



الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

سلوك الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المطوّقة بهيكل فولاذي تحت تأثير الضغط المحوري

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد المهندسة
رنين أحمد الضرف

إشراف

الدكتور منيب العلاف

الدكتور إحسان الطرشة

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث

2020-1441

شكر وتقدير

بدايةً أتوجه بالشكر الكبير لرئاسة جامعة البعث والسادة النواب على الدعم الكبير في تحطيم كافة الصعوبات...

الشكر الكبير لعمادة كلية الهندسة المدنية الممثلة بالدكتور معن سلامة والسادة الوكلاء على دعمهم لي...

الشكر الكبير لأساتذة قسم الهندسة الإنشائية على جميع ملاحظاتهم القيمة
كما أتوجه بالشكر الكبير لأصحاب الأيدي البيضاء الذين كانوا مصدر للثقة والعطاء غير المحدود لإغناء البحث السادة:

الدكتور المهندس إحسان الطرشة ... الدكتور المهندس منيب العلوف

الشكر الكبير لرفاق دربي وشركائي بالنجاح الكبير الذي وصلت إليه...

أمي وأبي

إخوتي وأصدقائي...

أساتذتي وزملائي....

إلى وطني سوريا.....

(قائمة الرموز)

List of Symbols

الرمز	تعريف الرمز ووحدته
H	ارتفاع العمود البيتوني (mm)
D	قطر العمود الدائري البيتوني (mm)
f'_{cm1}	المقاومة المميزة الاسطوانية على الضغط للبيتون ذو عيار اسمنت (350Kg/m ³) (MPa)
f'_{cm2}	المقاومة المميزة الاسطوانية على الضغط للبيتون ذو عيار اسمنت (400Kg/m ³) (MPa)
L	صفائح التدعيم الفولاذية الطولية
S	صفائح التدعيم الفولاذية العرضية
m	نوع البيتون المستخدم
n	رقم العمود البيتوني
t	سمائة الصفيحة الفولاذية المستخدمة في التدعيم (mm)
P	الحمولة المحورية المطبقة (N)
E.S	المكافئ الرملي %
W/C	نسبة الماء المستخدمة في الجبل إلى الاسمنت
E_c	معامل مرونة للبيتون (MPa)
E_s	معامل مرونة الفولاذ (MPa)
f_y	إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح (MPa)
ν	معامل بواسون
f'_{cc}	المقاومة الأسطوانية المميزة على الضغط للبيتون المطوق (MPa)
f_l	إجهاد الضغط الفعال في المقطع البيتوني المطوق بالأساور الفولاذية
A	مساحة المقطع العرضي للمقطع المدروس (mm ²)
S'	خطوة الأسوارة (mm)

الرمز	تعريف الرمز وواحدته
d_{sh}	قطر النواة البيتونية المطوقة بالأساور الفولاذية (mm)
f'_{CCA}	قدرة تحمل البيتون (المطوق من قبل الأساور الفولاذية والصفائح الفولاذية الحلقية معاً) في المنطقة (A) على الضغط (N)
A_A	مساحة المقطع العرضي المطوق بالأساور التسليح العرضي المنطقة (A) (mm^2)
A_{sh}	مساحة المقطع العرضي لذراع الأسورة (mm^2)
f'_{ysh}	إجهاد الخضوع لفولاذ الأساور العرضية (MPa)
S_{sh}	خطوة الأسورة (mm).
d_{sh}	قطر النواة البيتونية المطوقة بالأساور الفولاذية (mm)
A_{ring}	مساحة المقطع العرضي لذراع الصفيحة الفولاذية الحلقية (mm^2)
f_{yring}	إجهاد الخضوع لفولاذ لصفائح الفولاذية الحلقية (MPa)
S_{ring}	خطوة الصفيحة الفولاذية الحلقية (mm)
d_{ring}	قطر النواة البيتونية للمنطقة المطوقة بالصفائح الفولاذية الحلقية (mm)
P_B	قدرة تحمل البيتون (المطوق من قبل الصفائح الفولاذية الحلقية فقط) في المنطقة (B) على الضغط (N)
f'_{CCB}	مقاومة الضغط للبيتون المطوق في المنطقة (B) (MPa)
A_B	مساحة المقطع العرضي المطوق (B) (mm^2)
$P_{S.long}$	قدرة تحمل قضبان التسليح الفولاذية الطولية على الضغط (N)
$A_{s.long}$	مساحة التسليح الرئيسي الطولي (mm^2).
n_1	عدد قضبان التسليح الطولي.
$d_{s.long}$	قطر قضبان التسليح الرئيسي الطولي للعمود (mm)
$f_{ys.long}$	إجهاد الخضوع لفولاذ قضبان التسليح الرئيسي الطولي (MPa)
$P_{P.long}$	قدرة تحمل الصفائح الفولاذية الشاقولية على الضغط (N)
$A_{P.long}$	مساحة صفائح التدعيم الفولاذية الطولية (mm^2).
n_2	عدد الصفائح الفولاذية الطولية.

الرمز	تعريف الرمز وواحدته
b	عرض الصفيحة الفولاذية الطولية (mm) .
K	معامل التطويق
$f_{yP.long}$	إجهاد الخضوع لفولاذ الصفائح الفولاذية الطولية (MPa)
$P_{u,theo}$	حمولة الانهيار النظرية (KN)
$P_{u,exp}$	حمولة الانهيار التجريبية (KN)
P_u	الحمولة الحدية التي يتحملها العمود البييتوني المسلح المطوق بالقميص الفولاذي (N)
σ_{CU}	مقاومة الضغط العظمى (MPa)
ϵ_{CU}	التشوه الأعظمي لانهيار البيتون
β_t	معامل نقل القص
σ	الإجهاد الناتج عند أي قيمة للتشوه
ϵ_0	التشوه عند القيمة القصوى لإجهاد الضغط
β_t	معامل نقل القص
EX	عامل مرونة البيتون في برنامج ANSYS
PRXY	معامل بواسون في برنامج ANSYS

(قائمة المصطلحات)
List of Terminology

المصطلح باللغة الانكليزية	المصطلح باللغة العربية
B	
Base	مرجعي
Behaviour	سلوك
Biaxial Crushing Stress	إجهاد التحطم ثنائي المحاور
Beam188	عنصر محدود جانبي لتمثيل قضبان الفولاذ
Bilinear Isotropic	موحدة الخواص - ثنائية الخطية
Boundary Conditions	شروط طرفية
C	
Circular column	عمود دائري
Capacity	قدرة التحمل
Confinement	حصر - تطويق
Confinement Stress	اجهاد حصر
Creep	زحف
Crack	تشقق
Crushing	تحطم
Cross-Section Area	مساحة المقطع العرضي للقضيب الفولاذي

المصطلح باللغة الانكليزية	المصطلح باللغة العربية
D	
Ductility	مطاوعة
Displacement	انتقال
Deformation	تشوه
Discrete Element	عناصر منفصلة

المصطلح باللغة الانكليزية	المصطلح باللغة العربية
E	
Element	عنصر
Elasticity	المرونة
Element Type	نوع العنصر
Experimental Results	نتائج تجريبية
F	
Finite Element	عنصر محدود
Failure Modes	أشكال الانهيار
G	
Glass Fiber	ألياف زجاجية
Gravel	بحص
Gauges	حساسات
H	
Height	ارتفاع
L	
Load	حمولة
Linear	خطية
M	
Modified Newton-Raphson	طريقة نيوتن – رافسون المعدلة
Modeling	نمذجة
Modulus of Elasticity	معامل المرونة
Multi-Linear Isotropic	المرنة الخطية المتعددة الخواص
Material Number	رقم المادة

مصطلح الانكليزية	مصطلح العربية
N	
Numerical Modeling	نمذجة عددية
Nonlinear	لا خطي
O	
Orientation Angle	زوايا التوجيه لقضبان التسليح ضمن العنصر
Open-Shear Transfer Coefficient	معامل نقل القص للشقوق المفتوحة
Orthotropic	متماثل الخواص وفق ثلاث محاور متعامدة
P	
Plastic Deformation	التشوه اللدن
Poisson's Ratio Of Concrete	معامل بواسون للبيتون
Plasticity	لدونة
R	
Reinforced Concrete	بيتون مسلح
Reinforcement Ratio	نسبة التسليح
Real Constants	الثوابت الحقيقية
Rehabilitation	إعادة التأهيل
S	
Strengthening plates	صفائح التقوية
Shear	القص
Solid Concrete 65	العنصر المحدود المستخدم لنمذجة العناصر البيتونية
Solid45	العنصر المحدود المستخدم لنمذجة الصفائح المعدنية
Strips	شرائح-مبسطات
Steel jacket	هيكل فولاذي
Stress	اجهاد
Strain	انفعال - تشوه

Simplified	مبسط
Stiffness	صلابة
Stirrups	أساور
T	
Tensile Crack Factor	معامل تشققات الشد
U	
Ultimate Load	الحمولة الحدية
Uniaxial-Cracking Stress	إجهاد التشقق المحوري
Uniaxial-Crushing Stress	إجهاد الانهيار المحوري
Y	
Yielding Stress	اجهاد الخضوع

(قائمة الاختصارات) List of Abbreviations

الاختصار	التفسير باللغة الانكليزية	التفسير باللغة العربية
PSC	Prefabricate Steel Cage	قميص فولاذي مسبق الصنع
ASTM	American Society For Testing And Materials	الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد
LVDTs	Linear Variable Differential Transformers (Lvdt)	مقاييس الانتقال
FEM	Finite Element Method	طريقة العناصر المحدودة

(فهرس الأشكال)

List of figers

رقم الصفحة	الفصل الأول: مقدمة البحث
1	الشكل (1-1) بعض نماذج الأعمدة الدائرية الحجرية
2	الشكل (2-1) استخدام الأعمدة الدائرية في ركائز الجسور الطرقية
2	الشكل (3-1) استخدام الأعمدة الدائرية في ركائز الجسور النهرية وفي الأرصفة البحرية
2	الشكل (4-1) استخدام الأعمدة الدائرية في ستاد البرازيل الدولي
2	الشكل (5-1) استخدام الأعمدة الدائرية في مواقف السيارات الطابقية
3	الشكل (6-1) استخدام الأعمدة الدائرية في العمارة الداخلية والخارجية للمباني
3	الشكل (7-1) استخدام القوالب البلاستيكية لتنفيذ الأعمدة الدائرية
3	الشكل (8-1) استخدام القوالب المعدنية لتنفيذ الأعمدة الدائرية
4	الشكل (9-1) استخدام القوالب الخشبية لتنفيذ الأعمدة الدائرية
5	الشكل (10-1) تضرر الأعمدة الدائرية بسبب ازدياد حملاتها عن القيم التصميمية
5	الشكل (11-1) تضرر الأعمدة الدائرية بسبب الزلازل
5	الشكل (12-1) تضرر الأعمدة الدائرية وانسلاخ التغطية بسبب صدأ حديد التسليح
6	الشكل (13-1) تدعيم الأعمدة الدائرية بقمصان البيتون المسلح
6	الشكل (14-1) تدعيم الأعمدة الدائرية بقمصان من البوليمرات المسلحة بالألياف
6	الشكل (15-1) تدعيم الأعمدة بالفيروسمنت
7	الشكل (16-1) تدعيم الأعمدة بتقنية الحقن بالإيبوكسي و باستخدام وسائل ميكانيكية
7	الشكل (17-1) تدعيم الأعمدة باستخدام القمصان الفولاذية
8	الشكل (18-1) استخدام التدعيم بالقمصان الفولاذية في بناء متضرر نتيجة الحريق في المبنى المقابل لمبنى نقابة المهندسين (حي باب هود - مدينة حمص)
10	الشكل (19-1) نماذج الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المدروسة لكل نوع من البيتون المستخدم
رقم الصفحة	الفصل الثاني: الدراسة المرجعية
12	الشكل (1-2) تفاصيل التسليح لمقطع الأعمدة المرجعية المختبرة من قبل [5]

13	الشكل (2-2) نموذج حلقة التدعيم الميكانيكية المستخدمة للتدعيم وتفاصيل التسليح والقوالب [5]
13	الشكل (3-2) تفاصيل التدعيم لأعمدة المجموعات المختبرة المختبرة من قبل [5]
14	الشكل (4-2) نماذج الانهيار للأعمدة القصيرة المختبرة من قبل الباحثين [5]
14	الشكل (5-2) نماذج الانهيار للأعمدة الطويلة المختبرة المختبرة من قبل [5]
15	الشكل (6-2) مخطط حمولة - انتقال لأعمدة المجموعات المدعمة المختبرة من قبل [5]
17	الشكل (7-2) نماذج تسليح وأبعاد الأعمدة المختبرة من قبل الباحث [6]
17	الشكل (8-2) تفاصيل القمصان الفولاذية للأعمدة المربعة والمستطيلة المختبرة من قبل الباحث [6]
18	الشكل (9-2) تفاصيل القمصان الفولاذية للأعمدة الدائرية المختبرة من قبل الباحث [6]
18	الشكل (10-2) نتائج حمولة الانهيار وحمولة ظهور أول شق لأعمدة المجموعات المختبرة
19	الشكل (11-2) منحنيات حمولة - تشوه للأعمدة المختبرة
19	الشكل (12-2) بعض نماذج الانهيار للأعمدة المدعمة
21	الشكل (13-2) تفاصيل التسليح للأعمدة المختبرة من قبل الباحثة [7]
21	الشكل (14-2) الطوق الفولاذي المستخدم لتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة من قبل الباحثة [7]
22	الشكل (15-2) الأعمدة المستخدمة لدراسة تأثير مساحة المنطقة المطوقة من قبل الباحثة [7]
22	الشكل (16-2) الأعمدة المستخدمة لدراسة تأثير أبعاد عناصر الطوق الفولاذي من قبل الباحثة [7]
23	الشكل (17-2) الأعمدة المستخدمة لدراسة تأثير تغير مقاومة الضغط لبيتون الأعمدة من قبل الباحثة [7]
24	الشكل (18-2) منحنيات (الحمولة - انتقال محوري) ، ومنحنيات (الحمولة - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لعدد الأطواق الفولاذية
25	الشكل (19-2) منحنيات (الحمولة - انتقال محوري) ، ومنحنيات (الحمولة - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لتغير أبعاد مكونات الأطواق الفولاذية
25	الشكل (20-2) منحنيات (الحمولة - انتقال محوري) ، ومنحنيات (الحمولة - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لتغير المقاومة المميزة على الضغط لبيتون الأعمدة

27	الشكل (2-21) تقوية الطرف العلوي للعمود المحمل وفق النمط C بشريحة الالياف الزجاجية
28	الشكل (2-22) تقوية الطرف العلوي للعمود المحمل وفق النمط C بشريحة الالياف الزجاجية
28	الشكل (2-23) نماذج الانهيار للعمودين المطوقين بالكامل باستخدام القميص الفولاذي تبعاً لشكل التحميل
29	الشكل (2-24) منحنيات (الحمولة المحورية - انتقال محوري) للعمود المرجعي غير المدعم (BASE) وللعمودين المدعمن بالقميص الفولاذي الكامل وفق شكلي التحميل C,L
30	الشكل (2-25) خطوات صناعة القفص الفولاذي وشكل توضع ضمن القميص البيتوني للأعمدة المدعمة
30	الشكل (2-26) بعض أنماط الانهيار للأعمدة المدعمة بتقنية القميص البيتوني المسلح بقفص بيتوني
31	الشكل (2-27) منحنيات (الحمولة المحورية - انتقال محوري) للعمود المرجعي وللأعمدة المدعمة بالقميص البيتوني المسلح بالقفص الفولاذي تبعاً لسماكة الصفائح ولشكل التحميل C,L
رقم الصفحة	الفصل الثالث: الدراسة التجريبية
33	الشكل (3-1) المخطط المنهجي لعملية التدعيم للأعمدة المجربة
34	الشكل (3-2) تفاصيل أبعاد وتسليح العمود المرجعي
35	الشكل (3-3) أبعاد الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية فقط
35	الشكل (3-4) أبعاد الأعمدة المدعمة بثلاث صفائح عرضية فقط
35	الشكل (3-5) أبعاد الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية
35	الشكل (3-6) أبعاد الأعمدة المدعمة بثلاث صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية
36	الشكل (3-7) أبعاد الأعمدة المدعمة بصفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية
37	الشكل (3-8) منحنيات التحليل الحبي لمواد الخلطة الخرسانية ومنحني فولير - تومسون المثالي
38	الشكل (3 - 9) تجربة هبوط مخروط أبرامز وقوام الخلطتين البيتونيتين التجريبيتين
38	الشكل (3-10) العينات الاسطوانية المجربة على عمر 28 يوماً وتحميل إحدى العينات
39	الشكل (3-11) العينات الاسطوانية المجربة على عمر 250 يوماً وتحميل إحدى العينات
40	الشكل (3-12) نتائج تجربة شد فولاذ قضبان التسليح المستخدم
41	الشكل (3-13) نموذج الصفائح الفولاذية المختبرة بالشد وفقاً لـ ASTM E8 [13]
41	الشكل (3-14) تجربة شد فولاذ صفائح التدعيم الفولاذية

42	الشكل (3-15) مادة البولي كريت المستخدمة في إملء الفراغات بين الصفائح والأعمدة
43	الشكل (3-16) العينات الموشورية لمادة Polycrete وجهاز اختبارها - مخبر مواد البناء
43	الشكل (3-17) العينات المكعبية لمادة Polycrete وجهاز اختبارها - مخبر مواد البناء
44	الشكل (3-18) جهاز تجريب العينات الاسطوانية في مخبر مواد البناء - كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث
45	الشكل (3-19) مواقع الحساسات ونموذج التحميل للجوائز المجربة
45	الشكل (3-20) تجهيز شبكات التسليح والقوالب للأعمدة البيتونية الدائرية
46	الشكل (3-21) صب العينات الاسطوانية والأعمدة البيتونية الدائرية
46	الشكل (3-22) حفظ الأعمدة البيتونية الدائرية والعينات الاسطوانية في الماء
47	الشكل (3-23) مراحل تشكيل الصفائح الفولاذية الطولية
47	الشكل (3-24) مراحل تشكيل الحلقات الفولاذية العرضية
48	الشكل (3-25) الآلية الخاصة بتطبيق الضغط المسبق على الصفائح الفولاذية الحلقية
49	الشكل (3-26) مراحل تدعيم الأعمدة البيتونية الدائرية باستخدام الحلقات الفولاذية العرضية فقط
50	الشكل (3-27) تثبيت الصفائح الشاقولية على الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية
51	الشكل (3-28) مراحل تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية ولحام الصفائح الحلقية
52	الشكل (3-29) بعض الأعمدة البيتونية المسلحة التي استخدمت فيها مادة ريزين البوليستر كمادة مألئة
53	الشكل (3-30) بعض نماذج الأعمدة البيتونية التي استخدمت فيها مادة Polycrret-FBR كمادة مألئة
53	الشكل (3-31) الأعمدة البيتونية المدعمة والمرجعية قبل اختبارها
54	الشكل (3-32) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-1
54	الشكل (3-33) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-2
55	الشكل (3-34) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-3
55	الشكل (3-35) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-4
56	الشكل (3-36) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-5
56	الشكل (3-37) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-6
57	الشكل (3-38) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-7

71	الشكل (3-66) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-17
71	الشكل (3-67) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-18
74	الشكل (3-68) مقارنة نسبة وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون تبعاً لنماذج التدعيم
75	الشكل (3-69) مقارنة نسبة وسطي الانتقالات الطولية الكلية لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون الى الانتقالات الطولية الكلية المرجعية تبعاً لنماذج التدعيم
76	الشكل (3-70) مقارنة نسبة وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام النوع الثاني من البيتون تبعاً لنماذج التدعيم
77	الشكل (3-71) مقارنة نسبة وسطي نسبة الانتقالات الطولية الكلية لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الثاني من البيتون الى الانتقالات الطولية الكلية المرجعية تبعاً لنماذج التدعيم
79	الشكل (3-72) مقارنة وسطي حمولة الانهيار التجريبية للمجموعات المتماثلة بنموذج التدعيم تبعاً لنوع البيتون المستخدم
81	الشكل (3-73) مقارنة النسبة الحجمية المئوية للتدعيم الفولاذي مع حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة بنوعي البيتون تبعاً لنماذج التدعيم
82	الشكل (3-74) مقارنة نمط الانهيار لأعمدة المجموعة 4L-3S-1 تبعاً لنوع المادة المألئة للفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح العمود البيتوني
82	الشكل (3-75) مقارنة نمط الانهيار لأعمدة المجموعة 4L-5S-1 تبعاً لنوع المادة المألئة للفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح العمود البيتوني
82	الشكل (3-76) مقارنة نمط الانهيار لأعمدة المجموعة 4L-2S-1 تبعاً لنوع المادة المألئة للفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح العمود البيتوني
رقم الصفحة	الفصل الرابع: الدراسة النظرية
86	الشكل (4-1) تأثير التدعيم بالصفائح الفولاذية على نماذج المساحة المطوقة وغير المطوقة للأعمدة البيتونية المسلحة المربعة
87	الشكل (4-2) مخطط البيتون المطوق وغير المطوق وفقاً لنموذج Mander [14]
88	الشكل (4-3) القيم المختلفة للإجهاد الفعال المسبب للضغط على البيتون نتيجة التطويق بأشكال مختلفة من الأساور الفولاذية [15, 17]
89	الشكل (4-4) تفصيلات مقطع العمود الدائري المدعم والإجهادات الناتجة عن التطويق بأساور التسليح الفولاذية والصفائح الحلقية الفولاذية
93	الشكل (4-5) مقارنة نسبة حمولة الانهيار النظرية الى التجريبية لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام النوع الأول من البيتون تبعاً لنماذج التدعيم

94	الشكل (4-6) مقارنة نسبة حمولة الانهيار النظرية الى التجريبية لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام النوع الثاني من البيتون تبعاً لنماذج التدعيم
رقم الصفحة	الفصل الخامس: الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة
101	الشكل (5-1) العنصر المحدود (Solid Concrete 65) المستخدم لنمذجة العناصر البيتونية والمونة الإسمنتية [20]
102	الشكل (5-2) منحنى نموذجي لعلاقة (الإجهاد - التشوه) للبيتون [21]
103	الشكل (5-3) منحنى (إجهاد-تشوه) للبيتون على الضغط وفق التقريب المبسط (Simplified) [23]
104	الشكل (5-4) منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون في مرحلة الضغط وفق التقريب المبسط (Simplified) [24]
104	الشكل (5-6) منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون المعتمد في النمذجة
105	الشكل (5-7) سطوح انهيار العناصر البيتونية في الحالة الفراغية
107	الشكل (5-8) العنصر المحدود (Beam188) المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح وصفائح الفولاذية
108	الشكل (5-9) منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح المستخدم في مرحلة الضغط والشد
109	الشكل (5-10) العنصر المحدود (Solid45) المستخدم لنمذجة الصفائح الفولاذية [25]
110	الشكل (5-11) النمذجة الحجمية للعمود البيتوني المسلح والمدعم بخمس صفائح عرضية ببرنامج ANSYS
110	الشكل (5-12) النموذج الهندسي للعمود البيتوني المسلح المدعم بخمس صفائح عرضية ومكوناته ببرنامج ANSYS
111	الشكل (5-13) النموذج الفراغي لقضبان التسليح وصفائح الاستناد وصفائح التدعيم للعمود المدعم
112	الشكل (5-14) النموذج الحاسوبي للحمولات المطبقة على العمود باستخدام ANSYS
112	الشكل (5-15) تطبيق شروط الاستناد باستخدام ANSYS
113	الشكل (5-16) مقارنة شكل الانهيار للنموذج العددي باستخدام برنامج ANSYS مع شكل الانهيار للأعمدة المماثلة المجربة مخبرياً
114	الشكل (5-17) شكل الانهيار للنموذج العددي باستخدام برنامج ANSYS
114	الشكل (5-18) الانتقال الشاقولي لعقد النموذج الحاسوبي للعمود المدعم وفق ANSYS
115	الشكل (5-19) شكل التشوه وقيم الاجهادات في قضبان التسليح للنموذج الحاسوبي للعمود المدعم وفق ANSYS

116	الشكل (5-20) مقارنة نسبة حمولة الانهيار العددية الى وسطي التجريبية لمجموعة الأعمدة (5S-2)
116	الشكل (5-21) مقارنة الانتقال الشاقولي الأعظمي العددي الى وسطي التجريبي لمجموعة الأعمدة (5S-2)

(فهرس الجداول) List of Tables

رقم الصفحة	الفصل الثاني: الدراسة المرجعية
14	الجدول (1-2) تفاصيل الأعمدة المجربة للمجموعتين [4]
16	الجدول (2-2) تفاصيل مجموعات الأعمدة المختبرة من قبل الباحث [5]
23	الجدول (3-2) مقاومة الشد والمقاومة المميزة على الضغط للبيتون المستعمل بالأعمدة [6]
23	الجدول (4-2) مقاومة الشد لحديد التسليح والشرائح المعدنية [6]
27	الجدول (5-2) نماذج الأعمدة المدعمة بقمصان من الفولاذ والمجربة من قبل الباحثين [7]
27	الجدول (6-2) مقاومة الشد لفولاذ التسليح للأعمدة ولشرائح التدعيم الفولاذية [6]
الفصل الثالث: الدراسة التجريبية	
33	الجدول (1-3) مواصفات أعمدة المجموعة ذات النوع الأول من البيتون
34	الجدول (2-3) مواصفات أعمدة المجموعة ذات النوع الثاني من البيتون
36	الجدول (3-3) الوزن الحجمي لمكونات الخلطتين البيتونيتين
36	الجدول (4-3) المكافئ الرملي لعينات الرمل
37	الجدول (5-3) التركيب الوزني ونسب الإحضارات المستخدمة في الخلطتين البيتونيتين الأولى والثانية
39	الجدول (6-3) نتائج اختبارات الضغط للعينات الاسطوانية لدفعات الصب على عمر 28
39	الجدول (7-3) نتائج اختبارات الضغط للعينات الاسطوانية لدفعات الصب على عمر 250
40	الجدول (8-3) نتائج تجربة شد الفولاذ لقضبان التسليح
41	الجدول (9-3) نتائج تجربة شد لصفائح التدعيم الفولاذية
41	الجدول (10-3) المواصفات الفنية لمادة POLYCRETE-FBR من الشركة المنتجة [12]
42	الجدول (11-3) نتائج تجربة شد بالانعطاف لعينات Polycrte الموشورية
43	الجدول (12-3) نتائج تجربة الضغط لعينات Polycrte المكعبية
72	الجدول (13-3) النتائج التجريبية لمجموعة الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المنفذة بالنوع الأول للبيتون
73	الجدول (14-3) النتائج التجريبية لمجموعة الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المنفذة بالنوع الثاني
74	الجدول (15-3) مقارنة النتائج التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي مع مجموعة الأعمدة المرجعية والمنفذة من البيتون $f'_{cm1} = 25.3MPa$

76	الجدول (3-16) مقارنة النتائج التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي مع مجموعة الأعمدة المرجعية والمنفذة من البيتون ذي المقاومة $f'_{cm2} = 36.8MPa$
78	الجدول (3-17) مقارنة نتائج وسطي حمولة الانهيار التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بنموذج متشابه تبعاً لنوع البيتون المستخدم
80	الجدول (3-18) النسب الحجمية للتدعيم الفولاذي وحمولة الانهيار التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي
83	الجدول (3-19) مقارنة النتائج التجريبية لأعمدة المجموعات التي استخدمت فيها مادة ريزين البوليستر كمادة مالئة وبقية الأعمدة التي استخدمت فيها مادة (POLYCRETE-FBR) كمادة مالئة
الفصل الرابع: الدراسة النظرية	
92	الجدول (4-1) مقارنة النتائج النظرية والتجريبية لقوة الضغط الأعظمية التي تتحملها الأعمدة المنفذة بالببتون من النوع الأول ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)
94	الجدول (4-2) مقارنة النتائج النظرية والتجريبية لقوة الضغط الأعظمية التي تتحملها الأعمدة المنفذة بالببتون من النوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)
96	الجدول (3-4) القيم النظرية لمعامل التطويق للمنطقتين A و B
97	الجدول (4-4) نسبة مساهمة مكونات العمود الدائري المسلح المدعم في الزيادة الحاصلة على مقاومة الببتون المطوق للأعمدة المنفذة بالببتون من النوع الأول
97	الجدول (4-5) نسبة مساهمة مكونات العمود الدائري المسلح المدعم في الزيادة الحاصلة على مقاومة الببتون المطوق للأعمدة المنفذة بالببتون من النوع الثاني
الفصل الخامس: الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة	
101	الجدول (5-1) ثوابت العنصر (Solid Concrete 65)
104	الجدول (5-2) إحداثيات نقاط المنحني المميز لعلاقة الإجهاد - تشوه للببتون
106	الجدول (5-3) الخواص المرنة الخطية ومدخلات برنامج للببتون
107	الجدول (5-4) مواصفات المقاطع العرضية لقضبان التسليح وصفائح الفولاذية الحلقية ببرنامج ANSYS
108	الجدول (5-5) توصيف سلوك مادة العنصر (Beam188) باستخدام برنامج ANSYS
109	الجدول (5-6) خصائص مادة العنصر (Solid45) المستخدم في الدراسة التحليلية
109	الجدول (5-7) مقارنة بين النتائج الوسطية التجريبية والنمذجة العددية لأعمدة المجموعة (2S-5) لنموذج التدعيم

