



كلية الهندسة - جامعة بغداد

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

جمعية كليات الهندسة
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

دراسة تحليلية- تجريبية لتأثير تقوية العتبات الخرسانية المسلحة ذات الفتحات المحدثة بشرائح الألياف الكربونية CFRP المعرضة لعزوم الفتل والانعطاف

دارين شعبان السلامة¹، غاندي علي ججاج²، إحسان ميخائيل الطرشة³ *¹ جامعة البعث، حمص، سوريا، dareenalsalamah@gmail.com² جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، ghandi.jahjah@yahoo.com³ جامعة البعث، حمص، سوريا، imtarsha@hotmail.com

الباحث الممثل: دارين شعبان السلامة، dareenalsalamah@gmail.com

نشر في: 30 حزيران 2021

الخلاصة – إن إحداث فتحات في العتبات الخرسانية المسلحة ينقص من مقاومتها بشكل كبير، ومن أجل استعادة هذه المقاومة يتم تدعيمها باستعمال إحدى وسائل التدعيم الحديثة وبطرق وأشكال مناسبة. في هذا البحث دراسة تحليلية لتأثير التقوية بشرائح الألياف الكربونية حول فتحات تم إحداثها في العتبات الخرسانية المسلحة الخاضعة لعزوم فتل وانعطاف. تمت الدراسة التحليلية باستعمال طريقة العناصر المحددة بالاستعانة ببرنامج ANSYS ، حيث تم استعمال العنصر SOLID65 لتمثيل العتبات الخرسانية والعنصر SOLID185 لتمثيل الألياف الكربونية و المساند والأذرع الفولاذية ، والعنصر LINK181 لتمثيل قضبان التسليح الطولي والعرضي . وتم بناء نموذج تحليلي يمثل العتبات الخرسانية المسلح وأعطى نتائج مقاربة مع القيم التجريبية.

الكلمات الرئيسية – " العتبات، الفتل، التدعيم، شرائح الألياف الكربونية، ANSYS "

محاولات في برنامج الـ ANSYS لمحاكاة تلك العتبات بنفس الأبعاد ومواصفات التسليح والاستناد المعتمدة عند إجراء التجارب، ومن ثم مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها .

الدراسة التجريبية للبحث :

تم اختبار تسعة عتبات خرسانية مسلحة مقسمة إلى ثلاث مجموعات باستخدام جهاز الاختبار الموجود في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث، قدرة تحمله العظمى 1000KN . الشكل (1)، والذي تم تعديله بشكل يمكننا من تطبيق عزم فتل مع عزم انعطاف .



الشكل 1: جهاز الاختبار الموجود في مخبر البيتون بكلية الهندسة المدنية في جامعة البعث.

1. المقدمة

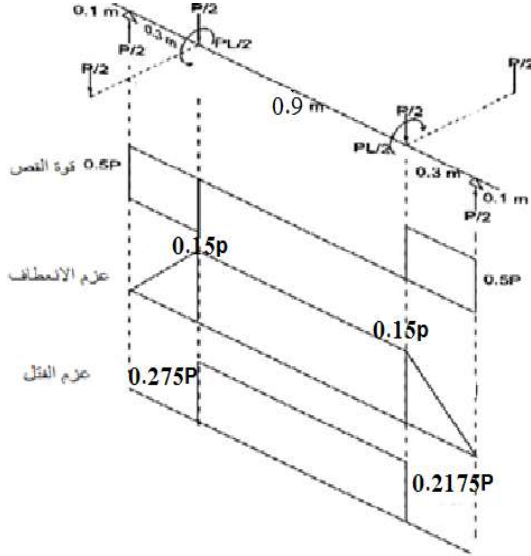
أكدت العديد من الدراسات التجريبية انخفاض مقاومة العتبات الخرسانية المسلحة عند إحداث فتحات بها [6]، [5]، وقد أثبتت الدراسات التجريبية الحديثة أهمية التقوية بشرائح الألياف المسلحة بالبوليميرات الكربونية CFRP [7]، أو الزجاجية GFRP [8] في تحسين مقاومة تلك العتبات . وهناك دراسات متعددة لحالات مختلفة من التدعيم للحصول على شكل التدعيم المثالي الذي يعطي أكبر زيادة للمقاومة سواء في حالة الفتل الصافي [3]، أو الفتل المترافق مع أفعال أخرى، حيث أجرى الباحثون، Dr.Ban.Sahib، [2] Dr.Ali.h.Aziz، Israa Kh. Muhsen دراسة تجريبية لمعرفة أثر التقوية بشرائح الألياف الكربونية CFRP للعتبات الخرسانية المسلحة الخاضعة لعزوم فتل وانعطاف على تحسين المقاومة الفتالية لهذه العتبات و أخذ حالة فتل صافي، وحالة انعطاف صافي، ونسبتين مختلفتين لعزم الفتل إلى عزم الانعطاف المطبق أكبر وأصغر من 1، وتم التوصل إلى فعالية التقوية هذه لكل الحالات بنسب مختلفة. طبقت العديد من الدراسات طريقة العناصر المحددة بالاستعانة بالعديد من البرامج كبرنامج الـ ANSYS [4]، [1]، حيث استنتج Elwan [4] قدرة برنامج الـ ANSYS الذي يعتمد طريقة العناصر المحددة في تمثيل العتبات الخرسانية المسلحة وسلوكها سلوكاً تحليلياً مشابهاً للسلوك التجريبي للعتبات الخرسانية المسلحة التي تملك نفس الخواص، نتعرض في هذه البحث لدراسة عديدة حول تأثير التقوية بشرائح الألياف الكربونية حول الفتحة الكبيرة المحدثة بالعتبات الخرسانية المسلحة والاستعانة ببرنامج الـ ANSYS 15 لبناء نموذج تحليلي يحاكي النماذج التجريبية .

