

تقييم علاقات استقرء مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة وغير المزودة بتسليح عرضي على القص

د. نبيل دبانة*

د. هالة حسن**

د. جورج وردة***

رانيا الشيخ****

(تاريخ الإيداع 4 / 3 / 2020. قُبل للنشر في 23 / 11 / 2020)

□ ملخص □

تتعلق مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة غير المزودة بتسليح عرضي على القص بعدة معاملات أهمها ارتفاع الجائز، مقاومة البيتون على الضغط، نسبة التسليح الطولي وأخيراً نسبة طول فتحة القص إلى الارتفاع الفعال للجائز a/d . بناءً على تلك المعاملات تم اقتراح علاقات في كودات التصميم والمراجع العلمية تأخذ بالاعتبار مجموعة المعاملات المذكورة سابقاً.

تم في هذا البحث اختبار مجموعة من تلك العلاقات بالاعتماد على قاعدة بيانات تم بناؤها من قبل فريق بحث (Collins, et al., 2008) من خلال تجميع نتائج الأبحاث العلمية المنشورة على مدى ستين عاماً.

في الجزء الأول من هذا البحث تم تقييم كفاءة العلاقات المقترحة احصائياً بعد حذف القيم الشاذة من خلال حساب معامل الارتباط ومعامل التحديد لتقييم قوة الارتباط بين القيم التجريبية والقيم التحليلية. أعطت العلاقات المقترحة في كودات التصميم CEB-FIP و EC2 إضافةً إلى علاقة الباحث Bazant معاملات ارتباط مرتفعة وقريبة من الواحد (-0.876 - 0.777 - 0.827) على التوالي، مما يدل على كفاءة تلك العلاقات من أجل استقرء مقاومة القص. بالمقابل أعطت الدراسة الإحصائية معامل ارتباط مساوي إلى 0.631 من أجل علاقة الكود السوري SYR code و 0.643 من أجل الكود الأمريكي ACI وأخيراً قيمة 0.244 من أجل الكود الكندي CSA مما يعني عدم ملائمة تلك العلاقات لتقييم مقاومة القص.

تم في الجزء الثاني من هذا البحث اقتراح مجموعة من العلاقات المعدلة اعتماداً على نفس قاعدة البيانات وذلك من خلال تصغير الفروقات بين القيم التحليلية والقيم التجريبية باستخدام Excel. أعطت مجموعة العلاقات المعدلة معاملات ارتباط أفضل من أجل كل من SYR code، ACI، CSA، وأخيراً EC2 حيث بلغت قيم معامل الارتباط (0.786 ، 0.824 ، 0.68 ، 0.8) على الترتيب، أما بالنسبة لعلاقات CEB-FIP وعلاقة الباحث Bazant فبلغت قيم معامل الارتباط (0.857 ، 0.824) على الترتيب.

الكلمات المفتاحية: مقاومة القص، ميكانيك التصدع، قاعدة بيانات، معامل التحديد، معامل الارتباط.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
(debnabil@gmail.com)

** أستاذ مساعد - المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية - جامعة دمشق - دمشق - سورية. (dr.hala61@gmail.com)

*** أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة سيري بوننواز - فرنسا. (george.wardeh@u-cergy.fr)

**** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
(rania.alshiekh@tishreen.edu.sy)

Evaluation of Relationships to Extrapolation Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Stirrups

Dr. Nabil Debbaneh *

Dr. Hala Hasan **

Dr. George Wardeh ***

Rania Alshiekh ****

(Received 4 / 3 / 2020. Accepted 23/ 11 / 2020)

□ ABSTRACT □

The shear strength of reinforced concrete beams without stirrups relates to several parameters the most important of which are the depth of the beam, the compressive strength of concrete, the ratio of the longitudinal reinforcement and finally shear span - effective depth ratio a/d . Based on these parameters, relationships were suggested in the design codes and scientific references that take into account the set of parameters mentioned above. In this paper, a set of these relationships was tested using a database built by a research team (Collins, et al., 2008) by compiling the results of scientific research published over sixty years. In the first part of this research, the efficiency of the proposed relationships was statistically evaluated after the Outliers values were omitted by calculating the correlation coefficient and the determination coefficient to assess the correlation strength between experimental and analytical values. The proposed relationships in design codes CEB-FIP and EC2, in addition to the relationship of the researcher Bazant, gave high and close correlation coefficients (0.876-0.777-0.827), respectively, indicating the efficiency of these relationships in order to extrapolate shear strength. On the other hand, the statistical study gave a correlation coefficient equal to 0.631 for the relationship of the Syrian code SYR code and 0.643 for the American code ACI, and finally a value of 0.244 for the Canadian code CSA, which means that these relationships are not appropriate for assessing shear strength. In the second part of this research, a set of modified relationships based on the same database was proposed by reducing the differences between the analytical and experimental values using Excel. The modified set of relationships gave better correlation coefficients for SYR code, ACI, CSA and finally EC2 where correlation coefficient values (0.786, 0.824, 0.68, 0.8), respectively, while for CEB-FIP and Bazant relationships, correlation coefficient values (0.857, 0.824) respectively.

Keywords: shear strength, fracture mechanics, database, determination coefficient, correlation coefficient.

*Associate Professor - Structural Engineering Department, Faculty of civil engineer, Tishreen University, Lattakia, Syria. (debnabil@gmail.com)

**Associate Professor - the Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Seismological Studies and Research, University of Damascus, Damascus, Syria. (dr.hala61@gmail.com)

***Professor - Structural Engineering Department, Faculty of civil engineer, Cergy – Pontoise University, Paris, France. (george.wardeh@u-cergy.fr)

****Postgraduate Student (Doctorate), Structural Engineering Department, Faculty of civil engineer, Tishreen University, Lattakia, Syria. (rania.alshiekh@tishreen.edu.sy)

مقدمة:

تعدّ مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة موضوع بحث مكثف منذ أكثر من 60 عامًا، وقد تبين من خلال آلاف التجارب أن سلوك القص يتأثر بعدة عوامل كالارتفاع الفعال للجائز d ، ومقاومة البيتون على الضغط f'_c ، ونسبة طول فتحة القص إلى الارتفاع الفعال a/d ، ونسبة التسليح الطولي العامل على الانعطاف ρ ، وغيرها. رغم ذلك، لا يزال هناك خلافاً بين الباحثين حول النموذج الأكثر ملاءمة والذي يمكن اعتباره نموذجاً تحليلياً نظرياً يتنبأ بمقاومة البيتون على القص كون هذا الانهيار يحصل بشكل هشّ ومفاجئ.

تعتمد علاقات مقاومة القص سواء الموجودة في الكودات العالمية أو الموضوعية من قبل الباحثين على نماذج يمكن تقسيمها إلى ما يلي [1]:

- نماذج ميكانيكية وفيزيائية (Modified Strut-and-Tie model، Tooth model، Truss analogy، compression field theory).

- نماذج تعتمد على ميكانيك التصدع.

- نماذج تعتمد على التحليل اللاخطي بطريقة العناصر المنتهية.

1. دراسات مرجعية:**1.1. طرق التصميم على القص في الجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور:**

تم إحرار تقدماً كبيراً في النصف الثاني من القرن الماضي في تقديم مقترحات مختلفة من قبل الباحثين في جميع أنحاء العالم للتنبؤ بمقاومة القص للجوائز بدون أساور، ساهمت في تطوير توصيات الكودات العالمية التي تختلف من بلد إلى آخر، ولتجميع نتائج التجارب العالمية تم بناء قاعدة بيانات لنتائج تجارب القص من قبل الباحثين Michael P. (Collins, Evan C. Bentz, and Edward G. Sherwood) [2]. تتضمن هذه القاعدة الاختبارات المنشورة في مجلة ACI Journal بين عامي 1948 و 2006، لأنه لم يعثر على اختبارات متعلقة بتجارب القص في أبحاث ACI قبل عام 1948، كما لم يحدث تجاهل لأي بحث في ACI Journal عن قصد، وضُمنت جميع نتائج الاختبار الموجودة في أبحاث قاعدة البيانات. تم التحقق من مجموعة من المراجع الأخرى بما في ذلك مجلة ASCE منتصف الخمسينيات وحتى 2006 وأطروحات الطلاب وتقارير الاختبارات المنشورة، كما احتوت القاعدة الاختبارات في قواعد البيانات المنشورة الأخرى، وبالتالي فإن قاعدة البيانات المعتمدة في البحث تعتبر قاعدة بيانات شاملة وتتضمن جميع الاختبارات ذات الصلة من قاعدة بيانات [ACI 1962]، وقاعدة البيانات المستخدمة من قبل (Brown، Jirsa، Bayrak،) المنشورة في [ACI 2006]، وقاعدة بيانات الباحث (Reineck et al.) المنشورة في [ACI 2003]، وقاعدة بيانات (Tureyen and Frosch) المنشورة في [ACI 2002]، [2].

استناداً لما سبق تم التوجه إلى اختبار بعض علاقات القص المستخدمة في حساب مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور بالاعتماد على قاعدة البيانات المذكورة سابقاً.