(فهرس المحتويات) Table Of Contents

رقم الصفحة	الفصل الأول : مقدمة البحث
1	1-1- مقدمة عامة
4	2-1- التعريف بمسألة البحث
7	3-1- المشكلة التي يعالجها البحث
8	4-1- أهمية البحث
9	5-1- أهداف البحث
9	6-1- مجال البحث
10	7-1- تخطيط البحث
رقم الصفحة	الفصل الثاني : الدراسة المرجعية
12	2-1- تقوية الأعمدة الدائرية الخرسانية المسلحة بصفائح معدنية [4]
12	2-1-1- مقدمة
12	2-1-2- الدراسة التجريبية
12	2-1-2-1- وصف النماذج المدروسة
14	2-1-2-2- خواص المواد المستخدمة
14	2-1-2-3- النتائج والمناقشة
15	2-2- تقوية وإعادة تأهيل الأعمدة الخرسانية المسلحة باستخدام قمصان فولاذية (الأداء الميكانيكي والتطبيقات) [5]
15	2-2-1- مقدمة
16	2-2-2- الدراسة التجريبية
18	2-2-2- النتائج والمناقشة
20	2-3- تقوية وترميم الأعمدة الخرسانية المسلحة المربعة باستخدام الاطواق الفولاذية الخارجية [6]
20	2-3-1- مقدمة
20	2-3-2- الدراسة التجريبية
20	2-3-2-1- وصف النماذج المدروسة
23	2-3-2-2- خواص المواد المستخدمة
23	2-3-2-3- النتائج والمناقشة
24	2-3-3-2- دراسة تأثير مساحة المنطقة المطوقة على التقوية مقارنة مع العمود
24	2-3-3-2- دراسة تأثير أبعاد مكونات الطوق الفولاذي على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي (C)

25	2-3-3-3 دراسة تأثير تغير مقاومة الضغط لبيتون العمود على التقوية
26	2-4-2 التقييم التجريبي للسلوك المحوري للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المقواة [7]
26	2-4-2-1 مقدمة
26	2-4-2-2 الدراسة التجريبية
26	2-4-2-1-2 وصف النماذج المدروسة
27	2-4-2-2-2 خواص المواد المستخدمة
27	2-4-2-3-2 تحضير العينات و نموذج التحميل
28	2-4-2-3-2 النتائج والمناقشة
28	2-4-2-3-1 دراسة تأثير التطويق بالقميص الفولاذي لكامل العمود على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي
29	2-4-2-3-2 دراسة تأثير التطويق بالقميص البيتوني المسلح بققص فولاذي (PCS) على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي
رقم الصفحة	الفصل الثالث : الدراسة التجريبية
32	3-1-1 مقدمة
32	3-2-2 مواصفات العينات و الأعمدة المجربة
36	3-3-3 خواص المواد المستخدمة في البحث
36	3-3-1-1 البيتون
36	3-3-1-1-1 مواصفات الحصويات والرمل المستخدم
36	3-3-1-2-1 الاسمنت المستخدم
37	3-3-1-3-3 الخلطة البيتونية
37	3-3-1-4-3 نتائج كسر العينات الأسطوانية
40	3-3-2-2 فولاذ التسليح
41	3-3-3-3 الصفائح الفولاذية
42	3-4-3-4 المادة المألئة للفراغات بين صفائح التدعيم الفولاذية العرضية وبيتون الأعمدة
44	3-5-3-3 المادة اللاصقة للصفائح الفولاذية الطولية مع العمود البيتوني
44	3-4-3-4 نموذج التحميل وأجهزة القياس
45	3-4-2-1 طريقة قياس الانتقالات
45	3-5-3-5 مراحل العمل المخبري
45	3-5-1-1 المرحلة الأولى (صب الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية والعيّنات الاسطوانية)
46	3-5-2-2 المرحلة الثانية (تجهيز عناصر القميص الفولاذي)
46	3-5-2-1-1 الإجراءات الخاصة بتحضير الصفائح الفولاذية الطولية
47	3-5-2-2-2 الإجراءات الخاصة بتحضير الصفائح الفولاذية العرضية (الصفائح الحلقية)

48	3-5-3- المرحلة الثالثة (مرحلة تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية)
48	3-5-3-1- إجراءات التدعيم باستخدام الشرائح العرضية فقط (ثلاث شرائح 3S، خمس شرائح 5S)
49	3-5-3-2- إجراءات التدعيم باستخدام الشرائح الطولية و الحلقية العرضية معاً
51	3-5-3- المرحلة الرابعة (ملء الفراغات بين الصفائح الحلقية والعمود البيتوني)
51	3-5-3-1- استخدام مادة مالينات البوليستر [16]
52	3-5-3-2- استخدام مادة Polycrret-FBR
54	3-6- نتائج الاختبارات
54	3-6-1- النتائج التجريبية للأعمدة المختبرة ذات النوع الاول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)
54	3-6-1-1- مجموعة الأعمدة المرجعية (CR-1)
55	3-6-1-2- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (4L-3S-1)
57	3-6-1-3- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (4L-5S-1)
58	3-6-1-4- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية (3S-1)
60	3-6-1-5- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية (5S-1)
61	3-6-1-6- مجموعة الأعمدة المدعمة بصفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية (4L-2S-1)
63	3-6-2- النتائج التجريبية للأعمدة المختبرة ذات النوع الثاني من البيتون ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)
63	3-6-2-2- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (4L-3S-2)
66	3-6-2-3- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (4L-5S-2)
67	3-6-2-4- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية (3S-1)
69	3-6-2-5- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية فقط (5S-2)
70	3-6-2-6- مجموعة الأعمدة المدعمة بصفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية (4L-2S-2)

72	3-6-3 -مقارنة النتائج التجريبية للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المختبرة
74	3-6-3-1- دراسة تأثير تغير نموذج التدعيم على حمولة الانهيار وزمن التحميل الكلي والانتقالات الطولية الكلية للأعمدة المنفذة بالنوع الأول للبيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)
76	3-6-3-2- دراسة تأثير تغير نموذج التدعيم على حمولة الانهيار وزمن التحميل الكلي و الانتقالات الطولية الكلية للأعمدة المنفذة من النوع الثاني للبيتون ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)
77	3-6-3-3- دراسة تأثير تغير المقاومة الوسطية للبيتون على حمولة الانهيار للأعمدة الدائرية المسلحة المدعمة بالصفائح الفولاذية باستخدام نماذج التدعيم المختلفة
80	3-6-3-4- علاقة النسبة الحجمية للقميص الفولاذي مع حمولة الانهيار للأعمدة المنفذة بالنوع الأول والثاني للبيتون تبعاً لنموذج التدعيم للبيتون
81	3-6-3-5- دراسة تأثير تغير المادة المألئة بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني للأعمدة الدائرية المسلحة المدعمة بالصفائح الفولاذية على سلوك الأعمدة وعلى نمط الانهيار
	الفصل الرابع: الدراسة النظرية
85	4-1- مقدمة
85	4-2- الخواص الهندسية للعمود
86	4-3- الطريقة المعتمدة لإيجاد منحنى (الإجهاد - التشوه) للبيتون المسلح المطوق
88	4-4- حساب قدرة التحمل الحدية للعمود الدائري المسلح والمدعم بالهيكل الفولاذي
95	4-5- تحديد معامل التطويق للمنطقتين A و B
96	4-6- تحديد نسبة مساهمة مكونات العمود الدائري المسلح المدعم في الزيادة الحاصلة على مقاومة البيتون المطوق
	الفصل الخامس: الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة
100	5-1- مقدمة
100	5-2- منهجية البحث
100	5-2-1- التوصيف الحاسوبي لنمذجة المواد
101	5-2-1-1- نمذجة العناصر البيتونية
101	5-2-1-1-1- نوع العنصر المحدود المستخدم لنمذجة البيتون
101	5-2-1-1-2- الثوابت الحقيقية (Real Constant)
102	5-2-1-1-3- خصائص المادة و توصيف سلوكها
102	5-2-1-1-3-1- البيانات المطلوبة لتوصيف سلوك البيتون في برنامج ANSYS
105	5-2-3-1-1-2- معايير الانهيار للبيتون

106	5-2-1-2- نموذج قضبان التسليح الفولاذية وصفائح التدعيم الفولاذية الحلقية العرضية
106	5-2-1-2-1- نوع العنصر المحدود المستخدم لنمذجة قضبان التسليح الفولاذية
107	5-2-2-1-2- المقطع العرضي للعنصر المحدود (Beam188)
107	5-2-3-1-2- خصائص المادة و توصيف سلوكها
109	5-3-1-2-5- نمذجة الصفائح المعدنية عند الاستناد والتحميل
109	5-3-1-2-1- نوع العنصر المحدود المستخدم لنمذجة الصفائح المعدنية
109	5-2-2- النمذجة الهندسية (Modeling Geometry)
111	5-3-2- الشروط الطرفية وتطبيق الحمولة
113	5-3- النتائج المستخلصة من تحليل نموذج العمود المدعم بطريقة العناصر المحدودة
113	5-3-1- مقارنة شكل الانهيار للنموذج العددي مع العينات التجريبية
113	5-3-2- مقارنة حمولة الانهيار والانتقال المحوري الأعظمي للنموذج العددي مع وسطي الأعمدة المماثلة المجربة مخبرياً
117	5-4-3- النتائج المستخلصة من تحليل النموذج الحاسوبي للعمود المدعم بطريقة العناصر المحدودة
	الفصل السادس: النتائج والتوصيات
118	6-1- النتائج
119	6-2- المقترحات المستقبلية
I	قائمة الرموز
Vi	قائمة المصطلحات والاختصارات
X	فهرس الأشكال
Xviii	فهرس الجداول
Xx	فهرس المحتويات
121	المراجع العلمية

ملخص البحث

تتعرض المنشآت الهندسية وعناصرها الإنشائية كالأعمدة إلى أضرار كثيرة بفعل العديد من العوامل مما يؤثر بشكل كبير على مقاومة هذه العناصر الإنشائية ، وبالتالي تظهر الحاجة لتدعيمها وتقويتها للحول دون انهيارها، ويعد التدعيم بالهيكل الفولاذي إحدى التقنيات المبتكرة الواجب تطويرها من أجل تدعيم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المتضررة.

يتضمن البحث دراسة تجريبية ونظرية وتحليلية لأعمدة بيتونية مسلحة خاضعة للضغط المركزي، وكانت الأعمدة بمقطع عرضي دائري قطرها (15cm) وارتفاعها (40 cm).

تضمنت الدراسة التجريبية تحضير واختبار اثنا عشر مجموعة من الأعمدة، وكل منها تضم ثلاثة أعمدة بيتونية دائرية مسلحة ومتماثلة، ونفذت ستة مجموعات باستخدام بيتون ذي مقاومة اسطوانية وسطية 25.3MPa ، بينما نفذت المجموعات الست المتبقية باستخدام بيتون ذي مقاومة اسطوانية وسطية 36.8MPa لدراسة تأثير ذلك على سلوك الأعمدة الدائرية المدعمة ، واعتبرت اثنتان من هذه المجموعات مرجعية، وباستخدام بقية المجموعات درس تجريبياً تأثير تغير نمط الترابط بين الصفائح الفولاذية وسطح العمود البيتوني باستخدام نوعين من المواد (استخدام مادة ريزين البوليستر ، واستخدام مادة POLYCRETE-FBR) وذلك لتحديد التقنية الأفضل من حيث ضمان العمل المشترك التام بين صفائح التدعيم والعمود المدعم، كما تم دراسة تأثير تغير مقاومة الضغط الأسطوانية لبيتون العمود، وتم دراسة تأثير شكل نموذج التدعيم (ثلاث صفائح حلقة فقط ،خمس صفائح حلقة فقط ، ثلاث صفائح حلقة مع أربع شاقولية ، خمس صفائح حلقة مع أربع شاقولية، صفيحتان حلقتان مع أربع شاقولية) على كل من نمط الانهيار ، وحمولة الانهيار ، والانتقال المحوري الأعظمي للأعمدة المختبرة.

تم استخدام برنامج (ANSYS) في نمذجة الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المدعمة باستخدام خمس صفائح فولاذية ومقارنة نتائجها مع النتائج التجريبية وتم التوصل الى نموذج تحليلي دقيق وموثوق.

أظهرت نتائج الدراسة التجريبية والنظرية والتحليلية المنجزة في هذا البحث فعالية جيدة للتدعيم بالهيكل الفولاذي في تقوية الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة حيث زادت قدرة تحميله ومطاوعته مقارنة مع العمود المرجعي، وتم التوصل الى بعض الاستنتاجات والتوصيات.

الفصل الأول

مقدمة البحث

Research Introduction

8-1 - مقدمة عامة:

تعتبر الأعمدة من العناصر الإنشائية المهمة في المنشآت، وقد استخدمت الأعمدة الدائرية المبنية من الحجارة والرخام منذ القدم في العديد من المنشآت التاريخية التي وصلت لنا كما هو مبين في الشكل (1-1) .



الأعمدة الدائرية في أثار مدينة أفاميا - سورية

أعمدة التترابيل الدائرية في مدينة تدمر - سورية

الشكل (1-1) بعض نماذج الأعمدة الدائرية الحجرية

تملك الأعمدة البيتونية المسلحة العديد من المقاطع العرضية وتعد المقاطع المربعة والمستطيلة أكثر شيوعاً بينما يعد المقطع العرضي الدائري للأعمدة أقل انتشاراً و نادراً نسبياً ويعود ذلك للأسباب التالية:

- صعوبة التنفيذ (من حيث التسليح العرضي سواء كان أساوراً عرضية أو تسليحاً حلزونياً).
- صعوبة تأمين القوالب الأسطوانية التي تعطي المقاسات جميعها.
- ارتفاع تكاليف تنفيذها.

تستخدم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة في العديد من المنشآت مثل:

ركائز الجسور الطرقية، وركائز الجسور فوق الانهار وأعمدة المنشآت البحرية، وفي المنشآت الرياضية، وفي مواقف السيارات الطابقية، وفي بعض الأبنية السكنية لأسباب جمالية، كما هو موضح في الأشكال (1-1)، (2-1)، (3)، (4-1)، (5-1)، (6-1).



الشكل (2-1) استخدام الأعمدة الدائرية في ركائز الجسور الطرقية



الشكل (3-1) استخدام الأعمدة الدائرية في ركائز الجسور النهرية وفي الأرصفة البحرية



الشكل (4-1) استخدام الأعمدة الدائرية في ستاد البرازيل الدولي



الشكل (5-1) استخدام الأعمدة الدائرية في مواقف السيارات الطابقية



الشكل (6-1) استخدام الأعمدة الدائرية في العمارة الداخلية والخارجية للمباني يعود ارتفاع تكلفة تنفيذ هذا النوع من الأعمدة بسبب احتياجها لقوالب خاصة و صعوبة تنفيذ هذه القوالب بالأبعاد المطلوبة ويوجد منها عدة أنواع كالقوالب البلاستيكية أو المعدنية أو الخشبية كما هو موضح في الأشكال (7-1)، (8-1)، (9-1).



الشكل (7-1) استخدام القوالب البلاستيكية لتنفيذ الأعمدة الدائرية



الشكل (8-1) استخدام القوالب المعدنية لتنفيذ الأعمدة الدائرية



الشكل (9-1) استخدام القوالب الخشبية لتنفيذ الأعمدة الدائرية

9-1- التعريف بمسألة البحث:

أصبح تدعيم المنشآت وإعادة تأهيلها جزءاً أساسياً من أعمال البناء حيث تشير بعض التقديرات حول العالم أن الإنفاق على أعمال التدعيم والصيانة عام 2010 شكّل حوالي 85% من الإنفاق الإجمالي في مجال البناء. وتشمل أغلب أعمال التأهيل تدعيم المنشآت المتصدعة والمتضررة بفعل الهزات الأرضية والعوامل الطبيعية. لذلك فتطوير طرق تدعيم فعالة اقتصادياً وتدوم طويلاً يمكن أن يزيد من أمان الحياة ويزيد من المدة الاستثمارية للمنشآت الخرسانية [1].

يمثل الحفاظ على الثروة العقارية والمنشآت الاستراتيجية المبنية من الخرسانة المسلحة أهمية كبيرة في اقتصاديات الأمم وهناك الكثير من الأسباب التي تحتم زيادة قدرة المنشآت الخرسانية أو بعض عناصرها لمقاومة الأحمال الواقعة عليها أو لإعادة تأهيلها لتغيير الغرض التي صممت وأنشأت من أجله [2]، وتم التأكيد في السنوات الأخيرة على تقوية العناصر من البيتون المسلح مثل الجوائز والأعمدة، لأن تضرر هذه العناصر قد يؤدي إلى انهيار كارثي للمنشأ ككل، وقد يؤدي انهيار أحد الأعمدة في المنشأ إلى انهيار كامل البناء [1]، فالأعمدة الدائرية كغيرها من العناصر الإنشائية تتعرض للضرر نتيجة لعدة عوامل نذكر منها:

- أضرار بسبب ازدياد حمولتها عن القيم التصميمية.
 - تعرضها لقوى خارجة عن التصميم كحالة الزلازل.
 - تعرضها لأوساط الضارة وصدأ فولاذ التسليح.
- وتوضح الأشكال (10-1)، (11-1)، (12-1) بعض نماذج الأضرار التي تصيب الأعمدة الدائرية.



الشكل (10-1) تضرر الأعمدة الدائرية بسبب ازدياد حملاتها عن القيم التصميمية



الشكل (11-1) تضرر الأعمدة الدائرية بسبب الزلازل



الشكل (12-1) تضرر الأعمدة الدائرية وانسلاخ التغطية بسبب صدأ حديد التسليح

توجد العديد من الطرق والتقنيات موضحة في الأشكال (13-1)، (14-1)، (15-1)، (16-1)، (17-1) من أجل تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة وزيادة قدرة تحملها والمحافظة عليها نذكر منها:

- 1- التدعيم بقمصان البيتون المسلح.
- 2- التدعيم بقمصان من البوليمرات المسلحة بالألياف.
- 3- التدعيم بالفيروسمنت.
- 4- التدعيم باستخدام وسائل ميكانيكية.
- 5- التدعيم باستخدام تقنية الحقن بالإيبوكسي.
- 6- التدعيم باستخدام القمصان الفولاذية.



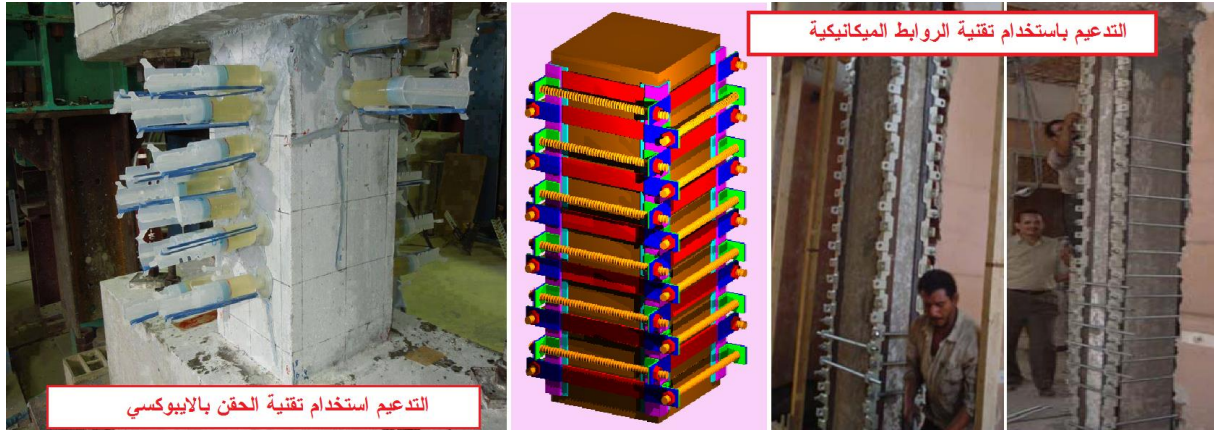
الشكل (13-1) تدعيم الاعمدة الدائرية بقمصان البيتون المسلح



الشكل (14-1) تدعيم الاعمدة الدائرية بقمصان من البوليمرات المسلحة بالألياف



الشكل (15-1) تدعيم الاعمدة بالفيروسمنت



الشكل (16-1) تدعيم الاعمدة بتقنية الحقن بالإيبوكسي و باستخدام وسائل ميكانيكية



الشكل (17-1) تدعيم الاعمدة باستخدام القمصان الفولاذية

10-1- المشكلة التي يعالجها البحث (Research Problem):

نظراً لارتفاع اسعار المواد البوليميرية وصعوبة تشكيلها وإعطائها الانحناءات اللازمة كونها مواد قصيرة فإنها تتطلب اهتماماً كبيراً في أثناء التطبيق، كما إن استخدام القمصان الخرسانية يزيد من أبعاد العمود وهذا الأمر قد لا يُسمح به معمارياً، واستخدام تقنية الشد بالروابط الميكانيكية للأعمدة الدائرية يتطلب تشكيل الصفائح صناعياً وهذا يرفع كثيراً من كلفة التدعيم، كما أن استخدام الحقن بالإيبوكسي محصور في حالة وجود شقوق ضمن العمود وبالتالي لا يفيد في حالة الرغبة بتقوية الأعمدة الدائرية لتحتمل فوق حدود تصميمها، وتوجد العديد من الأبحاث السابقة درست تجريبياً ونظرياً تقوية وتدعيم الأعمدة البيتونية ذات المقطع العرضي بشكل مستطيل أو مربع ويوجد ندرة في استخدامه بحالة الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية، وينحصر استخدام هذه التقنية لتدعيم الأعمدة الدائرية ببعض الحالات القليلة جداً المنفذة بخبرات محلية بدون وجود دراسة تجريبية معمقة لها كما هو مبين بالشكل (18-1)، وتعود ندرة الأبحاث التي درست تجريبياً تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة ذات المقطع العرضي الدائري باستخدام الشرائح الفولاذية في الحياة العملية للأسباب التالية:

- 1- يعتبر استخدام المقطع العرضي الدائري للأعمدة نادراً نسبياً ولا توجد تقنية واضحة لتشكيل الصفائح الدائرية بالأبعاد المطلوبة، أو تطبيق الضغط المسبق عليها من أجل تنفيذ القمصان الفولاذية.
- 2- الدراسة التجريبية مكلفة اقتصادياً والعلاقات الناتجة عنها تكون محدودة ومناسبة لبعض الحالات المتوافقة مع شروط التجارب فقط.

ونظراً لأهمية الأعمدة البيتونية الدائرية المسلحة كعنصر انشائي يتواجد في بعض المنشآت التي تعرضت للضرر في بلدنا سورية، لذلك كان لا بدّ من البحث عن تكنولوجيا قابلة للتطبيق محلياً لتدعيم هذه الأعمدة باستخدام الصفائح الفولاذية بحيث يشكل هذا البحث رافداً تجريبياً للمهندسين الباحثين عن حل مقبول وبإمكانات محلية لتدعيم وتقوية هذا النوع من الأعمدة.



الشكل (18-1) استخدام التدعيم بالقمصان الفولاذية في بناء متضرر نتيجة الحريق في المبنى المقابل لمبنى نقابة المهندسين (حي باب هود - مدينة حمص)

11-1- أهمية البحث (Research Significance):

تعتبر تقنية التدعيم بالقمصان الفولاذية للأعمدة البيتونية المسلحة وبشكل خاص للأعمدة ذات المقطع الدائري من الطرق الجيدة لاستخدامها في مرحلة إعادة الإعمار فهي تناسب واقع بلدنا من حيث توفر موادها الأولية محلياً، وهذا ما دفع إلى التفكير بالتوسع في دراسة هذه الحالة، والاستفادة القصوى من الخصائص الإيجابية لها، وباعتبار أن طريقة تصنيع الصفائح الفولاذية الدائرية وطريقة تثبيتها مع الأعمدة الدائرية بحيث تحقق الحصر المطلوب بحاجة إلى المزيد من الدراسة، بالتالي تبرز أهمية هذا البحث من النقاط التالية:

- 1- اقتراح طريقة موثوقة لتطويق الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة بالقمصان الفولاذية باعتبار هذا النوع من الأعمدة من الحالات المميزة شكلاً والقليلة الاستخدام.
- 2- استخدام مادة لاصقة وبيان أثر أهميتها في التدعيم ومدى فعاليتها في تأمين العمل المشترك بين القميص الفولاذي وسطح العمود المدعم.
- 3- تعّد طريقة التدعيم ذات تكلفة اقتصادية مقبولة بالمقارنة مع طرق تدعيم أخرى وقابلة للتطبيق محلياً.

4- معرفة مدى فعالية القميص الفولاذي بحصر خرسانة العمود الذي يؤدي بدوره إلى زيادة مقاومة الخرسانة على الضغط.

12-1- أهداف البحث (Research Objectives) :

يتضمن البحث دراسة تجريبية لمعرفة تأثير تغيير شكل التدعيم بالصفائح الفولاذية المشكلة للهيكل الفولاذي على سلوك العمود الدائري، كما يتضمن طريقة موثوقة وأمنة وسهلة التنفيذ لضمان العمل المشترك بين مادة التدعيم والعمود البيتوني المدعم، ويركز البحث على تدعيم الأعمدة البيتونية الدائرية المسلحة بهدف زيادة قدرة تحملها للحمولات المطبقة، و يقدم البحث طريقة واضحة لبناء النموذج التحليلي للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المدعمة بالصفائح الفولاذية باستخدام طريقة العناصر المحدودة، ويهدف البحث إلى دراسة سلوك الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة من خلال تدعيم هذه الأعمدة باستخدام هياكل فولاذية مكونة من صفائح شاقولية على كامل ارتفاع العمود بالإضافة إلى شرائح عرضية مطوّقة لها تحت تأثير قوة ضغط محورية كما يتضمن الأهداف الجزئية التالية:

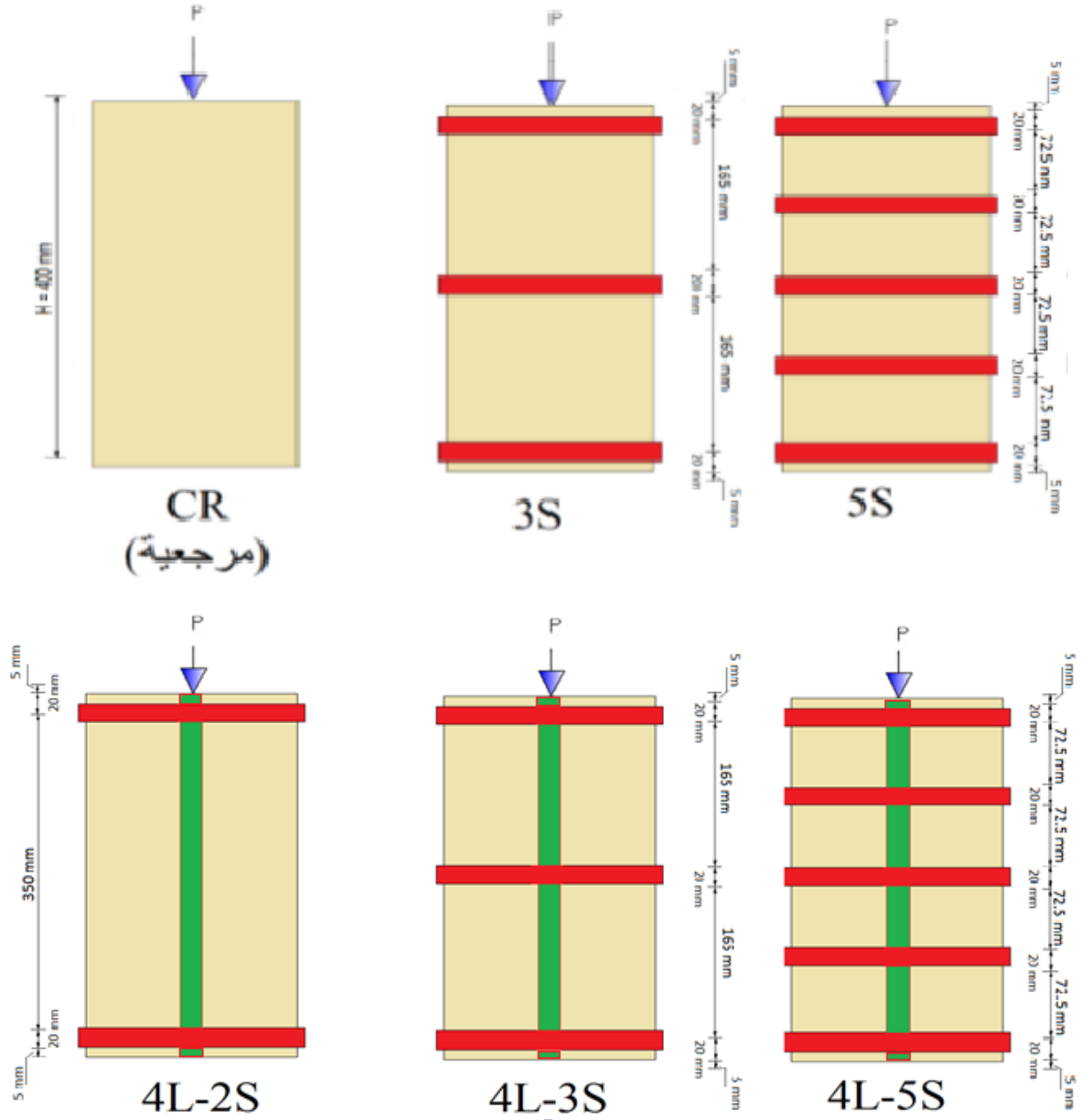
1. دراسة تجريبية لبيان أثر شكل التدعيم والتقوية على الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة.
2. دراسة أثر شكل التدعيم على كل من مقاومة الضغط القصوى للعمود، ومطاوعة العمود، ونمط الانهيار.
3. دراسة تحليلية باستخدام برنامج ANSYS الذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة، ومقارنة النتائج مع الدراسات التجريبية.

