



ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: <http://www.tj-es.com>

TJES
Tikrit Journal of
Engineering Sciences

Saadoon AS, Abbas AM, Khalaf AA. The Attitude of Load-Deflection for Concrete Beams with Polymer Reinforcement. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2019; 26(4): 32-37.

Ahmed Sagban Saadoon*
Abdulnasser Mohammed Abbas
Ali Abdulhasan Khalaf

Civil Engineering Department,
Engineering College, Basrah
University, Basrah, Iraq

The Attitude of Load-Deflection for Concrete Beams with Polymer Reinforcement

ABSTRACT

In this research, the load-deflection behavior is explored for concrete beams reinforced with FRP bars (polymer reinforcement). An experimental test is done for a total of five beams subjected to 4-point loading. The tested specimens are of dimensions; 2100 mm (length), 200 mm (width) and 300 mm (depth), while the used compressive strength for concrete is $f'_c = 60$ MPa. Four beams were longitudinally reinforced by various CFRP rebar numbers, and the last beam was reinforced only by steel bars as control beam. Relationships for load-deflection were drawn and the influence of several factors was debated on this relationship. It was exhibited that the failure of FRP reinforced samples was generally ruled by the concrete strength. When the ratio of reinforcement rising by 50%, 100% and 150%, the ultimate load increased by 15%, 29% and 38%, respectively, while the recorded deflection at ultimate load decreased by 7%, 16% and 24%, respectively. For the ultimate load of the studied beams, outcomes exhibited that the equations of the American code ACI 440.1R give very close values with the test values, while they give very conservative values to the deflection at ultimate load which are smaller than the test values by about (37%-45%).

@2019 TJES, College of Engineering, Tikrit University

Keywords:

Load-Deflection
Polymer Reinforcement
Concrete Beams
Reinforcement Ratio
Point Loading

ARTICLE INFO

Article history:

Received 03 August 2019
Accepted 26 November 2019
Available online 29 December 2019

DOI: <http://doi.org/10.25130/tjes.26.4.05>

سلوكية الحمل-الأود للعتبات الخرسانية ذات التسليح البوليمري

احمد صكبان سعدون/ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة البصرة، البصرة، العراق
عبدالناصر محمد عباس/ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة البصرة، البصرة، العراق
علي عبد الحسن خلف/ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة البصرة، البصرة، العراق

الخلاصة

يقدم البحث الحالي دراسة تجريبية لسلوك الحمل-الأود لعتبات مصنعة من خرسانة ذات تسليح بوليمري (قضبان من ألياف الكربون البوليمرية). أجريت فحوصات تجريبية لخمس عتبات ذات اسناد بسيط ومعرضة الى قوتين نقطيتين رأسيتين. جميع العتبات كانت بنفس الأبعاد (2100mm) طول كلي و(300mm) ارتفاع و(200mm) عرض وكانت مقاومة انضغاط الخرسانة لها (60MPa). سُلِّحَت أربع عتبات طولياً بقضبان بوليمرية (CFRP) بنسب تسليح مختلفة بينما سُلِّحَت عتبة واحدة بقضبان حديدية كعتبة سيطرة. رُسمت علاقة الحمل-الأود لجميع العتبات ونوقش مدى تأثير سلوكية الحمل-الأود بتغيير بعض المتغيرات. لوحظ بأن الفشل في العتبات ذات التسليح البوليمري يكون محكوماً عادةً بمقاومة الخرسانة، وأن الزيادة في كمية التسليح بقضبان المركبات البوليمرية بمقدار 50% و 100% و 150% قد أدت الى ارتفاع مقدار الحمل الأقصى بنسبة 15% و 29% و 38% على التوالي، بينما أدت الى تناقص بمقدار الأود عند الحمل الأقصى بنسبة 7% و 16% و 24% على التوالي. ولوحظ أيضاً أنه بالنسبة للحمل الأقصى فإن معادلات المدونة الأمريكية ACI 440.1R تعطي قيمة قريبة جداً من القيم التجريبية لكل نسب التسليح المستخدمة، ولكنها تعطي قيمة منخفضة جداً للأود عند الحمل الأقصى وأقل بحوالي (37%-45%) من القيم التجريبية.

