

## Study of shear strength of concrete beams which reinforced with transversal FRP bars using statistical analysis

Dr. Ghandi Ali Jahjah<sup>1</sup>  
Dr. Tarek Soulaïman Aslan<sup>2</sup>  
Ramia Badee Ghalia<sup>3</sup>

(Received 11 / 2 / 2019. Accepted 28 / 5 / 2019)

### □ ABSTRACT □

beams are subjected to effect of bending moment and shear strength, It is necessary to present an adequate resist to shear strength, to avoid the happening of any kind of the sudden shear failure, which often happen without a previous index. Many researches were done to improve shear strength of concrete beams or reinforcement it to resist shear. At the last time many researches have been done to use FRP fiber reinforced polymer bars, sheets and laminates: Carbon fiber reinforced polymer CFRP, Glass fiber reinforced polymer GFRP, Or Aramid fiber reinforced polymer AFRP.

this research present many design equations which calculate shear strength of concrete beams reinforced with fiber reinforced polymer bars, suggested by previous researchers or certified by international codes. and a statistical assessment was conducted of these relationships based on experimental studies of multiple research which can be adopted to be improved and to evaluate shear strength of beams.

The result of statistical analysis showed that the tow equations is EL-Sayed and an American Code ACI440-06 are the most suitable equation to be improved in according to experimental studies.

**Keywords:** Shear strengthening – Fiber reinforced polymer – shear failure.

---

<sup>1</sup> Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>3</sup> Postgraduate Student– Department of Structural Engineering – Faculty Of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

## دراسة مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة عرضياً بقضبان FRP باستخدام التحليل الإحصائي

د. غاندي علي ججاج<sup>4</sup>

د. طارق سليمان أصلان<sup>5</sup>

رامية بديع غالية<sup>6</sup>

(تاريخ الإيداع 11 / 2 / 2019. قُبِلَ للنشر في 28 / 5 / 2019)

### □ ملخص □

تتعرض الجوائز لتأثير عزوم انعطاف مترافقة مع قوى قص، فيتوجب تأمين مقاومة كافية لقوى القص لتجنب حدوث أي شكل من أشكال الانهيارات المفاجئة، التي ما تحدث بدون مؤشرات مسبقة، أجريت عدة دراسات لتحسين مقاومة الجوائز البيتونية أو تدعيمها على القص. كما أجريت عدة دراسات في الآونة الأخيرة لاستخدام قضبان أو شرائح أو صفائح بوليميرية مدعمة بألياف FRP : الكربونية CFRP، الزجاجية GFRP، الأراميدية AFRP. يعرض هذا البحث، عدة علاقات لحساب مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بقضبان البوليمير المقوى بالألياف، مقترحة من باحثين سابقين أو معتمدة بالكودات العالمية، أجري تقييم إحصائي لها بالاعتماد على الدراسات التجريبية لأبحاث متعددة لتحديد أفضل العلاقات توافقاً مع الدراسات التجريبية، والتي يمكن اعتمادها لتطويرها لتقييم مقاومة الجوائز للقص.

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي أن العلاقتين EL-Sayed وعلاقة الكود الأمريكي ACI440-06 أكثر ملاءمة للتطوير حسب الدراسات التجريبية.

**الكلمات المفتاحية:** مقاومة القص -بوليميرات مدعمة بألياف - انهيار القص.

<sup>4</sup>أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

<sup>5</sup>أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

<sup>6</sup>طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

**مقدمة:**

يعتبر استخدام البوليميرات المسلحة بالألياف كتسليح بديل للفولاذ في المنشآت البيتونية، حلاً إبداعياً لمشكلة الصدأ. إنها تملك مقاومة شد عالية ونسبة وزن منخفضة مما لفت الانتباه لاستخدامها كبديل للفولاذ في هذه المنشآت. ويعتبر خيار استخدام القضبان كتسليح داخلي للمنشآت البيتونية بديلاً للقضبان الفولاذية جيداً ومفيد خصوصاً في البيئات الضارة التي تسبب صدأ الفولاذ. فيما يتعلق بالخصائص الميكانيكية للتسليح من FRP نجد أن الاختلاف الرئيسي بينها وبين الفولاذ هو معامل المرونة المنخفض والسلوك المرن الخطي حتى الانهيار مما يدل على النقص في اللدونة. تقاوم قوة القص في الجوائز البيتوني من خلال مساهمة عدة آليات تلخص بالشكل التالي: (أ) مقاومة البيتون المضغوط، (ب) قوة الاحتكاك الناتجة على طول الشق والتي تعاكس التباعد النسبي بين طرفي الشق، (ج) مقاومة البيتون بين الشقوق المائلة، (د) مساهمة التسليح الطولي، (هـ) مقاومة التسليح العرضي في حال وجوده.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى تقييم العلاقات المقترحة من قبل الباحثين والكودات لحساب مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من FRP، بمقارنة مقاومة القص المحسوبة من العلاقات مع مقاومات القص الناتجة من الدراسات التجريبية لباحثين مختلفين، وذلك للتوصل للعلاقة الأفضل التي تتوافق مع النتائج التجريبية. وتكمن أهمية البحث في أنه يقدم العلاقة الأفضل بين مجموعة من العلاقات لتطويرها لاحقاً لتناسب استخدام FRP كتسليح عرضي للجوائز.

