

## تقوية وإعادة تأهيل الأعتاب الإنشائية باستخدام البوليمرات المعززة بألياف الكربون (مراجعة)

خلف ابراهيم محمد\*\*  
kimjebouri@uomosul.edu.iq

اسلام عبدالله عزيز\*  
islamabd@uomosul.edu.iq

\* جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم هندسة الميكاترونكس  
\*\* جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

تاريخ القبول: 13/7/2022

تاريخ الاستلام: 12/2/2022

### الخلاصة

تعتبر تقنية استخدام ألياف البوليمر الكربونية في تقوية وإعادة تأهيل الأعتاب الإنشائية من التقنيات الحديثة التي اثبتت فاعليتها في مختلف مشاريع الهندسة المدنية، فمن هذا المنطلق جاءت هذه المراجعة لتوضيح مقدار الفائدة العملية من استخدام هذه التقنية لإطلاع الباحثين والعاملين في قطاع الإنشاءات عليها ولتوفير مصادر حديثة للراغبين بإجراء المزيد من الأبحاث في مجال تقوية وإعادة تأهيل الأعتاب الإنشائية الخرسانية والحديدية والمركبة وتبسيط الضوء على الدراسات التي تناولت مقاومة الانثناء والقص والالتواء للاعتاب والمقواه بالألياف البوليمر الكربونية خارجياً أو داخلياً.

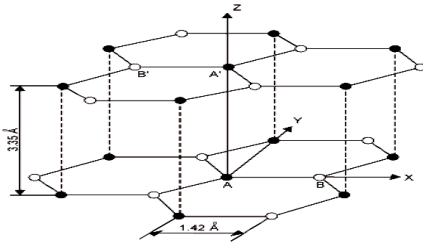
### الكلمات الدالة

الياف الكربون; انثناء; قص; اعتاب خرسانية; اعتاب مركبة.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).  
<https://rengj.mosuljournals.com>

### 1-المقدمة

نطاق واسع في تقوية المنشآت الحديدية والأعضاء الخرسانية على حد سواء [3]. إن تقنية استخدام ألياف البوليمر تم إختبارها لأول مرة عام 1984 في المختبر الإتحادي السويسري للبحوث وفحص المواد (EMPA, Eidgenössische) إذ تم إختبار أعتاب خرسانية مسلحة مقواه بألياف البوليمر الكربونية (CFRP) فكانت الميزة الرئيسة لنتائج الإختبار هي قابلية التحمل العالية للشد مقارنة مع وزنها بالإضافة الى المقاومة العالية للتآكل والظروف البيئية [4]. تتكون ألياف البوليمر الكربونية من الكربون ونسبة 92% من الوزن الكلي للألياف [5]، تصنع هذه الألياف إما من أسفلت الفحم (Coal Asphalt)، أو من مادة كيميائية (Poly-Acrylic Nitril (PAN)) وكلا النوعين يتكون من شعيرات الكرافت النقي الذي تعتمد خصائصها بشكل دقيق على تركيب الشعيرات وهيئتها، قد تكون هذه الشعيرات منتظمة باتجاه واحد، وحينها تسمى (Uni-Directional Fabrics) أو شعيرات باتجاهات متعددة وتسمى (Multi-Directional Fabrics) [6]. والشكل رقم (1) يوضح التركيب البلوري للكرافت النقي [6].



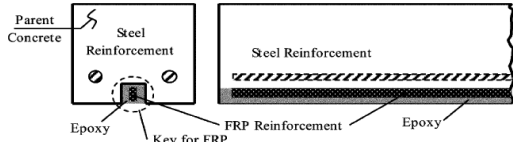
شكل رقم (1): التركيب البلوري للكرافت النقي [6]

سيركز البحث الحالي على تبسيط الضوء للفائدة المستحصلة من تقوية مناطق الانثناء والقص للأعضاء الإنشائية بالألياف البوليمر

إن الأعضاء الإنشائية معرضة للفشل لأسباب عديدة منها وجود أخطاء في التصميم والمكتشفة بعد عملية التنفيذ أو نتيجة للتنفيذ غير الجيد أو نتيجة الأعتاد في التصميم أو التنفيذ على مواصفات ومعايير قديمة أصبحت غير أمينة في الوقت الحالي وبما يتناسب مع طفرة البناء الحديث والمعاصر، أو قد يكون سبب الفشل لأحمال إضافية لم توضع في الحساب عند عملية التصميم كإضافة طوابق جديدة للبنى المتعددة الطوابق أو حدوث زيادة غير متوقعة في الحجم المروري للمركبات بالنسبة للجسور الموجودة على الطرق السريعة. فأصبح من الضروري إبتكار تقنية جديدة تعمل على تقوية المنشآت الخرسانية والحديدية على حد سواء قبل تعرضها للفشل أو إعادة تأهيلها بعد تضررها [1]. إن الموضوع الرئيسي لهذه المراجعة والمختلف عن المراجعات السابقة التي تناولها الباحثين هو التركيز على جميع الأعتاب الإنشائية التي يتعامل معها المهندس المدني في مختلف المشاريع الإنشائية والتي يتم تدعيمها أو إعادة تأهيلها بألياف البوليمر الكربونية.

فمنذ منتصف ثمانينات القرن العشرين المنصرم ركز الباحثون على استخدام ألياف البوليمر الكربونية (CFRP) مع الأعضاء المعدنية فضلاً عن الأعضاء الخشبية والخرسانية المسلحة [2]. فقد تم استخدام الألياف البوليمر بنجاح في تقوية مقاومة الإنثناء والقص للاعتاب الخرسانية المسلحة فضلاً عن زيادة مقاومة الإنضغاط للأعضاء الخرسانية المعرضة للضغط. فضلاً عن ذلك فإن ألياف البوليمر تمتاز بمقاومة الشد العالية والتي تزيد في بعض الأنواع عن 1200MPa فضلاً عن خفة في الوزن ومقاومة التآكل الناتج من العوامل الكيميائية والظروف البيئية والكثافة الواطئة والتي تعادل (1/15) من كثافة الحديد، وكذلك قلت من كلفة الإنشاء للأبيدي العاملة مقارنة بالمواد الأخرى كصفائح الحديد فضلاً عن سهولة قطع هذه الألياف بالأحجام المطلوبة في موقع العمل، كل تلك المميزات جعلتها تستخدم على

قوة الترابط بين ألياف الكربون والخرسانة، وذلك لأن الألياف الكربون محاطة من ثلاث جهات، مما يؤدي إلى زيادة التبادل بالقوة بين الألياف والخرسانة المحيطة. والمتغيرات التي اعتمدها الباحثون هي كمية الألياف الكربون ونسبة حديد التسليح وابعاد المقطع. وصممت هذه العتبات لكي تقشل في مقاومة الانثناء.



الشكل (2): يوضح موقع الشق في النماذج. [9]

وتم فحص النماذج تحت اربعة احمال متمركزة، وموقع هذه الاحمال اختير على اساس ان النسبة بين منطقة القص الى عمق التسليح  $(av/ds=8.4)$ ، واستنتج الباحثون مايلي  
1- الفشل بمقاومة الانثناء يعتمد على كمية حديد التسليح وكمية الألياف الكربون، إذ ان جميع العتبات التي عرضها (mm) 305 (152, 230)، ومقواة بشريحتين من الألياف الكربون فشلت بحديد التسليح، فقد وصل حديد التسليح الى نقطة الخضوع، ثم تبع ذلك الفشل فشلت بالخرسانة مع بقاء الألياف الكربون على تماسك مع الخرسانة دون ان يحصل فصل بينهما، ويمكن ان يقال ان هذه العتبات فشلت في منطقة الانضغاط. والعتبات التي عرضها (mm) 305 ومقواة بشريحة واحدة من الألياف الكربون فشلت بحديد التسليح، وقد وصل الى نقطة الخضوع، ثم تبع ذلك الفشل انقطاع في الألياف الكربون (CFRP). ويمكن ان يقال ان هذه العتبات فشلت في الألياف الكربون. وفي جميع العتبات السابقة لم يحصل فشل بالربط بين الألياف الكربون (CFRP) والخرسانة.  
2- جميع العتبات المقواة بوساطة ألياف الكربون فشلت بحمل أكبر من الحمل الذي فشلت به عتبات السيطرة. إذ عند تقوية العتبات الخرسانية بالألياف الكربون (CFRP) ازدادت مقاومة الخضوع من (9%) الى (30%).

ومن البحوث التي أخذت بنظر الاعتبار تأثير الأحمال التكرارية والدورية والمتزايدة وتأثيرها في مقاومة التحمل، ونسبة المطيلية للعتبات الخرسانية المسلحة والمغلقة خارجياً بالألياف البوليمر الكربونية مقدمة الباحث [10] [Hassan 2007] من دراسة تضمنت صب (10) عتبات خرسانية بطول (1520mm) وذات مقطع مستطيل بارتفاع (180mm)، وعرض (100mm)، وجميع العتبات مسلحة داخلياً بحلقات من الحديد بحيث يتجنب فيها فشل القص، الأربع عتبات الأولى فحصت تحت أحمال تزايدية لغاية الفشل، فقد تركت إحدى هذه العتبات بدون تغليف خارجي بالألياف الكربون واعتبرت أنموذج السيطرة أما العتبات الثلاث المتبقية فغلقت من الأسفل بشريط من الألياف الكربونية ذي سمك (0.12mm) وبعرض (70,30,50)mm على التوالي، والعتبات الست المتبقية فحصت خمس منها تحت أحمال متكررة ثابتة والعتبة العاشرة الأخيرة فحصت تحت أحمال دورية،

بعد فحص هذه العتبات تحت نقطتي التحميل استنتج الباحث ما يأتي:

1- إن التغليف الخارجي بشرائط من الألياف الكربون يعمل على تحسين سلوك العتبات الخرسانية، وتقويتها بنسب تعتمد على عرض شرائط التغليف ونوع الأحمال.