الكلمات الدالة: الحمل-الأود، قضبان تسليح بوليمرية، عتبات خرسانية، نسبة التسليح، تحميل نقطي.

* Corresponding Author: E-mail: ahmsag@gmail.com

1. المقدمة

في الاعضاء الخرسانية تعتمد المقاومة القصوى على المادة المستخدمة في التسليح. ولكثرة مشاكل الديمومة والتآكل في الحديد المسلح العادي خاصة عند الاجواء القاسية، فقد ظهرت هناك مواد بديلة اخرى للتسليح كالمركبات البوليمرية (عناصر مركبة منتجة من ألياف تسليح ومادة لاصقة). أدخلت المواد المذكورة آنفاً في العديد من المنشآت الهندسية، فقد تم الاستفادة منها لايجاد متطلبات إداء أفضل بسبب خصائصها المميزة، فقد استخدمت في صناعة القوالب وفي التصميم الزلزالي لتقوية المنشآت [1]، كما وقد تم ادخالها في تطبيقات انشائية كثيرة كصفائح أو أشرطة أو قضبان تسليح، ويكون استخدامها إما كتسليح بديل لحديد التسليح الاعتيادي أو لتقوية ومعالجة أعضاء انشائية متضررة، حيث تستخدم كتسليح داخلي أو خارجي لتقوية الاعمدة والسقوف والعتبات.

لقد لاقت القضبان البوليمرية كمادة تستخدم في التسليح قبولاً كبيراً مقارنة بالقضبان المسلحة الاعتيادية، خصوصاً في المنشآت المعرضة الى بيئات قاسية. فبالإضافة الى كون قضبان البوليمر ذات طبيعة مقاومة للتآكل (وهذا ما يحسن ديموميتها) فإنها تمتلك مقاومة تحمّل أعلى بكثير من قضبان الحديد، ومع ذلك فعادةً ما يكون معامل المرونة لها أقل مما لقضبان الحديد، وهذا بدوره سيؤدي الى تشوهات وتشققات بدرجة أعلى من الاعضاء المماثلة ذات التسليح الحديدي. ولذلك فإنه في اغلب الاحيان، يكون التصميم بالقضبان البوليمرية محكوماً بالمتطلبات الخدمية [2].

2. مراجعة المصادر

تم اجراء بحوث عديدة لدراسة سلوك الانشائي للعتبات ذات التسليح البوليمري (بالقضبان البوليمرية). فقد قُدمت في عام 1971 دراسة عملية لفحص عتبات بتسليح بوليمري واستنتج منها بأن فشل الانضغاط لتلك العتبات قد حدث قبل ان تتمزق القضبان البوليمرية ومن ثم فإن تلك القضبان لم تصل ابدأ الى مقاومتها القصوى [3]. وأجريت في عام 1991 دراسة تضمنت عدة فحوصات لعدد من العتبات ذات التسليح البوليمري ووضعت معادلات لتقدير مقاومة تلك العتبات باستخدام خصائص قضبان البوليمر وحُصل منها على تقديرات جيدة [4]. وقام باحثون في عام 1991 بدراسة استخدموا فيها قضبان بوليمر مختلفة الانواع، وقد سجلوا فرقاً في القيمة بين الحمل العملي الى النظري بمعدل (0.876) [5]. تم تقديم نموذج تحليلي في عام 1997 لغرض تقدير مقاومة الانحناء لعتبات ذات تسليح بوليمري وفُورنت القيم المستقاة من الانموذج التحليلي مع تلك المستحصلة تجريبياً وتم الحصول على توافق ملائم بين البيانات الناتجة بالنسبة لعلاقاتي العزم-التقوس والحمل-الاد [6]. وفي عام 1998 أجريت دراسة لأثر نسبة التسليح ومقاومة الخرسانة على سلوك الانثناء لعتبات ذات تسليح بوليمري، وتم الاستنتاج من تلك الدراسة بأن تأثير نسبة التسليح ومقاومة الخرسانة على المسافة الفاصلة بين الشقوق يكاد يكون معدوماً وبزيادة كمية التسليح يقل ارتفاع وعرض الشقوق [7]. وقام باحثون في عام 2001 باجراء دراسة تجريبية مستخدمين جيلاً جديداً من قضبان البوليمر وقد وجدوا بأن استخدامه في العتبات أعطى سلوكية مقارنة بما هو موجود في العتبات ذات التسليح بقضبان الحديد [8]. وفي بحث مقدم في عام 2013 تمت دراسة السلوك الخدمي للعتبات المشفهة ذات التسليح البوليمري [9]، في حين تحرّت دراسة حديثة السلوك الالتوائي لعتبات مقواة بألياف الكربون واستخلصت منها نتائج تشمل زاوية ومقاومة الالتواء ونسبة التحسن في الاداء [10]. وقُدمت دراسة نظرية لتقوية العتبات بشرائط الفايبر المسبقة الاجهاد وتم اشتقاق معادلة وضعية لحساب الاجهاد في شرائط الفايبر [11]. وتناول بحث آخر دراسة سلوك عتبات خرسانية ذات المساحيق الفعالة