**طرائق البحث ومواده:****خصائص قضبان البوليميرات المسلحة بألياف الكربون [1][2][3][4][5]:**

قضبان التسليح البوليميرية FRP: هي خليط من الألياف المستمرة والمواد اللاصقة، عادة تستعمل فيها ألياف زجاجية GFRP أو أراميدية AFRP أو كربونية CFRP، أما المواد الرابطة فهي البوليستير أو الفينول استير أو الإيبوكسي، حيث تقوم الألياف بتحمل القوى المطبقة على القضبان أما المواد اللاصقة فتقوم بنقل الإجهادات بين الألياف وحمايتها من الوسط المحيط.

يشكل وزن اللاصق في القضبان البوليميرية من 25% إلى 50% من وزنها الكلي، كما يلعب الشكل الخارجي لسطحها دوراً كبيراً في قدرة التماسك وتتوفر أنواع كثيرة من القضبان بأسطح مختلفة مثل (المكسوة بالرمل - المضلعة - المسننة - المجدولة) كما في الشكل (1).

يبين الجدول (1) خصائص قضبان CFRP والفولاذ على الشد. وتتميز هذه القضبان بخصائص إيجابية إضافية مقارنة مع الفولاذ، فهي مقاومة للصدأ وهذا يجعلها بديلاً مثالياً في بعض المنشآت المتاخمة للبحر، وتكسبها عازليتها للكهرباء والمغطة أهمية في منشآت الاتصالات اللاسلكية والخليوية وغرف العناية المشددة والتصوير بالرنين المغناطيسي في المشافي نظراً لما يسببه الفولاذ من اضطرابات وتشويش إذا ما استخدم في تسليح عناصرها البيتونية. يضاف إلى ذلك خفة وزنها وهذا يسهل نقلها ويسرع عملية التنفيذ والإنشاء.



الشكل (1): الأشكال المختلفة لقضبان الـ FRP. (a) مضلعة; (b) مملوءة ومكسوة بالرمل; (c) ملفوفة ومكسوة بالرمل.

الجدول (1) مقارنة بين خصائص قضبان الفولاذ وقضبان الـ FRP \*

	Steel	CFRP
اجهاد الخضوع Mpa	276 - 517	----
مقاومة الشد Mpa	483 - 690	600 - 3690
معامل المرونة Gpa	200	120 - 580
تشوه الخضوع %	1.4 - 2.5	----
تشوه الانهيار %	6 - 12	0.5 - 1.7

يظهر الجدول (1) أن قضبان CFRP تتميز بمقاومة ومعامل مرونة أعلى مع تشوه أقل. وهذا يؤهلها لأن تدرس كرفيد للفولاذ تبعاً لمواصفاتها المميزة. حيث يمكن معها أن نصل لمقاومات عالية مع تشوهات أقل للتسليح المستخدم.

علاقات حساب مقاومة القص  $V_{c,f}$  للبيتون في الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان FRP:

1 - علاقة الكود الأمريكي ACI 440.1R-03 [2]:

$$V_{c,f} = \frac{\rho_f E_f}{90\beta_1 f_c'} \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \right) \leq \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \quad (1)$$

حيث:  $\rho_f$  - نسبة التسليح الطولي من قضبان FRP.  $E_f$  - معامل المرونة لقضبان FRP.  $f_c'$  - المقاومة المميزة للبيتون MPa.  $\beta_1$  - عامل يعرف بأنه النسبة بين ارتفاع مستطيل الضغط المكافئ إلى ارتفاع منطقة الضغط (المسافة من أقصى ليف مضغوط حتى المحور المحايد).  $b_w$  - عرض الجذع.  $d$  - الارتفاع الفعال.

