

تطوير علاقة لمقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة باستخدام ألياف الكربون CF

د. غاندي علي ججاج*

د. طارق سليمان أصلان**

رامية بديع غالبية***

(تاريخ الإيداع 20 / 7 / 2021. قُبِلَ للنشر في 16 / 8 / 2021)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية-تحليلية لسلوك القص في الجوائز البيتونية المسلحة بإضافة ألياف الكربون إلى بيتون هذه الجوائز غير الحاوية على أساور عرضية لدراسة تأثيرها على مقاومة القص ، حيث تبين من الدراسة أن إضافة ألياف الكربون للخلطة البيتونية تحسن سلوك القص للجوائز البيتونية وتزيد من مقاومته، كما تؤدي إضافة ألياف الكربون إلى زيادة حمولة الانهيار بنسبة % (10.8-32.3) مقارنة مع حالة استخدام بيتون بدون ألياف كربون. تهدف الدراسة التحليلية إلى تطوير علاقة مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة الحاوية على ألياف الكربون، وذلك بالاعتماد على نتائج الدراسة التجريبية للبحث ولأبحاث سابقة باستخدام التحليل الإحصائي، وقد تم التوصل إلى العلاقة التي تعبر بشكل جيد عن سلوك مثل هذه العناصر.

الكلمات المفتاحية: مقاومة القص - ألياف الكربون - تحليل إحصائي.

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

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

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

Develop a Relationship of Shear Strength of Reinforced Concrete Beams with Carbon Fiber CF

Dr. Ghandi Ali Jahjah*
Dr. Tarek Soulaïman Aslan**
Ramia Badee Ghali***

(Received 20 / 7 / 2021. Accepted 16 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

This research Presents an experimental and analytical study. The experimental consists of a study of shear behavior for concrete beams reinforced with add carbon fibers to the concrete of beams that do not contain transverse stirrups to study their effect on the shear strength of the concrete beams, as it resulted from the study that the carbon fibers added to the concrete mix improved the shear behavior of the concrete beams and increased shear strength, The addition of carbon fibers increased the failure load by (10.8-32.3)% compared to the non-fiber reinforced beam.

The analytical component of the research includes developing the relationship of shear strength to the beams reinforced with carbon fibers, depending on the results of the experimental study of the research and previous research using statistical analysis.

Keywords: Shear strengthening –carbon Fiber– CFRP stirrups- statistical analysis .

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

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

*** Postgraduate Student– Department of Structural Engineering – Faculty Of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

مقدمة:

يحدث الانهيار على القص عندما تتجاوز إجهادات الشد الرئيسية في منطقة مجاز القص مقاومة الشد للبيتون غير المسلح مما يؤدي إلى تطور الشق القطري ضمن جسد الجائز، يحدث هذا الانهيار دون انذار مسبق وذلك يعود إلى الطبيعة الهشة لسلوك البيتون العادي الخاضع للشد. إن إضافة كمية قليلة من الألياف إلى الخلطة البيتونية يساعد في تحسين مقاومة الشد للبيتون المتصلب وبالتالي تحسين مقاومة القص للبيتون المسلح بالألياف، ويفضل استخدام الألياف البوليميرية في الأوساط ذات التأثير البيئي الضار بالفولاذ، كألياف الكربون وغيرها. قدمت عدة دراسات علاقات للتنبؤ بمقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بالألياف، تنوعت بين علاقات الكودات مثل الكود الأمريكي ACI وغيره وعلاقات دراسات تجريبية وتحليلية وضعت من قبل باحثين مثل علاقة الباحث Darwish و زملائه و علاقة الباحث (1986) Sharma.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تطوير علاقة مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بألياف (فولاذية، كربونية، ...) وذلك بالاعتماد على النتائج التجريبية لهذا البحث وأبحاث سابقة باستخدام التحليل الإحصائي للبيانات.

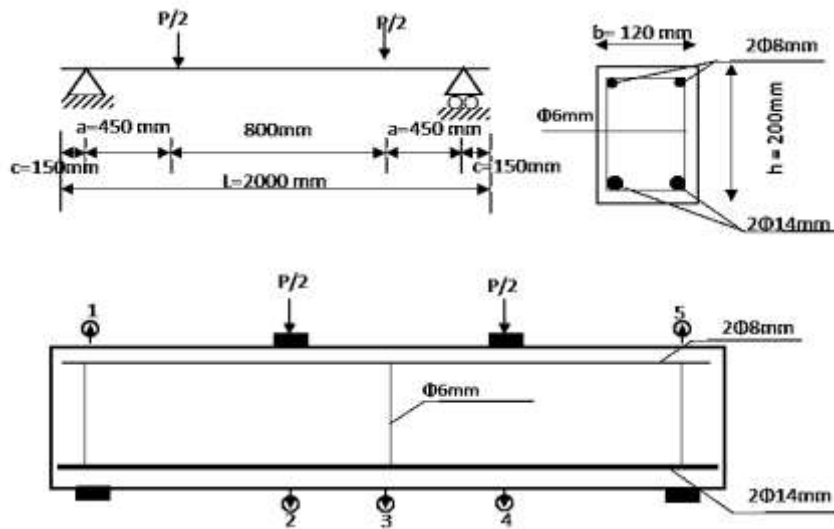
طرائق البحث ومواده:

