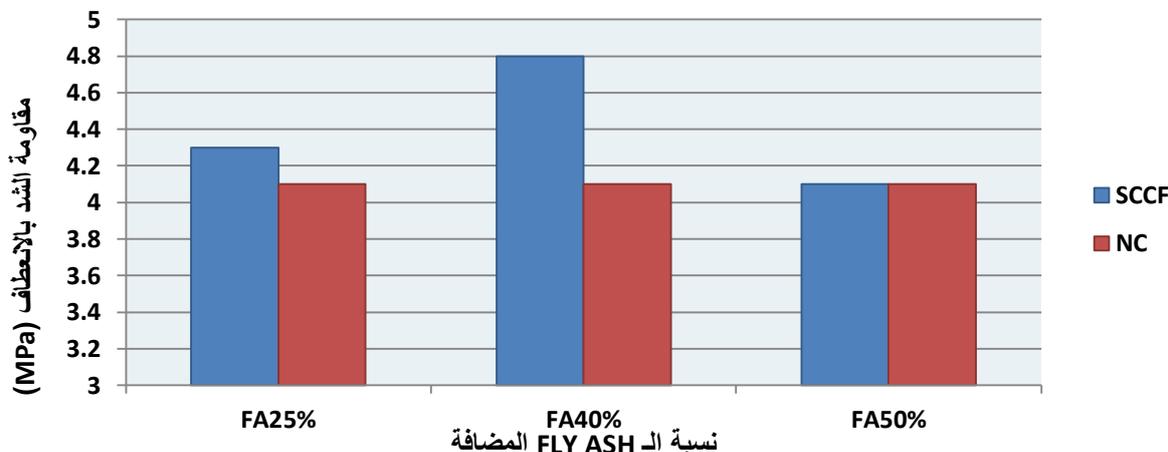
تم اعدادها سابقا عند العمر 28 يوم.

الجدول (5-7)

قيم مقاومة الشد بالانعطاف

اسم الخلطة	نسبة المادة المألثة للإسمنت	قوة الانهيار (kg)	السهم (mm)	عزم الانعطاف (kg·cm)	الإجهاد (MPa)	مقاومة الشد بالانعطاف (MPa)	نسبة زيادة اجهاد الشد بالانعطاف (%)
NC	لا يوجد	984	0.31	7380	4.4	4.1	-
		820	0.29	6150	3.7		
		964	0.18	7230	4.3		
SCCF25	25%	873	0.43	6547.5	3.9	4.3	5
		980	0.40	7350	4.4		
		1030	0.35	7725	4.6		
SCCF40	40%	976	0.38	7320	4.4	4.8	17
		1143	0.33	8572.5	5.1		
		1080	0.34	8100	4.9		
SCCF50	50%	921	0.19	6907.5	4.1	4.1	0
		949	0.21	7117.5	4.3		
		890	0.20	6675	4		
SCCD25	25%	980	0.46	7350	4.4	4.9	19.5
		1117	0.39	8377.5	5		
		1198	0.39	8985	5.4		
SCCD40	40%	1075	0.45	8062.5	4.8	4.5	10
		907	0.43	6802.5	4.1		
		1059	0.44	7942.5	4.7		
SCCD50	50%	840	0.30	6300	3.8	3.8	-7
		870	0.26	6525	3.9		
		820	0.35	6150	3.7		

