



كلية الهندسة - جامعة بغداد

## Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

جمعية كليات الهندسة  
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

### دراسة تجريبية وإحصائية لأهم العوامل المؤثرة على مقاومة القص لأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح عرضي

وعد إبراهيم الخطيب<sup>1\*</sup>، غاندي علي ججاج<sup>2</sup>

<sup>1</sup> قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، waedalkhateeb@tishreen.edu.sy

<sup>2</sup> قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، ghandyalijahjah@tishreen.edu.sy

الباحث الممثل: وعد إبراهيم الخطيب، khateb79@yahoo.com

نشر في: 30 حزيران 2021

**الخلاصة** – ظهرت الخرسانة ذاتية الارتصاص في نهاية الثمانينات في اليابان، وطور أول نموذج منها في جامعة طوكيو لغرض تحسين ديمومة الخرسانة المصبوب، حيث يمكن قولبتها بتأثير وزنها الذاتي فقط بدون استخدام رجاجات عبر حديد التسليح الكثيف وتملاً القوالب لتعطي خرسانة مكتنزة وأسطحاً مستوية. نعرض في بحثنا دراسة إحصائية وتجريبية لتقويم تأثير (المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط  $(f'_c)$ )، نسبة التسليح الطولي ( $\rho$ )، معامل تأثير الحجم ( $a/d$ ) (نسبة بعد القوة المسلطة على العتب عن المسند إلى الارتفاع الفعال للمقطع العرضي)، الارتفاع الفعال للمقطع العرضي ( $d$ ) على مقاومة القص في الأعتاب الخرسانية ذاتية الارتصاص بدون تسليح عرضي اعتماداً على إجراء دراسة تجريبية محلية شملت 21 عتباً من الخرسانة ذاتية الارتصاص، بالإضافة إلى العديد من التجارب التي أجريت في هذا المجال وشملت أكثر من 150 عتباً موزعة على أكثر من 20 بحث عالمي، ثم حساب مقاومة وإجهاد القص وفق علاقات الحساب للخرسانة العادية المعتمدة في الكود الأسترالي (AAS3600-2009)، والأمريكي (ACI 318-2014)، والبريطاني (BS 8110-1997)، وعلاقة (Frosh 2003) وإجراء المقارنات اللازمة، وخلصت الدراسة إلى أن إجهاد القص الاسمي للأعتاب الخرسانية ذاتية الارتصاص بدون تسليح عرضي يزداد بزيادة المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط  $(f'_c)$ ، ونسبة التسليح الطولي في منطقة الشد  $(\rho)$ ، وبتقصان الارتفاع الفعال للمقطع العرضي ( $d$ ) ومعامل الحجم ( $a/d$ )، كما لوحظ أن علاقة إجهاد القص وفق الكود الأسترالي تعطي قيمة أقرب للقيم التجريبية بالنسبة للمتغيرات التي تم دراستها في هذه الورقة البحثية.

**الكلمات الرئيسية** – مقاومة القص، الخرسانة ذاتية الارتصاص، معامل تأثير الحجم، تحليل احصائي، ميل الانحدار الخطي."

#### 1. المقدمة

تعد الخرسانة ذاتية الارتصاص Self-Compacting Concrete (SCC) أحد أهم أنواع الخرسانة عالية الأداء وهي تتمتع بقابلية ملء القوالب دون الحاجة لرج، مع مقاومة انفصال الحصى ونزف الأسمنت أثناء التدفق. ظهر مفهوم هذه الخرسانة عام 1986 في اليابان من قبل البرفسور (Okamura) وتم تطوير النموذج الأولي في اليابان عام 1988 من قبل البرفسور (Ozawa) في جامعة طوكيو [4].

مكونات خلطة الخرسانة ذاتية الارتصاص: الأسمنت، الرمل، الحصى، الإضافات الكيميائية (ملدنات مخفضات الماء أو معدلات للزوجة)، المادة المالئة Filler (مواد ناعمة كالرماد المتطاير، غبار السيليكا ...) وهذا ما يجعل سلوك الخرسانة ذاتية الارتصاص مختلفاً عن سلوك الخرسانة العادية سواء على الانعطاف أو القص حيث ركزت العديد من الأبحاث على سلوك القص لهذا النوع من الخرسانة، وتطرق إلى العوامل المؤثرة على مقاومته للقص ومنها: المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط  $(f'_c)$ ، نسبة التسليح الطولي ( $\rho$ )، معامل تأثير الحجم ( $a/d$ )، الارتفاع الفعال للمقطع العرضي ( $d$ ) وأوصت بالتوسع في دراستها [13].

#### 2. هدف البحث وأهميته

تهدف دراستنا في هذا البحث إلى تقويم تأثير (المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط  $(f'_c)$ )، نسبة التسليح الطولي ( $\rho$ )، معامل تأثير الحجم ( $a/d$ )، الارتفاع الفعال للمقطع العرضي ( $d$ ) على مقاومة القص لأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح قص، حيث تكمن أهمية بحثنا هذا في:

- إجراء دراسة تجريبية لمجموعة أعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص المصنعة محلياً بدون تسليح عرضي.
- تقييم العديد من الدراسات المرجعية ونتائج الاختبار لأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح قص، وإجراء دراسة إحصائية على النتائج التجريبية ونتائج الحساب وفق العلاقات المعتمدة للخرسانة العادية في الكود الأسترالي (AAS3600-2009)، والكود الأمريكي (ACI2014)، والكود البريطاني (BS8110-1997)، وعلاقة (Frosh2003).

d- الارتفاع الفعال للمقطع العرضي (mm).

$f_{cu}$  - مقاومة الضغط المكعبية للخرسانة (MPa).

b- عرض المقطع العرضي (mm).

$\frac{a}{d}$  - معامل تأثير الحجم.

a- بعد نقطة تطبيق القوة عن المسند (mm).

