دراسة قدرة تحمل الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالفيروسمنت باستخدام طرق ربط مختلفة والمعرضة للفتل

د. منيب العلاف*

د. إحسان الطرشة**

رلى زهير طه***

ملخص

دمرت العديد من الكوارث الطبيعية عناصر انشائية في الكثير من المباني، الأمر الذي يتطلب تقوية هذه العناصر بحيث تتحسن قدرة تحملها للحمولات. استخدمت في الماضي الالياف البوليميرية المسلحة(FRP) بشكل واسع كمادة تقوية رئيسية وذلك بسبب مقاومته العالية وخفة وزنها، الا أن الفيروسمنت قدم بديل مناسب لل FRP ولاسيما من حيث التكلفة. الفيروسمنت هي مادة مركبة قليلة السماكة تتميز بمقاومة عالية للشقوق، مطاوعة جيدة. ولكن لاتزال الدراسات محدودة لمعرفة مدى تحسين الفيروسمنت لمقاومة العناصر الانشائية المسلحة المعرضة للفتل. تناقش الدراسة الحالية تأثير الفيروسمنت على مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة المدروسة والمعرضة للفتل عند استخدام طرق مختلفة للربط بين الجوائز والفيروسمنت. اذ تم صب (6) جوائز بيتونية مسلحة وتدعيمها الفيروسمنت باستخدام أسلاك بقطر 2.5mm وتم الربط باستخدام روابط قص بتباعد 15cm وجهة التطويق من ثلاث جهات وباستخدام SBR والتطويق أيضاً من ثلاث جهات، اذ وجد أن التدعيم بالفيروسمنت قد حسن السلوك الفتلي لهذه الجوائز وأبدت الجوائز المدعمة بالفيروسمنت مع استخدام روابط القص بتباعد 15cm أفضل مقاومة وسلوك فتلي بالمقارنة مع تلك المدعمة بالفيروسمنت وتم الربط باستخدام SBR.

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.

COMPREHENSIVE STUDUY OF THE CAPACITY OF R.C BEAMS STRENGTHED BY FERROCEMENT AND SUBJECTED TO TORRISIONAL EFFECT BY USING DIFFERENT TYPES OF CONNECTION

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

□ ABSTRACT □

Many natural disasters destroy structural element, which can be rebuilt the load carrying capacity by strengthening methods. In past decades, fiber reinforced polymer (FRP) has been widely used as externally strengthening material due to its high strength and light weight. Ferrocement is a one of the suitable alternatives over-costly FRP strengthening technique. Ferrocement is thin composite material having better crack resistance ability, ductility, good impact resistance. Few studies are available to quantify the torsional strength of ferrocement wrapped R.C. beams. This experimental study aims at evaluating the effectiveness of ferrocement utilizing different types of connections with R.C beams that is subjected to the torsional effects. (6) R.C beams have been casted and strengthened by using ferrocement where the wire Mesh wires diameter is 2.5mm. With regard to the connections between concrete beams and ferrocement, we used shear connections every 15cm and used ferrocement with SBR wrapped from three sides(U). Overall, it has been observed that the ferrocement has improved the torsional behavior of our tested beams, and also revealed that the "U" wrap with the shear connections every 15cm has significantly improved the torsional behavior more than those with SBR

Key words: Ferrocement, Torsion, Beam, 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.

1-مقدمة:

تم إنشاء العناصر البيتونية المسلحة لمنع الانهيار حتى بعد انتهاء مدة الخدمة المفترضة لهذه العناصر وحتى في حال تعرضها لعوامل قاسية. وبالتالي فإن المنشأ غير الموافق لاشتراطات السلامة يحتاج لمعالجة فورية، بعد استقصاء أسباب التدهور بالسلوك الإنشائي، واتخاذ إجراءات تصحيحية مناسبة بهدف اعادته لأداء وظيفته المصمم من اجلها.

برزت أعمال إعادة التأهيل كموضوع هام ضمن الجهود المبذولة للتعامل مع مشاكل تردي البنية التحتية والكوارث الطبيعية. ومن أجل هذا الهدف، استخدمت العديد من طرق التقوية في الماضي كتكبير المقطع العرضي، تقليص المجاز الفعال للعنصر، إضافة عناصر فولاذية أو صفائح ربط مع شرائح FRP والتي تتفاوت درجات تحسينها لسلوك العناصر الانشائي المستهدفة. مما طرح أهمية تطوير طرق بديلة يمكن تطبيقها في الموقع باستخدام عمالة غير محترفة والتي أبرزها تقنية الفيروسمنت (Ferrocement) [5]. حيث أظهرت الدراسات على العناصر المقواة بالفيروسمنت زيادة هامة في المقاومة. هذا ويعتبر الفيروسمنت مادة جيدة جداً للتدعيم، إذ أن المواد الأولية المشكلة لها متوفرة كما تتميز بسهولة تطبيقها على السطح المتضرر بدون الحاجة لمتطلبات خاصة في التنفيذ والربط كما انه لا يحتاج الى يد عاملة خبيرة مقارنة مع حلول التدعيم الأخرى المتوفرة حالياً [2].