1.2. علاقات حساب مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور:

- علاقة الكود العربي السوري [11]:

أعطى الكود العربي السوري علاقة لحساب مقاومة القص تعتمد على النموذج الميكانيكي (Truss analogy):

$$\tau_{cu} = 0.16\sqrt{f'_c} + 18 \rho \frac{V_u}{M_u} d \dots \dots \dots \text{For } a/d \geq 1 \quad (1)$$

حيث:

τ_{cu} : إجهاد القص الذي يقاومه البيتون (MPa).

f'_c : مقاومة البيتون الأسطوانية على الضغط (MPa).

ρ : نسبة التسليح الطولي العامل على الانعطاف

$a = V_u/M_u$: طول فتحة القص (m).

d : الارتفاع الفعال للمقطع (m).

- علاقة الكود الأمريكي [ACI 318] [3]:

علاقة الكود الأمريكي لحساب مقاومة القص التي تعتمد على النموذج الميكانيكي (Truss analogy):

$$\tau_{cu} = 0.16\sqrt{f'_c} + 17\rho \frac{V_u}{M_u} d \dots \dots \dots \text{For } a/d \geq 1 \quad (2)$$

- علاقة الكود الكندي المبسطة [CSA] [4]:

قدّم الكود الكندي علاقة مبسطة لحساب مقاومة القص علاقة على نموذج (Truss model):

$$\tau_{cu} = 0.2\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

حيث يلاحظ من معادلة الكود الكندي في حساب مقاومة القص إهمال تأثير البارامترين (نسبة طول فتحة القص إلى الارتفاع الفعال a/d ونسبة التسليح الطولي ρ ، والاكتفاء بمقاومة البيتون على الضغط.

- علاقة [CEB-FIP Model Code MC90] [5]:

أعطى كود CEB-FIP علاقة لحساب مقاومة القص تعتمد على نموذج نظرية حقل الانضغاط المعدلة (Modified Compression Field Theory)

$$\tau_{cu} = 0.15 \left(\frac{3d}{a}\right)^{\frac{1}{3}} \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right] (100\rho f'_c)^{1/3} \quad (4)$$

- علاقة الكود الأوربي [EC2-2004] [6]:

علاقة الكود الأوربي لحساب مقاومة القص في الجوائز البيتونية تعتمد على نموذج نظرية حقل الانضغاط المعدلة (Modified Compression Field Theory)

$$\tau_{cu} = C_{Rd,c} k (100\rho f'_c)^{1/3} \quad (5)$$

حيث:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \dots (d(mm))$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \dots \gamma_c = 1.5$$

- علاقة الباحث [Bazant 2005] [7]:

اقترح الباحث Bazant لحساب مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور تعتمد على نموذج ميكانيك التصدع اللاخطي (nonlinear fracture mechanics model):

$$\tau_{cu} = 0.083 * \mu * \rho^{3/8} * (1 + d/a) * \sqrt{\frac{f'_c}{(1+d/d_0)}} \quad (6)$$

حيث: $k: 754\sqrt{a_g}$ ، $d_0 = 0.9201 * k * (f'_c)^{-2/3}$

a_g : القطر الأعظمي للحصويات المستخدمة (mm).

للتصميم $\mu = 10$ ، قام الباحث بإدخال تأثير قطر الحصويات الأعظمي على مقاومة القص.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى إجراء دراسة تحليلية إحصائية لعلاقات حساب مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة الواردة في بعض الكودات العالمية، وذلك بالاعتماد على قاعدة بيانات تم تجميعها و بناؤها من النتائج الموجودة في الدراسات المرجعية من قبل (Collins, et al., 2008) [2].

منهجية البحث:

أجريت دراسة تحليلية إحصائية للعلاقات السابقة بالإضافة لمقارنتها مع نتائج قاعدة البيانات التي تم تجميعها من قبل (Collins, et al., 2008)، وذلك من خلال حساب مقاييس التشتت (Dispersion Measures)، ومن أهمها الانحراف المعياري (Standard Deviation) ومعامل الاختلاف (Coefficient of Variation)، التي تعطي فكرة عن مدى تشتت وانحراف البيانات عن المتوسط الحسابي (Arithmetic Mean)، وتقييم تشتت البيانات في مجالات مختلفة بالاعتماد على ثلاثة بارامترات أساسية وهي مقاومة البيتون على الضغط ونسبة التسليح الطولي والارتفاع الفعال للمقطع، وبناءً عليه تم استثناء القيم الشاذة، وإعادة دراسة المعادلات وتقييم قوة العلاقة بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية للمعادلات المعتمدة في البحث، عن طريق حساب معامل التحديد R^2 (Determination Coefficient) وحساب معامل الارتباط r (Correlation Coefficient) وهو الجذر التربيعي لـ R^2 ، بعدها وضع اقتراح لتعديل المعادلات المدروسة بالاعتماد على تصغير الفروقات بين القيم التحليلية والقيم التجريبية باستخدام Excel.

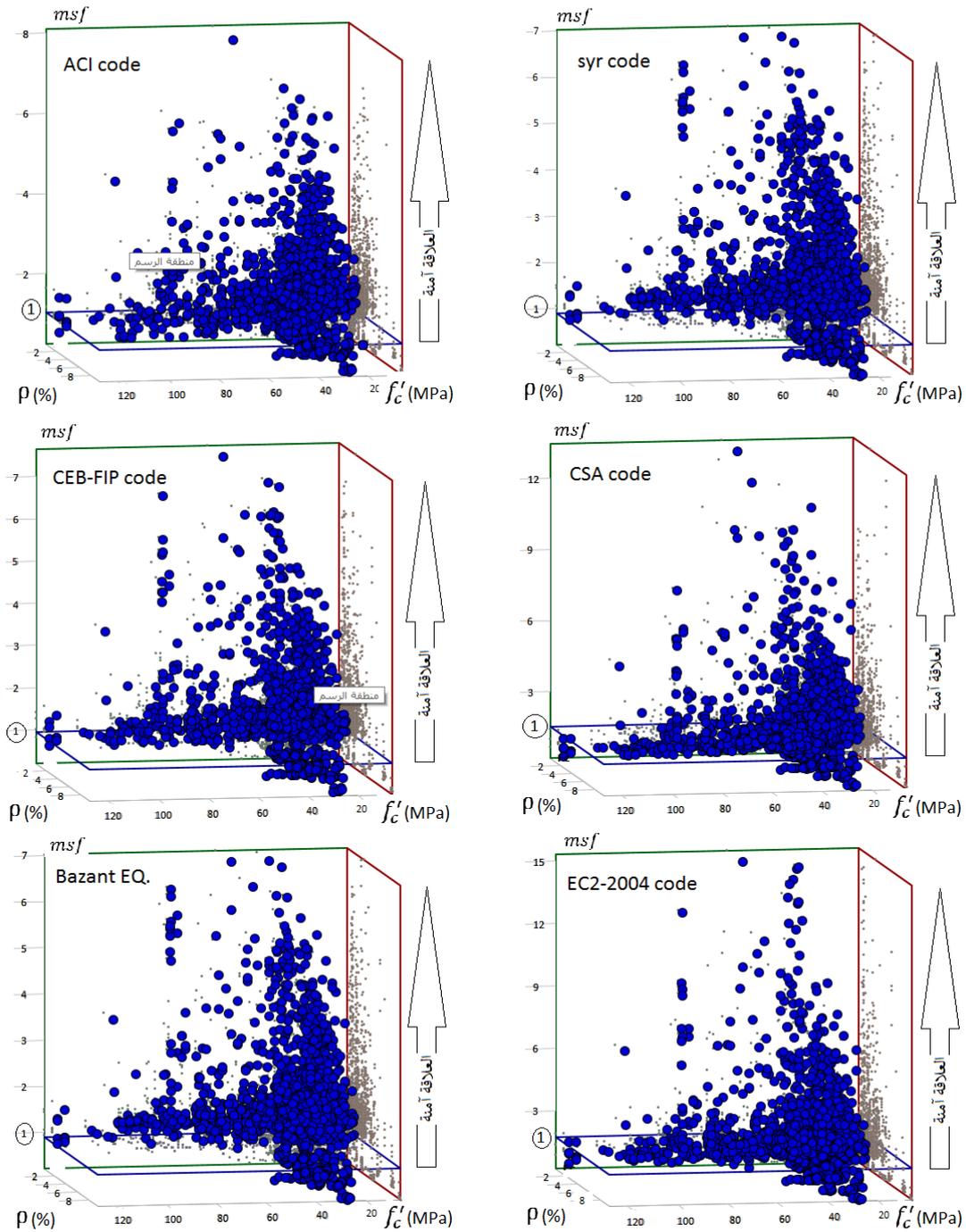
2. دراسة تحليلية إحصائية لعلاقات القص بالاعتماد على قاعدة البيانات:

يتم عادةً حساب النسبة بين إجهاد القص الحدي المقاس تجريبياً $\tau_{u,test}$ والإجهاد الحسابي $\tau_{u,calc}$ وفق معادلة القص وذلك لمقارنتهما، تسمى هذه النسبة بعامل أمان النموذج msf (model safe factor)، وتعتبر هذه القيمة عن مدى جودة المعادلة التجريبية المقترحة في الكودات كنموذج تحليلي لمقاومة القص للجوائز بدون أساور [8]:

$$msf = \tau_{u,test} / \tau_{u,calc} \quad (7)$$

بالإضافة لحساب مقاييس التشتت ومن أهمها الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف التي تعطي فكرة عن مدى تشتت وانحراف البيانات عن المتوسط الحسابي، وتم استخدام تقييم إحصائي لتوزيع قيم msf لتقييم سلامة ودقة معادلات حساب مقاومة القص لاستخدامها في مجال التصميم، فإذا كان $msf > 1$ فهذا يشير إلى أن القيمة الناتجة من المعادلات المعتمدة آمنة ومحفوظة، بدايةً تم رسم العلاقة ثلاثية البعد $(msf - f'_c - \rho)$ لبيان قيمة عامل أمان النموذج وعلاقته مع مقاومة البيتون على الضغط ونسبة التسليح الطولي العامل على الانعطاف وذلك لكل من علاقات مقاومة القص المدروسة ([11], [3], [4], [5], [6], [7]) كما هو مبين في الشكل (1).