#### 4.3 الكود الأمريكي [I] ACI 318 14

تعطى مقاومة القص للأعتاب الخرسانية غير المسلحة على القص وفق الكود الأمريكي بالعلاقة:

$$(3) V_c = (\sqrt{f_c} + 120\rho \frac{V_{ud}}{M_u}) bd/7$$

حيث:  $f_c$  - المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط بـ (MPa).

$\rho$  - نسبة التسليح الطولي.

$M_u$  - العزم الحدي عند المقطع الذي يتم حساب مقاومة القص فيه.

$V_u$  - القص الحدي عند المقطع الذي يتم حساب مقاومة القص فيه.

$b, d$  أبعاد المقطع العرضي بـ (mm).

#### 4.4 علاقة [24] FROSH 2003

$$V_c = 0.42f_c^{0.5} bc \quad (4)$$

حيث:  $f_c$  - المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط بـ (MPa).

b- عرض المقطع العرضي (mm).

c - ارتفاع منطقة الضغط (mm)، وتعطى بالعلاقة:

$$c = \left[ \sqrt{2\rho \times n + (\rho \times n)^2} - \rho \times n \right] \times d$$

d- الارتفاع الفعال للمقطع العرضي (mm).

$\rho$  - نسبة التسليح الطولي المشدود (%).

n - أمثال التعادل وتعطى  $n = \frac{E_s}{E_c}$

$E_s$  - معامل مرونة فولاذ التسليح (MPa).

$E_c$  - معامل مرونة الخرسانة (MPa).

#### 5. الدراسة المرجعية

تم اعتماد نتائج مجموعة من الدراسات المرجعية بلغ عددها 22 بحثاً تضمنت أكثر من 150 أعتاباً من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح عرضي، تنوعت فيها العوامل المؤثرة على مقاومة القص كما هو مبين في الجدول (1).

#### 6. الدراسة التجريبية

تتضمن الدراسة تصميم خلطة خرسانة ذاتية الارتصاص لـ 21 عتباً من مواد محلية مبينة في الشكل (1) وهي حصى حسياء بقطر أعظم (12.5mm) ورمل بحري بمكافئ رمل (95.59) وحصى مكسر بقطر

### 3. طرائق البحث ومواده

تم اعتماد المنهج الاحصائي-التحليلي في تقييم تأثير علاقة حساب مقاومة القص المعتمدة في الكود الاسترالي (2009-2009 AAS3600)، والكود الأمريكي (2014 ACI)، والكود البريطاني (1997-2009 BS8110)، وعلاقة (2003 Frosh)، اعتماداً على نتائج الدراسة التجريبية التي أجريتها محلياً بالإضافة لنتائج الدراسات المرجعية لأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح قص وذلك بتغيير العوامل المؤثرة على مقاومة القص وتم حساب قيم ميل الانحدار الخطي لهذه الغاية (Slope of linear regression).

### 4. علاقات حساب مقاومة القص

#### 4.1 الكود الاسترالي [8] AS3600-2009

يتم حساب مقاومة القص للأعتاب الخرسانية بدون تسليح عرضي وفق الكود الاسترالي بالعلاقة:

$$(1) V_c = \beta_1 \beta_2 \beta_3 b_v d_0 f_{cv} \left( \frac{A_{st}}{b_v d_0} \right)^{1/3}$$

حيث:

$\beta_1$  - عامل تأثير ارتفاع المقطع العرضي ويؤخذ للعناصر بدون تسليح

$$\beta_1 = 1.1 \left( 1.6 - \frac{d_0}{1000} \right) \geq 0.8$$

$\beta_2$  - عامل القوة المحورية ويؤخذ للعناصر غير المعرضة لقوى محورية  $\beta_2 = 1$

$\beta_3$  - عامل يؤخذ  $\beta_3 = 1$  or  $\frac{2d_0}{a_v} \leq 2$  إذا كانت منطقة الضغط القطري على كامل مجال القص  $a_v$ .

$a_v$  (مجال القص أي بعد القوة المؤثرة عن المسند (mm).

$f_{cv}$  - عامل مقاومة الخرسانة ويعطى بالعلاقة

$$f_{cv} = (f_c)^{1/3} \leq 4 \text{ MPa}$$

$f_c$  - مقاومة الانضغاط للخرسانة بـ (MPa).

$b_v$  - عرض المقطع العرضي (mm).

$d_0$  - الارتفاع الفعال للمقطع العرضي (mm).

$A_{st}$  - مساحة التسليح الطولي لمنطقة الشد (mm<sup>2</sup>).

#### 4.2 الكود البريطاني [11] BS8110-1997

يعطى الكود البريطاني مقاومة القص للأعتاب الخرسانية بدون تسليح عرضي بالعلاقة

$$(2) V_c = \left[ 0.79(100\rho)^{1/2} \left( \frac{400}{d} \right)^{0.25} \left( \frac{f_{cu}}{25} \right)^{1/3} \right] bd \text{ for } \frac{a}{d} > 2$$

$$V_c = \left( 2 \frac{d}{a} \right) \left[ 0.79(100\rho)^{1/2} \left( \frac{400}{d} \right)^{0.25} \left( \frac{f_{cu}}{25} \right)^{1/3} \right] bd \text{ for } \frac{a}{d} < 2$$

حيث:

$V_c$  - مقاومة الأعتاب على القص (MPa).

$\rho$  - نسبة التسليح الطولي المشدود (%).

واسمنت طرطوس صنف 32.5، كمياتها مبينة في الجدول (2) لمتر مكعب واحد.