والمقطع T المحتوية على فتحات بعد اصلاحها بالالياف البوليمرية [12].

تهدف هذه الدراسة لتبيان سلوك الحمل-الاد للعتبات ذات التسليح البوليمري والاسناد البسيط والمعرضة الى تأثير قوتين رأسيين نقطيتين، وتم أخذ نسبة التسليح كمغير رئيس لدراسة تأثيره على سلوكية العتبات المدروسة.

3. العمل التجريبي

أجري في هذا البحث فحصاً مختبرياً لعينة من العتبات بسيطة الاسناد وباستعمل التحميل الرباعي النقطي (حملان نقطيين من الاعلى يمثلان القوتين المسلطتين بالإضافة الى حملين نقطيين من الاسفل يمثلان ردي فعل المسندين). وقد سلّخت هذه العتبات طولياً بقضبان من (CFRP) الياف الكربون البوليمرية بمساحات مختلفة للتسليح. ومن ثم رُسمت علاقة الحمل-الاد لهذه العتبات ونوقش تأثير نسبة التسليح على هذه العلاقة. صُممت العتبات بحيث يحدث فشل الانضغاط في الخرسانة في منتصف العتبات أو تحت نقط تسليط القوى العمودية.

3.1 نماذج الفحص

تم صب (5) عتبات خرسانية بطول كلي (2300mm) وبمقطع عرضي أبعاده: (200mm) عرض و(300mm) ارتفاع. سلّخت أربع من هذه العتبات طولياً بقضبان (CFRP) الياف الكربون البوليمري وللعتبة الخامسة تم استخدام حديد اعتيادي لتمثل عتبة سيطرة. تم استعمال قضبان ذات قطر (9.5mm) للعتبات ذات التسليح البوليمري وبعده قضبان تسليح مختلفة: 4 و 6 و 8 و 10 قضبان مرتبة بطبقتين (أي بنسبة تسليح 0.0055 و 0.0082 و 0.0109 و 0.0137 على التوالي). أما في عتبة السيطرة فقد تم استخدام قضبان حديد ذات قطر (10mm) بعدد 4 قضبان (وتم اختيار هذا القطر لأنه مساوٍ تقريباً للقطر المستخدم من البوليمر، إذ ان العثور على ذلك المقاس قد تعدّر). تم استخدام قضيبين من الحديد (بقطر 8mm) لجميع العتبات في الاعلى بالإضافة الى تسليح قص من قضبان الحديد بقطر (6mm) كل (20mm) وكانت مقاومة انضغاط الخرسانة المستخدمة بحدود (60MPa) مستحصلة من فحص مكعبات خرسانية (150×150×150mm). جدول 1 يبين تفاصيل نماذج الفحص. اعتمد في عنوان نماذج الفحص على نوع قضبان التسليح (FRP ترمز لقضبان البوليمر أو S ترمز لقضبان الحديد) وعدد قضبان التسليح (4 و 6 و 8 و 10).