يتبين من خلال تحليل المخططات أن علاقات القص المستخدمة عالمياً غير آمنة في مجالات محددة وآمنة ضمن مجالات أخرى بعوامل أمان كبيرة نوعاً ما، كما أن العلاقات المدروسة غير آمنة بشكل عام للبيتون ذو المقاومة العالية عندما تكون نسب التسليح ρ مرتفعة (قريبة من نسبة التسليح العظمى للمقطع)، وبالتالي يجب إعادة النظر في هذه العلاقات لناحية الأمان.



الشكل (1): رسم بياني يوضح العلاقة بين $(msf - f'_c - \rho)$.

3. حساب مقاييس التشتت للبيانات قيد الدراسة:

تم حساب مقاييس التشتت للبيانات (الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف) لبيان مدى ابتعادها عن قيم المتوسط الحسابي، وذلك بعد تقسيم الاختبارات وفق معايير محددة بهدف إجراء تقييم إحصائي لتوزيع قيم msf لتحديد مدى كفاءة العلاقات المعتمدة لاستخدامها في مجال التصميم وفق الجدول (1).

الجدول (1): المجالات المعتمدة لتقسيم الاختبارات [8].

العلاقة	المجالات
$(msf - f'_c)$	$f'_c < 30 \text{ MPa}$
	$30 < f'_c < 45 \text{ MPa}$
	$45 < f'_c < 120 \text{ MPa}$
$(msf - \rho)$	$0 < \rho < 0.0055$
	$0.0055 < \rho < 0.011$
	$0.011 < \rho < 0.015$
	$0.015 < \rho < 0.02$
	$0.02 < \rho < 0.03$
	$0.03 < \rho < 0.04$
	$0.04 < \rho < 0.07$
$(msf - d)$	$d \leq 200 \text{ mm}$
	$200 < d \leq 300 \text{ mm}$
	$300 < d \leq 600 \text{ mm}$
	$600 < d \leq 800 \text{ mm}$
	$800 < d \leq 1000 \text{ mm}$
	$d > 1000 \text{ mm}$

نعرض فيما يلي العلاقات المستخدمة في حساب مقاييس التشتت:

الانحراف المعياري [9]: مقياس يستخدم لقياس تشتت البيانات عن المتوسط الحسابي، ويمتاز الانحراف بالدقة العالية ولا يمكن حسابه بثلاثة قيم فقط، وإنما أكثر من ثلاثة قيم، ويرمز له بالرمز S .

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n-1}} \quad (8)$$

حيث:

x_i : القيمة عند الرقم i من البيانات.

x_m : القيمة المتوسطة لقيم البيانات المدروسة.

n : عدد القيم المدروسة.

معامل الاختلاف [9]: مقياس إحصائي مفيد لمقارنة درجة الاختلاف من سلسلة بيانات إلى أخرى ولو كانت المتوسطات مختلفة بشكل جذري، ويرمز له بالرمز v .

$$v = s/x_m \quad (9)$$

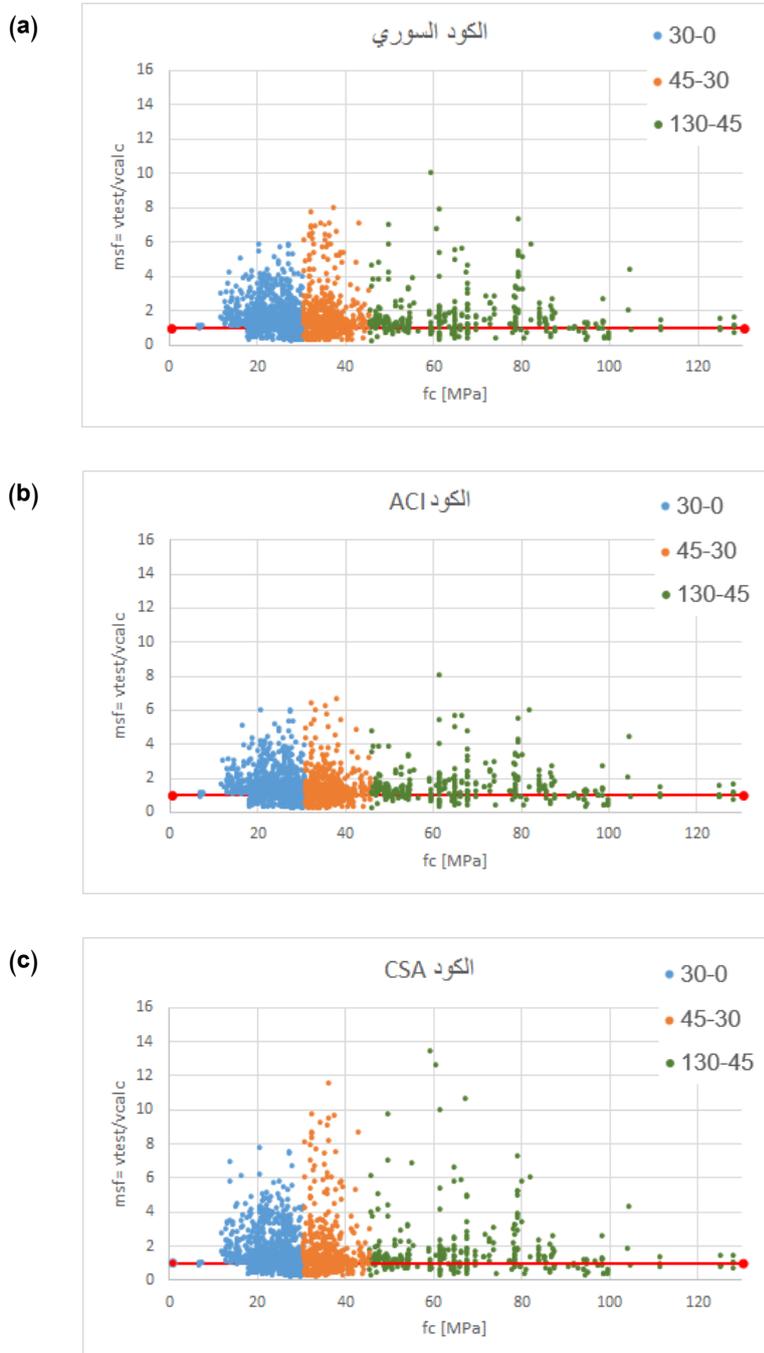
S : الانحراف المعياري.