أعظمي (mm4.75) ومكافئ (82.46) ومادة مالئة (filler) هي غبار فلاتر مطاحن معمل اسمنت طرطوس، وملدن عالي الأداء Hyperplast بأساس Polycarboxylic متوافق مع ASTM C494 Type E-F،



الشكل 1: مكونات الخلطة الخرسانية: (a) - رمل مكسر، (b) - مادة مالئة (c) - رمل بحري، (d) - الملدن، (e) - الخلطة الخرسانية

الجدول 1: مواصفات الأعتاب من الدراسات المرجعية

المرجع	رقم المرجع	عدد الأعتاب	b	d	a/d	P	$f_c$
			mm	mm		%	MPa.
M.Lachemi 2005	[16]	12	100	253-100	1.1-2.1	1-2	58-53
AAA.Hassan Etal 2008	[13]	10	400	100-668	2.5	1-2	45
AAA.Hassan Etal 2010	[12]	1	400	311	2.5	1	45
Boel 2010	[10]	4	100	130	2.5-3.0	1	56-61
Sudheer Reddy L. 2011	[23]	4	100	150	1.0-4.0	4	70
Atshan 2012	[4]	3	100	146	2.1	2	29-49
Safan 2012	[22]	28	100	135-134	2.6	2-1	75-26
Arezoumandi 2013	[18]	6	300	400-375	2.6-3.2	3-1	39-54
Avenue P.2013	[9]	10	160	224-210	3.0	2-1	48-66
Helincks 2013	[14]	23	100	130	1.8-3.0	2-1	54 -48
Biolzi Etal. 2014	[15]	5	170	260	2.5-4.0	1	43
Hannon Etal. 2014	[6]	3	180	191-211	1.7-1.8	4-1	20-60

AAA.Hassan Etal. 2015	[7]	12	250	202	2.5	2	20-31
Ahmed B 2015	[2]	12	100	80	1.5-2	3-2	38-61
M.Sheik 2015	[17]	2	125	221	1.4	1-0.25	31
S.Kalirajan 2015	[21]	1	100	170	2.4	1	30
Zena 2016	[26]	3	100	175	1.9	2	29-49
Alghazali 2017	[3]	8	305	407	3.0	3-2	46-54
Murtada A. Ismael 2017	[19]	5	125	101	2.5-3.0	6-3	64
Kannam 2018	[20]	2	100	168-166	2.0-3.0	1	40
Abdul 2018	[5]	4	220	280	1.0-2.5	2	38
Yi Weijian 2018	[25]	8	200	360	3.4-2.2	2	30-52

تم صب أسطوانات (300\*150 mm) من الخلطة الخرسانية وحفظها ضمن الشروط النظامية ثم اختبرت على الضغط كما هو مبين في الشكل (3)، وحصلنا على معدل لمقاومة الخرسانة على الانضغاط بـ (34.25 MPa).



الشكل 3: أسطوانات الخلطة الخرسانية واختبارتها

ومن ثم صب 21 أعتاباً بمقطع عرضي (120x250 mm) وأطوال مختلفة لتتغير نسبة مجال القص إلى الارتفاع الفعال للمقطع العرضي (5.5-4.5-4-3.5-3-2.5)، وبتسليح طولي سفلي (2T14mm) وعلوي (2T8mm) وأربع أساور تثبيت قطر (6mm) عند المسندين ونقطة تطبيق القوة.

حيث تم الاختبار كأعتاب بسيطة الاستناد معرضة لقوتين مركزيين، وتفصيلها ونتائج الفحص مبينة في الجدول (4) والشكل (4) و (5) يبين أجهزة الاختبار وتفصيل تسليح واختبار هذه الأعتاب.

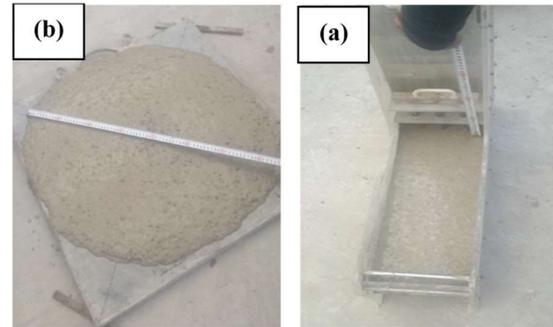
الجدول 2: مكونات الخلطة الخرسانية لمتر مكعب واحد بالكيلو غرام

ملدن	ماء	اسمنت	مادة مالئة	رمل مكسر	رمل بحري	بحص
8	209	350	200	200	600	800

كما تتضمن الدراسة إجراء كافة التجارب اللازمة على المواد الداخلة في خلطة الخرسانة ذاتية الارتصاص، ثم إجراء كافة الاختبارات الضرورية للوصول إلى خرسانة ذاتية الارتصاص والموصى بها من قبل EN (Test Slump Flow, L Box, Sieve) 12350-8:2010 (segregation) والنتائج ملخصة ضمن الجدول (3) ومبينة في الشكل (2).

الجدول 3: نتائج اختبارات الخرسانة ذاتية الارتصاص

Segregation Resistance (%)	L-box ratio	T500 (s)	Slump flow (mm)	
4.7	0.977	2.4	740	Test
SR2 <=15	>=0.80	>=2.0	SF2	EN 12350- 8:2010



الشكل 2: تجارب الخرسانة ذاتية الارتصاص  
Slump flow اختبار (b)، L Box اختبار (a)

SCC4-1	2300	4	60.7
SCC4-2	2300	4	60.5
SCC4-3	2300	4	60
SCC4.5-1	2500	4.5	57.4
SCC4.5-2	2500	4.5	56.9
SCC4.5-3	2500	4.5	57
SCC5-1	2700	5	56.9
SCC5-2	2700	5	56.8
SCC5-3	2700	5	56.5
SCC5.5-1	2900	5.5	52.9
SCC5.5-2	2900	5.5	52.6
SCC5.5-3	2900	5.5	52.3

7. التحليل الإحصائي لنتائج اختبار الأعتاب

تم إجراء تحليل الانحدار الخطي (Linear Regression Analysis) لنتائج اختبار الدراسة التجريبية المحلية بالإضافة لأكثر من (150) أعتاباً واردة ضمن الدراسة المرجعية وحساب قيم ميل الانحدار الخطي لإجهاد القص بتغير العوامل (ارتفاع المقطع العرضي للعتب d، نسبة التسليح الطولي المشدود ρ، المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط  $f_c$ ، معامل الحجم a/d)، حيث يعتبر ميل الانحدار الخطي (ميل خط الانحدار الذي يمثل العلاقة بين المتغير التابع والمتغير المستقل) مؤشراً إحصائياً هاماً لتقييم مدى تأثير العلاقة بتغير أي عامل من العوامل المستقلة، حيث بزيادة قيمته يزداد تأثير العلاقة بالعامل المدروس وبتقصائها ينخفض تأثير هذه العلاقة بالعامل المدروس، كما أن القيمة الموجبة له تدل على علاقة طردية بين إجهاد القص والعامل المؤثر المدروس والسالبة على علاقة عكسية.