2. منهجية البحث

يهدف البحث إلى بناء نماذج تحليلية لعتبات خرسانية مسلحة معرضة لعزوم فتل وانعطاف، تم إحداث فتحات كبيرة بها، ومن ثم تقويتها بشرائح الألياف الكربونية CFRP حول تلك الفتحات المحدثة، من خلال إجراء عدة



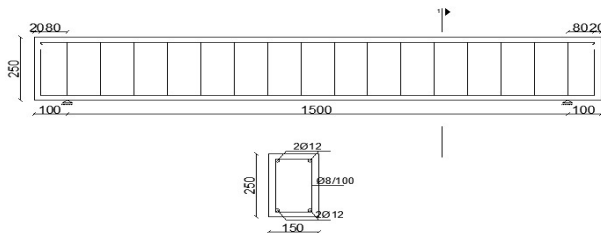
الشكل 3: المسند الحديدي المنفذ.



الشكل 4: مخططات القوى الداخلية للعينات المختبرة تحت تأثير الانعطاف والقتل المركب.

البرنامج التجريبي:

يتضمن اختبار عدد من العتبات , مجازها 170cm , مصبوبة من نفس الخلطة الخرسانية ($f'_c = 21 \text{ Mpa}$) ذات مقطع مستطيل ثابت لكل العتبات المختبرة (15*25)cm , ولها نفس تفاصيل التسليح الطولي والعرضي , مسلحة بـ 4T12 بالاتجاه الطولي ($f_y = 450 \text{ Mpa}$) , أساور $\phi 8/100\text{mm}$ ($f_y = 370 \text{ Mpa}$) , وتشمل ثلاثة مجموعات : المجموعة الأولى : تضمنت العتبات B1, B2, B3 وهي عتبات مرجعية مصممة بدون فتحة مبيّنة بالشكل (5).



الشكل 5: مقطع طولي وعرضي بعتبات المجموعة الأولى.

وصف ملحقات الجهاز والمساند المعدلة بجهاز الاختبار:

الأذرع الفولاذية :

الأذرع التي سنقوم من خلالها بتطبيق مزدوجة القتل هي أذرع حديدية , كل ذراع عبارة عن صفيحة حديدية بسماكة 4cm وبعرض 8cm لتطبيق الحمل , ملحومة إلى مقطع حديدي حلقي يتم لفه حول العتب , وتم تقوية الصفيحة مع المقطع بلحمهما إلى صفيحة أخرى مثبّنة لتأمين الصلابة المطلوبة , تم تفصيل ذراعين حديديين يوضعان بشكل متناظر بالنسبة لمنتصف العتب وعلى بعد 30cm عن المساند لتأمين مزدوجة القتل , بذلك يتم نقل الحمل المركز P المطبق في منتصف العتب إلى حميلين مركزيين على الأذرع الفولاذية من كل طرف بقيمة P/2 بـ (لامركزية) قيمتها 0.435m.

