دراسة تجريبية لسلوك الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالفيروسمنت والمعرضة للفتل

د. منيب العلاف*

د. إحسان الطرشة**

رلى زهير طه***

□ ملخص □

تعد تقنية التقوية بالتطويق (wrapping) باستخدام مواد مختلفة واحدة من أكثر الطرق فعالية لتقوية العناصر الإنشائية[3] . الا أن الحاجة الى البحث عن بديل أرخص ويتميز بالموثوقية لتقوية العناصر الانشائية المسلحة قادت لاستخدام الفيروسمنت الذي أثبت جدارته كحل واعد. ولكن لاتزال الدراسات محدودة لمعرفة مدى تحسين الفيروسمنت لمقاومة العناصر الانشائية المسلحة المعرضة للفتل. تناقش الدراسة الحالية تأثير الفيروسمنت على مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة والمعرضة للفتل الصافي. اذ تم اجراء دراسة تجريبية تتضمن صب جوائز بيتونية مسلحة عددها (8) وتدعيمها باستخدام الفيروسمنت باستخدام أسلاك بقطر 2.5mm وتم الربط باستخدام روابط قص بتباعد 25cm وتباعد 15cm كما تم التطويق من جهتين ومن ثلاث جهات، اذ وجد أن التدعيم بالفيروسمنت قد حسن السلوك الفتلي للجوائز المدروسة وأبدت الجوائز المدعمة بالفيروسمنت من ثلاث جهات مقاومة فتلية أفضل مقارنة مع تلك المدعمة من جهتين كما أن استخدام روابط قص بتباعد 15cm أعطى مقاومة وسلوك فتلي أفضل من الجوائز التي كان تباعد روابط القص فيها 25cm.

الكلمات المفتاحية: الفيروسمنت، الفتل، التدعيم، شبكة الاسلاك

*** أستاذ– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث– حمص– سورية.**

**** أستاذ– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث– حمص– سورية.**

***** طالبة دكتوراه– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث– حمص– سورية.**

(Torsional performances of strengthened Reinforced concrete beams using ferrocement- Experimental study)

Dr Muneeb AL Alalaf*
Dr Ehsan AL Tarsheh**
Roula Taha***

□ ABSTRACT □

Wrapping by using different composites is one of the effective ways to Strength the Reinforced concrete element [3]. But the need for alternative, low-cost construction material, and reliability method to retrofit the structural elements led to utilize Ferrocement which have shown significant enhancement in strengthening process. Few studies are available to quantify the torsional strength of ferrocement wrapped R.C. beams. This experimental study aims to evaluates the effectiveness of Ferrocement on the torsional response of the concrete beams. This experimental study is conducted on (8) reinforced concrete beams, which have been casted and strengthened by using Ferrocement, where the wire Mesh wires diameter is 2.5mm. With regard to the connection between concrete beams and ferrocement we used shear connection every 25cm and 15cm and the wrapping from two sides and three sides(U). The "U" wraps, in consequence, have provided better torque carrying capacity under the torsion than those have been wrapped from two sides. Moreover, the shear connection every 15cm improved the torsion behavior more than those with 25cm.

Key words: Ferrocement, Torsion, Strengthen, Mesh Wire.

***Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, AL Baath University, Homs, Syria.**

****Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, AL Baath University, Homs, Syria.**

***** Postgraduate Student (Doctorate), Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, AL Baath University, Homs, Syria.**

1-مقدمة:

تتعرض العناصر الإنشائية المسلحة مثل (الجوائز المحيطية، الجوائز الحلقية في أسفل البلاطات الدائرية، الجوائز الحاملة للمظلات وغيرها من الجوائز) لقوى فتل. الأمر الذي يتطلب تقويتها أو رفع مقاومتها عندما تعجز عن مقاومة هذه الحمولات[1] . ان زيادة الحمولات الاستثمارية عن الحمولات التصميمية وانخفاض المقاومة مع العمر الاستثماري والتحديثات الصارمة في اشتراطات الكودات تجعل من الضروري اصلاح أو تقوية العناصر الانشائية القائمة. ان عملية التقوية والإصلاح للعنصر الانشائي يمكن ان تتم باستخدام مواد مقاومة مثل ألياف الكربون يتم لصقها بالايبوكسي(FRP) أو التطويق بزوايا فولاذية ، الا أن كل تكنيك يحتاج لمستوى مختلف من البراعة في التنفيذ. ان توفر اليد العاملة وكلفة التنفيذ وإمكانية العمل وفقا لاشغالات الأبنية تلعب الدور الرئيسي في تقرير طريقة التدعيم الملائمة[8-4-3] . الا أن استخدام هذه الطرق ولاسيما FRP قد يكون غير ممكن في الدول ذات الاقتصادات النامية بسبب كلفتها العالية وحاجتها لأيدي عاملة ماهرة. ونظرا للحاجة لعملية التدعيم مع المحافظة على البساطة وقابلية التنفيذ تم اقتراح ما عرف بالفيروسمنت (Ferrocement) حيث أظهرت الدراسات على العناصر المقواة بالفيروسمنت تحسن هام في المقاومة. قد يكون الفيروسمنت هو البديل الأمثل لطرق التقوية المعروفة مثل FRP سواء من ناحية الكلفة أو من ناحية التقوية، اذ أنها تتميز بمقاومة عالية على الشد وممانعة جيدة لتسرب المياه بالإضافة لسهولة التنفيذ [5].

2-هدف البحث:

يعتبر الفيروسمنت نظراً لمقاومته الجيدة للتشققات ولتحسينه توزع الاجهاد عبر المقطع العرضي أحد أهم المواد المركبة والمناسبة لعملية تقوية الجوائز على الفتل، وللتحقق من ذلك تم اجراء دراسة تجريبية تتضمن صب وتجريب مجموعة من الجوائز (8جوائز) المقواة بطبقة الفيروسمنت على قوى الفتل (ultimate torsional strength) وفق متحولين:

1- تباعد روابط القص التي تربط الجائز البيتوني المدعم بطبقة الفيروسمنت كل 15cm, 25cm

2- جهة التطويق من جهتين ومن ثلاث جهات.

بهدف تحديد المتحولات التي تعطي أقل عزوم دوران (torque capacity) تحت تأثير الفتل (torsion) ومقارنة هذه النتائج مع نماذج تجريبية غير مدعمة بالفيروسمنت.

3-مواد وطرق البحث:

3-1 التعريف بطبقة الفيروسمنت ومواصفاتها:

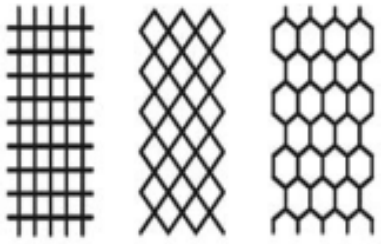
استخدمت طبقة الفيروسمنت في العقود الأخيرة للتقوية وإعادة التأهيل بسبب خصائصها الإيجابية المتعددة.