13-1- مجال البحث: (Research extent):

يتركز مجال البحث على ما يلي:

- 1) الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة ذات قطر $D = 15\text{ cm}$ وارتفاعها $H = 40\text{ cm}$.
- 2) الحمولة المطبقة هي حمولة ضغط ستاتيكية مركزية.
- 3) التسليح الطولي للأعمدة ($4T 8\text{ mm}$)، والتسليح العرضي ($1C\Phi 6\text{ mm}/120\text{ mm}$).
- 4) الصفائح الفولاذية المستخدمة للتدعيم من النوع المسطح بعرض (20 mm) ، وسماكتها (3 mm) .
- 5) أشكال التدعيم بالصفائح الفولاذية متغيرة بالنسبة للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة وفق ما يلي :
(تدعيم العمود بخمس صفائح حلقيه عرضية فقط ، تدعيم العمود بثلاث صفائح حلقيه عرضية فقط ، تدعيم العمود بخمس صفائح حلقيه عرضية مع أربع صفائح شاقولية، تدعيم العمود بثلاث صفائح حلقيه عرضية مع أربع صفائح شاقولية، تدعيم العمود بصفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية) لكل نوع من البيتون المستخدم.
- 6) أنواع البيتون المستخدم في الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة وفق ما يلي :
(النوع الاول من البيتون بمقاومة أسطوانية وسطية على الضغط $(f'_{cm1} = 25.3\text{ MPa})$ ، والنوع الثاني من البيتون بمقاومة أسطوانية وسطية على الضغط $(f'_{cm2} = 36.8\text{ MPa})$).

يبين الشكل (19-1) نماذج الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المدروسة لكل نوع من البيتون المستخدم.



الشكل (19-1) نماذج الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المدروسة لكل نوع من البيتون المستخدم

14-1- تخطيط البحث : (Research planning):

تمثلت منهجية إعداد البحث بإنجاز الفصول التالية:

1. الفصل الأول: مقدمة تتضمن (لمحة نظرية عن الأعمدة الدائرية، تاريخها، ميزاتها، استخداماتها، طرق تدعيمها)، أهمية البحث ، أهدافه، المشكلة التي يعالجها، مجاله، منهجيته.
2. الفصل الثاني: الدراسة المرجعية واستعراض أحدث الأبحاث في هذا الموضوع.
3. الفصل الثالث: الدراسة التجريبية وما تضمنته من تحضير للأعمدة، تدعيمها، آلية الاختبار، نتائج التجارب

4. الفصل الرابع: الدراسة النظرية للأعمدة الدائرية وفق أنماط التدعيم المستخدمة في البحث واستنتاج علاقة لحساب حمولة الانهيار.

5. الفصل الخامس: الدراسة التحليلية وما تضمنته من بناء نموذج تحليلي باستخدام برنامج ANSYS الذي يعتمد على تقنية العناصر المحدودة، ومقارنة النتائج التحليلية مع التجريبية.

6. الفصل السادس: النتائج والتوصيات.

بالإضافة إلى:

- ❖ قائمة الرموز.
- ❖ قائمة المصطلحات والاختصارات.
- ❖ فهرس الأشكال.
- ❖ فهرس الجداول.
- ❖ فهرس المحتويات.
- ❖ المراجع العلمية.

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

Reference study

2-1-1- تقوية الأعمدة الدائرية الخرسانية المسلحة بصفائح معدنية [5]:

"Strengthening of circular concrete columns using metal straps" [5]

2-1-1- مقدمة:

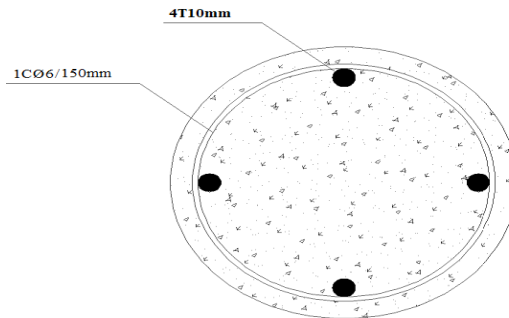
قام الباحثان (Thulfiqar Salim Hussein ،Salam alobaidi) [5] بعرض نتائج الدراسة المخبرية التجريبية لعشرة أعمدة بيتونية مسلحة دائرية بهدف دراسة تأثير التدعيم باستخدام حلقات تدعيم ميكانيكية على سلوكها، حيث تم تصنيف الأعمدة المختبرة في مجموعتين: خمسة أعمدة قصيرة بطول (60 cm) وقطر (15 cm)، وخمسة أعمدة طويلة بطول (120 cm) وقطر (15 cm)، وكانت قيمة المقاومة المميزة على الضغط لبيتون جميع الأعمدة المدروسة مساوية (15MPa) من أجل محاكاة الحالة السيئة للأعمدة البيتونية، وزودت جميع الأعمدة بتسليح طولي (4T10 mm) لمحاكاة الحد الأدنى من تسليح العمود وتسلح العرضي عبارة عن أساور عرضية بقطر (6mm) وبتباعد (150mm).

تم اختبار عينة واحدة من كل مجموعة تحت قوة محورية كعينة مرجعية، أما بقية الأعمدة في كلتا المجموعتين فقد تم تدعيمها باستخدام شرائح معدنية مثبتة بالبراغي بهدف دراسة تأثير تغيير التباعد فيما بينها. حيث جرى تسجيل التشوه المحوري وقدرة التحمل لكل عينة، وأشارت النتائج التجريبية الى ان العينات المدعمة بشرائح معدنية تزيد من قدرة التحمل وصلابة العينات المختلفة، كما أن أنماط الانهيار تتغير مع زيادة عدد الشرائح المعدنية.

2-1-2- الدراسة التجريبية:

2-1-2-1- وصف النماذج المدروسة:

أجرى الباحثان تجاربهما على مجموعتين من الأعمدة احدهما قصيرة طول أعمدتها (60 cm)، والأخرى طويلة طول أعمدتها (120 cm)، وجميع الأعمدة ذات مقطع عرضي دائري بقطر (15 cm) وتملك ذات التسليح و خواص مواد متماثلة، ويظهر الشكل (1-2) تفاصيل التسليح لمقطع الأعمدة المرجعية المختبرة.



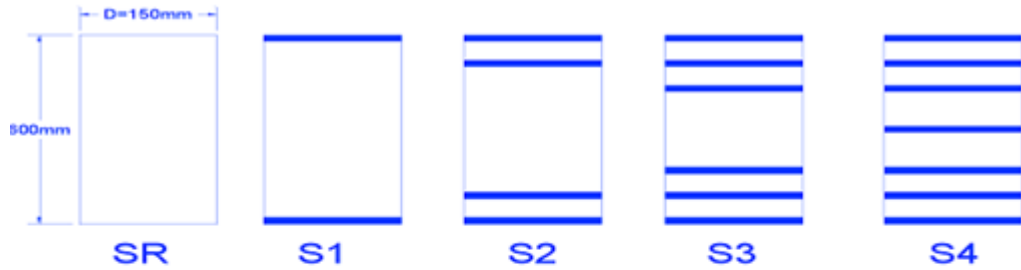
الشكل (1-2) تفاصيل التسليح لمقطع الأعمدة المرجعية المختبرة من قبل [5]

تم تدعيم الاعمدة بشرائح معدنية قطرها 15cm وسماكتها 3 mm وتم تطبيق التطويق باستخدام البرغي المثبت في نهايتها، ويبين الشكل (2-2) نموذج حلقة التدعيم الميكانيكية المستخدمة للتدعيم وتفاصيل التسليح والقوالب المستخدمة لصب الاعمدة المختبرة.

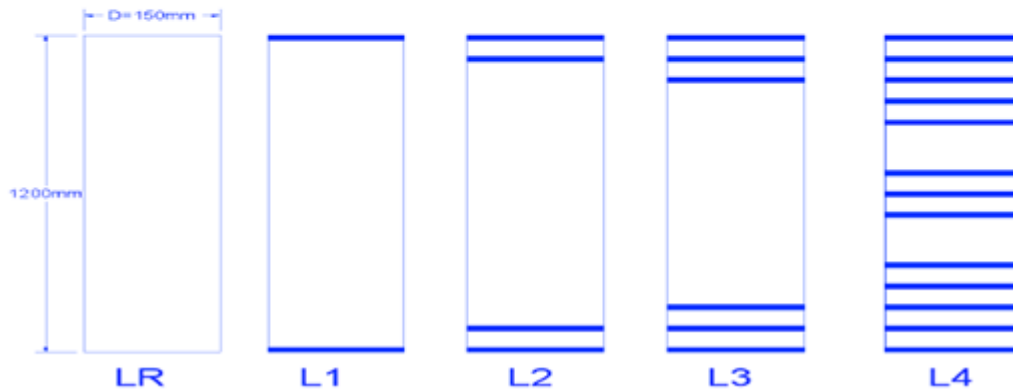


الشكل (2-2) نموذج حلقة التدعيم الميكانيكية المستخدمة للتدعيم وتفاصيل التسليح والقوالب المستخدمة لصب الاعمدة المختبرة

يوضح الجدول (1-2) تفاصيل الأعمدة المجربة من قبل الباحثين [5]، وهي موضحة في الشكل (3-2).



تفاصيل تدعيم أعمدة المجموعة الأولى القصيرة



تفاصيل تدعيم أعمدة المجموعة الثانية الطويلة

الشكل (3-2) تفاصيل التدعيم لأعمدة المجموعات المختبرة من قبل الباحثين [5]

الجدول (1-2) تفاصيل الأعمدة المجربة للمجموعتين [5]

المجموعة	الاعمود	الابعاد	عدد شرائح التدعيم الحلقية
1 (أعمدة قصيرة)	SR	D=15 cm H=60 cm	مرجعي بدون تدعيم
	S1		2
	S2		4
	S3		6
	S4		7
2 (أعمدة طويلة)	LR	D=15 cm H=120 cm	مرجعي بدون تدعيم
	L1		2
	L2		4
	L3		6
	L4		13

2-2-1-2- خواص المواد المستخدمة:

- 1- المقاومة الاسطوانية الوسطية للبيتون المستعمل في الجوائز المختبرة تساوي $(f'_c = 15 MPa)$.
 - 2- أجريت اختبارات الشد على حديد التسليح وشرائح المعدنية فكان متوسط اجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الرئيسي الطولي $(f_{y1} = 400 MPa)$ وفولاذ التسليح العرضي $(f_{y2} = 315 MPa)$ على التوالي.
- ### 2-1-3- النتائج والمناقشة:

يبين الشكلان (2-4)، (2-5) نماذج الانهيار للأعمدة المختبرة.

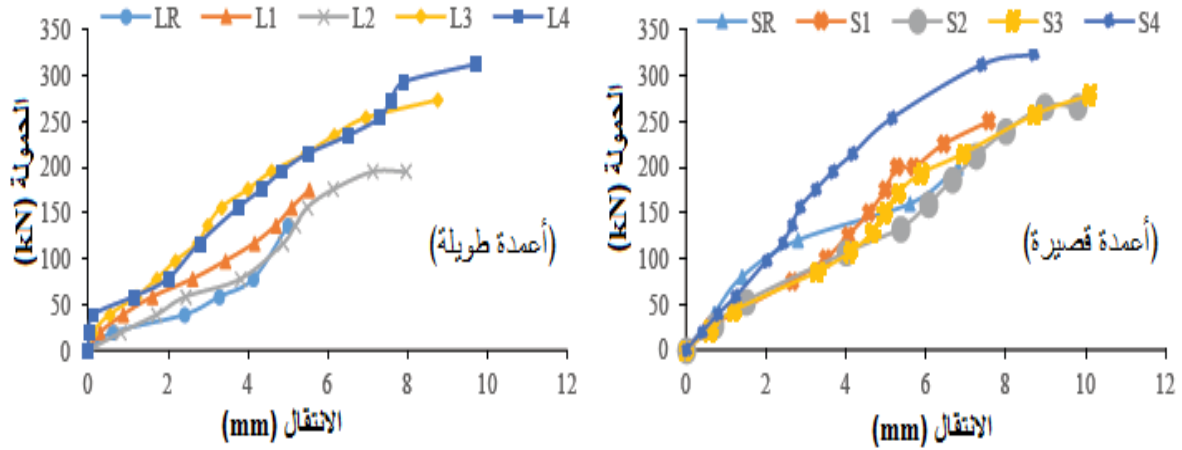


الشكل (2-4) نماذج الانهيار للأعمدة القصيرة المختبرة من قبل الباحثين [5]



الشكل (2-5) نماذج الانهيار للأعمدة الطويلة المختبرة من قبل الباحثين [5]

ويبين الشكل (2-6) نتائج مخططات الحمولة - انتقال لأعمدة المجموعات المختبرة.



الشكل (6-2) مخطط حمولة- انتقال لأعمدة المجموعات المدعمة من قبل الباحثين [5]

نتائج الدراسة:

- ❖ تدعيم الأعمدة باستخدام الصفائح الفولاذية يزيد من قدرة تحمل العمود بنسبة وصلت الى 160% للأعمدة القصيرة وبنسبة وصلت الى 228% للأعمدة الطويلة مقارنة مع العمود المرجعي لكل حالة.
- ❖ إضافة الصفائح الفولاذية تحسن من الصلابة الكلية للأعمدة المدعمة سواء القصيرة أم الطويلة.
- ❖ طريقة التدعيم كانت عملية اقتصادية جداً واحتاجت جهداً وتجهيزاً أقل عند تطبيق التدعيم.

2-2- تقوية وإعادة تأهيل الأعمدة الخرسانية المسلحة باستخدام قمصان فولاذية(الأداء الميكانيكي والتطبيقات) [6]:

" Retrofitting And Strengthening Of Reinforced Concrete Columns Using Steel Jackets; Mechanical Performance And Applications " [6]

2-2-1- مقدمة:

قام الباحث (Ahmed El-Badawy Sayed) [6] بعرض نتائج الدراسة المخبرية التجريبية لمجموعة مكونة من أربع وعشرين عمود بيتوني مسلح بهدف دراسة تأثير نوعين من المعالجة للأعمدة البيتونية المسلحة (إعادة تأهيل، تقوية) باستخدام القمصان الفولاذية من أجل تحسين الأداء الميكانيكي للأعمدة. وقد اعتمد الباحث على مجموعة من الأعمدة الخرسانية المسلحة ذات مقاطع عرضية مختلفة (مستطيلة ومربعة ودائرية)، حيث استخدم قمصاناً فولاذية مكونة من مقاطع مشكلة على الساخن (زوايا ومبسطات) ومجموعة معاً باستخدام اللحام لتطويق الأعمدة المربعة والمستطيلة، واستخدم شرائح فولاذية كتدعيم طولي مع شرائح حلقيّة لتطويق الأعمدة الدائرية، ولاحظ الباحث تحسناً كبيراً في الأداء الميكانيكي للأعمدة البيتونية المسلحة المقواة بقمصان فولاذية، و تبين أن الحمولات الحدية التي حصل عليها من تجارب إعادة تأهيل الأعمدة ودراستها كانت أعلى بنسبة (15-18%) من تلك التي حصل عليها في حال عدم التقوية.

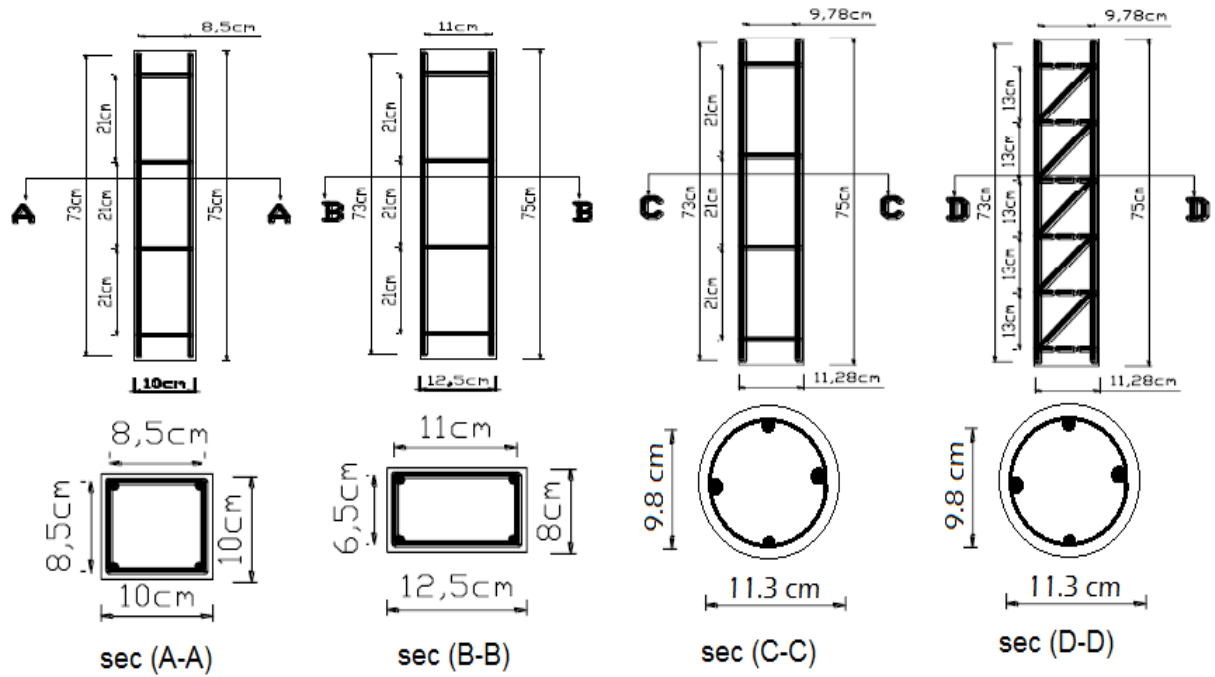
2-2-1- الدراسة التجريبية:

قسم الباحث الأعمدة المختبرة الى ثلاث مجموعات رئيسية يضم كل منها ثمانية أعمدة وذلك تبعاً لنمط المعالجة كما يلي:

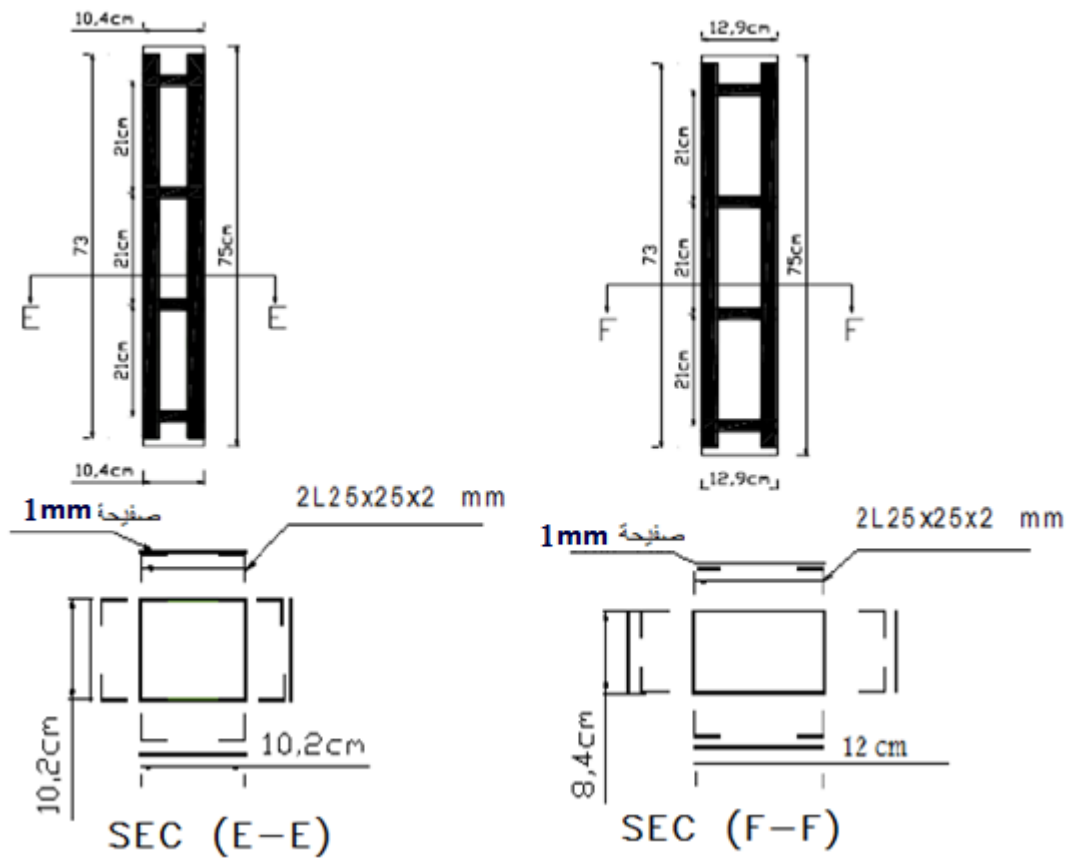
- 1- المجموعة الأولى المرجعية: استخدمت كمجموعة مقارنة للأعمدة المدعمة حسب بقية المتغيرات.
 - 2- المجموعة الثانية: حملت حتى ظهور الشقوق ثم أعيد تأهيلها وتجديد اجزائها باستخدام الأطواق الفولاذية وحملت بعد ذلك حتى الانهيار.
 - 3- المجموعة الثالثة: جرى تقويتها باستخدام الأطواق الفولاذية، ثم حملت حتى الانهيار.
- وكل مجموعة تضم أربع مجموعات جزئية تضم كل منها عمودين وذلك تبعاً لنموذج التسليح العرضي (أساور عادية، أساور حلقيّة، أساور حلزونية)، ويبين الجدول (2-2) تفاصيل مجموعات الأعمدة المختبرة، ويوضح الشكل (2-7) نماذج تسليح وأبعاد الأعمدة المختبر من قبل الباحث، كما يبين الشكل (2-8) نماذج القمصان الفولاذية المستخدمة في حالة الأعمدة المستطيلة والمربعة، ويبين الشكل (2-9) نماذج القمصان الفولاذية المستخدمة في حالة الأعمدة الدائرية.

الجدول (2-2) تفاصيل مجموعات الأعمدة المختبرة من قبل الباحث [6]

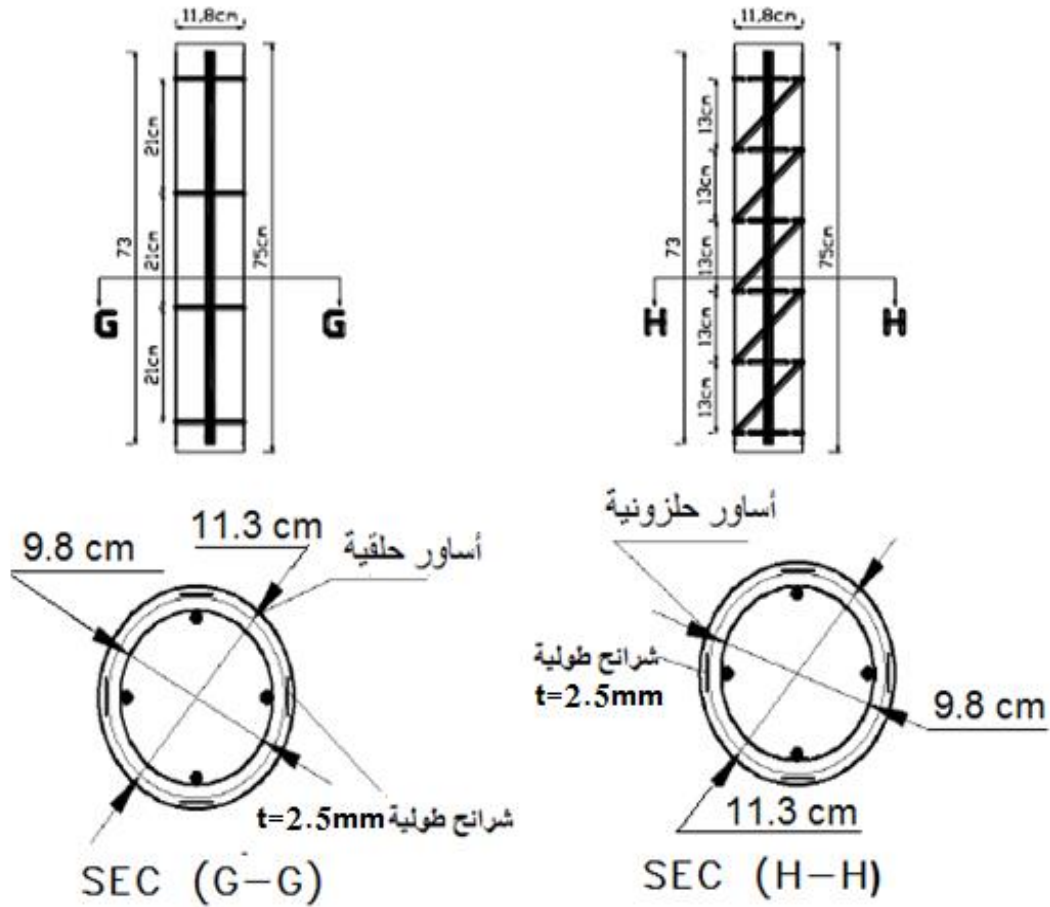
نوع الأساور	قطر الاساور	الأبعاد cm	شكل المقطع العرضي	الارتفاع cm	التسليح الطولي	الخلطة البيتونية	رقم العمود	المجموعة		
عادية	4φ6	8×12.5	مستطيل	75	4T8	C: S: g: (w/c) =1: 2: 4: 0.5	1 & 2	I مرجعية		
عادية		10×10	مربع				3 & 4			
حلقية		D=11.3	دائري				5 & 6			
حلزونية							7 & 8			
عادية		8×12.5	مستطيل	75					9 & 10	II اعادة تأهيل
عادية		10×10	مربع						11 & 12	
حلقية		D=11.3	دائري						13 & 14	
حلزونية									15 & 16	
عادية		8×12.5	مستطيل	75					17 & 18	III تقوية
عادية		10×10	مربع						19 & 20	
حلقية		D=11.3	دائري						21 & 22	
حلزونية									23 & 24	



الشكل (7-2) نماذج تسليح وأبعاد الأعمدة المختبرة من قبل الباحث [6]



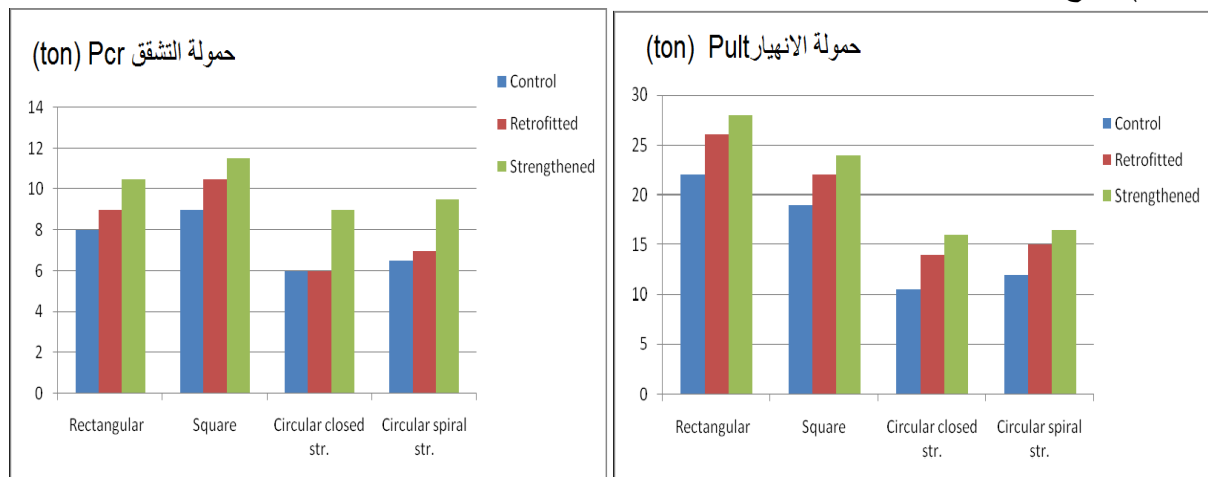
الشكل (8-2) تفاصيل القمصان الفولاذية للأعمدة المربعة والمستطيلة المختبرة من قبل الباحث [6]



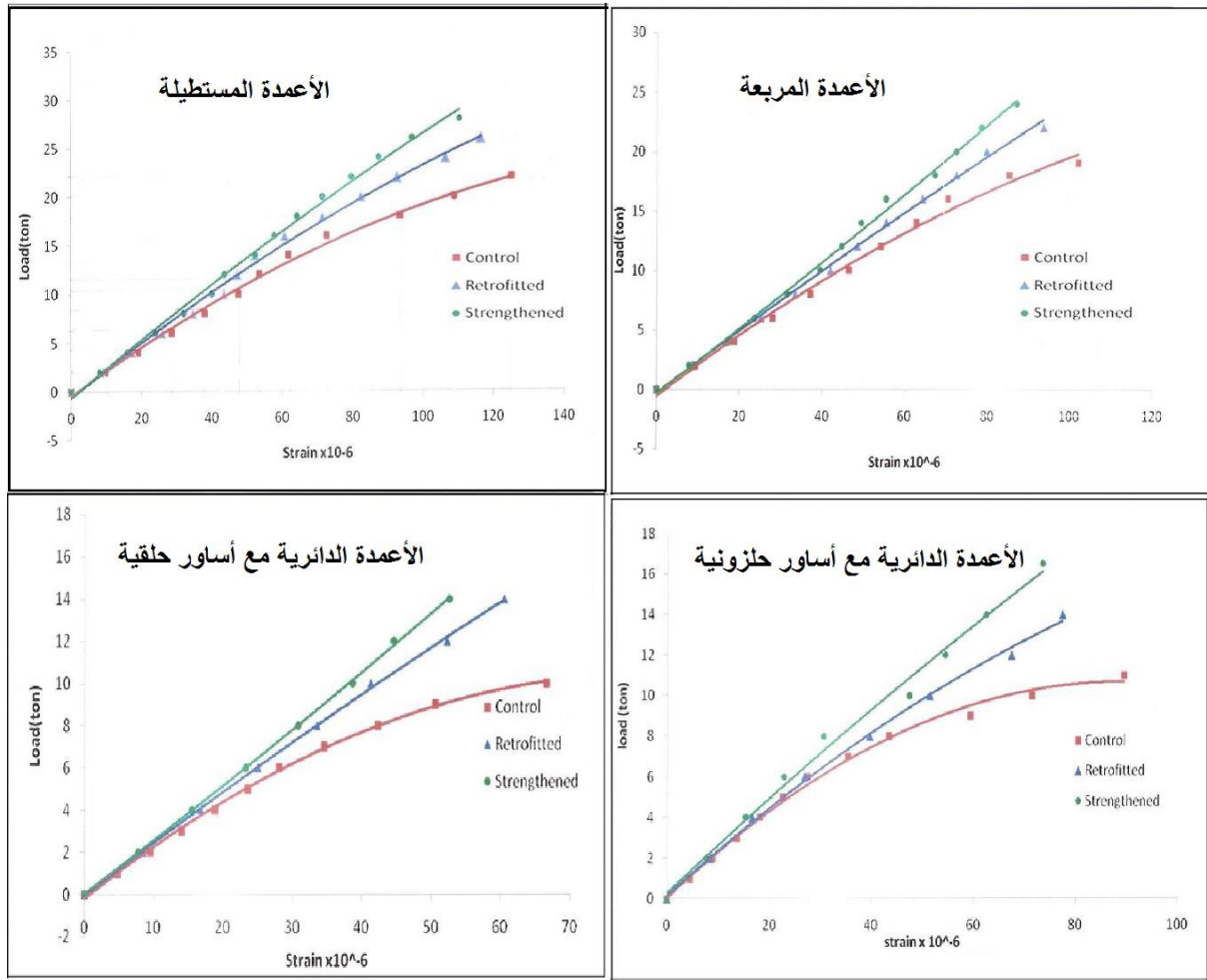
الشكل (9-2) تفاصيل القمصان الفولاذية للأعمدة الدائرية المختبرة من قبل الباحث [6]

2-2-2- النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (10-2) نتائج حمولة الانهيار وحمولة ظهور أول شق لأعمدة المجموعات المختبرة ويبين الشكل (11-2) نتائج منحنيات الحمولة-تشوه للأعمدة المختبرة.



