University of Mosul

College of Engineering

Optimum Design of Reinforced Concrete Beams Externally Strengthened by Using FRP

Noor Mohammed Sheet Al-Shallawy

MSc thesis

Civil Engineering / Structural Engineering

Supervised By

Asst.prof. Dr. Rabi M. Najem

Dr. Baraa J.M. AL-Eliwi

2023 A.D. **1444A.H**

Abstract

Fiber-reinforced polymer (FRP) systems (externally bonded (EB)) are widely utilized to reinforce the reinforced concrete (RC) beams due to their unique features, which include their light weight, great strength, and resistance to corrosion. In these applications, the primary goal is to boost the flexural and shear capabilities of RC beams. For flexural or shear reinforcement, the carbon fibers reinforced polymers (CFRP) can be applied to an RC beam using an externally bonded reinforcement (EBR) technique, in which the CFRP (wet layup sheets or laminates) is bonded to the element's external tension face for flexure; and for shear reinforcement, strips fully wrapping the beam's cross section, disposed in a U shape, or applied to the beam's lateral faces can be used. In this research, an optimization strategy based on a pattern search (PS) algorithm is utilized to identify the least expensive and optimal design parameters for CFRP-reinforced beams.

Where a number of examples were solved for the purpose of proving the effectiveness of the PS technology in finding the optimal solution for the beam reinforced with FRP materials at the lowest possible cost. The first example was a FRP-reinforced beam, external reinforcement, and in the case of bending, the constraints for this case were entered, as found in the ACI 440-2R-17 code, where the optimal dimensions of the beam represented by ($b_w, d, \rho, W_{ff}, t_{ff}$) and the cost were obtained. The cost of this case was compared with the real cost, and the optimal cost was less than the real cost.

Another case that was solved was to strengthen the reinforced concrete beam in the case of shear, in two separate cases. First, the beam was strengthened on the three sides (U-shape) then the optimal

dimensions of the beam after reinforcement were (S_{ff}, t_{fs}) and the cost, which was also compared with the real cost and was less than it. Another case of shearing was also solved, which the reinforcement on both sides only, and the PS method also obtained the optimal dimensions as in the case of the three sides at the lowest cost. After that, it was done a comparison was made between the results of the reinforcement for shearing from the three sides and from the two sides. The results showed that the cost of the reinforcement on both sides was less by 12% than the reinforcement from the three sides, but the fiber sheet thickness when the reinforcement on both sides was thicker.

Another case was solved, which is the case of shear-flexure merging, as well as two cases in shear, 2-sides and U-warping, where the shear and flexural constraints in the ACI 440-2R-17 code were combined. The outcomes demonstrated the PS technique's effectiveness in achieving the beam's lowest cost.

It should be noted that the results of each of the cases that were solved were compared with the other beams designed according to the ACI 318-19 code and under the same loading conditions through these comparisons, It was established that a PS technique was used to acquire each strengthening case's lowest achievable cost.

A parametric study was done on a set of beams collected from the literature, and the results revealed the possibility of the pattern search technique to reduce the costs of these beams under the same loading conditions, by changing the dimensions (changing the width of the fiber or thickness in relation to the flexure, as for the shear, by changing the thickness or distances between the FRP strips).

