

# تَقْوِيَةُ سِعَةِ الْقَصِّ وَتَحْسِينُ مُقَاوِمَةِ الْإِنْبِعَاجِ لِلصَّفَائِحِ الْحَدِيدِيَّةِ النَّحِيْفَةِ بِاسْتِخْدَامِ مَقْطَعِ مُطَوَّرِ مُسَبِّقِ الصُّنْعِ مِنَ الْبُولِيمِرَاتِ الْمُسَلَّحَةِ بِالْأَلْيَافِ الْكَارْبُونِ

أ.م.د. زَيْدُ مُحَمَّدُ كَانِي الْعَزَاوِي

كلية الهندسة-جامعة الأنبار

قسم هندسة السدود والموارد المائية

[zaid.kani@uoanbar.edu.iq](mailto:zaid.kani@uoanbar.edu.iq)

في هذا البحث يتم تطبيق تقنية تقوية جديدة باستخدام مقاطع مبتكرة من البوليمرات المسلحة بالألياف والتي تلصق على الصفيحة الحديدية (باستخدام الإيبوكسي) لمقاومة تشوهات الانبعاج وما ينتج عنها من إجهادات إنحناء ثانوية في الصفيحة الجذعية (web panel) وأيضاً لإطالة عمر الكلل للروافد الصفائحية (plate girders). هذه الطريقة الجديدة مختلفة تماماً عن غالبية تطبيقات التقوية بالبوليمرات المسلحة بالألياف والتي تستغل مقاومة الشد العالية لهذه الألياف. لقد تم الحصول على زيادة ذات دلالة بيئية في جساءة النماذج المقوّاة من خلال التقليل الواضح في مقدار الانبعاج خارج مستوي الصفيحة. تم تقدير جساءة النماذج المقوّاة بحوالي 3 إلى 9 أضعاف جساءة النماذج غير المقوّاة اعتماداً على نوع الألياف المستخدم والنسبة الباعية للنماذج المفحوصة. كذلك تم تقليل ظاهرة التنفس (وهي ظاهرة انبعاج اللوح الجذعي ذهاباً وإياباً خارج المستوي الأصلي للصفحة نتيجة للأحمال الدورية كما في الجسور) في الصفيحة الجذعية بشكل ملحوظ مما أدى إلى تقليل الإجهادات السطحية والغشائية وإجهادات الإنحناء الثانوية. نجح نظام التقوية بزواوية 45 درجة بشكل أفضل من باقي أنظمة التقوية المقترحة في تقليل إجهادات ظاهرة التنفس وزيادة قابلية التحمل لإجهادات القص بنسبة 88%.

أشار تحليل الكلل إلى أن نظام التقوية المقترح قادر على زيادة العمر المتوقع للروافد الصفائحية المقوّاة بمعامل يتراوح بين 2.5 و 7 أضعاف اعتماداً على السعة الطورية للأحمال الدورية المسلطة. بالإضافة إلى ذلك، فإن تقنية التقوية المقترحة لم تُظهر أيّ فقدان لخاصية الالتصاق بين طبقات ألواح البوليمرات المسلحة بالألياف أو بينها وبين سطح الصفيحة الحديدية تحت الأحمال الساكنة والدورية على حدٍ سواء، وهذا يجعل منها مرشحاً جيداً لتقوية العناصر الإنشائية الرقيقة أو النحيفة وخاصةً عندما تكون مرونة المنشأ على المحك. في الواقع، فإن تقنية التقوية المقترحة نجحت في تحسين مستوى الصلابة أو الطاقة المطلوبة لإتمام عملية التحميل لحين الفشل بمعامل يتراوح بين 1.5 و 2.5 ضعفاً بالمقارنة مع النماذج المقابلة غير المقوّاة وهذا يعني أنه لم يتم المحافظة على طبيعة الفشل المرن النمطية الخاصة بالروافد الصفائحية تحت تأثير أحمال القص فقط وإنما تم تحسينها كذلك. هذا النوع من الفشل المرن ليس دارجاً عند استعمال تقنيات التقوية الأخرى باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف كما هو الحال في تقنية التقوية المقترحة.

# **Strengthening Shear Capacity and Improving Buckling Strength of Thin-Walled Steel Plates Using a Novel Section Pre-Fabricated from Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRP)**

Zaid Al-Azzawi

College of Engineering

Dams and Water Resources Engineering Department

[zaid.kani@uoanbar.edu.iq](mailto:zaid.kani@uoanbar.edu.iq)

In this paper, a novel strengthening technique is applied using new fibre reinforced polymer (FRP) section bonded to the steel plate to resist shear buckling and the consequent secondary bending stresses in the web panel in addition to prolonging the fatigue life of steel plate girders. The presented method differs from the majority of strengthening applications using FRP which depends mostly on the high tensile properties of the fibres.

A significant increase in the stiffness of the strengthened specimens was clearly demonstrated by the reduction in the out-of-plane displacement (buckling). The stiffness of the strengthened specimens was 3 to 9 times that of the unstrengthened ones depending upon the type of the fibres used and the size and aspect ratio of the tested steel plates. The breathing phenomenon (an out-of-plane buckling displacement due to cyclic loading in bridge like structures) was also significantly reduced in the web steel plate which consequently led to reduction in the surface, membrane and secondary bending stresses. The 45° strengthening system succeeded the best among other trialled strengthening configurations in reducing the breathing stresses and increasing the shear resisting capacity by 88%.

Fatigue analysis showed that the proposed strengthening technique is capable of increasing the designed service life of the plate girders by a factor ranging between 2.5 and 7 times depending on the amplitude of the applied cyclic loading. In addition, the proposed strengthening technique showed neither delamination nor loss in bonding capacity between the FRP laminates and the steel plate under both static and cyclic loading making it a good candidate for strengthening thin-walled structural members especially when ductility is of concern. As a matter of fact, the proposed strengthening technique succeeded in enhancing the toughness or the energy needed for the specimen to fail by a factor ranging between 1.5 and 2.5 times that of the unstrengthened specimens. This means that the typical ductile failure type associated with shear buckling of steel plate girders was not only maintained but also improved. This ductile failure type resulting from the proposed strengthening technique is not common when using other available FRP strengthening techniques.