الشكل (10-2) نتائج حمولة الانهيار وحمولة ظهور أول شق لأعمدة المجموعات المختبرة



الشكل (11-2) منحنيات حمولة- تشوه للأعمدة المختبرة

ويوضح الشكل (12-2) بعض نماذج الانهيار للأعمدة المدعمة بعد اختبارها.



الشكل (12-2) بعض نماذج الانهيار للأعمدة المدعمة

نتائج الدراسة:

بالاعتماد على النتائج التجريبية تبين ما يلي:

- ❖ التحسن الكبير في الأداء الميكانيكي للأعمدة المطوقة وخواصها حيث زادت مقاومة الأعمدة المستطيلة والمربعة المعاد تأهيلها بنسبة وصلت حتى % (20)، وازدادت بنسبة وصلت حتى % (30) للأعمدة المقواة مقارنة مع الأعمدة المرجعية، أما الأعمدة الدائرية فقد أعطت زيادة في المقاومة بنسبة % (50) مقارنة مع المرجعي.
- ❖ الإنجاز الأكثر فائدة من تطبيق تقنية القمصان الفولاذية هو تقوية الأجزاء المتضررة، والمقاومة التي نتجت من اختبار الأعمدة المتشققة مسبقاً والمعاد تأهيلها بطوق من الصفائح كانت أكبر بنسبة وسطية تراوحت بين % (15-18) من قيمة المقاومة في الأعمدة المرجعية.
- ❖ خفضت التقوية من التشوهات وتلتها إعادة التأهيل في تخفيض التشوهات مقارنة مع الأعمدة المرجعية لجميع أشكال الأعمدة.

2-3- تقوية وترميم الأعمدة الخرسانية المسلحة المربعة باستخدام الاطواق الفولاذية الخارجية [7] :

" Strengthening And Rehabilitation Of Reinforcement Concrete Square Columns Confined With External Steel Collars" [7]

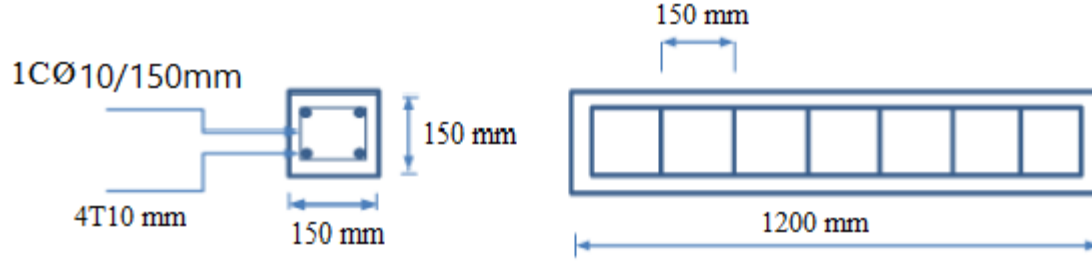
2-3-1- مقدمة:

قامت الباحثة (Khamail Abdul-Mahdi Mosheer) [7] بعرض نتائج الدراسة التجريبية لمجموعة مكونة من ثلاث عشر عمود بيتوني مسلح بمقطع عرضي مربع بهدف دراسة تأثير تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام تقنية التطويق، حيث تم استخدام الأطواق الفولاذية لتقوية الأعمدة خارجياً ودراسة تأثير ذلك على سلوك وأنماط الانهيار للأعمدة، حيث شملت الدراسة التجريبية دراسة تأثير مساحة التطويق، وحجم الأطواق، ومقاومة الضغط البيتونية للعمود، وأظهرت النتائج التجريبية فائدة تقنية التطويق المستخدمة في تحسين مقاومة الأعمدة ومطاوعتها، حيث ازدادت قدرة التحمل مع زيادة مساحة التطويق، كما بيّنت النتائج أن تأثير التطويق على تقوية العمود يكون أكثر وضوحاً في حالة انخفاض مقاومة الضغط لبيتون الأعمدة، وتراوحت الزيادة في قدرة التحمل المحورية للعمود بين % (12.36-56.04) في حالة تقوية الأعمدة.

2-3-2- الدراسة التجريبية:

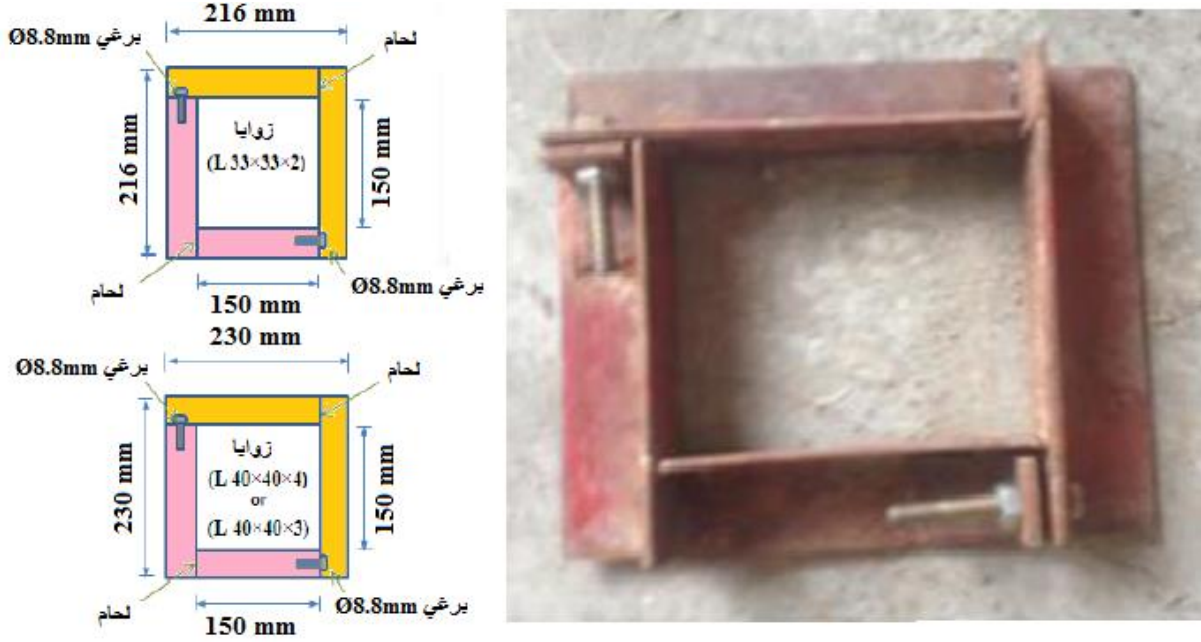
2-3-2-1- وصف النماذج المدروسة:

أجرت الباحثة تجاربها على ثلاث عشر عمود بيتونياً مسلحاً بمقطع عرضي مربع الشكل، أبعاد الأعمدة (1200*150*150mm) وجميع الأعمدة مزودة بتسليح طولي (4T10mm) وتسليح عرضي (1CØ10/150mm) على كامل امتداد العمود، ويبين الشكل (2-13) تفصيلات التسليح للأعمدة المختبرة.



الشكل (13-2) تفصيلات التسليح للأعمدة المختبرة من قبل الباحثة [7]

يبين الشكل (14-2) نموذج الأطواق المستخدمة في تقوية وتدعيم الأعمدة البيتونية المختبرة.



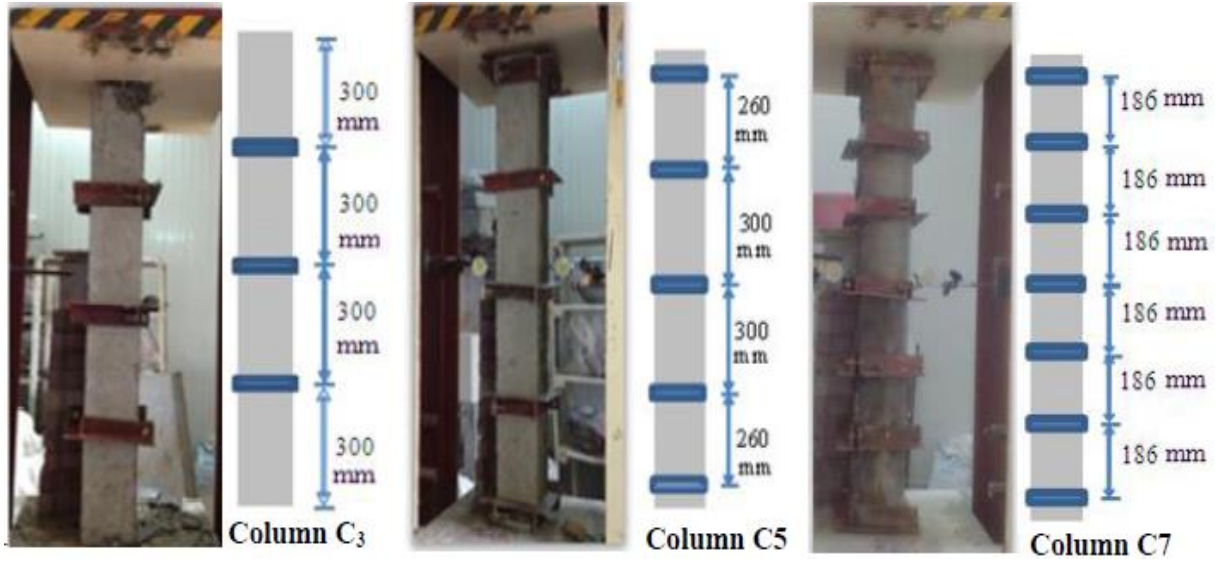
الشكل (14-2) الطوق الفولاذي المستخدم لتقوية الأعمدة البيتونية المسلحة من قبل الباحثة [7]

تم تقسيم مجموعات الأعمدة تبعاً لعدد الأطواق الفولاذية وتبعاً للهدف من التطويق كما يلي:

- ❖ العمود (C): مرجعي غير مدعم.
- ❖ ثلاثة اعمدة (C3, C5, C7): تم تقويتها بثلاثة أطواق، وخمسة اطواق، وسبعة أطواق فولاذية على الترتيب قبل اختبارها وذلك من أجل دراسة تأثير مساحة المنطقة المطوقة على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي (C) وهي موضحة في الشكل (15-2).
- ❖ ثلاثة اعمدة (C3a, C3b, C3c): تم تقويتها بثلاثة أطواق، مع تغيير أبعاد الزاوية الفولاذية المستخدمة في تشكيل الطوق الفولاذي، وذلك من أجل دراسة تأثير أبعاد عناصر الطوق الفولاذي على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي (C) وهي موضحة في الشكل (16-2).
- ❖ من أجل دراسة تأثير تغير مقاومة الضغط لبيتون الأعمدة عند استخدام ذات النوع و العدد من الأطواق على سلوك الأعمدة، فقد تم مقارنة ما يلي:

1. ثلاثة اعمدة (C3e,C,C3f): تم تقويتها قبل التحميل بثلاثة أطواق، مع تغيير مقاومة الضغط للبيتون وفق القيم التالي على الترتيب (22.2MPa, 26.5 MPa ,29.4 MPa) وهي موضحة في الشكل (17-2).

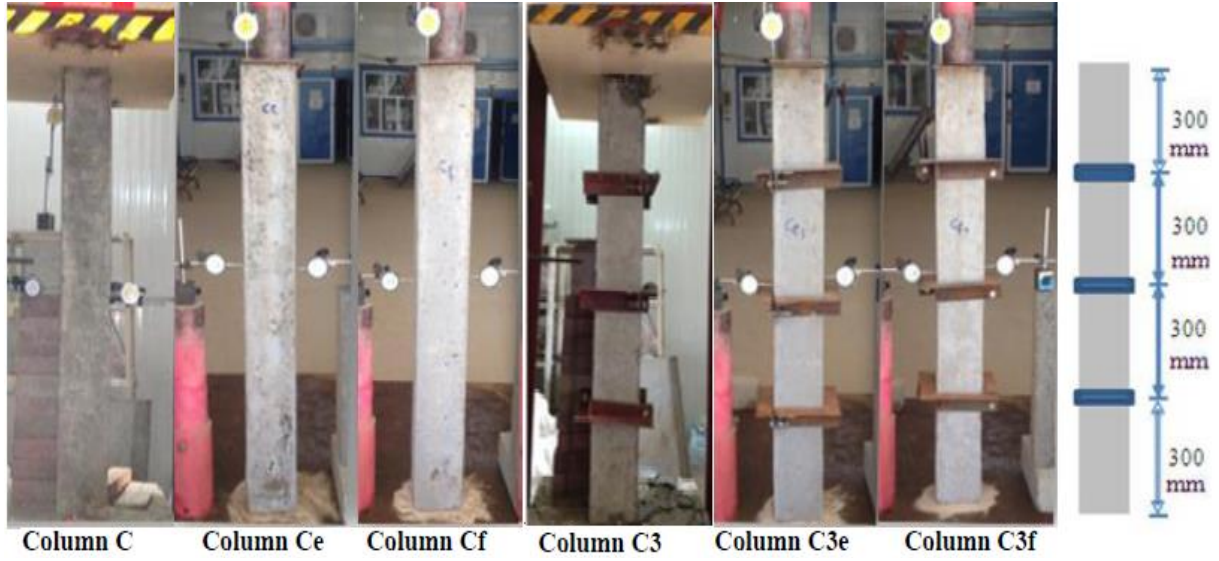
2. ثلاثة اعمدة (Ce,C,Cf): غير مقواة، استخدمت كأعمدة مرجعية للمقارنة مع تغيير مقاومة الضغط للبيتون وفق ذات القيم على الترتيب (22.2 MPa ,26.5MPa, 29.4MPa) وهي موضحة في الشكل (17-2).



الشكل (15-2) الأعمدة المستخدمة لدراسة تأثير مساحة المنطقة المطوقة من قبل الباحثة [7]



الشكل (16-2) الأعمدة المستخدمة لدراسة تأثير أبعاد عناصر الطوق الفولاذي من قبل الباحثة [7]



الشكل (2-17) الأعمدة المستخدمة لدراسة تأثير تغير مقاومة الضغط للبيتون الأعمدة من قبل الباحثة [7]

2-2-3-2- خواص المواد المستخدمة:

1- البيتون: نسبة الماء للإسمنت (W/C=0.5) ، ونتائج مقاومة الشد والمقاومة المميزة على الضغط للبيتون المستعمل في الأعمدة موضحة في الجدول (2-3).

2- فولاذ التسليح وفولاذ عناصر الطوق الفولاذي: أجريت اختبارات الشد على حديد التسليح والشرائح المعدنية فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (2-4) .

الجدول (2-3) مقاومة الشد والمقاومة المميزة على الضغط للبيتون المستعمل في الأعمدة [7]

رقم الخلطة البيتونية	f'_c (MPa)	f_r (MPa)
1	22.2	2.89
2	26.5	3.15
3	29.4	3.30

الجدول (2-4) مقاومة الشد واجهاد الخضوع لحديد التسليح والشرائح المعدنية [7]

نوع العنصر وأبعاده (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
تسليح طولي T=10 وعرضي $\phi=10$	437	690
L 33 × 33 × 2	440	663
L 40 × 40 × 3	435	674
L 40 × 40 × 4	422	636

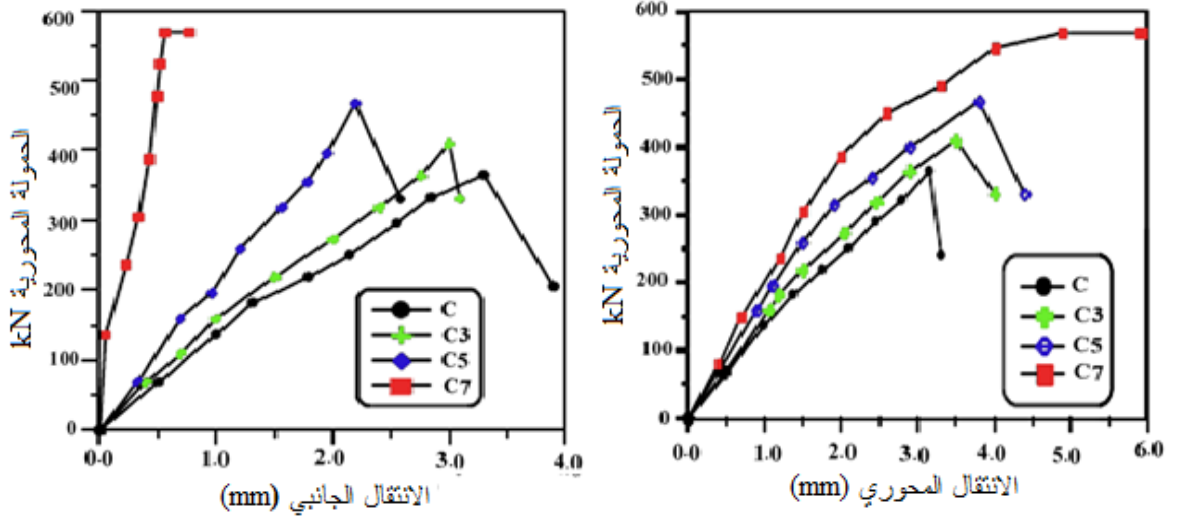
2-3-3-3- النتائج والمناقشة:

من النتائج في الدراسة التجريبية استنتجت الباحثة ما يلي:

2-3-3-1- دراسة تأثير مساحة المنطقة المطوقة على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي (C):

يبين الشكل (2-18) منحنيات (الحمولة -انتقال محوري)، ومنحنيات (الحمولة - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لعدد الأطواق الفولاذية، ويلاحظ تحسن أداء الأعمدة البيتونية المسلحة المحملة محورياً نتيجة التطويق الجانبي مع زيادة عدد الأطواق.

يلاحظ ازدياد قدرة تحمل الأعمدة المدعمة (C3، C5، C7) مقارنة مع العمود المرجعي غير المدعم (C) وفق النسب التالية على الترتيب % (56.04، 28.29، 12.36)، ويلاحظ انخفاض قيمة الانتقال المحوري والجانبي نتيجة زيادة أبعاد عدد الأطواق الفولاذية مقارنة مع العمود المرجعي غير المقوى.

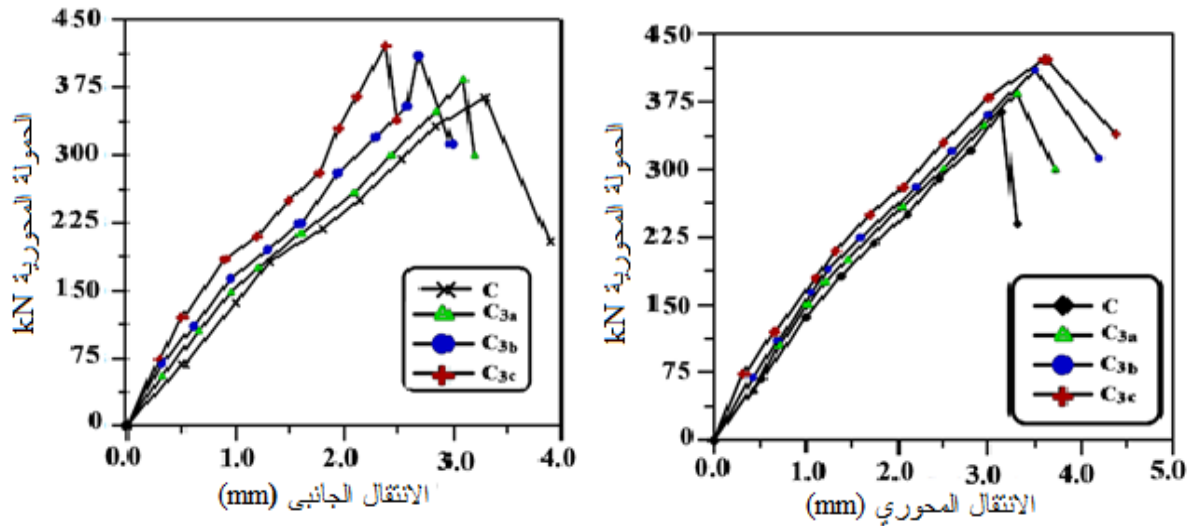


الشكل (2-18) منحنيات (الحمولة -انتقال محوري) ، ومنحنيات (الحمولة - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لعدد الأطواق الفولاذية

2-3-3-2- دراسة تأثير أبعاد مكونات الطوق الفولاذي على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي (C):

يبين الشكل (2-19) منحنيات (الحمولة -انتقال محوري)، ومنحنيات (الحمولة - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لتغير أبعاد مكونات الأطواق الفولاذية، ويلاحظ تحسن أداء الأعمدة البيتونية المسلحة المحملة محورياً نتيجة التطويق الجانبي مع زيادة أبعاد عناصر الأطواق الفولاذية.

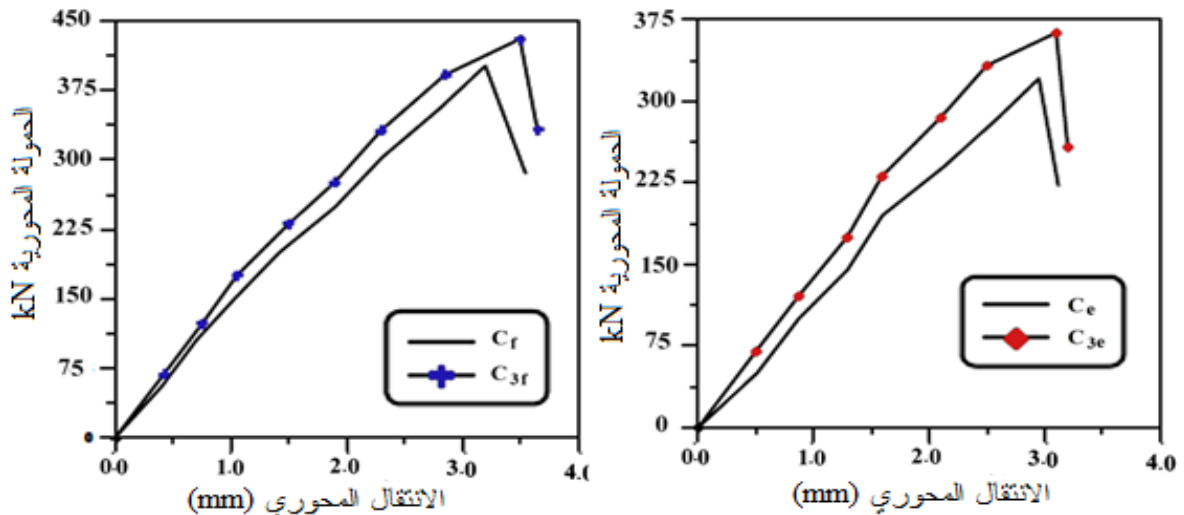
يلاحظ ازدياد قدرة تحمل الأعمدة المدعمة (C3a، C3b، C3c) مقارنة مع العمود المرجعي غير المدعم (C) وفق النسب التالية على الترتيب % (18.68، 15.93، 12.60) بسبب ازدياد صلابة الأطواق الفولاذية مع زيادة أبعاد مكوناتها، ويلاحظ انخفاض قيمة الانتقال المحوي والجانبي نتيجة زيادة أبعاد عناصر الأطواق الفولاذية .



الشكل (2-19) منحنيات (الحمل - انتقال محوري) ، ومنحنيات (الحمل - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لتغير أبعاد مكونات الأطواق الفولاذية

2-3-3-3- دراسة تأثير تغير مقاومة الضغط لبيتون العمود على التقوية:

يبين الشكل (2-20) منحنيات (الحمل - انتقال محوري) للأعمدة المطوقة المختبرة مقارنة مع أعمدتها المرجعية وذلك تبعاً لتغير المقاومة المميزة على الضغط لبيتون الأعمدة، حيث ازدادت قدرة تحمل الأعمدة المدعمة (C3e , C3 , C3f) ذات المقامات المميزة على الضغط (22.2 , 26.5 , 29.4) MPa على الترتيب وذلك مقارنة مع أعمدتها المرجعية (Cf , C , Ce) وفق النسب التالية (7.2 , 12.36 , 13) على الترتيب، أي أن فعالية التطويق الفولاذي تكون أكثر وضوحاً عند مقاومة ضغط بيتونية منخفضة لبيتون الأعمدة.



الشكل (2-20) منحنيات (الحمل - انتقال محوري) ، ومنحنيات (الحمل - انتقال جانبي) للعمود المرجعي وللأعمدة المطوقة المختبرة تبعاً لتغير المقاومة المميزة على الضغط لبيتون الأعمدة

نتائج الدراسة:

بالاعتماد على النتائج التجريبية تبين ما يلي:

- ❖ يؤدي التدعيم باستخدام تقنية الأطواق الفولاذية الخارجية في الأعمدة الخرسانية المسلحة إلى تحسين المقاومة والمطاوعة للأعمدة المدعمة، وذلك بسبب زيادة الضغط الجانبي الذي توفره على الخرسانة.
- ❖ تؤدي الزيادة في أبعاد الأطواق الفولاذية إلى الزيادة في حصر البيتون وبالتالي زيادة في قدرة التحمل الحدية.
- ❖ يقلل التطويق الفولاذي الخارجي من الانتقال الجانبي لعمود الخرسانة المسلحة.
- ❖ يكون تأثير الحصر أكثر وضوحاً في العمود ذي مقاومة ضغط المنخفضة.

2-4- التقييم التجريبي للسلوك المحوري للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المقواة [8]:

" Experimental Evaluation of Axial Behavior of Strengthened Circular Reinforced-Concrete Columns". [8]

2-4-1- مقدمة:

قام الباحثون (Eric A. Miller، M.Asce،Halil Sezen) [8] بعرض نتائج الدراسة التجريبية لمجموعة مكونة من سبعة أعمدة بيتونية مسلحة بمقطع عرضي دائري بهدف دراسة تأثير طريقة تطبيق الحمولة على الأعمدة المطوقة (تطبيق الحمولة على البيتون المطوق فقط ورمزها L، تطبيق الحمولة على البيتون المطوق ومادة التطويق معاً ورمزها C)، حيث تم استخدام نموذجين للتقوية الخارجية للأعمدة باستخدام الأطواق الفولاذية (التقوية باستخدام التطويق الفولاذي لكامل العمود، التطويق باستخدام قميص بيتوني مسلح باستخدام الأقفاص الفولاذية مسبقة الصنع ذات الفتحات المستطيلة PCS) ودراسة تأثير ذلك على سلوك وأنماط الانهيار للأعمدة، وأظهرت النتائج التجريبية فائدة طريقتي التطويق المستخدمتين في تحسين مقاومة الأعمدة ومطاوعتها .