جامعة الموصل
كلية الهندسة

التصميم الامثل للعتبات الخرسانية المسلحةالمقواة خارجيا باستخدام الFRP

نور محمد شيت الشلاوي

رسالة ماجستير علوم
في الهندسة المدنية / انشاءات

بإشراف

أ.م.د. ربيع مؤيد نجم **م.د. براء جبار محمود**

1444هـ 2023م

الخلاصة

تستخدم انظمة الألياف المرتبطة خارجيا على نطاق واسع لتعزيز العتبات الخرسانية المسلحة نظرًا لميزاتها الفريدة ، والتي تشمل وزنها الخفيف وقوتها الكبيرة ومقاومتها للتآكل. في هذه التطبيقات ، الهدف الأساسي هو تعزيز إمكانيات الانحناء والقص للعتبات الخرسانية المسلحة. بالنسبة للإنحناءأو القص ، يمكن تطبيق ألياف الكاربون على العتب الخرساني المسلح باستخدام تقنية التقوية المرتبطة خارجيًا ، حيث يتم ربط الألياف سواء كانت شرائح أو صفائح رطبة إلى وجه الشد الخارجي للعتبة في حالة الانحناء أما بالنسبة للتعزيز في حالة القص ، فإن الألياف إما تغلف المقطع العرضي للعتبة بالكامل ، أو توضع من الجوانب الثلاثة على شكل حرف U ، أو توضع على الأوجه الجانبية فقط. في هذه الدراسة ، تم استخدام استراتيجية تعتمد على خوارزمية البحث عن الأنماط (PS) لتحديد معلمات التصميم الأمثل و الأقل تكلفة للعتبات الخرسانية المسلحة المقواة خارجيا بألياف الكربون.

حيث تم حل عدد من الأمثلة لغرض إثبات فعالية تقنية PS في إيجاد الحل الأمثل للعتب الخرساني المعزز بمواد FRP بأقل تكلفة ممكنة. كان المثال الأول عبارة عن عتبة مقواة تقوية خارجية بـ FRP ، وفي حالة الانحناء ، تم إدخال قيود هذه الحالة كما هو موجود في الكود ACI 440-2R-17 ، حيث تم الحصول على الأبعاد المثلى للحزمة و التكلفة. تمت مقارنة تكلفة هذه الحالة بالتكلفة الحقيقية ، وكانت التكلفة المثلى أقل من التكلفة الحقيقية.

هناك حالة أخرى تم حلها وهي تقوية عتبة خرسانية مسلحة في حالة القص و في حالتين منفصلتين. أولاً تم تقوية العتبة من الجوانب الثلاثة (شكل U) ثم تم الحصول على الأبعاد المثلى للعتبة بعد التعزيز متمثلة بسمك الشريحة والمسافة بين الشرائح وكذلك تم الصول على التكلفة والتي تمت مقارنتها أيضًا بالتكلفة الحقيقية وكانت أقل منها. تم أيضًا حل حالة أخرى من القص ، حيث كانت التقوية للعتب من الجانبين فقط ، و بواسطة طريقة PS أيضًا تم الحصول على الأبعاد المثلى كما في حالة الجوانب الثلاثة و بأقل تكلفة. بعد ذلك تم عمل مقارنة بين نتائج تقوية القص من الجوانب الثلاثة ومن الجانبين. وأظهرت النتائج أن تكلفة التقوية من الجانبين كانت أقل بنسبة 12٪ من التسليح من الجوانب الثلاثة ، أما الألياف عند التسليح من الجانبين فقد كانت أكثر سمكًا.

تم حل حالة أخرى ، وهي حالة دمج بين الإنحناء والقص وأيضا بحالتين منفصلتين

بالنسبة للقص ، من الجانبين ومن الجوانب الثلاثة ، حيث تم الجمع بين قيود القص والإنحناء في كود ACI 440-2R-17. أظهرت النتائج فاعلية تقنية PS في الوصول إلى أقل تكلفة للعتبة.

وتجدر الإشارة إلى أنه تمت مقارنة نتائج كل حالة تم حلها مع عتبات اخرى مصممة وفقًا للكود ACI 318-19 وتحت نفس ظروف التحميل ومن خلال هذه المقارنات ، فقد تم إثبات أنه يمكننا من خلال تقنية PS الحصول على أقل تكلفة ممكنة لكل حالة من حالات التقوية.

تم إجراء دراسة مقارنة على مجموعة من العتبات الخرسانية المسلحة المقواة بألياف الفايبر تم جمعها من الأدبيات ، وكشفت النتائج عن إمكانية تقنية البحث عن الأنماط في تقليل تكاليف هذه العتبات تحت نفس ظروف التحميل ، عن طريق تغيير الأبعاد بالنسبة للفايبر(تغيير عرض الألياف أو السماكة بالنسبة للإنحناء) ،أو عن طريق(تغيير السماكة أو المسافات بين الشرائح بالنسبة للقص).