2-هدف البحث:

يتميز الفيروسمنت كمادة تدعيم بأفضلية نسبية على مواد البيتون المسلح التقليدية اذ ان وزنه أخف، أسهل في التنفيذ، مقاومة للماء، يتميز بالديمومة، وبمعامل مرونة عالي، كما أن مقطعه العرضي أنحف ومقاومته للشد أعلى، وللتحقق من ذلك تم اجراء دراسة تجريبية تتضمن صب وتجريب مجموعة من الجوائز(**6 جوائز**) المقواة بطبقة الفيروسمنت على اجهاد الفتل (ultimate torsional strength)، اثنان من هذه الجوائز اعتبرت جوائز مرجعية والأربعة الباقية دعمت باستخدام طبقة الفيروسمنت مع شبك معدني بقطر 2.5mm حيث طوقت هذه الجوائز من ثلاث جهات، في جائزين منهم تم الربط بين الجائز البيتوني وطبقة الفيروسمنت باستخدام روابط القص كل 15cm، وجائزين استخدمت مادة SBR كمادة ربط.

اذ تمت مقارنة الاستجابة الفتلية لهذه الجوائز عند تدعيمها بالفيروسمنت وفق طريقتي الربط المعتمدة في هذا البحث وأيضا مقارنتها مع الجوائز المرجعية بهدف معرفة مدى فعالية التدعيم باستخدام الفيروسمنت عند التعرض لقوى الفتل الصافي (torsion)، وطريقة الربط الأفضل للحصول على أقل عزوم دوران (torque capacity) تحت تأثير الفتل.

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 مادة مختلطة مركبة من مونة اسمنتية مسلحة بشكل موزع بانتظام بطبقة أو أكثر من شبكات أسلاك (wire mesh) رقيقة جداً مع أو بدون هيكل فولاذي داعم[4] ، كما يمكن ان يعرف بأنه شكل خاص من البيتون المسلح الذي يبدي استجابة مختلفة عن البيتون المسلح التقليدي من ناحية سلوك المقاومة وإمكانية التطبيق. فالتوزيع المتجانس للتسليح ضمن خلطة المونة الاسمنتية يسهم بتحسين العديد من الخواص الهندسية للمادة اذ يمتلك الفيروسمنت درجة من الصلابة(toughness)، المطاوعة(ductility)، المتانة(durability)، مقاومة الصدم(impact)، مقاومة الانعطاف (flexural strength)، التحكم بالشقوق (crack control) والتي نجدها في الفيروسمنت أكبر بشكل ملحوظ مقارنة مع الأشكال الأخرى من المنشآت البيتونية (الشكل (1)).

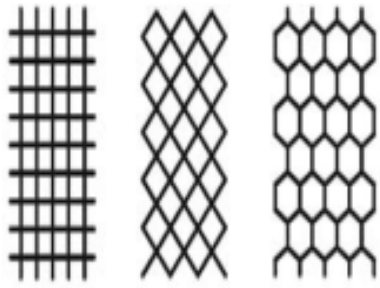
الشكل (1) مكونات طبقة الفيروسمنت والمقطع العرضي للجائز المدعم بالفيروسمنت

يسلك الفيروسمنت سلوك المادة المختلطة، وذلك لأن خصائص المونة الاسمنتية الهشة تتحسن بسبب وجود أسلاك الشبكات المطاوعة[2] .وبالرغم من أن تقنية الفيروسمنت من

الطرق الأكثر شعبية المستخدمة لرفع كفاءة العناصر البيتونية المسلحة ولاسيما أنه من السهل ربط طبقة الفيروسمنت بالعنصر البيتوني الموجود(المدعم) من دون الحاجة لمهارات خاصة الا أن الأبحاث حول هذه المادة والمعلومات حول سلوكياتها لا تزال قليلة وغير متكاملة ولاسيما فيما يتعلق بالجوائز الخاضعة للفتل[1]، 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[6] (Torsion and Shear Capacity) حيث من الممكن أن تتعرض العناصر التي ازدادت فيها قوى الفتل بشكل كبير للانهيار المفاجئ، الأمر الذي يتطلب التدعيم ورفع الكفاءة هذه العناصر [9-6]. ويعد استخدام الفيروسمنت للتدعيم في حالة الفتل أحد أفضل الحلول وذلك لأن السلوك اللاخطي لهذه المادة نتيجة لاخطية المواد المكونة وطبيعة الربط بين البيتون وشبكات الأسلاك[3-2] .

يتأثر سلوك الجوائز على الفتل بعدة عوامل أو متحولات منها نوع شبكات الأسلاك المستخدمة وأقطار وتباعدات الأسلاك المستخدمة في الشبكة الذي يؤثر على نمط الانهيار.

يوجد عدة أشكال لشبكات الأسلاك المتداولة (الشكل (2)). 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) (الجدول (1))[7-4].



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		
Wire mesh شبكة الأسلاك	Square مربع	Woven or Welded مجدول أو ملحوم	1/4x3/4No 16	0.75	19	0.0630	1.6
			2x2 No 19	0.5	13	0.0410	1
			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 ½	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، اذ تخضع العديد من العناصر الإنشائية كالجوائز المحيطية (peripheral beams) والجوائز الحلقية (ring beams)، الجوائز الحاملة للقباب (beams supporting canopy) وأنواع أخرى من الجوائز لقوى الفتل. حيث أظهرت الأبحاث القليلة التي تناولت تقوية الجوائز مع الأخذ بعين الاعتبار الفتل بالفيروسمنت أنه يحقق معايير التقوية للعناصر المتضررة بالإضافة للكتامة، مقاومة

الكبريتات، الحماية من التأكل والصدأ وفي بعض الحالات مقاومة الصقيع كما أنه يغير نمط الانهيار من الهشاشة(brittle) للمطاوعة(ductile) ويؤمن أفضل مقاومة للشقوق(crack) والاجهاد(strain). [3-9].