يقسم البحث إلى محورين:

- المحور التجريبي تم فيه دراسة سلوك عدد من الجوائز البيتونية المسلحة طولياً بتسليح فولاذي ومسلحة بألياف الكربون المضافة إلى الخلطة البيتونية بنسب حجمية مختلفة % Vf (0.25, 0.5, 0.75, 1) ضمن المجال المعتمد في المراجع العلمية وهو [2%-0%]، لبيان تأثير تغيير النسبة الحجمية للألياف على مقاومة القص لهذه الجوائز، ولم يتم دراسة تأثير العوامل الأخرى هنا (كنسبة التسليح الطولي والارتفاع الفعال ونسبة ald و..... الخ).
- المحور التحليلي يعتمد على نتائج القسم التجريبي والدراسات السابقة لتطوير علاقة لمقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بألياف الكربون أو غيرها من الألياف.

البرنامج التجريبي والعينات المختبرة والمواد المستخدمة:

- تم تحضير واختبار 15 جائزاً بأبعاد (2000*200*120)mm مسلحة طولياً بقضبان 2T14mm تسليح سفلي و 2Φ8mm تسليح علوي وتم تثبيت هيكل التسليح بثلاث أساور اثنتان فوق المساند وواحدة في المنتصف بقطر Φ6mm لتأمين ثبات الهيكل، واستخدام خلطة بيتونية مع إضافة ألياف الكربون إليها بنسب حجمية مختلفة كما هو مبين في الجدول (1)، كما يبين هذا الجدول تفاصيل تسليح الجوائز المختبرة و مقاومة الضغط المتوسطة للبيتون المستخدم.
- تم اختبار العينات كجوائز بسيطة الاستناد محملة بحمولتين مركبتين التباعد بينهما 80cm مبينة بالشكل (1).



الشكل (1) تفاصيل جوائز الاختبار الطولية والعرضية. (1،2،3،4،5) - مقاييس الانتقالات

اختبرت الجوائز تحت تأثير حملتين مركزيين ، طبقت على الجوائز بواسطة موزع أحمال، جرى التحميل بزيادة الحمل بمقدار 5kN تدريجياً مع توقف لأخذ القراءات مع كل زيادة بفاصل دقيقتين إلى ثلاث دقائق بين كل مرحلة وأخرى. يبين الشكل(2) الجوائز المختبرة كل جائز يمثل المجموعة التابع لها، حيث انهارت كل الجوائز على القص

B1



Bc4



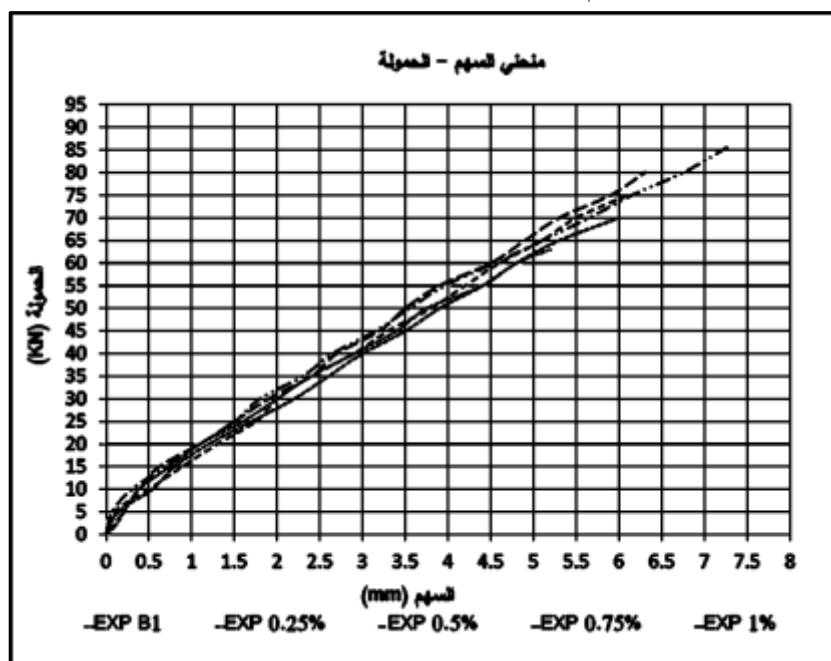
Bc8



Bc10**Bc13**

الشكل (2): جوائز الاختبار التشققات وأنماط الانهيار.

ويبين الشكل (3) مخطط الحمولة-السهم للجوائز المختبرة.



الشكل (3): مخطط الحمولة - السهم للجوائز المسلحة بألياف الكربون.