2 - علاقة الكود الياباني JSCE [6]:

يوصي الكود الياباني JSCE بحساب مقاومة القص وفق المعادلة التالية:

$$V_{c,f} = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} b_w d / \gamma_b \quad (2)$$

وذلك باعتبار:

$$f_{vcd} = 0.2 (f_{cd}')^{1/3} \leq 0.72 \text{ N/mm}^2 \quad \beta_d = (1000/d)^{1/4} \leq 1.5$$

$$\beta_p = (100\rho_f E_f / E_s)^{1/3} \leq 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \leq 2 \quad \text{for } N'_d \geq 0$$

$$\beta_n = 1 + 2M_o / M_d \geq 0 \quad \text{for } N'_d < 0$$

حيث:  $\gamma_b=1.3$  - عامل أمان العنصر،  $f'_{cd}$  - مقاومة الضغط التصميمية للبيتون،  $M_o$  - العزم الصافي،  $M_d$  - عزم الانحناء التصميمي،  $N_d$  - قوة الضغط المحورية التصميمية،  $E_f, E_s$  - معامل المرونة لقضبان الفولاذ و FRP على التوالي،  $bw$  - عرض الجذع.  $d$  - الارتفاع الفعال.

### 3 - علاقة الكود الكندي [7] CAN/CSA-S806-02:

تحتسب مساهمة البيتون في مقاومة القص بالعلاقة التالية:

$$V_{c,f} = 0.035\lambda\phi_c \left( f'_c \rho_f E_f \frac{V_f}{M_f} d \right)^{1/3} b_w d \quad (3)$$

وذلك باعتبار أن مقاومة القص تحقق المتراحة التالية:

$$0.1\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \leq V_{c,f} \leq 0.2\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\frac{V_f}{M_f} d \leq 1.0$$

حيث أن:  $V_f$  و  $M_f$  - هي قوة القص والعزم في المقطع المطلوب،  $\lambda$  - عامل تعديل كثافة البيتون،  $\phi_c$  - عامل تخفيض المقاومة للبيتون،  $f'_c$  - المقاومة المميزة للبيتون Mpa،  $\rho_f$  - نسبة التسليح الطولي من قضبان FRP.  $E_f$  - معامل المرونة لقضبان FRP.  $bw$  - عرض الجذع.  $d$  - الارتفاع الفعال.

### 4 - علاقة الكندية جامعة Manetoba [8]:

تحتسب مقاومة القص للبيتون المسلح بتسليح طولي من FRP ( $V_{cf}$ ) بنفس المبادئ للبيتون المسلح بتسليح طولي من الفولاذ وذلك بحساب الفرق بين معاملي المرونة بين التسليح من FRP والفولاذ، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{c,f} = 0.2\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{\frac{E_f}{E_s}} \quad (4)$$

ومن أجل المقاطع ذات ارتفاع فعال أكبر من 300mm تؤخذ مقاومة القص  $V_{cf}$  من العلاقة التالية:

$$V_{c,f} = \left[ \frac{260}{1000+d} \right] \lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{\frac{E_f}{E_s}} \geq 0.1\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{\frac{E_f}{E_s}} \quad (5)$$

حيث:  $\lambda$  - عامل تعديل كثافة البيتون،  $\phi_c$  - عامل تخفيض المقاومة للبيتون،  $f'_c$  - المقاومة المميزة للبيتون Mpa،  $\rho_f$  - نسبة التسليح الطولي من قضبان FRP.  $E_f$  - معامل المرونة لقضبان FRP.  $bw$  - عرض الجذع.  $d$  - الارتفاع الفعال.

### 5 - علاقة الباحث EL-Sayed et al و زملائه [9]:

وجد الباحثون أن نسبة مقاومة القص للجوائز المسلحة بقضبان FRP إلى الجوائز المسلحة بقضبان فولاذية تتناسب مع الجذر التكعيبي لنسبة الصلابة المحورية بين قضبان التسليح من FRP إلى قضبان التسليح الفولاذية. وبعد تضمين هذا في علاقة مقاومة القص وفق ACI440.1R-03، تمكنا من إعطاء معادلة جديدة بالشكل التالي:

$$V_{c,f} = 0.037 \left( \frac{\rho_f E_f \sqrt{f'_c}}{\beta_1} \right)^{1/3} b_w d \leq \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (6)$$