يتولد في الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بشبكات التسليح (وفق تقنية الفيروسمنت) والخاضعة للفتل الصافي تشققات حلزونية بزاوية تميل بزاوية 45 عن المحور الطولي للجائز. 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). 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.[3-8]

على كل حال فإن التطور في الفيروسمنت لم يتوقف، فقد تم اختبار وتقصي العديد من التفاصيل المهمة المتعلقة بالسلوك الميكانيكي للفيروسمنت، وتم اجراء العديد من الأبحاث التي تتناول تأثير الفيروسمنت في سلوك الجوائز البيتونية ولا سيما عند التعرض للفتل. حيث أجرى DHAL،BHERO [2] دراسة تجريبية وتحليلية لتحديد مدى التحسن في مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة عند تدعيمها بالفيروسمنت المطبق من ثلاثة أوجه(u) تحت تأثير الفتل الصافي وكانت المتحولات هي عدد طبقات شبكات الأسلاك في الفيروسمنت (حيث استخدم 3،4،5 طبقات)، نسبة العرض الى الارتفاع، مقاومة الطينة الاسمنتية، مقاومة البيتون. حيث أظهرت النتائج ازدياد مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالفيروسمنت على شكل u على الفتل بشكل هام من أجل الجوائز البيتونية ذات المقاومة العادية والعالية للبيتون، بينما الزيادة في مقاومة الفتل من أجل أي تغير في عدد طبقات شبكات الأسلاك كانت محدودة جداً

كما قام الباحثون C.RAO، T.RAO،BEHERO [3] بدراسة عملية (تجريبية) تشمل صب واختبار سبع جوائز بيتونية مسلحة مدعمة بتقنية الفيروسمنت على شكل (U) المقطع العرضي لخمسة من الجوائز (125x250)mm وأبعاد الجائزين الباقيين هي على

التوالي mm(125x190) و mm(125x315) وطول الجوائز 2000mm وذلك لدراسة تأثير نسبة الطول للعرض (aspect ratio) وتأثير مجموعة من المتحولات من المواد المكونة للفيروسمنت هي (عدد طبقات الشبكات–اجهاد الخضوع لطبقات الشبكات–اجهاد الضغط للطينة) ومقاومة البيتون على الفتل الحدي (ultimate) واللي (twist)، اذ بينت النتائج ازدياد قيم عزوم الفتل واللي للجوائز المدعمة بالفيروسمنت بنسب 59.72%, 91.53% مقارنة بالجوائز غير المدعمة(المرجعية) كم أن مقاومة الفتل للجوائز المدعمة بالفيروسمنت تزداد بزيادة نسبة الطول للعرض.

مما سبق نلاحظ أن اختبار طريقة الربط بين الجائز البيتوني وطبقة الفيروسمنت من المواضيع التي لا تزال مجال البحث والدراسات التي تناولتها قليلة، كما أن العلاقات التحليلية التي تمكن من حساب قيمة عزم الفتل في الجائز البيتوني بعد تدعيمه بطبقة الفيروسمنت محدودة ولكن يمكن حسابها بشكل تقريبي بالاعتماد على العلاقة التي يعطيها كود ACI–318 لقيمة عزم الفتل τ_n للجوائز البيتونية المسلحة ذات المقطع العرضي المصمت وهي[5] :

$$\tau_n = \tau_c + \tau_s \qquad (1)$$

τ_c : عزم الفتل الذي يقاومه البيتون τ_s : عزم الفتل الذي يقاومه فولاذ التسليح

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

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

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

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

A_t : مساحة المقطع العرضي لضلع واحد من اسوارة التسليح العرضي

f_y: حد مرونة فولاذ الأساور

α_t : معامل يؤخذ من العلاقة ( ) $\alpha_t = 0.66 + 0.33 * \frac{y_1}{x_1} \leq 1.5$

X1 : عرض إسواره التسليح المستطيل

n=y_1/s تمثل هذه القيمة عدد الأضلاع الشاقولية للأسوارة التي يقطعها مستوي مائل بزاوية 45° في جهة الفتل.

حيث يعتبر (b ,h) أبعاد المقطع البيتوني الجديد بعد إضافة طبقة الفيروسمنت، وتضاف مساحة شبكة الفيروسمنت لمساحة تسليح القص .

3-3 الدراسة التجريبية:

تم اجراء الدراسة التجريبية في مختبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث لتدعيم جوائز بيتونية مسلحة بأبعاد mm(250X125X1700) تم صبها في المكان باستخدام طبقة الفيروسمنت بسماكة 25mm والتي استخدمت فيها شبكات الاسلاك الملحومة WWMs المصنعة محلياً قطر الشبك2.5mm, وتعريضها لقوى فتل ومقارنتها مع جوائز لها نفس الابعاد والتسليح mm(250X125X1700) غير مقواه بالفيروسمنت خاضعة للفتل أيضا.

تم تأمين العمل المشترك بين الجائز البيتوني وطبقة الفيروسمنت باستخدام روابط قص كل 15cm وباستخدام SBR، إذا تم صب جائزين الربط باستخدام روابط القص ونفذ التطويق من ثلاث جهات تباعد الروابط 15cm، وكذلك تم صب عينتين تم الربط باستخدام SBR جائزين مطوقين من ثلاث جهات أيضاً.

