

دراسة سلوك الجوائز البيتونية على القص باستخدام بيتون عادي NC وبيتون ذاتي الاكتناز SCC تجريبياً وحسابياً

باسل محمد علي الأحمد¹، محمد صفو¹، سوسن السيد يحيى¹

¹ قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب، سوريا

www.baselalahmad100@gmail.com

Received: 24/01/2021

Accepted: 02/03 /2021

المستخلص - تعتبر الخرسانة ذاتية الاكتناز (SCC) نتاج التقدم في مجال إضافات الخرسانة حيث تعتبر إضافات معدلات اللزوجة وإضافات تقليل ماء الخلط (الملدنات الفائقة) هما العنصرين الأساسيين اللازمين لإنتاج هذه الخرسانة. تم في هذا البحث إجراء دراسة تجريبية على خمسة جوائز خرسانية ذاتية الاكتناز (SCC) وخمسة جوائز خرسانية عادية (NC) معرضة لحمولة انعطاف أربع نقاط. أبعاد الجوائز mm (150*300*2000) وذلك من أجل نسبة تسليح عرضي % (0-0.27-0.38)، ومن أجل نسب مختلفة لمجاز القص إلى العمق الفعال (a/d=2-2.5-3). تم قياس السهم في منتصف الجوائز وتحديد قوة القص الحدية تجريبياً وحسابياً وفق بعض الكودات العالمية وبعض الباحثين وتم اقتراح علاقة معدلة على معادلة حساب قوة القص للكود الكندي من أجل الخرسانة ذاتية الاكتناز (SCC). أظهرت النتائج التجريبية بأن قوة القص الحدية للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز كانت أكبر من قوة القص الحدية للجوائز الخرسانية العادية في حال عدم وجود تسليح قص على الرغم بأن مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالانحناء البسيط والشد بالفلق أكبر في الخرسانة العادية بالمقارنة مع الخرسانة ذاتية الاكتناز، وقد بلغ متوسط الزيادة (8.7%)، وأظهرت النتائج بأن قوة القص الحدية للجوائز ذات الخرسانة العادية كانت أكبر من قوة القص الحدية للجوائز ذات الخرسانة ذاتية الاكتناز في حال وجود تسليح قص، وقد بلغ متوسط الزيادة (13.4%). تم رسم العلاقة (الحمولة-السهم) من التجارب ومن ثم حساب السهم باستخدام عزم العطالة الفعال. تم إدخال عامل تصحيح مقترح (k) على القيم الحسابية وبمقارنة القيم الحسابية المصححة مع القيم التجريبية وجد أن الفرق الوسطي لا يتجاوز القيمة (6.3%) في الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز و(10.9%) في الجوائز الخرسانية العادية.

الكلمات المفتاحية: بيتون ذاتي الاكتناز - قوة القص - السهم - نسبة بعد القوة عن المسند إلى العمق الفعال a/d.

ABSTRACT- Self-compacting concrete is the product of advances in the field of concrete additives, where Additives for viscosity modifiers and additives for reducing mixing water (super plasticizers) are the two main components required to produce this concrete. In this research, an experimental study was conducted on five self-compacting concrete beams and five normal concrete beams exposed to a four-point moment load. The dimensions of each beam (150*300*2000) mm, for shear reinforcement ratio (0-0.27-0.38) %, and for different shear span to effective depth ratio (a/d=2-2.5-3). The deflection was measured in the middle of the beams and the ultimate shear strength was determined experimentally and mathematically According to some international codes and some researchers. A modified equation was proposed on equation of calculating shear strength of the Canadian code for self-compacting concrete. The experimental results showed that the ultimate shear strength for self-compacting concrete beams was greater than the ultimate shear strength for normal concrete beams for beams without shear reinforcement although the compressive strength and Flexural strength and splitting tensile strength were greater in normal concrete compared to self-compacting concrete, and the average increase (8.7%), and the results showed that the ultimate shear strength for normal concrete beams was greater than ultimate shear strength for self-compacting concrete beams for beams with shear reinforcement, and the average increase (13.4%). The relationship (load – deflection) was drawn from the experiments and then the deflection was computed using the effective moment of inertia. A correction factor (k) was proposed on the calculation values and by comparing corrected calculation values with the experimental values the average difference does not exceeded the value (6.3 %) in self-compacting concrete beams and (10.9 %) in normal concrete beams.

سلوكاً متطابقاً تقريباً مع سلوك الجوائز من الخرسانة العادية من حيث تشكل الشقوق وانتشارها ومنحنيات (الحمولة-السهم). بالنسبة للجوائز من دون تسليح على القص فإن النسبة بين قوة القص التجريبية والمتوقعة بالنسبة لعدة كودات كانت أعلى بقليل في الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز بالمقارنة مع الجوائز من الخرسانة العادية، أما بالنسبة للجوائز مع تسليح على القص فإن النسبة كانت أعلى بقليل في الجوائز من الخرسانة العادية بالمقارنة مع الجوائز من الخرسانة ذاتية الاكتناز. درس [4] Al-Janabi تأثير مقاومة الانضغاط للخرسانة f_c' عند 28 يوم ونسبة الطول الصافي إلى العمق الفعال على سلوك الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز والعادية على القص. تبين للباحث أن الجوائز المصنوعة من الخرسانة ذاتية الاكتناز أكثر مقاومة مقارنة مع الجوائز المصنوعة من الخرسانة العادية على الرغم من كون نسبة المجاز الصافي إلى الارتفاع الفعال (Ln/d) ونسبة حديد التسليح الطولي والعرضي ومقاومة الانضغاط متساوية. درس [5] Lachemi et al تأثير البعد الأعظمي للحصويات الخشنة بمقاس 12mm و 19mm على سلوك القص للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز والعادية. حيث أظهرت النتائج أن الزيادة في حجم الحصويات الخشنة من 12mm إلى 19mm في الجوائز المصنوعة من الخرسانة ذاتية الاكتناز يحسن من آلية نقل قوى القص بعد ظهور التشققات ويزيد من مقاومة القص الحدية. وجد [6] Khudair et al ومن أجل الجوائز ذات مقاومة الانضغاط (MPa) 32, 48) ولا تحوي تسليح قص فإن الجوائز المصنوعة من الخرسانة العادية أعطت مقاومة أعلى على القص بنسبة 6.75% مقارنة مع الجوائز المصنوعة من الخرسانة ذاتية الاكتناز أما بالنسبة للجوائز ذات مقاومة الانضغاط (62MPa) فقط أعطت الخرسانة ذاتية الاكتناز تقريباً نفس الحمولة الحدية عند الانهيار.

1.3 حساب قوة القص الحدية وفق بعض الكودات العالمية وبعض الباحثين:

تقاوم قوة القص في الجوائز البيتونية المسلحة عن طريق مساهمة البيتون والفولاذ وأعطت الكودات وبعض الباحثين علاقات لحساب قوة القص الحدية مبينة بالجدول 1 .