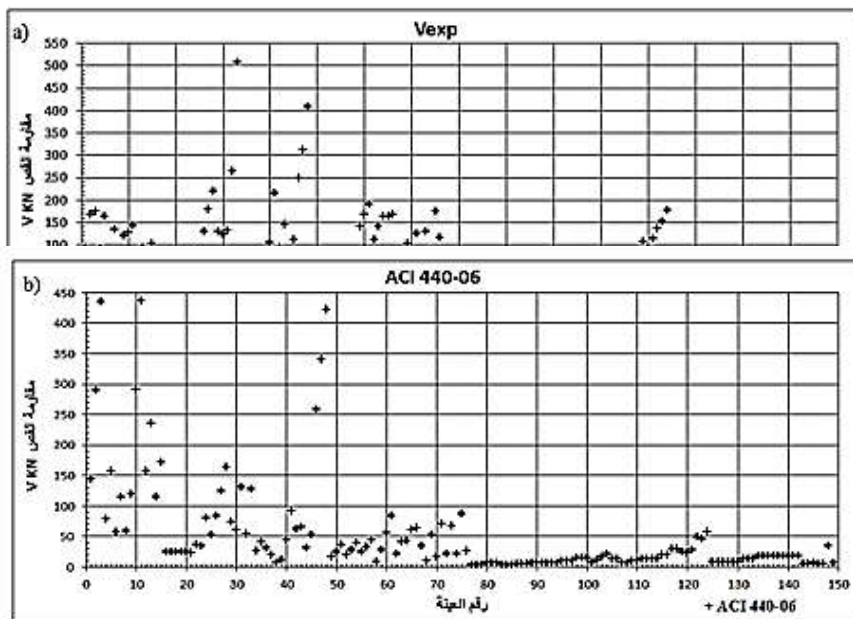
ويعبر عن  $\beta_1$  - بالشكل التالي:

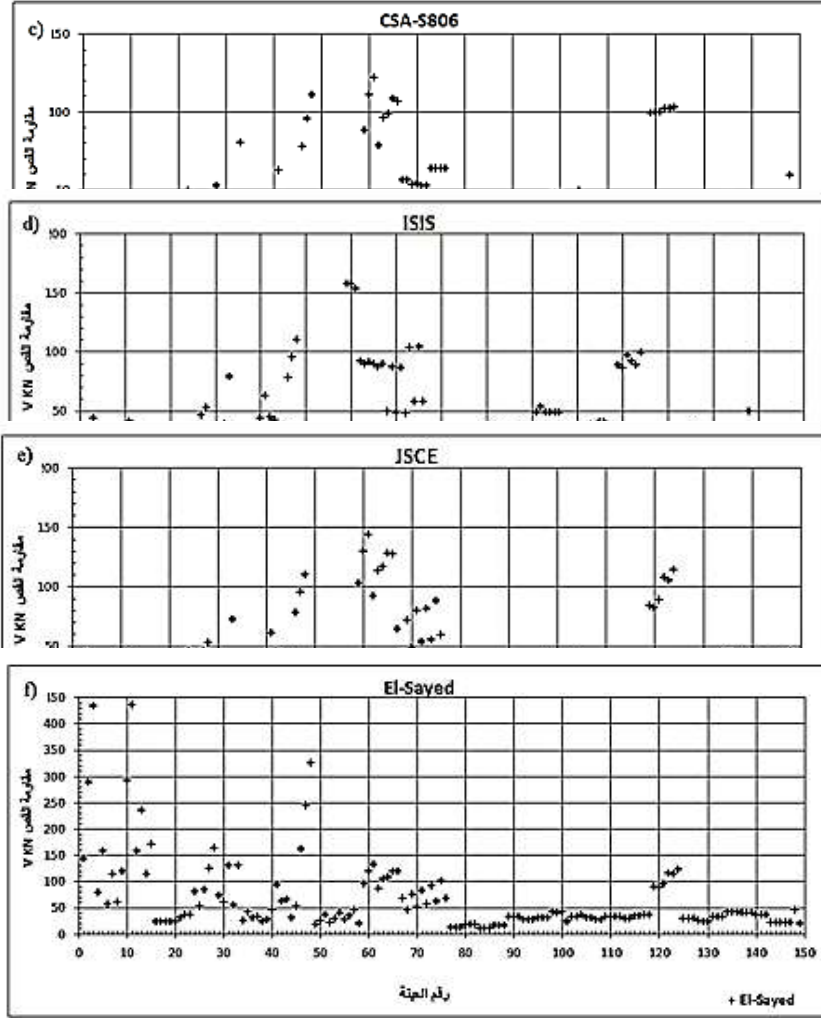
$$0.85 \geq \beta_1 = 0.85 - 0.007(f'_c - 28) \geq 0.65$$

ولتقييم العلاقات السابقة التي تأخذ بعين الاعتبار تأثير التسليح الطولي من FRP، قمنا بمقارنة مقاومة القص المحسوبة وفقها مع مقاومات القص الناتجة من الدراسات التجريبية لباحثين مختلفين، وذلك للتوصل للعلاقة الأفضل للتطوير والتي تتوافق مع النتائج التجريبية، تضمنت 149 جائزاً من البيتون مسلحة طولياً بقضبان من FRP (زجاجية أو كربونية أو أراميدية) وعرضياً بأساور من FRP أيضاً، أو مسلحة طولياً بقضبان فولاذية وعرضياً بأساور من FRP، وتراوحت قيم المقاومة على الضغط بين (19.6 ≤ f'c ≤ 81.4 MPa)، وقيم النسبة a/d بين (2.6 ≤ a/d ≤ 6.5)، المقاطع العرضية بعرض b بين (89mm ≤ b ≤ 1000mm)، وارتفاع فعال d بين (141mm ≤ d ≤ 937mm)، ونسبة تسليح طولي ρ% بين (0.25% ≤ ρ% ≤ 3.65%).