يمكن تعريف الفيروسمنت (Ferrocement) بأنها شكل من الخرسانة المسلحة، يستخدم فيها طبقات متعددة وبتباعدات متقاربة من شبكات التسليح[5] ، ومغطاة بشكل كامل بالمونة الاسمنتية. تطبيقات الفيروسمنت متعددة وبخاصة في المنشآت والعناصر الانشائية حيث تكون المهارة المطلوبة لتنفيذها بمستواها الأدنى. كما يمكن أن تعرف الفيروسمنت بأنها المادة الإنشائية المشكلة من تراكب الحديد (ferro) كشبكات أسلاك (wires mesh) بأقطار صغيرة والإسمنت (cement) حيث توزع هذه الشبكات بشكل منتظم عبر المقطع العرضي لتشكل جداراً نحيفاً (الشكل (1)).

الشكل (1) مكونات طبقة الفيروسمنت والمقطع العرضي للجائز المدعم بالفيروسمنت

ونظراً لصغر مقطعه العرضي وخفة وزنه وديمومته فيمكن استخدامه في الكثير من العناصر الانشائية مثل الأساسات والبلاطات والقشريات وغيرها من العناصر الإنشائية[2].وبالرغم من هذه الاستخدامات المبدعة وانتشار تطبيقاتها عالمياً الا أن الأبحاث حول هذه المادة والمعلومات حول سلوكياتها لا تزال قليلة وغير متكاملة ولاسيما فيما يتعلق بالجوائز الخاضعة للفتل، اذ أن العديد من المباني والعناصر الإنشائية تتعرض لعزوم فتل هامة تؤثر على التصميم الإنشائي، وقد تتطلب تقوية للعناصر الإنشائية المتضررة نتيجة النقص في قدرة التحمل على القص والفتل[8] (Torsion and Shear Capacity) حيث من الممكن أن تتعرض العناصر التي ازدادت فيها قوى الفتل بشكل كبير للانهيار المفاجئ، ويوجد في مثل هذه الظروف حلان اما الاستبدال او التدعيم وقد يكون الاستبدال هو الأسهل ولكنه من المؤكد ليس الأقل كلفة. لذلك يعتبر التدعيم ورفع الكفاءة الحل الأفضل والأوفر (الأقل كلفة) في أغلب الحالات [7–10]. واستخدام الفيروسمنت للتدعيم في حالة الفتل أحد أفضل الحلول وذلك لأن السلوك اللاخطي لهذه المادة نتيجة لاخطية المواد المكونة وطبيعة الربط بين البيتون وشبكات الأسلاك[2–3] .

يوجد عدة أشكال لشبكات الأسلاك المتداولة فيمكن أن تكون الفتحات مربعة الشكل (Square opening) أو معينة الشكل (Expanded Mesh) أو سداسية الشكل (hexagonal opening) كما يمكن أن يشار للشبكات بالفتحات السداسية الشكل بالاسم (chicken wire mesh) وقد تكون بشكلين الملحومة(welded) والمجدولة (woven) (الشكل (2)).



الشكل (2) يظهر أنواع شبكات الأسلاك

الجدول (1) يظهر أقطار أسلاك الشبكات وتباعدات فتحاتها الأكثر شيوعاً حسب ACI [4]

Type النوع	Shape الشكل	Fabrication نمط الوصل	Designation Gage	Wire spacing تباعد الشبك		Wire diameter قطر الشبك	
				In	mm		
			1/4x3/4No 16	0.75	19	0.0630	1.6
			2x2 No 19	0.5	13	0.0410	1

Wire mesh شبكة الأسلاك	Square مربع	Woven or Welded مجدول أو ملحوم	3x3 No 22	0.33	8.5	0.0286	0.72
			4x4 No 23	0.25	6.4	0.0250	0.64
		Welded ملحوم	1x1 No 14	1	25	0.0800	2
	Rectangular مستطيل	Welded ملحوم	2x1 No 14	2x1	50x 25	0.0800	2
	Hexagonal سداسي	Twisted ملفوف	1No 18 1 No 20 1/2 No 22	1 1 1/2	25 25 13	0.0475 0.0348 0.0286	1.2 0.88 0.72
Expanded metal mesh شبكة الأسلاك المتطاولة	Diamond معين	Slit and drawn	3.4 lb/Yd^2 Gage No. 18 Gage No. 20			0.0230 0.0400 0.0300	0.58 1 0.76

3-2 الفتل في الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالفيروسمنت:

إن موضوع الفتل من المواضيع ذات الطبيعة المعقدة، يمكن أن يدعم بشكل جيد بواسطة شبكات الأسلاك القريبة من بعضها. تناولت القليل من الدراسات التجريبية والتحليلية تقييم الفتل في الجوائز المدعمة بالفيروسمنت. اذ وجد أن التدعيم بالفيروسمنت يحسن مقاومة الفتل في الجوائز البيتونية المسلحة المجهدة ويغير نمط الانهيار من الهشاشة(brittle) للمطاوعة(ductile) ويؤمن أفضل مقاومة للشقوق(crack) والاجهاد(strain). تولد قوى الفتل تشققات حلزونية تميل بزاوية 45 درجة تقريبا عن المحور الطولي للجائز [4-10].

يدرس سلوك الجائز البيتوني المدعم بالفيروسمنت على الفتل في ثلاثة مراحل: مرحلة المرونة (elastic stage)، مرحلة التشققات الدقيقة (micro-cracked stage)، مرحلة ما بعد التشقق (post cracking stage).اذ يسلك الجائز المدعم بالفيروسمنت سلوكا خطيا حتى عزم الفتل المرن(elastic torque) حيث يتساوى اجهاد القص مع مقاومة الشد لمونة الفيروسمنت أو يتساوى اجهاد القص للوجه غير المدعم بالفيروسمنت مع مقاومة الشد للبيتون(والذي يمكن أن يتولد سريعا خلال التحميل)، فإذا قاوم اجهاد الشد للنواة

البيتونية هذا الفشل تصبح المادة المدعمة(الفيروسمنت) غير فعالة ويساوي عزم الفتل المرن عزم الفتل الحدي. والا سيعمل شبك أسلاك الفيروسمنت بفعالية في مرحلة التشققات الدقيقة ومرحلة ما بعد التشقق، فعندما يصل اجهاد القص الناتج عن الفتل الى مقاومة الشد لمونة الفيروسمنت ، تبدأ مرحلة التشققات الدقيقة في الفيروسمنت حيث يساهم شبك أسلاك الفيروسمنت في السيطرة على التشققات ويمنعها من التوسع ،وتنتهي هذه المرحلة عندما يتساوى اجهاد القص في الجائز المدعم مع اجهاد التشقق للفيروسمنت.