2- العتبات المغلقة خارجياً والمعرضة إلى أحمال تزايدية ازدادت فيها قيم التحميل القصوى بمقدار (28%-40%) نسبة لعتبة السيطرة على الرغم من نقصان نسب مطيلتها بمقدار (27%-30%). العتبة المغلقة التي فحصت تحت دورتين من الأحمال المتكررة ازداد فيها التحمل الأقصى بمقدار 68% مع نقصان في نسبة المطيلية بمقدار 45%، أما العتبات المغلقة التي فحصت تحت تأثير خمس دورات ثابتة من الأحمال المتكررة، فقد ازداد

الكربونية من خلال استعراض البحوث العملية في هذا المجال بالإضافة إلى تأثير ألياف الكربون في إعادة تأهيل الأعضاء الخرسانية والتي سيتم تناولها من الأقدم إلى الأحدث  
2- تقوية مناطق الانثناء في الأعضاء الخرسانية بألياف الكربون

قدم الباحثان [Lu and Shi 2007] [7] دراسة حول تأثير تغليف العتبات بالألياف الكربون (CFRP) في مقاومة الانثناء، فقد قام الباحثان بتهيئة أربع عتبات خرسانية على شكل حرف (T)، واحدة من هذه العتبات عدت عتبة سيطرة والعتبات الثلاث الأخرى تم تقويتها بالألياف الكربون، و العتبة الثانية تم إضافة طبقة واحدة من ألياف الكربون، و العتبتان الثالثة والرابعة قويتا بطبقة واحدة من الألياف الكربون مع وضع شرائط على شكل حرف (U) على جانبي العتبة وبعد الفحص استنتج الباحثان بان التقوية بالألياف الكربون (CFRP) تعمل على زيادة جساءة العتبة الخرسانية بقيمة تتراوح ما بين 9.14% الى 16.16%. وان التقوية بالألياف الكربون (CFRP) تعمل على التقليل من ارهاق العتبة الخرسانية تحت تأثير الأحمال الدورية، وهذا التقليل يعتمد على قوة الترابط بين الألياف الكربون والعتبة الخرسانية.

قدم الباحثان [Gamino and Bittencourt] [8] [2007] دراسة حول سلوك العتبات في مقاومة الانثناء عند تقويتها بنوعين من الألياف الكربون، وذلك بفحص (16) عتبة خرسانية مسلحة بطول (1600mm) وذات مقطع مستطيل ابعاده (mm) (150\*75)، قسمت الى عتبتين سيطرة و(14) عتبة مقواة من الأسفل قسمت الى مجموعتين تم تقويتها بنوعين مختلفين من الألياف الكربون وكما يأتي: (المجموعة الأولى) تتألف من ثمانية عتبات تمت التقوية بنوع من الألياف الكربون يطلق عليه (Sika CFRP composites) وكان التغليف بطبقة واحدة من الأسفل. و(المجموعة الثانية) تألفت من ست عتبات تم إضافة نوعية أخرى من الألياف يطلق عليها بـ (Fosfiber CFRP composites) عتبة واحدة غلفت بطبقتين من الألياف الكربون، والعتبات الأخرى غلفت بطبقة واحدة فقط. ثلاث منها كان التغليف من الأسفل غير مستمر على طول فضاء العتبة الخرسانية، إذ كان منقطعاً في منتصف العتبة وكان طول التوصيل ما بين قطعتي الألياف الكربون على جانبي منتصف العتبة الخرسانية (150 and 200 mm) على التوالي. وفي جميع العتبات الخرسانية كانت قوة مقاومة الانضغاط للخرسانة (45MPa)، و  $(f_y=640 \text{ MPa})$  لحديد التسليح المستخدم، عند فحص النماذج وبعد تحليل النتائج استنتج الباحثان ما يأتي:-

1- نماذج المجموعة الأولى:-  
أ- الزيادة في مقاومة الانثناء للنماذج أكثر من (40%) عن عتبات السيطرة كمعدل لثماني عتبات مقواة.

ب- الاستطالة في ألياف الكربون من نوع (Sika CFRP composites) في منتصف العتبة الخرسانية كان (1.22%).  
2- نماذج المجموعة الثانية:-

أ- الزيادة في مقاومة الانثناء للعتبات المغلقة بطبقة واحدة أكثر من (21%) عن عتبات السيطرة كمعدل للعتبتين.

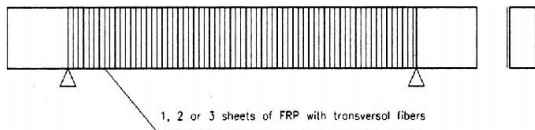
ب- الزيادة في مقاومة الانثناء للعتبة المقواة بطبقتين من الألياف الكربون أكثر من (53%).

ج- التوصيل بين قطعتي الألياف الكربون بـ (100mm) سوف يعطي تصرفاً للألياف الكربون، كانها لو كانت مستمرة دون انقطاع بالمنتصف.

قام [Joseph et al. 2007] [9] ، بفحص (15) عتبة خرسانية مسلحة حقيقية الأبعاد بعدما اجري عليها عملية تقوية لمقاومة الانثناء بوساطة الألياف الكربون (CFRP)، وذلك بعمل شق على طول العتبة وفي منتصفها من السطح السفلي لها (اي باتجاه الشد للعتبة)، وهذه العملية يطلق عليها (near-surface mounted fiber reinforced polymer NSM FRP) شكل (2)، ان استخدام هذه التقنية (NSM FRP) تزيد من

تغليف. أما العتبة الثانية فغلقت بصفائح من الألياف الكربونية في منطقتي الانثناء والقص بالكامل أي على شكل (U-wrap). أما العتبة الثالثة فقد تم تغليفها أيضا بصفائح من ألياف الكربون، كما في العتبة الثانية ولكن مع وجود التثبيت الميكانيكي (Anchorage) بواسطة البراغي لنهايات الصفيحة الكربونية على سطح الخرسانة في جانبي العتبة من الأعلى، وبعد فحص هذه العتبات تحت أربعة أحمال متركزة وجد الباحثون أن حمل الفشل للعتبة الثانية المغلفة بصفيحة كربونية وبدون تثبيت ازداد بمقدار 72% مقارنة بالعتبة الأولى (نموذج السيطرة) وحدث الفشل فيها بانفصال الصفيحة الكربونية عن سطح الخرسانة، في حين لوحظ أن التثبيت (Anchorage) كان السبب في زيادة حمل الفشل في العتبة الثالثة وبمقدار 94%، مقارنة بنموذج السيطرة وتغير الفشل الحاصل من انفصال الألياف الذي حدث في العتبة الثانية إلى تمزق صفائح ألياف الكربون (fiber rupture).

قام الباحثان [16] Pellegrino and Modena [2002] بدراسة لمعرفة تأثير التسليح الداخلي بحلقات الحديد ضد قوى القص (Stirrups) في العتبات الخرسانية المسلحة والمصممة على أن تصل مقاومتها القصوى للقص قبل الانثناء، وأجريت هذه الدراسة لعشرة عتبات خرسانية بطول 2700mm وارتفاع 300mm، وعرض 150mm، اثنتان من هذه العتبات تركت بدون تسليح داخلي ضد قوى القص وبدون تغليف خارجي باستخدام الألياف أيضا وعتبتان أخران تم تسليحهما داخليا باستخدام حلقات حديد ضد قوى القص وبدون تغليف خارجي بالألياف، إذ اعتبرت هذه العتبات نماذج سيطرة. أما بقية العتبات فتم تغليفها خارجياً بالألياف الكربونية ومن جانبي العتبات فقط وبزاوية (90°) نسبة للمحور الطولي للعتبة شكل (3) والمتغير بين هذه العتبات هو عدد طبقات التغليف، فقد تم التغليف بطبقة وطبقتين وثلاث طبقات هذا مع وجود نسبة ثابتة من حديد التسليح (Stirrups) في العتبات لمقاومة القص وبعد فحص هذه العتبات تحت أربعة أحمال متركزة، استنتج الباحثان من تحليل النتائج أن التغليف الخارجي بصفائح الألياف الكربونية يزيد من مقاومة القص للعتبات، ونسب زيادة تكون أكثر عند التغليف بالألياف الكربونية، ونسب هذه الزيادة تعتمد أيضا على نسبة حلقات حديد القص (stirrups) في العتبات إلى الألياف المستخدمة في التغليف الخارجي، إذ إن زيادة نسبة حديد القص إلى الألياف في العتبة تقل الزيادة الحاصلة في مقاومة القص، أي إن كفاءة التغليف بالألياف تقل في العتبات المصممة لمقاومة القص، كذلك تعتمد نسبة الزيادة في مقاومة القص أيضا على شكل الفشل، إذ إن جميع العتبات حدث فيها الفشل بانفصال ألياف الكربون عن سطح الخرسانة، واعتقد الباحثان أنه لو كان هناك تثبيت (Anchors) للألياف على سطح الخرسانة لتغير شكل الفشل، وازدادت كفاءة التغليف بذلك



الشكل (3): شكل التغليف الخارجي للعتبات [16].

قدم [17] Buyukozturk et al. [2002] دراسة حول دور التثبيت بشرائط الألياف (Anchorage) من خلال فحصهم لسبع عتبات خرسانية (A,B,C,D,E,F,R) طول الاعتاب 1500mm، والعرض 150mm، والارتفاع 180mm، واحدة من هذه العتبات (A) أخذت كنموذج للسيطرة وتركت بدون تغليف، وجميع العتبات المتبقية تمت تقويتها من الأسفل في منطقة الشد لمقاومة الانثناء بطبقة من الألياف الكربون وبطول 1270mm، وعرض 38mm، وسمك 1.2mm، إلا أن حديد القص في العتبة (C) أكثر من حديد القص في العتبة (B)، أما العتبتان (E and D) فتمت تقويتها من الجانبين بشرائط ألياف الكربون بعرض 40mm لمقاومة القص، والعتبتان (R and F)

فيها التحمل الأقصى بمقدار (52%-66%) مع نقصان بمقدار (34%-66%) في نسبة مطيلتها هذا مقارنة بالعتبة غير المغلفة والتي فحصت بدورتين من الأحمال المتكررة.