جائز نقل الأحمال :

تم تفصيل عتب حديدي لتأمين آلية نقل الحمل من الجهاز الرئيسي إلى ذراعي التحميل , وتم تقويته بلحم صفائح حديدية إلى الجسد في المنتصف , بحيث تمت دراسته لتحمل الحمولة المطبقة كاملة .

المساند :

تم تفصيل المساند الحديدية بحيث تؤمن دوران حول المحور الطولي للعتب , حيث إذا تم وضع الأذرع الفولاذية فوق المساند تماماً فإنها لا تمنع الدوران أبداً ويتم عندها تطبيق عزم قتل صافي , وكلما تم إبعاد الأذرع الفولاذية عن المساند باتجاه المنتصف , تطبق عزوم قتل مترافقة مع عزوم انعطاف بنسب تختلف حسب بعد هذه الأذرع الفولاذية عن تلك المساند .

ويوضح الشكل (2) الجهاز بعد التعديل و توزع الحساسات , ويبين الشكل (3) شكل المسند الذي تم تفصيله لتأمين تطبيق عزم القتل بالشكل الصحيح حيث أن المسند يسمح بالدوران الحر حول المحور الطولي للعتب وبالتالي لا يبدي أية ممانعة لعزم القتل المطبق عن طريق مزدوجة القتل بالاستعانة بالأذرع الفولاذية وهذا مايسبب انعدام عزم القتل بين المسند والذراع الفولاذي , كما يبين الشكل (4) مخطط توزع عزوم القتل وعزوم الانعطاف وقوى القص بحالة التحميل المطبقة بعد التعديل .



الشكل 2 : جهاز الاختبار المعدل الموجود لاختبار العتبات الخرسانية المسلحة تحت تأثير الفعل المركب للقتل والانعطاف.

وبيين الجدول (2) ملخص بيانات مجموعات الاختبار الثلاثة .
الجدول 2: بيانات مجموعات الاختبار.

ملاحظات	العتب	مجموعات الاختبار
عتبات مصممة بدون فتحات	B1	المجموعة الأولى
	B2	
	B3	
تم إحداث فتحة بأبعاد 12cm*40 بمنتصف العتب تماماً بعد الصب	B1O	المجموعة الثانية
	B2O	
	B3O	
عتبات ذات فتحة محدثة مع تدعيم بشرائح CFRP حول الفتحة وشاقولية تطويق كامل بعرض 10cm إلى جانبي الفتحة	B1O-HV	المجموعة الثالثة
	B2O-HV	
	B3O-HV	

وبيين الجدول (3) ملخص نتائج مجموعات الاختبار الثلاثة.

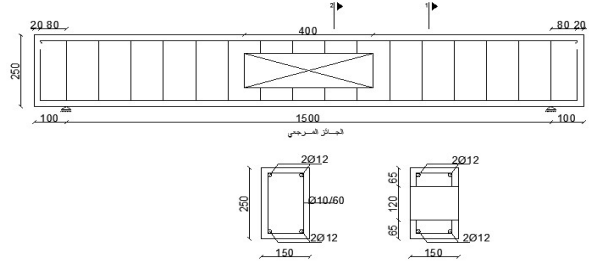
الجدول 3: نتائج مجموعات الاختبار الثلاثة.

مجموعات الاختبار	العتب	عزم القتل عند الشق الأول (m.kn)	زاوية القتل عند الشق الأول (rad/m)*1 0-4	عزم القتل عند الانهيار (m.kn)	زاوية القتل عند الانهيار (rad/m)*1 0-4
المجموعة الأولى	B	2	0.7	7.91	19.2
المجموعة الثانية	BO	0.65	0.54	2.28	5.4
المجموعة الثالثة	BO-HV	1.03	2.32	7.97	49.4

الدراسة التحليلية :

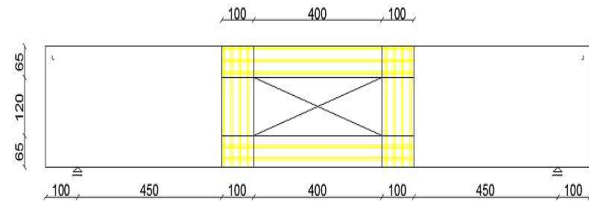
تم إنجاز الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحددة بالاستعانة ببرنامج الـ ANSYS15 وتم نمذجة العتبات بنفس الأبعاد ومواصفات التسليح المستخدمة في البرنامج التجريبي .