علاقات حساب مقاومة القص الحديدية V_n للجوائز البيتونية المسلحة بألياف:

تعددت العلاقات المقترحة لحساب مقاومة القص الحديدية وتتنوع تبعاً لنوع العناصر والخلطة البيتونية المستخدمة وإضافاتها، وسوف نتعرض لأهم هذه العلاقات،

1 - علاقة الباحث Sharma [1][2]:

طور الباحث (1986) Sharma علاقة تجريبية لحساب مقاومة القص الحدية بالاعتماد على مقاومة الشد بالفلق للبيتون المسلح بالألياف f_{ct} وعلى نسبة مجاز القص إلى الارتفاع الفعال a/d .

$$V_n = (k \times f_{ct}) \times \left(\frac{a}{d}\right)^{1/4} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

حيث: $k=2, f_{ct} = 0.79 \times \sqrt{f'_c}$ إن هذه العلاقة لا تتعلق بمساهمة الألياف.

2 - علاقة Narayanan and Darwish [1][2]:

اقترح الباحثان (1987) علاقة تجريبية لحساب اجهاد القص الحدي تتضمن ثلاث محددات هي مقاومة الشد بالفلق والعمل القوسي للجائز ونسبة التسليح الطولي واجهاد الشد للألياف على طول شق القص القطري:

$$V_n = e \times \left(0.24 \times f_{ct} + 80 \times \rho \times \frac{d}{a}\right) + v_b \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

يعبر العامل e عن تأثير العمل القوسي للجائز ويعطى بالشكل التالي:

$$e = 1 \text{ for } \left(\frac{a}{d} > 2.8\right), \quad e = 2.8 \times \frac{d}{a} \text{ for } \left(\frac{a}{d} \leq 2.8\right)$$

تعطى علاقة مقاومة الشد بالفلق f_{ct} بالاعتماد على تحليل الانحدار الاحصائي للنتائج التجريبية بالشكل التالي:

$$f_{ct} = \frac{f_{cuf}}{20 - \sqrt{F}} + 0.7 + \sqrt{F} \quad (\text{MPa}) \quad F = V_f \frac{L_f}{D_f} \beta$$

حيث:

f_{cuf} - المقاومة المكعبية على الضغط F (MPa) - عامل الليف V_f - النسبة الحجمية للألياف - L_f : طول الليف (mm) - D_f : قطر الليف (mm) - β : عامل التماسك ويعتمد على شكل الليف الهندسي ويساوي 0.5 للألياف المستقيمة الدائرية round و 0.75 للألياف المتعرجة crimped و 1 للألياف ذات النهايات المعقوفة indented، لم يحسب عامل الليف بالاعتماد على النسبة الحجمية للألياف V_f وعامل الشكل L_f/D_f فقط بل على عامل التماسك β - ρ : نسبة التسليح الطولي، b : عرض المقطع (mm) - d : الارتفاع الفعال (mm).

القسم الثالث من العلاقة v_b هو مقاومة سحب الليف على طول الشق القطري المائل بزاوية 45° ويعطى بالعلاقة

$$v_b = 0.41\tau V_f \frac{L_f}{D_f} \beta = 0.41\tau F \quad \text{التالية:}$$

حيث: τ - اجهاد التماسك ويساوي 4.15Mpa (القيمة مقترحة من قبل (Swamy et al. (1974) [1][2].

3 - علاقة Ashour, Hasanain, and Wafa [1][2]:

عدل *Ashour et al.* (1992)، علاقة *Zsutty* (1968) للبيتون العادي بإدخال عامل الليف F لتصبح للبيتون المسلح بألياف فولاذية بالشكل التالي:

$$v_n = (2.11 \sqrt[3]{f'_c} + 7F) \sqrt[3]{\rho \frac{d}{a}} \quad (MPa) \text{ for } a/d \geq 2.5 \quad (a-3)$$

$$v_n = \left[(2.11 \sqrt[3]{f'_c} + 7F) \sqrt[3]{\rho \frac{d}{a}} \frac{2.5d}{a} + v_b \left(2.5 - \frac{a}{d} \right) \right] \quad (MPa) \text{ for } a/d < 2.5 \quad (b-3)$$

إن المعاملات F ، v_b ، هي نفسها الموجودة في علاقة (Narayanan and Darwish (1987)، واقترحوا أيضاً تعديل علاقة الكود الأمريكي ACI - 318 Eq(11-5) بإضافة عامل الليف F وباستخدام تحليل الانحدار الإحصائي لتصبح بالشكل التالي:

$$v_n = (0.7 \sqrt{f'_c} + 7F) \frac{d}{a} + 17.2 \rho \frac{d}{a} \quad (MPa) \quad (4)$$