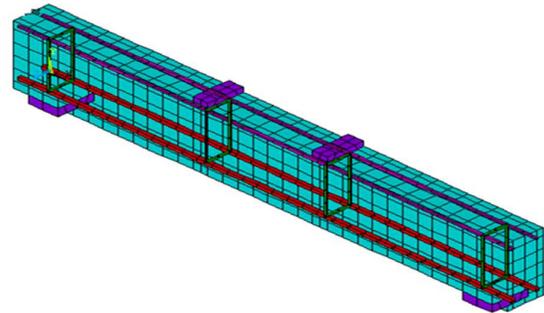
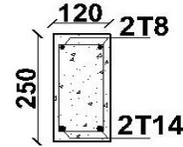
قمنا بتحليل البيانات (Data Analysis) باستخدام برنامج Excel، ورسم العلاقة بين إجهاد القص والعوامل المؤثرة في النتائج التجريبية ونتائج الحساب وفق الكود الأسترالي ASS3600-2009، والكود الأمريكي (ACI2014)، وطريقة FROSH2003، والكود البريطاني (BS8110-1997)، وتحديد قيم ميل الانحدار الخطي، والجدول (5) يلخص هذه القيم لعلاقة إجهاد القص بتغير العوامل (ρ, d, a/d, f<sub>c</sub>).

الجدول 5: قيم ميل الانحدار الخطي لإجهاد القص تبعاً لتغير العوامل المؤثرة

قيم ميل الانحدار الخطي لإجهاد القص				العلاقة
f <sub>c</sub>	ρ	d	a/d	
0.0341	0.8457	-0.0007	-0.7503	تجريبي
0.0169	0.3496	-0.0019	-0.0916	BS8110-1997
0.0085	0.2506	-0.0003	-0.0171	Frosh-2003
0.0188	0.3223	-0.0021	-0.4803	ASS3600-2009
0.0124	0.0974	-0.0018	-0.0807	ACI-2014



الشكل 4: أجهزة اختبار الأعتاب



الشكل 5: نموذج تسليح واختبار أحد أعتاب الدراسة التجريبية

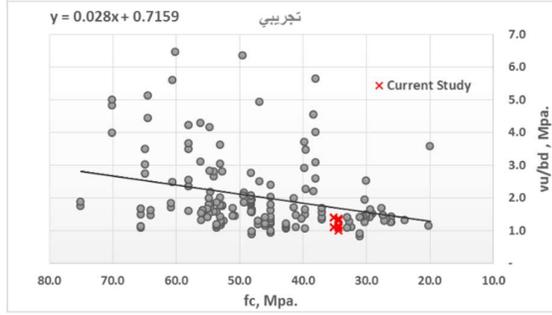
الجدول 4: تفاصيل ونتائج اختبار الأعتاب

Beam	Total length(L)	a/d	Ultimate shear load
	Mm		(Vu)(kN)
SCC2.5-1	1650	2.5	71.9
SCC2.5-2	1650	2.5	71.6
SCC2.5-3	1650	2.5	71.5
SCC3-1	1850	3	70
SCC3-2	1850	3	69.4
SCC3-3	1850	3	69
SCC3.5-1	2050	3.5	68.3
SCC3.5-2	2050	3.5	68.1
SCC3.5-3	2050	3.5	68