2-4-2- الدراسة التجريبية:

2-4-2-1- وصف النماذج المدروسة:

أجرى الباحثون تجاربهم على سبعة أعمدة بيتونية مسلحة بمقطعها العرضي دائري الشكل قطره (152 mm)، وطول العمود (762 mm) والأعمدة مزودة بتسليح طولي (6T10mm) وبتسليح عرضي (1CØ6.5 /76mm) على كامل امتداد العمود، أحد هذه الأعمدة تم اعتباره مرجعياً وبقية الأعمدة الستة تم تقويتها بقمصان من الفولاذ وفق نمطي تدعيم قبل تحميلها حتى الانهيار والأعمدة المختبرة من قبل الباحثين [7] مبينة في الجدول (2-5).

الجدول (5-2) نماذج الأعمدة المدعمة بقمصان من الفولاذ والمجربة من قبل الباحثين [8]

نموذج التدعيم	سماكة صفيحة التدعيم الفولاذية		الأعمدة المحملة على البيتون فقط	الأعمدة المحملة على البيتون ومادة التقوية معاً
	(mm)	(in)		
مرجعي بدون تدعيم	-	-	Refrence	-
قميص فولاذي كامل	4.95	0.195	L-CFT	C-CFT
قميص بيتوني مسلح	6.4	1/4	L-PCS-1/4	C-PCS-1/4
بقصص فولاذي	7.9	5/16	L-PCS-5/16	C-PCS-5/16

2-2-4-2- خواص المواد المستخدمة:

- 1- البيتون: المقاومة المميزة على الضغط للبيتون المستخدم في جميع الأعمدة $f'_c = 28.6 \text{ (MPa)}$.
 - 2- فولاذ التسليح وفولاذ عناصر الطوق الفولاذي: أجريت اختبارات الشد على فولاذ التسليح وعينات من فولاذ الشرائح المعدنية المختلفة المستخدمة في التدعيم فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (4-2).
- الجدول (2-6) مقاومة الشد لفولاذ التسليح للأعمدة ولشرائح التدعيم الفولاذية [8]

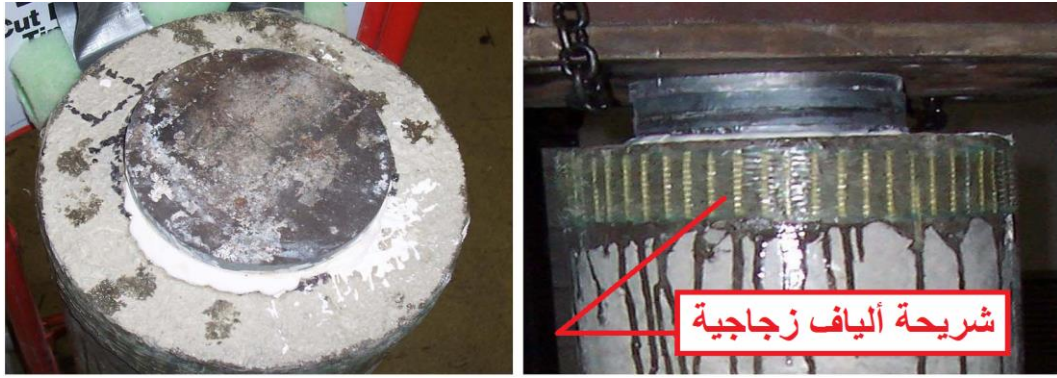
نوع العنصر وأبعاده (mm)	القطر أو السماكة (mm)	$f_y \text{ (MPa)}$	$f_u \text{ (MPa)}$
تسليح طولي رئيسي	T 10	483	775
تسليح عرضي	Ø6.5	399	545
L-CFT, C-CFT	4.95	460	501
C-PCS-1/4 & L-PCS-1/4	6.4	476	525
C-PCS-5/16 & L-PCS-5/16	7.9	469	514

2-2-4-3- تحضير العينات و نموذج التحميل :

تم صب الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المجربة باستخدام ذات التسليح و ذات المواصفات لكل من البيتون وفولاذ التسليح الطولي والعرضي، وجرى تقوية الطرفين العلوي والسفلي للأعمدة البيتونية باستخدام شريحتين من الألياف الزجاجية بعرض (76 mm) لمنع الانهيار الموضعي وذلك في حالة العمود المرجعي والأعمدة المدعمة بقميص بيتوني مسلح بالقصص الفولاذي ، وذلك في حالتي التحميل من النمطين C و L كما هو موضح في الشكلين (21-2) و (22-2).



الشكل (21-2) تقوية الطرف العلوي للعمود المحمل وفق النمط C بشريحة الألياف الزجاجية



الشكل (22-2) تقوية الطرف العلوي للعمود المحمل وفق النمط L بشريحة الالياف الزجاجية

3-4-2- النتائج والمناقشة:

من النتائج في الدراسة التجريبية استنتج الباحثون ما يلي:

- 2-3-4-1- دراسة تأثير التطويق بالقميص الفولاذي لكامل العمود على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي: يبين الشكل (23-2) نماذج الانهيار للعمودين المطوقين بالكامل باستخدام القميص الفولاذي وفق شكلي التحميل C,L ، و بلغ القطر الخارجي القميص الفولاذي (219 mm) بسماكة (4.95mm)، و تم ملء المسافة البالغة (31 mm) بين الطوق الفولاذي والعمود البيتوني المدعم ذي القطر (152 mm) باستخدام بيتون مقاومته المميزة على الضغط (22.5 MPa) .



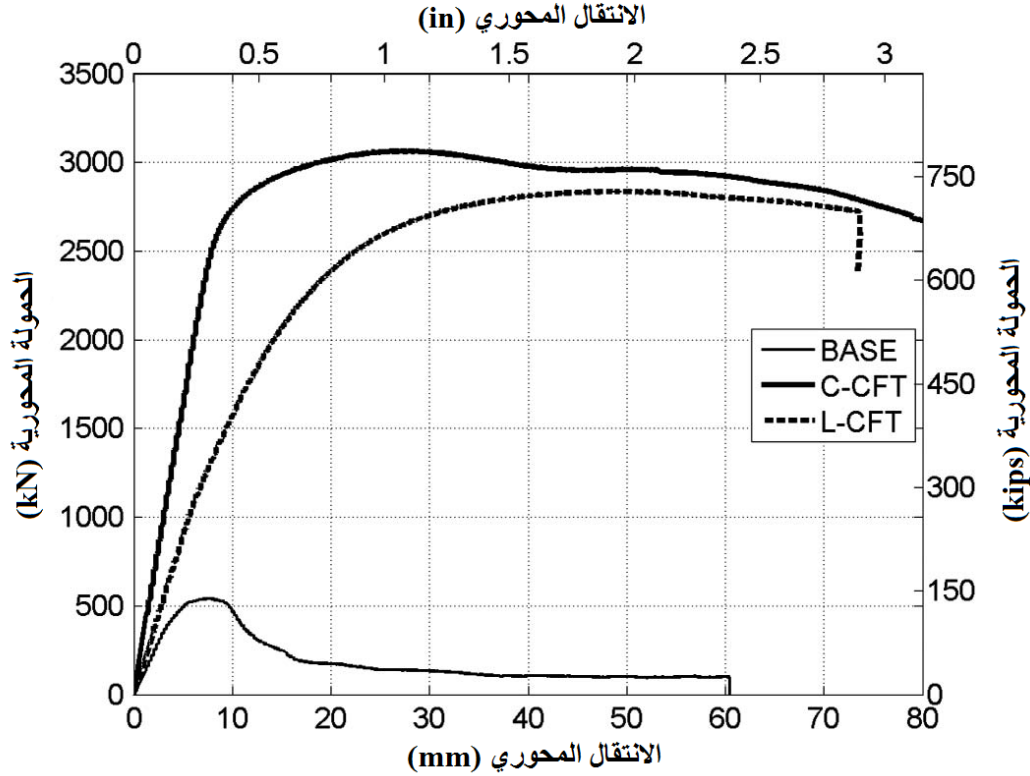
(العمود C-CFT)



(العمود L-CFT)

الشكل (23-2) نماذج الانهيار للعمودين المطوقين بالكامل باستخدام القميص الفولاذي تبعاً لشكل التحميل

ويظهر الشكل (24-2) منحنيات (الحمولة المحورية - انتقال محوري) للعمود المرجعي وللعمودين المدعمن بالقميص الفولاذي الكامل وفق شكلي التحميل (C,L).



الشكل (24-2) منحنيات (الحمولة المحورية - انتقال محوري) للعمود المرجعي غير المدعم (BASE) وللعمودين المدعمن بالقميص الفولاذي الكامل وفق شكلي التحميل C,L

بالاعتماد على المنحنيات في الشكل (22-2) يلاحظ تحسن أداء الاعمدة البيتونية المسلحة المحملة محورياً نتيجة التطويق الفولاذي الكامل مما حسن الصلابة وقلل التشوهات وزاد من قدرة التحمل مقارنة مع العمود المرجعي غير المدعم، ويلاحظ أن التطويق الفولاذي الكامل للأعمدة الدائرية عند تطبيق الحمل على البيتون والقميص الفولاذي معاً (العمود C-CFT) كان أكثر فعالية من حالة تطبيق الحمل على البيتون فقط (العمود L-CFT) مع أنها الحالة الأكثر تطبيقاً في الواقع، حيث يتم تدعيم ركائز الجسور مثلاً دون الوصول الى القمة وبالتالي لا يتلقى القميص أي حمولة محورية ويقتصر دوره على حصر البيتون.

2-3-4-2 دراسة تأثير التطويق بالقميص البيتوني المسلح بققص فولاذي (PSC) على التقوية مقارنة مع العمود المرجعي:

تم تدعيم أربعة أعمدة بيتونية باستخدام قمصان بيتونية مسلحة بققص معدني مشكل من نوعين من الصفائح الأولى بسماكة (7mm) والثانية بسماكة (8mm) حيث تم تشكيل هذه الصفائح بشكل اسطوانة قطرها الخارجي (216 mm) وتم تشكيلها من خلال تنفيذ ثقوب مستطيلة في جسدها باستخدام القطع بالليزر على الرغم من كونها طريقة مكلفة كما هو مبين في الشكل (25-2)، وقد تم دراسة هذه التقنية بشكل مفصل من قبل [9]، [10]، [11].



توضع الأقفاص في منتصف القميص البيتوني الأقفاص الفولاذية الجاهزة لتسليح القميص البيتوني تشكيل الأقفاص الفولاذية بتقنية القطع بالليزر

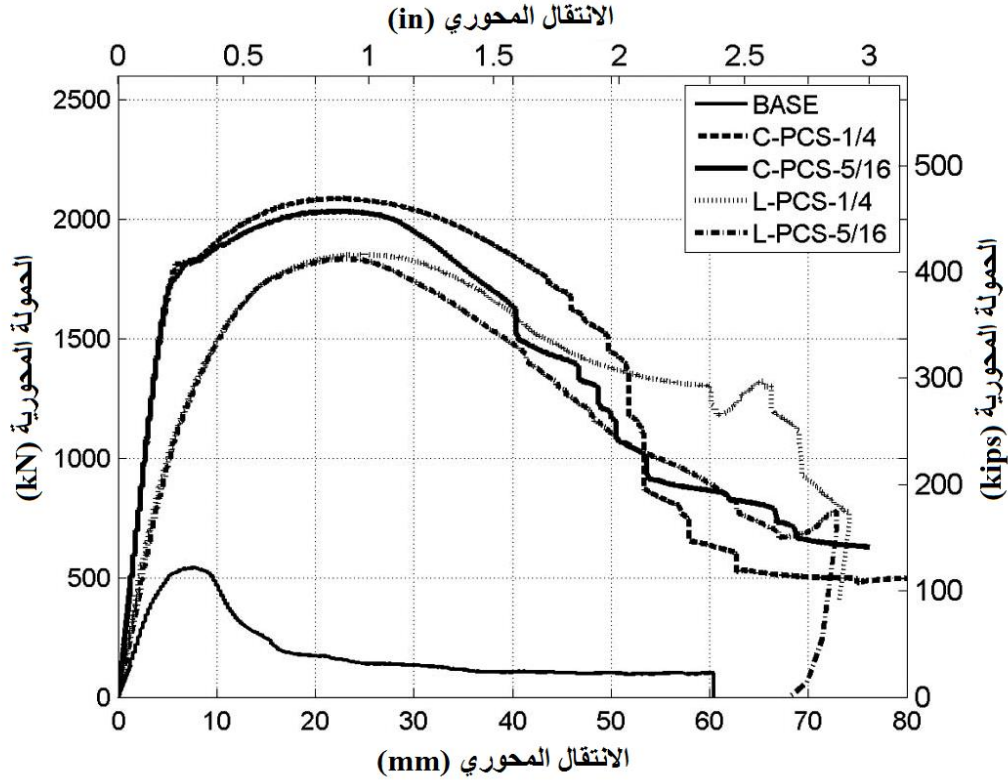
الشكل (25-2) خطوات صناعة القفص الفولاذي وشكل توضع ضمن القميص البيتوني للأعمدة المدعمة

تم وضع القفص الفولاذي في وسط القميص البيتوني الذي تبلغ سماكته (51 mm) وكانت مقاومة البيتون المستخدم في القميص (22.5 MPa)، ويظهر الشكل (26-2) بعض أنماط الانهيار للأعمدة المدعمة بتقنية القميص البيتوني المسلح بقفص بيتوني.



الشكل (26-2) بعض أنماط الانهيار للأعمدة المدعمة بتقنية القميص البيتوني المسلح بقفص بيتوني.

يبين الشكل (27-2) منحنيات (الحمولة المحورية - انتقال محوري) للعمود المرجعي للأعمدة المدعمة بقميص بيتوني مسلح بالقفص الفولاذي (PCS) تبعاً لتغير شكل التحميل (C ، L) وتغير سماكة القفص الفولاذي.



الشكل (27-2) منحنيات (الحمولة المحورية - انتقال محوري) للعمود المرجعي ولأعمدة المدعمة بالقميص

البيتوني المسلح بالقفص الفولاذي تبعاً لسماكة الصفائح ولشكل التحميل C,L

بالاعتماد على المنحنيات في الشكل (27-2) يلاحظ أن الصلابة الأولية والمقاومة كانت أكبر عند تطبيق الحمولة على كامل المقطع العرضي المدعم كما في حالة الأعمدة (C-PCS-1/4)، (C-PCS-5/16) مقارنة مع الأعمدة المحملة على البيتون فقط (L-PCS-1/4)، (L-PCS-5/16)، وأبدى القفص الفولاذي (PCS) ذو السماكة الأقل مقاومة أفضل بعد الذروة بشكل طفيف، وعند الوصول إلى الحمولة الأعظمية تم التواء الفولاذ الطولي للقفص الفولاذي (PCS) بسبب حدوث انقطاعات في الفولاذ العرضي مما سبب انخفاض المقاومة عند الانتقال المحوري الكبير.

نتائج الدراسة:

بالاعتماد على النتائج التجريبية تبين ما يلي:

- ❖ لقد حسنت الأنابيب الفولاذية (FCT) من الصلابة والمقاومة والمطاوعة بشكل أكبر.
- ❖ وكانت القمصان (PCS) فعالة حتى انهيار الخرسانة.

الفصل الثالث

الدراسة التجريبية

Experimental Study

3-1- مقدمة:

يعد إجراء التجارب المخبرية عنصراً أساسياً من عناصر البحث عن الحقيقة العلمية وتأكيداتها، ومن أجل خدمة أهداف هذا البحث فقد تم إجراء التجارب المخبرية من أجل معرفة تأثير التدعيم بالقمصان الفولاذية على سلوك الضغط المركزي للأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية.

تضمن البرنامج التجريبي اختبار ستة وثلاثين عموداً بيتونياً مسلحاً دائرياً حيث تم تحضيرها بذات المواصفات (الأبعاد، التسليح الطولي والعرضي) وباستخدام نوعين مختلفين من البيتون تبعاً للمقاومة الأسطوانية المميزة على الضغط، وصممت الأعمدة وفق مقاييس مناسبة ونماذج مصغرة عن الواقع، وبعد إجراء الاختبارات المناسبة لتحديد مواصفات المواد المكونة لهذه الأعمدة وخصائصها، بدأت عملية التدعيم بالقمصان الفولاذية وفق الترتيبات الخاصة بها، وبعدها جرى اختبار الأعمدة حتى الانهيار واستخلصت منها النتائج التجريبية المطلوبة .

أجريت هذه التجارب في مخبري البيتون ومواد البناء في كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث، وتم تقسيم العمل التجريبي إلى خمس مراحل رئيسية كما يلي :

1- تأمين وتحضير المواد وإجراء الاختبارات اللازمة، وتأمين القوالب المستخدمة لصب الأعمدة مع العينات المرافقة.

2- تجهيز الصفائح الفولاذية وتشكيلها وفقاً لنماذج التدعيم المقترحة.

3- تحضير الأعمدة البيتونية لعملية التدعيم وإجراء العمليات اللازمة عليها.

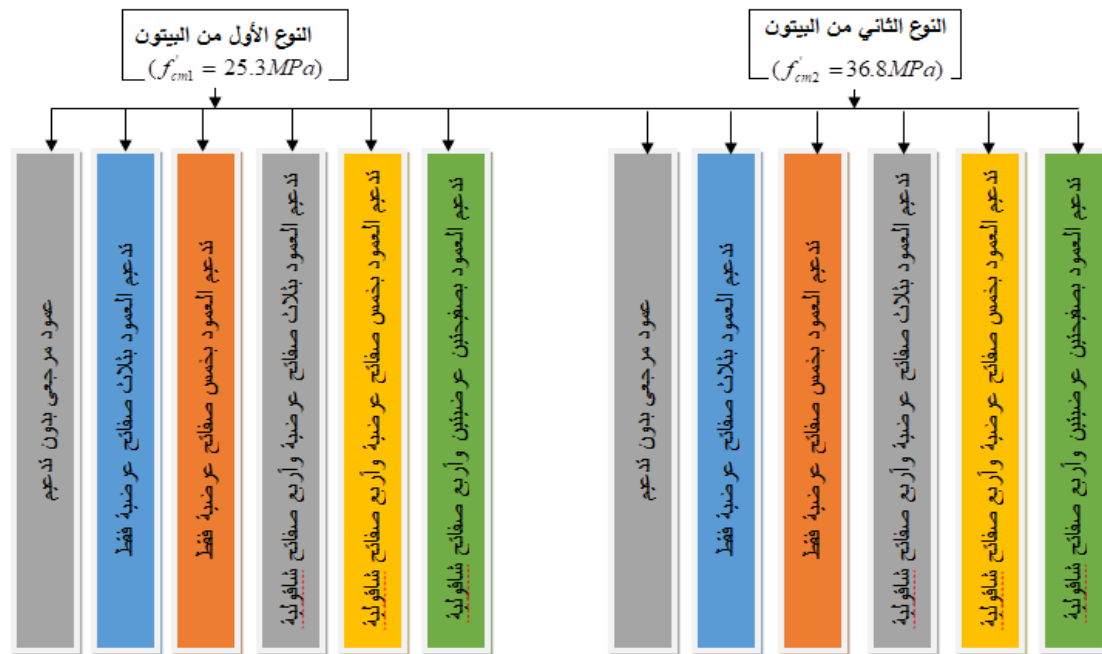
4- تطبيق مادة التدعيم وفق ترتيبات خاصة، وأخذ العينات المرافقة وإجراء الاختبارات اللازمة عليها.

5- التجهيز النهائي للأعمدة المدعمة وتزويدها بحساسات الانتقال وتحميلها حتى الانهيار، واستخلاص النتائج منها.

3-2- مواصفات العينات و الأعمدة المجربة :

يتضمن البحث التجريبي إجراء اختبارات على مجموعات مؤلفة من ستة وثلاثين عموداً بيتونياً مسلحاً، وهذه الأعمدة متماثلة بالأبعاد، فمقطعها العرضي دائري الشكل قطرها (D=150 mm)، وارتفاعها (H = 400 mm) باعتباره أقصى ارتفاع ممكن الوصول اليه باستخدام أجهزة الكسر الموجودة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث، وذات نوعين من خواص المواد تبعاً للمقاومة الاسطوانية المميزة على الضغط للبيتون (النوع الاول من البيتون بمقاومة أسطوانية وسطية على الضغط ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)، والنوع الثاني من البيتون بمقاومة أسطوانية وسطية على الضغط ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)، وهي مزودة بتسليح طولي (4T8mm) وهو مخالف لما نص عليه الكود العربي السوري [4] بأن لا يقل عدد قضبان التسليح الطولي للأعمدة الدائرية عن ستة قضبان وذلك بهدف إظهار فعالية التدعيم بشكل أكبر، وزودت الأعمدة بتسليح عرضي (أساور)

(1CØ6/120 mm) مع ترك مسافة للأساور مقدارها (20 mm) في أعلى وأسفل العمود، وعند الاختبار تتعرض هذه الأعمدة لقوة ضغط مركزية، وتم تقسيم الأعمدة وفقاً لشكل التدعيم ومقاومة الببتون إلى اثني عشرة مجموعة، وكل منها يضم ثلاثة أعمدة متماثلة، وهذه المجموعات موضحة في الجدولين (1-3)، (2-3) والشكل (1-3) يبين المخطط المنهجي لعملية التدعيم للأعمدة المجربة.



الشكل (1-3) المخطط المنهجي لعملية التدعيم للأعمدة المجربة

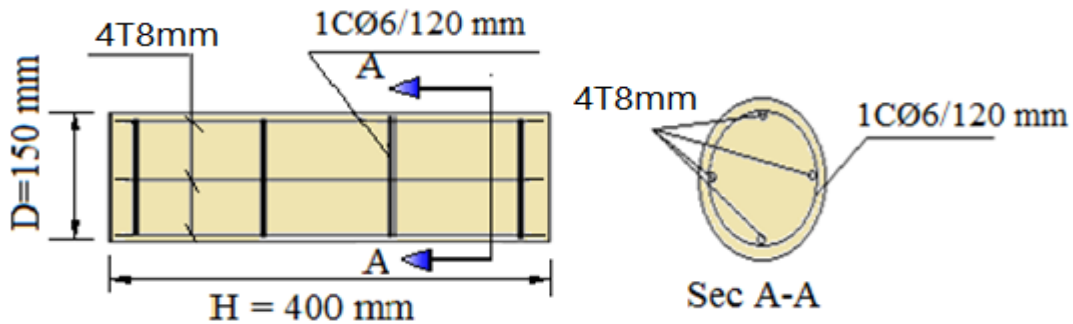
الجدول (1-3) مواصفات أعمدة المجموعة ذات النوع الأول من الببتون

تسلسل	المجموعة	اسم العمود	شكل التدعيم	$f'_{cm1}(MPa)$
1	CR-1 (مرجعية)	C1-1	بدون	25.3
		C1-2		
		C1-3		
2	4L-3S-1	C1-4	ثلاث صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية	
		C1-5		
		C1-6		
3	4L-5S-1	C1-7	خمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية	
		C1-8		
		C1-9		
4	3S-1	C1-10	ثلاث صفائح عرضية	
		C1-11		
		C1-12		
5	5S-1	C1-13	خمس صفائح عرضية	
		C1-14		
		C1-15		
6	4L-2S-1	C1-16	صفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية	
		C1-17		
		C1-18		

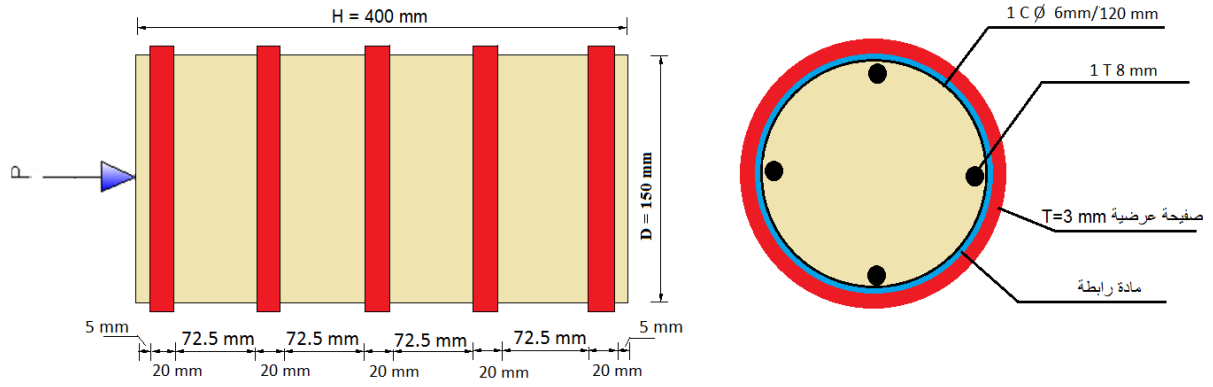
الجدول (2-3) مواصفات أعمدة المجموعة ذات النوع الثاني من البيتون

تسلسل	المجموعة	اسم العمود	شكل التدعيم	$f'_{cm2} (MPa)$
1	CR-2 (مرجعية)	C2-1	بدون	36.8
		C2-2		
		C2-3		
2	4L-3S-2	C2-4	ثلاث صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية	
		C2-5		
		C2-6		
3	4L-5S-2	C2-7	خمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية	
		C2-8		
		C2-9		
4	3S-2	C2-10	ثلاث صفائح عرضية	
		C2-11		
		C2-12		
5	5S-2	C2-13	خمس صفائح عرضية	
		C2-14		
		C2-15		
6	4L-2S-2	C2-16	صفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية	
		C2-17		
		C2-18		

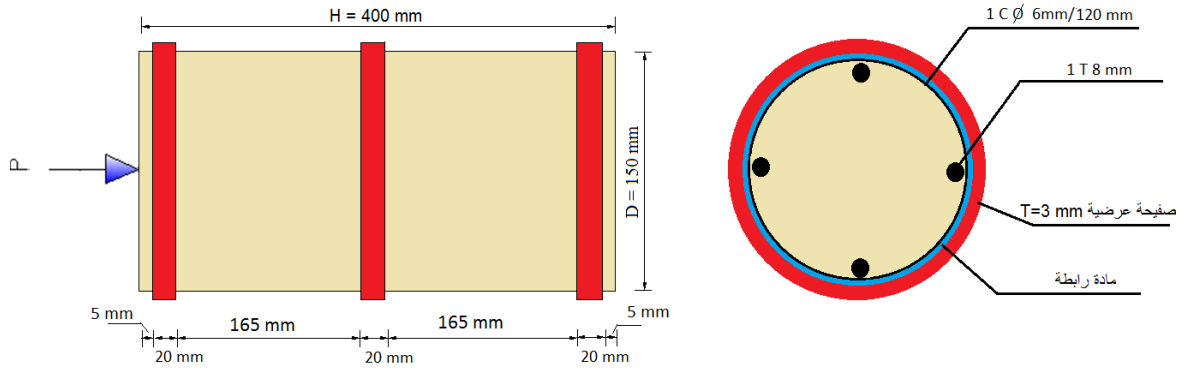
اعتمدنا لتسمية المجموعات الرمز (L) لصفائح التدعيم الفولاذية الطولية، والرمز (S) لصفائح التدعيم الفولاذية العرضية والأرقام السابقة لهذين الرمزين تدل على عدد الصفائح، وعند تسمية العمود ضمن المجموعات اعتمدنا التسمية (Cm-n) حيث يرمز الحرف (m) لنوع البيتون المستخدم (الرقم 1 يرمز للنوع الأول من البيتون حيث $f'_{cm1} = 25.3MPa$ ، والرقم 2 يرمز للنوع الثاني من البيتون حيث $f'_{cm2} = 36.8MPa$)، ويرمز الحرف (n) لرقم العمود، ويبين الشكل (2-3) تفاصيل التسليح والمقطعين الطولي والعرضي للأعمدة المجربة قبل التدعيم، وتبين الأشكال (3-3)، (4-3)، (5-3)، (6-3)، (7-3) نماذج التدعيم لمجموعات الأعمدة البيتونية الدائرية المدعمة بالقمصان الفولاذية.