قام [11] Mashrei M.A. & Sultan A. ] [2019] بصب (13 نموذج) واحدة منها اعتبرت عتب سيطرة بطول (1200 mm) وعرض (130mm) وعمق (220mm) تمت تقويتها بأطوال وطبقات مختلفة من الأسفل وبينت نتائج الفحص ان الياف الكربون عملت على زيادة التحمل بالاضافة الى تاخير ظهور الشق الاول وتقليل الاود الوسطي.

قام [12] [Fawzy k. et al. 2021] باستخدام (10 نماذج) بطول (2m) وبابعاد (200\*150) mm تم تقويتها في منطقة الشد بالألياف البوليمر الكربونية وبعد اجراء الفحص وجد زيادة في قيمة حمل الفشل وينسب (31.8-71.5)% بالمقارنة بالنموذج الغير مغلف بالألياف.

### 3- تقوية مناطق القص والالتواء للاعضاء الخرسانية بالألياف الكربون.

قام [13] [Grace et al. 1998] بمقارنة حول استخدام قضبان من ( حديد التسليح، وألياف الكربون) في تسليح طولي لمقاومة الانثناء وحلقات (Stirrups) لمقاومة القص، وتمت هذه الدراسة على سبع عتبات خرسانية مستطيلة المقطع بأبعاد (150\*350)mm، وطول 2896mm. فحصت العتبات بتسليط حمل مركز في المنتصف واستنتج الباحثون ما يأتي :-

1- إن جميع العتبات فشلت بحمل مقارب فيما بينها، وإن الفرق بين أعلى حمل فشل، وأقل حمل فشل لا يتجاوز 10% في حين هناك فرق بين النماذج من حيث شكل الفشل، ونسبة المطيلية فقد استنتج الباحثون أن العتبات المسلحة بCFRP لمقاومة القص والانتواء تقل فيها نسبة المطيلية بشكل ملحوظ مقارنة ببقية النماذج .

2- من ملاحظة منحنيات علاقة (Load-Deflection) للعتبات استنتج الباحثون أن هناك نقصاناً في طاقة الامتصاص، وزيادة في الأود للعتبات المسلحة بحلقات من ألياف الكربون مقارنة بالعتبات المسلحة بحلقات الحديد ولنفس حديد التسليح الرئيسي.

قدم [14] [Li et al. 2001] دراسة لمعرفة دور التغليف الخارجي بالألياف الكربون على مقاومة القص والانتواء لخمس عتبات خرسانية بطول 1350mm، وبعرض 130mm، وارتفاع 200mm والمسافة بين المساند 1100mm، العتبات مسلحة بقضبان الحديد لمقاومة القص والانتواء وتمت تقوية جميع العتبات بطبقة من ألياف الكربون بعرض 120 mm في منطقة الانثناء من الأسفل، أما منطقة القص لجميع العتبات عدا عتبة السيطرة، فتمت تقويتها أيضا بصفائح من ألياف الكربون، وبارتفاعات مختلفة وفحصت جميع العتبات تحت أربعة أحمال متركزة واستنتج الباحثون من خلال تحليل النتائج ما يأتي :-

1- حمل الفشل (Failure Load) والجساءة (Stiffness) للعتبات تزداد مع زيادة مساحة الصفيحة الكربونية المغلفة للعتبة. 2- إن الزيادة في حمل الفشل للعتبات المغلفة في منطقتي الانثناء والقص ليست كبيرة، مقارنة بالعتبات المغلفة في منطقة الانثناء فقط.

3- إن أعلى نسبة زيادة في قيمة حمل الفشل بالانتواء وصلت إلى (11%)، مقارنة بحمل الفشل لعتبة السيطرة أي إن التغليف الجانبي المتمثل بتغليف منطقة القص ليس له تأثير كبير على نتائج حمل الفشل بالانتواء، ولكن يؤخر من ظهور الشقوق الابتدائية الحاصلة في العتبة.

أما الدراسة التي أجراها [15] Deniaud and Cheng [2001] فكانت تتحرى معرفة تأثير التغليف بالألياف الكربون في مقاومة القص للعتبات الخرسانية ذات مقطع (T-section)، وذلك من خلال ثلاث عتبات خرسانية بطول 2700mm، وبارتفاع 205mm وتم تسليح هذه العتبات بالحديد الطولي فقط، لتجنب فشلها بالانتواء ولم تسليح بحلقات لمقاومة القص، اعتبرت العتبة الأولى أنموذج للسيطرة، إذ تركت بدون

بسبب السحب المثبت في نهايات التثبيت (Anchor pullout) ولكن عند حمل أعلى من الأول.

قام الباحث [19] [Murad Y. 2018] بصب (5 نماذج) واحدة منها كانت عتب سيطرة بطول (2m) وعمق (20cm) وعرض (15cm)، تم تغليفها باللياف الكربون بمناطق القص بزوايا مختلفة بين نتائج الفحص ان الاليف الكربون قابلة على زيادة تحمل القص وبنسب مختلفة حسب زاوية ميل التغليف.

قام [20] [Mhanna H.H. et al. 2019] بصب (6 نماذج) على شكل مقطع (T) بطول (2m) وعمق كلي (350mm) تم تقوية مناطق القص بأطوال وطبقات مختلفة من ألياف الكربون، بينت نتائج الفحص ان الاليف عملت على زيادة تحمل قوى القص بالإضافة الى تاخير ظهور الشقوق بسبب قوى القص.

قام الباحث [21] [Abd 2021] باجراء دراسة عملية على (12) نموذج بأبعاد (10\*20\*110)cm صممت بحيث يكون الفشل بالقص قسمت النماذج الى اربع مجاميع، كل مجموعة (3 نماذج) وكانت المسافة بين حلقات التسليح (5,10,15)cm على التوالي

المجموعة الاولى اعتبرت اعتاب سيطرة، المجموعة الثانية غلفت باللياف الكربون على شكل حلقات، المجموعة الثالثة غلفت باللياف كربون مائلة، المجموعة الرابعة كانت الاليف على شكل حرف (x) كما موضح في شكل (5).

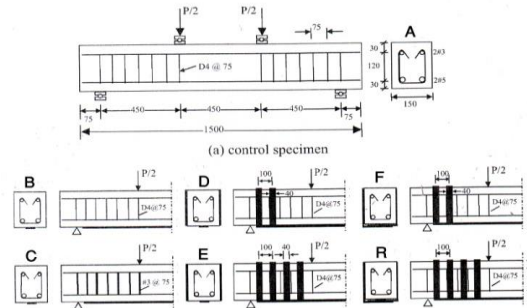
بينت نتائج الدراسة ان شكل التغليف بالاليف له دور بزيادة حمل الفشل لمقاومة القص بالإضافة الى تقليل الالود فكانت اعلى زيادة بالتحمل بالمقارنة مع اعتاب السيطرة هي نماذج التغليف (x) تليها المائلة ثم الحلقات.



الشكل (5): اشكال التغليف للعتبات [21].

تمت أيضا تقويتها بشرائط لمقاومة القص، ولكن على شكل (L-shape) إذ تعمل هذه الشرائط على مقاومة قوى القص فضلاً عن تثبيت طبقة الاليف التي وضعت من الأسفل لمنعها من الانفصال كما موضح في شكل (4).

بعد فحص هذه العتبات تحت أربعة أحمال متمركزة لاحظ الباحثون أن عتبة السيطرة فشلت بالقص. أما العتبات المغلفة فشلت بالقص أيضاً مع انفصال ألياف الكربون (Debonding) عن سطح الخرسانة، ولكن مع زيادة في حمل الفشل مقارنة بنموذج السيطرة، بنسب زيادة بلغت 5% للعتبة (B)، و20% في العتبة (C)، و17% للعتبة (D) المغلفة بشرطين لمقاومة القص و20% للعتبة (E)، و29% للعتبة (F)، في حين كانت أعلى زيادة 44% للعتبة (R) المغلفة بفناء قص كامل على شكل (L-shape)، ومن ملاحظة منحنيات علاقة (الحمل – الالود) للعتبات، استنتج الباحثون أن تثبيت الاليف على سطح الخرسانة يزيد من جساءتها وطاققتها للامتصاص المتمثلة بالمساحة تحت المنحني، وفي نفس الوقت يزيد من قابلية التحمل للعتبات من خلال منع انفصال طبقة الكربون عن سطح الخرسانة في وقت مبكر من التحميل.



الشكل (4): تفاصيل التسليح والتغليف الخارجي للعتبات [17].

وقام [18] [Micelli et al. 2002] بدراسة ميدانية حول استخدام صفائح من ألياف البوليمر في تغليف العتبات الخرسانية المسلحة ذات مقطع (T) وتأثيرها في مقاومة القص، حيث قاموا بقطع ست عتبات خرسانية ذات مقطع (T) من بناية مستشفى (Malcolm Bliss) التي شيدت في عام 1964 وحدث إحدى هذه العتبات (JS1) أنموذجاً للسيطرة، وتركت بدون تغليف. أما العتبة الثاني (JS2) فغلفت بطبقة واحدة من ألياف الكربون من الأسفل والجوانب (U-shape) وعلى طول الفناء مع طبقة أخرى من نفس الاليف بعرض 102mm في منطقة العزم الموجب (أسفل العتبة) وطبقة بعرض 508mm في منطقة العزم السالب (أعلى العتبة من النهايات). أما العتبة الثالثة (JS3) غلفت تماماً كالعتبة الثانية ولكن مع تثبيت ميكانيكي لنهايات الاليف على سطح الخرسانة وذلك عن طريق عمل حفرة طولية (groove) في منطقة تقاطع الشفة (web) مع طرف العتبة (flange)، ثم وضع قضيب من ألياف الزجاج بقطر 13mm في الفجوة، ومن ثم حقن الفجوة بالايوكسي بعد وضع طبقة التغليف فحصت العتبات بتسليط الحمل على مسافة 1219mm من مسند اليسار وأظهرت نتائج الفحص ما يأتي :-

1- إن جميع العتبات أعطت زيادة في الجساءة ومقاومة القص مقارنة بالأنموذج غير المغلف وبنسب تتراوح بين 12% للعتبة (JS2A) المغلفة بطبقة واحدة من ألياف الكربون على شكل (U-wrap) وبدون تثبيت النهايات، و39% للعتبة (JS5A) المغلفة بطبقتين من ألياف الكربون التي على شكل (U-wrap) مع تثبيت النهايات (Anchorage) لطبقة الاليف الكربونية على سطح الخرسانة.