## 8. النتائج والمناقشة

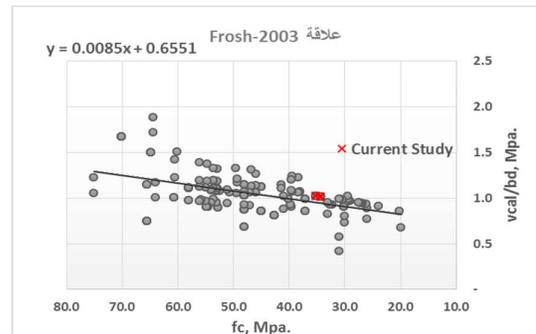
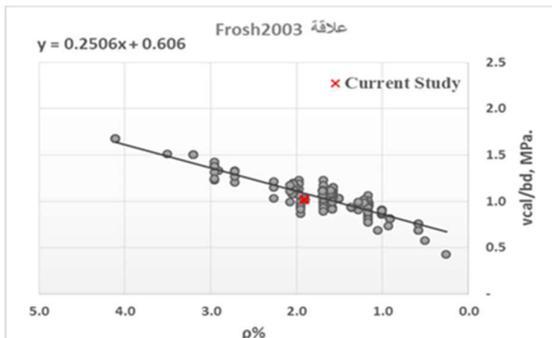
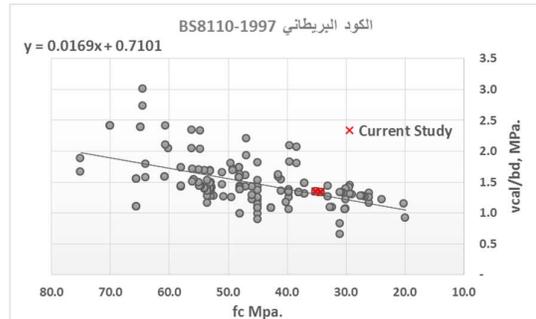
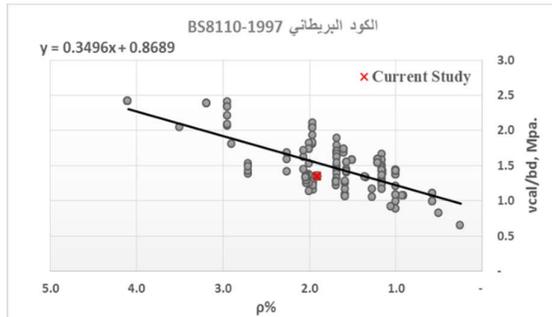
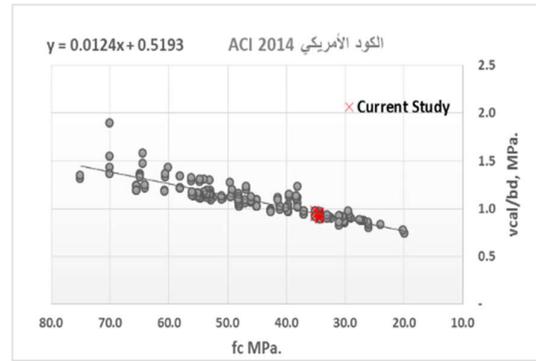
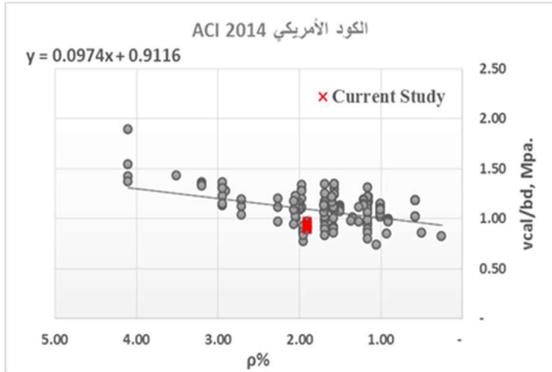
من خلال تحليل نتائج الدراسة الإحصائية وتحليل الانحدار الخطي لقيم إجهاد القص للأعتاب المعتمدة في الدراسة المرجعية (تجريبياً وحسابياً) وفق الكودات: الأسترالي 2009-ASS3600 والأمريكي (ACI2014)، والبريطاني (BS8110-1997)، وطريقة (FROSH2003) وذلك بتغيير قيم العوامل المؤثرة ( $\rho, d, a/d, f_c$ ) تبين مايلي:

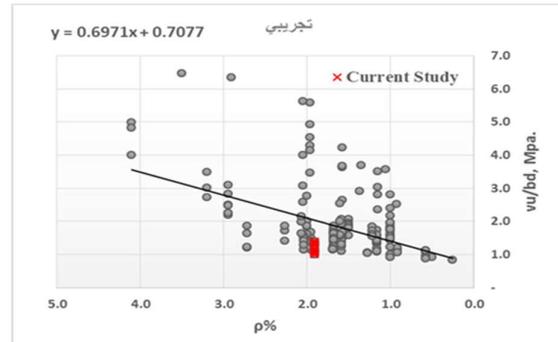
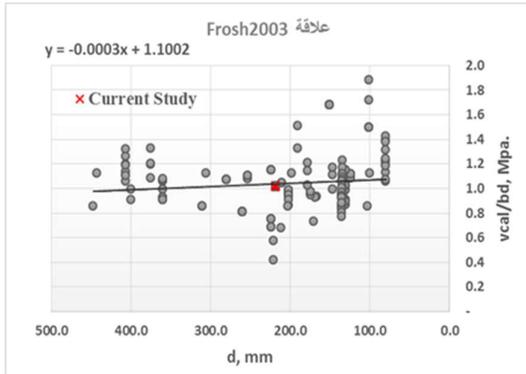
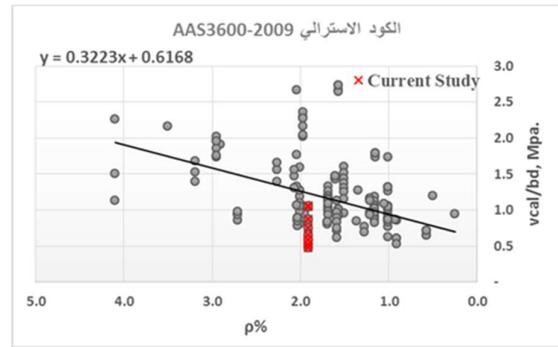
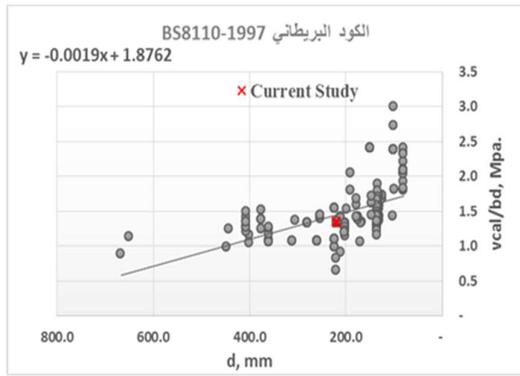
يظهر الشكل (6) العلاقة الطردية لمقاومة القص (التجريبية ووفقاً للعلاقات الأربع) مع المقاومة المميزة للخرسانة على الانضغاط والتي تراوحت قيمتها (19.8-75) MPa. ، وتبدي القيم التجريبية تأثراً أكبر بتغيير قيم  $f_c$  كون قيمة ميل الانحدار الخطي والبالغة (0.0341) هي الأكبر، في حين تبدي علاقة حساب مقاومة القص وفق الكودات الثلاثة تأثراً أقل بتغيير قيم  $f_c$  حيث قيمة ميل الانحدار (0.0188)، للكود الأسترالي-ASS3600 (2009) والأمريكي (0.0124) (ACI2014)، والبريطاني (BS8110-1997) (0.0169) أما علاقة FROSH2003 هي الأقل تأثراً بتغيير قيم  $f_c$  حيث قيمة ميل الانحدار (0.0085)، وهذا يعود إلى كون المقاومة المميزة للخرسانة  $f_c$  على الانضغاط تدخل في علاقة FROSH2003 بالجذر التربيعي  $\sqrt{f_c}$  وكذلك الكود الأمريكي أما في علاقة الكود الأسترالي والبريطاني تدخل بالجذر التكعيبي  $\sqrt[3]{f_c}$  وهو ما يعطي قيماً أقرب للقيم التجريبية.