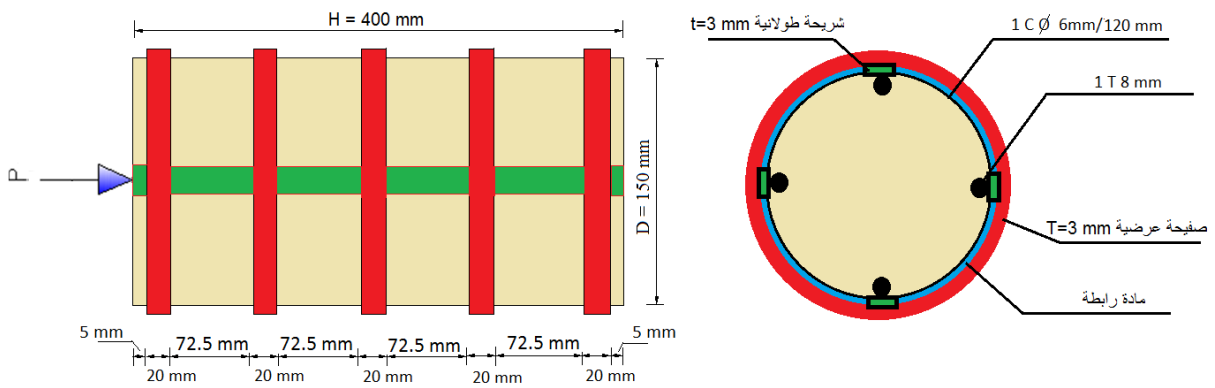
الشكل (2-3) تفاصيل أبعاد وتسليح العمود المرجعي



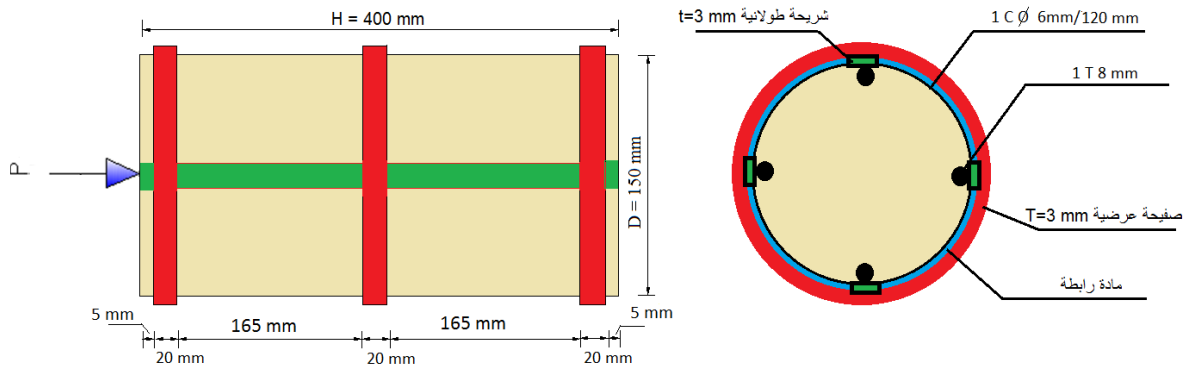
الشكل (3-3) أبعاد الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية فقط



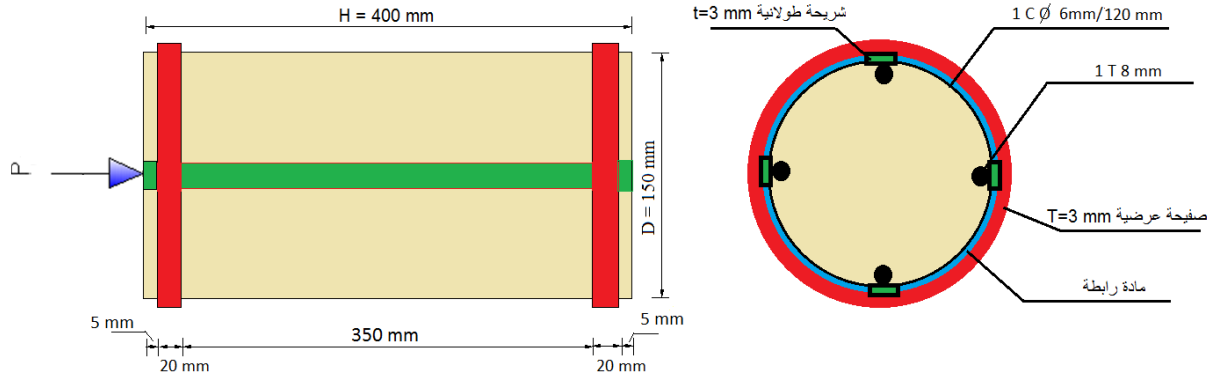
الشكل (4-3) أبعاد الأعمدة المدعمة بثلاث صفائح عرضية فقط



الشكل (5-3) أبعاد الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية



الشكل (6-3) أبعاد الأعمدة المدعمة بثلاث صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية



الشكل (7-3) أبعاد الأعمدة المدعمة بصفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية

3-3- خواص المواد المستخدمة في البحث :

3-3-1- البيتون:

3-3-1-1- مواصفات الحصى والرمل المستخدم :

استخدمت الحصى الخشنة المكسرة ذات المنشأ الدولوميتي ومصدرها مقالع حسياء قرب مدينة حمص، والمقاس الاعتباري لأكبر حصوية يساوي 20mm، حيث استخدم أربعة أصناف من المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخلطين البيتونيتين، وأوزانها الحجمية مبينة في الجدول (3-3).

الجدول (3-3) الوزن الحجمي لمكونات الخلطين البيتونيتين

العينه	الوزن الحجمي النهائي Kg / m^3
بحص خشن	1496
رمل قرواني	1542
رمل مكسر	1400
زرادة	1357

واستخدم الرمل القرواني الأبيض النظيف وهو يمر من المنخل 4.75، و أجريت لهذا الرمل تجربة المكافئ الرملي لتحديد صلاحية هذا الرمل للاستخدام في منشآت البيتون المسلح، كما هو موضح في الجدول (4-3).

الجدول (4-3) المكافئ الرملي لعينات الرمل

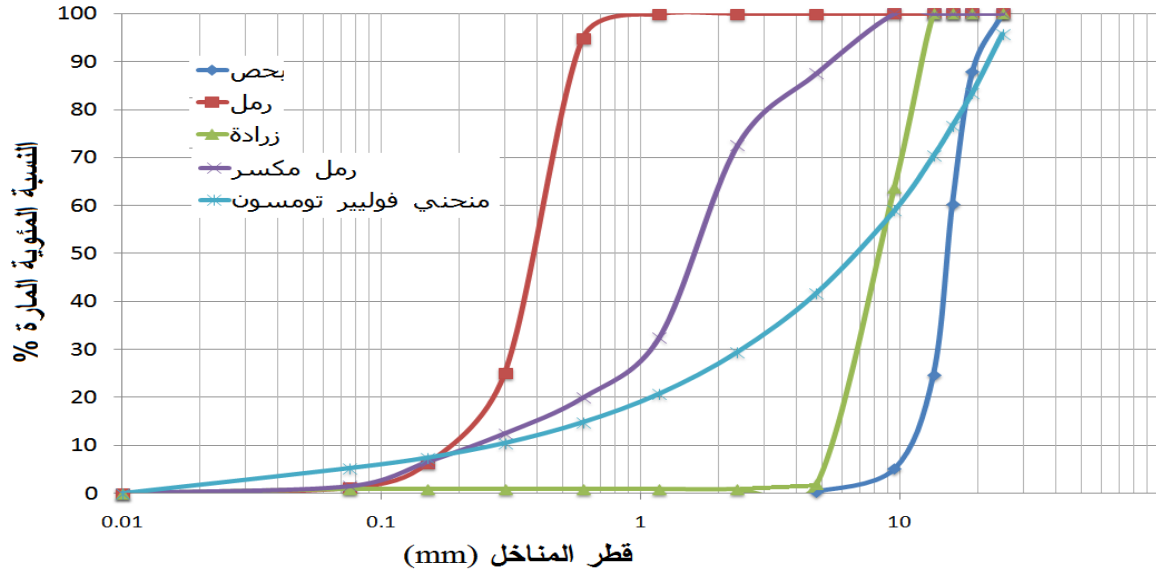
رقم الأنبوب	h_1 (cm)	h_2 (cm)	المكافئ الرملي E.S%	المكافئ الرملي الوسطى %
1	17.5	10.5	60	(جيد) 64
2	10.2	7	69	
3	12	7.5	63	

3-3-1-2- الاسمنت المستخدم :

استخدم الإسمنت البورتلاندي العادي من الصنف 32.5 بمعدل $350 Kg / m^3$ للخلطة البيتونية الأولى، وبمعدل $400 Kg / m^3$ للخلطة البيتونية الثانية.

3-1-3-3- الخلطة البيتونية:

تم تحضير خلطتين بيتونيتين باستخدام ذات النوع من الحصويات مع تغيير النسب الوزنية لها تبعاً لمقاومة الضغط المطلوبة للبيتون المستعمل في صب الأعمدة البيتونية، وأجريت تجربة التحليل الحبي حيث يبين الشكل (8-3) منحنيات التحليل الحبي ومنحني فولير-تومسون المثالي الناتج عن الدراسة.



الشكل (8-3) منحنيات التحليل الحبي لمواد الخلطة الخرسانية ومنحني فولير - تومسون المثالي

وصممت الخلطتان البيتونيتان بمقاومة ضغط على عمر 28 يوماً لا تقل عن (20MPa) للخلطة الأولى، وبمقاومة ضغط لا تقل عن (30MPa) للخلطة الثانية، ويبين الجدول (5-3) التركيب الوزني ونسب المواد المستخدمة في الخلطتين البيتونيتين الأولى والثانية على الترتيب .

الجدول (5-3) التركيب الوزني ونسب الإحضارات المستخدمة في الخلطتين البيتونيتين الأولى والثانية

الخلطة البيتونية	المادة	اسمنت	رمل	رمل مكسر	بحص	زرادة	ماء
الأولى	كمية المواد Kg / m^3	350	180	565	565	545	210
	نسبة المواد مقارنة مع الاسمنت	1	0.51	1.61	1.61	1.56	0.6
الثانية	كمية المواد Kg / m^3	400	175	550	560	535	215
	نسبة المواد مقارنة مع الاسمنت	1	0.44	1.38	1.40	1.34	0.54

وبلغ هبوط مخروط أبرامز عند تجهيز الخلطة البيتونية الأولى (6 cm) ، و (5.5 cm) عند تجهيز الخلطة البيتونية الثانية مما يدل على قابلية تشغيل جيدة كما هو مبين في الشكل (3-9).



الشكل (3 - 9) تجربة هبوط مخروط أبرامز وقوام الخلطين البيتونيتين التجريبيتين

3-3-1-4- نتائج كسر العينات الاسطوانية:

تم صب الأعمدة البيتونية المجربة على دفعتين في الورشة، وأخذت لكل عملية صب مجموعة مكونة من ثلاث عينات اسطوانية (15×30cm)، وحفظت العينات مغمورة في الماء لمدة 28 يوماً، وكسرت ست عينات بعد 28 يوماً باستخدام جهاز كسر العينات البيتونية الموجود في مخبر مواد البناء، وباعتبار أن التدعيم للعينات تم بعد مضي 250 يوماً لذلك تم كسر عينات اسطوانية مرافقة على نفس العمر لمعرفة المقاومة الوسطية للبيتون عند التدعيم، والعينات الاسطوانية المختبرة على عمر 28 يوماً و250 يوماً مبنية في الشكلين (3-10)، (3-11) على الترتيب، و نتائج اختبارات الضغط للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم و250 يوماً (وهو عمر الكسر الفعلي للأعمدة والعينات الأسطوانية المرافقة بعد انقضاء هذه المدة) موضحة في الجدولين (3-6) و (3-7) .



الشكل (3-10) العينات الاسطوانية المجربة على عمر 28 يوماً وتحميل إحدى العينات



الشكل (3-11) العينات الاسطوانية المجربة على عمر 250 يوماً وتحمل إحدى العينات

الجدول (3-6) نتائج اختبارات الضغط للعينات الاسطوانية لدفعات الصب على عمر 28 يوم

الخلطة	العينه	الأبعاد (cm)		الوزن Kg	الحمولة KN	المقاومة المصححة MPa	المقاومة الوسطية MPa
		الارتفاع	القطر				
الأولى عيار 350 Kg / m ³	cylinder – 1	29.8	15	12.530	280	15.84	17.1
	cylinder – 2	29.8	14.9	12.590	330	18.93	
	cylinder – 3	30.4	15.2	13.255	300	16.53	
الثانية عيار 400 Kg / m ³	cylinder – 1	30.0	15.0	13.155	440	24.9	24.6
	cylinder – 2	30.3	15.1	13.145	400	22.3	
	cylinder – 3	30.4	14.8	12.725	460	26.7	

الجدول (3-7) نتائج اختبارات الضغط للعينات الاسطوانية لدفعات الصب على عمر 250 يوم

الخلطة	العينه	الأبعاد (cm)		الوزن Kg	الحمولة KN	المقاومة الاسطوانية بعمر 250 يوماً MPa	المقاومة الاسطوانية الوسطية بعمر 250 يوماً MPa
		الارتفاع	القطر				
الأولى عيار 350 Kg / m ³	C'1-1	29.9	15	12.025	440	24.90	25.30
	C'1-2	30.3	15.2	12.690	464	25.56	
	C'1-3	30.2	15.1	12.650	457	25.43	
الثانية عيار 400 Kg / m ³	C'2-1	30.1	15.2	12.860	669.6	36.92	36.80
	C'2-2	30	15.2	12.885	675.6	37.25	
	C'2-3	30.3	15.1	12.810	648.3	36.22	

ملاحظة : كانت المقاومة الاسطوانية الوسطية لكلتا الخلطتين البيتونيتين على عمر 250 يوماً أكبر بشكل واضح مقارنة مع مثيلتها لنفس الخلطة البيتونية على عمر 28 يوماً ويعود ذلك الى الاسمنت المستخدم وهو من معمل اسمنت طرطوس.

3-3-2- فولاذ التسليح :

أجري اختبار الشد المباشر لعينات من الفولاذ المستخدم في مخبر مواد البناء -كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث كما هو مبين في الشكل (3-12)، ونتائج تجربة شد الفولاذ موضحة في الجدول (3-8).

الجدول (3-8) نتائج تجربة شد الفولاذ لقضبان التسليح

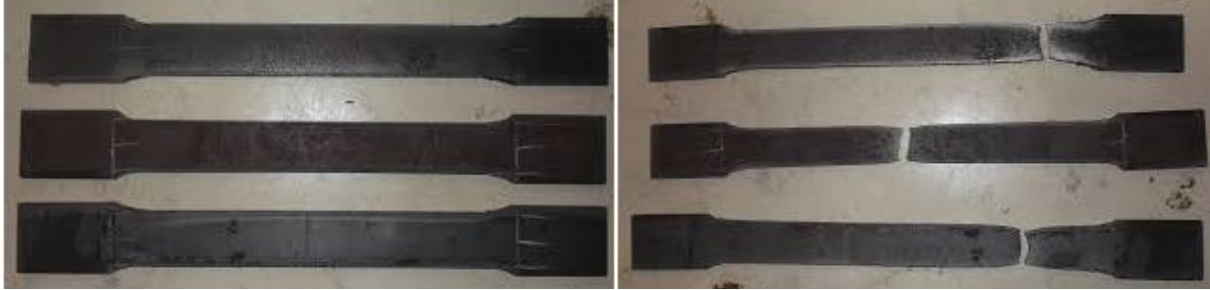
نتائج اختبار عينات قضبان التسليح الفولاذية								
القطر (mm)	العينة	الطول المختبر (mm)	اجهاد الخضوع	اجهاد الانقطاع	إجهاد الانقطاع الوسطي	التطاول النسبي	التطاول النسبي الوسطي	
		(mm)	(MPa)	(MPa)			%	
8	1	80	506.3	502.3	656.8	30.6	30.2	646.8
	2	80	496.3		636.9	29.8		
	3	80	504.3		646.6	30.2		
6	1	60	441.3	433.3	619.2	28.2	27.8	610.4
	2	60	423.3		601.6	27.4		
	3	80	435.3		610.4	27.9		



الشكل (3-12) نتائج تجربة شد فولاذ قضبان التسليح المستخدم

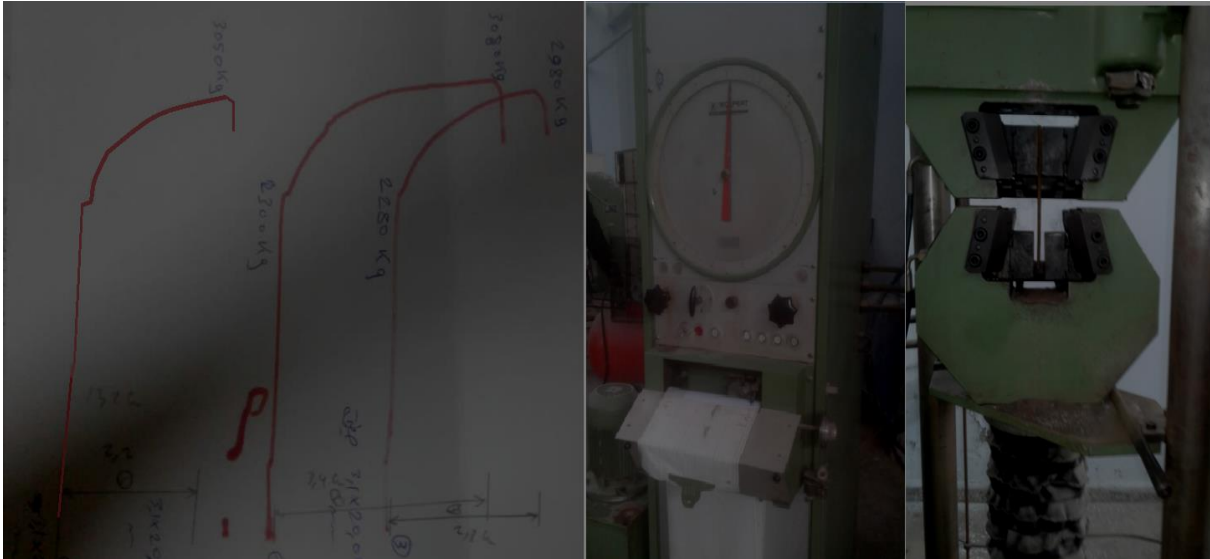
3-3-3- الصفائح الفولاذية :

تم استخدام صفائح فولاذية من النوع (G43) للتدعيم الخارجي الطولي والحلقي بسماكة (3mm) ، وأجري اختبار الشد عليها وفق اشتراطات (ASTM E8) [13] ، كما هو مبين في الشكل (13-3) .



الشكل (13-3) نموذج الصفائح الفولاذية المختبرة بالشد وفقاً لـ ASTM [12]

ويبين الشكل (14-3) مخططات الشد للصفائح الفولاذية، ونتائج تجربة الشد للصفائح الفولاذية مبينة في الجدول (9-3).



الشكل (14-3) تجربة شد صفائح التدعيم الفولاذية

الجدول (9-3) نتائج تجربة الشد لصفائح التدعيم الفولاذية

العينه	السماكة (mm)	المقطع المجرب mm ²	اجهاد الخضوع (MPa)	اجهاد الانقطاع (MPa)	إجهاد الانقطاع الوسطي (MPa)	التطاول النسبي %	التطاول النسبي الوسطي %
1	3	60	383.3	415.3	424.4	22.8	23.2
2	3	60	376.4	431.4		23.6	
3	3	60	383.3	426.6		23.2	

3-3-4- المادة المائلة للفراغات بين صفائح التدعيم الفولاذية العرضية وبيتون الأعمدة المدعمة :

استخدم مركب (POLYCRETE-FBR) الموضح في الشكل (3-15)، وهو مركب مكون من (مادة اسمنتية ،وألياف الفايبر، ومادة SRC المانعة للتقلص، ومادة Groute اللاصقة، ومواد تزيد الكتامة) [12] ويملك هذا المركب قدرة التصاق عالية مع البيتون، ويستخدم لإصلاح الأضرار الجسيمة في الأعمدة والبلاطات وفي المناطق عالية الحث مثل (المنشآت البحرية، الموانئ) [12] ، وتتمتع هذه المادة بالخواص التالية وفقاً للشركة المصنعة [12] :

- ذات مقاومة عالية نتيجة وجود ألياف الفايبر.
 - تمنع حدوث التآكل في حديد التسليح للخرسانة.
 - تطبق على سطح مستوي، نظيف وغير ملوث.
 - يمكن مزجها يدوياً وميكانيكياً، ويمكن تطبيق هذه المادة حتى سماكة 40 mm.
- ويوضح الجدول (3-10) مواصفات مادة (POLYCRETE-FBR) وفقاً للشركة المنتجة [12] .

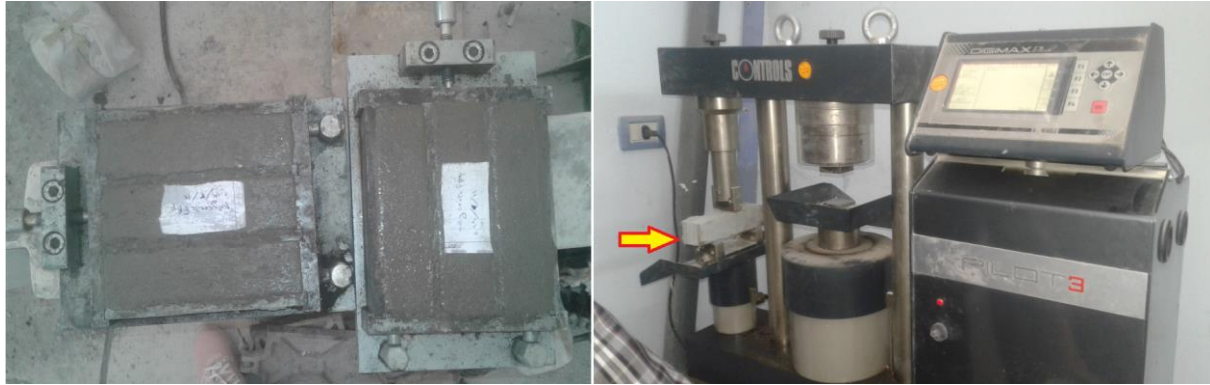


الشكل (3-15) مادة البولي كريت المستخدمة في إملء الفراغات بين الصفائح والأعمدة

الجدول (3-10) المواصفات الفنية لمادة POLYCRETE-FBR من الشركة المنتجة [12]

القيمة	الوحدة	المواصفة
بودرة رمادية	-	المظهر و اللون
1.4 ± 0.05	g / cc	الكثافة عند درجة 25°
حتى 2mm	(mm)	قياس الحبيبات
(3.5 to 4.5)	hour	زمن الجفاف (بداية الجفاف - نهايته) عند الحرارة 20°
20 -50	%	نسبة الماء في الخلطة
> 45	(MPa)	مقاومة الضغط (مكعبة 50x50x50 mm) بعمر 28 يوم
> 12	(MPa)	مقاومة الانحناء (موشور 160x40x40 mm) بعمر 28 يوم

وللتأكد من خواص المادة تم تحضير خلطة من هذه المادة، وكانت نسبة الماء المضاف إلى البولي كريت ($W/Polycrete = 0.2$) ، وتم صب ست عينات موشورية بأبعاد ($40 \times 40 \times 160$ mm) وست عينات مكعبية أبعاد ($50 \times 50 \times 50$ mm) كما هو موضح في الشكلين (3-16) و (3-17)، واختبرت هذه المادة في مخبر مواد البناء - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث بعمر 7 أيام وبعمر 28 يوماً، وكانت نتائج التجارب كما هو مبين في الجدولين (3-11) و (3-12).



الشكل (3-16) العينات الموشورية لمادة Polycrete وجهاز اختبارها - مخبر مواد البناء



الشكل (3-17) العينات المكعبية لمادة Polycrete وجهاز اختبارها - مخبر مواد البناء

الجدول (3-11) نتائج تجربة الشد بالانعطاف لعينات Polycrete الموشورية

عمر العينة	العينة	أبعاد العينة الموشورية (mm)	مقاومة الشد بالانحناء (MPa)	مقاومة الشد بالانحناء الوسطية (MPa)
7 أيام	1	$40 \times 40 \times 160$	4.73	4.58
	2	$40 \times 40 \times 160$	4.32	
	3	$40 \times 40 \times 160$	4.7	
28 يوماً	1	$40 \times 40 \times 160$	12.90	12.97
	2	$40 \times 40 \times 160$	12.82	
	3	$40 \times 40 \times 160$	13.2	

الجدول (12-3) نتائج تجربة الضغط لعينات Polycrete المكعبة

عمر العينة	العينة	أبعاد العينة المكعبة (mm)	مقاومة الضغط (MPa)	مقاومة الضغط المكعبية الوسطية (MPa)
7 أيام	1	50×50×50	40.37	39.90
	2	50×50×50	38.91	
	3	50×50×50	40.41	
28 يوماً	1	50×50×50	67.44	66.17
	2	50×50×50	69.40	
	3	50×50×50	61.68	

3-3-5- المادة اللاصقة للصفائح الفولاذية الطولية مع العمود البيتوني:

استخدمت مادة مالينات البوليستر [16] لتثبيت الصفائح الفولاذية الطولية على وجه العمود البيتوني الدائري المسلح، كما استخدمت في بعض الأعمدة المدعمة بالصفائح الفولاذية كمادة مالئة بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني لبعض الأعمدة بدلاً من مادة Polycrete وذلك بهدف دراسة الفرق بين سلوك الأعمدة المدعمة بذات النموذج مع اختلاف المادة المالئة للفراغ بين الصفائح الحلقية والبيتون، وتطبق مادة مالينات البوليستر على سطوح جافة صلبة ونظيفة ويضاف إليها مادة مصلبة بنسبة (2-5%)، ويتم مزجها لمدة دقيقة واحدة قبل استخدامها.

3-4- نموذج التحميل وأجهزة القياس :

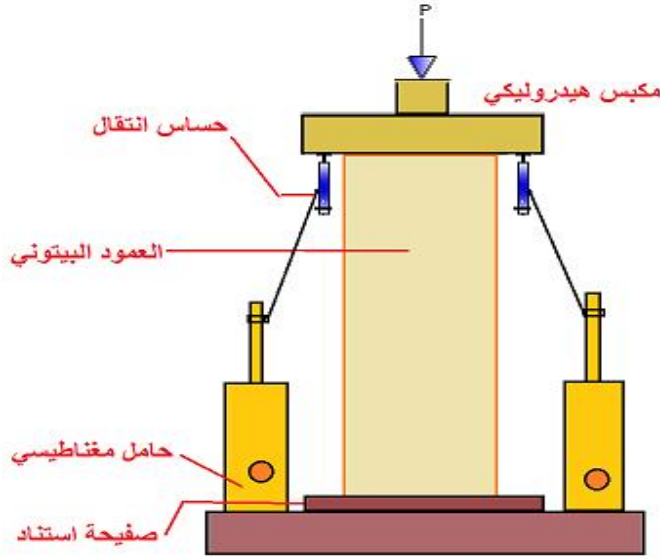
أجريت التجارب في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث، و باستخدام جهاز تجريب العينات الاسطوانية الموضح في الشكل (3-18) وهو جهاز ذو طاقة تحمل (3000kN) ويتألف من مكبس هيدروليكي وذراع لتطبيق القوة وأجهزة استناد وهيكل معدني رئيسي وساعة قياس تعطي قيمة القوة المطبقة، حيث طبقت حمولة مركزة ومتزايدة، وتم أخذ القياسات عند كل حمولة مع متابعة تطور الشقوق في البيتون .



الشكل (3-18) جهاز تجريب العينات الاسطوانية في مخبر مواد البناء - كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث

3-4-1- طريقة قياس الانتقالات :

تم قياس الانتقالات باستخدام الحساسات الالكترونية من النوع LVDTs، وذلك في نقطتين من المكبس الهيدروليكي متناظرتين بالنسبة لمحور العمود المجرب، ويوضح الشكل (19-3) مواقع الحساسات بعد تثبيتها قبل اختبار أحد الأعمدة البيتونية المجربة في المخبر.



الشكل (19-3) مواقع الحساسات ونموذج التحميل للأعمدة المجربة

3-5- مراحل العمل المخبري:

يمكن تقسيم المراحل المنجزة خلال المرحلة التجريبية إلى سبع مراحل كما يلي:

3-5-1- المرحلة الأولى (صب الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية والعينات الاسطوانية المرافقة):

تم في البداية تجهيز شبكات التسليح الفولاذية للأعمدة البيتونية المسلحة، وتم تأمين القوالب الأسطوانية اللازمة كما هو موضح في الشكل (20-3).



الشكل (20-3) تجهيز شبكات التسليح والقوالب للأعمدة البيتونية الدائرية

بعد تجهيز المواد اللازمة والقوالب البلاستيكية الخاصة بها وتثبيت التسليح ضمنها جرى صب الأعمدة البيتونية المسلحة مع عينات اسطوانية أبعادها (150x300mm) مرافقة من أجل تحديد مقاومة البيتون المستخدم كما هو موضح في الشكل (3-21)، و بعد مضي 24 ساعة من الصب تم فك القوالب وإخراج الأعمدة والعينات منها، وغمرت الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية والعينات الاسطوانية في المياه لمدة 28 يوماً كما هو موضح في الشكل (3-22).



الشكل (3-21) صب العينات الاسطوانية والأعمدة البيتونية الدائرية



الشكل (3-22) حفظ الأعمدة البيتونية الدائرية والعينات الاسطوانية في الماء

3-5-2- المرحلة الثانية (تجهيز عناصر القميص الفولاذي) :

يتكون القميص الفولاذي المستخدم في تدعيم الأعمدة الدائرية الخرسانية المسلحة من صفائح فولاذية طولية ممتدة على كامل ارتفاع العمود و صفائح فولاذية عرضية دائرية (حلقية)، وكانت أبعاد هذه الصفائح الفولاذية وفق ما يلي (عرضها 20 mm، وسماكتها 3 mm)، وتضمنت هذه المرحلة إجراءات خاصة مقسمة كما يلي:

3-5-2-1- الإجراءات الخاصة بتحضير الصفائح الفولاذية الطولية :

نتيجة لعدم توفر صفائح فولاذية جاهزة وفق الأبعاد المعتمدة في البحث وخاصة من حيث السماكة (3 mm) في السوق المحلية، لجأنا لقص ألواح فولاذية أبعاد الواحد منها (2000x1000x3 mm) بشكل شرائح طولية عرضها (20 mm) وبسماكة (3 mm) ضمن ورشة خاصة في الصناعة بمدينة حمص، وبعدها تم قص هذه الشرائح الى قطع بطول (400 mm) لتصبح على كامل ارتفاع العمود، ومراحل تشكيل هذه الصفائح الفولاذية الطولية موضحة في الشكل (3-23).



الشكل (23-3) مراحل تشكيل الصفائح الفولاذية الطولية

3-5-2-2- الإجراء الخاص بتحضير الصفائح الفولاذية العرضية (الصفائح الحلقية) :

استخدمت الشرائح الفولاذية السابقة ذات الأبعاد (2000×20×3 mm) والنااتجة عن تقسيم الألواح الفولاذية من أجل تشكيل الصفائح الحلقية (عرضية)، وتم لف هذه الشرائح الفولاذية باستخدام آلة ثني وتشكيل للمقاطع (طعاجة) في إحدى الورشات الخاصة ضمن مدينة حمص، حيث تم لف الشرائح الفولاذية بشكل نابض متصل، ومن ثم جرى قص هذا النابض إلى حلقات عديدة من قبل حداد، ويبين الشكل (24-3) مراحل تشكيل الحلقات الفولاذية العرضية.