2- الفشل في العتبات غير مثبتة النهايات كان بانفصال الاليف عن سطح الخرسانة (debonding). أما العتبات المثبتة فشلت

G2 وG3) على التوالي. ونتيجة للفشل المبكر بالربط لألياف البوليمر الكربونية (بالنسبة للطبقة الثانية) تعذر مقارنة تأثير استخدام أنواع مختلفة من ألياف الكربون على مقاومة الإنثناء للأعتاب المركبة.

قام [25] [Silam et al. 2009] بصب (5) نماذج من الأعتاب المركبة، إذ كانت مواصفات المقطع الحديدي (tw=6.3mm, tf=9.5mm, b=74mm, h=160mm) والجزء الخرساني من العتبات (Slab) ذو مواصفات mm (500mm width×100thick) والطول الكلي لكل نموذج هو (1800mm) ويحتوي على صفيين من روابط القص المسمارية بقطر (12mm) وإرتفاع (50mm) أُلحمت على طول الشفة العليا استخدم الباحثون لتقوية مقاومة الإنثناء لنماذج الأعتاب المركبة شرائح من الألياف البوليمر الكربونية وكانت من نوع (Sikawrap Hex-230c) تم اعتماد نموذج واحد كعتب سيطرة واحد الأعتاب تمت تقويته بطبقتين من الألياف البوليمر الكربونية وعلى طول الأنموذج وكان التغليف يغطي منطقة الشد فقط (Bottom Flange). والعتب الثاني تمت تقويته بطبقتين من الألياف البوليمر الكربونية وعلى طول الأنموذج وكان التغليف يغطي منطقة الشد فضلاً عن إستمرار طبقة التقوية ل(50mm) من الجهتين لمنطقة ال (web) للأنموذج. أما بقية عتبات المجموعة وعددها (2 نماذج) فقد تمت تقويتها لتحمل الإنثناء كما في الأعتاب السابقة إلا أن الإختلاف كان بطول شرائح التقوية والتي لم تكن مستمرة على طول النموذج وإنما على مسافات متقطعة بعد إجراء الفحص على النماذج وتحليل النتائج إستنتج الباحثون مايلي:-

1- بينت الفحوصات أن في جميع الأعتاب المقواة بواسطة ألياف البوليمر الكربونية حدث فشل الربط لشرائح التقوية بعد وصول الشفة السفلى للمقطع الحديدي لإجهاد الخضوع.  
2- الأعتاب ذات شرائح التقوية بألياف الكربون غير المستمرة على طول الأنموذج كان تحملها للإنثناء أقل من الأعتاب ذات شرائح التقوية المستمرة على طول الأنموذج.

قام الباحث [26] [Kadhum 2009] بفحص 12 عتباً مركباً قصير الفضاء بطول (1m) اعتمد الباحث على نموذجين من الأعتاب المركبة (اعتاب سيطرة) دون تقويتهم بألياف الكربون تم تقوية النماذج الستة الأولى بألياف بوليمر كربونية من نوع (Sika CarboDur S512) في الوجهة السفلى من الشفة السفلى وبأستخدام الإيبوكسي من نوع (Sika dur 30) كمادة رابطة ويعرض تغليف للشريحة الواحدة قدرة (50mm) ولجميع النماذج وكان الإختلاف لهذه النماذج هو في طول وعدد طبقات شرائح التقوية بألياف الكربون أما النماذج المتبقية وعددها (4 نماذج) فقد تم استخدام وسائل الربط الميكانيكية المتمثلة بالربط بالبراغي بقطر (10 و5mm) لربط ألياف الكربون مع الشفة السفلى للعتب المركب فضلاً عن الإيبوكسي، وكانت التقوية بنفس النوع من ألياف البوليمر الكربونية وبنفس العرض للشرائح (50mm) والإختلاف كان بعدد طبقات التغليف وطول التغليف وبعد فحص النماذج وتحليل النتائج أستنتج الباحث بأن نماذج الأعتاب المركبة الستة الأولى والتي أستخدم فيها الإيبوكسي كمادة رابطة أستنتج بأن ألياف البوليمر ليس لها تأثير في ظهور الشق الأول في الجزء الخرساني من العتبات المركب ولكن فشل السحق لخرسانة الأعتاب حدث بعد مدة من إنفصال الألياف عن المقطع الحديدي . ولوحظ كذلك زيادة لحمل الفشل بمقدار (20%) بالمقارنة مع اعتاب السيطرة. أما نماذج الأعتاب المركبة التي أستخدم فيها الربط الميكانيكي بالبراغي والإيبوكسي فقد قورنت قابلية التحمل مع عتبات السيطرة إذ كانت أفضل النتائج فقد بلغت بزيادة (41.27%)، فضلاً عن تقليل مقدار الأود

ومن البحوث التي تناولت دراسة تأثير التغليف بألياف الكربون على مقاومة الإنثناء مقدمه الباحثون [22] [Mohamed et al 2009] بإجراء دراسة عملية على (4) أعتاب خرسانية مجوفة بأبعاد (1600\*200\*200) mm تم تقوية (3) أعتاب منها بعدد طبقات (1,3,5) على التوالي وتغليف كامل المقطع وبعد إجراء الفحص المختبري أظهرت نتائج الفحص زيادة في تحمل الإنثناء بمقدار (36,73,100)% بالمقارنة مع عتبات السيطرة.

قدم الباحثان [23] [Mohamed and al sulifany] [2013] دراسة عملية لتحري سلوك الإنثناء للأعتاب الخرسانية عند استخدام أشكال تغليف مختلفة حيث تم استخدام أعتاب بأبعاد (2350\*250\*150) mm واحدة اعتبرت عتبات سيطرة وأثنان تم تغليفها على شكل حلقات حرف (U) والبقية تم تغليف المقطع كامل وبعد إجراء الفحص المختبري أستنتج الباحثون أن شكل التغليف له دور مهم في تحمل الإنثناء حيث كان تحمل الأعتاب المغلفة بالكامل هو الأعلى بالمقارنة مع بقية النماذج.  
4- تأثير التغليف الخارجي بألياف الكربون في مقاومة الإنثناء للأعتاب المركبة

قام الباحث [24] [Shaah 2007] بإجراء دراسة عملية على مجموعة تتألف من (3) أعتاب مركبة رُمز لها (G1, G2, G3) كانت أبعاد النماذج الطول (6200mm) والمقطع الحديدي للعتب من النوع (W250 × 25) والجزء الكونكريتي من العتبات (Slab) بسمك (65mm) وعرض (500mm) تم استخدام نوعين مختلفين من ألياف البوليمر الكربونية لتقوية الأعتاب المركبة ورمز لها (C1 & C2) وكان الإختلاف لهذين النوعين هو بمعامل المرونة (C1=152 GPa) بينما (C2=313 GPa) أي ضعف النوع الأول تقريباً وهذه القيم المختلفة لمعامل المرونة لألياف الكربون أدت الى إختلاف في قيم عزم القصور الذاتي المنقول للأعتاب (G2 وG3) وحدوث إختلاف في قيم الجساءة وحمل الخضوع وأقصى حمل لتحمل النماذج وكانت التقوية في منطقة الشد في الوجهة السفلى من الشفة السفلى، تم اعتماد العتبات (G1) كعتب سيطرة، وفي حالة العتبات (G2) فقد تم تقويته بطبقتين من الألياف البوليمر الكربونية في الجزء الوسطي من الشفة السفلى من العتبات، الطبقة الأولى بطول (4000mm) أي حوالي (67%) من الطول الكلي للنموذج (ثلاثي الطول) وكانت أبعاد المقطع لطبقة ألياف البوليمر الكربونية هي (1.4×90mm) أما الطبقة الثانية فكانت بطول (1500mm) (ربع طول العتبات) وأبعاد المقطع لطبقة ألياف البوليمر هي (1.4×50mm) وكانت الطبقتان من نوع (C1). أما العتبات المركبة (G3) فكانت التقوية بألياف البوليمر الكربونية شبيهة بما موجود في (G2) إلا أن الطبقة الثانية ذات الطول (1500mm) هي من نوع مختلف (C2).

وكان الهدف من الدراسة العملية للباحث هو التحقق من تأثير التقوية بألياف البوليمر الكربونية للأعتاب المركبة والتي تكون أبعادها قريبة من الأبعاد الحقيقية، إذ أن طول النماذج أكثر من (6 أمتار) والمقارنة بين أنواع مختلفة من الألياف البوليمر الكربونية.

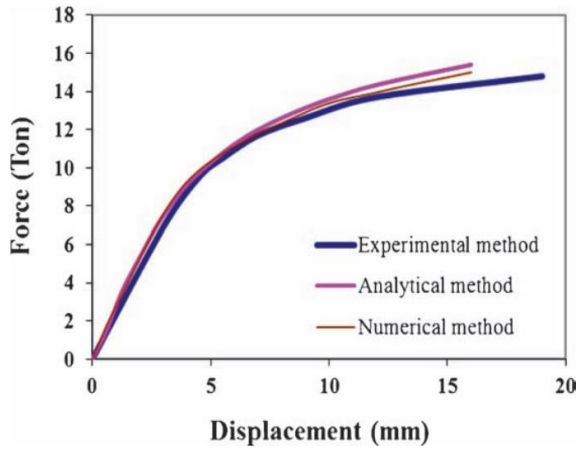
وبعد إجراء الفحص على النماذج وتحليل النتائج أستنتج الباحث مايلي:-

1- أن مقاومة الإنثناء زادت بمقدار 50%، 51% ل (G2 وG3) على التوالي مقارنة بمقاومة الإنثناء لعتبات السيطرة (G1).  
2- زاد حمل الخضوع المقاس بنسبة (14-21)% وزيادة في مقدار الجساءة بنسبة (17-19)% بالنسبة ل (G2 وG3) على التوالي بالمقارنة مع (G1).  
3- لوحظ بأن الفشل للربط في طبقة التقوية الثانية لألياف البوليمر الكربونية ذات الأنواع المختلفة (C1, C2) الموجودة في العتبات المركبة (G3) تحدث قبل الفشل بالطبقات الموجودة في العتبات المركبة (G2) والتي كانت من نوع واحد (C1) وكان فشل الربط للطبقة الثانية عند الأحمال (111 kN، 129kN) ل (111 kN)

الوسطي، ولم يلاحظ أي فشل بالربط لنماذج هذه المجموعة بين ألياف الكربون والشفة السفلى للمقطع الحديدي، والشكل التالي يوضح تفاصيل ابعاد النماذج مع التغليف.