3.2 خصائص المواد المستخدمة

تم صب النماذج باستخدام خرسانة اعتيادية الوزن بنسبة خلط وزنية (1:1:2) وبنسبة ماء الى اسمنت (0.30). وكانت مقاومة الانضغاط لهذه الخرسانة بحدود (60MPa) (من خلال فحص مقاومة الانضغاط لثلاثة مكعبات خرسانية (150×150×150mm) بعمر (28) يوم وايجاد المعدل لها). وجدول 2 يعرض خصائص قضبان البوليمر المستعملة (بحسب المصنّع) وخصائص قضبان الحديد المستخدمة التي وجدت من فحوصات الشد (المختبرية) للاقطار الثلاثة المستخدمة حيث تم فحص ثلاثة نماذج لكل قطر وتم أخذ المعدل لها. تم صبغ العتبات قبل الفحص لغرض تحديد ومتابعة نشوء التشققات التي تظهر أثناء الفحص.

3.3 طريقة الفحص

تم وضع العتبات على مسندين نصف كروي (اسناد بسيط) المسافة بينهما (2100mm) وهي تمثل طول الفضاء للعتبات المفحوصة. ومن ثم سلّط الحمل بواسطة جهاز فحص عام

إيقاف التحميل لمدة ثلاث دقائق وإبقاء الحمل ثابتاً ليتسنى تسجيل مقدار الأود عند منتصف العتبات (بواسطة جهاز (Dial gauge) موضوع أسفل منتصف العتبة) وتحديد وترقيم جميع الشقوق وارتفاعها لجميع مراحل التحميل وحتى حصول الفشل. يوضح **شكل 2** الفحص المختبري لأحدى العتبات.

(سعة 1000kN) من خلال صفيحة تحميل حديدية لكي يتم تقسيم الحمل المسلط الى قوتين متساويتين (كما في **شكل 1**) المسافة بينهما ثلث فضاء العتبات مما يجعل فضاء القص بنفس هذه المسافة أي ثلث فضاء العتبات (700mm). تم تسليط الحمل لغاية الفشل وبشكل تدريجي بزيادة مقدارها (5kN)، وبعد كل زيادة تم

جدول 1

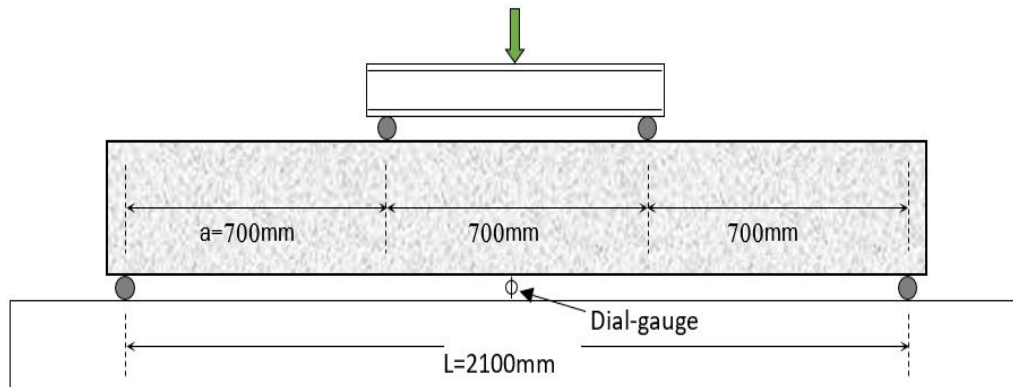
تفاصيل نماذج الفحص

Beam designation	Depth (mm)	Width (mm)	Span (mm)	Concrete compressive strength (MPa)	Number of FRP bars
S-4	300	200	2100	60	-
FRP-4	300	200	2100	60	4
FRP-6	300	200	2100	60	6
FRP-8	300	200	2100	60	8
FRP-10	300	200	2100	60	10