1-3-3 تحضير العينات:

تم صب 6 جوائز بيتونية مسلحة بمقطع عرضي mm (250x125) وبمجاز 1700mm وسلحت بتسليح سفلي 2T12mm من الأسفل وتسليح علويmm 2T12 أما التسليح العرضي فقد استخدمت أساور مغلقة توافق متطلبات الكود العربي السوري للجوائز المعرضة للفتل بقطر 8mm وتباعد 100mm (الشكل (3)).

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 Mpa 25.147.

اثنان من الجوائز المصبوبة هي جوائز مرجعية(B0) بدون تدعيم أما الجوائز الستة المتبقية فتم تدعيمها باستخدام الفيروسمنت.

الشكل (3) مراحل صب الجوائز المدروسة

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	1.25	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	

في البداية تم تخشين السطح من خلال تهشيم البيتون بمطرقة بشكل متباعد لتأمين التماسك مع بيتون طبقة الفيروسمنت، ومن أجل استخدام SBR للربط بين الجائز والفيروسمنت تم دهن شبك الاسلاك بمادة الفيروسمنت وتركت لمدة ساعتين ثم تم إضافة SBR للمونة الاسمنتية بنسبة 2% من كمية الاسمنت المستخدمة لتأمين تلاصق أفضل،

أما في الجوائز التي استخدمت روابط القص كأسلوب ربط تم تنفيذ ثقوب باستخدام المثقب بعمق 60mm وبتباعد 15cm موزعة بشكل شطرنجي من ثلاث جهات لجائزين (الجدول (3))، ثم تلتها عملية تنظيف الثقوب والسطوح بالهواء المضغوط حيث تم حقن هذه الثقوب بالايبوكسي ووضعت روابط القص داخل الثقوب والتي هي عبارة عن قضبان بقطر (6mm) بطول(7cm) تم عكفها لتشكل حرف L، كما في الشكل (4)).

الجدول (3) مجموعات الجوائز المختبرة

اسم المجموعة	المقطع العرضي	قطر شبك الاسلاك	مقاومة المونة	جهة التطويق	نوع الرابط
B0	125x250	جوائز مرجعية			
BRS-1	125x250	2.5mm	25 Mpa	من ثلاث جهات	SBR
BRS-2	125x250	2.5mm	25 Mpa	من ثلاث جهات	روابط قص كل 15cm

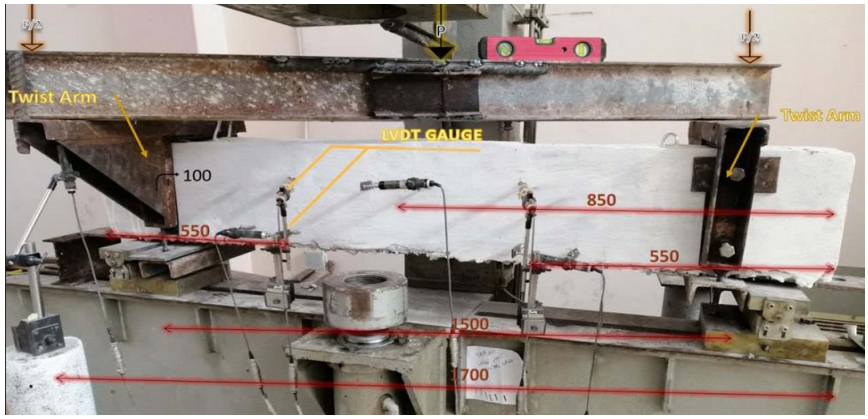
الشكل (4) مراحل تنفيذ الروابط باستخدام SBR وباستخدام روابط القص وتثبيت شبك الاسلاك

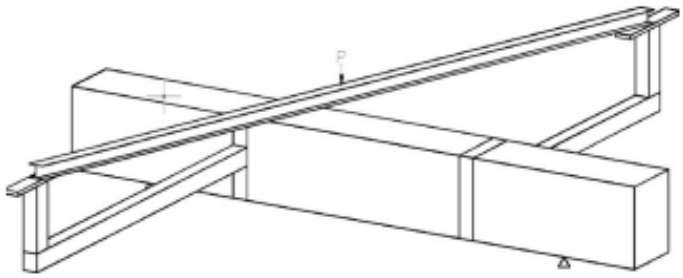
الشكل (5) الجوائز المختبرة بعد تدعيمها بالفيروسمنت وفق المتحولات المدروسة

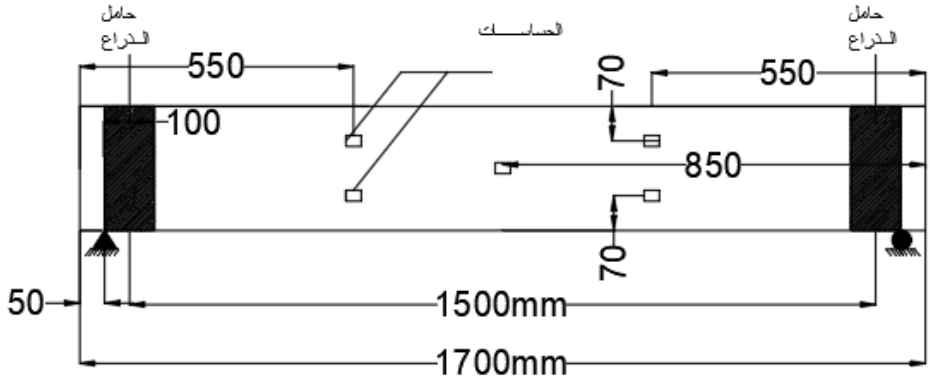
3-3-2 اختبار العينات:

اختبرت الجوائز العشرة باستخدام جهاز اختبار العينات الموجودة في مخبر البيتون المسلح بكلية الهندسة المدنية بجامعة البعث، استطاعته 1000KN، اذ تم سند احدى النهايات على مسند متحرك يسمح بالدوران(roller) بينما تم استخدام مسند ثابت للنهاية الثانية للجائز، وذلك للتمكن من تطبيق عزم الفتل دون ممانعة. تم اختبار الجوائز جميعها على عزم الفتل 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. 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 58cm من جانبي الجائز على بعد 7cm من الليف العلوي والسفلي كما يظهر في الشكل(6).