الشكل 6: توزيع قيم إجهاد القص تبعاً لتغيير  $f_c$

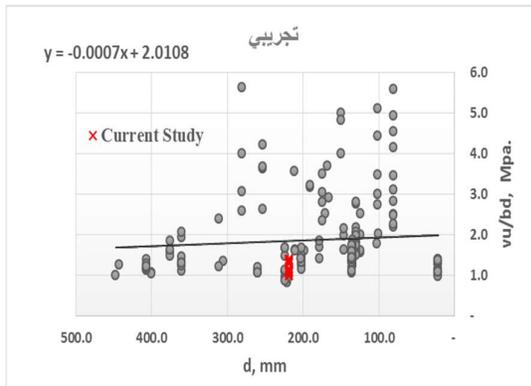
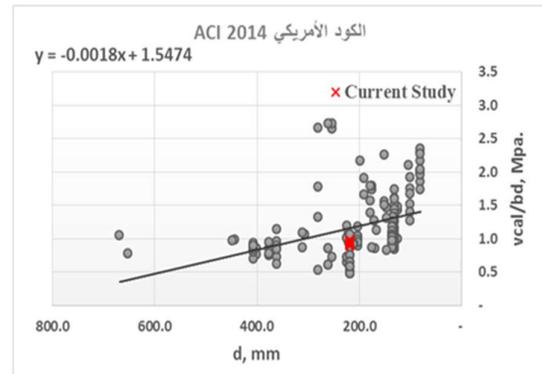
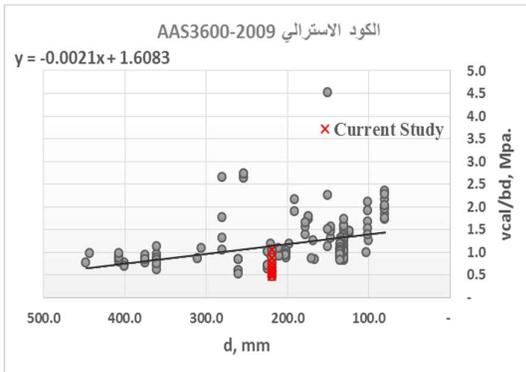
يظهر الشكل (7) العلاقة الطردية لمقاومة القص (التجريبية ووفق العلاقات الأربع) مع نسبة التسليح الطولي والتي تراوحت قيمتها %4.1-0.25 كما وردت في الأبحاث المرجعية، حيث تبدي القيم التجريبية تأثراً كبيراً بتغيير قيم ( $\rho$ ) وهذا واضح من قيمة ميل الانحدار الخطي الكبيرة البالغة (0.8457)، وكذلك الأمر بالنسبة لقيم ميل الانحدار الخطي لعلاقات حساب مقاومة القص وفق الكودات (AAS3600-ACI2014-) وبالبالغة على الترتيب (0.3496) (0.0974) (0.3223) ووفق علاقة FROSH2003، حيث قيمة ميل الانحدار (0.2506).





الشكل 7: توزيع قيم إجهاد القص تبعاً لتغير  $\rho$

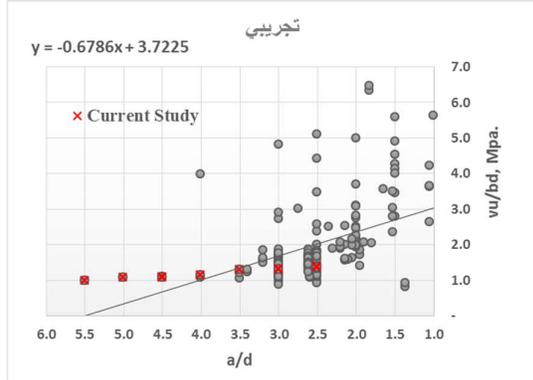
بالنسبة لعلاقة مقاومة القص بتغير الارتفاع الفعال للمقطع العرضي والذي تراوحت قيمته (80-447.5)mm فهي علاقة عكسية تنخفض قيمة إجهاد القص فيها بزيادة الارتفاع كما هو مبين في الشكل (8)، حيث تبدي علاقات الكودات الثلاثة تأثيراً متقارباً بتغير (d) وأقل من القيم التجريبية وهذا واضح من قيم ميل الانحدار الخطي المبينة في الجدول (5) ويلاحظ أن علاقة FROSH2003 هي الأقل تأثيراً، وعموماً يمكن الاستنتاج أن تأثير العلاقات المدروسة بتغير الارتفاع هو قليل مقارنة بتأثيرها بباقي العوامل.



الشكل 8: توزيع قيم إجهاد القص تبعاً لتغير d

أما بالنسبة لعلاقة مقاومة القص بتغير عامل تأثير الحجم (a/d) والذي تراوحت قيمته (1-5.5) فتظهر الدراسة أنها علاقة عكسية تنخفض قيمة إجهاد القص فيها بزيادة هذه النسبة كما هو مبين في الشكل (9)، حيث قيمة ميل الانحدار لعلاقة الكود الأسترالي AAS3600-2009 (-0.48)

وكذلك الأمر بالنسبة للكود الأمريكي ACI 2014 حيث قيمة ميل الانحدار صغيرة (-0.0807)، وأظهرت الدراسة أن قيم إجهاد القص تختلف بشكلٍ واضح عند (a/d=2.8) كما هو واضح في الشكل (9).