4. خصائص المواد المستخدمة في تحضير الخلطات الخرسانية المدروسة:

1.4 المواد الحصوية: إن الحصويات المستعملة في الخلطة الخرسانية لعينات البحث هي من النوع زرادة فراتية ذات قطر

1. مقدمة:

من أجل الحصول على بيتون ذو اكتناز جيد وبدون تدخل اليد العاملة تم اقتراح الخرسانة ذاتية الاكتناز (Self-compacting concrete) من قبل البروفيسور الياباني (Okamura) في عام 1986، وتم تطوير النموذج الأولي عام 1988 من قبل البروفيسور [1] Ozawa and Maekawa في جامعة طوكيو في اليابان، وهي خرسانة ذات ديمومة عالية وتعتبر واحدة من أكثر الخطوات تقدماً في تكنولوجيا المواد الخرسانية خلال العقود الماضية. تتألف الخرسانة ذاتية الاكتناز من الإسمنت، البحص، الرمل، الماء وهي نفس المكونات الموجودة في الخرسانة العادية والفارق الرئيسي بينهما إضافة بعض المواد للخرسانة ذاتية الاكتناز مثل المركبات الكيميائية وهي المدلنات عالية الأداء والمواد المعدلة للزوجة أو معدنية مثل (غبار السيليكا، الرماد المتطاير، خبث الأفران... الخ)، يبين الشكل 1 مقارنة تخطيطية بين نسب المواد المشكلة للخرسانة ذاتية الاكتناز والخرسانة التقليدية [2] .

الخرسانة ذاتية الرصاص	air	W	Powder	S	G
الخرسانة التقليدية	air	W	C	S	G

الشكل 1: مقارنة تخطيطية بين نسب المواد المشكلة للخرسانة ذاتية الاكتناز (SCC) والعادية (NC) [2]

2. أهمية البحث:

تتم أهمية البحث في دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة باستخدام الخرسانة ذاتية الاكتناز SCC على القص حيث سيتم دراسة تأثير نسبة مجاز القص إلى الارتفاع الفعال (a/d) ونسبة تسليح القص (ρv) على مقاومة القص وكذلك السهوم الحاصلة نتيجة انعطاف أربع نقاط وتحديد قوة القص الحدية عند الانهيار في الجوائز، ثم مقارنة النتائج التجريبية مع العلاقات المعطاة بالكودات العالمية للخرسانة التقليدية والتأكد من أن هذه العلاقات تتوافق مع الخرسانة ذاتية الاكتناز أو التعديل عليها بما يتوافق مع هذا النوع من الخرسانة.

3. الدراسة المرجعية:

قام [3] Arezoumandi and Volz بدراسة تأثير التسليح الطولي والعرضي على سلوك الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز والعادية على القص. تبين للباحثين بأن الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز أظهرت

الجدول 1: حساب قوة القص الحديدية وفق كودات مختلفة وبعض الباحثين

الكود أو الباحث	V_c قوة القص الناتجة عن مساهمة البتوتون	V_s قوة القص الناتجة عن مساهمة الفولاذ
ACI 318-08 [7]	تؤخذ أصغر القيم التالية: $V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho \frac{V_u d}{M_u} \right] \frac{b_w d}{7}$ $V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho \right] \frac{b_w d}{7}$ $V_c = 0.3 \sqrt{f_c'} b_w d$ <p>f_c': المقاومة الأسطوانية للبتوتون على الضغط (Mpa). ρ: نسبة فولاذ التسليح الطولي. $\frac{V_u d}{M_u} \leq 1$: هو تعبير عن نسبة العمق الفعال إلى مجاز القص d/a.</p>	$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \leq 0.67 \sqrt{f_c'} b_w d$ <p>A_v: مساحة الأساور (mm^2). f_v: إجهاد الخضوع للأساور (Mpa). s: التباعد بين الأساور (mm).</p>
CSA الكود الكندي (1994) A23.3-94 [8]	$V_c = 0.2 \sqrt{f_c'} b_w d$ <p>إذا كانت $A_v \geq \frac{0.06 \sqrt{f_c'}}{\sqrt{f_y}} b_w s$ أو $d \leq 300 \text{mm}$ $V_c = \left(\frac{260}{1000 + d} \right) \sqrt{f_c'} b_w d \geq 0.1 \sqrt{f_c'} b_w d$ <p>إذا كانت $A_v < \frac{0.06 \sqrt{f_c'}}{\sqrt{f_y}} b_w s$ أو $d > 300 \text{mm}$ f_y: إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الطولي (Mpa).</p> </p>	$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \leq 0.8 \sqrt{f_c'} b_w d$
Eurocode EC2, part1 (1991) [9]	$V_{Rd1} = 0.0525 \beta k (f_{ck})^{2/3} (1.2 + 40 \rho_l) b_w d$ <p>من أجل $\beta = \left(\frac{2.5d}{x} \right), (1 \leq \beta \leq 5) \Leftarrow x \leq 2.5d$ من أجل $\beta = 1 \Leftarrow x > 2.5d$ حيث x بعد نقطة تطبيق القوة المركزة عن وجه المسند. $k = 1.6 - \frac{d}{1000} \geq 1$ <p>$\rho_l = \frac{A_l}{b_w d} \leq 0.02$: نسبة فولاذ التسليح الطولي. f_{ck}: المقاومة الأسطوانية المميزة للبتوتون (Mpa).</p> </p>	$V_{wd} = \frac{A_{sw} f_{ywd} (0.9d)}{s}$ <p>A_{sw}: مساحة الأساور (mm^2). f_{ywd}: إجهاد الخضوع للأساور (Mpa).</p>
الكود البريطاني BS 8110 (1997) [10]	<p>من أجل $a/d \geq 2$</p> $V_c = \left[\frac{0.79 K_1 K_2}{\gamma_m} \left(100 \frac{A_s}{bd} \right)^{1/3} \left(\frac{400}{d} \right)^{1/4} \right] b_w d$ <p>من أجل $a/d < 2$</p> $V_c = 2 * \frac{d}{a} \left[\frac{0.79 K_1 K_2}{\gamma_m} \left(100 \frac{A_s}{bd} \right)^{1/3} \left(\frac{400}{d} \right)^{1/4} \right] b_w d$ <p>a: مجاز القص (بعد نقطة تطبيق القوة المركزة عن المسند) (mm). K_1: عامل تصعيد لضغط المسند ويؤخذ للأمان مساوياً للواحد. f_{cu}: المقاومة المكعبية للبتوتون على الضغط (Mpa). $K_2 = \left(\frac{f_{cu}}{25} \right)^{1/3}$ <p>γ_m: عامل أمان ويساوي 1.25. A_s: مساحة فولاذ التسليح المشدود (mm^2).</p> </p>	$V_s = \frac{A_v f_v (0.87d)}{s}$
Zsutty 1968 [11]	$V_c = 2.2 \left[f_c' \rho \frac{d}{a} \right]^{1/3} b_w d \quad a/d \geq 2.5$ $V_c = 2.5 * \frac{d}{a} * 2.2 \left[f_c' \rho \frac{d}{a} \right]^{1/3} b_w d \quad a/d < 2.5$ <p>ρ: نسبة فولاذ التسليح الطولي.</p>	$V_s = \frac{A_v f_v d}{s}$
Bazant and Kim (1984) [12]	$V_c = \left[\frac{0.831 \sqrt[3]{\rho}}{\sqrt{1 + d/(25d_0)}} \left(\sqrt{f_c'} + 249 \sqrt{\frac{\rho}{(a/d)^5}} \right) \right] b_w d$ <p>d_0: قطر الحصويات الأعظمي (mm).</p>	$V_s = \frac{A_v f_v d}{s}$

6. نتائج التجارب الخاصة بالتوصيات الأوربية على الخطات المدروسة:

تم التحقق من مواصفات الدليل الأوربي [13] للخلطة الخرسانية ذاتية الاكتناز وهي بالحالة الطرية مبينة بالجدول 5.