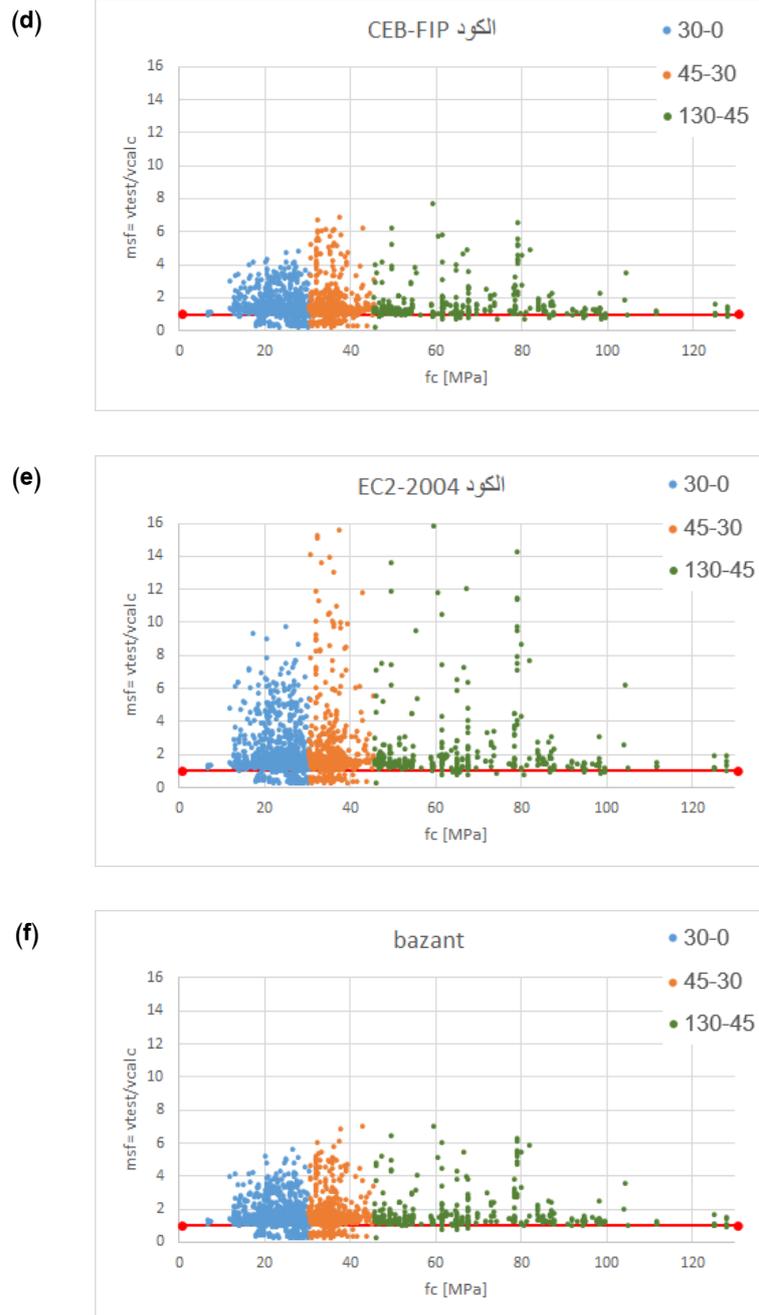
يوضح الجدول (2) مقاييس التشتت بالإضافة إلى المتوسط الحسابي m_{sfm} لتقييم العلاقة بين عامل أمان النموذج مع كل من مقاومة البيتون على الضغط ونسبة التسليح الطولي والارتفاع الفعال للمقطع على التوالي، مع التنويه إلى أن بقية البارامترات لم تكن ثابتة عند تقسيم الاختبارات وفق معايير محددة.

الجدول (2): مقاييس التشتت الإحصائية لعلاقة $(msf - (f'_c - \rho - d))$ وفق العلاقات (Bazant EQ., EC2-2004 code, CEB-FIP code, CSA code, ACI code, SYR code)

Bazant			الكود EC2-2004			الكود CEB-FIP			الكود CSA			الكود ACI			الكود السوري			الشرائح
المعاملات الإحصائية																		
v	s	msf_m																
0.56	0.88	1.57	0.74	1.54	2.07	0.54	0.79	1.44	0.72	1.17	1.62	0.59	0.93	1.56	0.60	0.97	1.60	$f'_c < 30 MPa$
0.64	1.09	1.68	1.1	2.65	2.41	0.71	1.12	1.57	0.97	1.65	1.69	0.63	0.94	1.48	0.78	1.34	1.71	$30 < f'_c < 45 MPa$
0.61	1.13	1.83	0.96	2.31	2.41	0.66	1.07	1.61	0.99	1.71	1.72	0.64	1.03	1.61	0.75	1.31	1.75	$45 < f'_c < 130 MPa$
0.38	0.60	1.54	0.63	1.14	1.82	0.42	0.55	1.29	0.68	0.56	0.83	0.48	0.41	0.86	0.63	0.62	0.98	$0.0055 > \rho$
0.59	1.24	2.10	1.04	3.29	3.16	0.68	1.30	1.89	1.02	1.77	1.72	0.63	0.89	1.40	0.85	1.55	1.81	$0.0055 < \rho$
0.57	1.10	1.92	0.81	1.89	2.34	0.61	1.05	1.71	0.79	1.39	1.75	0.60	1.04	1.72	0.68	1.26	1.84	$0.011 < \rho < 0.015$
0.50	0.81	1.61	0.7	1.46	2.08	0.51	0.74	1.44	0.67	1.07	1.59	0.53	0.85	1.61	0.56	0.94	1.68	$0.015 < \rho < 0.02$
0.60	0.92	1.51	0.84	1.65	1.97	0.59	0.84	1.42	0.80	1.33	1.64	0.61	0.99	1.61	0.64	1.06	1.64	$0.02 < \rho < 0.03$
0.51	0.95	1.86	0.74	1.82	2.48	0.50	0.88	1.75	0.70	1.57	2.24	0.55	1.15	2.08	0.55	1.15	2.08	$0.03 < \rho < 0.04$
0.87	0.87	0.99	1.27	1.81	1.43	0.88	0.90	1.01	1.19	1.83	1.53	0.78	0.88	1.13	0.86	1.05	1.21	$0.04 < \rho$
0.41	0.57	1.38	0.57	0.97	1.7	0.42	0.51	1.20	0.59	0.85	1.42	0.47	0.74	1.56	0.48	0.75	1.55	$d < 200mm$
0.58	0.81	1.40	0.81	1.41	1.76	0.57	0.75	1.32	0.87	1.24	1.43	0.65	0.92	1.42	0.68	0.99	1.46	$200 < d < 300mm$
0.55	1.27	2.30	0.85	3.1	3.62	0.59	1.28	2.15	0.77	1.92	2.48	0.57	1.12	1.93	0.66	1.53	2.31	$300 < d < 600mm$
0.54	1.10	2.03	0.92	2.54	2.78	0.61	1.06	1.72	0.91	1.28	1.40	0.55	0.70	1.27	0.79	1.19	1.49	$600 < d < 800mm$
0.51	1.02	1.97	0.83	1.91	2.31	0.58	0.88	1.51	0.82	0.93	1.12	0.69	0.77	1.10	0.74	0.90	1.21	$d > 800mm$

يلاحظ من خلال مراجعة قيم مقاييس التشتت لمختلف المعادلات المدروسة وضمن مختلف الشرائح أن قيمة الانحراف المعياري كبيرة تتراوح بين (0.55-3.29)، وأن قيمة معامل الاختلاف التي تتراوح بين (0.38-1.27) مما يدل على تشتت كبير في نتائج البيانات وهذا يعود إلى وجود قيم شاذة يجب مراجعتها للعمل على استثنائها من قاعدة البيانات. تم رسم علاقة معامل أمان النموذج مع البارامترات الرئيسية التي تؤثر على مقاومة القصر للجوائز بدون أساور، وهي مقاومة الضغط f'_c نسبة التسليح ρ ، والارتفاع الفعال d ، على التوالي، كما هو موضح في الأشكال من (1) حتى (3).