جدول 2

خواص قضبان التسليح الميكانيكية

Bar type	Diameter	Ultimate strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)
Steel bar	6	420	201
Steel bar	8	550	198
Steel bar	10	560	202
FEP bar	9.5	1800	122



شكل 1: رسم تخطيطي لإعداد الفحص

4. مناقشة النتائج

دُوّنت قيم الحمل والأود المقابل له لغرض دراسة سلوك الحمل-الأود للعتبات المفحوصة. في **جدول 3** تم عرض النتائج المستقاة من العتبات التي تم فحصها. يعرض **شكل 3** منحنى الحمل-الأود للأود للعتبتين (S-4) و (FRP-4)، أما منحنى الحمل-الأود لجميع العتبات ذات التسليح البوليمري فقد تم عرضه في **شكل 4**.

يمكن تقسيم منحنى العلاقة في **شكل 3** الى أجزاء لغرض المناقشة. الجزء الابتدائي من المنحنى يكون خطياً وذو ميل كبير حيث يتناسب الأود مع الحمل المسلط وحتى حمل التشقق (P_{cr})، وهذا الجزء يمثل سلوكية العتبات قبل ان تتعرض للتشقق، اي يعتبر العتب جزء واحد غير متشقق، وذلك يعني ان المقطع كامل (عزم القصور الذاتي الكلي) يستعمل في مقاومة الاحمال. وكما في **الشكل 3** فإن سلوكية كلا العتبتين (ان كان التسليح بوليمري أو



شكل 2: عتبة اثناء الفحص المختبري

قيمته عند خضوع الحديد. ولغرض المناقشة فقد تم اعتبار الحمل الخدمي للعتبات بأنه الحمل المساوي لتقريباً 50% من الحمل الأقصى لعتب السيطرة (S-4) أي بحدود ($P_{ser}=70kN$) [2]. أن الأود عند الحمل الخدمي للعتبة (FRP-4) يكون أكبر بحوالي 40% مما في العتبة (S-4)، شكل 3. أما قيمة الحمل الأقصى للعتبة (FRP-4) فتكون أكبر مما للعتبة (S-4) بنسبة 88% تقريباً، في حين يكون الأود عند الحمل الأقصى للعتبة (FRP-4) أكبر بحوالي 12% مما في العتبة (S-4).

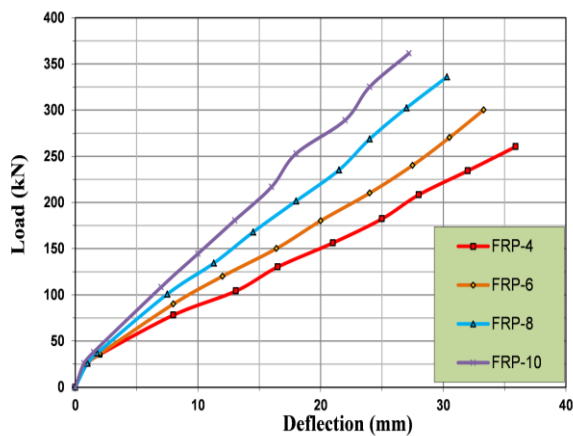
ومن ملاحظة شكل 4 يتبين أن الزيادة في كمية التسليح بقضبان البوليمر تسبب تزايد في سعة التحمل (الحمل الأقصى) ونقصاناً في قيمة الأود عند الحمل الأقصى. فعند حدود الحمل الخدمي وبالمقارنة مع العتبات (FRP-4) يُلاحظ أن مقدار الأود يقل بنسبة 14% و 35% و 42% عندما تزداد كمية التسليح 50% و 100% و 150% على التوالي. أما عند المقارنة في الحالة القصوى مع العتبات (FRP-4) فقد وجد إن مقدار الحمل الأقصى يزداد بنسبة 15% و 29% و 38% عندما تزداد كمية التسليح 50% و 100% و 150% على التوالي في حين يقل مقدار الأود المسجل بنسبة 7% و 16% و 24% لنفس الزيادات في كمية التسليح على الترتيب. إن جميع العتبات ذات التسليح البوليمري قد فشلت بالانضغاط من خلال سحق الخرسانة في منتصف العتبات وعليه فإن الفشل في هذه العتبات يكون محكوماً بمقاومة الخرسانة، ولذلك فإن الزيادة في عدد القضبان لا يُضيف أو يُزيد كثيراً من سعة التحمل للعتبات كما لوحظ أعلاه.