7. البرنامج التجريبي:

تم صب خمسة جوائز خرسانية ذاتية الاكتناز وخمسة جوائز خرسانية عادية بأبعاد (15*30*200) cm وتم صب ثلاث عينات أسطوانية (Ø15/30cm) وتسع عينات مكعبية بأبعاد (15*15*15) cm وثلاث عينات موشورية بأبعاد (7*7*28) cm مع كل جائزة .

الجدول 4: مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالانحناء البسيط والشد

بالفلق

SCC Beam	f _{c-SCC} Mpa	f _{cb-SCC} (MPa)	f _{ct-SCC} (MPa)	NC Beam	f _{c-NC} Mpa	f _{cb-NC} (MPa)	f _{ct-NC} (MPa)
B1	26.9	3.2	2.7	B1	31.2	5.5	3
B2	26.1	3.5	2.7	B2	31.9	4.3	3
B3	26.2	3.4	2.7	B3	32.1	5.2	3.6
B4	26.5	4	2.9	B4	31.6	5	3.3
B5	25.7	3.4	2.9	B5	32.7	5.4	3.2

الجدول 5: نتائج التجارب الخاصة بالخرسانة ذاتية الاكتناز (SCC)

القيم المسموحة	القيمة	الواحدة	الرمز	التجربة
V _{s1} ≤ 2 V _{s2} > 2	1.51	Sec	T500	الزمن اللازم لوصول الخرسانة للدائرة 500
SF1 550 to 650 SF2 650 to 750 SF3 750 to 850	815	mm	SF	انتشار التدفق
V _{s1} ≤ 2 V _{s2} > 2	1.8	Sec	T500 J	الزمن اللازم لوصول الخرسانة للدائرة 500 بوجود الحلقة
SF1 550 to 650 SF2 650 to 750 SF3 750 to 850	800	mm	SFJ	انتشار التدفق بوجود الحلقة
VF1 ≤ 8 VF2 from 9 to 25	4.5	Sec	TV	زمن تدفق القمع V
PA1 ≥ 80 with 2 rebars PA2 ≥ 80 with 3 rebars	90	(%)	PA	نسبة المرور للصندوق L
SR1 ≤ 20 SR2 ≤ 15	14.6	(%)	SR	نسبة كتلة العينة المارة من المنخل

أعظمي (12.5) mm وكثافة ظاهرية جافة 1689 Kg/m³، وكثافة مرصوصة 1817 Kg/m³.

2.4 الرمل: الرمل الفراتي المستخدم ذو كثافة ظاهرية جافة 1600 Kg/m³، وكثافة مرصوصة 1788 Kg/m³.

3.4 الإسمنت: تم استخدام إسمنت الجمل والذي تبلغ مقاومته المكعبية على الضغط بعد (28) يوم (42.5N/mm²).

4.4 الملدن: تم استخدام ملدن خاص بالـ (SCC) والذي يحمل الإسم التجاري (DARACEM 110) ويتوافق مع النوع F, G من المواصفات الأمريكية ASTM C494، وتم استخدام ملدن خاص بالخرسانة العادية (NC) والذي يحمل الإسم التجاري (DARACEM SP4) ويتوافق مع النوع A, D, G من المواصفات الأمريكية ASTM C494.

5.4 الماء: تم استخدام ماء الشرب العادي في خلط مكونات الخرسانة.

6.4 فولاذ التسليح: تم إجراء اختبار الشد لعينات من حديد التسليح المستخدم فكانت النتائج كما في الجدول 2 التالي:

الجدول 2: مواصفات فولاذ التسليح المستخدم

القطر (mm)	إجهاد الخضوع f _y (MPa)	إجهاد الانقطاع f _u (MPa)	التطاوّل النسبي ε (%)
16	433	669	19.2
8	324	439	42.5
6	271	392	36.67

5. كميات المواد المستخدمة في تحضير (1m³) من الخرسانة (SCC) و (NC):

يبين الجدول 3 كميات المواد المستخدمة في تحضير (1m³) من خلطة الخرسانة ذاتية الإكتناز (SCC) والخرسانة العادية (NC).

الجدول 3: كميات المواد المستخدمة في تحضير (1m³) من خلطة

الخرسانة (SCC) و (NC)

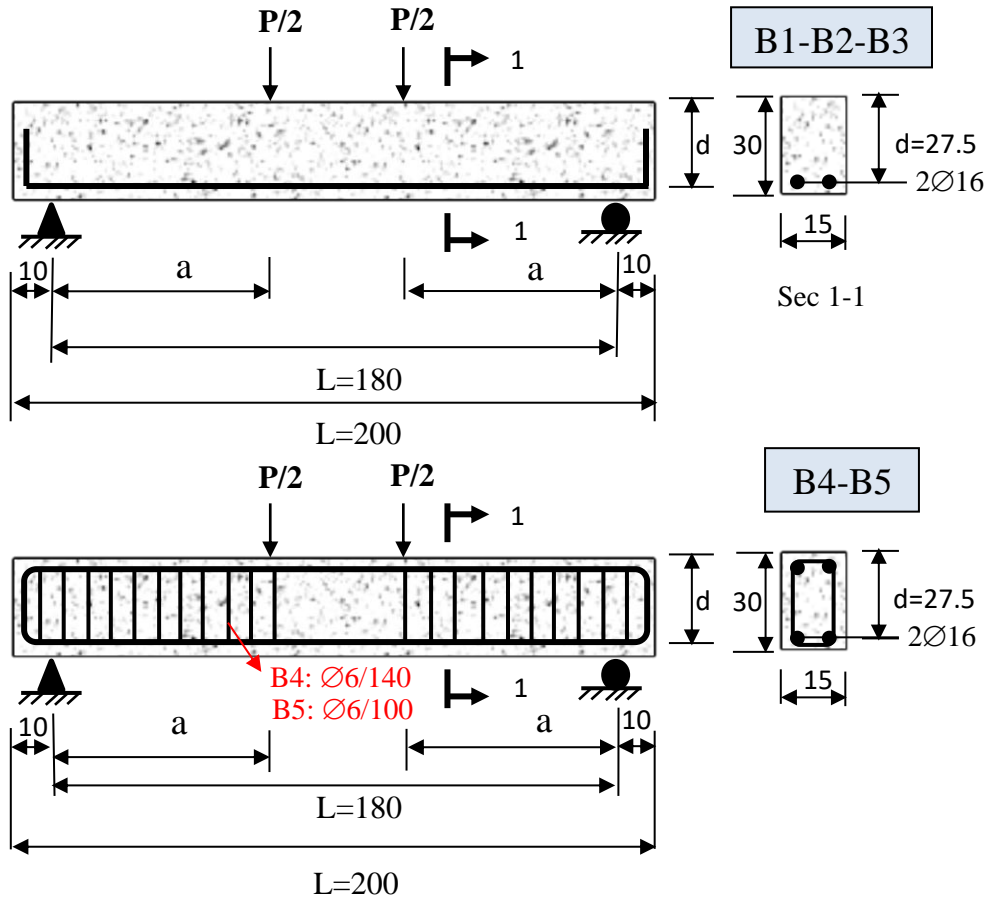
ملدن (يتعلق بكمية الإسمنت)	الماء	نسبة الماء للإسمنت w/c	الإسمنت	الرمل الفراتي	الزراة الفراتية	الخلطة
(ℓ)	(kg)	(%)	(kg)	(kg)	(kg)	
9	202.5	45	450	874	874	SCC
4.5	180	40	450	885	885	NC

ويبين بالجدول 4 نتائج مقاومة الضغط f_c ومقاومة الشد بالانحناء البسيط f_{cb} والشد بالفلق f_{ct} للخرسانة بعد (28) يوم.