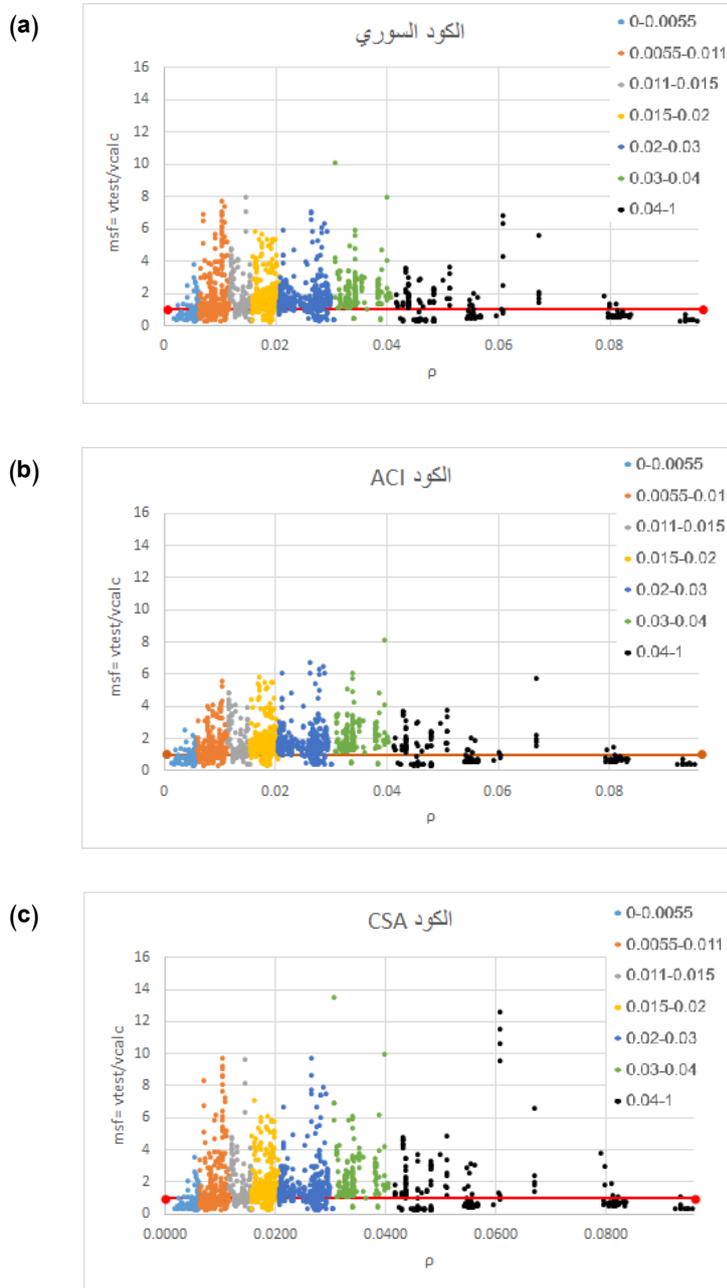


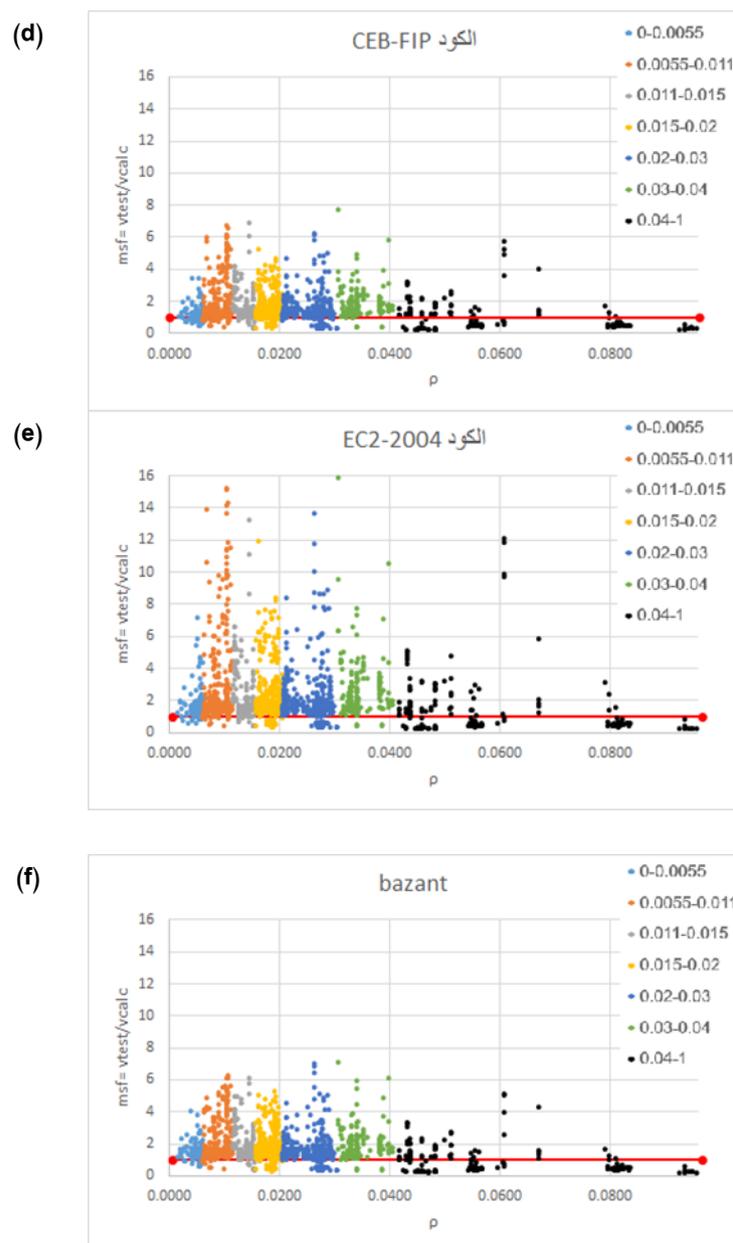


الشكل (1): العلاقة بين $(msf - f'_c)$: (a) لمعادلة الكود السوري، (b) لمعادلة ACI code، (c) لمعادلة CSA code، (d) لمعادلة CEB-FIP code، (e) لمعادلة EC2-2004 code، (f) لمعادلة Bazant.

يُلاحظ من تدقيق العلاقة $(msf - f'_c)$ للمعادلات المدروسة في الشكل (1) من (a to f) أنها آمنة للاستخدام ضمن مجالات معينة وغير آمنة ضمن مجالات أخرى، وعلى سبيل المثال أن علاقة القص في الكود العربي السوري غير آمنة ضمن المجالات $(f'_c < 30 MPa)$ و $(30 < f'_c < 45 MPa)$ ، حيث يوجد قيم لمعامل أمان النموذج (msf) أصغر من 1 لعينات بنسبة 24%، كما في الشكل (1-a)، علماً أن أغلبية الجوائز البيتونية في المنشآت يتم تنفيذها بمقاومات لا تتعدى 35MPa، وبالتالي لا يمكن اعتبار علاقات القص آمنة ضمن هذه المجالات، أما من

جهة قيمة عامل أمان النموذج لعدد كبير من التجارب نجده كبير وقد يصل إلى 15 وفق معادلة EC2-2004 code، كما في الشكل (1-e)، وبالتالي يجب إعادة النظر في المعادلات المستخدمة.

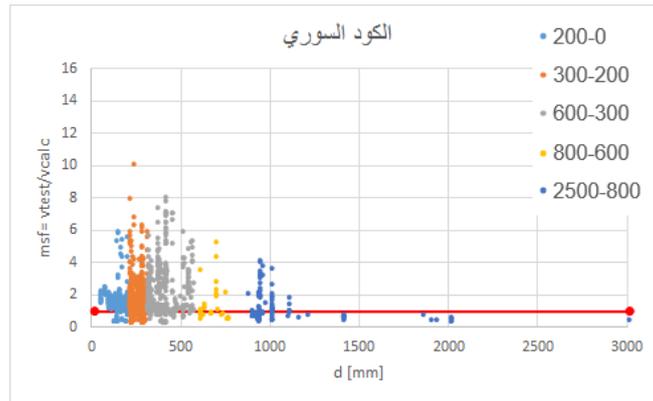




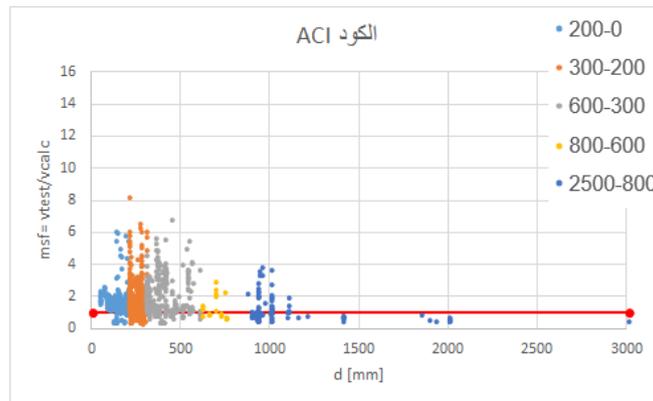
الشكل (2): العلاقة بين $(msf - p)$: (a) لمعادلة الكود السوري، (b) لمعادلة ACI code، (c) لمعادلة CSA code، (d) لمعادلة CEB-FIP code، (e) لمعادلة EC2-2004 code، (f) لمعادلة Bazant.

لوحظ في الشكل (2) عند تدقيق العلاقة $(msf - p)$ للمعادلات (SYR code، ACI code، CSA code، Bazant EQ، EC2-2004 code، CEB-FIP code) أنها تصبح غير آمنة مع تناقص نسب التسليح في المقطع حيث تعطي قيم لعامل أمان النموذج أصغر من 1، ومثال على ذلك حالة CSA code نجد أنه مع تناقص نسب التسليح في المجالات $(0.03 - 0.04)$ ، $(0.02 - 0.03)$ ، $(0.015 - 0.02)$ ، $(0.011 - 0.015)$ ، $(0 - 0.0055)$ تصبح العلاقة غير آمنة بنسب (3%، 25%، 19%، 30%، 52%، 76%) حيث تشمل هذه الشرائح معظم حالات تصميم الجوائز البيتونية المسلحة.