هذا وحسب الدراسات يعتمد فعالية التقوية بالفيروسمنت على عدة عوامل منها: طريقة الربط بين الجوائز والفيروسمنت–نسبة طول الجائز لعرضه (aspect ratio) – مقاومة الشد للنواة البيتونية– جهة التطويق– مقاومة الفيروسمنت وقطر سلك شبكات الفيروسمنت.–4] 9]

تعتمد الكودات علاقات لحساب عزم الفتل في الجوائز والاجهادات الناتجة عنها، وتختلف من كود لآخر تبعا لعوامل مختلفة. اذ ينص الكود العربي السوري [7] على ضرورة أخذ الفتل بالاعتبار اذا تجاوز الجهاد المماسي الناتج عن الفتل القيمة:

$$\tau_{tumin} = 0.13\sqrt{f`_c} \qquad (1)$$

ويعطى الاجهاد المماسي الافتراضي الناتج عن عزم الفتل المطبق في حالة المقاطع المستطيلة والمقاطع ذات الأجنحة بالعلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{3*T_U}{\sum X^2*Y} \leq \tau_{tu\,max} \qquad (2)$$

حيث أنّ:

$f`_c$:المقاومة الاسطوانية المميزة على الضغط على عمر 28 يوم، MPa

T_U : عزم الفتل الحدي الأقصى، N.mm

X : عرض المقطع العرضي، mm

Y : ارتفاع المقطع العرضي، mm

τ_{tu}: الاجهادات المماسية، MPa

τ_{tumin}: الاجهادات المماسية الأصغرية، MPa

$\tau_{tu\,max}$: الاجهادات المماسية الاعظمية MPa وتعطى بالعلاقة:

$$\tau_{tu\,MAX} = 0.8\sqrt{f`_c} \qquad \tau_{tc} = \frac{0.16\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u})^2}} \qquad (3)$$

$$A_{St} = \frac{(\tau_{tu}-\tau_{tc})*S*\sum X^2*Y}{3*\alpha_t*x_1*y_1*f_{yt}} \qquad (4)$$

حيث:

τ_{tc}: إجهاد الفتل المماسي الذي يقاومه البيتون

S : خطوة الأساور

X1,Y1: عرض وارتفاع الأسوارة، mm

f_y : حد مرونة فولاذ الأساور

α_t : معامل يؤخذ من العلاقة:

$$\alpha_t = 0.66 + 0.33 * \frac{y_1}{x_1} \leq 1.5 \qquad (5)$$

وبشكل مشابه يعطي كود ACI−318 قيمة عزم الفتل τ_n للجوائز البيتونية المسلحة ذات المقطع العرضي المصمت بالعلاقة[5]:

$$\tau_n = \tau_c + \tau_s \qquad (6)$$

τ_c : عزم الفتل الذي يتحمله البيتون

τ_s : عزم الفتل الذي يتحمله فولاذ التسليح

حيث :

$$\tau_c = 0.8\sqrt{f`_c}b^2h \qquad (7)$$

$f`_c$: المقاومة المميزة على الضغط للبيتون (psi)

b,h : عرض وارتفاع المقطع العرضي للجائز، (in)

$$\tau_s = n * A_t * \alpha_1 * x_1 * f_y \qquad (8)$$

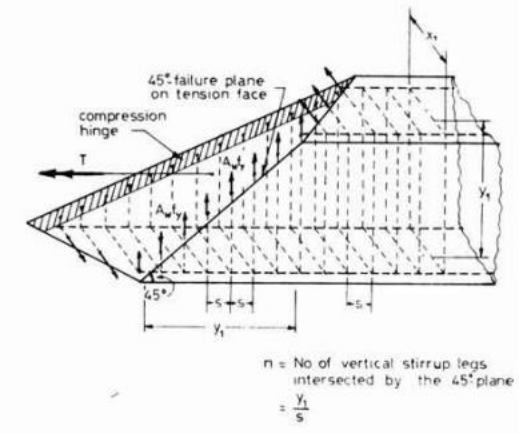
At : مساحة المقطع العرضي لضلع واحد من اسوارة التسليح العرضي

f_y: حد مرونة فولاذ الأساور

α_t : معامل يؤخذ من العلاقة(5)

X1 : عرض إسواره التسليح المستطيل

n=y1/s تمثل هذه القيمة عدد الأضلاع الشاقولية للأسوارة التي يقطعها مستوي مائل بزاوية 45° في جهة الفتل في الجائز كما يوضح الشكل (3) .



الشكل (3) عدد الأضلاع الشاقولية التي تتقاطع مع مستوي مائل بزاوية 45 درجة

وبالرغم من الاهتمام العالمي بالفيروسمنت كبديل مناسب لحلول التدعيم الا أن الأبحاث حول هذه المادة والمعلومات حول سلوكياتها لا تزال قليلة وغير متكاملة الامر الذي أدى الى زيادة التركيز بجميع متحولات هذه المادة ولاسيما عند التعرض للفتل في السنوات الأخيرة.

اذ أجرى الباحثين Rajguru و Patkar [5] دراسة تجريبية على جوائز بيتونية مسلحة مدعمة بالفيروسمنت على شكل u بمقاومات مختلفة للطينة الاسمنتية من خلال معالجة قيم قدرة التحمل على الفتل وزاوية الفتل لهذه الجوائز، وقد طبقت هذه الدراسة على 10 جوائز بيتونية مسلحة بأبعاد (150x200*1500mm) حيث أظهرت مقارنة نتائج الجوائز البيتونية المقواة بالفيروسمنت بالمقاومات المختلفة للمونة الاسمنتية تأثير ضعيف لتغير قيمة مقاومة المونة على مقاومة الفتل

عمل الباحثونBEHERO ،Adhikari ،Bagal [2] على محاولة تحديد التحسن في عزم الدوران للجوائز البيتونية المسلحة ذات المقطع المستطيل والمدعمة بالفيروسمنت المطبق بشكل احاطة من ثلاث جوانب عند خضوعها للفتل الصافي من أجل أعداد مختلفة من شبكات الأسلاك و كميات مختلفة من تسليح الفتل، اذ تحسنت مقاومة الجوائز البيتونية المدعمة بالفيروسمنت بشكل u على الفتل الصافي بشكل ملحوظ الا ان التحسن في

مقاومة الفتل من أجل أي عدد من طبقات شبكات الأسلاك كان صغير جداً كما تبين أن نمط واحد من التسليح سواء طولي أو عرضي غير فعال في تحسن المقاومة على الفتل. نلاحظ مما سبق وجود نقص بالمعطيات والتوصيات الخاصة بتقوية الجوائز البيتونية المسلحة بالفيروسمنت عند تعرضها لفتل صافي وفق مختلف المتحولات الامر الذي يتطلب المزيد من الدراسات.