ويبين الجدول 6 مواصفات الجوائز المختبرة ويبين الشكل 2 الأبعاد الهندسية للجوائز المصبوبة وتوزيع تسليح القص والتسليح الطولي. أجريت التجارب في "مخبر البيتون والإنشاءات" في كلية الهندسة المدنية بجامعة حلب، حيث تم تطبيق الحمولة باستخدام جهاز تحميل هيدروليكي يمكن أن تصل قدرته الأعظمية إلى (50ton)، مع استخدام جائز تحميل فولاذي بهدف توزيع الحمولة المركزة المطبقة (P) إلى حمولتين متساويتين شدة كل منها (F=P/2). ويبين الشكل 3 الجائز وجهاز التحميل والمساند وأجهزة قياس الانتقالات.

الجدول 6: مواصفات الجوائز المختبرة

المجموعة	اسم الجائز	نوع الخرسانة	a/d	التسليح السفلي	تسليح القص
1	B1	SCC	3	2 Ø 16	0
	B2	SCC	2.5	2 Ø 16	0
	B3	SCC	2	2 Ø 16	0
2	B3	SCC	2	2 Ø 16	0
	B4	SCC	2	2 Ø 16	Ø6/140mm
	B5	SCC	2	2 Ø 16	Ø6/100mm
1	B1	NC	3	2 Ø 16	0
	B2	NC	2.5	2 Ø 16	0
	B3	NC	2	2 Ø 16	0
2	B3	NC	2	2 Ø 16	0
	B4	NC	2	2 Ø 16	Ø6/140mm
	B5	NC	2	2 Ø 16	Ø6/100mm



الشكل 2: تفاصيل تسليح الجوائز المستخدمة في التجارب



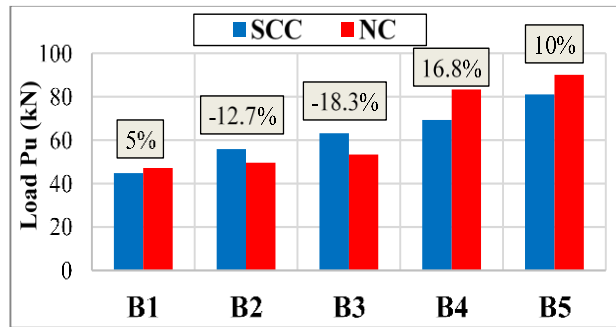
الشكل 3: الجانز وجهاز التحميل والمساند وأجهزة قياس الانتقالات

ويبين الجدول 7 النتائج التجريبية للحمولة الكلية عند الانهيار (Pu) ونمط الانهيار. حيث نلاحظ من الجدول زيادة حمولة الانهيار على القص في الجوائز مع انخفاض نسبة مجاز القص إلى الارتفاع الفعال (a/d) في المجموعة الأولى وتكون الزيادة أكبر في الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز مقارنة بالجوائز الخرسانية العادية، وزيادة حمولة الانهيار على القص مع ازدياد نسبة تسليح القص p_v في المجموعة الثانية وتكون الزيادة أكبر في الجوائز الخرسانية العادية مقارنة بالجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز.

ويوضح الشكل 4 مقارنة بين قوة القص التجريبية في الجيزان العادية (NC) والجيزان ذاتية الاكتناز (SCC). ويوضح الشكل 5 الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز (SCC) والعادية (NC) بعد إجراء التجارب عليها. وتبين الأشكال من 6 حتى 10 مقارنة بين المخططات التجريبية (الحمولة- السهم) للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز والعادية المختبرة حسب نسبة a/d ونسبة التسليح العرضي p_v %.

الجدول 7: النتائج التجريبية للحمولة الكلية عند الانهيار (Pu) ونمط الانهيار

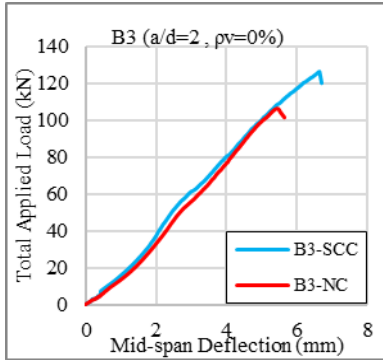
المجموعة	النوع	الجانز	f'c(28) Mpa	a/d	نسبة التسليح العرضي p_v %	Pu (KN)	نمط الانهيار
1 تغيير نسبة a/d دون تسليح عرضي	SCC	B1	26.9	3	0	89.6	Shear
		B2	26.1	2.5	0	111.7	Shear
		B3	26.2	2	0	126.3	Shear
	NC	B1	31.2	3	0	94.3	Shear
		B2	31.9	2.5	0	99.1	Shear
		B3	32.1	2	0	106.7	Shear
2 تغيير نسبة التسليح العرضي p_v من أجل نسبة a/d ثابتة	SCC	B3	26.2	2	0	126.3	Shear
		B4	26.5	2	0.27	138.6	Shear-flexure
		B5	25.7	2	0.38	162	Shear-flexure
	NC	B3	32.1	2	0	106.7	Shear
		B4	31.6	2	0.27	166.6	Shear-flexure
B5	32.7	2	0.38	180.1	Shear-flexure		



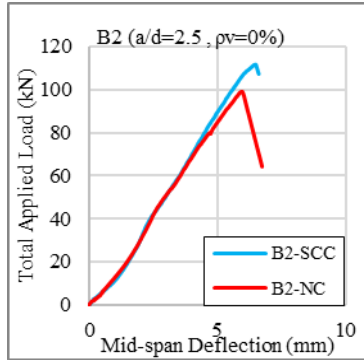
الشكل 4: مقارنة بين قوة القص التجريبية في الجيزان العادية (NC) والجيزان ذاتية الاكتناز (SCC).