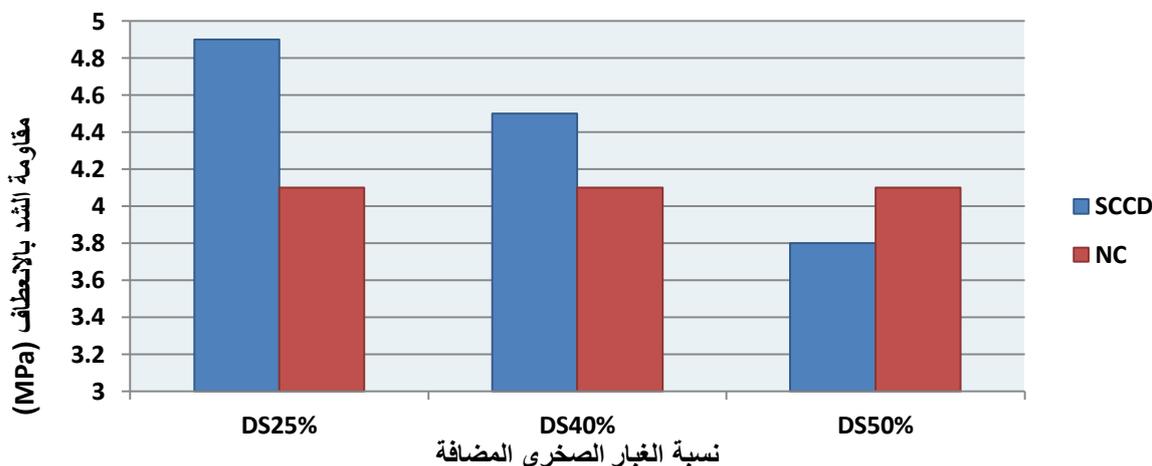
يبين الشكل (5-33) والشكل (5-34) مقارنة بين مقاومة الشد بالانعطاف للخرسانة العادية NC والخرسانة ذاتية الارتصاص SCC المضاف لها نسب مختلفة من المادة المألثة (Fly Ash) والغبار الصخري على التوالي وذلك عند العمر 28 يوم.



الشكل (5-33)

مقاومة الشد بالانعطاف للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من FLY ASH عند العمر 28 يوم

نلاحظ من الشكل (5-30) والجدول (5-7) أن مقاومة الشد بالانعطاف تتحسن بإضافة (Fly Ash) لتصل نسبة التحسن في المقاومة إلى 17% عند إضافة 40% من الـ (Fly Ash).



الشكل (5-34)

مقاومة الشد بالانعطاف للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الارتصاص المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري عند العمر 28 يوم

من الشكل (5-34) والجدول (5-7) نلاحظ أن مقاومة الشد بالانعطاف تتحسن عند إضافة الغبار الصخري إلا أن هذا الازدياد في المقاومة يتناقص عند زيادة نسبة الإضافة.

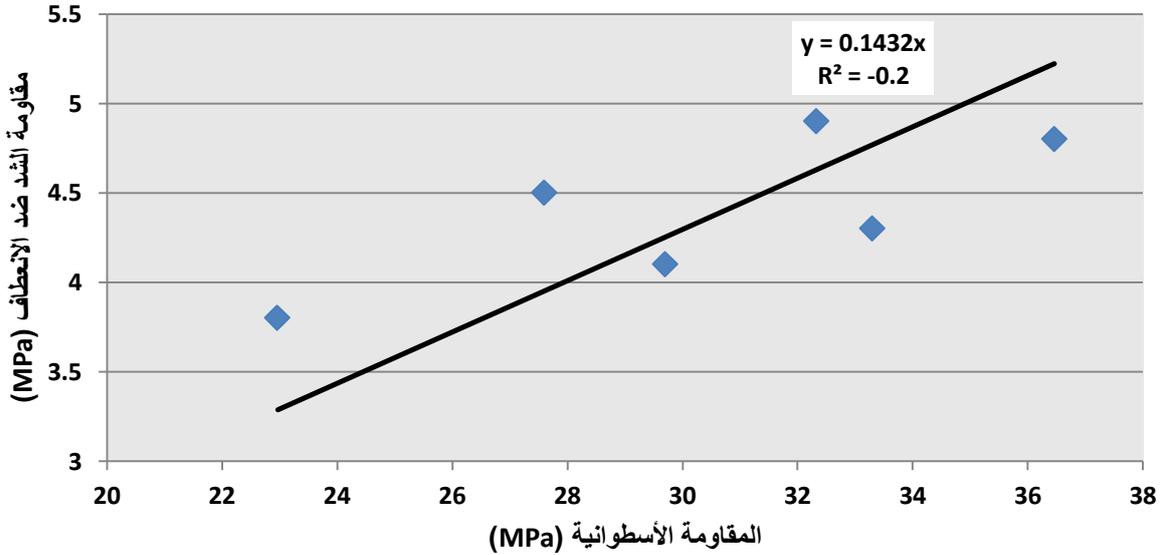
يبين الجدول (5-8) نسبة مقاومة الشد بالانعطاف إلى مقاومة الضغط الأسطوانية لمختلف عينات الخلطات الخرسانية.

