University of Mosul
College of Engineering

"Nonlinear Analysis of Strengthned RC Beams With CFRP and Near- Surface Mounted Bars Under Pure Torsion"

A Thesis Submitted

By

Mashael Abdulraheem Madah

To

The Council of the Engineering College

University of Mosul

As a partial Fulfillment of the Requirements

For The Degree of Master of Science

In

Civil Engineering/ Structures

Supervised by

Professor

Dr. Mohammed Najim Mahmood

2021 A.D. **1443 A.H.**

ABSTRACT

This M.Sc. thesis presents a nonlinear finite element analysis of thirty-eight rectangular cross-section RC beams subjected to pure torsion. A numerical study carried out through a simulation of RC beams designed to fail in torsion presented by experimental study. A verification procedure was performed on three specimens by finite element analysis with ANSYS APDL software. The verification with the experimental work revealed a good agreement through the torque-rotation relationship, ultimate torque, rotation, and crack pattern.

The studied parameters included three strengthening methods such as the wrapping by CFRP sheets for twenty-two models besides the strengthening by near-surface mounted steel and carbon bars for sixteen specimens. The strengthening by CFRP sheets included two secondary variables such as the wrapping configuration and a number of confinement layers. While the strengthening by near-surface mounted bar included spacing variable beside the number of the used bars.

The strengthening configuration of CFRP methods included wrapping of the beam with several ways such as (full wrapping sheet around the beam, U-shaped sheet, two sides sheets, ring strips 65 and 130 mm, two and three longitudinal sided strips, longitudinal strips at the top and bottom faces, U-shaped strips in addition to the number of layers variable. The results revealed that use of full wrapping with one layer enhanced the ultimate torque when compared with the control beam. The strengthened beams showed enhancement in torsional strength when compared with the control specimen. The use of U-shaped jacket provided enhancement in the ultimate torque higher than the full

wrapping and less rotation. Replacing the U-jacket by U-shaped strips revealed improvement in the ultimate torque less than the U-jacket. The effect of the number of CFRP layers was significant on the ultimate behavior of the twisted strengthened beam which increased the ultimate strength capacity of such beams. The increment ratio varied according to the wrapping method which enhanced the ultimate torque capacity for the full jacket with higher enhancement ratio and with less enhancement for the other strengthening method. Maximum enhancement occurred at the full jacketed beam which scored improvement by (49.3%) when the number of the CFRP sheet doubled. The first crack cracking appeared at (53%) for the control beam and at average of (48.2%) for the strengthened beams were the first cracking was slightly affected by the wrapping existence.

The strengthening by NSM bar provided a good confinement to the beam against the torsion and enhanced the ultimate torque capacity when compared with the reference strengthened beam. Concerning the NSM strengthening, the CFRP bar provided a higher enhancement when compared with the beams that were strengthened by NSM steel rebar especially for the strengthening spacing equal to 130 mm. The ultimate torsional strength increased by (3.5%) and rotation decreased by (4%) approximately when the steel rebar was replaced by the carbon fiber bars. The ductility of the tested beams showed that the strengthening enhanced the ductility of the twisted reinforced concrete strengthened beams. The ductility values varied according to the method of used strengthening, as it showed the highest values of the beam that was reinforced with CFRP sheet more than the NSM by CFRP bar and steel rebar. Concerning the NSM strengthening method, carbon CFRP mounted rebar gave the highest value of ductility. The energy absorption showed that the varying in the values according to the strengthening method were the more enhancement in the energy absorption for the CFRP sheets is higher than that variation offered by NSM carbon bar and steel rebar.

جامعة الموصل
كلية الهندسة

"التحليل غير الخطي للعتبات الخرسانية المسلحة والمقواة بالالياف الكاربونية والقضبان المثبتة قرب السطح تحت تأثير اللي الصرف"

رسالة تقدم بها

مشاعل عبد الرحيم مداح

الى

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل

كجزء من متطلبات نيل شهادة

الماجستير

في الهندسة المدنية / هندسة الانشاءات

بإشراف الاستاذ الدكتور

محمد نجم محمود

١٤٤٣هـ ٢٠٢١م

الخلاصـــــــــة

تقدم هذه الأطروحة تحليلاً غير خطي باستخدام نظرية العناصر المحددة لثمان وثلاثين عتبة خرسانية معرضة للالتواء. اجريت الدراسة العددية من خلال محاكاة نماذج عملية فشلت في الالتواء ومقدمة من دراسة تجريبية. وكذلك اجريت عملية تحقق على ثلاث عينات من خلال تحليل العناصر المحدودة باستخدام برنامج ANSYS APDL. اظهر التحقق من العمل التجريبي مطابقة جيدة من خلال علاقة العزم-الدوران ، ونمط الفشل.