الشكل (24-3) مراحل تشكيل الحلقات الفولاذية العرضية

3-5-3- المرحلة الثالثة (مرحلة تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية) :

بعد جفاف سطوح الأعمدة البيتونية المسلحة من المياه، أصبحت جاهزة للعمليات الخاصة بالتدعيم وفق الأشكال المختلفة (ثلاث صفائح حلقيه عرضية وأربع صفائح شاقولية، خمس صفائح حلقيه عرضية وأربع صفائح شاقولية، ثلاث صفائح عرضية فقط، خمس صفائح عرضية فقط، صفيحتين حلقيتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية) وفق الإجراءات التالية :

3-5-3-1- إجراءات التدعيم باستخدام الشرائح العرضية فقط (ثلاث شرائح 3S، خمس شرائح 5S) :

بعد تنظيف سطح العمود البيتوني المسلح يتم وضع الصفائح الفولاذية الحلقيه في مكانها المخصص مؤقتاً باستخدام أسلاك التثبيت الفولاذية، ومن ثم يتم تطبيق ضغط حلقي مسبق عليها باستخدام جهاز مصنع خصيصاً (منويل يتألف من حلقة فولاذية وبرغي على شكل ذراع تدوير وعزقة) كما هو مبين في الشكل (3-25) بحيث تتقارب نهايتي الحلقة الفولاذية قدر الإمكان ثم يتم تطبيق لحام كهربائي تقابلي (اخدودي) على نهايتها وبعد أن تبرد يتم فك المنويل، ويبين الشكل (3-26) مراحل التدعيم للأعمدة باستخدام حلقات فولاذية (عرضية) فقط.



الشكل (3-25) الآلية الخاصة بتطبيق الضغط المسبق على الصفائح الفولاذية الحلقيه



الشكل (26-3) مراحل تدعيم الأعمدة البيتونية الدائرية باستخدام الحلقات الفولاذية العرضية فقط

3-5-3-2- إجراءات التدعيم باستخدام الشرائح الطولية و الحلقات العرضية معاً:

بعد تنظيف سطح العمود البيتوني المسلح ثبتت الصفائح الفولاذية الطولية في مكانها المخصص باستخدام مادة مالينات البوليستر اللاصقة، ويتم شدها مؤقتاً باستخدام أسلاك التثبيت الفولاذية إلى أن تتصلب المادة الرابطة كما هو موضح في الشكل (27-3)، ومن ثم ثبتت الصفائح الفولاذية الحلقية في مكانها مؤقتاً باستخدام أشرطة التثبيت الفولاذية بحيث تحيط بالصفائح الشاقولية الأربع ويتم تطبيق ضغط حلقي مسبق عليها باستخدام المنويل اليدوي بحيث تتقارب نهايتي الحلقة الفولاذية قدر الإمكان ومن ثم يتم تطبيق اللحام الكهربائي في نقطة التقاء إحدى نهايتيها مع الصفيحة الشاقولية ويستفاد أيضاً من تمدد الصفيحة الحلقية في الطرف الحر لاحقاً في تطبيق ضغط مسبق اضافي على الشرائح الطولية عندما يبرد اللحام وتقلص الحلقة الفولاذية، ويراعى أن يتم اللحام بشكل متعاقب لنقاط التقاء الصفيحة الفولاذية الحلقية مع الصفائح الشاقولية حتى الوصول الى لحام طرف الصفيحة الحلقية الحر مع طرفها الملحوم في البداية، ومراحل التدعيم للأعمدة البيتونية الدائرية باستخدام الصفائح الفولاذية الشاقولية والحلقية موضح في الشكل (28-3).



الشكل (3-27) تثبيت الصفائح الشاقولية على الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية



الشكل (3-28) مراحل تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية ولحام الصفائح الحلقية

3-5-3- المرحلة الرابعة (ملء الفراغات بين الصفائح الحلقية والعمود البيتوني) :

قمنا بملء الفراغات بين العمود البيتوني والحلقات الفولاذية العرضية بمادة رابطة بهدف تأمين العمل المشترك

بين سطح العمود والقميص الفولاذي، وجرى استخدام مادتي ربط وفق ما يلي :

3-5-3-1- استخدام مادة مالينات البوليستر [16] :

تم مزج مادة مالينات البوليستر مع المصلب المرافق بنسبة 5% واستخدمت لملء الفراغات في بعض الأعمدة البيتونية المسلحة وفق نماذج التدعيم التالية (ثلاث صفائح حلقية عرضية وأربع صفائح شاقولية، خمس صفائح حلقية عرضية وأربع صفائح شاقولية، صفيحتين حلقيتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية) من أجل اختبار امكانيات هذه المادة والاستفادة من خواصها الرابطة وإجراء مقارنة مع مادة Polycrret-FBR لذات النماذج، ويبين الشكل (3-29) بعض نماذج الأعمدة البيتونية التي استخدمت فيها مادة مالينات البوليستر كمادة مألئة.



الشكل (29-3) بعض الأعمدة البيتونية المسلحة التي استخدمت فيها مادة مالينات البولستر كمادة مالئة

3-5-3-2- استخدام مادة Polycrret-FBR :

تم تحضير خلطة (ماء : Polycrret-FBR) وفق النسبة (5:1) فحصلنا على عجينة ذات قوام طري وقابلية تشغيل جيدة لملء الفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح الأعمدة البيتونية الدائرية كما يبين الشكل (3-30)، وتمت العناية بهذه الأعمدة من خلال سقاية مادة Polycrret-FBR بالماء لمدة 7 أيام للوصول الى مقاومة عالية، ومن ثم حملت هذه الأعمدة حتى الانهيار مع تسجيل للقراءات الناتجة من الحساسات المختلفة ومعالجتها، وتضمنت النتائج التجريبية تحديد نمط الانهيار، وتحديد قدرة التحمل القصوى، والانتقالات الطولية عند الانهيار، ومقارنة هذه النتائج المختلفة، ويبين الشكل (3-31) الأعمدة المدعمة الجاهزة للتجريب في البحث قبل تحميلها.



الشكل (30-3) بعض نماذج الأعمدة البيتونية التي استخدمت فيها مادة Polycrret-FBR كمادة مالئة



الشكل (31-3) الأعمدة البيتونية المدعمة والمرجعية قبل اختبارها

3-6- نتائج الاختبارات:

تم رصد وتوضيح شكل الانهيار للأعمدة المختبرة، وتحديد حمولة الانهيار التجريبية القصوى، والانتقالات الطولية الكلية، وقسمت النتائج التجريبية كما يلي:

3-6-1- النتائج التجريبية للأعمدة المختبرة ذات النوع الاول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$):

3-6-1-1- مجموعة الأعمدة المرجعية (CR-1):

❖ العمود C1-1:

حدث الانهيار على الضغط في البيتون للنصف العلوي للعمود، وذلك عند حمولة قصوى (463 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (2.81mm)، ويبين الشكل (32-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-1.



الشكل (32-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-1

❖ العمود C1-2:

حدث الانهيار على الضغط في البيتون للنصف العلوي للعمود، وذلك عند حمولة قصوى (445 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (2.7mm)، ويبين الشكل (33-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-2.



الشكل (33-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-2

❖ العمود C1-3 :

حدث الانهيار على الضغط في البيتون للنصف العلوي للعمود، وذلك عند حمولة قصوى (430 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (2.58mm)، ويبين الشكل (34-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-3.



الشكل (34-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C1-3

3-6-1-2- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (4L-3S-1):

❖ العمود C1-4 :

حدث الانهيار على الضغط بانتفاخ البيتون وتحتيب الصفائح الفولاذية الشاقولية في النصف العلوي للعمود، وذلك عند حمولة قصوى (642 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.91mm)، ويبين الشكل (35-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-4.



الشكل (35-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-4

❖ العمود C1-5 :

حدث الانهيار على الضغط بانتفاخ البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية في نصفي العمود، وذلك عند حمولة قصوى (668 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.82 mm)، ويبين الشكل (36-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-5.



الشكل (36-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-5

❖ العمود C1-6 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية في نصفي العمود، وذلك عند حمولة قصوى (660 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.98 mm)، ويبين الشكل (37-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-6.



الشكل (37-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-6

**3-1-6-3- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (4L-5S-1):
❖ العمود C1-7 :**

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (791 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.54mm)، ويبين الشكل (38-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-7.



الشكل (38-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-7

❖ العمود C1-8 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (775 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.51mm)، ويبين الشكل (39-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-8.



الشكل (39-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-8

❖ العمود C1-9 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (811 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.68mm)، ويبين الشكل (40-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-9.



الشكل (40-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-9

3-4-1-6-4- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية (3S-1):

❖ العمود C1-10 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (545 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.28mm)، ويبين الشكل (41-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-10.



الشكل (41-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-10

❖ العمود C1-11 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (520 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.39 mm)، ويبين الشكل (42-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-11.



الشكل (42-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-11

❖ العمود C1-12 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (525 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.35 mm)، ويبين الشكل (43-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-12.



الشكل (43-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C1-12

3-6-1-5- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية (5S-1):

❖ العمود C1-13 :

حدث الانهيار بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية وبانقطاع لحام الصفيحة الحلقية الثانية، وذلك عند حمولة قصوى (690 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.32mm)، ويبين الشكل (3-44) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-13.



الشكل (3-44) شكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-13

❖ العمود C1-14 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (755 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.37mm)، ويبين الشكل (3-45) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-14.



الشكل (3-45) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-14

❖ العمود C1-15 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية وبانقطاع الصفيحة الثالثة، وذلك عند حمولة قصوى (730 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.2 mm)، ويبين الشكل (46-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-15.



الشكل (46-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-15

3-6-1-6- مجموعة الأعمدة المدعمة بصفيحتين عرضيتين وأربع صفائح شاقولية (4L-2S-1):

❖ العمود C1-16 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وانتفاخه وسط العمود وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية، وذلك عند حمولة قصوى (557 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.43 mm)، ويبين الشكل (47-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-16.



الشكل (47-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-16

❖ العمود C1-17 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وانتفاخه وسط العمود وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (562 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.51 mm)، ويبين الشكل (48-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-17.



الشكل (48-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-17

❖ العمود C1-18 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وانتفاخه وسط العمود مع تحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية وانفصالها عن العمود في وسطه، وذلك عند حمولة قصوى (570kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.58mm)، ويبين الشكل (49-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-18.



الشكل (49-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C1-18

3-6-2- النتائج التجريبية للأعمدة المختبرة ذات النوع الثاني من البيتون ($f'_{cn2} = 36.8MPa$):

3-6-2-1- مجموعة الأعمدة المرجعية (CR-2):

❖ العمود C2-1 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون، وذلك عند حمولة قصوى (535kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.04mm)، يبين الشكل (3-50) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C2-1.



الشكل (3-50) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C2-1

❖ العمود C2-2 :

حدث الانهيار على الضغط مع تشقق البيتون، وذلك عند حمولة قصوى (549 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.14mm)، ويبين الشكل (3-51) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C2-2.



الشكل (3-51) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C2-2

❖ العمود C2-3 :

حدث الانهيار على الضغط مع تشقق البيتون وتفتته قرب الوجه العلوي للعمود، وذلك عند حمولة قصوى (560kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.37 mm)، ويبين الشكل (52-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C2-3.



الشكل (52-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المرجعي C2-3
3-2-6-2- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية وأربع صفائح شاقولية (2-4L-3S):

❖ العمود C2-4 :

حدث الانهيار بتشقق البيتون وانتفاخه في نصفي العمود مع تحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (720 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.11mm)، ويبين الشكل (53-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-4.



الشكل (53-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-4

❖ العمود C2-5 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون وانتفاخه مع تحنيط الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية في جزئي العمود، وذلك عند حمولة قصوى (782 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.14 mm) ويبين الشكل (54-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-5.



الشكل (54-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-5

❖ العمود C2-6 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون انتفاخه وحنيط الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (750 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.99 mm)، ويبين الشكل (55-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-6.



الشكل (55-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-6

3-1-6-3- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية وأربع صفيائح شاقولية (4L-5S-2):
❖ العمود C2-7 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (990 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.43 mm)، ويبين الشكل (56-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-7.



الشكل (56-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-7

❖ العمود C2-8 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية وحدوث انقطاع في لحام الصفيحة الحلقية الرابعة، وذلك عند حمولة قصوى (880 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.68 mm)، يبين الشكل (57-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-8.



الشكل (57-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-8

❖ العمود C2-9 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحتيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية وحدوث انقطاع في لحام الصفيحة الحلقية الثانية، وذلك عند حمولة قصوى (910 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.33 mm)، يبين الشكل (58-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-9.



الشكل (58-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-9

3-4-1-6-4- مجموعة الأعمدة المدعمة بثلاثة صفائح عرضية (3S-1):

❖ العمود C2-10 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (653kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.56 mm)، ويبين الشكل (59-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-10.



الشكل (59-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-10

❖ العمود C2-11 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (665 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.32 mm)، ويبين الشكل (60-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-11.



الشكل (60-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-11

❖ العمود C2-12 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق الببتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (678 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.22 mm)، ويبين الشكل (61-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-12.



الشكل (61-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود الببتوني المسلح المدعم C2-12

3-6-2-5- مجموعة الأعمدة المدعمة بخمس صفائح عرضية فقط (5S-2):

❖ العمود C2-13 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (933 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.34 mm)، ويبين الشكل (62-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-13.



الشكل (62-3) شكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-13

❖ العمود C2-14 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية مع انقطاع الصفيحة الحلقية الثالثة، وذلك عند حمولة قصوى (780 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.96 mm) ويبين الشكل (63-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-14.



الشكل (63-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-14

❖ العمود C2-15 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون بين الصفائح الحلقية مع انقطاع الصفيحة الحلقية الثانية، وذلك عند حمولة قصوى (813 kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (4.17 mm)، ويبين الشكل (64-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-15.



الشكل (64-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-15

3-6-2-6- مجموعة الأعمدة المدعمة بصفيحتين عرضيتين وأربع صفيحات شاقولية (4L-2S):

❖ العمود C2-16 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (654kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.61 mm)، ويبين الشكل (65-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-16.



الشكل (65-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-16

❖ العمود C2-17 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (670kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.39 mm)، ويبين الشكل (66-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-17.



الشكل (66-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-17

❖ العمود C2-18 :

حدث الانهيار على الضغط بتشقق البيتون وتحنيب الصفائح الفولاذية الشاقولية بين الصفائح الحلقية، وذلك عند حمولة قصوى (680kN)، وبلغ الانتقال الطولي الوسطي الكلي (3.81 mm)، ويبين الشكل (67-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-18.



الشكل (67-3) مراحل التحميل وشكل الانهيار للعمود البيتوني المسلح المدعم C2-18

3-6-3- مقارنة النتائج التجريبية للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المختبرة :

تمت دراسة وتجميع النتائج التجريبية التالية (الانتقال الطولي النسبي عند الانهيار والناجح عن قراءة الحساسين لكل عمود مجرب، حمولة الانهيار، شكل الانهيار)، وجمعت النتائج السابقة في الجدولين (13-3)، (14-3) .
الجدول (13-3) النتائج التجريبية لمجموعة الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المنفذة بالنوع الأول للبيتون

$$(f'_{cm1} = 25.3MPa)$$

رقم المجموعة	المجموعة	العمود	الانتقال الطولي الوسطي لعمود mm	الانتقال الطولي الوسطي للأعمدة المجمعة mm	حمولة انهيار العمود KN	الانتقال الطولي الوسطي للأعمدة المجمعة KN	شكل الانهيار
1	CR-1	C1-1	2.81	2.70	463	446.00	تشقق البيتون
		C1-2	2.70		445		تشقق البيتون
		C1-3	2.58		430		تشقق البيتون
2	4L-3S-1	C1-4	3.91	3.90	642	656.67	تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C1-5	3.82		668		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C1-6	3.98		660		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
3	4L-5S-1	C1-7	4.54	4.58	791	792.33	تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C1-8	4.51		775		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C1-9	4.68		811		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
4	3S-1	C1-10	3.28	3.34	545	530.00	تشقق البيتون
		C1-11	3.39		520		تشقق البيتون
		C1-12	3.35		525		تشقق البيتون
5	5S-1	C1-13	4.32	4.30	690	725.00	تشقق البيتون + انقطاع صفيحة حلقيّة
		C1-14	4.37		755		تشقق البيتون
		C1-15	4.20		730		تشقق البيتون + انقطاع صفيحة حلقيّة
6	4L-2S-1	C1-16	3.43	3.51	557	563.00	تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C1-17	3.51		562		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C1-18	3.58		570		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية

الجدول (14-3) النتائج التجريبية لمجموعة الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية المنفذة بالنوع الثاني للبيتون

$$(f'_{cm2} = 36.8MPa)$$

رقم المجموعة	المجموعة	العمود	الانتقال الطولي الوسيطي للعمود mm	وسطي الانتقال الطولي الكللي لأعمدة mm	حمولة انهيار العمود KN	وسطي حمولة الانهيار لأعمدة KN	شكل الانهيار
1	CR-2	C2-1	3.04	3.18	535	548.00	تشقق البيتون
		C2-2	3.14		549		تشقق البيتون
		C2-3	3.37		560		تشقق البيتون
2	4L-3S-2	C2-4	4.11	4.08	720	750.67	تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C2-5	4.14		782		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C2-6	3.99		750		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
3	4L-5S-2	C2-7	4.43	4.48	990	926.67	تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C2-8	4.68		880		انقطاع حلقة + تحنيط صفائح طولية
		C2-9	4.33		910		انقطاع حلقة + تحنيط صفائح طولية
4	3S-2	C2-10	3.56	3.37	653	665.33	تشقق البيتون
		C2-11	3.32		665		تشقق البيتون
		C2-12	3.22		678		تشقق البيتون
5	5S-2	C2-13	4.34	4.16	933	842.00	تشقق البيتون
		C2-14	3.96		780		تشقق البيتون + انقطاع صفيحة حلقة
		C2-15	4.17		813		تشقق البيتون + انقطاع صفيحة حلقة
6	4L-2S-2	C2-16	3.62	3.61	654	668.00	تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C2-17	3.39		670		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية
		C2-18	3.81		680		تشقق البيتون + تحنيط صفائح طولية

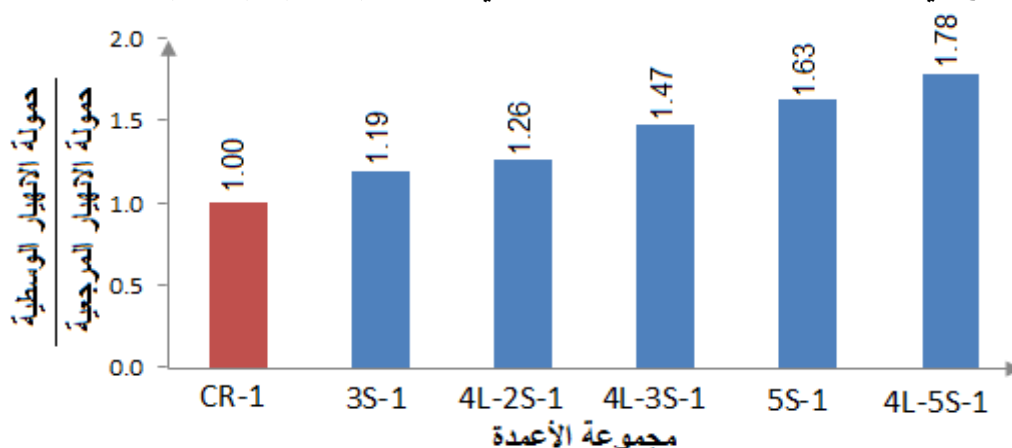
3-6-3-1- دراسة تأثير تغير نموذج التدعيم على حمولة الانهيار والانتقالات الطولية الكلية للأعمدة المنفذة بالنوع الأول للبيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$):

بالاعتماد على الجدول (3-13) قمنا بتجميع وسطي النتائج التجريبية لحمولة الانهيار والانتقالات الطولية الكلية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي مع مجموعة الأعمدة المرجعية والمنفذة باستخدام النوع الأول من البيتون تبعاً لنموذج التدعيم كما هو مبين في الجدول (3-15).

الجدول (3-15) مقارنة النتائج التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي مع مجموعة الأعمدة المرجعية والمنفذة باستخدام النوع الأول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)

المجموعة	شكل التدعيم بالهيكل الفولاذي	وسطي حمولة الانهيار KN	نسبة حمولة الانهيار الوسطية إلى حمولة الانهيار المرجعية	وسطي الانتقال الطولي الكلي عند الانهيار mm	نسبة الانتقالات الطولية الكلية إلى وسطي لانتقالات المرجعية
CR-1	مرجعية (بدون تدعيم)	446.00	1.00	2.70	1.00
3S-1	3 صفائح حلقة فقط	530.00	1.19	3.34	1.24
4L-2S-1	4 صفائح طولية + 2 صفائح حلقة	563.00	1.26	3.51	1.30
4L-3S-1	4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقة	656.67	1.47	3.90	1.44
5S-1	5 صفائح حلقة فقط	725.00	1.63	4.30	1.59
4L-5S-1	4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقة	792.33	1.78	4.58	1.70

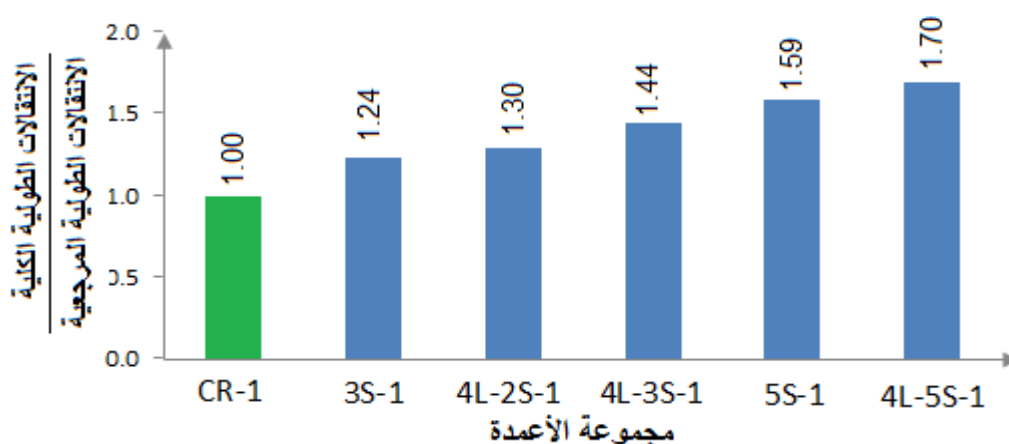
تم تمثيل النتائج في الجدول (3-15) بيانياً كما هو مبين في الأشكال (3-68)، (3-69).



الشكل (3-68) مقارنة نسبة وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) تبعاً لنماذج التدعيم

من النتائج التجريبية المدرجة في الجدول (3-15) والموضحة في الشكل (4-68) نستنتج ما يلي:

- ازداد وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المدعمة مقارنة مع أعمدة المجموعة المرجعية بنسبة (19%) في حالة أعمدة المجموعة (3S-1) والتي تتضمن استخدام (ثلاثة صفائح حلقيّة فقط)، وازداد بنسبة (26%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-2S-1) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيّة)، وازداد بنسبة (47%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-3S-1) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيّة)، وازداد بنسبة (63%) في حالة أعمدة المجموعة (5S-1) والتي تتضمن استخدام (5 صفائح حلقيّة فقط)، وازداد بنسبة (78%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-5S-1) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة).



الشكل (3-69) مقارنة نسبة وسطي الانتقالات الطولية الكلية لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) الى الانتقالات الطولية الكلية المرجعية تبعاً لنماذج التدعيم

من النتائج التجريبية المدرجة في الجدول (3-15) والموضحة في الشكل (3-69) نستنتج ما يلي:

- ازداد وسطي الانتقالات الطولية الكلية مقارنة مع الانتقالات الطولية الكلية المرجعية لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون بنسبة (24%) في حالة أعمدة المجموعة (3S-1)، وازداد بنسبة (30%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-2S-1)، وازداد بنسبة (44%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-3S-1)، وازداد بنسبة (59%) في حالة أعمدة المجموعة (5S-1)، وازداد بنسبة (70%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-5S-1).

3-6-3-2- دراسة تأثير تغير نموذج التدعيم على حمولة الانهيار والانتقالات الطولية الكلية للأعمدة المنفذة من النوع الثاني للبيتون ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) :

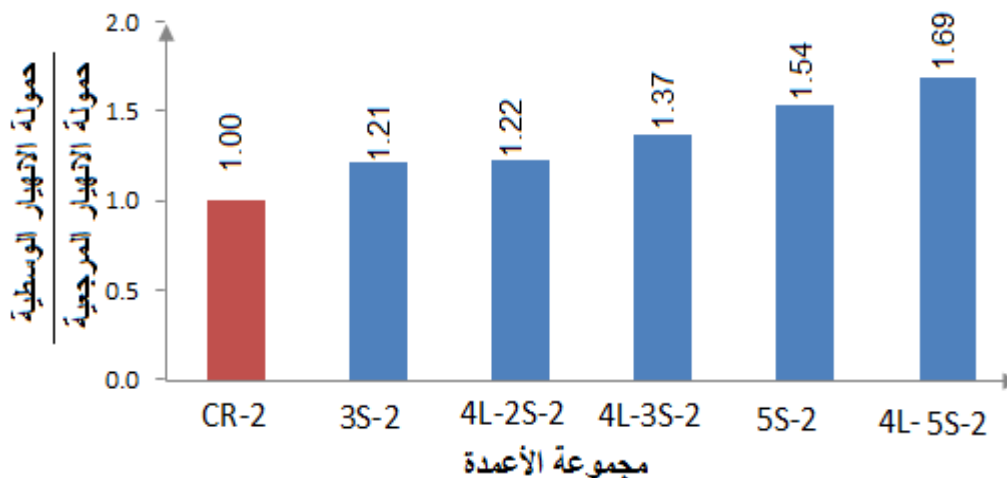
بالاعتماد على النتائج في الجدول (14-3) قمنا بتجميع وسطي النتائج التجريبية لحمولة الانهيار والانتقالات الطولية الكلية لمجموعات الأعمدة المنفذة من النوع الثاني للبيتون والمدعمة بالهيكل الفولاذي مع مجموعة الأعمدة المرجعية لها وذلك تبعاً لنموذج التدعيم كما هو مبين في الجدول (16-3) .

الجدول (16-3) مقارنة النتائج التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي مع مجموعة الأعمدة

المرجعية والمنفذة باستخدام النوع الثاني من البيتون $f'_{cm2} = 36.8MPa$

المجموعة	شكل التدعيم بالهيكل الفولاذي	وسطي حمولة الانهيار kN	نسبة حمولة الانهيار الوسطية الى حمولة الانهيار المرجعية	وسطي الانتقال الطولي الكلي عند الانهيار mm	نسبة الانتقالات الطولية الكلية الى وسطي انتقالات المرجعية
CR-2	مرجعية (بدون تدعيم)	548.00	1.00	3.18	1.00
3S-2	3 صفائح حلقيّة فقط	665.33	1.21	3.37	1.06
4L-2S-2	4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيّة	668.00	1.22	3.61	1.14
4L-3S-2	4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيّة	750.67	1.37	4.08	1.28
5S-2	5 صفائح حلقيّة فقط	842.00	1.54	4.16	1.31
4L-5S-2	4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة	926.67	1.69	4.48	1.41

تم تمثيل النتائج في الجدول (16-3) بيانياً كما هو مبين في الأشكال (70-3)، (71-3) .

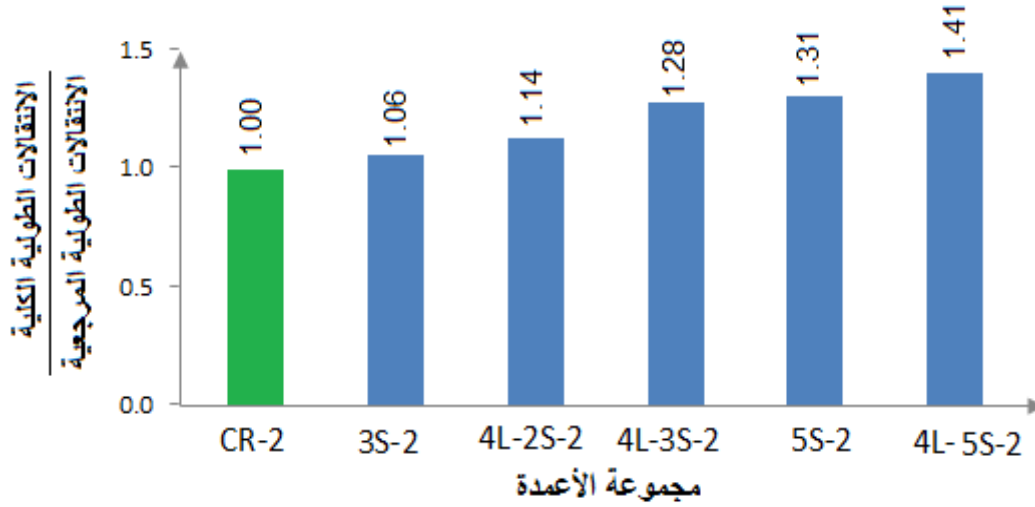


الشكل (70-3) مقارنة نسبة وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام النوع الثاني من البيتون

($f'_{cm2} = 36.8MPa$) تبعاً لنماذج التدعيم

من النتائج التجريبية المدرجة في الجدول (3-16) والموضحة في الشكل (3-70) نستنتج ما يلي:

- ازداد وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المدعمة مقارنة مع أعمدة المجموعة المرجعية بنسبة (21%) في حالة أعمدة المجموعة (3S-2) والتي تتضمن استخدام (ثلاثة صفائح حلقيّة فقط)، وازداد بنسبة (22%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-2S-2) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيّة)، وازداد بنسبة (37%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-3S-2) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيّة)، وازداد بنسبة (54%) في حالة أعمدة المجموعة (5S-2) والتي تتضمن استخدام (5 صفائح حلقيّة فقط)، وازداد بنسبة (69%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-5S-2) التي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة).