الجدول (5-8)

نسبة مقاومة الشد بالانعطاف إلى مقاومة الضغط الأسطوانية لمختلف عينات الخلطات الخرسانية

اسم الخلطة	مقاومة الضغط الأسطوانية P (MPa)	مقاومة الشد بالانعطاف T (MPa)	T/P (%)
NC	25	4.1	16.4
SCCF25	33.3	4.3	12.9
SCCF40	36.5	4.8	13.2
SCCF50	29.7	4.1	13.8
SCCD25	32.3	4.9	15.2
SCCD40	27.6	4.5	16.3
SCCD50	23	3.8	16.5

كما يبين الشكل (5-35) العلاقة بين مقاومة الضغط الأسطوانية ومقاومة الشد ضد لانعطاف لعينات خرسانة SCC التي تم اعتمادها سابقا عند العمر 28 يوم.



الشكل (5-35)

العلاقة بين مقاومة الضغط الأسطوانية ومقاومة الشد بالانعطاف لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم

من الشكل (5-35) نلاحظ بأن مقاومة الشد بالانعطاف تساوي تقريبا 14% من مقاومة الضغط الأسطوانية لعينات خرسانة SCC.

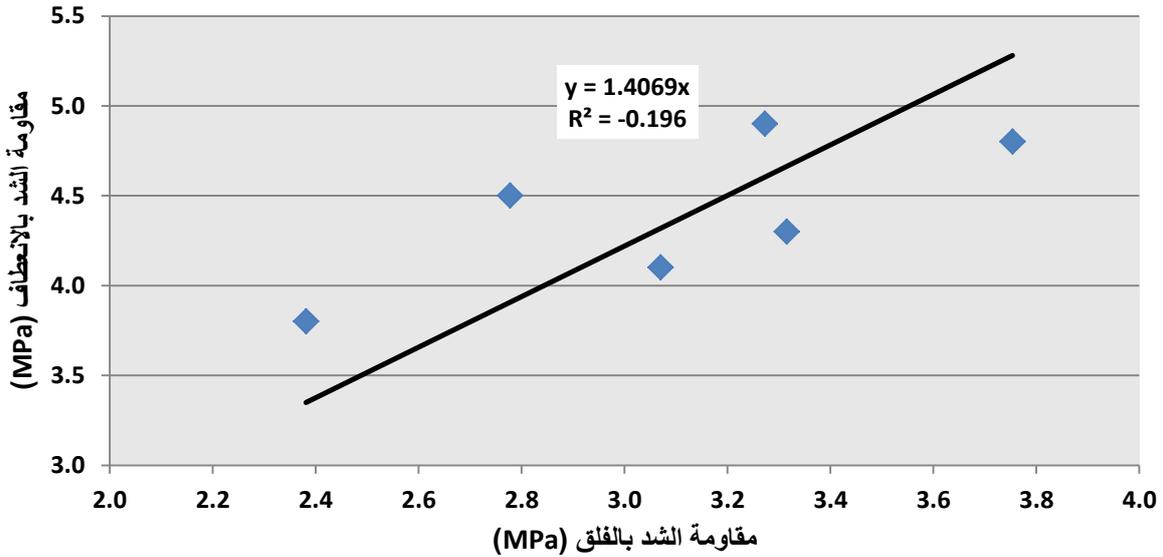
يبين الجدول (5-9) نسبة مقاومة الشد بالانعطاف إلى مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) لمختلف عينات الخلطات الخرسانية.

الجدول (5-9)

نسبة مقاومة الشد بالانعطاف إلى مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) لمختلف عينات الخلطات الخرسانية

اسم الخلطة	مقاومة الشد بالفلق T <sub>1</sub> (MPa)	مقاومة الشد بالانعطاف T <sub>2</sub> (MPa)	T <sub>2</sub> /T <sub>1</sub>
NC	2.5	4.1	1.6
SCCF25	3.3	4.3	1.3
SCCF40	3.8	4.8	1.3
SCCF50	3.1	4.1	1.3
SCCD25	3.3	4.9	1.5
SCCD40	2.8	4.5	1.6
SCCD50	2.4	3.8	1.6

كما يبين الشكل (5-36) العلاقة بين مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) ومقاومة الشد ضد لانهطاف لعينات خرسانة SCC التي تم اعتمادها سابقا عند العمر 28 يوم.