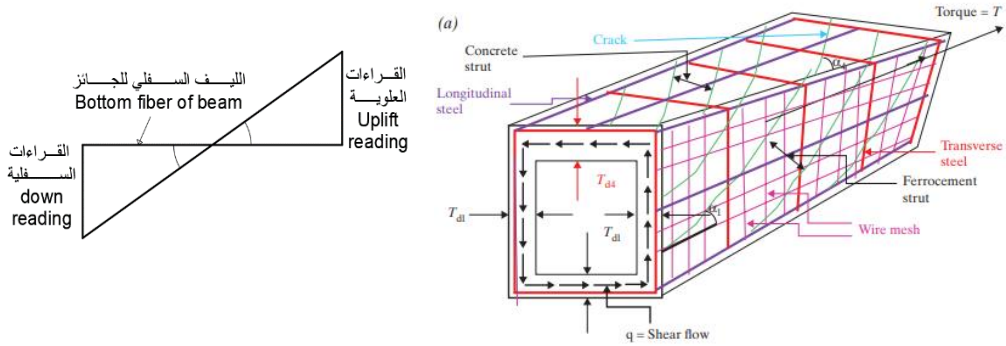






الشكل (6) اختبار الجائز على الفتل على الجهاز المعدل مع مواضع الحساسات

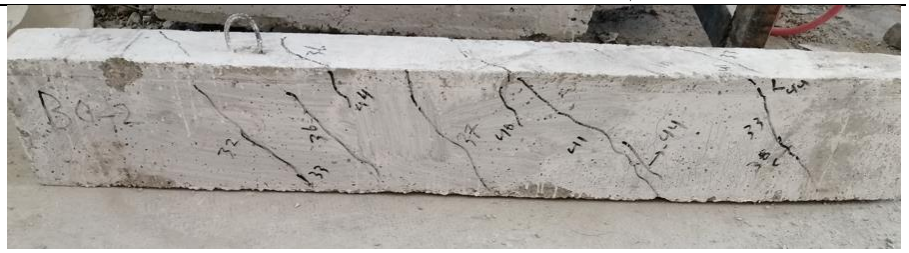
قمنا باختبار الجوائز باعتماد جهاز الكسر في مخبر البيتون المسلح –جامعة البعث بعد التعديل الذي أجريناه، فطبقت الحمولة بشكل متدرج حتى الانهيار، تم تحديد عزم الفتل عند ظهور أول شق (ما يدعى بعزم التشقق) وعزم فتل الانهيار للجوائز المرجعية والجوائز المدعمة وفق المتحولات المدروسة وتحديد الانتقال الجانبي الناتج عن التشوهات الجانبية وبالتالي حساب زاوية الفتل النسبية الشكل (7).



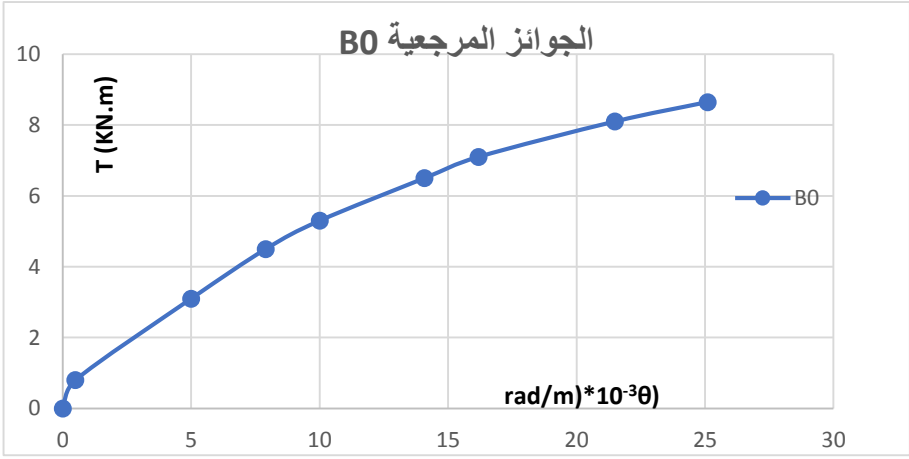
الشكل (7) زاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

4–النتائج ومناقشتها:

عند كسر الجوائز المرجعية كان متوسط عزم التشقق 4.723KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة $10.9*10^{-3}$rad/m أما متوسط عزم الانهيار فهو 8.65KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $25.1*10^{-3}$Rad/m كما في الشكل (9).