### النتائج والمناقشة:

يعرض الشكل (2) مقاومة القص التجريبية V<sub>exp</sub> [30][31].....[10][11][12] - a)، لـ (149) جائزاً المذكورين أعلاه وتراوحت بين 8.8KN و 507KN فيها 77جائز ≥ 50KN ≥ 72 جائز، بالإضافة لمقاومة القص الحسابية V<sub>pred</sub> الناتجة من كل من العلاقات الخمس السابقة لنفس الجوائز b),c),d),e),f).





الشكل (2): (a) -مقاومة القص التجريبية  $V_{exp}$  [10]...[31]، (b) - مقاومة القص وفق ACI 440-06، (c) - مقاومة القص وفق CSA-S806، (d) - مقاومة القص وفق ISIS، (e) - مقاومة القص وفق JSCE، (f) -مقاومة القص وفق El-Sayed.

بإجراء التحليل الإحصائي لقيم نسبة مقاومة القص التجريبية إلى مقاومة القص الحسابية للعلاقات السابقة  $V_{exp}/V_{pred}$  الواردة في الشكل (2) نحصل على تحديد لقيم المعاملات الإحصائية اللازمة وهي: القيمة المتوسطة Avg وهي متوسط النسبة للجوائز الـ 149، القيمة العظمى Max، القيمة الصغرى Min، الإنحراف المعياري St.Dev:

$$St.Dev = \sqrt{\frac{\sum(X-Avg)^2}{n}} \quad (6)$$

حيث: X قيمة  $V_{exp}/V_{pred}$  لكل جازر، Avg القيمة المتوسطة.

معامل الانحراف COV الذي يعتبر مؤشر على دقة النتائج التي نحصل عليها من العلاقات المقترحة:

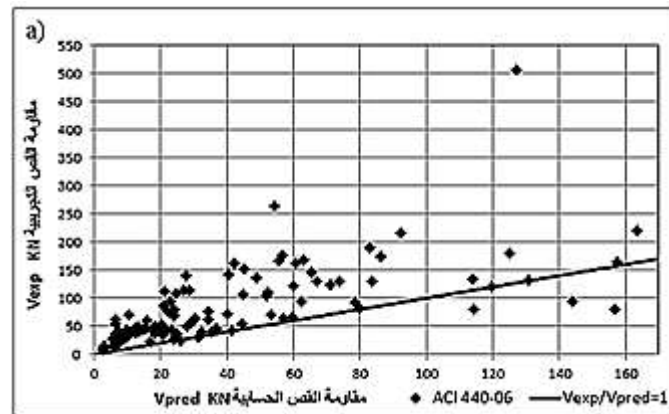
$$COV\% = \frac{St.Dev}{Avg} \times 100 \quad (7)$$

وهذه المعاملات مبينة بالجدول (2):

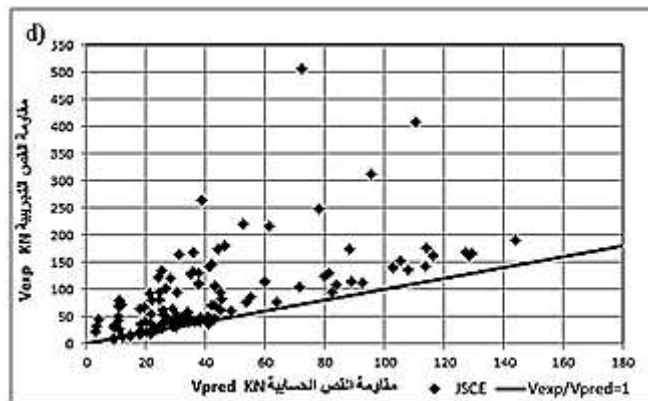
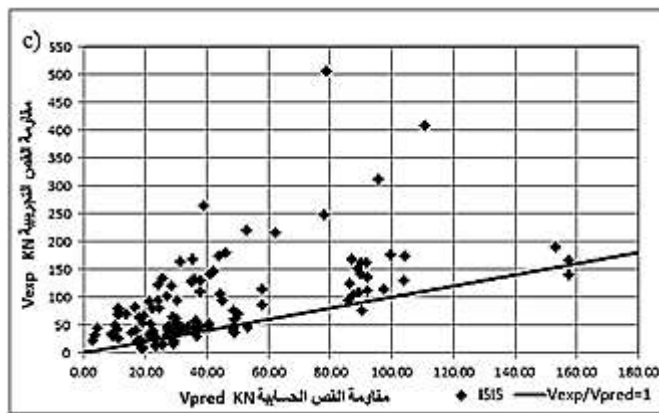
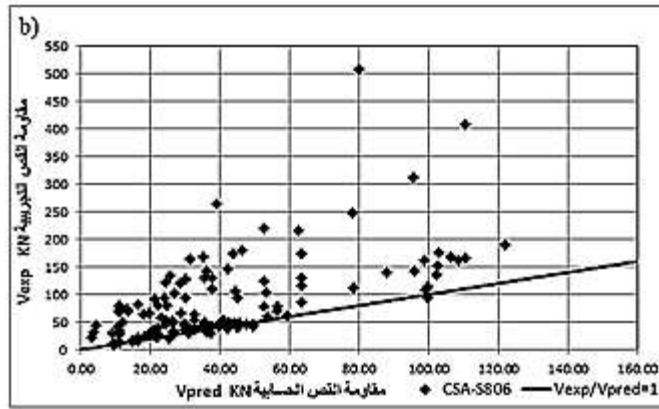
الجدول (2) قيم المعاملات الإحصائية للعلاقات المقترحة.