3-3الدراسة التجريبية:

تم اجراء الدراسة التجريبية في مختبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث لصب جوائز بيتونية مسلحة بأبعاد (250X125X1700)mm تم تدعيمها بالفيروسمنت بسماكة 25mm والتي استخدمت فيها شبكات الاسلاك الملحومة WWMs قطر الشبك 2.5mm وتعريضها لقوى تولد حالة فتل صافي ومقارنتها مع جوائز لها نفس الابعاد والتسليح (250X125X1700)mm غير مقواه بالفيروسمنت خاضعة لذات طريقة التحميل المولدة للفتل الصافي.

تم استخدام روابط قص لتأمين العمل المشترك بين الجائز البيتوني وطبقة الفيروسمنت ولكن بتباعد متغير، تم صب عينتين روابط القص كل 25cm وعينتين تتوزع روابط القص كل15cm ، جهة تطويق العينات الأربعة من ثلاث جهات، كما تم صب جائزين بيتونيين مسلحين تم تدعيمها باستخدام طبقة الفيروسمنت من جهتين وتم الربط مع الجوائز البيتونية باستخدام روابط قص كل 25cm. تم اختبار العينات جميعا على جهاز اختبار الجوائز في مخبر البيتون الموجود في كلية الهندسة المدنية-بجامعة البعث، استطاعته 1000KN.

3-3-1 تحضير العينات:

تم صب8 جوائز بيتونية مسلحة بمقطع عرضي mm (250x125) وبمجاز 1700mm وسلحت بتسليح سفلي 2T12mm من الأسفل وتسليح علويmm 2T12 أما التسليح العرضي فقد استخدم أساور مغلقة بقطر 8mm وتباعد 100mm (الشكل (4)).

الشكل (4) مراحل صب الجوائز المدروسة

تم صب (6) عينات اسطوانية قياسية وتم حفظها في الماء بالشروط النظامية ثلاث عينات لعمر 14 يوم وثلاث عينات لعمر28 يوماً ثم تم كسرها لحساب مقاومة البيتون، وكانت نتائج الكسر كما هو مبين في الجدول(2) وقد بلغت متوسط المقاومة 25.147 Mpa.

الجدول (2) نتائج اختبارات العينات البيتونية والقيمة المتوسطة لمقاومة البيتون على الضغط

العينة	العمر	ثابت التحويل على العمر	الابعاد mm	الحمولة	المقاومة		المتوسط
					بعمر 14يوم	بعمر 28 يوم	
1	14	1.25	301x149	355.89	20.15		20.48
2	14	1.25	299x150	349.65	19.98		
3	14	1	300x150	375.05	21.31		
4	28	1	301x298	449.64		25.44	25.147
5	28	1	300x151	435.663		24.653	
6	28	1	302x149	447.73		25.35	

اثنان من الجوائز المصبوبة هي جوائز مرجعية(B0) بدون تدعيم أما الجوائز الستة المتبقية فتم تدعيمها باستخدام الفيروسمنت حيث تم تنفيذ ثقوب باستخدام المثقب بعمق 50mm وبتباعد 25cm من ثلاث جهات لجائزين ومن جهتين لجائزين أخرين، وبتباعد 15cm ومن ثلاث جهات للجائزين المتبقيين (الجدول (3))، اذ تم في البداية تحضير الجائز من

الشكل (5) مراحل تنفيذ ثقوب روابط القص وتثبيت شبك الاسلاك

خلال تخشين السطح بمطرقة بشكل متباعد لتأمين التماسك مع بيتون طبقة الفيروسمنت ثم تنفيذ الثقوب وتنظيفها بالهواء المضغوط كما في الشكل (6)).

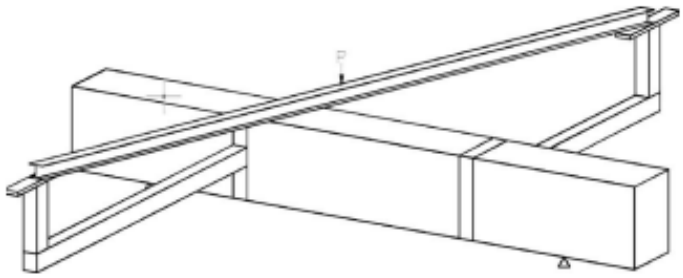
الجدول (3) مجموعات الجوائز المختبرة

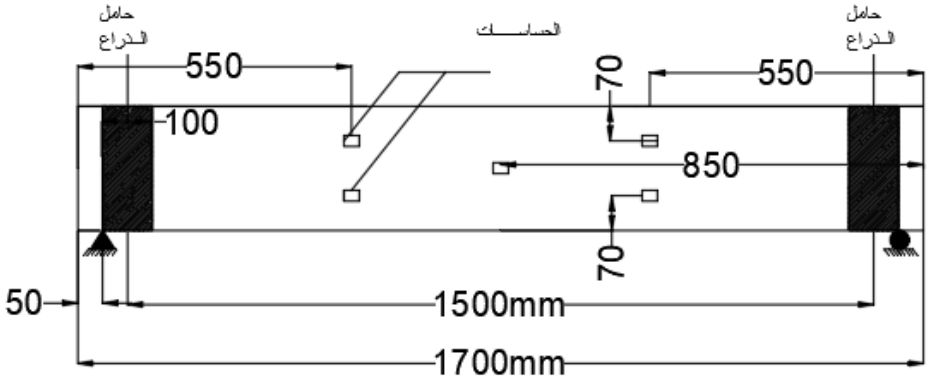
اسم المجموعة	المقطع العرضي	قطر شبك الاسلاك	مقاومة المونة	جهة التطويق	تباعد روابط القص
B0	125x250	جوائز مرجعية			
BRS-2	125x250	2.5mm	25 Mpa	من ثلاث جهات	كل 25cm
BRS-3	125x250	2.5mm	25 Mpa	من جهتين	كل 25cm
BRS-4	125x250	2.5mm	25 Mpa	من ثلاث جهات	كل 15cm