حديدية) يكون متماثلاً قبل حصول التشقق. أما نقطة نهاية هذا الجزء الخطي فتعتبر مؤشراً على حدوث التشقق في العتبات. أما الجزء الثاني فيكون خطياً تقريباً ذا ميل أقل من ميل الجزء الأول وهذا يُدلل على أن معدل الأود لكل وحدة حمل يكون كبيراً بعد حصول التشقق حيث أن ذلك يُؤثر على نقصان في جساءة العتبة المتشققة، وتعرف الجساءة هنا بنسبة مقدار الحمل إلى الأود المقابل لها. ومن ملاحظة زيادة عرض الفجوة بين المنحنيين يمكن القول بأن معدل النقصان في جساءة العتبة (FRP-4) يصبح أعلى بزيادة الحمل المسلط. ومن ملاحظة شكل 3 فإن الفرق بين جساءة العتبتين (S-4) و (FRP-4) عند نقطة خضوع الحديد يكون بحدود 37%، ويمكن أن يُعزى ذلك لمعامل المرونة المنخفض لقضبان البوليمر والذي هو أقل بـ 39% من معامل المرونة لقضبان الحديد. إن ظاهرة نقصان الجساءة للعتبات ذات التسليح البوليمري في حالة حصول التشقق قد لوحظت من قبل عدة باحثين سابقين [7, 13, 14]. ويمثل الجزء الثاني سلوكية العتبة بعد التشقق حيث يُستفاد فقط من جزء المقطع غير المتشقق (عزم القصور الذاتي الفعال) في مقاومة قوى الأحمال المسلطة ويستمر هذا الجزء حتى حمل الخضوع للحديد (P_y) فيما يخص العتبات (S-4) وحتى الفشل للعتبات (FRP-4) (أي إنه في حالة العتبات ذات التسليح البوليمري يكون المنحني على هيئة مستقيمين ذوا ميلين مختلفين كما يلاحظ في شكل 3 و 4). وفي حالة العتبة (S-4) فيمكن ملاحظة الجزء الثالث من المنحني حيث تُعكس العتبة سلوكاً مُطلياً بعد خضوع الحديد ويحدث الفشل بعد تحمل العتبة لتشوهات كبيرة مع زيادة قليلة جداً للحمل عند حصول الفشل عن

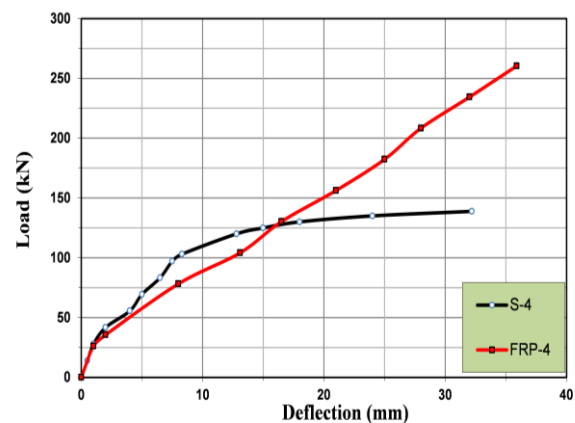
جدول 3

نتائج نماذج الفحص

Beam designation	Cracking load P_{cr} (kN)	Ultimate load P_u (kN)	Increasing in ultimate load (%)	Deflection at ultimate load (mm)	Decreasing deflection at ultimate load (%)	Failure type
S-4	31.8	138.8	-	32.2	-	Tension
FRP-4	35.5	260.4	-	35.9	-	Compression
FRP-6	36.2	300.3	15	33.3	7	Compression
FRP-8	37.1	336.0	29	30.3	16	Compression
FRP-10	38.1	361.4	38	27.2	24	Compression