الخرساني والمقطع الحديدي للاعتاب واعتماداً على موقع وطول التغليف بالإضافة الى عدد طبقات التغليف بألياف الكربون. قام الباحثان [28] [Mosavi and Nik 2014] بتهيئة نماذج من الاعتاب المركبة بطول (1.8m) وعرض السقف (45)cm وسمك (6.5)cm وتم استخدام الياق البوليمر الكاربونية بطول (1.5)m وعرض (7)cm في الجزء السفلي من الوتر Web، نموذجين اعتبرت اعتاب سيطرة وثلاثة تم تغليفها بالياق الكربون.

بينت النتائج العملية زيادة في قيمة حمل الفشل بنسبة (26)% بالمقارنة مع اعتاب السيطرة كذلك تقليل الأود الوسطي وزيادة في الجساءة بنسبة (25%) عملياً كذلك تم مقارنة نتائج الدراسة العملية مع نتائج معادلات عديدة ودراسة نظرية باستخدام برنامج ANSYS وتم التوصل الى توافق جيد بالنسبة لعلاقة الحمل- الأود كما موضح في الشكل (7).



الشكل(7): علاقة الحمل- الأود [28].

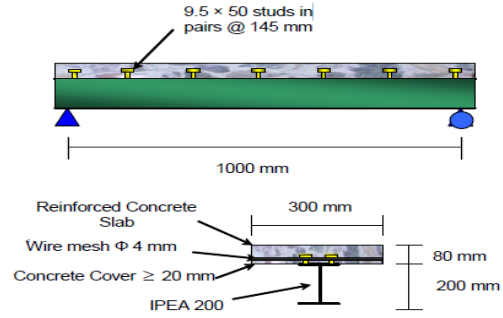
قدم الباحثان [29] [Makhlouf M. 2019] دراسة عملية باستخدام (9) نماذج بطول (1.5m) تحتوي على فتحات في المقطع الحديدي تم تقوية (8) نماذج منها بألياف البوليمر الكاربونية، اثبتت الفحوصات العملية ان ألياف الكربون تعمل على زيادة التحمل وتقليل الأود الوسطي وبنسب مختلفة حسب موقع وعدد طبقات الألياف.

قام [30] [Subhani M. et al. 2020] بأجراء دراسة عملية على (6) اعتاب مركبة بطول (2m) وعرض السقف (500mm) والسمك (50mm) واحدة منها اعتبرت سيطرة والمقطع الحديدي للنماذج بارتفاع (155mm) وعرض (75mm) تم تقوية (5) نماذج بألياف الكربون بمواقع مختلفة، توصلت الفحوصات العملية الى زيادة في مقدار حمل الفشل بالمقارنة مع عتب السيطرة وكان مقدار الزيادة تتراوح بنسب (0.38-41.22)% حسب موقع التغليف بالألياف بالإضافة الى تقليل الانزلاق بين السقف الخرساني والمقطع الحديدي.

5- استخدام الياق الكربون لمقاومة الإثناء للاعتاب ذات المقاطع الحديدية

قام [31] [Phares et al. 2003] بأجراء دراسة ميدانية لتقوية أحد الجسور (منشأ غير مركب) الموجود على نهر (Rhine) الذي يمر بين سويسرا والنمسا، وكان الطول الكلي للجسر (150ft) يتألف من (6) أعتاب ومواصفات المقطع الحديدي للاعتاب الخارجية هي (W27×48) وأما مواصفات المقطع الحديدي لبقية الأعتاب الداخلية فهي عتبتان (W27×91) وعتبتان (W27×98) موزعة بشكل متناظر حول (Center) Line للجسر. وبعد ظهور مشكلة زيادة في الحجم المروري على الجسر تم إختيار ألياف البوليمر الكاربونية لتقوية الأعتاب الحديدية موقعاً نتيجة لما تتمتع به من مميزات للإستعمال

الوسطي، ولم يلاحظ أي فشل بالربط لنماذج هذه المجموعة بين ألياف الكربون والشفة السفلى للمقطع الحديدي، والشكل التالي يوضح تفاصيل ابعاد النماذج مع التغليف.



الشكل (6): تفاصيل الأبعاد والتغليف للعتبات [26].

قدم الباحثان [27] [Al- and Aziz 2013] [Sulayfani] دراسة عملية شملت (14) عتب مركب ويطول (3000mm) تم تقويتها في منطقة الوتر (Web) بمساند (قطر 25mm) للتغلب على مشكلة الإلتواء (الإنبعاج)، تم إعتداد نموذجين كأعتاب سيطرة وبقية النماذج تم توزيعها على ثلاث محاور رئيسية تمثل الدراسة العملية لهذا البحث وكما يلي:-

1- المحور الأول: التعرف على موقع التغليف لنماذج الأعتاب المركبة بألياف البوليمر الكاربونية لإعطاء أفضل النتائج لمقاومة الإثناء، حيث تم تخصيص (6) أعتاب مركبة لهذا المحور تمت التقوية فيه على طول النماذج ولطبقة واحدة وبمواقع مختلفة.

2- المحور الثاني: التعرف على الطول الأمثل للتغليف بألياف البوليمر الكاربونية، وخصص لهذا الجزء (3) أعتاب مركبة تم التغليف فيها بأطوال مختلفة.

3- المحور الثالث: تأثير عدد طبقات التغليف بألياف البوليمر الكاربونية على مقاومة الإثناء للاعتاب المركبة، حيث تم تهيئة (3) أعتاب مركبة لهذا المحور.

وبينت نتائج الفحص لنماذج الأعتاب المركبة فعالية ألياف الكربون في زيادة حمل الفشل بنسبة (11-36)% وتقليل الأود الوسطي بنسبة (7-29)% بالإضافة الى تقليل الإنزلاق المقاس عند نهايات نماذج الأعتاب المركبة والحاصل بين الجزء

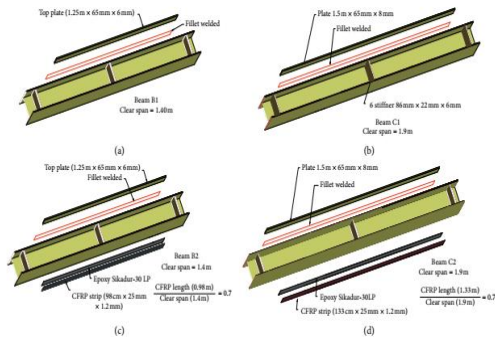
(Sikadur 30) كمادة رابطة بين المقطع الحديدي وألياف الكربون وكان طول النماذج المستخدمة هو (1000 mm). وبعد فحص النماذج وتحليل النتائج أستنتج الباحثون مايلي:-

1-زيادة في مقدار الحمل الأقصى للاعتاب المقواة بألياف الكربون في منطقة (Web) بالمقارنة مع عتب السيطرة (B1) فكانت الزيادة (51.67%، 51.41%، 43.48%، 35.89%) لكل من الأعتاب الحديدية (B5، B4، B3، B2) على التوالي.

2-لوحظ بأن مقاومة التحمل عند تقوية منطقة القص بمقدار 72% (العتب B2) و48% (العتب B3) من الجهتين لهما نفس مقدار الزيادة بالتحمل تقريباً (51.67% و 51.41%).

3-كانت النماذج المقواة من الجانبين بألياف الكربون قد أعطت أفضل النتائج لتقليل الأود في وسط الأعتاب على الرغم من حدوث نوعين من الفشل لألياف الكربون المستخدمة لتقوية الأعتاب الحديدية الأول هو فشل بالربط (Debonding) والثاني هو حصول قطع في الألياف في بعض مناطق التقوية.

قام [34] [AL-Ridh et al. 2019] بتهيئة أربع نماذج لها نفس المقطع قسمت الى مجموعتين المجموعة الاولى طول الاعتاب الحديدية (1.9)m والمجموعة الثانية بطول (1.4)m كل مجموعة تم التغليف بألياف الكربون بمنطقة الشد من الاسفل بطول (70%) من طول النموذج كما موضح في الشكل رقم (10)، وبعد فحص النماذج وجد الباحثون زيادة في حمل الفشل مقارنة مع النماذج الغير مغلفة بالألياف الفايبر وكانت نسبة الزيادة (38.88) و(52.17)% على التوالي بالاضافة الى زيادة في جساءة النماذج كذلك تبين بان قيمة الأود الوسطي والانفعال لنماذج المجموعة الثاني اقل من نماذج المجموعة الاولى .



الشكل (9): تفاصيل التغليف للعتبات الحديدية [34].

قام [35] [Faikha et al. 2019] بتهيئة 6 أعتاب حديدية بطول (0.8m) بهدف دراسة تقوية المقاطع الحديدية بألياف البوليمر الكربونية على مقاومة الانثناء كذلك على قيمة حمل الخضوع للمقاطع الحديدية ومقدار الأود الوسطي للنماذج والجدول رقم (1) يوضح تفاصيل النماذج المستخدمة من قبل الباحث، تم اختيار عتب سيطرة واحد وبقية النماذج تم تغليفها بثلاث طبقات كل طبقة بسمك (0.42mm) تم التغليف في مناطق مختلفة في الجزء السفلي للاعتاب بينت النتائج العملية زيادة في حمل الفشل بنسب (1.5-8.5)% وزيادة في حمل الخضوع بنسب (1.25-10)% حسب موقع التغليف بالألياف بالاضافة الى تقليل قيمة الأود الوسطي بالمقارنة مع عتب السيطرة.