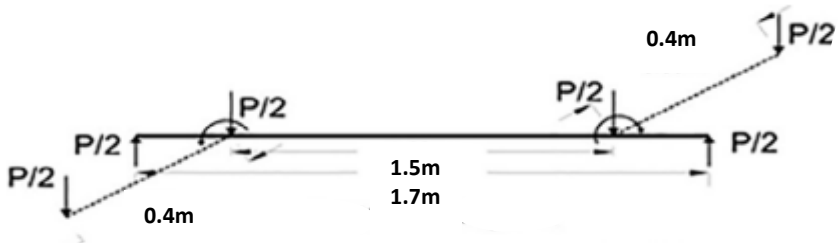
الشكل (6) الجوائز المختبرة بعد تدعيمها بالفيروسمنت وفق المتحولات المدروسة

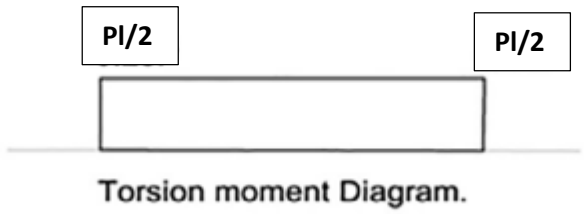
3-3-2 اختبار العينات:

اختبرت الجوائز الثمانية من خلال توليد فتل صافي حيث استخدم جائز معدني بمقطع I (تم تقويته بلحم صفائح بسماكة 5mm على الجسد من الجهتين عند نقطة تطبيق القوة) لتوزيع الأحمال على ظفرين معدنيين متوضع كل منهما على بعد 40cm من المساند وكل منهما بجهة بالنسبة لمحور الجائز وأقرب ما يكون للمسند بحيث يتم تطبيق مزدوجة الفتل الصافي وجرت مراقبة تطبيق الحمولات الحاصلة بواسطة خلية تحميل كهربائية و تم سند احدى نهايات الجائز على مسند متحرك يسمح بالدوران(roller) بينما تم استخدام مسند ثابت للنهاية الثانية للجائز، وذلك للتمكن من تطبيق عزم الفتل دون ممانعة. جرت قياس الانتقالات المرافقة لزاوية الدوران النسبية المرافقة لعزم الفتل المطبق باستخدام أجهزة قياس LVDT واحدة وضعت في المركز للتأكد من عدم حدوث انتقال مركزي والمؤشرات الأربعة وزعت على بعد 55cm من جانبي الجائز على بعد 7cm من الليف العلوي والسفلي كما يظهر في الشكل(7).





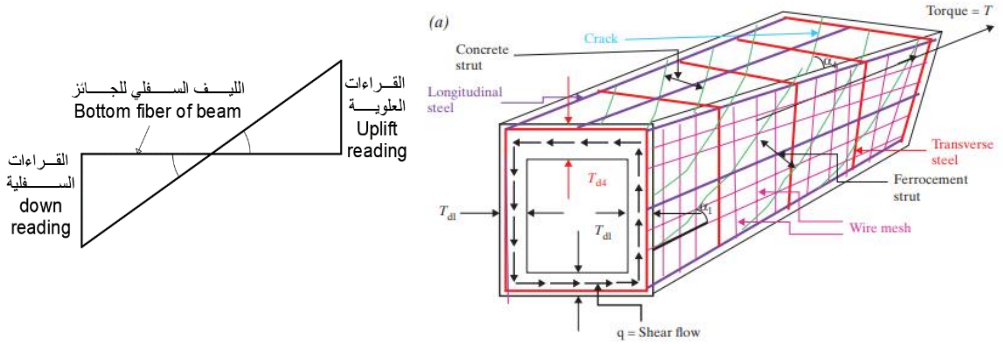




الشكل (7) رسم توضيحي يبين الية عمل جهاز الاختبار و موقع أجهزة القياس

الشكل (8) اختبار الجائز على الفتل على الجهاز المعدل مع مواضع الحساسات

طبقت الحمولة بشكل متدرج حتى الانهيار، تم تحديد عزم الفتل عند ظهور أول شق (ما يدعى بعزم التشقق) وعزم فتل الانهيار للجوائز المرجعية والجوائز المدعمة وفق المتحولات المدروسة وتحديد الانتقال الجانبي الناتج عن التشوهات الجانبية وبالتالي حساب زاوية الفتل النسبية الشكل (8).

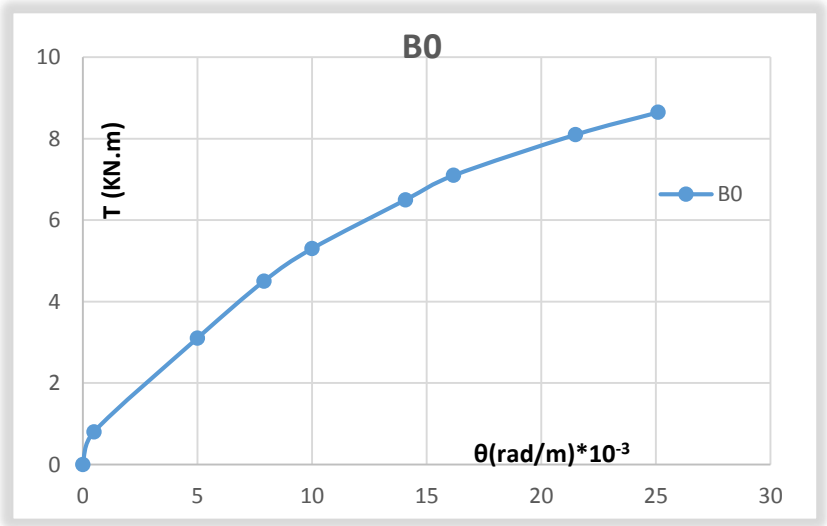


الشكل (8) زاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

4-النتائج ومناقشتها:

عند كسر الجوائز المرجعية (كما في الشكل 9) كان متوسط عزم التشقق 4. 723KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة $15.9*10^{-3}$Rad/m أما متوسط عزم الانهيار فهو 8.65KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $25.04*10^{-3}$Rad/m كما في الشكل (10)