4- علاقة [3][1] Khuntia, Stojadinovic and Goel

اقترح الباحثون (1999) علاقة تأخذ بالحسبان عامل الليف بالاعتماد على تطوير علاقة الكود الأمريكي ACI - 318 Eq (11-5)، تم حساب مساهمة الألياف بالاعتماد على مقاومة الشد بعد التشقق والتي تؤخذ مكافئة لـ $0.41 \tau \times F$ ، يفرض أن إجهاد التماسك بين الليف والمونة الإسمنتية $\tau = 0.68 \times \sqrt{f'_c}$ والتقدير العمودي للشق القطري مساوياً $(0.9xd)$ وأدخل تأثير العمل القوسي للجوائز بإدخال العامل e إلى العلاقة كما يلي:

$$v_n = (0.167e + 0.25F) \sqrt{f'_c} \quad (MPa) \quad (5)$$

$$e = 1 \text{ for } \left(\frac{a}{d} \geq 2.5 \right), \quad e = 2.5 \times \frac{d}{a} < 3 \text{ for } \left(\frac{a}{d} < 2.5 \right) \quad \text{حيث:}$$

- f'_c : المقاومة المميزة للبيتون (MPa)، F : عامل الليف وهو ذاته الموضح سابقاً في علاقة درويش (2)

5 - علاقة [4] Kwak et al.

عدل الباحث (2002) Kwak et al. علاقة (1968) Zsutty لحساب تأثير قوة الشد على العمل القوسي مع حد إضافي خاص بالألياف لحساب المساهمة المباشرة للألياف في مقاومة القص في الجوائز المسلحة بألياف فولاذية بدون أساور.

$$v_n = 3.7 \cdot e \cdot f_{ct}^{2/3} \cdot \left(\rho \frac{d}{a} \right)^{1/3} + 0.8v_b \quad (MPa) \quad (6)$$

$$e = 1 \text{ for } \left(\frac{a}{d} > 3.4 \right), \quad e = 3.4 \times \frac{d}{a} \text{ for } \left(\frac{a}{d} \leq 3.4 \right) \quad \text{حيث:}$$

- مقاومة الشد بالفلق f_{ct} تحسب من العلاقة المذكورة سابقاً
جميع المعاملات هي المذكورة في علاقات درويش (2)

$$f_{ct} = \frac{f_{cm}}{20 - \sqrt{F}} + 0.7 + \sqrt{F} \quad (MPa)$$

النتائج والمناقشة:

يبين الجدول (2) النتائج التجريبية للجوائز التي تم اختبارها (القيم هي وسطي الجوائز المختبرة لكل حالة).

الجدول (2) نتائج الاختبارات للجوائز المدروسة

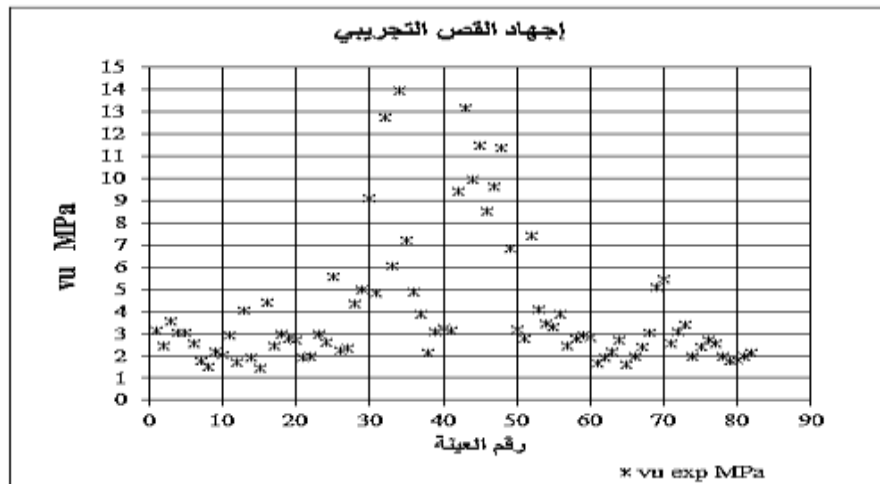
الجائز	b mm	d mm	حمولة الانهيار KN	قوة القصر KN	إجهاد القصر MPa
B1,B2,B3	120	170	65	32.5	1.59
BC4,BC5,BC6	120	170	72	36	1.76
BC7,BC8,BC9	120	170	74	37	1.81
BC10,BC11,BC12	120	170	80	40	1.96
BC13,BC14,BC15	120	170	86	43	2.11

تطوير علاقات حساب مقاومة القص الحديدية V_n للجوائز البيتونية المسلحة بألياف الكربون:

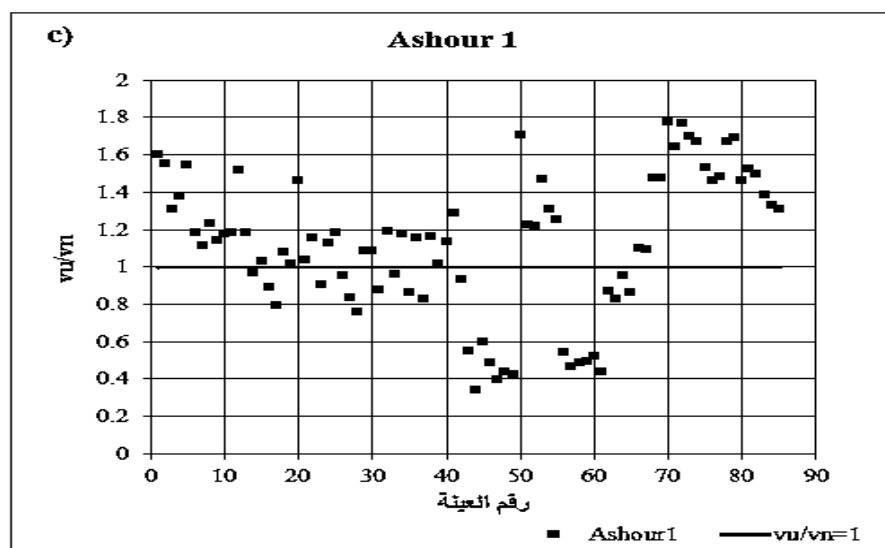
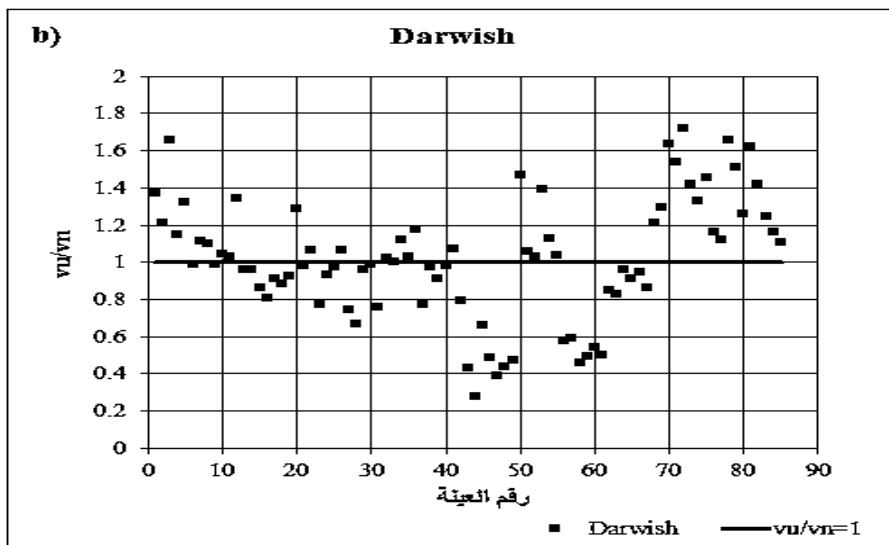
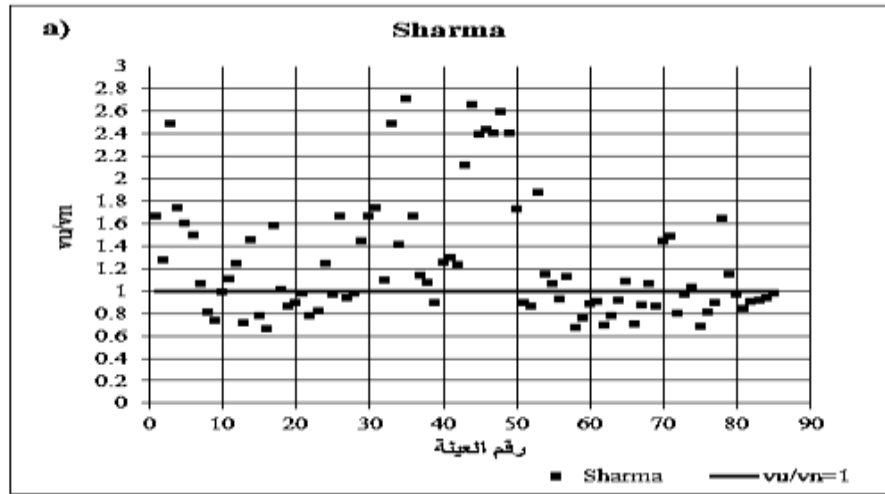
اعتمدت الدراسات السابقة على الألياف الفولاذية فقط وهنا ندخل نتائج هذه الدراسة التجريبية للجوائز البيتونية المسلحة بألياف الكربون ونعيد دراسة العلاقات لنحصل على العلاقة الأشمل لأنواع الألياف. نحسب عامل أداء العلاقات (1).....(6) بالنسبة لـ 82 جائزاً من الدراسات السابقة المسلحة بالألياف الفولاذية والدراسة الحالية المسلحة بألياف الكربون [3,4]، حيث كانت المقاومة المميزة للبيتون f'_c بين (20.6-99) MPa، وتراوح الارتفاع الفعال d بين (102-937) mm، ونسبة التسليح الطولي ρ كانت ضمن المجال % (1.1-5.72)، أما النسبة الحجمية للألياف V_f فتتراوح بين % (0-1.5) وكان عامل الشكل L_f/D_f بين (50-133)، أما النسبة a/d فتتراوح بين (0.46-4.5).