جدول (1): تفاصيل النماذج للعتبات الحديدية [35].

الخارجي المتمثل بمقاومة التآكل والظروف الجوية المتمثلة بالتعرض المباشر لأشعة الشمس والأمطار وغيرها من المميزات الأخرى، وجميع الأعتاب للجرس تمت تقوية المقاطع الحديدية في الوجهة السفلي والعلوي من الشفة السفلى ولإختبار قابلية التحمل للأعتاب الحديدية المقواة موقعياً بألياف الكربون تمت في المرحلة الأولى دراسة سلوك الأعتاب الحديدية غير المقواة من خلال معرفة مقدار الأود الحاصل في الأعتاب عند حجم مروري معين. والمرحلة الثانية تمثلت بمقارنة الأود بعد التغليف عند زيادة الحجم المروري على الجسر ولسنتين متتاليتين (2004 و 2005) فوجد بأن لألياف الكربون قابلية جيدة لتقليل الأود الحاصل نتيجة لأحمال المركبات فضلاً عن الإمكانية العالية لمقاومة الظروف الجوية والتآكل بمرور الزمن.

قام [32] [Normashiri et al. 2010] بإجراء دراسة على أربعة أعتاب مكونة من مقاطع حديدية بطول (2350mm) لدراسة تأثير التقوية بألياف البوليمر الكربونية على مقاومة الإنثناء حيث رمز لنماذج الأعتاب الحديدية من (B1-B4) حيث ترك (B1) بدون أي تقوية (عتب سيطرة) و(B2) تمت تقوية بألياف الكربون وبأستعمال الإيبوكسي من نوع (Sikadur 30) كمادة رابطة والنموذجان (B3، B4) تمت تقويتهم بألياف الكربون ولكن بأستعمال الربط البراغي عدد(4) وبقطر (10mm) عند نهايات الأعتاب الحديدية بالاضافة الى الإيبوكسي، أستخدم الباحثون ألياف الكربون من نوع (Sika CarboDur S512/80) و بطول (1500mm) وعرض (50mm) وسمك (1.2mm) ولطبقة واحدة للأعتاب المقواة بألياف الكربون وبعد فحص النماذج وتحليل النتائج أستنتج مايلي:-

زيادة في مقدار الحمل الأقصى للعتب (B2) بالمقارنة مع عتب السيطرة (B1) بنسبة (13.51%) وبنسبة (21.57%) كمعدل للاعتاب (B4، B3)، كذلك لوحظ بأن الفشل الذي حدث لألياف الكربون في النموذج (B2) كان فشلاً بالربط (Debonding) وكذلك فشلاً بالانشرطار في وسط شريحة الألياف (Mid-Splitting) اما الفشل للنماذج المستخدمة فيها البراغي للربط (B3، B4) فضلاً عن فشل الربط (Debonding) والانشرطار في الوسط بشريحة الألياف (Mid-Splitting) فلوحظ بأن الألياف في منطقة الربط البراغي قد تعرضت للسحب نحو الخارج عند النهايات (End-Peeling out) كما موضح في الشكل (8).



الشكل (8): اشكال الفشل بالألياف [32]

قام [33] [Normashiri et al. 2010] بأجراء فحص على 5 أعتاب مكونة من مقطع حديدي لمعرفة تأثير تقوية منطقة القص في الوتر (Web) للعتب الحديدي، إذ رمز للنماذج من (B1-B5) حيث ترك النموذج (B1) بدون تقوية بألياف البوليمر الكربونية (عتب سيطرة) والعتب الثاني (B2) تمت تقوية بثلاث شرائح من ألياف الكربون ومن الجهتين للنموذج إذ تمت تغطية مايعادل 72% من منطقة القص، والعتب (B3) تمت تقويته بشريحتين من ألياف الكربون ومن الجهتين أي تم تغطية 48% من منطقة القص للعتب الحديدي، والعتب (B4) تمت تقويته كما في العتب (B2) ولكن التغليف من جهة واحدة، أما بالنسبة للعتب الأخير (B5) فقد تم تقويته كما في العتب (B3) ولكن من جهة واحدة أستخدمت ألياف بوليمر كربونية من نوع (Sika CarboDur S512/80) وأستخدم الإيبوكسي من نوع

بسيط إلى حد الأود الأقصى والمساوي (L/240) فقد ظهرت أثناءها الشقوق والتصدعات في منطقة الانتشاء من الأسفل، ثم رفع الحمل وتمت معالجة العتبات بوضع طبقة من ألياف الكربون بعرض 76mm، وطول 700mm في أسفل العتبتين (B3,B2)، أما العتبتان (B5,B4) فتمت معالجتها من الأسفل بألياف الزجاج وبنفس الأبعاد، ومن ثم أعيد فحص النماذج بعد مرور سبعة أيام من المعالجة ولوحظ ما يأتي:-

إن العتبتين (B3,B2) اللتين تمت معالجتهما بألياف الكربون حدث الفشل فيهما بالقص مع انفصال طبقة الكربون عن سطح الخرسانة وحمل فشل أكثر من أنموذج السيطرة (B1) بمقدار 38%، أما فشل العتبتان (B4,B5) المغلفتان بألياف الزجاج كان نتيجة الانتشاء مع تمزق الألياف الزجاجية أسفل العتبة، وكانت نسبة الزيادة في حمل الفشل مقارنة بأنموذج السيطرة (B1) 23%، وبالرغم من أن العتبات كانت مصممة على أن تفشل بالانتشاء لاحظ الباحثان إن العتبات المغلفة بألياف الكربون فشلت بالقص أي إنها أعطت تقوية إضافية لمنطقة الانتشاء مقارنة بألياف الزجاج، ولذلك اعتبر الباحثان الألياف الكربونية أفضل من الألياف الزجاجية في مجال إعادة التأهيل .

أجرى الباحثان [Abdel Hamid & Elshafie 2004] [40] دراسة حول استخدام صفائح الألياف الزجاجية في إعادة تأهيل عتبات خرسانية متضررة، وأجريت هذه الدراسة على ست عتبات بطول 2300mm، وبأبعاد مقطع (300×150)mm مصممة على أن يكون الفشل فيها نتيجة الانتشاء، واحدة من هذه العتبات (B1) أخذت أنموذجاً للسيطرة وذلك بتسليط الحمل عليها حتى الفشل، أما بقية العتبات (B6-B2) فتم تحميلها إلى حد 67% من حمل الفشل للعتبة المسيطرة (B1) فقد ظهرت الشقوق والتصدعات في الثلث الوسطي من العتبة بسبب تركيز العزم الأقصى، من ثم رفع الحمل وأعيد تأهيل العتبات عن طريق تغليفها خارجياً بصفائح الألياف الزجاجية بسماك 0.08mm وبأشكال مختلفة

وأعيد فحصها تحت أربعة أحمال متركزة واستنتج الباحثان بأن العتبات التي أعيد معالجتها ازداد فيها حمل الفشل بنسبة 8% للعتبة (B2)، و23% للعتبة (B3)، و31% للعتبة (B4)، و34% للعتبة (B5)، و60% للعتبة (B6) مقارنة بحمل الفشل لأنموذج السيطرة (B1)، كذلك لوحظ بأن الزيادة الحاصلة في حمل الفشل للعتبة (B6) هو أكثر من بقية العتبات، والسبب في ذلك أن هذه العتبة غلفت بالكامل (من الأسفل والجوانب). استنتجوا كذلك حدوث الفشل في العتبة المعاد تأهيلها بتمزق الألياف، وكذلك ازدياد قوة التحمل وجساءة العتبة وتقل مطيبتها بزيادة كمية الألياف المستخدمة في إعادة التأهيل.

قام [Magureanu et al.2007] [41] بدراسة مقاومة الانتشاء للعتبات المعاد تأهيلها باستخدام الياف الكربون في مجموعتين من العتبات المختلفة بالأبعاد وشكل التغليف. في المجموعة الأولى قام الباحثون بصب عتبتين خرسانيتين مسلحتين، وذات طول (550mm)، ومقطع مربع بأبعاد (100\*100)mm، بعد ذلك قام الباحثون بفحص إحدى العتبتين كعتبة سيطرة غير مغلفة بألياف الكربون إلى حد الفشل والعزم الناتج من الفشل رمز له

ب) ( $M^i_r$ ). أما الأنموذج الثاني فقد تم تسليط حمل عليه إلى

حد) ( $M^i_r$ )، ولقد شوهد بعد هذا الحمل شقوق احدهما بعرض (0.2mm) والثاني كان مائلاً بعرض (0.1mm)، بعد ذلك تم تغليف الأنموذج من الأسفل بطبقة واحدة من الأسفل اما المجموعة الثانية فقد قام الباحثون بصب عتبة خرسانية مسلحة ذات طول (3200mm)، ومقطع مستطيل بارتفاع (250mm)، وعرض (125mm). بعد تسليط حمل الفشل تم إعادة التأهيل للأنموذج بألياف الكربون، فقد تم تغليف الأنموذج من الأسفل، وكذلك غلف من جميع الجهات في منطقة ال (600mm) الوسط، ومن خلال فحص الأنموذج قبل إعادة التأهيل كان الأود للعتبة في

Mass,M	8.90 kg/m
Sectional area,a	11.40 cm <sup>2</sup>
Depth,D	100.00mm
Width of flange, B	50.00mm
Thickness of web, t	4.70 mm
Thickness of flange, l	7.00 mm
Maximum Flange slope, α	98.000
Radius at foot R <sub>1</sub>	9.00 mm
Radius at foot R <sub>2</sub>	4.50 mm
Moment of inertia about X-X axis, I <sub>x</sub>	183.00 cm <sup>4</sup>
Moment of inertia about Y-Y axis, I <sub>y</sub>	12.90 cm <sup>4</sup>
Radius of gyration about X-X axis, r <sub>x</sub>	4.00 cm
Radius of gyration about Y-Y axis, r <sub>y</sub>	1.05 cm
Modulus of section about X-X axis, Z <sub>x</sub>	36.60 cm <sup>3</sup>
Modulus of section about Y-Y axis, Z <sub>y</sub>	5.16 cm <sup>3</sup>

قام الباحث [36] [El.Mahdy G.M. 2019] بإجراء دراسة عملية لمعرفة سلوك الاعتاب ذات المقاطع الحديدية المقواه بألياف البوليمر الكربونية حيث تم استخدام (7) نماذج بطول (2.5m) وبأبعاد مقطع (150\*150mm) وتم تقويتها في مناطق الشد من الاسفل باطوال وعدد طبقات مختلفة، وبعد اجراء الفحص تبين زيادة في حمل الفشل وتقليل الأود الوسطي.