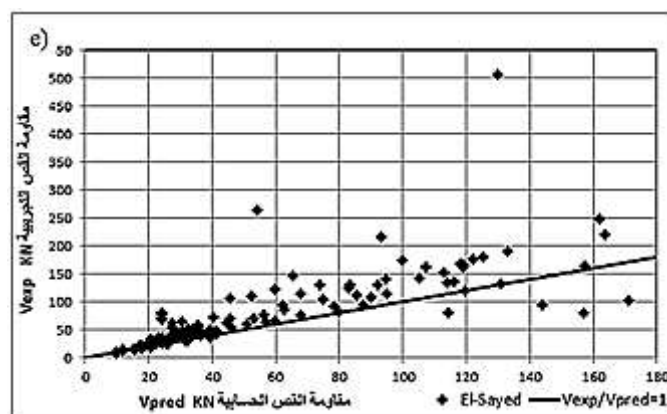
المعامل الإحصائي	ACI 440-06	CSA-S806	ISIS	JSCE	El-Sayed
Average (Avg)	2.9	2.3	2.3	2.3	1.4
St. Dev	1.564	1.768	1.810	1.752	0.575
COV%	54.79	76.18	77.96	76.13	41.61
Max	9.830	9.911	10.136	10.136	4.871
Min	0.328	0.770	0.460	0.900	0.328

تعتبر العلاقة أكثر دقة عندما تقترب القيمة المتوسطة قريبة من الواحد مع معامل انحراف أصغري. تعتبر العلاقة المقترحة من قبل El-Sayed هي العلاقة الأكثر دقة بين العلاقات الواردة أعلاه لأن قيمتها المتوسطة تقترب من الواحد وتساوي 1.4 في حين أن العلاقات الأخرى أعطت قيمةً متوسطة أكبر من 2، كما أن كل من الانحراف المعياري ومعامل التغير (الانحراف) يعتبران معياران للدقة، ومن الجدول (2) السابق نجد أن  $COV\%=41.61$  و  $St.Dev=0.575$  لعلاقة El-Sayed، وهي قيم أصغرية مقارنة بباقي العلاقات، لذلك يمكننا القول أن علاقة El-Sayed هي العلاقة الأنسب للتطوير بالاعتماد على نتائج تجريبية في أبحاث قادمة، في حين أعطت علاقة ACI 440-06 معامل انحراف أصغري مما أعطته الأخرى لكن بقيمة متوسطة كبيرة مما يوجهنا إلى أنه يمكن محاولة تطويرها إلى جانب علاقة El-Sayed ومن ثم دراسة أي العلاقتين المطورتين هي الأفضل بالمقارنة مع النتائج التجريبية لأبحاثنا وأبحاث أخرى. في حين أعطت العلاقات JSCE، ISIS، CSA-S806 قيم معامل انحراف كبيرة ومقاربة فاستبعدت من التطوير. تبين المخططات الموضحة في الشكل (3) العلاقة بين قوة القص التجريبية وقوة القص المحسوبة باعتماد العلاقات الآتية الذكر.









الشكل (3): مقارنة مقاومة القص التجريبية  $V_{exp}$  مع مقاومة القص الحسابية للعينات المدروسة  $V_{pred}$  وفق العلاقات: (a) ACI440-06 ، (b) CSA-S806 ، (c) ISIS ، (d) JSCE ، (e) EL-Sayed .