الشكل (5-36)

العلاقة بين مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) ومقاومة الشد بالانهطاف لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم

من الشكل (5-36) نلاحظ بأن مقاومة الشد بالانهطاف تساوي 1.4 مرة من مقاومة الشد غير المباشر (الشد بالفلق) لعينات خرسانة SCC.

## الفصل السادس: الخلاصة والتوصيات

### Chapter 6: Conclusions & Recommendations

#### 1.6 . مقدمة:

تتزايد أهمية الخرسانة ذاتية الارتصاص حيث أصبحت تلقى رواجاً شديداً لما لها من مميزات يمكن من خلالها تنفيذ المنشآت الهندسية بزمان وكلفة أقل من الخرسانة العادية التي تحتاج إلى رج.

#### 2.6 . النتائج العامة:

##### 1.2.6 . الفصل الثاني:

لم تحدد الأبحاث والمراجع والأنظمة طرقاً قياسية للوصول إلى خلطة خرسانة SCC، كما هو الحال في الخلطات الخرسانية العادية.

1. أشارت العديد من الأبحاث إلى أن النسب المتساوية تقريباً للبحص والرمل أمر هام وأساسي لاستقرار خلطة خرسانة ال SCC.

2. تشير الأبحاث والدراسات إلى أن هناك تنوع كبير في المواد المألثة (Filler) التي يمكن استخدامها في تحضير خلطة خرسانة ال SCC وهذه تتوقف على المواد الأولية المتوفرة والمقاومة المطلوبة للخرسانة.

##### 2.2.6 . الفصل الثالث:

1. حدد الدليل الأوربي كيفية قياس خواص الخرسانة الطرية ذاتية الارتصاص SCC معطياً تجارب أساسية وأخرى بديلة واعتمدت عليها جميع شركات الدراسة الهندسية العالمية المهتمة بهذا الموضوع.

2. لم يعط الدليل الأوربي أي توصيات محددة عن الطرائق التي يجب استعمالها في الموقع أو المخبر، لكن وباعتبارات عملية يبدو من المنطقي أن التجارب المقبولة في الموقع تعتمد على تجربة تدفق المخروط فقط مع قياس الزمن اللازم للوصول إلى الدائرة (500mm) في تجربة المخروط.

##### 3.2.6 . الفصل الرابع:

1. تتماثل الخرسانة ذاتية الارتصاص بموادها مع الخرسانة العادية NC بفارقين هما المادة المألثة للفراغات (Filler) والملدن الخاص بخلطة SCC.

2. تم استخدام مواد محلية متوفرة في القطر العربي السوري أما بالنسبة للملدن وهو من الصنف (Epsilone HP 585) انتاج شركة (SODAMCO)، إن تحديد نسبته تعود للشركة الصانعة ولنوع المواد المحلية وبتنفيذ عدة تجارب فإن النسبة %2.2 من وزن المواد الناعمة أعطت أفضل النتائج.

3. تبين الدراسات الحديثة [20، 21، 22] أن الاعتماد على دراسة التدرج الحبي لخليط المواد المكونة لخرسانة SCC أفضل من الاعتماد على نسب تساوي البحص والرمل.
4. تراوحت قيم الانتشار الكلي في تجربة المخروط (Slump flow) بين (76.5-84) أما الزمن اللازم للوصول لدائرة (500mm) فكانت في كافة التجارب أقل من (6sec).
5. أعطت تجربة الصندوق L-قابلية مرور وصلت إلى 89% باستخدام البوابة الثلاثية القضبان والتي تتوافق مع التسليح الكثيف.
6. تراوحت قيم النتائج المقاسة في تجربة القمع بين (11.2-16.8sec) وهي تتوافق مع مجال القيم المسموحة من (9-25sec) حسب توصيات الدليل الأوربي.
7. بالنسبة لتجربة استقرار المنخل فقد أشارت النتائج إلى قوام متجانس وبعيد عن حصول ظاهرة الفصل (Segregation) إذ تراوحت النسبة بين (10.5-13.9%) وهي اقل من 15% التي نصت عليها توصيات الدليل الأوربي.