قام الباحثان [37] [Jagtap P.R. & Pore S.M.] باستخدام (4 نماذج) واحدة منها اعتبرت عتبة سيطرة بطول (1.5m) تم فحصها بإسناد بسيط وتسليط حمل مركزي في الوسط بعد تقوية النماذج بألياف الكربون في منطقة الشد وباطوال مختلفة، وبعد اجراء الفحص كانت نسبة زيادة التحمل هي (17-33-40)% حسب طول التغليف بالمقارنة مع عتبه السيطرة

6- سلوك العتبات الخرسانية المتضررة المعاد تأهيلها باستخدام ألياف البوليمر

من أهداف الدراسة التي قام بها [38] [Grace et al.2003] هي معرفة تأثير التغليف بألياف البوليمر في إعادة التأهيل، ومعالجة العتبات الخرسانية المتضررة، فأجرى الباحثين دراستهم على (14) عتبة خرسانية مستطيلة المقطع بعرض 152mm وبارتفاع 292mm، وطول 2740mm، وسلحت بحديد تسليح بحيث يتجنب فيها فشل الانتشاء، اثنان من هذه العتبات عدت نماذج للسيطرة فقد فحصت بتسليط قوة متركزة في منتصف العتبة حتى الفشل، أما بقية العتبات فقد فحصت أيضا بقوة متركزة إلى حد 85% من حمل الفشل لنماذج السيطرة، إذ ظهرت أثناءها شقوق القص على جوانب العتبة ومن ثم رفع الحمل وتمت معالجتها بتغليفها خارجياً بألياف البوليمر الكربونية (CFRP) وأعيد فحص هذه العتبات بعد تغليفها خارجياً وبأشكال مختلفة. واستنتج الباحثون إن التغليف الخارجي يزيد من حمل الفشل للعتبات المتضررة، المعاد تأهيلها ولوحظ أيضاً إن العتبات المغلفة من الأسفل والجوانب أي على شكل (U) تعطي زيادة في حمل الفشل وتقلل من الأود في العتبات أكثر من بقية الأشكال المعتمدة في التغليف، ويعتقد الباحثون أنه لو كان التغليف بصفيحتين من ألياف الكربون متعامدتين على بعضهما البعض مع التثبيت الجيد بالابوكسي على سطح الخرسانة يعطي أفضل النتائج من حيث حمل الفشل والأود في العتبة ويعد الشكل الأمثل في عملية التغليف .

قام الباحثان [39] [Buyukozturk and Hearing 2004] بدراسة تهدف إلى معرفة دور ألياف البوليمر في معالجة العتبات المتضررة شكل (11)، وأجريت هذه الدراسة على خمس عتبات خرسانية بطول 900mm، مصممة ليكون الفشل فيها فشل الانتشاء، واحدة من هذه العتبات سلط عليها حمل لغاية الفشل، وبذلك عدت أنموذج السيطرة (B1)، أما بقية العتبات فسلط عليها حمل تحت أربعة أحمال متركزة وإسناد



قام [Kumar P. et al. 2020] [44] باستخدام (5) نماذج خرسانية بطول (2m) وابعاد (150\*250mm) وتم تسليط احمال وقبل حدوث الفشل تم تقوية النماذج بألياف البوليمر الكربونية وباستخدام الايبوكسي كمادة رابطة وتم تسليط الاحمال لحد الفشل واثبتت النتائج المختبرية زيادة في تحمل الاعتاب المعاد تاهيلها.

#### 7-الاستنتاجات

من خلال البحث الحالي والذي يمثل مراجعة لأهمية الياف الكربون في تقوية واعادة تاهيل الاعتاب الانشائية يمكن استنتاج مايلي:-  
1-التقوية بألياف الكربون أدت الى تحسين الاداء في مقاومة الانثناء وحصول زيادة في حمل الفشل للأعتاب الانشائية.  
2-زيادة في تحمل قوى القص والالتواء للأعتاب الخرسانية المقواه بالياف البوليمر الكربونية.  
3-العمل على تقليل الود بالاضافة الى تقليل الانزلاق في الاعتاب المركبة والحاصل بين الجزء الخرساني والمقطع الحديدي.  
4- اثبتت الياف الكربون فعاليتها في اعادة تاهيل الاعتاب الخرسانية سواء للانثناء او للقص.  
5-لألياف الكربون القابلة على زيادة المطيلية والتي تعتمد على منحنى (الحمل-الود) للعتاب نتيجة لزيادة الاحمال بالاضافة الى تحمل الظروف الجوية.  
6- انواع تثبيت الالياف الكربونية تعتمد على نوع العتب، فالاعتاب الخرسانية يتم استخدام التثبيت بالمادة الرابطة (الايوكسي) في حين امكانية استخدام البراغي بالاضافة الى المادة الرابطة في الاعتاب الحديدي والمركبة.  
7-ان اكثر انواع الفشل التي تتعرض لها الاعتاب الخرسانية والمركبة هو فشل السحق للخرسانة كون الياف الكربون عملت على زيادة تحمل الانثناء اسفل المقطع (منطقة الشد) فاصبحت منطقة الانضغاط في الاعلى هي الاضعف اما في المقاطع الحديدي فان فشل يكون اما بالربط عند استخدام الايبوكسي او بانسطار الالياف عند استخدام الربط بالبراغي بين المقطع الحديدي والالياف

المنتصف عند الفشل (54mm)، وبعد اعادة التاهيل وجد ان سلوك العتبة كان خطياً الى حد (95%) من اعلى حمل تتحملة العتبة وبصورة عامة استنتج الباحثون أن التغليف بالياف الكربون للعتبات المعاد تاهيلها اعطت نتائج جيدة في مقاومة الانثناء، فقد زادت من قدرة العتبة الخرسانية لتحمل الاحمال المسلطة عليها.

قام الباحثان [Mohammed and Muhaidin 2010] [42] بدراسة دور التغليف الخارجي بشرائط الالياف الكربونية في مجال اعادة التاهيل، ومعالجة العتبات المتضررة والفائسلة في مقاومة القص. وقد قاما بصب ست عتبات خرسانية سلحت بحيث تتجنب الفشل في مقاومة الانثناء إذ أن اثنتين منها ترك فيها فضاء القص بدون حديد تسليح القص وتغليف خارجي وتسليح داخلي بشرائط الالياف، والعتبات الأربعة المتبقية سلح فيها فضاء القص داخلياً من كل جهة للعتبة بثلاث حلقات من حديد التسليح للقص بقطر 10mm وبمسافة 75mm بين مركز قضبان الحلقات، اثنتان من هذه العتبات تميل فيها الحلقات بزواوية (90°) في حين تميل الحلقات بزواوية (45°) في عتبتين أخريين. وبعد فحص جميع العتبات تم اعادة تاهيلها ومعالجتها بتغليفها خارجياً من الاسفل والجوانب اي على شكل حرف (U) بطبقة واحدة من شرائط الياف الكربون وبزوايا (90-45) نسبة للمحور الطولي للعتبة وبعد المعالجة تم فحص جميع العتبات، واستنتج الباحثان من النتائج المستحصلة قبل المعالجة وبعدها أن التغليف الخارجي بشرائط ألياف الكربون أسهم بشكل كبير في إعادة تاهيل العتبات المتضررة من خلال زيادة حمل الفشل فيها مقارنة بحمل الفشل للعتبات نفسها قبل إعادة التاهيل، واستنتج الباحثين بان التغليف الخارجي بزواوية (45°) يعطي زيادة أكثر في حمل الفشل من التغليف بزواوية (90°)، وعلل الباحثان ذلك بان شقوق القص التي تتولد أثناء الفشل تكون عمودية على شرائط الالياف، وبذلك تتعرض هذه الشرائط إلى قوى قص حقيقية.