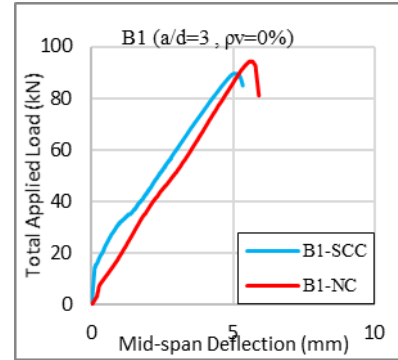
الشكل 5: الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتنزاز (SCC) والعادية (NC) بعد إجراء التجارب عليها



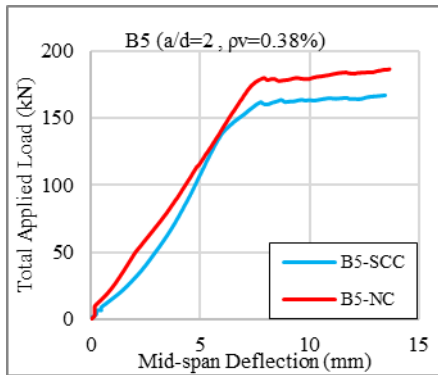
الشكل 6: مخططات (الحمولة_السهم) للجائز B3 من الخرسانة ذاتية الاكتنزاز والعادية من أجل (a/d=2 , pv=0%)



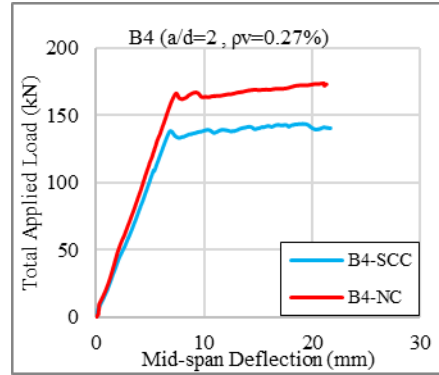
الشكل 7: مخططات (الحمولة_السهم) للجائز B2 من الخرسانة ذاتية الاكتنزاز والعادية من أجل (a/d=2.5 , pv=0%)



الشكل 8: مخططات (الحمولة_السهم) للجائز B1 من الخرسانة ذاتية الاكتنزاز والعادية من أجل (a/d=3 , pv=0%)



الشكل 9: مخططات (الحمولة_السهم) للجائز B5 من الخرسانة ذاتية الاكتنزاز والعادية من أجل (a/d=2 , pv=0.38%)



الشكل 10: مخططات (الحمولة_السهم) للجائز B4 من الخرسانة ذاتية الاكتنزاز والعادية من أجل (a/d=2 , pv=0.27%)

زيادة نسبة تسليح القص من أجل نسبة a/d ثابتة. يبين الجدول 8 قوة القص التجريبية والحسابية وفق بعض الكودات والباحثين. ويبين الجدول 9 التالي مقارنة نسبة (Vu.exp/ Vu.code) وهي النسبة

نلاحظ من الأشكال السابقة زيادة السهم الأعظمي والمقاومة على القص للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتنزاز (SCC) والعادية (NC) مع تناقص نسبة a/d وزيادة السهم الأعظمي والمقاومة على القص مع

بين قوة القص التجريبية إلى قوة القص المتوقعة حسب الكود أو الباحث. تسليح قص، ولكن تبقى معادلة الكود الكندي CSA أقرب للقيم التجريبية من بقية المعادلات لذلك سيتم التعديل عليها بما يتوافق مع الخرسانة ذاتية الاكتناز .

تحتسب قوة القص حسب الكود الكندي CSA بالعلاقات التالية:

$$V_c = 0.2\sqrt{f_c'}b_wd \quad (1)$$

$$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \leq 0.8\sqrt{f_c'}b_wd \quad (2)$$

$$V_u = V_c + V_s \quad (3)$$

نلاحظ من الجدول 9 أن معادلة الكود الكندي CSA تعطي قوة قص حدية قريبة من القيم التجريبية من أجل الجوائز الخرسانية العادية (NC) في حالة عدم وجود أو وجود تسليح قص بالمقارنة مع باقي المعادلات، وتعطي قوة قص حدية أقل من القيم التجريبية من أجل الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز (SCC) في حالة عدم وجود تسليح قص وقوة قص حدية أعلى من قوة القص التجريبية في حالة وجود

الجدول 8: قوة القص التجريبية والحسابية وفق الكودات

المجموعة	النوع	الجائز	f _c Mpa	a/d	ρ _v %	V _{u.exp} (KN)	V _{u.code} (KN)					
							ACI	CSA	Euro	BS 8110	Zsuty	Baznt
تغيير نسبة a/d دون تسليح عرضي	SCC	B1	26.9	3	0	44.80	32.85	42.79	40.91	31.28	40.21	36.17
		B2	26.1	2.5	0	55.86	32.85	42.15	40.09	30.97	42.3	40.62
		B3	26.2	2	0	63.15	33.59	42.23	50.25	31.01	57.03	50.59
	NC	B1	31.2	3	0	47.15	36.35	46.08	56.45	32.87	60.45	53.09
		B2	31.9	2.5	0	49.56	36.71	46.6	57.29	33.11	60.9	53.43
		B3	32.1	2	0	53.37	36.82	46.74	57.53	33.18	61.02	53.52
تغيير نسبة التسليح العرضي ρ _v من أجل نسبة a/d ثابتة	SCC	B3	26.2	2	0	63.15	33.59	42.23	50.25	31.01	57.03	50.59
		B4	26.5	2	0.27	69.27	63.87	72.58	77.73	57.32	87.36	80.86
		B5	25.7	2	0.38	81.01	75.45	83.97	87.54	67.48	98.82	92.48
	NC	B3	32.1	2	0	53.37	36.82	46.74	57.53	33.18	61.02	53.52
		B4	31.6	2	0.27	83.28	66.67	76.49	84.03	59.2	90.82	83.39
		B5	32.7	2	0.38	90.03	79.28	89.33	96.18	70.06	103.55	95.95

الجدول 9: نسبة (V_{u.exp}/ V_{u.code})

المجموعة	النوع	الجائز	V _{u.exp} /V _{u.ACI}	V _{u.exp} /V _{u.CSA}	V _{u.exp} /V _{u.Euro}	V _{u.exp} /V _{u.BS}	V _{u.exp} /V _{u.Zsutty}	V _{u.exp} /V _{u.Bazant}
تغيير نسبة a/d دون تسليح عرضي	SCC	B1	1.36	1.05	1.09	1.43	1.11	1.24
		B2	1.7	1.33	1.39	1.8	1.32	1.38
		B3	1.88	1.5	1.26	2.04	1.11	1.25
	NC	B1	1.3	1.02	0.84	1.43	0.78	0.89
		B2	1.35	1.06	0.87	1.5	0.81	0.93
		B3	1.45	1.14	0.93	1.61	0.87	1
تغيير نسبة التسليح العرضي ρ _v من أجل نسبة a/d ثابتة	SCC	B3	1.88	1.5	1.26	2.04	1.11	1.25
		B4	1.08	0.95	0.89	1.21	0.79	0.86
		B5	1.07	0.96	0.93	1.2	0.82	0.88
	NC	B3	1.45	1.14	0.93	1.61	0.87	1
		B4	1.25	1.09	0.99	1.41	0.92	1
		B5	1.14	1.01	0.94	1.29	0.87	0.94

$$V_c = 0.46 \left[5.3179 - \frac{a}{d} \right] \times 0.2 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (5)$$

$$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \leq 0.8 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (6)$$

$$V_u = V_c + V_s \quad (7)$$

❖ حساب معامل التصحيح في حال وجود تسليح قص:

حال وجود تسليح قص فيتم إدخال معامل تخفيض قيمته 0.87 على معادلة حساب قوة القص الناتجة عن مساهمة الاساور وتصحيح العلاقات:

$$V_c = 0.2 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (8)$$

$$V_s = 0.87 \frac{A_v f_v d}{s} \leq 0.8 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (9)$$

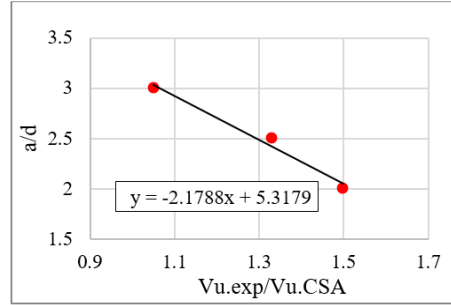
$$V_u = V_c + V_s \quad (10)$$

يبين الجدول 10 قوة القص التجريبية وقوة القص الحدية المحسوبة باستخدام الكود الكندي قبل التعديل CSA وبعد التعديل CSA Modify بما يتوافق مع الخرسانة ذاتية الاكتناز. وتبين الأشكال 12، 13 قوة القص التجريبية وقوة القص الحدية المحسوبة باستخدام الكود الكندي قبل وبعد التعديل للخرسانة ذاتية الاكتناز في حال عدم وجود تسليح قص وفي حال وجود تسليح قص.

الجدول 10: قوة القص التجريبية وقوة القص الحدية المحسوبة باستخدام الكود الكندي قبل التعديل CSA وبعد التعديل CSA Modify

Beam SCC	a/d	ρ _v %	Vu.exp (KN)	CSA			Vu.exp/Vu.CSA	CSA Modify			Vu.exp/Vu.CSA Mod
				Vc (KN)	VS (KN)	Vu (KN)		Vc Mod (KN)	VS Mod (KN)	Vu Mod (KN)	
B1	3	0	44.80	42.79	0	42.79	1.05	45.62	0	45.62	0.98
B2	2.5	0	55.86	42.15	0	42.15	1.33	54.64	0	54.64	1.02
B3	2	0	63.15	42.23	0	42.23	1.5	64.45	0	64.45	0.98
B4	2	0.27	69.27	42.47	30.11	72.58	0.95	42.47	26.2	68.67	1.01
B5	2	0.38	81.01	41.82	42.15	83.97	0.96	41.82	36.67	78.49	1.03

يبين الشكل 11 العلاقة بين نسبة قوة القص التجريبية إلى قوة القص الحدية المحسوبة باستخدام الكود الكندي CSA ونسبة مجاز القص إلى الارتفاع الفعال (a/d) للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز.



الشكل 11: العلاقة بين نسبة Vu.exp/Vu.CSA ونسبة (a/d)

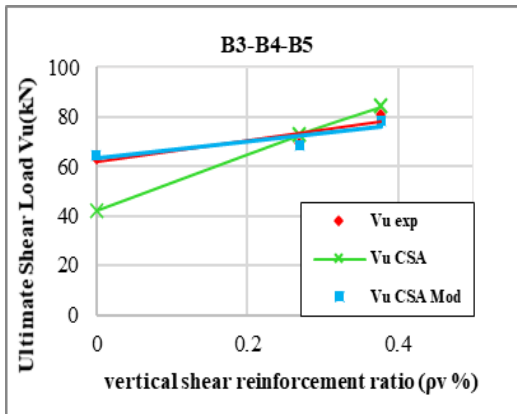
❖ حساب معامل التصحيح في حال عدم وجود تسليح قص:

$$y = -2.1788X + 5.3179$$

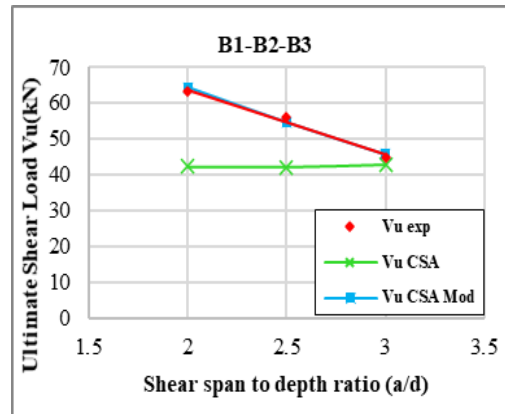
$$X = \frac{1}{2.1788} [5.3179 - y]$$

$$X = 0.46 \left[5.3179 - \frac{a}{d} \right] \quad (4)$$

يتم إدخال معامل التصحيح على معادلة حساب قوة القص الناتجة عن مساهمة البيتون حسب الكود الكندي CSA وتصحيح العلاقات:



الشكل 13: حالة وجود تسليح قص



الشكل 12: حالة عدم وجود تسليح قص

$$f_{cb} = 0.7 * \sqrt{f'_c} \quad (14)$$

ويتم تحويل المقطع غير المتجانس إلى مقطع متجانس مماثل لمادة البيتون من خلال جداء مساحات القضبان الفولاذية بأمثال التعادل (n). ومن ثم إيجاد موقع المحور المحايد بحيث يكون العزم الستاتيكي للمنطقة المشدودة يساوي العزم الستاتيكي للمنطقة المضغوطة. تم رسم مخطط (الحمولة _ السهم) حسابياً من العلاقة 11، وقد تم مقارنة ذلك مع القيم التجريبية ومن أجل أخذ تأثير البيتون المتشقق بعين الاعتبار وعامل المرونة الفعلي تم اعتماد معامل التصحيح (k) لتصبح العلاقة 11 على الشكل التالي:

$$\delta = \frac{P \cdot a \cdot k}{24 E_c \cdot I_e} (3L^2 - 4a^2) \quad (15)$$

تم اعتماد عامل التصحيح K=2.1 من أجل الجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز، وK=2.2 من أجل الجوائز الخرسانية العادية. يوضح الجدولان 11 و12 النتائج الحسابية والتجريبية والمعدلة للسهم الأعظمي والفرق بينهما بالنسبة المئوية للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز والعادية، حيث بلغ المتوسط الحسابي للفروقات عند حساب السهم الأعظمي المعدل القيمة (6.3%) في الخرسانة ذاتية الاكتناز و(10.9%) في الخرسانة العادية. وتم رسم مخططات الحمولة السهم الحسابية والتجريبية والمعدلة للجوائز مبينة بالأشكال من 14 حتى 23.

8. السهم في الجائز البيتوني:

يحسب السهم في الجائز البيتوني، والذي يتعرض لتأثير حمولة انعطاف أربع نقاط، والتي تقع كل حمولة (P) فيه على بعد (a) عن محور المسند باستخدام العلاقة 11 التالية [14]:

$$\delta = \frac{P \cdot a}{24 E_c \cdot I_e} (3L^2 - 4a^2) \quad (11)$$

L: طول الجائز المحوري. I_e : عزم العطالة المكافئ للمقطع.

a: بعد كل حمولة عن محور الاستناد.

E_s : عامل المرونة للبيتون.

P: شدة كل حمولة مركزة تقع على بعد (a).

$$I_e = \left[\left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 * I_g \right] + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] * I_{cr} \quad (12)$$

I_{cr} : عزم العطالة للمقطع المكافئ المتشقق على ألا يزيد عن I_g .