شكل 4: منحنى الحمل-الأود لجميع العتبات ذات التسليح البوليمري



شكل 3: منحنى الحمل-الأود للعتبتين (S-4) و (FRP-4)

5. مقارنة مع توصيات المدونة الأمريكية ACI 440.1R

[15]

عادة ما يتم اشتقاق معادلات حساب الاود للمدى القصير في الاعضاء الخرسانية ذات التسليح البوليمري باعتماد تصرف خطي-مرن واستخدام عزم قصور ذاتي فعال. وتوصي المدونة الأمريكية ACI 440.1R [15] بالاعتماد على المعادلة التالية لحساب عزم القصور الفعال:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \beta_d I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (1)$$

حيث أن I_e و I_g و I_{cr} هو عزم القصور الفعال والكلي والتشقيقي على التوالي، و M_{cr} و M_a هما عزما الانحناء المسلط والتشقيقي على التوالي، و β_d عامل يمكن حسابه من المعادلة:

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{fb}} \right) \quad (2)$$

جدول 4

مقارنة مع نتائج المدونة الأمريكية

Beam designation	Ultimate load P_u (kN)		P_{ACI}/P_{Test}	Deflection load at ultimate (mm)		d_{ACI}/d_{Test}
	Present P_{Test}	From P_{ACI}		Present d_{Test}	From d_{ACI}	
FRP-4	260.4	251.6	0.966	35.9	22.6	0.630
FRP-6	300.3	295.4	0.984	33.3	18.7	0.562
FRP-8	336.0	329.4	0.980	30.3	16.4	0.541
FRP-10	361.4	375.2	0.988	27.2	14.8	0.544

6. تسبب الزيادة في نسبة التسليح بقضبان البوليمير عند الاحمال الخدمية الى 50% و 100% و 150% الى نقصان في مقدار الأود بنسبة 14% و 35% و 42% على التوالي.

7. تؤدي الزيادة في كمية التسليح بقضبان المركبات البوليمرية بمقدار 50% و 100% و 150% الى ارتفاع مقدار الحمل الاقصى بنسبة 15% و 29% و 38% على التوالي، ومن جهة اخرى يؤدي ذلك الى تناقص بمقدار الأود المسجل المقابل للحمل الاقصى بنسبة 7% و 16% و 24% على التوالي.

8. يكون الفشل في العتبات ذات التسليح البوليمري محكوماً عادةً بمقاومة الخرسانة، ولذلك فان مقدار التسليح عند زيادته لا يسبب اضافة او ارتفاع كبير في السعة التحملية لهذه العتبات.

تعطي مواصفات المدونة الأمريكية قيماً أصغر من القيم التجريبية دائماً ولكنها قريبة جداً منها بالنسبة للحمل الاقصى للعتبات ذات التسليح البوليمري، أما فيما يخص الأود عند الحمل الاقصى فيلاحظ أن المدونة الأمريكية تعطي قيماً منخفضة جداً وأقل بحوالي (37%-45%) من القيم التجريبية ولكل نسب التسليح المختلفة.