المجموعة الثانية: تضمنت ثلاثة عتبات B1O, B2O, B3O في كل منها فتحة مستطيلة الشكل ومركزية أبعادها 12*40cm في منتصف العتب تماماً، تصنف الفتحة على أنها كبيرة حيث أن نسبة عرضها إلى ارتفاعها $40/12=3.33>1.25$, أيضاً اعتبرت هذه العتبات مرجعية بفتحة وبدون تدعيم , مبينة بالشكل (6).

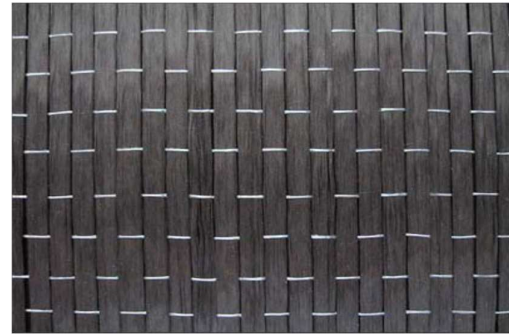


الشكل 6: مقطع طولي وعرضي بعتبات المجموعة الثانية.

المجموعة الثالثة: العتبات B1O-HV , B2O-HV , BO3-HV مقواة بشرائح الـ CFRP مطوقة بشكل كامل لمنطقة الفتحة مع تطويق كامل بشرائح شاقولية عرض 10cm في الجزء الصلب حول الفتحة مبينة بالشكل (7), يبين الشكل (8) شكل شرائح التقوية وحيدة الاتجاه , (بيين الجدول (1) مواصفات هذه الشرائح حسب الشركة المصنعة)



الشكل 7 : مقطع طولي بعتبات المجموعة الثالثة.



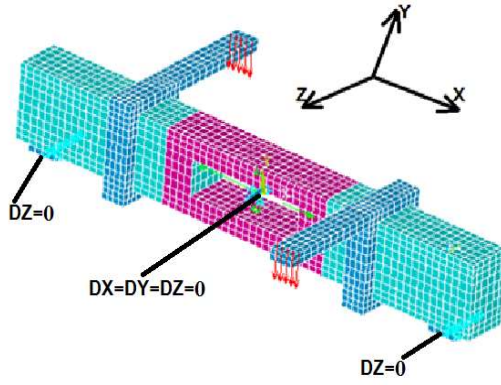
الشكل 8 : شكل شرائح التقوية المستخدمة.

الجدول 1 : مواصفات شرائح التقوية حسب الشركة المصنعة

SikaWrap®-231C

المقاومة الحديدية Mpa	معامل المرونة GPa	الاستطالة عند الانقطاع %	السماكة mm
4300	238	1.8	0.131

النمذجة :

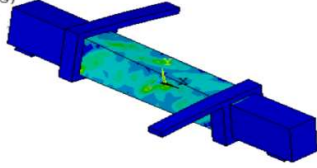


الشكل 11: العتب الخرسانى المسلح بعد التقوية حول الفتحة BO-HV.

النتائج والمناقشة:

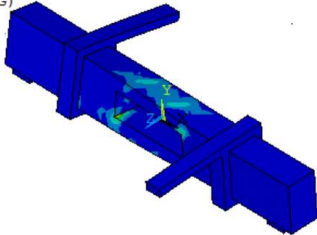
تبين الأشكال (12)،(13)،(14) على التوالي نتائج اختبار العتب الخرسانى المصمت B و العتب الخرسانى الذى يحوى الفتحة BO و العتب الخرسانى المحدث به الفتحة مع التدعيم BO-HV ببرنامج ANSYS التحليلي , وقد أوردنا الانفعالات strains عند حمل الانهيار TIME بالعقدة الواحدة الذى يوضح التركيز ضمن المنطقة المعرضة للقتل في العتب المصمت , وحول زوايا الفتحة في العتبات التي تحوي الفتحات , حيث أن الحمل موزع على 10 عقد , 5 منها بكل ذراع , وبهذا يكون عزم القتل عند الانهيار = قيمة الـ 0.435 m حيث أن طول الذراع $0.435 \times 5 \times 10^{-3} \times \text{TIME}$.