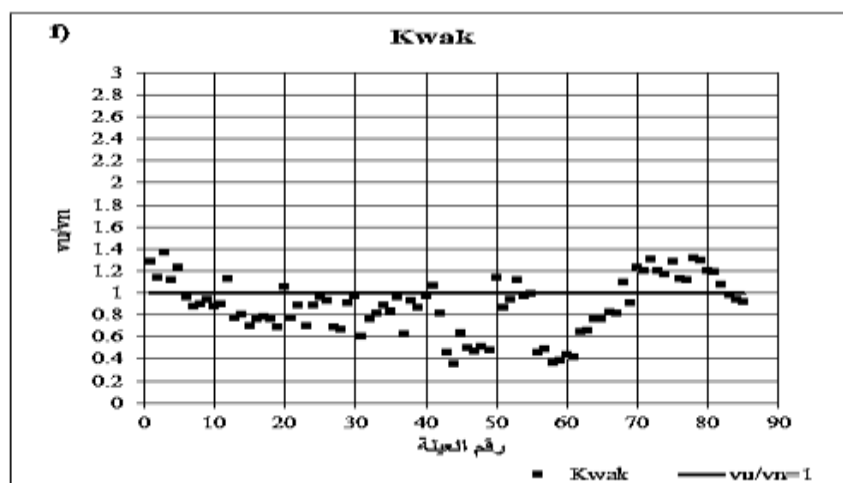
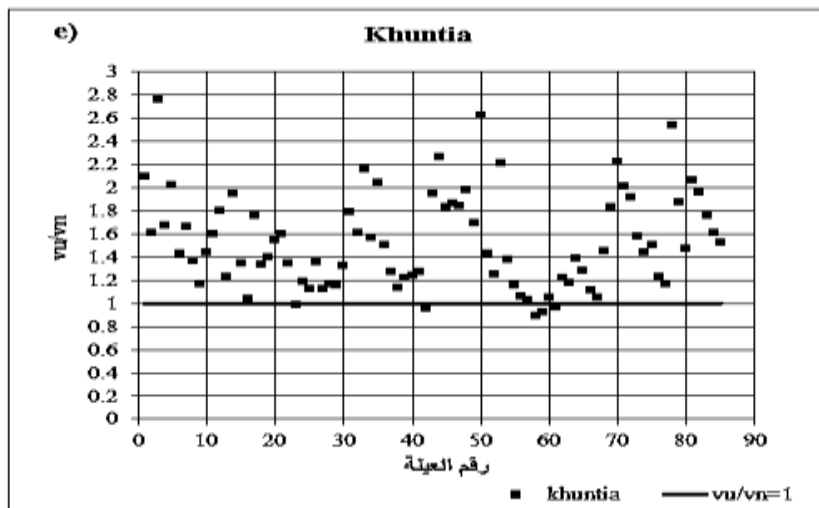
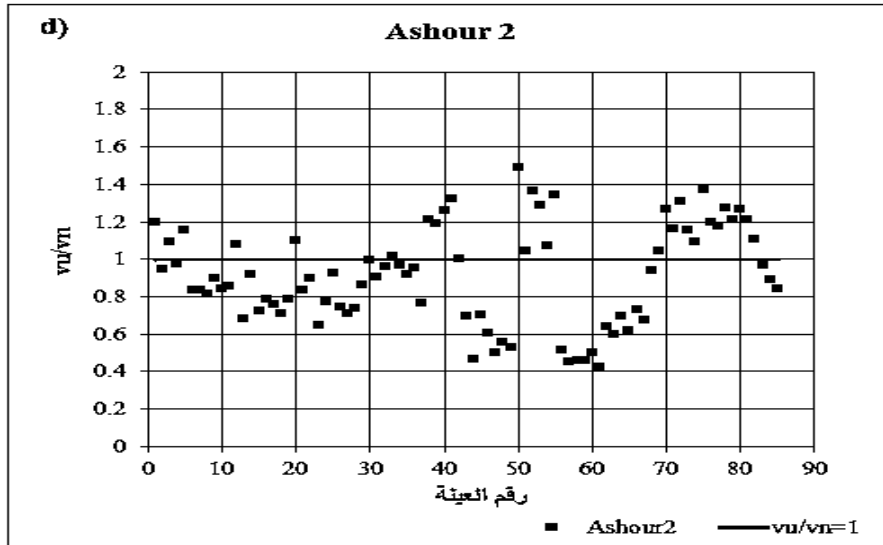
حساب عامل الأداء (v_u/v_n) بالشكل التالي: هو نسبة إجهاد القص الحدي التجريبي v_u إلى إجهاد القص الحدي الحسابي v_n من العلاقات المذكورة، بعدها تم إجراء الدراسة الإحصائية لعامل الأداء لتحديد العلاقة الأفضل للتعديل من العلاقات السابقة من (1) إلى (6).

يبين الشكل (4) إجهاد القص التجريبي v_{uexp} لـ 82 جائز المذكورين [3,4] ويعرض الشكل (5) عامل الأداء (v_u/v_n) المحسوب لكل جائز وفق العلاقات (1),(2),(3),(4),(5),(6).