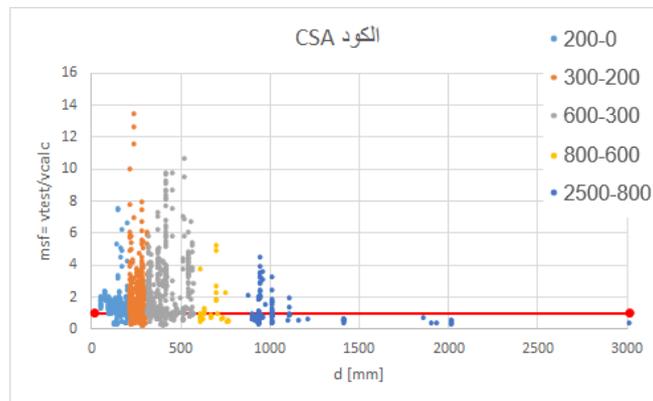
(a)



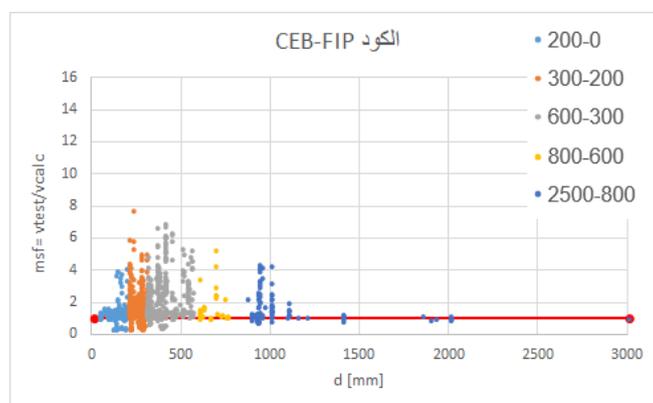
(b)

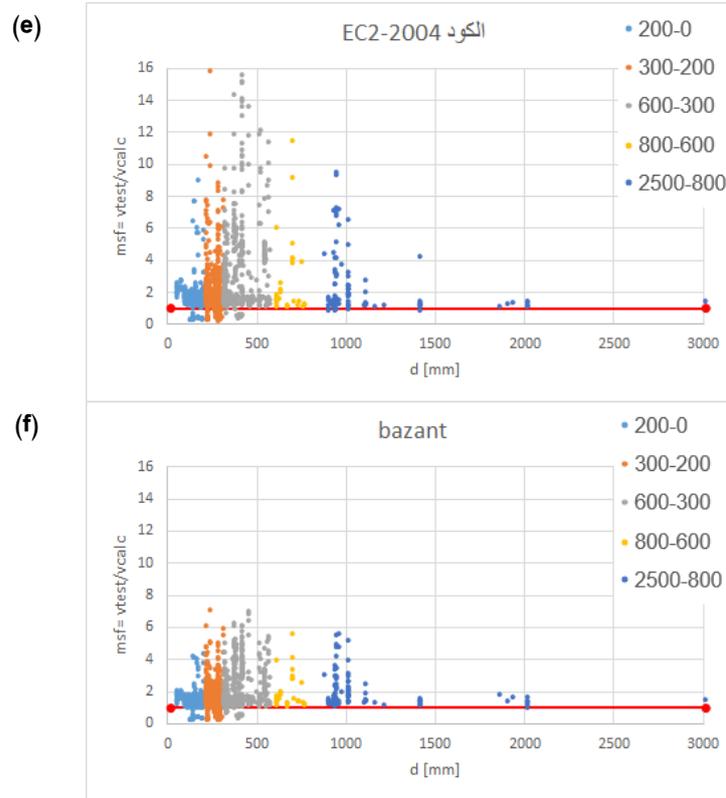


(c)



(d)





الشكل (3): العلاقة بين $(msf - d)$: (a) لمعادلة الكود السوري، (b) لمعادلة ACI code، (c) لمعادلة CSA code، (d) لمعادلة CEB-FIP code، (e) لمعادلة EC2-2004 code، (f) لمعادلة Bazant.

يبين الشكل (3) من (a to f) علاقة $(msf - d)$ أن المعادلات المستخدمة في كل من (ACI، SYR code، code، EC2-2004 code، CEB-FIP code، CSA code) ضمن المجال $(300 - 600 mm)$ غير آمنة لأنها تعطي قيم لعامل أمان النموذج أصغر من 1 بنسب (12%، 11%، 25%، 6%، 5%) على التوالي، وفي المجال $(600 - 800 mm)$ يظهر عدم أمان المعادلات للعينات التي تمتلك عامل أمان النموذج أصغر من 1 بنسب (54%، 54%، 64%، 21%، 29%) على التوالي، علماً أن أغلب ارتفاعات الجوائز البيتونية المسلحة أكبر من $300 mm$.

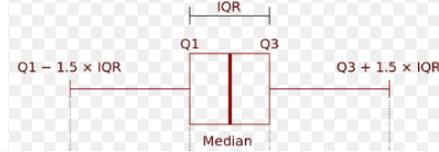
تم استثناء القيم الشاذة من الدراسة الإحصائية بعد رسم علاقة معامل أمان النموذج مع البارامترات الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة، وذلك بعد مراجعة الجدول (2) الذي يعطي مقاييس التشتت لمختلف المعادلات المدروسة، ليصار فيما بعد إلى حساب معامل التحديد R^2 (Determination Coefficient) للتحقق من قدرة المعادلة على التنبؤ بقيمة مقاومة قص تحليلية $(\tau_{u,calc})$ قريبة من قيمة مقاومة القص التجريبية $(\tau_{u,test})$.

4. استثناء القيم الشاذة من قاعدة البيانات:

تعرف القيم الشاذة (Outliers) بأنها عناصر أو سجلات تختلف صفاتها عن الأغلبية وبالتالي تكون بعيدة عن تجمع أو تكتل عناصر البيانات المتشابهة، ويكون ذلك غالباً نتيجة لاضطراب توزيع البيانات، وحتى لا تؤثر على نتائج التحليل ودقة النموذج الذي نصممه، نضطر إلى حذفها، طبعاً وفق أساليب علمية وليس عشوائياً.

تم بالاعتماد على برنامج Microsoft Excel استثناء القيم الشاذة لمعامل أمان النموذج *msf* باستخدام قاعدة المدى الربيعي، حيث نقوم بما يلي [9] كما في الشكل (4):

- نقوم بحساب الربع الأول Q_1 (القيمة التي يسبقها ربع البيانات بعد ترتيبها تصاعدياً)، ثم الربع الثالث Q_3 (القيمة التي يسبقها ثلاثة أرباع البيانات بعد ترتيبها تصاعدياً)، ثم المدى الربيعي IQR وهو ناتج طرحهم.
- نضرب المدى الربيعي IQR بالقيمة 1.5 ثم نطرحه من Q_1 وأي قيمة تكون أقل من هذا الناتج تعتبر قيمة شاذة.
- نضرب المدى الربيعي IQR بالقيمة 1.5 ثم نضيفه لـ Q_3 وأي قيمة تكون أكبر من هذا الناتج تعتبر قيمة شاذة.



الشكل (4): قاعدة المدى الربيعي لاستثناء القيم الشاذة [9].

يبين الجدول (3) المدى الربيعي والربع الأول والثالث وعدد القيم الشاذة التي تم استثناءها من كل معادلة من المعادلات التي تستخدم لحساب مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة.

الجدول (3): حساب العوامل الخاصة باستثناء القيم الشاذة.

عدد القيم الشاذة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المدى الربيعي	الربع الثالث	الربع الأول	المعاملات
						معادلة القص
163	-0.348	3.284	0.908	1.922	1.014	SYR code
137	-0.22	3.023	0.811	1.807	0.996	ACI code
189	-0.583	3.315	0.94	1.853	0.879	CSA code
229	0.234	2.449	0.554	1.619	1.065	CEB-FIP code
204	-0.366	3.718	1.021	2.187	1.166	EC2-2004 code
223	0.232	2.740	0.627	1.800	1.173	Bazant EQ.

بعد استثناء القيم الشاذة للمعادلات تم حساب القيمة المتوسطة والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف للبيانات كما هو مبين في الجدول (4).

5. تقييم قوة معادلات مقاومة القص في التنبؤ بنتائج تحليلية قريبة من النتائج التجريبية:

تم استخدام مفهوم الانحدار (Regression) أو ما يسمى التنبؤ (Prediction) في تقييم العلاقة بين النتيجة التجريبية $T_{u,test}$ والنتيجة التحليلية $T_{u,calc}$ ، ويعرف الانحدار بأنه تقدير القيمة المستقبلية لمتغير واحد بناءً على معرفة قيمة متغير أو أكثر وهناك عدة أنواع من الانحدار [10]:

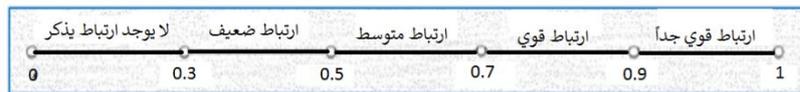
- الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression): يتضمن متغير y تابع يعتمد على متغير واحد مستقل x وكلمة خطي تشير إلى أن العلاقة بين المتغيرين y و x هي علاقة خطية.
- الانحدار المتعدد (Multiple Linear Regression): يتضمن اعتماد المتغير y على أكثر من متغير مستقل مثل x_1 و x_2 الخ.

- الانحدار غير الخطي (Non-Linear Regression): إذا كانت العلاقة بين المتغير y والمتغيرات المستقلة غير خطية مثل علاقة أسية أو لوغاريتمية أو تربيعية ... الخ. وهناك أنواع أخرى مثل الانحدار الهرمي (Hierarchical Regression) والانحدار التدريجي (Stepwise Regression) وغيرها.