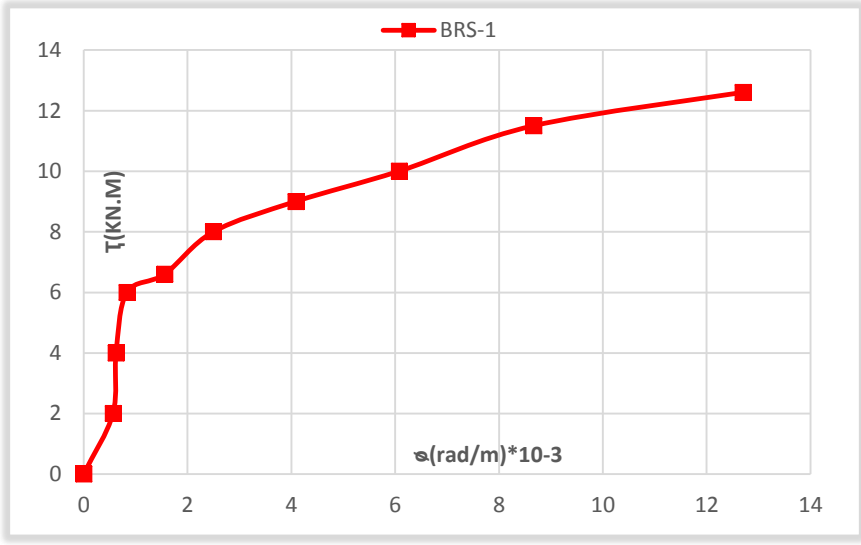
الشكل (8) نمط انهيار الجائز المرجعي BR0 تحت تأثير قوى الفتل



الشكل (9) يظهر المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

الشكل (10) السلوك الفتلي لجوائز المجموعة BRS-1

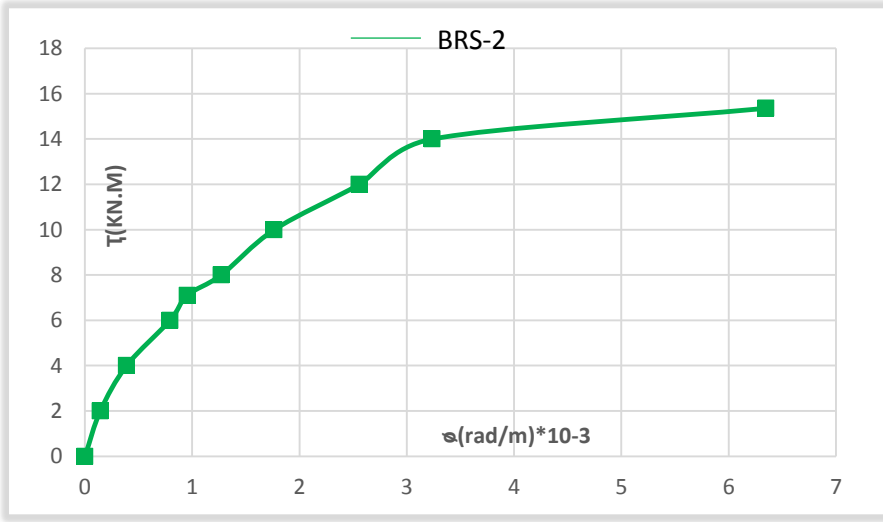
أما بالنسبة للمجموعة BRS-1 فكان متوسط عزم التشقق 6.6KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة $1.56*10^{-3}$rad/m وقيمة متوسط عزم الانهيار فهو 12.6 KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $12.7*10^{3}$rad/m كما يوضح الشكل(11).



الشكل(11) المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

اما بالنسبة للمجموعة BRS-2 فكان متوسط عزم التشقق 7.1KN.m وزاوية الدوران النسبية الموافقة $0.953*10^{-3}$Rad/m أما متوسط عزم الانهيار فهو 15.36 KN.m وزاوية الفتل النسبية الموافقة $6.347*10^{-3}$Rad/m كما يوضح الشكل(13).

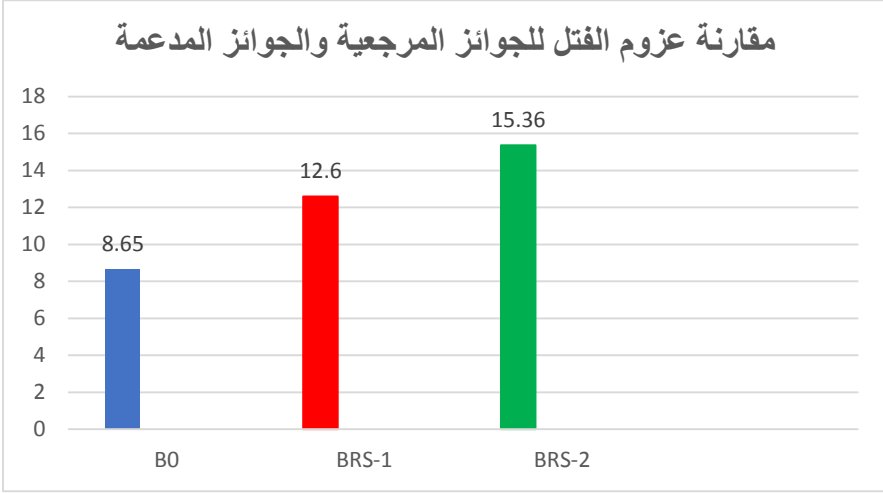
الشكل(12) تشكل التشققات وتطورها في الجائز BRS-2 تحت تأثير قوى الفتل