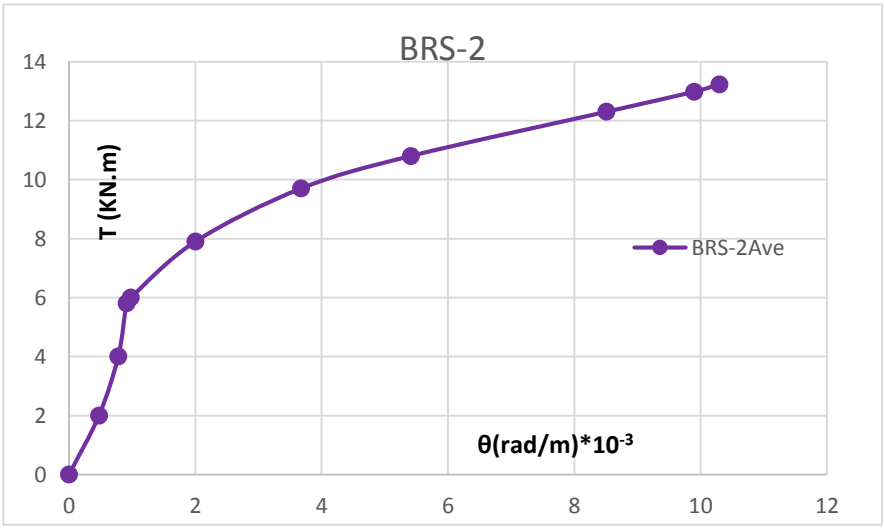
الشكل (9) نمط انهيار الجائز المرجعي BR0 تحت تأثير قوى الفتل



الشكل (10) يظهر المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

أما بالنسبة للمجموعة BRS-2 فكان متوسط عزم التشقق 6.8KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة $0.975*10^{-3}$rad/m أما متوسط عزم الانهيار فهو 13.23KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $10.3*10^{-3}$rad/m كما يوضح الشكل(12).

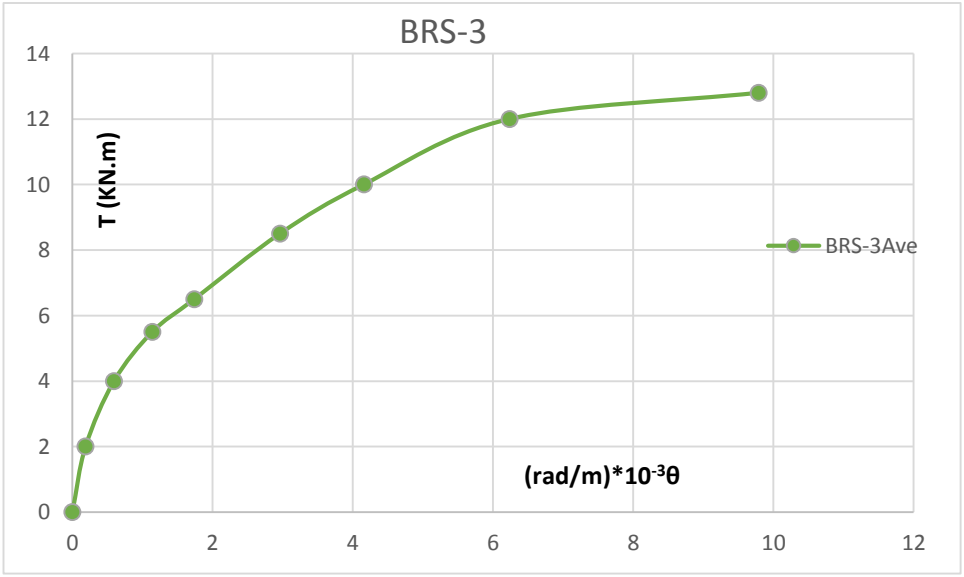
الشكل(11) نمط انهيار الجائز المدعم BRS-2 تحت تأثير قوى الفتل



الشكل(12) المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل للجائز المدعم BRS-2

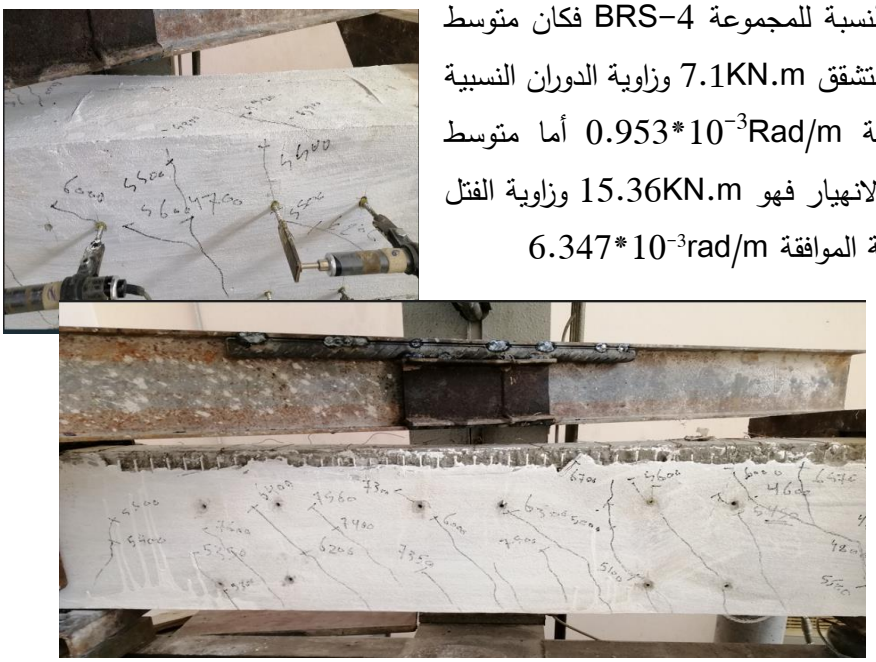
بالنسبة للمجموعة BRS-3 فكان متوسط عزم التشقق 6.3KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة 1.739*10-3Rad/m أما متوسط عزم الانهيار فهو 12.8KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $8.78*10^{-3}$rad/m كما في الشكل(14).

الشكل(13) نمط انهيار الجائز المرجعي BRS-3 تحت تأثير قوى الفتل

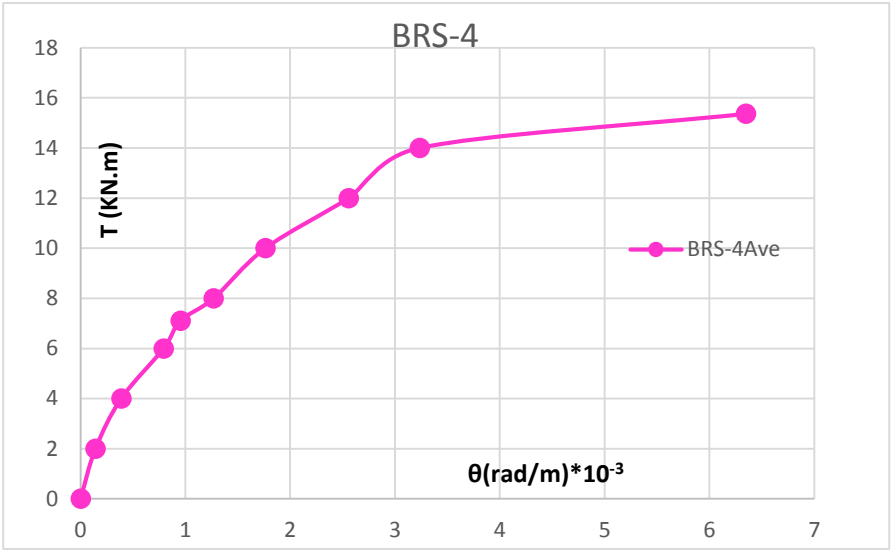


الشكل(14) المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

أما بالنسبة للمجموعة BRS–4 فكان متوسط عزم التشقق 7.1KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة $0.953*10^{-3}$Rad/m أما متوسط عزم الانهيار فهو 15.36KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $6.347*10^{-3}$rad/m