الشكل 9: توزيع قيم إجهاد القص تبعاً لتغير a/d

## 9. الاستنتاجات والتوصيات

### 9.1 الاستنتاجات:

1. إن تأثير معامل الحجم (a/d) ونسبة التسليح الطولي على مقاومة القص للأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح عرضي هو الأكبر بين العوامل المدروسة الأخرى وهذا واضح من قيمة عامل الانحدار الخطي للنتائج التجريبية.
2. تعكس علاقة إجهاد القص وفق الكود الأسترالي ASS3600-2009 قيماً أقرب للنتائج التجريبية من بقية العلاقات وهذا واضح من قيم معامل الانحدار الخطي بتغير العوامل المدروسة.
3. تزداد مقاومة القص للأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح عرضي بزيادة المقاومة المميزة للخرسانة، ونسبة التسليح الطولي المشدود، ونقصان الارتفاع الفعال للمقطع العرضي ومعامل الحجم (a/d).

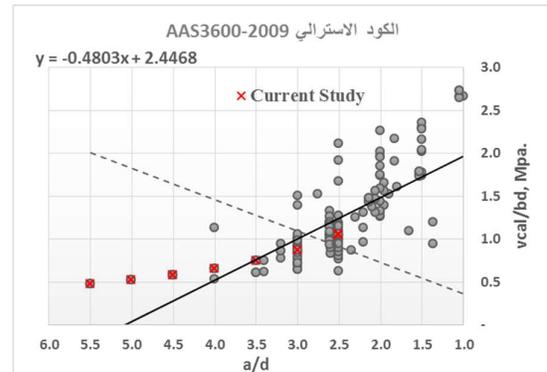
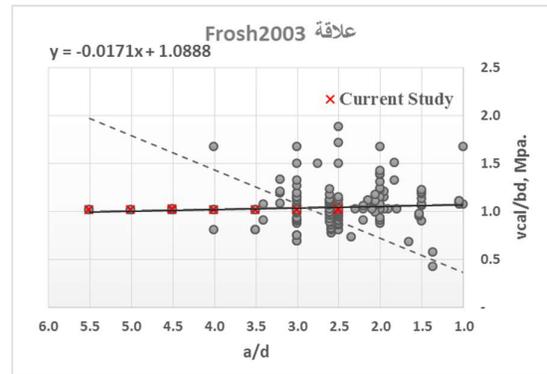
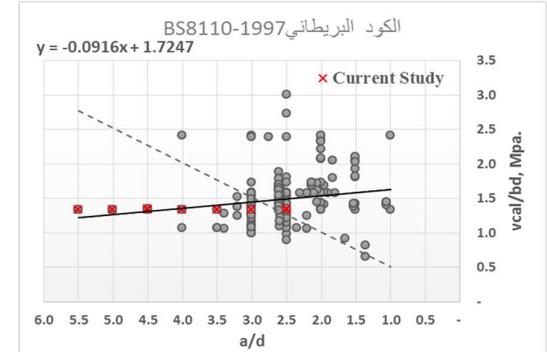
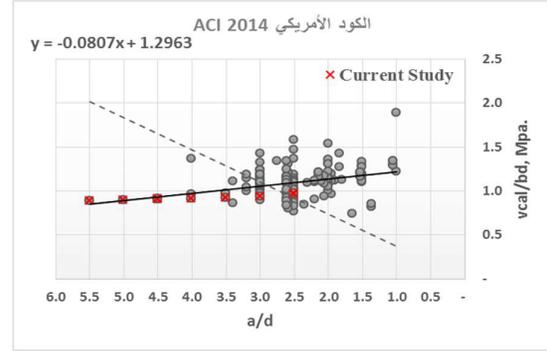
### 9.2 التوصيات:

1. العمل على توسيع الدراسة الإحصائية لتشمل عدد أكبر من الأعتاب المختبرة.
2. إجراء دراسة تحليلية باستخدام برامج بحثية هامة باستخدام طريقة العناصر المحددة لأعتاب من الخرسانة ذاتية الارتصاص بدون تسليح قص.
3. العمل على اقتراح علاقة حساب مقاومة قص للخرسانة ذاتية الارتصاص وذلك لتشمل كافة المتغيرات المؤثرة في هذه المقاومة للحصول على أفضل النتائج.

### المصادر:

- [1] ACI Committee. "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014.
- [2] A. B. Senouci., E.N. Neil, A.G. Ala S.M. Al-Ansari. "Structural Behavior of Self-Compacting Concrete Elements", 51stASC Annual International Conference Proceedings, 2015.

هي الأكبر بين العلاقات الأربع والأقرب للقيمة التجريبية البالغة (-0.67) أما علاقة FROSH2003 هي الأقل تأثيراً بتغير هذه القيمة حيث قيمة ميل الانحدار صغيرة (-0.0171) كون النسبة (a/d) لا تدخل في هذه العلاقة