تبين المخططات السابقة في الشكل (3) تبعثر قيم  $V_{exp}/V_{pred}$  وابتعادها عن الواحد في علاقة ACI440-06، بينما ابتعدت وتبعثرت في ثلث عدد العينات عند تطبيق العلاقات JSCE ، ISIS ، CSA-S806 وتقترب في الثلثين المتبقين من عدد العينات، غير أن علاقة EL-Sayed ، وقد أعطت قيمة أقرب إلى الواحد من العلاقات الأخرى، فهي أكثر ملاءمة للتطبيق والتطوير لإعطاء مقاومة قص حسابية قريبة من القيمة التجريبية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

- 1 - أشار التقييم الإحصائي للعلاقات السابقة وفقاً لنتائج اختبارات مختلف الباحثين (149 عينة) أن القيمة المتوسطة لنسبة  $V_{exp}/V_{pred} = 1.4$  في علاقة EL-Sayed، وكان معامل الانحراف (41.61) لكنه كبير نسبياً وتحتاج للتطوير لتتوافق مع القيم التجريبية وتكون أكثر دقة مع حجم العينة المدروسة هنا.
- 2 - أعطت علاقة ACI440-06 معامل انحراف (54.79) أقل من باقي العلاقات بعد علاقة EL-Sayed وهذا يؤهلها لأن يتم تطويرها مع علاقة EL-Sayed لتحسين أداؤها وزيادة دقتها بقيمة متوسطة قريبة من الواحد مع معامل انحراف أصغري.
- 3 - تبعثر نتائج علاقة ACI440-06 منتظم على كامل طول مجال العينات المدروسة، في حين العلاقات الثلاث الأخرى تتبعثر في ثلث العينات كثيراً وتقترب من الواحد في ثلثها.

#### التوصيات:

- 1- استخدام التحليل الإحصائي للتوصل للعلاقات الأفضل.
- 2- دراسة إمكانية تطوير علاقات JSCE ، ISIS ، CSA-S806 للوصول بها إلى صيغ جديدة تعطي قيمة أكثر دقة.

## المراجع

- 1- ACI 440.1R-01, Emerging Technology Series, "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", 2003
- 2 - ACI COMMITTEE 440, ACI 440.1R-03, " Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Mich., USA, 2003.
- 3 - ACI COMMITTEE 440, ACI 440.3R-04, " Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures", American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Mich., USA, 2004.
- 4 - ACI COMMITTEE 440, ACI 440.1R-06, " Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Mich., USA, 2006.
- 5 – PROF.DR.E. GHANDI JAHJAH, DR.E.AKRAM SAKKOUR , C.E.WAAD ALKHATIB, "A Contribution to Study the Efficiency of Shear Strengthening of R.C. Beams with Inclined (GFRP) Strips". A Thesis Prepared to Acquire Master Degree In Structural Engineering- faculty of civil engineering- Tishreen University- Lattakia-2008.
- 6 - JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (JSCE), "Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials", in: A. Machida (Ed.), Concrete Engineering Series 23, JSCE, Tokyo, 1998, 325.
- 7 - CAN/CSA S806-02, "Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers", Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 2002, 177pp.
- 8 - ISIS CANADA, "Reinforced Concrete Structures with Fibre Reinforced Polymers – Design Manual No. 3", ISIS Canada Corporation, University of Manitoba, Manitoba, Canada, 2007, 158pp.
- 9 - A.K. EL-SAYED, E.F. EL-SALAKAWY, B. BENMOKRANE, "Shear strength of concrete beams reinforced with FRP bars: design method", in: 7th International Symposium on Fiber-Reinforced (FRP) Polymer Reinforcement for Concrete Structures, SP-230-54, 2005, pp. 955–974.
- 10 - T. NAGASAKA, H. FUKUYAMA, M. TANIGAKI, "Shear performance of concrete beams reinforced with FRP stirrups", in: A. Nanni, C.W. Dolan (Eds.), FRPRCS-1, American Concrete Institute, Vancouver, Canada, 1993, pp. 789–805.
- 11 - W. ZHAO, K. MARUYAMA, AND H. SUZUKI, "Shear behaviour of concrete beams reinforced with FRP rods as longitudinal and shear reinforcement," in *Proceedings of the 2nd International RILEM symposium Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures (FRPRCS-2)*, 1995, pp.352-359.
- 12 - P.V. VIJAY, S.V. KUMAR, H.V.S. GANGRAO, "Shear and ductility behavior of concrete beams reinforced with GFRP rebars", in: M. El-Badry (Ed.), Proc., 2nd Int. Conf. on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, ACMBS, 1996, pp. 217–226.
- 13 - E. SHEHATA, R. MORPHY, S. RIZKALLA, "Fibre reinforced polymer shear reinforcement for concrete members": behaviour and design guidelines, *Can. J. Civ. Eng.* Vol. 27, N° .5, 2000, pp 859–872.
- 14 - LAURENT MASSAM, "The Behaviour of GFRP Reinforced Concrete Beams in Shear", MSc, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canada, 2001.