7. المصادر

- [1] Jain R, Lee L. Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Infrastructure Applications. Focusing on Innovation,

6. الاستنتاجات

يستدل من الخوض في النتائج وما تمت مناقشته على ما يلي:

1. قبيل ظهور التشققات الخرسانية، فان سلوك الحمل-الأود متشابه لجميع العتبات سواء اكانت ذات تسليح بوليمري أو حديدي.
2. ان منحنى الحمل-الأود يظهر بشكل خطين (مستقيمين) وبميلين مختلفين في حالة العتبات ذات التسليح البوليمري، بينما يكون المنحنى الخاص بالعتبات ذات التسليح الحديدي مؤلفاً من ثلاثة أجزاء، خطي وخطي تقريباً ولاخطي مطبلي على التعاقب.
3. ان نقصان جساءة العتب ذي التسليح البوليمري بعد حصول التشقق يكون كبيراً نوعاً ما مقارنة لما هو عليه الحال في العتب ذي التسليح الحديدي.
4. يكون الأود لدى الحمل الخدمي للعتبات ذات التسليح البوليمري أكبر بحوالي 40% مما في العتبات ذات التسليح الحديدي ولنفس نسبة التسليح.
5. يكون الحمل الاقصى للعتب ذي التسليح البوليمري أكبر بنسبة 88% تقريباً من الحمل الاقصى للعتب ذي التسليح الحديدي ولنفس كمية التسليح، في حين يكون الأود عند الحمل الاقصى للعتبات ذات التسليح البوليمري أكبر بحوالي 12% مما في العتبات ذات التسليح الحديدي ولنفس كمية التسليح.

- CFRP Reinforcing Bars for Concrete Structures. *Canadian Journal of Civil Engineering* 2002, **29**(2):338-343.
- [9] Said AI, Abbas OM. Serviceability Behavior of High Strength Concrete I-beams Reinforced with Carbon Fiber Reinforced Polymer Bars. *Journal of Engineering* 2013, **19**(11):1515-1530.
- [10] Mohammad KI, Al-Sulayfani BJ. Torsional Strengthening of RC Beams with CFRP Wrap. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2019, **20**(3):1-9.
- [11] Abdulhameed SS. Strengthening of Concrete Beams with Prestressed FRP Reinforcements. *Journal of Engineering and Sustainable Development* 2019, **23**(1):13-25.
- [12] Abdulrahman MB, Rashid HM. Repairing of Reactive Powder Concrete T-Beams Containing Web Opening by CFRP Strips. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2019, **26**(1):9-199.
- [13] Benmokrane B, Chaallal O, Masmoudi R. Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with FRP Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal* 1996, **93**(1):46–55.
- [14] Toutanji H, Deng Y. Deflection and Crack-width Prediction of Concrete Beams Reinforced with Glass FRP Rods. *Construction and Building Material* 2003, **17**(1):69–74.
- [15] ACI 440.1R-11. Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2011.
- Technology Implementation and Sustainability: Springer; 2012.
- [2] El-Salakawy E, Kassem C, Benmokrane B. Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP Composite Bars. *4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. 2002, June 5-8, Montreal, Quebec, Canada.
- [3] Sadaatmanesh H, Ehsani MR. Fiber composite bar for reinforced concrete construction. *Journal of Composite Materials* 1991, **25**(2):188-203.
- [4] Nawy EG, Neuwerth GE, Phillips CJ. Behavior of fiber glass reinforced concrete beams. *Journal Struct. Div. ASCE* 1971, **97**:2203–2215.
- [5] Satoh K, Kodama K, Ohki H. A study on the bending behavior of repaired concrete beams using fiber reinforced plastic (FRP) and polymer mortar. *Proc. ACI International Conference, Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures and Innovations in Design*. 1991, Detroit, Mich., pp.1017–1031.
- [6] Almusallam TH. Analytical prediction of flexural behavior of concrete beams reinforced with FRP bars. *Journal of Composite Materials* 1997, **31**(7): 640–657.
- [7] Theriault M, Benmokrane B. Effects of FRP reinforcement ratio and concrete strength on flexural behavior of concrete beams. *J. Compos. Constr.* 1998, **2**(1):7–16.
- [8] Benmokrane B, Zhang B, Laoubi K, Tighiouart B, Lord I. Mechanical and Bond Properties of New Generation of