تضمنت المتغيرات المدروسة ثلاث طرق تقوية مثل التغليف بألواح الكاربون البوليمرية (CFRP) لـ 22 نموذجًا بجانب التقوية بواسطة الحديد المغروس بالقرب من السطح وقضبان الكربون لستة عشر عينة. تضمنت التقوية بال(CFRP) متغيرين ثانويين مثل شكل التغليف وعدد طبقاته. في حين تضمنت التقوية القريبة من السطح بواسطة القضبان وضع حلقات لمسافات متغيرة بالاضافة الى قضبان طولية باعداد مختلفة.

تضمنت المتغيرات للتقوية بألياف الكاربون شكل التغليف وعدد طبقات التغليف مثل (تغليف كامل ، تغليف على شكل حرف U ، صفائح من الجانبين ، شرائط حلقية 65 و 130 مم ، شرائط طولية وثلاثة شرائح على الجوانب الطولية ، شرائط طولية في الأعلى والوجه السفلي بالإضافة إلى اختلاف عدد الطبقات ، وأظهرت النتائج التحليلة أن استخدام غلاف كامل بطبقة واحدة عزز عزم الدوران النهائي عند مقارنته بالعتبة المرجعية. استخدام صفيحة اوشرائح على شكل حرف U ، استخدام تغليف على شكل حرف U يوفر تعزيزًا في عزم الدوران النهائي أعلى من طريقة التغليف الكاملة ودوران أقل. أظهر استبدال تغليف U بشرائط على شكل حرف U تحسنًا في عزم الدوران النهائي أقل من التغليف U ، والتي توفر كمية من ال(CFRP) والتي تكون ذات فائدة كبيرة. تباينت نسبة الزيادة وفقًا لطريقة التغليف التي عززت قدرة عزم الدوران القصوى للغطاء الكامل مع نسبة تحسين أعلى ومع تحسين أقل لطرق التقوية الأخرى. اعلى نسبة تحسينات كانت للعتبة المغلفة بشكل كامل والتي سجلت تحسناً بنسبة (49.3٪) عندما ضوعف عدد صفائح التغليف بألياف الكربون. ظهرت التشققات

الأولية عند (53٪) من مقاومة العتبة المرجعية وبمتوسط (48.2٪) للعوارض المقواة حيث تأثرت ظهور التشققات بوجود التغليف.

وفرت طريقة التقوية باستخدام القضبان المغروسة NSM تحسينات في مقاومة العتبة ضد الالتواء مما عزز قدرة عزم الدوران النهائية عند مقارنتها بالعتبة المرجعية. لكن عند المقارنة بين طرق التقوية المختلفة فقد وجد ان التقوية بقضبان الكاربون اعطت نسبة تعزيز أعلى بالمقارنة مع العتبات المقواة بحديد التسليح العادي. زادت مقاومة الالتواء النهائية بنسبة (3.5٪) وانخفض الدوران بنسبة (4٪) تقريبًا عند استبدال حديد التسليح بقضبان الكربون. أظهرت مطيلية العتبات المقواة تحسناً عند تقوية العتبات الخرسانية. اختلفت قيم المطيلية وفقًا لطريقة التقوية المستخدمة ، حيث أظهرت أعلى قيم للعتبات التي تم تقويتها بصفيحة CFRP أكثر من NSM. فقد أعطت طريقة التقوية بقضبان الكاربون أعلى قيمة للمطيلية من حديد التسليح. أظهر امتصاص الطاقة تباين في القيم تبعا لطريقة التقوية حيث كانت قيم امتصاص الطاقة للعتبات المقواة بصفائح ال(CFRP) اعلى من نظيرتها المقواة بحديد التسليح وقضبان الكاربون.