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =54
TIME=3494.11
EPOINT (AVG)
```



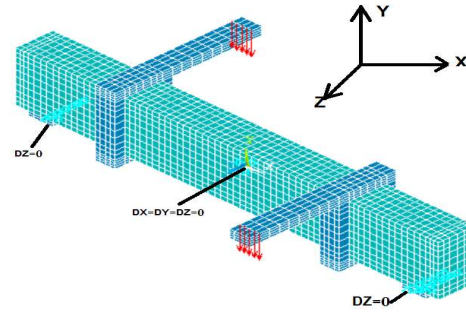
الشكل 12: تركيز الانفعالات strains عند الانهيار للعتب B.

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =19
TIME=1018.75
EPOINT (AVG)
```



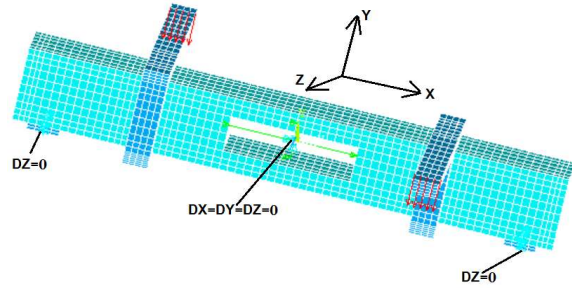
الشكل 13: تركيز الانفعالات strains عند الانهيار للعتب BO.

تمت نمذجة العينات ببرنامج الـ ANSYS 15 الذى أثبتت فعاليته في تمثيل العناصر الخرسانية المسلحة , تم تمثيل العتب الخرسانى بالعنصر SOLIDE65 , هذا العنصر قادر على محاكاة التشوه اللدن والتشقق بالاتجاهات الثلاثة , وتمت نمذجة قضبان التسليح الطولي والعرضي بالعنصر LINK180 , وتم استعمال العنصر SOLID185 لنمذجة شرائح الألياف الكربونية المستعملة في التقوية وأيضاً لنمذجة الأذرع الفولاذية . ويبين الشكل (9) العتب الخرسانى بعد النمذجة والتقسيم إلى عناصر محددة, وطريقة الاستناد حيث تم تقييد نقطة المنتصف لإعطاء خاصية التناظر العكسي , وإعطاء إمكانية دوران للعتب حول المحور الطولي له بتقييد العقد الوسطية للمساند بالاتجاه Z وتقييد عقدة الوسط بالمسند اليميني بالاتجاهات X,Y,Z .



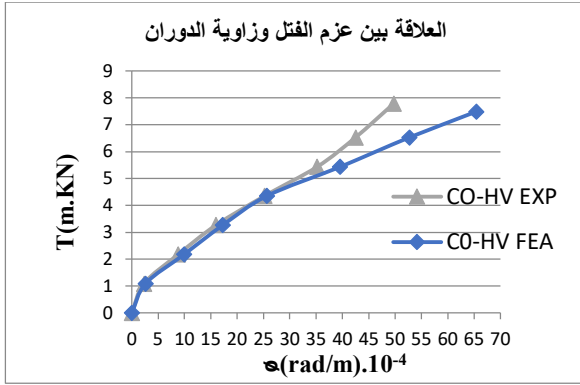
الشكل 9: العتب الخرسانى المسلح المصمت B.

ويبين الشكل (10) نمذجة العتب الخرسانى بعد إحداث الفتحة والتقسيم إلى عناصر محددة, حيث تمت محاكاة الواقع باعتبار العتب يدور حول نقطة المنتصف باعتبارها نقطة تناظر عكسي, وذلك بتقييد هذه النقطة بالاتجاهات X,Y,Z وربط النقاط الطرفية للفتحة بتلك النقطة, مع الحفاظ على شروط الاستناد الطرفية المستخدمة عند محاكاة العتبات المصمتة.



الشكل 10: العتب الخرسانى المسلح بعد إحداث الفتحة به BO.

ويبين الشكل (11) نمذجة العتب الخرسانى بعد إحداث الفتحة وتطبيق شرائح التقوية حول الفتحة والتقسيم إلى عناصر محددة, مع الحفاظ على شروط الاستناد الطرفية والوسطية المستعملة عند محاكاة العتبات الخرسانية الحاوية على الفتحات.



الشكل 17 : العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران لعتبات المجموعة الثالثة BO-HV تجريبيا EXP وتحليليا FEA.

يبين الجدول (4) مقارنة لنتائج الاختبارات والنتائج التحليلية ببرنامج الـ ANSYS.

الجدول 4 : مقارنة لنتائج الاختبارات والنتائج التحليلية ببرنامج الـ ANSYS.