الشكل(13) المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل

إلا أن الجوائز المرجعية لم تعيد توزيع القوى عند الانهيار اذ تراجع عزم الفتل المقاوم بشكل كبير. اما بالنسبة للجوائز المدعمة فلوحظ تأخر ظهور التشققات مقارنة مع الجوائز المرجعية بنسب بين (46%-57%)(الجدول3) كما أن زاوية الفتل النسبية قد تحسنت بالمقارنة مع الجوائز المدعمة، تظهر المنحنيات البيانية لعلاقة عزم الفتل مع زاوية الدوران النسبية(الشكل15) أن السلوك المرن للجوائز المدعمة بالفيروسمنت عند الربط بروابط القص وب SBR عند التطويق من ثلاث جهات(BRS-1,BRS-2) ينتهي عند بداية

ظهور التشققات. مما يشير الى نقل سلوك الجوائز من الهشاشة(brittle) للمطاوعة(ductile)،

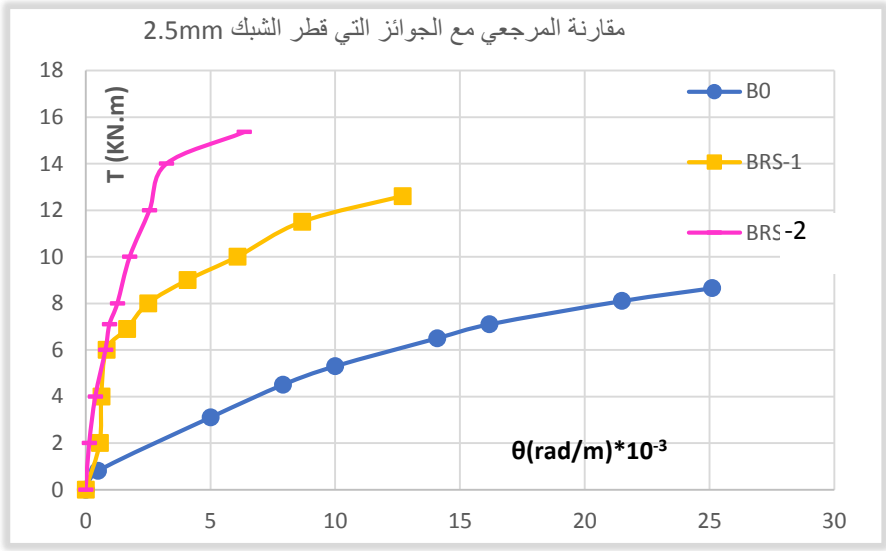


الشكل(14) مقارنة عزوم الفتل للجوائز المرجعية والجوائز المدعمة

وبدى هذا السلوك الانهياري المطاوع للجوائز المدعمة من خلال محافظة هذه الجوائز على قيمة عزم الانهيار لمدة جيدة مع تزايد التشققات قبل أن تبدأ بالتناقص ثانية وصولا للانهيار النهائي للجوائز والذي سبب بانسلاخ طبقة الفيروسمنت.

ففي الجوائز(BRS-1,BRS-2) المدعمة من ثلاث جهات والربط باستخدام روابط القص و تلك المربوطة باستخدام SBR بدء ظهور التشققات في السطح غير المدعم وصولا للأسطح المدعمة مع محافظة طبقة الفيروسمنت على تماسكها وصولا الى عزم الانهيار الفتلي حيث حصل انسلاخ محدود لطبقة الفيروسمنت ترافق مع توسع التشققات بشكل كبير، رغم ان الجوائز (BRS-2) المربوطة بروابط قص أعطت أداء أفضل وعزم دوران فتلي مقاوم أكبر. أما بالنسبة للجوائز المدعمة بالفيروسمنت مع **SBR** المطوقة من ثلاث جهات(BRS-1) فقد تحسن السلوك الفتلي بشكل كبير من حيث التحكم بالتشققات بعزم فتل حوالي 6.6 KN.m أما عزم الانهيار فقد تحسن بنسبة 28% مقارنة بالجوائز المرجعية الا أن التحسن الأكبر للجوائز المطوقة من ثلاث جهات مع SBR مع الجوائز

المرجعية والجوائز المدعمة والربط باستخدام روابط القص فهو بزاوية الفتل النسبية فبلغت قيم زاوية الفتل للجوائز BRS−1 0.0127Rad/m بينما بلغت في الجوائز BRS−1 0.00634 Rad/m ، وبالتالي استطاعت طبقة الفيروسمنت المدعمة للجائز باستخدام طريقتي الربط تحسن قدرتها على التحكم بالتشققات(الجدول(3)).



الشكل(15) مقارنة عزوم الفتل مع زوايا الدوران النسبية للجوائز المرجعية والجوائز المدعمة

الجدول(3) مقارنة النتائج التجريبية للجوائز المرجعية والجوائز المختبرة

المجموعة	اسم الجائز	عزم الفتل عند الشق الأول (عزم التشقق) T_{cr}(KN.m)	عزم الفتل عند الانهيار T_{ult}(KN.m)	$\frac{T_{cr}}{T_{cr0}}$	$\frac{T_{ult}}{T_{ult0}}$
الجوائز المرجعية	B0	4.723	8.65	1	1
الجوائز المدعمة بالفيروسمنت قطر الشبك 2.5mm	BRS1	6.6	12.6	1.4	1.45
	BRS2	7.1	15.36	1.51	1.775

تم حساب عزم الفتل للجائز المرجعي البيتوني المسلح BR0 باستخدام الكود الأمريكي ACI318−83 (العلاقة6) كما في الجدول (4). ثم تم حساب عزم الفتل عند الانهيار للجائز البيتوني المدعم بالفيروسمنت من ثلاث جهات وفق نفس العلاقة مع اعتماد التقريبات التالية اذ اعتبر المقطع العرضي الجديد هو المقطع العرضي للجائز للبيتوني مضاف اليه سماكة الفيروسمنت والتسليح العرضي المقاوم اضيف له مساحة شبك الأسلاك الموجود بالفيروسمنت.