#### 4.2.6. الفصل الخامس:

1. أعطت تجارب الضغط المحوري على عينات مكعبية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الرماد المتطاير (Fly Ash) قيماً للمقاومة المكعبية تراوحت بين (24.1-29.3MPa) عند العمر 7 أيام وبين (39.1-47.3MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة عند العمرين كانت عند نسبة إضافة 40%.
2. أعطت تجارب الضغط المحوري على عينات مكعبية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري قيماً للمقاومة المكعبية تراوحت بين (19.5-27.3MPa) عند العمر 7 أيام وبين (30.5-41.3MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة عند العمرين كانت عند نسبة إضافة 25%.
3. بمقارنة النتائج التي حصلنا عليها لمقاومة الضغط المكعبية عند العمرين 7 و 28 يوم تبين لنا بأن مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 28 يوم تساوي تقريباً 1.55 مرة من مقاومة الضغط المكعبية عند العمر 7 أيام.
4. أعطت تجارب الضغط المحوري على عينات أسطوانية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الرماد المتطاير (Fly Ash) قيماً للمقاومة الأسطوانية تراوحت بين (29.7-36.5MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة كانت عند نسبة إضافة 40%.

5. أعطت تجارب الضغط المحوري على عينات أسطوانية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري قيماً للمقاومة الاسطوانية تراوحت بين (23-32.3MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة كانت عند نسبة إضافة 25%.
6. بالاستفادة من النتائج التي حصلنا عليها قمنا بتدقيق عامل التصحيح اللازم لتحويل المقاومة المكعبية للمكعب ذو الأبعاد (10×10×10)cm إلى مقاومة اسطوانية وتبين لنا أن عامل التصحيح الناتج عن الدراسة التجريبية مطابق لعامل التصحيح الموجود في جداول الكود العربي السوري.
7. أعطت تجارب الشد غير المباشر على عينات أسطوانية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الرماد المتطاير (Fly Ash) قيماً لمقاومة الشد غير المباشر تراوحت بين (3.1-3.8MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة كانت عند نسبة إضافة 40%.
8. أعطت تجارب الشد غير المباشر على عينات اسطوانية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري قيماً لمقاومة الشد غير المباشر تراوحت بين (2.4-3.3MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة كانت عند نسبة إضافة 25%.
9. بدراسة النتائج التي حصلنا عليها لمقاومة الضغط الاسطوانية ومقاومة الشد غير المباشر تبين لنا أن مقاومة الشد غير المباشر (مقاومة الشد بالفلق) تساوي تقريباً 10% من مقاومة الضغط الاسطوانية لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم.
10. أعطت تجارب الشد بالانعطاف على عينات موشورية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الرماد المتطاير (Fly Ash) قيماً لمقاومة الشد بالانعطاف تراوحت بين (4.1-4.8MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة كانت عند نسبة إضافة 40%.
11. أعطت تجارب الشد بالانعطاف على عينات موشورية من الخلطات المضاف لها نسب مختلفة من الغبار الصخري قيماً لمقاومة الشد غير المباشر تراوحت بين (3.8-4.9MPa) عند العمر 28 يوم وأكبر قيمة للمقاومة كانت عند نسبة إضافة 25%.
12. بدراسة النتائج التي حصلنا عليها لمقاومة الضغط الاسطوانية ومقاومة الشد بالانعطاف تبين لنا أن مقاومة الشد بالانعطاف تساوي تقريباً 14% من مقاومة الضغط الاسطوانية لعينات خرسانة SCC عند العمر 28 يوم.
13. بدراسة النتائج التي حصلنا عليها لمقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الشد بالانعطاف تبين لنا أن مقاومة الشد بالانعطاف تساوي تقريباً 1.4 مرة من مقاومة الشد غير المباشر لعينات خرسانة SCC عند العمر 28.

14. نلاحظ أن مقاومة الخرسانة تحسنت عند استخدام (Fly Ash) في نسب الاضافة الثلاث، وكذلك فإن المقاومة تحسنت عند إضافة (Dust Stone) بنسب 25% و 40% وانخفضت عند نسبة إضافة 50% إلا أن هذه المقاومة بقيت جيدة مما يسمح لنا باستخدام هذه الإضافات في بيتون لا تلعب فيه المقاومة شرطاً ضرورياً.