M_a : قيمة عزم الانعطاف المعرض له العضو عند حساب التشكل.

M_{cr} : أقل عزم انعطاف يسبب التشقق في الخرسانة ويؤخذ من المعادلة.

$$M_{cr} = \frac{f_{cb} * I_g}{y_t} \quad (13)$$

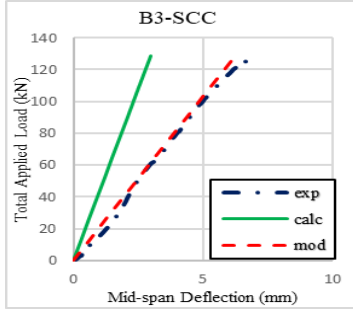
f_{cb} : إجهاد الشد الأقصى للخرسانة عند الانعطاف ويؤخذ من المعادلة:

الجدول 11: السهم الأعظمي التجريبي (δ_{exp})، والحسابي (δ_{cal})، والمعدل ($\delta_{cal.modify}$) للجوائز الخرسانية ذاتية الاكتناز SCC

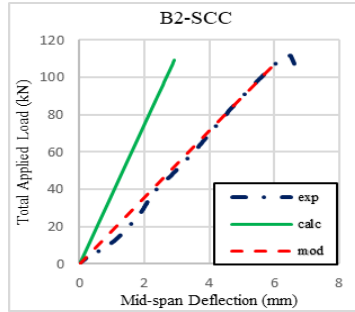
Beams SCC	Ie (mm4)	δ_{exp} (mm)	δ_{cal} (mm)	$\delta_{cal.modify}$ (mm)	$\left(\frac{\delta_{exp} - \delta_{cal.modify}}{\delta_{exp}} \right)$ (%)
B1-SCC	1.75E+08	5	2.6	5.4	-8%
B2-SCC	1.77E+08	6.5	2.9	6.1	6.2%
B3-SCC	1.80E+08	6.6	3	6.2	6.1%
B4-SCC	1.79E+08	6.9	3.1	6.4	7.2%
B5-SCC	1.79E+08	7.8	3.6	7.5	3.8%

الجدول 12: السهم الأعظمي التجريبي (δ_{exp})، والحسابي (δ_{cal})، والمعدل ($\delta_{cal.modify}$) للجوائز الخرسانية العادية NC

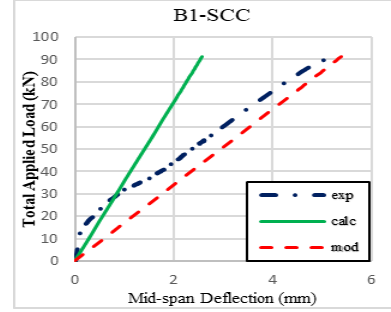
Beams NC	Ie (mm4)	δ_{exp} (mm)	δ_{cal} (mm)	$\delta_{cal.modify}$ (mm)	$\left(\frac{\delta_{exp} - \delta_{cal.modify}}{\delta_{exp}} \right)$ (%)
B1-NC	1.76E+08	5.7	2.4	5.3	6.5%
B2- NC	1.78E+08	6	2.2	4.9	17.8%
B3- NC	1.82E+08	5.4	1.9	4.2	22.8%
B4- NC	1.80E+08	7.4	3.1	6.9	6.9%
B5- NC	1.79E+08	7.9	3.6	7.9	0.4%



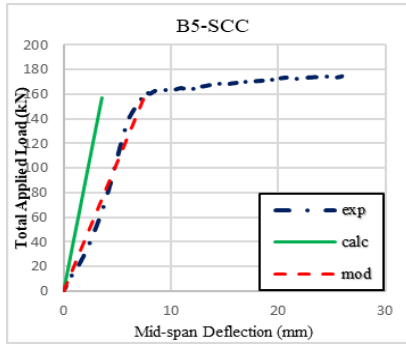
الشكل 16: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B3-SCC



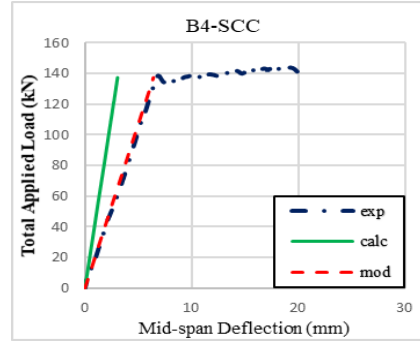
الشكل 15: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B2-SCC



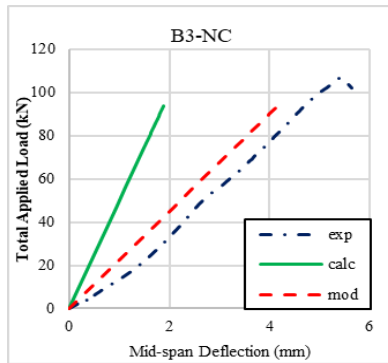
الشكل 14: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B1-SCC



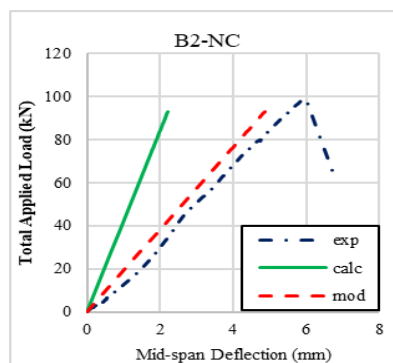
الشكل 18: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B5-SCC



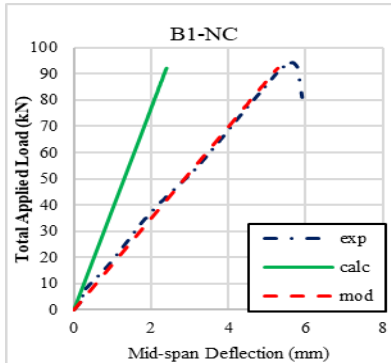
الشكل 17: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B4-SCC



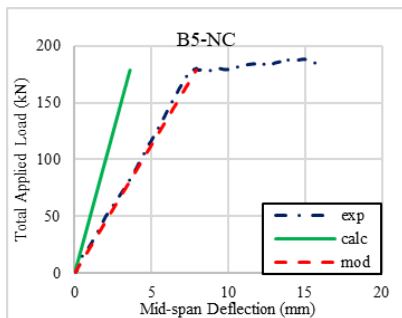
الشكل 21: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B3-NC



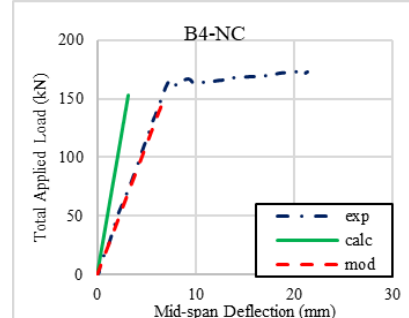
الشكل 20: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B2-NC