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

الجائز	$f`_c$ Mpa	b mm	h mm	n	At cm^2	α_t	X1 mm	f_y Mpa للتسليح العرضي	عزم الفتل الحسابي KN.m
بدون تدعيم	25	125	250	3	0.502	1.43	90	408	9.197
الجائز مع طبقة الفيروسمنت	25	127	275	3	0.502	1.43	90	408	13.278
	25			12	0.316	1.243	150	865	

بمقارنة قيمة عزم الفتل التجريبي للجائز المرجعي BR0 مع قيمة عزم الفتل الحسابي نلاحظ أن النتائج متقاربة اذ أن $\tau_n cal/\tau_{EXP}$ =9.197/9.839=0.934

وبمقارنة قيمة عزم الفتل التجريبي للجائز المدعم بالفيروسمنت BRS−1 و BRS−2 مع قيمة عزم الفتل الحسابي كانت النتائج ما يلي:

BRS−1: $\tau_n cal/\tau_{EXP,1}$ =13.278/12.7=1.0455

BRS−2: $\tau_n cal/\tau_{EXP,2}$ =13.278/15.36=0.865

اذ بلغت نسبت الاختلاف عن الجائز BRS-1 الذي استخدمنا SBR كمادة ربط فيه حوالي 5% أما بالنسبة للجوائز BRS-2 الذي استخدمت روابط القص للربط فكان الاختلاف حوالي 14% وبالتالي لم نستطع وفق العلاقة السابقة ان نأخذ بالاعتبارالعديد من العوامل التي تؤثر على مقاومة الجائز كجهة التطويق ونوع الرابط

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 60% 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 باستخدام SBR قد حسن السلوك الفتلي مقارنة بالجوائز المدعمة من ثلاث جهات مع استخدام روابط القص، اذ بلغ الفرق 16% مع أفضلية سهولة التنفيذ.

4- أظهرت مقارنة النتائج أن التدعيم من ثلاث جهات باستخدام SBR يحسن زاوية الدوران النسبية عند الانهيار بشكل كبير كما يحسن عزم الدوران الفتلي المقاوم بنسب وصلت ل 45%.

5- تبين النتائج أن التطويق من ثلاث جهات قد حسن عزم فتل التشقق (عند ظهور الشق الأول) و زاوية الدوران النسبية عن بداية ظهور التشققات، كما حسن عزم الفتل عند الانهيار مقارنة مع الجوائز المرجعية.

6- أظهر تطبيق العلاقة الحسابية لقيمة عزم الفتل عند الانهيار تقارب بالنتائج مع القيم التجريبية بالنسبة للجائز المرجعي وكذلك للجوائز المدعمة بالفيروسمنت وخاصة بالنسبة لتلك التي استخدم SBR للربط. اذ لا تأخذ هذه العلاقة تأثير طريقة الربط على النتائج.

- **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 2016 Τορσιοναλ ιμπροϖεμεντ οφ ρεινφορχεδ χονχρετε β εαμσ υσινγ υλτρα ηιγη−περφορμανχε φιβερ ρεινφορχεδ χονχρετε (ΥΗΠΦΧ) φαχκετσ □ Εξπεριμενταλ στυδψ,ΕΛ ΣΕϛΙΕΡ ϑΟΥΡΝΑΛ∀ΧΟΝΣΤΡΥΧΤΙΟΝ ΑΝΔ ΒΥΙΛΔΙΝΓ ΜΑΤΕΡΙΑΛΣ∀, ΠΠ 533–542.

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

3– ΒΕΗΕΡΑ, Γ; ΡΑΟ,Χ; ΡΑΟ, Τ 2008 Τορσιοναλ Χαπαχιτι ψ οφ Ηιγη Στρενγτη Χονχρετε Βεαμσ ϑαχκεττεδ Ωιτη Φ ερροχεμεντ Υ □ Ωραπσ, ΑΣΙΑΝ ϑΟΥΡΝΑΛ ΟΦ ΧΙϛΙΛ Ε ΝΓΙΝΕΕΡΙΝΓ (ΒΥΙΛΔΙΝΓ ΑΝΔ ΗΟΥΣΙΝΓ), ϛολ.9, ππ 411 –422.

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

5– ΜΑΚΚΙ.Φ, ΡΑΓΗΕΕΔ 2014 Ρεσπονσε Οφ Ρεινφορχεδ Χο νχρετε Βεαμσ Ρετροφιττεδ Βψ Φερροχεμεντ, ΙΝΤΕΡΝΑΤ ΙΟΝΑΛ ϑΟΥΡΝΑΛ ΟΦ ΣΧΙΕΝΤΙΦΙΧ & ΤΕΧΗΝΟΛΟΓΨ ΡΕΣΕΑΡΧΗ , ϛολ 3, ππ 27–34.

6– ΠΑΤΚΑΡ, Μ; ΡΑϑΓΥΡΥ, Ρ 2021 Τορσιον βεηαϖιορ οφ στρε νγτηενεδ ΡΧ βεαμσ βψ φερροχεμεντ, ΕΛΣΕϛΙΕΡ ϑΟΥΡΝΑΛ ∀ΧΟΝΣΤΡΥΧΤΙΟΝ ΑΝΔ ΒΥΙΛΔΙΝΓ ΜΑΤΕΡΙΑΛΣ∀ .

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

8– 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**.

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