قام [Golias E. et al. 2020] [43] باستخدام ألياف البوليمر الكربونية في اعادة تاهيل (6) نماذج خرسانية بعد تسليط عليها احمال اقل من حمل الفشل، النماذج تمثل مفاصل الربط بين الاعمدة والجسور حيث كانت ابعاد الاعمدة والجسور متساوية (250\*350mm) حيث تمت التقوية في مناطق الربط واثبتت الالياف فعاليتها في اعادة التاهيل

#### 8-المصادر

- [1] N. A. Ragab, "Strengthening of Steel-Concrete Composite Girders Using Various Advanced Composite Materials", *M.Sc., Thesis, University of Calgary, Alberta*, 2007.
- [2] D. Duthinh and M. Starnes, "Strength and Ductility of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP and Steel", *National Institute of Standards and Technology, Nistir 6830*, pp.1-16, 2001.
- [3] M. Tavakkolizadeh and H. Saadatmanesh, "Strengthening of Steel-Concrete Composite Girder Using Carbon Fiber Reinforced Polymers Sheets", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 129, No.1, January 1, pp.30-40, 2003.
- [4] J. G. Teng, J.F. Chen, S.T. Smith and L. Lam, "FRP Strengthened RC Structures", *John Wiley & Sons, England*, 2002.
- [5] E. Fitzer, J.L. Figuciredo, C.A. Bernard, R.T.K. Baker and K.J. Huttinger, "In Carbon Fibers Filaments and Composites", *Kluwer Academic Dordrecht*, pp3-41, 2000.
- [6] A. Carolin, "Carbon Fiber Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements", *Ph.D.Thesis, University of Lulea, Sweden*, pp.194, 2003.
- [7] M. Lu and Q. Shi, "The Bend Stiffness of Crane Beam Strengthened with CFRP under Monotonic and Fatigue Load Condition", *International Journal of Nonlinear Science*, Vol. 4, pp. 44-51, 2007.
- [8] A.L. Gamino and T.N. Bittencourt, "Reinforced Concrete Beams Strengthened With CFRP: Experimental Analytical and Numerical Approaches", *FRPRCS-8, University of Patras, Greece*, Vol.3, No.2, pp.1-9, July 2007.
- [9] R.Y. Joseph, S.P. Gross, D.W. Dinehart and J.J. Mildenberg, "Flexural Behavior of Concrete Beams Strengthened with Near-Surface-Mounted CFRP Strips", *ACI Structural Journal*, Vol. 104, No. 4, pp. 44-51, 2007.
- [10] Q.F. Hassan, "Behavior of CFRP Strengthened Reinforcement Concrete Beams Under Cyclic Loading", *Doctoral Thesis Department of Civil Engineering, Nahrain University, Baghdad, Iraq*, pp.180, 2007.
- [11] M. AL-Sefy, M. Elafandy and A.A. Abdelrahman, "Strengthening of RC continuous Slabs Using Externally Bonded Prestressed CFRP Laminates", *Civil Engineering Research Magazine*, Vol.38 Issue:1, 2016.

- [12] M.A. Mashrei and A. Sultan, " Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)Sheets with Grooves", *Latin American Solids and Structures Journal*, Vol.16, Issue:4, 2019.
- [13] N. F. Grace , A.K. Soliman , G. Abdel-Sayed and K.R. Saleh, "Behavior and ductility of simple and continuous FRP reinforced beams", *Journal of composites for construction*, Vol. 2, No.4, pp.186-194, 1998.
- [14] A. Li , J. Assih and Y. Delmas, " Shear strengthening of RC beams with externally bonded CFRP sheets", *Journal of structural engineering*, Vol. 127, No. 4, pp. 374- 380, 2001.
- [15] C. Deniaud and J.J.R. Cheng, "Shear behavior of reinforced concrete T-beams with externally bonded fiber-reinforced polymer sheets", *ACI Structural Journal*, Vol. 98, No. 3, pp.386-494, 2001.
- [16] C. Pellegrino and C. Modena, "Fiber reinforced polymer shear strengthening of reinforced concrete beams with transverse steel reinforcement", *Journal of composite for construction*, Vol. 6, No.2, pp.104-111, 2002.
- [17] O. Buyukozturk , O. Gunes , E. Karaca , "Characterization and modeling of debonding in RC beams strengthening with FRP composites", *15<sup>th</sup> ASCE Engineering Mechanics Conference , Columbia University*, pp.1-8, 2002.
- [18] F. Micelli, R. Annaiah and A. Nanni , " Strengthening of short shear span reinforced concrete T joists with Fiber-Reinforced plastic composites", *Journal of composite for construction*, Vol.6, No.4, pp.264-271, 2002.
- [19] Y. Murad, " The Influence of CFRP Orientation Angle on the Shear Strength of RC Beams", *The Open Construction and Building Technology Journal*, Vol.12, pp 269-281, 2018.
- [20] H. H. Mahhana , R.A. Hawileh and J.A. Abdullah, " Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using CFRP Wraps", *Procedia Structural Integrity Journal*, Vol.17, pp214–221, 2019.
- [21] M. L. Abd, "Shear Behavior of RC Beams Strengthened By CFRP Strips", *Journal of applied Engineering Science*, Vol.8, Issue:1, pp.250-258, 2021.
- [22] M. R. Mohammad, M.J. Fadaee and H.R Ronagh "Improving Torsional Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite," *Iranian Polymer Journal*, Vol.18, No.4, pp. 315-327, 2009.
- [23] K.I. Mohammad and B.J. Al-Sulayfani, " Torsional Strengthening of RC Beams with CFRP Wrap ", *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, Vol.20 Issue:3, pp.1-9, 2013.
- [24] A.A.S. Shaat, "Structural Behavior of Steel Columns and Steel-Concrete Composite Girders Retrofitted Using CFRP", *Ph.D Dissertation, Queen University*, 2007.
- [25] H. E.M. Sllam, A.A.M. Badawy, A.M. Saba, "Flexure Behavior of Strengthened Steel-Concrete Composite Beams By Various Plating Methods", *Journal of Construction Steel Research*, pp. 1081-1087, 2009.
- [26] A. F. Kadhum, "Structural Behavior for Short Span Composite Beams Strengthened By CFRP Sheets ", *Ph.D.Thesis, University of Technology, Iraq*, 2009.
- [27] B. J. Al-Sulayfani and I.A. Aziz, "Behavior of Composite Beams (Steel-Concrete) Strengthened BY CFRP Sheets Under Repeated Loading", *AL-Rafidain Engineering Journal*, Vol.21, Issue:2, pp.12-26, 2013.
- [28] M.S. Mosavi and S.A. Nik, " Strength of (Steel-Concrete) Composite Girder Using CFRP Plates", *Indian Academy of Sciences*, Vol.40, Issue:1, pp.249-261, 2015.
- [29] M. H. Makhlof, " Strengthening of Composite Steel-Concrete Beams Openings by Adopting Different Reinforcement Methods", *Advances in Research Journal*, Vol. 19, No. 2, pp 1-17, 2019.
- [30] M. Subhani, R. AL-Ameri and M. I. Kabir , " Strengthening of steel-concrete composite beams with composite slab", *Steel and Composite Structures Journal*, Vol. 34, No. 1, pp 91-105, 2020.
- [31] B.M. Phares , T.J. Wipf and F.W. Klaiber , A. Abu-Hawash and Y. Lee, " Strengthening of Steel Girder Bridges Using FRP", *Proceed of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa, www.iowadot.gov*, August 2003.
- [32] K. Normashiri, M. Jumaat and N.h. Sulong, "Investigation on end anchoring of CFRP Strengthened Steel I-beams", *International Journal of the Physical Sciences*, Vol.5, Issue 9, pp.1360-1371, 2010.
- [33] K. Normashiri, M. Jumaat and N.h. Sulong, "Shear Strengthening of Steel I-beam by Using CFRP Strips", *Scientific Research and Essays*, Vol.5, Issue16, pp.2155-2168, 2010.
- [34] S.A. AL-Ridha, F.A. Atshan, S.K. Mahmoud and K.Q. Hameed, "Effect of Strengthening of Steel Beams with Variable length by using carbon fiber", *Journal of Engineering*, Vol.2019.
- [35] V. P. Faikha, N. Ramesh, S. Shilpa, S. Nassar and A.A. Kunju, "Flexural Strengthening of steel beams using CFRP sheets", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol.6 Issue:5, 2019.
- [36] G. M. EL-Mahdy, " Strengthening of Corroded Steel Structures Using CFRP", *Housing and building National Research Center*, 2019.
- [37] P.R. Jagtab, and S.M. Pore, " Shear Strengthening Of Steel Beam With Cfrp Composites", *International Journal of Scientific & Technology Research*, Vol. 9, ISSUE 2, 2020.
- [38] N. F. Grace , G.A. Sayed , A.K. Soliman and K.R. Saleh, "Strengthening reinforced concrete beams using fiber Reinforced polymer (FRP) laminate", *ACI Structural Journal*, Vol. 96, No. 5, pp. 865-874, 2003.
- [39] O. Buyukozturk and B. Hearing , "Failure behavior of Precracked concrete beams retrofitted with FRP", *Journal of Composites for Construction* , Vol. 13, No. 4, pp. 138-144, 2004.

- [40] A. Abdel Hamid and H. Elshafie , " Retrofitting of reinforced Concrete beams using advanced composite overlayers", *Cement And Concrete Composites*, Vol. 19, No. 8, pp.18-29, 2004.
- [41] C. Magureanu , B. Heghes and A. Chiorean, "Strengthening with Carbon Fibers Experimental Study", *FRPRCS-8, University of Patras, Greece*, Vol. 3, No. 13, pp.1-6, 2007.
- [42] B.J. Mohammed and B.A. Muhaidin, "Effect of Externally Bonded strips of Polymer Fiber on the Shear Strength of RC Beam", *Kirkuk University Journal*, Vol.5, Issue:1, 2010.
- [43] G. Adnantis, S. Danai and K. Chris," Application of X-Shaped CFRP Ropes for Structural Upgrading of Reinforced Concrete Beam–Column Joints under Cyclic Loading–ExperimentalStudy", <https://www.mdpi.com/journal/fibers>.
- [44] P. Kumar, S. Bishnoi and B. Bhattach," Influence of CFRP Strand Sheet on Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beam", *Journal of Advanced Concrete Technology* ,Vol. 18, pp778-793, 2020.

## State-of-the-art for Strengthening and Rehabilitating Structural Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymers Configurations (A Review)

**Islam Abdullah Aziz\***  
[islamabd@uomosul.edu.iq](mailto:islamabd@uomosul.edu.iq)

**Khalaf Ibrahim Mohammed\*\***  
[kimjebouri@uomosul.edu.iq](mailto:kimjebouri@uomosul.edu.iq)

\* Mechatronics Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

\*\* Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

### ABSTRACT

*The technique of using carbon polymer fibers to strengthen and rehabilitate structural beams considered one of the modern techniques that have proven its effectiveness in various civil engineering projects. From this point of view, this review came to clarify the practical benefit of using this technology to inform researchers and workers in the construction sector about it and to provide modern sources for those wishing to conduct More researches in the field of strengthening and rehabilitating concrete, iron and composite structural beams and highlighting the studies that dealt with flexural, shear and torsion resistance of beams and reinforced with carbon polymer fibers externally or internally .*

### Keywords:

*Carbon Fiber; flexure; shear; concrete beams; composite beams.*