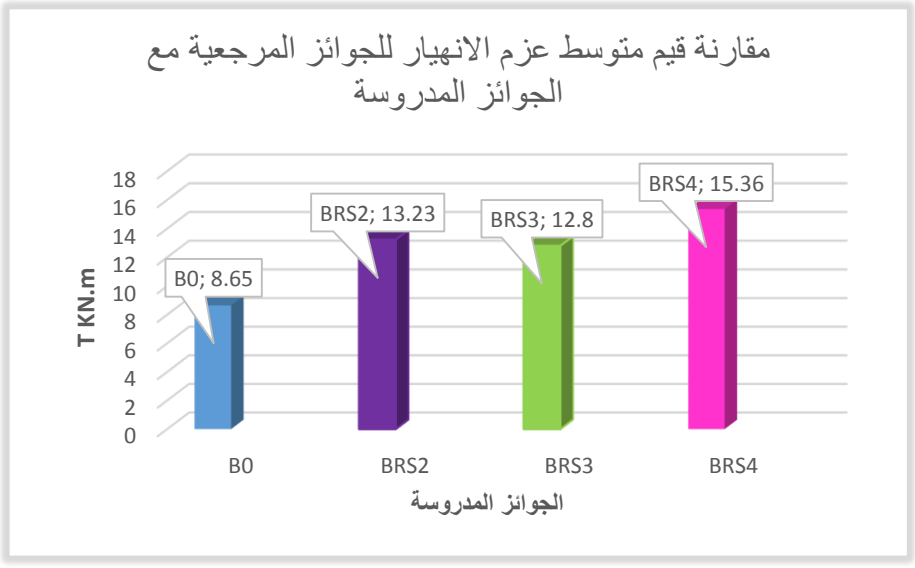


الشكل(15) نمط انهيار الجائز BR4 تحت تأثير قوى الفتل



الشكل(16) المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

لوحظ عند الاختبار أن التشققات في الجوائز بدأت بالظهور عند المساند ثم تمددت لتظهر بشكل حلزوني الأمر الذي عكس سلوك فتلي نظامي (الشكل (15)).



الشكل(17): مقارنة قيم متوسط عزم الانهيار للجوائز المرجعية مع الجوائز المدروسة

الجدول (3) مقارنة عزوم الفتل مع زوايا الدوران النسبية للجوائز المدعمة والمرجعية

لمجموعة	اسم الجائز	عزم الفتل عند الشق الأول (عزم التشقق) T_{cr}(KN.m)	زاوية الدوران النسبية عند الشق الأول Rad/m	عزم الفتل عند الانهيار T_{ult}(KN.m)	زاوية الدوران النسبية عند الانهيار Rad/m	نسبة تحسن عزم الانهيار بالنسبة للجوائز المرجعية
الجوائز المرجعية	B0	4.723	0.0109	8.65	0.0251	
الجوائز المدعمة بالفيروسمنت قطر الشبك 2.5mm	BRS2 من ثلاث جهات	6.8	0.000975	13.23	0.0103	52%
	BRS3 من جهتين	6.3	0.001739	12.8	0.00878	48%
	BRS4 من ثلاث جهات	7.1	0.000953	15.36	0.006347	77%

إلا أن الجوائز المرجعية أبدت سلوك مطاوع غير جيد ما بعد التشقق وعند الانهيار تراجع عزم الفتل المقاوم بشكل كبير ومتسارع فلم يحدث إعادة توزيع للمقاومة.

اما بالنسبة للجوائز المدعمة فلوحظ تأخر ظهور التشققات مقارنة مع الجوائز المرجعية بنسب بين (30%–40%) كما أن زاوية الفتل النسبية قد تحسنت بالمقارنة مع الجوائز المدعمة (الشكل17) كما لوحظ سلوك انهياري مطاوع للجوائز المدعمة اذ حافظت الجوائز على قيمة عزم الانهيار لمدة جيدة مع تزايد التشققات قبل أن تبدأ بالتناقص ثانية وصولا للانهيار النهائي للجوائز، كما لوحظ في الجوائز المدعمة من ثلاث جهات بدء ظهور التشققات في السطح غير المدعم وصولا للأسطح المدعمة مع محافظة طبقة الفيروسمنت على تماسكها اذ لم تنفصل بشكل كبير عن الجائز المدعم أما في الجوائز المدعمة من جهتين فلوحظ انفصال لطبقة الفيروسمنت فالانهيار توافق مع الانهيار الفتلي الكلي للجائز كما في الشكل(15).

بمقارنة السلوك الفتلي للجوائز BRS−2 المدعمة من ثلاث جهات وباستخدام روابط قص بتباعد 25cm مع الجوائز المرجعية وجد تحسن في قيمة عزم التشقق وتأخر بظهور التشققات بنسبة وسطية 28% كما تحسنت مقاومة الجائز المدعم على الفتل بنسبة 52% مقارنة مع الجوائز المرجعية، وبمقارنة السلوك الفتلي لهذه الجوائز (BRS−2) كما يظهر الشكل(16−17)) مع الجوائز المدعمة من ثلاث جهات باستخدام روابط قص كل 15cm (BRS−4) لوحظ أن عزم التشقق الوسطي للجوائز بالنسبة للمتحولين متقاربة جداً حوالي 6 KN.m أما عزم الانهيار للجوائز BRS−4 فقد تحسن بنسبة 16.1% مقارنة مع الجوائز (BRS−2) وكذلك السلوك المطاوع فقد تحسن بشكل ملحوظ حيث تناقصت زاوية الفتل النسبية من$10.3*10^{-3}$ rad/m في (BRS−2) الى$6.34*10^{-3}$ .rad/m

أما بالنسبة للجوائز المدعمة من ثلاث جهات وجهتين وبنفس تباعد روابط القص (25cm) (BRS−2,BRS−3) لوحظ أن عزم التشقق الوسطي متقارب حوالي 6.3−6.8KN.m أما عزم الانهيار للتطويق من ثلاث جهات فقد تحسن بنسبة 20% أما زاوية الفتل النسبية فهي متقاربة عند نفس القيمة لكن السلوك الفتلي للجائز المدعم من ثلاث جهات أفضل اذ أبدى سلوك مطاوع مقاوم أفضل من التدعيم من جهتين (الجدول (3))

تم حساب عزم الفتل للجائز المرجعي البيتوني المسلح BR0 باستخدام الكود الأمريكي ACI318−83 (العلاقة6) كما في الجدول (4).