- 15 - T. ALKHRDAJI, M.A. WIDEMAN, A. BELARBI, A. NANNI, “*Shear strength of GFRP RC beams and slabs*”, in: Composites in Construction, Porto, Portugal, October 10–12, 2001, pp. 409–414.
- 16 - J. NIEWELS, “*Zum tragverhalten von betonbauteilen mit faserverbundkunststoffbewehrung*,” RWTH Aachen University, 2008.
- 17 - E. A. AHMED, E. EL-SALAKAWY, AND B. BENMOKRANE, “*Shear performance of RC bridge girders reinforced with carbon FRP stirrups*,” J. Bridg. Eng., Vol. 15, N<sup>o</sup>. 1, 2010, pp. 44–54,.
- 18 - ALI S. SHANOUR, “*Behavior of Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars*”, Ph.D. Dissertation, Faculty of Engineering, Shoubra, Benha University, Cairo, Egypt, 2014.
- 19 - DURANOVIC, N., PILAKOUTAS, K., AND WALDRON, P. “*Tests on Concrete Beams Reinforced with Glass Fibre Reinforced Plastic Bars*,” Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, Vol.2, 1997. pp. 479-486.
- 20 - EL-SAYED, A. K., EL-SALAKAWY, E. F., AND BENMOKRANE, B. “*Shear Strength of One-way Concrete Slabs Reinforced with FRP Composite Bars*,” Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol.9, N<sup>o</sup>. 2, 2005. pp.1-11.
- 21 - EL-SAYED, A. K., EL-SALAKAWY, E. F., AND BENMOKRANE, B. “*Shear Strength of FRP-Reinforced Concrete Beams without Transverse Reinforcement*,” ACI Structural Journal, Vol.103, N<sup>o</sup>.2, 2006, pp235-243.
- 22 - EL-SAYED, A. K., EL-SALAKAWY, E. F., AND BENMOKRANE, B. “*Shear Capacity of High-Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars*,” ACI Structural Journal, Vol.103, N<sup>o</sup>.3, 2006, pp383-389.
- 23 - GROSS, S. P., DINEHART, D. W., YOST, J. R., AND THEISZ, P. M. “*Experimental Tests of High-Strength Concrete Beams Reinforced with CFRP Bars*,” Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS-4), Calgary, Alberta, Canada, 2004. 20-23, 8p.
- 24 - GROSS, S. P., YOST, J. R., DINEHART, D. W., SVENSEN, E., AND LIU, N. “*Shear Strength of Normal and High Strength Concrete Beams Reinforced with GFRP Reinforcing Bars*.” Proc. of the Int. Conference on High Performance Materials in Bridges, ASCE, 2003. pp 426-437.
- 25 - RAZAQPUR, A. G., ISGOR, B. O., GREENAWAY, S., AND SELLEY, A. “*Concrete Contribution to the Shear Resistance of Fiber Reinforced Polymer Reinforced Concrete Members*,” Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol. 8, N<sup>o</sup>. 5, 2004. pp 452-460.
- 26 - TARIQ, M., AND NEWHOOK, J. P. “*Shear Testing of FRP reinforced Concrete without Transverse Reinforcement*,” Proceedings of CSCE 2003-Annual Conference, Moncton, NB, Canada, (on CD-Rom), 2003. 10p.
- 27 - TUREYEN, A. K., AND FROSCH, R. J. “*Shear Tests of FRP-Reinforced Concrete Beams without Stirrups*,” ACI Structural Journal, Vol. 99, N<sup>o</sup>. 4, 2002. pp.427-434.
- 28 - YOST, J. R., GROSS, S. P., AND DINEHART, D. W. “*Shear Strength of Normal Strength Concrete Beams Reinforced with Deformed GFRP Bars*.” Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol. 5, N<sup>o</sup>. 4, 2001. pp. 263-275.

29 - DEITZ, D. H., HARIK, I. E., AND GESUND, H. “*One-Way Slabs Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer Reinforcing Bars*,” Proceedings of the 4th International Symposium, Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, MI. 1999. pp. 279-286.

30 - MIZUKAWA, Y., SATO, Y., UEDA, T., AND KAKUTA, Y. “*A Study on Shear Fatigue Behavior of Concrete Beams with FRP Rods*,” Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, Vol.2, 1997. pp. 309-316.

31 - SWAMY, N., AND ABURAWI, M. “*Structural Implications of Using GFRP Bars as Concrete Reinforcement*,” Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, Vol.2, 1997. pp. 503-510.