الشكل (4): إجهاد القص التجريبي للجوائز الـ 82 [3,4].





الشكل (5): عامل أداء العلاقات بالنسبة لجوائز الدراسة الـ82: (a) - عامل الأداء وفق (b, Sharma) - عامل الأداء وفق (c, Darwish) - عامل الأداء وفق (d, Ashour1) - عامل الأداء وفق (e, Ashour2) - عامل الأداء وفق (f) Khuntia عامل الأداء وفق

تم إجراء تحليل الانحدار الإحصائي لعامل الأداء للعلاقات الواردة في الشكل (5) حيث تم حساب كل من: القيمة المتوسطة Avg، القيمة العظمى Max، القيمة الصغرى Min، الانحراف المعياري St.Dev، ومعامل الانحراف COV (الذي يعتبر مؤشراً على دقة النتائج التي نحصل عليها من العلاقات المقترحة)، ومعامل الارتباط R، ومعامل التحديد R2، وهذه المعاملات مبينة بالجدول (3):

الجدول (3) قيم المعاملات الإحصائية للعلاقات المقترحة سابقاً.

المعامل الإحصائي	Sharma	Darwish	Ashour1	Ashour2	khuntia	Kwak
Average	1.25	1.02	1.12	0.91	1.53	0.88
Maximum	2.70	1.72	1.78	1.49	2.76	1.37
Minimum	0.65	0.28	0.34	0.42	0.89	0.35
St. Dev. (n-1)	0.54	0.32	0.37	0.26	0.41	0.25
Coeff. Of Var. (%)	42.97	31.92	33.40	28.84	26.88	29.08
R	0.82	0.83	0.86	0.90	0.92	0.89
R2	0.67	0.69	0.75	0.80	0.85	0.80

تعتبر العلاقة أكثر دقة عندما تقترب القيمة المتوسطة من الواحد مع معامل انحراف أصغري، نجد بتحليل النتائج في الجدول السابق أن علاقة Darwish أعطت قيمة متوسطة قريبة جداً من الواحد تساوي 1.02 مع معامل انحراف COV=31.92% لذلك تعتبر جيدة للتطوير، في حين أعطت علاقة Khuntia أصغر معامل انحراف COV=26.88% لكن مع قيمة متوسطة كبيرة تساوي 1.5 لذلك نستبعدها، علاقة Kwak و Ashour2 أعطت قيم متقاربة للقيمة المتوسطة ومعامل الانحراف وكانت غالبية القيم الحسابية أصغر من الواحد نستبعدها أيضاً، Ashour1 كانت نتائجها أكبر من Darwish للقيمة المتوسطة ومعامل الانحراف لذلك نختار علاقة Darwish، أما Sharma فأعطت معامل انحراف كبير نسبياً لكن العلاقة لم تأخذ بعين الاعتبار خصائص الألياف.

تطوير علاقة Darwish:

نقوم بتطوير العلاقة وذلك بإضافة ثوابت للعلاقة A,B,C,D. نحصل على علاقة مقاومة القص الحسابية بالشكل التالي:

$$V_n = A \times e \times \left(B \times f_{ct} + C \times \left(\rho \times \frac{d}{a} \right) + D \times v_b \right)$$

حددت الثوابت باستخدام SOLVER في EXCEL بالاعتماد على تحليل الانحدار للنتائج التجريبية المبينة في الشكل (4) السابق حصلنا على القيم التالية:

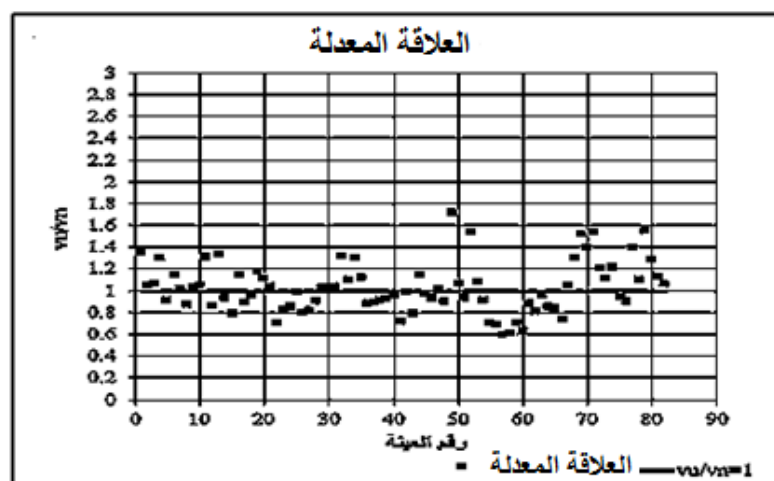
A=0.52، B=0.7، C=10، D=1.23، وأصبحت العلاقة المعدلة من علاقة (Darwish) بالشكل:

$$V_n = 0.52 \times e \times \left(0.7 \times f_{ct} + 10 \times \left(\rho \times \frac{d}{a} \right) + 1.23 \times v_b \right)$$

$$v_b = 0.41 \times \tau \times F \quad e = \begin{cases} 1 & , \quad \frac{a}{d} > 2.8 \\ 2.8 \frac{d}{a} & , \quad \frac{a}{d} \leq 2.8 \end{cases} \quad \text{حيث:}$$