عزم الفتل عند الانهيار (m.KN)			عزم الفتل المرافق للشق الأول (m.KN)			مجموعات الاختبار
FEA	التحليلي	التجريب	FEA	التحليلي	التجريب	
EXP	FEA	EXP	EXP	FEA	EXP	
0.96	7.6	7.91	0.945	1.89	2	المجموعة الأولى B
0.97	2.215	2.28	1.06	0.69	0.65	المجموعة الثانية O
0.94	7.48	7.97	0.988	1.018	1.03	المجموعة الثالثة BO-HV

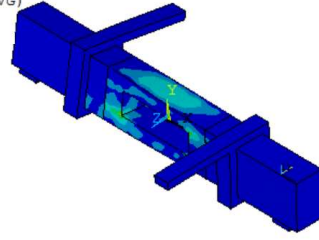
3. الاستنتاجات والتوصيات

3.1 الاستنتاجات

- انخفضت مقاومة الفتل للعتبات المختبرة من 7.91 m.KN للعتبات المصممة بدون فتحة إلى 2.28 m.KN في نفس العتبات بعد إحداث فتحات بها الجدول (2) , أي بمقدار % 71.2 تقريباً عن العتبات الخرسانية المسلحة بدون فتحة.
- يزيد عزم الفتل عند التقوية بشرايح الألياف الكربونية CFRP حول كامل الفتحة من 2.28 m.KN للعتبات الخرسانية المسلحة المحدث بها الفتحات إلى 7.97 m.KN لتلك العتبات بعد تقويتها. الجدول (2) , أي بنسبة كبيرة تصل لـ % 249.6 .
- تم بناء نموذج تحليلي يحاكي النماذج التجريبية بدقة عالية , مما يساعد في إجراء التحليل لأشكال متعددة من التقوية حول الفتحة .

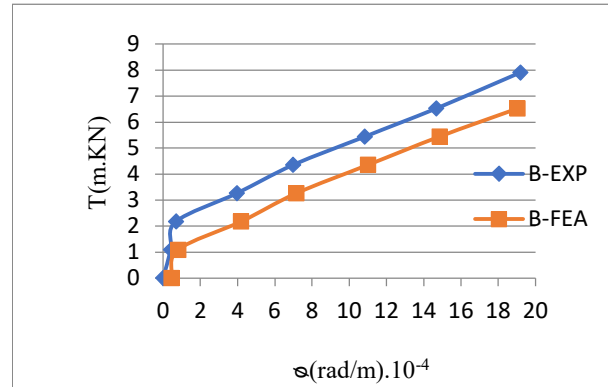
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =100
TIME=3443.76
EPTPOINT (AVG)

ANSYS
R15.0

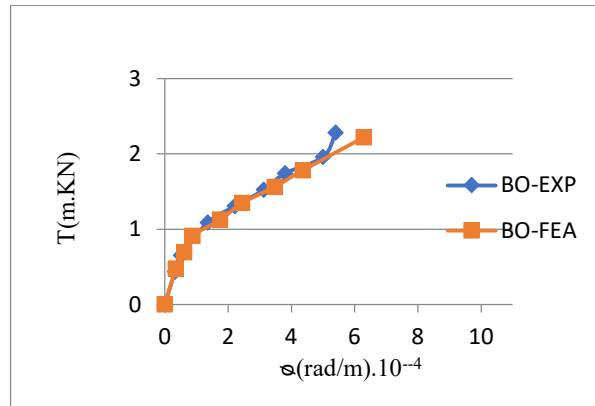


الشكل 14 : تركيز الانفعالات strains عند انهيار العتبات BO-HV.

تبين الأشكال (15),(16),(17) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران النسبية لعتبات المجموعات الثلاثة على التوالي للنتيجة التجريبية EXP والنتيجة ببرنامج ANSYS التحليلي FEA .



الشكل 15 : العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران لعتبات المجموعة الأولى B تجريبيا EXP وتحليليا FEA.



الشكل 16 : العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران لعتبات المجموعة الثانية BO تجريبيا EXP وتحليليا FEA .