تم الاعتماد على الانحدار الخطي البسيط في تقييم العلاقة باعتبار $\tau_{u,calc} = y$ و $\tau_{u,test} = x$ وحساب معامل التحديد (R^2 Determination Coefficient) والذي هو مقياس لتقدير دقة معادلة الانحدار يأخذ هذا المعامل قيم بين 0 إلى 1، وكلما اقتربت قيمة معامل التحديد لمتغيرين تساوي 0.87 فهذا يدل على أن معادلة الانحدار تفسر 87% من التغير الحاصل في المتغير التابع y حدثت بسبب التغير الحاصل في المتغير المستقل x والباقي من التغير البالغ 13% حدث بسبب عوامل أخرى غير المتغير المستقل x ويتم حساب R^2 وفق المعادلة التالية:

$$R^2 = 1 - \frac{(y-x)^2}{(x-x_m)} \quad (10)$$

يتم عادةً حساب معامل الارتباط (r Correlation Coefficient) وهو الجذر التربيعي لـ R^2 لقياس قوة الارتباط، ويبين المخطط البياني التالي تفسير قوة الارتباط وفق قيم معامل الارتباط [10] كما في الشكل (5):



الشكل (5): المخطط البياني لقيم معامل الارتباط [10]

يبين الجدول (4) معامل التحديد ومعامل الارتباط بالإضافة للقيمة المتوسطة والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف المستخدمة في تقدير قوة المعادلة المدروسة.

الجدول (4): معامل التحديد ومعاملات التشتت للبيانات غير الشاذة.

v	s	m_{sfm}	r	R^2	معادلة القص
0.464	0.64	1.379	0.631	0.398	SYR code
0.468	0.65	1.392	0.643	0.413	ACI code
0.519	0.661	1.274	0.244	0.06	CSA code
0.361	0.443	1.228	0.876	0.767	CEB-FIP code
0.473	0.714	1.511	0.777	0.603	EC2-2004 code
0.372	0.503	1.354	0.827	0.683	Bazant EQ.

يتبين من خلال الجدول (4) والقيم المدرجة على المخطط البياني في الشكل (5) أن كل من معادلات حساب مقاومة القص (Bazant EQ.، EC2-2004 code، CEB-FIP code) تعطي ارتباط قوي حيث أن معادلة الانحدار تدل على تقارب القيم التحليلية من القيم التجريبية بنسبة (0.876، 0.777، 0.827) على التوالي، أما بالنسبة للمعادلات (SYR code، ACI code) تعطي ارتباط متوسط حيث أن معادلة الانحدار تدل على وجود تقارب بنسبة (0.631،

0.643) على التوالي، بينما تعطي معادلة (CSA code) ارتباطاً ضعيفاً، لأن معادلة الانحدار تدلّ على وجود تقارب بنسبة ضعيفة (0.244).

يُلاحظ من خلال القيم المدرجة في الجدول (4) أن قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف (معاملات قياس التشتت للبيانات) (0.361، 0.443) على التوالي لمعادلة (CEB-FIP code)، تليها قيم (0.372، 0.503) على التوالي لمعادلة الباحث (Bazant EQ.) تعطي أقل قيم لمعاملات قياس التشتت وهذا يدل على قوة معادلة الانحدار ومقدرتها على إعطاء قيم تحليلية قريبة من القيم التجريبية.

6. اقتراح تعديلات على المعادلات المدروسة باستخدام برنامج EXCEL:

تم باستخدام برنامج EXCEL إجراء تعديلات على المعادلات (الثوابت) المستخدمة في معادلات مقاومة القص المدروسة وذلك باعتماد طريقة المربعات الصغرى، وقد تم التوصل إلى المعادلات التالية، كما في الجدول (5):

الجدول (5): المعادلات المقترحة لمقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور.

العلاقة المقترحة	العلاقة المعتمدة في المرجع	المرجع
$\tau_{cu} = 0.079\sqrt{f'_c} + 90.68 \rho \frac{V_u}{M_u} d$	$\tau_{cu} = 0.16\sqrt{f'_c} + 18 \rho \frac{V_u}{M_u} d$	الكود العربي السوري [11]
$\tau_{cu} = 0.076\sqrt{f'_c} + 89.41 \rho \frac{V_u}{M_u} d$	$\tau_{cu} = 0.16\sqrt{f'_c} + 17 \rho \frac{V_u}{M_u} d$	الكود الأمريكي [3] [ACI 318]
$\tau_{cu} = 0.137\sqrt{f'_c}$	$\tau_{cu} = 0.2\sqrt{f'_c}$	الكود الكندي المبسطة [CSA] [4]
$\tau_{cu} = 0.15 \left(\frac{2.9d}{a}\right)^{\frac{1}{3}} \left[1 + \sqrt{\frac{557}{d}}\right] (100\rho f'_c)^{1/3}$	$\tau_{cu} = 0.15 \left(\frac{3d}{a}\right)^{\frac{1}{3}} \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right] (100\rho f'_c)^{1/3}$	Model Code [5] [CEB-FIP MC90]
$\tau_{cu} = 0.17k(100\rho f'_c)^{1/3}$	$\tau_{cu} = 0.12k(100\rho f'_c)^{1/3}$	الكود الأوروبي [EC2-2004] [6]
$\tau_{cu} = 0.1 * 12.1 * \rho^{3/8} * (1 + d/a) * \sqrt{\frac{f'_c}{(1 + d/d_0)}}$	$\tau_{cu} = 0.083 * 10 * \rho^{3/8} * (1 + d/a) * \sqrt{\frac{f'_c}{(1 + d/d_0)}}$	الباحث [7] [Bazant 2005]

تم بعد إجراء التعديل على المعادلات حساب معامل التحديد R^2 وحساب معامل الارتباط r ، يبين الجدول (6) القيم الجديدة للمعاملات.

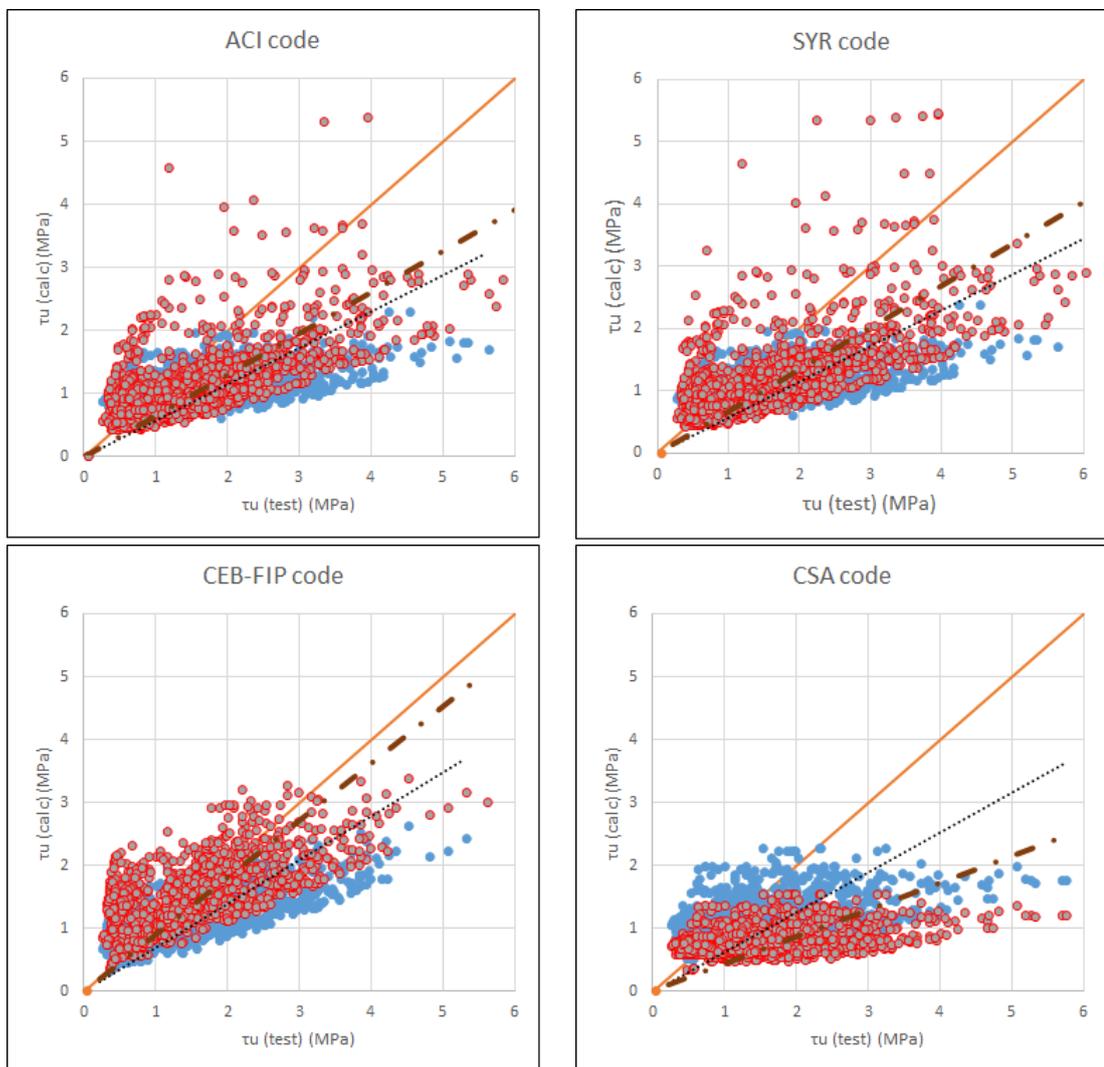
الجدول (6): معامل التحديد ومعاملات التشتت للبيانات بعد التعديلات.