الشكل 19: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B1-NC



الشكل 23: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B5-NC



الشكل 22: مخطط(الحمولة-السهم)(التجريبي والحسابي والمعدل)) للجائز B4-NC

بالمقارنة مع الجائز بدون تسليح قص. بينت النتائج للجائز في حال عدم وجود تسليح قص فإن النسبة بين قوة القص التجريبية والحسابية باستخدام الكودات أو الباحثين كانت أعلى في الجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز بالمقارنة مع الجائز الخرسانية العادية، أما بالنسبة للجائز مع تسليح على القص فإن النسبة كانت أعلى في الجائز الخرسانية العادية بالمقارنة مع الجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز. إن التعديل على علاقة حساب مقاومة القص للكود الكندي CSA mod أعطى قيم قريبة من القيم التجريبية للجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز بدون تسليح قص أو مع تسليح قص. بلغ المتوسط الحسابي للفروقات عند حساب السهم الأعظمي المعدل القيمة (6.3%) في الخرسانة ذاتية الاكتناز و(10.9%) في الخرسانة العادية. وإن إدخال معامل التصحيح المقترح (k) على علاقة حساب السهم أعطى قيم للسهم الحسابي قريبة من القيم التجريبية. نوصي بالقيام بعدد أكبر من التجارب من أجل استنتاج معادلة تربط بين نسبة التسليح والمعامل (k).

الخلاصة:

يقدم البحث دراسة تجريبية وحسابية لتحري سلوك الجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز والعادية على القص، يتضمن البرنامج العملي اختبار خمسة جوائز من الخرسانة ذاتية الاكتناز وخمسة من الخرسانة العادية، حيث تبين من النتائج بأن العلاقات المستخدمة لحساب قوة القص الحدية للخرسانة العادية لا يمكن تطبيقها مباشرة على الخرسانة ذاتية الاكتناز وإنما يجب التعديل عليها بما يتوافق مع هذا النوع من الخرسانة.

المراجع:

- [1] Ozawa K; Maekawa K; Kunishima M; Okamura H.,1989- Development of High-Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structure, *proceedings of the second East Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2)*, 1,445-450.
- [2] Hajime O; Ouchi M., 2003- Self compacting concrete. *J. Adv. Concr. Technol.* 1(1), 5–15
- [3] Arezoumandi, M., & Volz, J. S. (2013). An experimental study on shear strength of chemically-based self-consolidating concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(4), 273-285.
- [4] Al-Janabi, A. H. (2017). experimental comparison of shear behavior between normal and self-compacted concrete beams. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 21(5), 39-53.

نلاحظ من الأشكال السابقة بأن إدخال معامل التصحيح المقترح (k) على علاقة حساب السهم في الجائز المدروسة أعطى قيم للسهم الحسابي قريبة من القيم التجريبية.

9. الاستنتاجات:

أظهرت الجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز سلوكاً متطابقاً تقريباً مع سلوك الجائز من الخرسانة العادية من حيث تشكل الشقوق وانتشارها ومنحنيات (الحمولة – السهم).

بينت النتائج أن مقاومة الضغط (f_c) ومقاومة الشد بالانحناء البسيط (f_{cb}) ومقاومة الشد بالفلق (f_{ct}) أكبر في الخرسانة العادية بالمقارنة مع الخرسانة ذاتية الاكتناز، وبلغ متوسط الزيادة القيمة (17.6%)، (30.4%)، (13.3%) على التوالي. وأظهرت النتائج التجريبية بأن قدرة تحمل الجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز كانت أكبر من قدرة تحمل الجائز الخرسانية العادية في حال عدم وجود تسليح قص على الرغم بأن مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالانحناء البسيط والشد بالفلق أكبر في الخرسانة العادية بالمقارنة مع الخرسانة ذاتية الاكتناز، وقد بلغ متوسط الزيادة (8.7%) وذلك بسبب زيادة التلاحم للخرسانة ذاتية الاكتناز بالمقارنة مع الخرسانة العادية [15]، بينما قدرة تحمل الجائز ذات الخرسانة العادية كانت أكبر من قدرة تحمل الجائز ذات الخرسانة ذاتية الاكتناز في حال وجود تسليح قص، وقد بلغ متوسط الزيادة (13.4%).

يزداد السهم الأعظمي والمقاومة على القص مع تناقص نسبة a/d للجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز (SCC) والعادية (NC) في حال عدم وجود تسليح قص، ويزداد مع زيادة نسبة تسليح القص من أجل نسبة a/d ثابتة. بينت النتائج أن نقصان نسبة مجاز القص إلى الارتفاع الفعال (a/d) في الجائز الخرسانية ذاتية الاكتناز في حال عدم وجود تسليح قص من 3 إلى 2.5 و 2 إلى زيادة مقاومة القص بنسبة 19.8%، 29.1% على التوالي، بينما استخدام حديد تسليح عرضي بنسبة 0.27% و 0.38% أدى إلى زيادة مقاومة القص بالنسب 8.9%، 22% على التوالي وذلك بالمقارنة مع الجائز بدون تسليح قص. بالنسبة للجائز الخرسانية العادية فإن نقصان نسبة مجاز القص إلى الارتفاع الفعال (a/d) في حال عدم وجود تسليح قص من 3 إلى 2.5 و 2 إلى زيادة مقاومة القص بالنسب 4.8%، 11.6% على التوالي، بينما استخدام حديد تسليح عرضي بنسبة 0.27% و 0.38% في الجائز الخرسانية العادية أدى إلى زيادة مقاومة القص بالنسب 36%، 40.8% على التوالي وذلك

- [10] British Standards Institution, Structural Use of Concrete. Part 1: Code of Practice for Design and Construction. BS8110, BSI, Milton Keynes, 1997.
- [11] Zsutty, T." Beam Shear strength prediction by Analysis of existing data" ACI Journal Vol 65(11) Nov,1968, PP 943-951.
- [12] Bazant, Z.P and Kim, J.K. "The Size effect in shear Failure of longitudinally reinforced Beams" ACI Structural Journal Vol.81 (5). (1984). pp.456-468.
- [13] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete,2005- *specification, production and use* BIBM, CEMUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO.1-68.
- [14] ELBEHIRY S., 1979 - Reinforced Concrete Design Handbook, Ain Shams University. Third Edition.
- [15] صفو محمد، السيد يحيى سوسن ، 2015- " دراسة تجريبية لتأثير نوع ومقاومة البيتون على اجهاد التلاحم (البيتون-فولاذ) " ، رسالة ماجستير، جامعة حلب.
- [5] Lachemi, M., Hossain, K. M., & Lambros, V. (2005). Shear resistance of self-consolidating concrete beams— experimental investigations. Canadian journal of civil engineering, 32(6), 1103-1113.
- [6] Khudair, J. A. S., & Chkheiw, A. H. (2015). Structural Behavior of Self Compacting Concrete. Muthanna Journal of Engineering and Technology (MJET), 3(2), 62-72.
- [7] American concrete institute "ACI (2005) building code requirements for structural concrete (ACI318-14) and commentary (ACI 318R-14). USA: Farmington Hills,Mich ACI committee 318.
- [8] CSA CAN3-A23.3-1994," Design of Concrete Standards for Building "، Rexdale, Ontario, Canada,1994.
- [9] Eurocode No.2: Design of Concrete Structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings, Commission of the European Communities, ENV 1992-1-1, Dec. 1991, p.253 (Final draft 2002).