الجدول(4) متحولات حساب عزم الفتل الحسابي حسب كود ACI318

عزم الفتل الحسابي	f_y	X1	α_t	At	n	h	b	$f`_c$
9.197KN.m	408Mpa	90mm	1.43	$0.502cm^2$	3	250mm	125mm	25Mpa

بمقارنة قيمة عزم الفتل التجريبي للجائز المرجعي BR0 مع قيمة عزم الفتل الحسابي نلاحظ أن النتائج متقاربة اذ أن $\tau_n cal/\tau_{EXP}$ =9.197/9.95=0.924

5−الاستنتاجات والتوصيات:

- **الاستنتاجات:**

1- بينت نتائج التجارب أن التدعيم بالفيروسمنت للجوائز البيتونية المسلحة يحسن السلوك الفتلي اذ يزداد عزم التشقق وعزم الانهيار بنسب تصل إلى 77% كما تتناقص زوايا الفتل النسبية مقارنة مع الجوائز غير المدعمة.

2- أعطت الجوائز البيتونية المدعمة من ثلاث جهات وبتباعد روابط قص 15cm أفضل النتائج بالمقارنة مع الجوائز المرجعية والجوائز المدعمة وفق المتحولات المدروسة.

3- أظهرت نتائج التجارب أن التدعيم من ثلاث جهات يزيد عزم الانهيار الفتلي بنسبة 6% كما حسن السلوك المطاوع ما بعد الانهيار بالمقارنة مع الجوائز المدعمة من جهتين.

4- بالمقارنة مع الجوائز البيتونية المطوقة من ثلاث جهات بتباعد روابط قص 25cm، كانت متوسط عزوم فتل الانهيار للجوائز البيتونية المطوقة من ثلاث جهات بتباعد روابط قص 15cm أفضل بنسبة 16%.

- **التوصيات:**

1- من خلال نتائج التجارب نوصي بإمكانية استخدام الفيروسمنت بتدعيم الجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للفتل.

2- لابد من اختبار طرق أخرى من الربط بين الفيروسمنت والجائز البيتوني.

3- اختبار متحولات أخرى في دراسة الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالفيروسمنت على الفتل كمقاومة المونة الاسمنتية والنسبة بين طول وعرض المقطع العرضي للجائز البيتوني.

المراجع العلمية:

1- ABY BAKAP, B.H; BYNNOPI,N; MOHAMMEΔ, THAEP 2 016 Τορσιοναλ ιμπροωεμεντ οφ ρεινφορχεδ χονχρετε βε αμσ υ X) φαχκετσ □ Εξπεριμενταλ στυδψ,ΕΛΣΕϛΙΕΡ ϑΟ

ΥΡΝΑΛ∀ΧΟΝΣΤΡΥΧΤΙΟΝ ΑΝΔ ΒΥΙΛΔΙΝΓ ΜΑΤΕΡΙΑΛ Σ∀, ΠΠ 533–542.

2– ΑΔΗΙΚΑΡΙ, ΑΒΗΙΣΗΕΚ; ΒΕΗΕΡΑ, Γ; ΒΑΓΑΛ, Δ 2019 Τ ορσιοναλ Στρενγτη Οφ Φερροχεμεντ □Υ Ωραππεδ ΡΧ Βε αμσ: Α Χομπαρατιωε Στυδψ, Ιντερνατιοναλ ϑουρναλ ο φ Αππλιεδ Ενγινεερινγ Ρεσεαρχη , ϛολ.14, ππ 146–155.

3– ΒΕΗΕΡΑ, Γ; ΔΑΗΑΛ, Μ 2018 Τορσιοναλ Βεηαωιουρ οφ Νορμαλ Στρενγτη ΡΧΧ Βεαμσ ωιτη Φερροχεμεντ □Υ□ Ω ραπσ, ΦΑΧΤΑ ΥΝΙϛΕΡΣΙΤΑΤΙΣ, ϛολ.16, ππ 1–16.

4– ΒΕΗΕΡΑ, Γ; ΡΑΟ,Χ; ΡΑΟ, Τ 2008 Τορσιοναλ Χαπαχιτιψ οφ Ηιγη Στρενγτη Χονχρετε Βεαμσ ϑαχκεττεδ Ωιτη Φερ ροχεμεντ Υ □ Ωραπσ, ΑΣΙΑΝ ϑΟΥΡΝΑΛ ΟΦ ΧΙϛΙΛ ΕΝΓ ΙΝΕΕΡΙΝΓ (ΒΥΙΛΔΙΝΓ ΑΝΔ ΗΟΥΣΙΝΓ), ϛολ.9, ππ 411–42 2.

5– Γυιδε φορ τηε Δεσιγν, Χονστρυχτιον, (Ρεαππροωεδ 1999) ανδ Ρεπαιρ οφ Φερροχεμεντ,ΑΧΙ 549.1Ρ–93, 1999.

6– ΠΑΤΚΑΡ, Μ; ΡΑϑΓΥΡΥ, Ρ 2021 Τορσιον βεηαωιορ οφ στ ρενγτηενεδ ΡΧ βεαμσ βψ φερροχεμεντ, ΕΛΣΕϛΙΕΡ ϑΟΥΡ ΝΑΛ∀ΧΟΝΣΤΡΥΧΤΙΟΝ ΑΝΔ ΒΥΙΛΔΙΝΓ ΜΑΤΕΡΙΑΛΣ∀ .

7– الكود العربي السوري 2012، **تنفيذ وتصميم المنشآت الخرسانية** ، نقابة المهندسين السوريين، دمشق، سوريا.

8–البلال، علي 2019 تأثير التدعيم بالفيروسمنت في سلوك الجوائز البيتونية المسلحة المتضررة، **أطروحة دكتوراه في كلية الهندسة المدنية جامعة البعث**.

9– السلامة، دارين 2020 تطوير علاقة مقاومة الفتل للجوائز البيتونية المسلحة ذات الفتحات المحدثة أثناء الاستثمار والمقواة بشرائح CFRP ، **أطروحة دكتوراه في كلية الهندسة المدنية جامعة تشرين**.

10– علي، يامن 2014 تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام الشبكات المعدنية الملحومة المتوافرة محلياً، **أطروحة ماجستير في كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق**.