References:

- [1] Ameli, M. nd Ronagh, H.R. " Analytical Method for Evaluating Ultimate Torque of FRP Strengthened Reinforced Concrete Beams " Journal of Composites for Construction, ASCE 2007, Vol.11, No. 4, pp. 384-390.
- [2] Ban.Sahib, Ali.h. Aziz, and Israa Kh. Muhsen "Strengthening of Reinforced Concrete Beams under Combined Torsion and Bending using Carbon Fiber Reinforced Polymer Strips " The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering, vol.12, No.4,2012
- [3] Chalioris, C. E " Torsional Strengthening of Rectangular and Flanged Beams using Carbon Fiber Reinforced Polymers –Experimental Study " Journal of Construction and Building Material, Vol. 22, No. 1, pp. 21-29, 2008
- [4] Elwan S.K. "Torsion Strengthening of RC Beams using CFRP (Parametric Study) " KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.00, No.0, pp 1-9, 2016.
- [5] Fawzy, K. Hashem, M.M. Elnady, A.M. " Performance of RC Beams with Web Opening Subjected to Pure Torsion Strengthened with CFRP " International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Vol.4, No. 1, 2014.
- [6] Mansur, M.A. Paramasivam, P. Lee, S.L "Torsional Behavior of RC Beams with Web Opening International Journal of Structures, vol.2. pp. 89-98, 1982.
- [7] Mustafa B. Dawood "Nonlinear Analysis of Solid and Box-Section RCBeams Strengthened in Torsion with CFRP Reinforcement "Journal of Babylon University / Engineering Sciences, Vol.21, No.1, 2013.
- [8] VISHNU, J. PARESH, P. SHARADKUMAR, P "Strengthening of RC Beams Subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites ", Procedia Engineering, vol.51. Pp.282-289, 2013.

3.1.1 تفسير النتائج:

- في بحثنا تم إحداث الفتحة الكبيرة بعد الصب مما يعني إلى أنه لا يوجد أساساً تسليح خاص بالفتحة , وهذا مايفسر سبب الانخفاض الكبير في المقاومة الفتلية للعتبات البيتونية المسلحة بعد إحداث فتحات بها عن تلك المصممة ذات نفس المواصفات .
- كان لاستخدام شرائح الألياف الكربونية بهذا الشكل تحديداً , التطويق الكامل حول أطراف الفتحة المحدثة في العتبات الخرسانية , دور كبير في استعادة المقاومة الفتلية للعتبات الخرسانية كما كانت قبل إحداث الفتحة .
- بالنمذجة الحاسوبية تمت محاكاة العتبات الخرسانية المختبرة بدقة كبيرة , وذلك بنمذجة عتبات مشابهة من حيث الأبعاد والتسليح ومواصفات الاختبار لكل المواد المستخدمة في هذه العتبات , وطريقة الاستناد , وبعدد كبير جداً من المحاولات لكيفية تقسيم النموذج إلى عناصر محددة ضمن خيارات برنامج الـ ANSYS 15 تم التوصل إلى نموذج حاسوبي يسلك سلوكاً تحليلياً يحاكي السلوك التجريبي للنماذج التجريبية بدقة عالية .

3.2 التوصيات :

- دراسة تأثير عوامل أخرى مثل تغيير موقع الفتحة أو تغيير نسبة التسليح .
- دراسة تأثير أنواع أخرى من مواد التدعيم والمقارنة بينها.

Experimental-Analytical Study of CFRP strengthening Effect of Reinforced Concrete Beams with Web Opening under Torsion and Bending

Dareen AL Salamah¹, Ghandi jahjah², and Ihsan Al Tarsh^{3,*}

¹ AlBaath University, Homs, Syria, dareenalsalamah@gmail.com

² Tishreen University, Latakia, Syria, ghandi.jahjah@yahoo.com

³ AlBaath University, Homs, Syria, imtarsha@hotmail.com

*corresponding author: Dareen Al Salamah, email dareenalsalamah@gmail.com

Published online: 30 June 2021

Abstract— The strength of reinforced concrete beams is reduced to high extent when openings are created in their webs, so it is necessary to strengthen these beams by any modern strengthening methods to restore the strength of the beams before openings are created in their webs to continue in use of these beams. Analytical study is presented in this research to study CFRP strengthening effect around created opening in reinforced concrete beams under torsion and bending. The research depends on finite element method using Ansys 15. It is used SOLID65 to model concrete beam, SOLID 185 to model CFRP, supports and steel arms, and LINK 181 for long steel and stripes. Then analytical model is built to model reinforced concrete beams. This model gives results which are closed to experimental results.

Keywords— Beams, Torsion, CFRP, Strengthening, ANSYS.