مع ملاحظة أنه غي حالة الجوائز الحاوية على ألياف الكربون لم يؤخذ اجهاد التماسك بالحسبان لعدم توافر الدراسات الكافية لذلك. لتقييم أداء العلاقة نحسب عامل الأداء لها بالاعتماد على النتائج التجريبية ونرسم المخطط الموافق، يبين الشكل (6) عامل الأداء للعلاقة المعدلة.

ثم نحسب المعاملات الإحصائية للعلاقة المعدلة بالنسبة للجوائز الـ 82 المدروسة والتي تتضمن جوائز مسلحة بألياف فولاذية من الدراسات السابقة وجوائز مسلحة بألياف الكربون من الدراسة الحالية فنجد القيم المبينة بالجدول (4).



الشكل (6): عامل أداء العلاقة المعدلة من علاقة Darwish.

الجدول (4) قيم المعاملات الإحصائية للعلاقة المعدلة.

المعامل الإحصائي	Darwish
Average	1.03
Maximum	1.72
Minimum	0.59
St. Dev. (n-1)	0.23
Coeff. Of Var. (%)	22.77
R	0.94
R2	0.88

مقارنة المخططات بالشكل (6) مع المخططات في الشكل (5) للباحثين نلاحظ الفرق الواضح في جودة أداء العلاقة المعدلة عن العلاقات السابقة، ونجد من الجدول (4) أن القيمة المتوسطة للعلاقة المعدلة تقترب كثيراً من الواحد مع معامل انحراف 22.77% وهو أقل بكثير من معاملات انحراف العلاقات السابقة، ونجد أن معامل ارتباط العلاقة المعدلة هو الأعلى ويساوي 0.94 هذا يعطي القيمة الأكبر لتوقع نتائج دقيقة من باقي العلاقات، إذن العلاقة المعدلة هي أكثر العلاقات قدرة على توقع قيم دقيقة لإجهاد القص للجوائز المدروسة.

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

- 1- إن إضافة ألياف الكربون أدت إلى زيادة حمولة الانهيار بنسبة % (10.8-32.3) تقابل زيادة في مقاومة الضغط تراوحت بين % (4.45-28.63).
- 2- بيّنت نتائج التحليل الإحصائي لعامل الأداء لعلاقات حساب مقاومة القص الحدية V_n للجوائز البيتونية المسلحة بألياف الكربون أن علاقة Darwish أعطت قيمة متوسطة قريبة جداً من الواحد تساوي 1.02 مع معامل انحراف $COV=31.92\%$ لذلك تعتبر جيدة للتطوير، أما Sharma فأعطت معامل انحراف كبير نسبياً لكنها لم تأخذ بعين الاعتبار خصائص الألياف.
- 3- تم مقارنة علاقة Darwish لتتوافق مع النتائج التجريبية للعينات المدروسة وحصلنا على العلاقة المعدلة، وبإجراء التحليل الإحصائي لها تبين أن القيمة المتوسطة لها تقترب كثيراً من الواحد مع معامل انحراف 22.77% وهو أقل بكثير من معاملات انحراف العلاقات السابقة، ونجد أن معامل ارتباط العلاقة المعدلة هو الأعلى ويساوي 0.94 هذا يدل على أن العلاقة المعدلة هي أكثر العلاقات قدرة على توقع قيم دقيقة لإجهاد القص للجوائز المدروسة.

التوصيات:

- 1 - إجراء دراسات تجريبية معمقة لاستخدام الألياف بأنواعها وبنسب حجمية متغيرة لتحديد خصائص كل نوع منها ومع بارامترات مختلفة مثل تغير مجاز القص أو تغير مقاومة البيتون على الضغط.
- 2 - إجراء المزيد من الدراسات الإحصائية لتطوير علاقات لحساب مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بالألياف لكل نوع على حدى لتكون أكثر دقة في تقدير المقاومة على القص.

References:

- 1 - Abdoladel, Sh., *Shear in Steel Fiber Reinforced Concrete Members without Stirrups*, Doctorate thesis, the Faculty of Graduate Studies and Research, Edmonton, Alberta, Canada 2012, PP.394.
- 2 - Dinh, H.H. *Shear Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrup Reinforcement*, Doctoral Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 2009, PP. 285.
- 3 - Khuntia, M. Stojadinovic, B. and Goel, S. C. *Shear Strength of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrups*, ACI Structural Journal, V. 96, No. 2, 1999, March-April. PP.
- 4- Kwak, Y.K. Eberhard, M. O. Kim, W.S. and Kim, J. *Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups*. ACI Structural Journal, V. 99, No. 4, 2002, July-August.