### 3.6. المقترحات والتوصيات:

1. إجراء دراسات لمعرفة تأثير استبدال نسبة من الإسمنت بالرماد المتطاير (Fly Ash) أو الغبار الصخري على مقاومة الشد والضغط لخرسانة SCC.
2. إجراء دراسة للعامل الاقتصادي وانعكاس كلفة الملدن و الرماد المتطاير (Fly Ash) أو الغبار الصخري على كلفة ( $1m^3$ ) من الخرسانة.
3. دراسة الالتحام في خرسانة SCC المسلحة.
4. دراسة تأثير الألياف (الزجاجية - بولي بروبيلين وغيرها) على مقاومة هذه الخرسانة.
5. دراسة لتحديد نوع الملدن المتوافق مع المادة المألئة (Filler) ونسبة الملدن المثالية للحصول على خلطة خرسانة SCC.
6. إجراء دراسات لتحديد آليات الانكسار في العينات الخرسانية.
7. صب عدد من الجوائز والأعمدة وإجراء تجارب عليها وإجراء قياسات لمعرفة سلوكها الإنشائي.

---

## References      المراجع

---

- [1] BARTOS J. M., 2000- **Measurement of Key Properties of Fresh Self-Compacting Concrete**. CEN/PNR Workshop, Paris.
- [2] OZAWA K., MAEKAWA K., KUNISHIMA M. & Okamura H., 1989- **Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures**. *EASEC-2, Vol. 1*, 445-450.
- [3] FERRARIS C. F., 1999- **Measurement of the Rheological Properties of High-Performance Concrete**. *J. Res. Natl. Inst. Techn.*, **Vol. 104**, 5, 461-477.
- [4] GANGE R., PIGEON M. & AITCIN P. C., 1989- **Deicer Salt Scaling Resistance of High Performance Concrete**. *Paul klieger symposium on performance of concrete*, p-122.
- [5] OKAMURA H., 1997- **Self-Compacting High-Performance Concrete**. *Concrete International*, 50-54.
- [6] **Concrete in practice WHAT, WHY, HOW? NRMCA National Ready Mixed Concrete Association**. 900 Spring Street, Silver Spring, MD 20910  
\*www.nrmca.org\* 888-84 NRMCA 2004.
- [7] KSHIMA S., KANAZAWA K., OKADA R. & YOSHIKAWA S., 1999- **Application of Self Compacting Concrete Made with Low-Heat Cement for Bridge Substructures of Honshu-Shikoku Bridge Authority**. *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*, 255-261.
- [8] OKAMURA H. & OUCHI M., 2003- **Self Compacting Concrete**. *Japan concrete institute*, 5-15.
- [9] OKAMURA H. & OZAWA K., 1995- **Mix-Design for Self Compacting Concrete**. *Concrete Library of JSCE*, **25**, 107-120.
- [10] SUBRAMANIAN S. & CHATTOPADHYAY D., 2002- **Experiments for Mix Proportioning of Self-Compacting Concrete**. *The Indian Concrete Journal*, 13-20.

- [11] CRISTIAN D., 2003- **Tensile Strength and Bonding Characteristics of Self-Compacting Concrete**. M.Sc. Thesis, University of Bucharest.
- [12] DINKAR P., BABU K. G. & SANTHANAM M., 2008- **Durability Properties of High Volume Fly Ash Self-Compacting Concrete**. *Cement & Concrete composites*, **30**, 880-886.
- [13] BEKIR TOPCU I., BILIR T., LU T. U., 2009- **Effect of Waste Marble Dust Content as Filler on Properties of Self-Compacting Concrete**, *Construction and Building Materials*, **23**, 1947-1953.
- [14] SURABHI C. S., SOMAN M., PRAKASH S. V., 2009- **Influence of Limestone Powder on Properties of Self-Compacting Concrete**. 10<sup>th</sup> National Conference on Technological Trends (NCTT09), 159-164.
- [15] SAEED K. R. & MOHAMMED R. I., 2012- **The Effect of Filler Types and Superplastizier on the Workability**. *Al-Rafidain Engineering*, **20(2)**, 42-54.
- [16] م. رانيا ضاهر، 2008- سلوكية البيتون ذاتي الاكتناز. أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية. كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب.
- [17] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use. 2005.
- [18] AL-FEEL J. R. & AL-SAFFAR N. S., 2009- **Properties of Self Compacting Concrete at Different Curing Condition and their Comparison with properties of Normal Concrete**. *Al-Rafidain Engineering*, **17(3)**, 30-38.
- [19] **EPSILONE HP 585**, High Performance Concrete Hyperplasticizer.
- [20] GRUBE H. & RICKERT J., 2009- **Self Compacting Concrete - Another Stage in the Development of the 5 Component System of Concrete**. 39-48.
- [21] KORDTS S. & BREIT W., 2009- **Assessment of the Fresh Concrete Properties of Self Compacting Concrete**. 113-124.
- [22] KORDTS S. & BREIT W., 2009- **Controlling the Workability Properties of Self Compacting Concrete Used as Ready-Mixed Concrete**. 103-112.