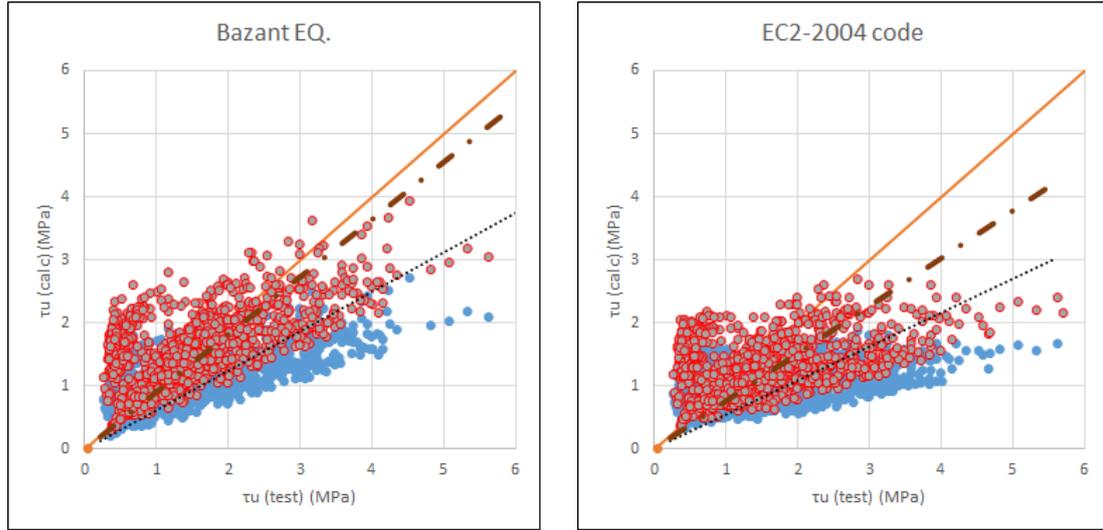
v	s	m_{sfm}	r	R^2	معادلة القص
0.382	0.511	1.337	0.786	0.618	SYR code
0.366	0.498	1.361	0.824	0.678	ACI code
0.518	0.966	1.863	0.680	0.462	CSA code
0.363	0.344	0.947	0.857	0.734	CEB-FIP code
0.448	0.494	1.102	0.8	0.64	EC2-2004 code
0.371	0.345	0.929	0.824	0.679	Bazant EQ.

يُلاحظ أن المعادلات الجديدة أعطت معامل ارتباط أكبر بالنسبة لكل من (CSA code ،ACI code ،SYR code) ،
 EC2-2004 code (0.8 ،0.68 ،0.824 ،0.786) على التوالي، ومعامل ارتباط أقل بالنسبة لكل من
 (Bazant EQ. ،CEB-FIP code) (0.824 ،0.857) على التوالي.

يوضح الشكل (6) شكل خط الانحدار للمعادلات المدروسة وانتشار البيانات حول هذا الخط، حيث يُلاحظ التمثيل
 الأفضل للمعادلات (Bazant EQ. ،EC2-2004 code ،CEB-FIP code) التي كان فيها معامل الارتباط
 ومعامل التحديد ذو قيم أكبر، أما بالنسبة للمعادلات المقترحة فيلاحظ تحسّن في انتشار البيانات حول خط الاتجاه مع
 زيادة قيمة معامل التحديد ومعامل الارتباط كما في معادلة (ACI code ،SYR code).

● خط انحدار (المعادلة الجديدة) البيانات
 ● خط انحدار (المعادلة الأصلية) بيانات المعادلة الجديدة
 $\tau_u(\text{test}) = \tau_u(\text{calc})$





الشكل(6): تمثيل خط الانحدار للعلاقة $(\tau_{u,test} - \tau_{u,calc})$ لمختلف المعادلات.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم في هذا البحث إجراء دراسة تحليلية إحصائية لعلاقات حساب مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور المعتمدة في (CEB-FIP code, CSA code, ACI code, SYR code, Bazant EQ., EC2-2004 code)، ومقارنتها مع نتائج الدراسات التجريبية المرجعية المدرجة في قاعدة البيانات التي تم إنشاؤها من قبل (Collins and et al., 2008)، وتم التوصل إلى النتائج التالية:

1. قيم الانحراف المعياري كبيرة تتراوح بين (0.55-3.29) لمختلف الشرائح، كما أن قيم معامل الاختلاف التي تتراوح بين (0.38-1.27)، مما يدل على تشتت كبير في نتائج البيانات.
2. تشير قيم معامل الارتباط r (0.827, 0.777, 0.876) لكل من معادلات مقاومة القص في الجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور (Bazant EQ., EC2-2004 code, CEB-FIP code) على التوالي إلى وجود ارتباط قوي بين القيم التجريبية والقيم التحليلية وقللة قيمة الخطأ العشوائي، علماً أن معادلة (CEB-FIP code, EC2-2004 code) تعتمد على نموذج نظرية حقل الانضغاط المعدلة (MCFT)، بينما تعتمد معادلة الباحث (Bazant EQ.) على نموذج ميكانيك التصدع، بينما قيم معامل التحديد (0.643, 0.631) لمعادلات مقاومة القص المستخدمة (ACI code, SYR code) على التوالي تعطي ارتباط متوسط، في حين أن قيمة معامل التحديد (0.244) لمعادلة (CSA code) تعطي ارتباط ضعيف، وهذه المعادلات تعتمد على نموذج الجائز الشبكي (Truss analogy).
3. أعطت المعادلات الجديدة قيم معامل ارتباط r (0.824, 0.786, 0.68, 0.8) أكبر من قيم المعادلات الأصلية لكل من (EC2-2004 code, CSA code, ACI code, SYR code) على التوالي وذلك بنسبة زيادة بمقدار (24.6%, 28.1%, 178.7%, 3%) على التوالي، ومعامل ارتباط (0.824, 0.857) أقل لكل من علاقة (Bazant EQ., CEB-FIP code) على التوالي وذلك بنسب صغيرة (2.2%, 0.4%).

4. قدرة النماذج التي تعتمد على نظرية حقل الانضغاط المعدلة (MCFT) وميكانيك التصدع في تقدير مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون أساور أكبر بحوالي 30% مقارنةً مع النماذج التي تعتمد على نموذج الجائز الشبكي (Truss analogy).

التوصيات:

1. إعادة النظر في علاقة تحديد مقاومة القص المستخدمة في الكود العربي السوري لناحية أخذ مفاهيم ميكانيك التصدع الذي يفسر حالات انهيار عديدة لا يمكن أن تحلها نظرية المرونة أو اللدونة.
2. العمل مستقبلاً على تطوير علاقات القص المستخدمة بالاعتماد على نماذج ميكانيكية بعيدة نوعاً ما عن نموذج الجائز الشبكي الذي يعتبر نموذج بسيط وبدائي في تقدير مقاومة القص.

References:

- [1] HONG, S.; HA, T. *Effective capacity of diagonal strut for shear strength of reinforced concrete beams without shear reinforcement*. ACI Structural Journal U.S.A, Vol. 109, No. 2, 2012, 139-148.
- [2] COLLINS, M. P.; BENTZ, E. C.; SHERWOOD, E. G. *Where is shear reinforcement required? Review of research results and design procedures*. ACI Structural Journal U.S.A, Vol. 105, No. 5, 2008, 590-600.
- [3] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318-R02)*. American Concrete institute, 2002.
- [4] CSA Technical Committee on Reinforced Concrete Design, A23.3-94: *Design of Concrete Structures*. Rexdale, Ontario: Canadian Standards Association, December 1994.
- [5] CEB-FIP model code 1990 design code /Comité Euro-International du Béton. SR 90/1. 61p.
- [6] EC2, 2004. *Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings (EN 1992-1-1)*, European Committee for Standardization, rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels.
- [7] Bazant, Z.P.; Yu, Q. *Designing Against Size Effect on Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Stirrups- II. Verification and Calibration*. Journal of Structural Engineering U.S.A, Vol. 131, No. 12, 2005, 1886-1897.
- [8] REINECK, K. H.; KUCHMA, D. A.; KIM, K. S.; MARX, S. *Shear database for reinforced concrete members without shear reinforcement*. ACI Structural Journal U.S.A, Vol. 100, No. 2, 2003, 240-249.
- [9] DEVORE, J.L. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. 8th. ed., Cengage Learning, U.S.A, 2011.
- [10] LIENGME, B. *A Guide to Microsoft Excel 2002 for Scientists and Engineers*. 3rd. ed., ELSEVIER, U.S.A, 2002.
- [11] Syrian Arab Code, edition 2012, Damascus, Syria.