- [15] L. Biolzi, S. Cattaneo, F. Mola. "Bending-shear response of self-consolidating and high-performance reinforced concrete beams", *Engineering Structures* 59, pp399-410, 2014.
- [16] M. Lachemi, K.M.A. Hossain, and V. Lambros. "Shear resistance of self-consolidating concrete beams-experimental investigation", *Can. J. Civ. Eng.*32, pp1103–1113, 2005.
- [17] M.Sheik Mohamed, C.Makendran."Shearing Resistance of Steel Fiber Reinforced Self Consolidating Concrete Beams Without Stirrups". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 02 Issue: 09, 2015.
- [18] M. Arezoumandi, and S.J. Volz."An Experimental Study on Shear Strength of Chemically-Based Self-Consolidating Concrete", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.7, No.4, pp.273–285, 2013.
- [19] M.A. Ismael."Shear behavior of high strength self-compacting concrete beams". *Diyala Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10, No. 3, pp 30-43, September 2017.
- [20] P. Kannam and V. R. Sarella. "A study on Validation of Shear Behavior of Steel fibrous SCC based on Numerical Modelling". (ATENA), *Journal of Building Engineering*, 2018.
- [21] S.Kalirajan, K.Vignesh, B.G.Vishnuram. "Structural Behaviour of Self Compacting Concrete Beams made with Manufactured Sand", *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562 Vol. 10 No.71, 2015.
- [22] S.M.Safan, "Shear strength of concrete beams cast with self-compacting concrete containing different fillers and coarse aggregates", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(7), pp760–770, 2012.
- [23] S.L. Reddy, N.V.Ramana and D.T.R. Gunneswara. "Evaluation of shear resistance of high strength concrete beams without web reinforcement using ansys", *Asian research publishing network (ARPN) Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011.
- [24] T.AK.Tureyen, R.Frosch. "Concrete shear strength: another perspective", *ACI Struct J*; 100 (5), 609–15, 2003.
- [25] Y. Weijian, H. Derun. "Shear Behavior of self-compacting concrete beams without shear reinforcement". *Journal of Civil .Architectural & Environmental Engineering*, Vol.40 No.3, 2018.
- [26] Z.W. Abass, K. Sh. Mahmoud, L. Abdul Salam Shihab. "Shear strength of self-compacted concrete with and without stirrups at different shapes". *Diyala Journal of Engineering Sciences*, Vol. 09, No. 01, pp. 67-85, March 2016.
- [3] A.H.Alghazali. & J.J.Myers, "Shear behavior of full-scale high volume fly ash-self consolidating concrete (HVFA-SCC) beams". *Construction and Building Materials*, 157, 2017, pp161–171.
- [4] A.F. Atshan. "Shear Behavior of Self Compacting Concrete", *Journal of Engineering and Development*, Vol. 16, No.2, 2012.
- [5] A.M. Farhood, J.Abdul, S.Khudhair. "Shear Strength of Self Compacting Concrete made with Recycled Concrete as Coarse Aggregate". *Journal of Thi-Qar University* Vol.13, pp 119-137, 2018.
- [6] A.N. Hannon, M. Jaafar, H. Abed."Experimental investigations into the shear behavior of self-compacting R.C beams with and without shear reinforcement", *construcții – no. 2*, 2014.
- [7] A. K. A. Hassan, M. K. Ismail; and J.Mayo."Shear Behavior of SCC Beams with Different Coarse-to-Fine Aggregate Ratios and Coarse Aggregate Types". *Journal of Materials in Civil Engineering* Volume 27 Issue 11, 2015.
- [8] Australian Code Ass3600."Australian standard for concrete structures", North Sydney: Standards Australia, p. 213, 2009.
- [9] A.P.Avenue, C. Denayer, Kuleuven."Shear Capacity of Self-Compacting Concrete", *Proceedings of the Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, Chicago, Illinois, USA, May 12–15, 2013.
- [10] B.V.Boel, P.Helincks, P.Desnerck, & De Schutter, G. Bond,"Behaviour and shear capacity of self-compacting concrete", *Design production and placement of self-consolidating concrete*, pp. 343–353, 2010.
- [11] British Standards Institution."Code of Practice for Design and Construction", BS 8110: Part 1, British Standards Institution, London, 1997.
- [12] H.A.A.Hassan, K.M.A.Hossain, and M.Lachemi,"Strength cracking and deflection performance of large-scale self-consolidating concrete beams subjected to shear failure", *Engineering Structures*, Vol. 32, No.5, pp.1262-1271, 2010.
- [13] H.A.A.Hassan, K.M.A Hossain. and M.Lachemi. "Behavior of full scale self-consolidating concrete beams in shear", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, No.7, pp.588-596, 2008.
- [14] H.P.Helincks, V.Boel, W.De Corte, G.De Schutter, & P.Desnerck. "Structural behavior of powder-type self-compacting concrete: Bond performance and shear capacity", *Engineering Structures*, 48, pp121–132, 2013.

## Experemntal and Statistical Study on the Most Important Parameters Affected on the Shear Resistance of Self- Compacting Concrete Beams Without Stirrups

Waad Ibrahim Alkhatib<sup>1,\*</sup>, Ghandy Ali Jahjah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Depatement of Structure, College of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, khateb79@yahoo.com

<sup>2</sup> Depatement of Structure, College of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, ghandyalijahjah@tishreen.edu.sy

\* Corresponding author: Waad Ibrahim Alkhatib, khateb79@yahoo.com

Publised online: 30 June 2021

**Abstract**— Self-Compacting Concrete (SCC.) appeared in the late 1980s in Japan and developed its first prototype at the University of Tokyo to improve the durability of cast concrete. (SCC.) Can be placed under the influence of its own weight without the use of vibrators and fill the molds to give a compact concrete and high tropical surfaces. An experemntal local study consists of 21 beam, in addition to a statistical study on More than 150 beam distributed in more than 20 international researches were conducted to evaluate the effect of  $(\rho, d, \frac{a}{d}, f_c')$  on shear resistance of self-compacting concrete beams without stirrups. In addition, calculations were made for shear resistance and shear stress of these beams according to Codes: (AAS3600-2009), (ACI 318 2014), (BS8110-1997), and the relationship (Frosh 2003). The study concluded that the nominal shear stress of the self-compacted concrete without stirrups increases with the increase of  $(\rho, f_c')$ , and the decrease of  $(d, a/d)$ . The Largest (Slope of Linear Regression Analysis) was for  $(a/d)$  and  $(\rho)$ . It was also observed that the shear stress relationship according to the Australian code reflects a behavior closer to the actual experimental behavior of the variables studied.

**Keywords:** Shear Strength, Self- Compacting Concrete, Size Effect, Statical Analysis, Slope of Linear Regression Analysis.