## **Abstract**

Self-compacting concrete is considered flow-able and compacted concrete under its own weight only without segregation of the concrete components, so that the concrete can completely fill the mold and encase reinforcement bars without need of any mechanical enhancements (vibration).

In the first chapter, the importance and evolution of concrete have been demonstrated. Japanese researcher have found that the only solution for making high sustainability concrete structures apart from workers performance during concrete pouring is to acquire a concrete which is able to fill the formwork in all of its places and angels under its own weight solely and without need of vibration in order to accomplish the compaction which guarantees sustainability.

In the second chapter, a number of modern researches related to self-compaction concrete have been demonstrated. Those researches clarified the importance of this type of concrete, its features and differences between it and normal concrete and how to accomplish self-compaction concrete using various materials and add-ons.

In the third chapter, a description of the appliances and equipment used in the tests of this type of concrete. Also tests related to self-compaction concrete in the soft state have been explained, those tests aim to establish the three properties of self-compaction concrete in the soft state:

- Filling ability.
- Passing ability.
- Resistance to segregation.

The forth chapter included a study of the properties of materials used in the tests (Aggregates, cement and plasticizer) in addition to void filling material (filler), where sieve analysis and sand equivalent of aggregates have been conducted. The main difference between self-compaction concrete and normal concrete is the presence of the filler. In this research, two types of fine add-ons from industrial wastes (fly ash and dust stone). Later the amount of materials used in preparing the studied mixtures has been determined.

The fifth chapter was devoted to view the results of the empirical study conducted on chosen mixtures in this research. The results showed that self-compaction concrete samples with different ratios of fly ash have (compaction, indirect tension and tension by bending) strengths higher than normal concrete. The highest ratio of increase in strengths was obtained by adding fly ash to cement with a ratio of 40%.

Self-compaction concrete samples with different ratios of dust stone gave (compaction, indirect tension and tension by bending) strengths higher than normal concrete when adding dust stone to cement with ratios of 25% and 40%, but strengths decreased when adding dust stone by 50%. The highest increase in strengths was obtained by adding dust stone to cement with a ratio of 25%.

Empirical study of cubical compaction strength at age of 7 and 28 showed that the cubical compaction strength at the age of 28 almost equals 1.55 times the cubical compaction strength at the age of 7.

In this research, fly ash and dust stone have been added to the cement in variable ratios to achieve self-compacting concrete mixtures. The empirical study showed that the correction coefficient needed to transfer cubical strength of a (10×10×10) cm cube to cylindrical strength is identical to the correction coefficient presented in the Syrian Code.

The empirical study of this research also showed the relation between different strengths of self-compaction concrete samples. The indirect tension strength equaled approximately 10% of the cylindrical compaction strength and strength of tension by bending equals approximately 17% of the cylindrical compaction strength.

The sixth chapter contained the general results in addition to conclusions and recommendations.

*Aleppo University*

*Faculty of Civil Engineering*

*Department of Structural Engineering*



*Tensile and Compression Strength of  
Self-Compacting Concrete  
(Experimental Study)*

*A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master  
of Science Degree in Structural Engineering*

*Submitted by  
Eng. Ahmad Dibou*

*Supervised by  
Dr. Souheil Al-Janzir  
Professor at the department of Structural Engineering  
Faculty of Civil Engineering - University of Alepp*

*Aleppo University*

*Faculty of Civil Engineering*

*Department of Structural Engineering*



*Tensile and Compression Strength of  
Self-Compacting Concrete  
(Experimental Study)*

*A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master  
of Science Degree in Structural Engineering*

*Submitted by*

*Eng. Ahmad Dibou*