الشكل (3-71) مقارنة نسبة وسطي نسبة الانتقالات الطولية الكلية لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) من الببتون الى الانتقالات الطولية الكلية المرجعية تبعاً لنماذج التدعيم

من النتائج التجريبية المدرجة في الجدول (3-16) والموضحة في الشكل (3-71) نستنتج ما يلي:

- ازداد وسطي الانتقالات الطولية الكلية مقارنة مع الانتقالات الطولية الكلية المرجعية لمجموعات الأعمدة المنفذة بالنوع الثاني من الببتون بنسبة (6%) في حالة أعمدة المجموعة (3S-2)، وازداد بنسبة (14%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-2S-2)، وازداد بنسبة (28%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-3S-2)، وازداد بنسبة (31%) في حالة أعمدة المجموعة (5S-2)، وازداد بنسبة (41%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-5S-2).

من (3-6-3-1 و 3-6-3-2) نستنتج مايلي:

إن استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيه) يعتبر أفضل نموذج لتدعيم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة ويليه نموذج التدعيم باستخدام (5 صفائح حلقيه فقط)، يليهما نموذج التدعيم باستخدام (4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيه)، يليهم نموذج التدعيم باستخدام (4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيه)، يليهم نموذج التدعيم باستخدام (ثلاثة صفائح حلقيه فقط).

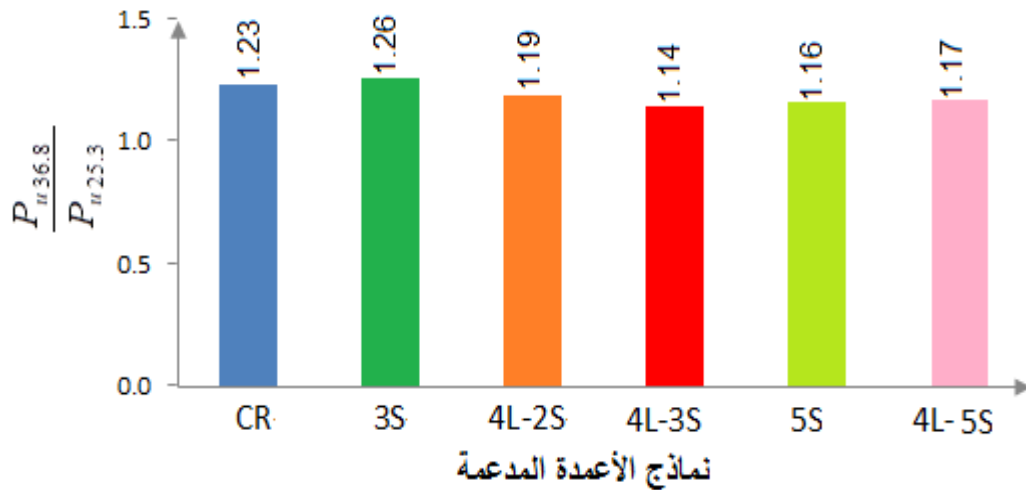
3-3-6-3- دراسة تأثير تغير المقاومة الوسطية للبيتون على حمولة الانهيار للأعمدة الدائرية المسلحة المدعمة بالصفائح الفولاذية باستخدام نماذج التدعيم المختلفة:

بالاعتماد على الجدولين (3-14)، (3-15)، قمنا بتجميع نتائج وسطي حمولة الانهيار التجريبية للمجموعات المتماثلة بنموذج التدعيم باستخدام الصفائح الفولاذية مع مجموعتي الأعمدة المرجعية لهما وذلك تبعاً لنوع البيتون المستخدم كما هو مبين في الجدول (3-17).

الجدول (3-17) مقارنة نتائج وسطي حمولة الانهيار التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بنموذج متشابه تبعاً لنوع البيتون المستخدم

المجموعة	شكل التدعيم بالهيكل الفولاذي	وسطي حمولة الانهيار $P_u (KN)$		$\frac{P_{u36.8}}{P_{u25.3}}$
		نوع البيتون		
		النوع الأول $(f'_{cm1} = 25.3MPa)$	النوع الثاني $(f'_{cm2} = 36.8MPa)$	
CR	مرجعية (بدون تدعيم)	446.00	548.00	1.23
3S	3 صفائح حلقيه فقط	530.00	665.33	1.26
4L-2S	4 صفائح طولية + 2 صفيحة	563.00	668.00	1.19
4L-3S	4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيه	656.67	750.67	1.14
5S	5 صفائح حلقيه فقط	725.00	842.00	1.16
4L-5S	4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيه	792.33	926.67	1.17

تم تمثيل النتائج في الجدول (3-17) بيانياً كما هو مبين في الشكل (3-72).



الشكل (72-3) مقارنة وسطي حمولة الانهيار التجريبية للمجموعات المتماثلة بنموذج التدعيم تبعاً لنوع البيتون المستخدم

من النتائج المدرجة في الجدول (17-3) والموضحة في الشكل (72-3) نستنتج ما يلي:

- ازداد وسطي حمولة الانهيار لمجموعة الأعمدة المرجعية المنفذة بالبيتون من النوع الثاني ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) بنسبة (23%) مقارنة مع مجموعة الأعمدة المرجعية المنفذة بالبيتون من النوع الأول ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$).
- ازداد وسطي حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام بيتون من النوع الثاني ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) مقارنة مع مجموعات الأعمدة المتماثلة معها بنموذج التدعيم ولكنها منفذة بالبيتون من النوع الأول ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) بنسبة (26%) في حالة نموذج التدعيم (3S) المتضمن استخدام (ثلاثة صفائح حلقيّة فقط)، وازداد بنسبة (19%) في حالة نموذج التدعيم (4L-2S) المتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيّة)، وازداد بنسبة (14%) في حالة نموذج التدعيم (4L-3S) المتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيّة)، وازداد بنسبة (16%) في حالة نموذج التدعيم (5S) المتضمن استخدام (5 صفائح حلقيّة فقط)، وازداد بنسبة (17%) في حالة نموذج التدعيم (4L-5S) المتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة).

ملاحظة:

تم تطبيق الحمولة المحورية على الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة بمعدل $(150-175)Kgf/cm^2$ بواسطة جهاز كسر العينات الأسطوانية الموجود في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث.

3-6-3-4- علاقة النسبة الحجمية للقميص الفولاذي مع حمولة الانهيار للأعمدة المنفذة بالنوع الأول والثاني للبيتون تبعاً لنموذج التدعيم للبيتون:

قمنا بحساب النسبة الحجمية المئوية للقميص الفولاذي β :

$$\beta\% = \frac{V_{steel}}{V_{col}} \times 100 \quad (3-1)$$

حيث :

V_{steel} : حجم الصفائح المشكلة للهيكل الفولاذي وفق نماذج التدعيم المختلفة (mm^2) .

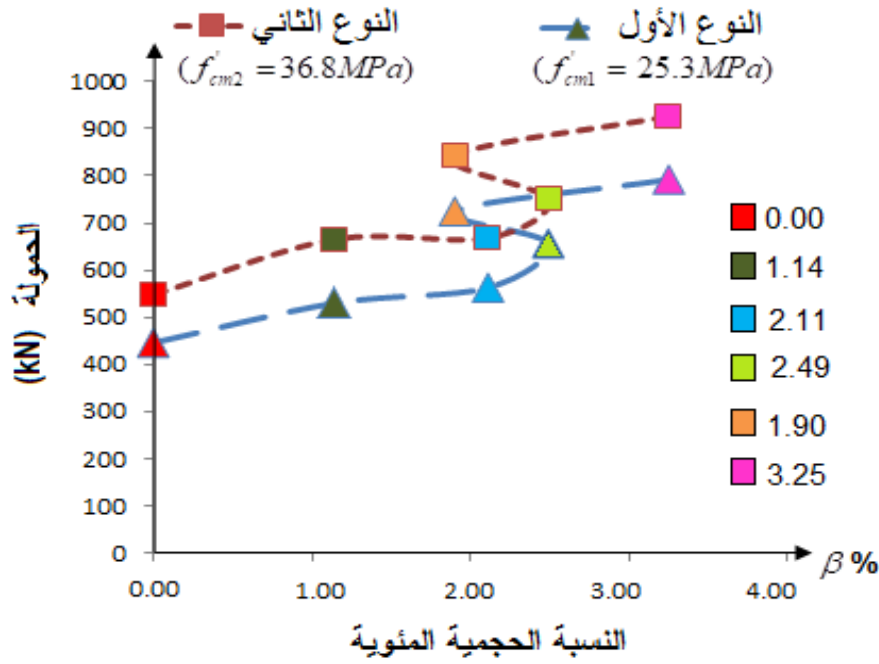
V_{col} : حجم العمود المدعم (mm^2) .

ويبين الجدول (3-18) قيم حمولة الانهيار والنسبة الحجمية للقميص الفولاذي الموافقة وذلك تبعاً لنموذج التدعيم ونوع البيتون المستخدم، و بالاعتماد على النتائج المدرجة في الجدول (3-18) قمنا برسم مخططات حمولة الانهيار والنسبة الحجمية لمجموعات الأعمدة المدعمة والمنفذة باستخدام النوع الأول والثاني من البيتون تبعاً لنموذج التدعيم كما هو مبين في الشكل (3-73) .

الجدول (3-18) النسب الحجمية للتدعيم الفولاذي وحمولة الانهيار التجريبية لمجموعات الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي

المجموعة	وسطى حمولة الانهيار $P_u (KN)$		النسبة الحجمية المئوية للصفائح الطولية %	النسبة الحجمية المئوية للصفائح الحلقية %	النسبة الحجمية الكليّة للقميص الفولاذي $\beta \%$
	نوع البيتون				
	النوع الأول ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)	النوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)			
CR	446.00	548.00	0.00	0.00	0.00
3S	530.00	665.33	0.00	1.14	1.14
4L-2S	563.00	668.00	1.35	0.76	2.11
4L-3S	656.67	750.67	1.35	1.14	2.49
5S	725.00	842.00	0.00	1.90	1.90
4L-5S	792.33	926.67	1.35	1.90	3.25

تم تمثيل النتائج في الجدول (3-18) بيانياً كما هو مبين في الشكل (3-75) .



الشكل (73-3) مقارنة النسبة الحجمية المئوية للتدعيم الفولاذي مع حمولة الانهيار لمجموعات الأعمدة المنفذة بنوعي البيتون تبعاً لنماذج التدعيم

من النتائج في الجدول (18-3) والموضحة في الشكل (73-3) نستنتج ما يلي:

- استخدام النسبة الحجمية المئوية للتدعيم الفولاذي (β=3.25%) في حالة أعمدة المجموعة (5S+4L) هي النسبة التي تحقق أفضل زيادة في قدرة التحمل للعمود المدعم باستخدام كلا نوعي البيتون ولكنها تعطي أكبر كلفة .
- ان استخدام النسبة الحجمية المئوية للتدعيم الفولاذي (β=1.9%) في حالة أعمدة المجموعة (5S) هي النسبة الاقتصادية المثالية التي تحقق أفضل وفر ومردود جيد للتدعيم، مهما كانت مقاومة البيتون المستخدمة لتنفيذ الأعمدة .

3-6-3-5- دراسة تأثير نوع المادة الاملاء بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني للأعمدة الدائرية المسلحة المدعمة بالصفائح الفولاذية على سلوك الأعمدة وعلى نمط الانهيار :

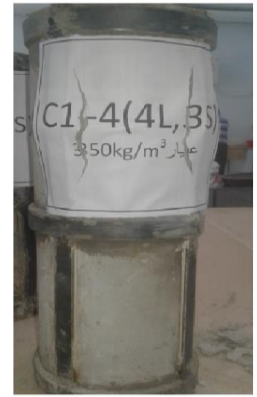
تظهر الأشكال (74-3)، (75-3)، (76-3) مقارنة نماذج الانهيار للأعمدة المتمثلة بنموذج التدعيم ونوع البيتون ولكنها مختلفة من حيث المادة المائلة بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني للعمود المدعم، حيث استخدم لهذه المجموعات من الأعمدة نوعان من المواد المائلة وهما مادة مالينات البوليستر لبعض الأعمدة و مادة (POLYCRETE-FBR) للبقية.



C1-6
(مالينات البوليستر)



C1-5
(POLYCRETE-FBR)



C1-4
(POLYCRETE-FBR)

الشكل (74-3) مقارنة نمط الانهيار لأعمدة المجموعة 4L-3S-1 تبعاً لنوع المادة المألثة للفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح العمود البيتوني



C1-9
(POLYCRETE-FBR)



C1-8
(POLYCRETE-FBR)



C1-7
(مالينات البوليستر)

الشكل (75-3) مقارنة نمط الانهيار لأعمدة المجموعة 4L-5S-1 تبعاً لنوع المادة المألثة للفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح العمود البيتوني



C1-18
(POLYCRETE-FBR)



C1-16
(POLYCRETE-FBR)



C1-17
(مالينات البوليستر)



الشكل (76-3) مقارنة نمط الانهيار لأعمدة المجموعة 4L-2S-1 تبعاً لنوع المادة المألثة للفراغ بين الصفائح الحلقية وسطح العمود البيتوني

نلاحظ من الأشكال (3-74)، (3-75)، (3-76) ثبات مادة (POLYCRETE-FBR) ومادة مالينات البوليستر بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني للعمود المدعم حتى الانهيار دون حدوث أي تقطعت فيها أو انفصال عن السطح البيتوني أو الصفائح الحلقية الفولاذية، وتشابه نموذج الانهيار لأعمدة المجموعة الواحدة بغض النظر عن نوع المادة المألثة المستخدمة .

ويبين الجدول (3-19) مقارنة النتائج التجريبية للأعمدة التي استخدمت فيها مادة مالينات البوليستر كمادة مألثة بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني للأعمدة المدعمة وبين النتائج التجريبية لبقية الأعمدة المماثلة لها من حيث نموذج التدعيم ونوع البيتون ولكن استخدمت فيها مادة (POLYCRETE-FBR) كمادة مألثة.

الجدول (3-19) مقارنة النتائج التجريبية لأعمدة المجموعات التي استخدمت فيها مادة مالينات البوليستر كمادة مألثة وبقية الأعمدة التي استخدمت فيها مادة (POLYCRETE-FBR) كمادة مألثة

المجموعة	العمود	نمط الانهيار	حمولة الانهيار	الانتقال الطولي	المادة المألثة
			(KN)	(mm)	
4L-3S-1	C1-4	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	642	3.91	POLYCRETE
	C1-5	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	668	3.82	POLYCRETE
	C1-6	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	660	3.98	مالينات البوليستر
4L-5S-1	C1-7	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	791	4.54	مالينات البوليستر
	C1-8	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	775	4.51	POLYCRETE
	C1-9	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	811	4.6	POLYCRETE
4L-2S-1	C1-16	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	557	3.43	POLYCRETE
	C1-17	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	562	3.51	مالينات البوليستر
	C1-18	تشقق البيتون+ تحنيب الصفائح الطولية	570	3.58	POLYCRETE

ان النتائج المبينة في الجدول (3-19) تؤكد أن كلا من مادتي (POLYCRETE-FBR) ومادة مالينات البوليستر لهما نفس الفعالية تقريباً، ولكن يبقى المعيار بينهما ارتفاع تكاليف مادة مالينات البوليستر مقارنة مع مادة POLYCRETE-FBR.

اعتماداً على ما سبق نستنتج ما يلي :

■ إن تدعيم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة باستخدام الصفائح الفولاذية الشاقولية والحلقية وفق النماذج المختلفة وباستخدام مقاومات مختلفة للبيتون يفيد في زيادة قدرة التحمل القصوى للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة المرجعية حيث زادت قدرة التحمل بنسبة % (19-78) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وازدادت قدرة التحمل بنسبة وصلت الى % (21-69) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$).

■ إن تدعيم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة باستخدام الصفائح الفولاذية الشاقولية والحلقية وفق النماذج المختلفة وباستخدام مقاومات مختلفة للبيتون يزيد الانتقالات الطولية مما يدل على زيادة في تفريغ طاقة التحميل ضمن جسم العمود البيتوني وبالتالي يزيد من مطاوعة الأعمدة المطوقة مقارنة مع الأعمدة المرجعية حيث زادت الانتقالات الطولية بنسبة % (24-70) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وبنسبة % (6-41) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$).

■ إن نموذج التدعيم (4L-5S) المتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقية) أعطى أفضل النتائج مقارنة مع أشكال التدعيم الأخرى في زيادة قدرة تحمل العمود حيث ازدادت قدرة التحمل بنسبة % (78) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وبنسبة % (69) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)، بينما النموذج (5S) أدى الى زيادة قدرة تحمل الأعمدة المدعمة بشكل جيد بالإضافة الى أنه أفضل النماذج من حيث الكلفة الاقتصادية بنسبة % (1.9) لكلا نوعي البيتون.

■ تقل فاعلية التدعيم للأعمدة وفق النماذج المختلفة مع ازدياد المقاومة الأسطوانية الوسطية للبيتون المستخدم في تنفيذ الأعمدة .

■ تملك مادتي (POLYCRETE-FBR) و مالينات البوليستر نفس الفعالية والثبات حتى الانهيار، وتعتبر مادة POLYCRETE-FBR أفضل كمادة املاء للفراغ بين صفائح التدعيم الحلقية و سطح العمود البيتوني لسهولة التعامل معها، وانخفاض ثمنها، ولكن عيبها أنها تحتاج للعناية بها لمدة لا تقل عن سبعة أيام حتى تصل للمقاومة المطلوبة لتحقيق الغرض منها وهو تحقيق العمل المشترك بين الصفائح الحلقية وجسم العمود المدعم بينما لا يتجاوز زمن تصلب مادة مالينات البوليستر خمس دقائق.

الفصل الرابع

الدراسة النظرية لحساب قدرة تحمل الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المطوقة بهيكل فولاذي

4-1- مقدمة:

يزيد تدعيم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة بالهياكل الفولاذية قدرة تحملها بقيم مختلفة تبعاً لنماذج التدعيم المختلفة، كما يزيد من الانتقالات الطولية الكلية مقارنةً بالعمود المرجعي غير المدعم مما يدل على فائدة التدعيم في زيادة مقاومة بيتون النواة المطوقة في العمود حيث يؤدي لتبديد الطاقة ضمنه ويزيد في مطاويعته.

4-2- الخواص الهندسية للعمود :

- حساب نسبة النحافة λ للعمود الدائري:

نحسب نسبة النحافة λ [4] وفق العلاقة:

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \leq \lambda_a = 40 \quad (4-1)$$

حيث :

L_0 : الطول الفعال للعمود ويحسب تبعاً لشروط الاستناد للعمود، وفي حالتنا سنعتبر العمود موثوق من طرفين ، وبالتالي $L_0 = 0.5L = 200mm$ [4] حيث $L = 400mm$.

i : نصف قطر العطالة ويحسب بشكل عام بالعلاقة :

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \Rightarrow i = \frac{D}{4} \quad (4-2)$$

حيث :

I : عزم العطالة للمقطع.

A : مساحة المقطع العرضي للعمود (mm^2).

D : قطر العمود الدائري (mm)، حيث: ($D = 150mm$) .

بعد التعويض في العلاقة (4-1) يعطى معامل التحنيب بالعلاقة :

$$\lambda = \frac{4 \times L_0}{D} \quad (4-3)$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{4 \times 200}{150} = 5.33 \leq 40 \Rightarrow \text{العمود قصير}$$

وبالتالي تكون قيمة معامل النحافة (معامل التحنيب) $K_e = 1$

- حساب نسبة التسليح الطولي للعمود الدائري:

نحسب نسبة التسليح الطولي (μ_s) [4] من العلاقة:

$$\mu_s = \frac{A_{s.long}}{A_c} \{ \geq 0.025 \dots \dots \leq 0.01 \} \quad (4-4)$$

حيث :

$A_{s.long}$: مساحة التسليح الطولي للعمود (mm^2).

A_c : مساحة المقطع العرضي للعمود (mm^2).

$$A_{s.long} = n_1 \times \frac{\pi \cdot d_{s.long}^2}{4} \quad (4-5)$$

حيث:

n_1 : عدد قضبان التسليح الطولي، حيث ($n_1 = 4$).

$d_{s.long}$: قطر قضبان التسليح الرئيسي الطولي للعمود (mm)، حيث ($d_{s.long} = 8mm$).

$$A_c = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4-6)$$

حيث:

D : قطر العمود الدائري المدروس، حيث ($D = 150mm$).

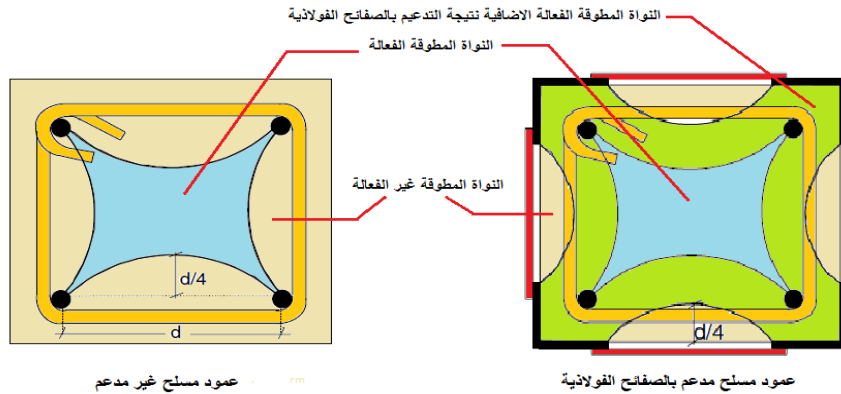
وبالتعويض في العلاقة (4-4) نجد أن:

$$\mu_s = \frac{201}{17671} = 0.011 \leq 0.025 \rightarrow \text{غير محقق}$$

ملاحظة: هدفنا إظهار فعالية التطويق الخارجي للعمود بالهيكل الفولاذي لذلك لم نتقيد باشتراطات الكود العربي السوري [4].

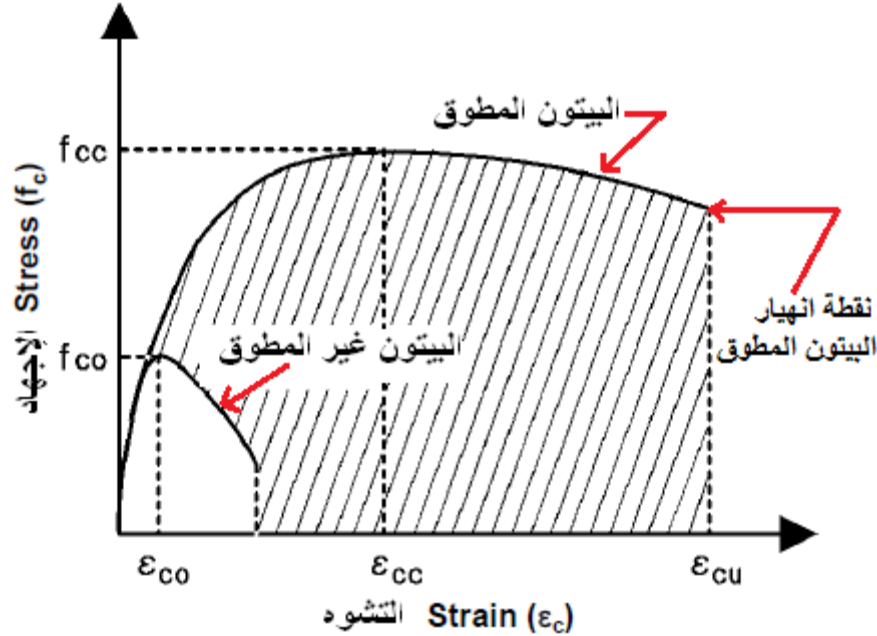
4-3- الطريقة المعتمدة لإيجاد منحنى (الإجهاد - التشوه) للبيتون المسلح المطوق:

في الأعمدة البيتونية المسلحة يخضع البيتون المحصور ضمن الأساور العرضية إلى ضغط جانبي يسمى ضغط التطويق مما يزيد من مقاومته، ونتيجة لذلك تظهر في المقطع العرضي مناطق مختلفة في السلوك والمقاومة تبعاً لشكل المقطع وأبعاده ويعبر عنها بالمساحة المطوقة (الفعالة) والمساحة غير المطوقة للأعمدة المدعمة وغير المدعمة كما هو مبين في الشكل (1-4).



الشكل (1-4) تأثير التدعيم بالصفائح الفولاذية على نماذج المساحة المطوقة وغير المطوقة للأعمدة البيتونية المسلحة المربعة

توجد العديد من النماذج الرياضية لتوصيف سلوك البيتون المطوق تبعاً لشكل المقطع ونوع التطويق ومن أشهرها النموذج المقدم من قبل الباحثين (Priestly and Park Curve, Mander) [14]، حيث قام الباحثون [14] بصياغة معادلات تعبر عن منحنى الاجهاد- التشوه للبيتون المطوق والذي ينتج عنه زيادة في مقاومة البيتون المطوق كما هو موضح في الشكل (2-4).



الشكل (2-4) مخطط البيتون المطوق وغير المطوق وفقاً لنموذج Mander [14]

إن العلاقات المقترحة من قبل Mander تأخذ بعين الاعتبار نوع المقطع العرضي للعمود (مستطيل، مربع، مدور الحواف، دائري)، وشكل التسليح العرضي (أساور مستطيلة أم دائرية)، وخطوة الأساور العرضية، ونسبة التسليح الطولي لمجمل مساحة المقطع العرضي، والشكل الأكثر شيوعاً لمقاومة البيتون المطوق وفق نموذج Mander مبين في العلاقة التالية [14]:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f_l}{f'_{co}} - 1.254 \right) \quad (4-7)$$

f'_{cc} : المقاومة الأسطوانية الأعظمية على الضغط للبيتون المطوق (MPa).

f'_{co} : المقاومة الأسطوانية الأعظمية على الضغط للبيتون غير المطوق (MPa)، والتي تكافئ في بحثنا (f'_{cm})

المقاومة الأسطوانية الوسطية على الضغط للبيتون غير المطوق (MPa).

حيث المقاومات الأعظمية المعتمدة في بحثنا الحالي كالتالي:

1- المقاومة الأسطوانية الوسطية على الضغط للبيتون غير المطوق ($f'_{cm1} = 25.3 \text{ MPa}$).

2- المقاومة الأسطوانية الوسطية على الضغط للبيتون غير المطوق ($f'_{cm2} = 36.8 \text{ MPa}$).

f_l : إجهاد الضغط الفعال في المقطع البيتوني المطوق بالأساور الفولاذية ويتعلق بشكل التسليح وفق ما هو مبين

في الشكل (3-4)، وبالنسبة للمقطع الدائري يعطى بالعلاقة [17]:

$$f_l = \frac{2 \times A \times f_y}{S \times d}$$

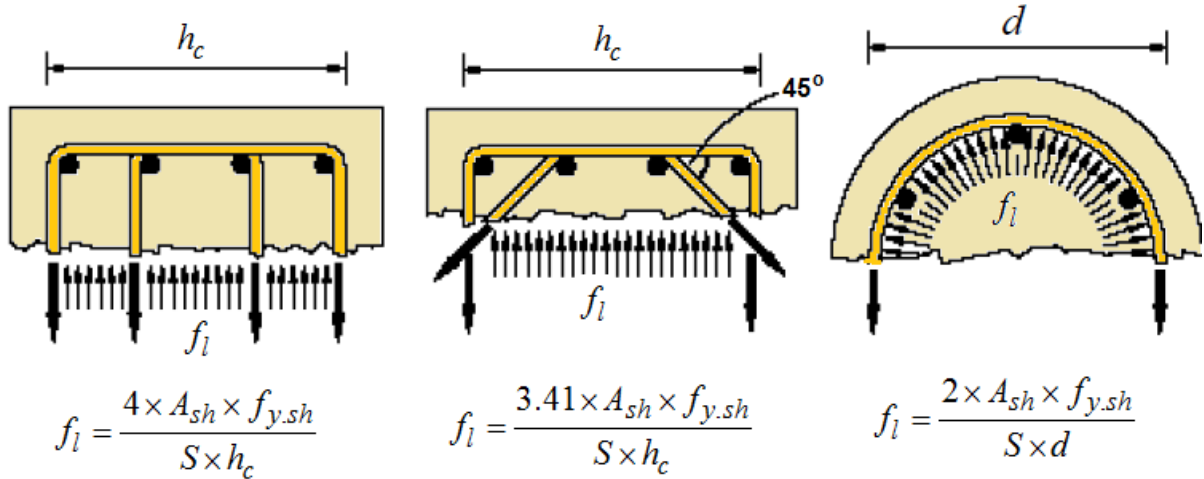
(4-8)

A : مساحة المقطع العرضي لذراع الأسوار (mm^2).

f_y : إجهاد الخضوع لفولاذ الأسوار العرضية (MPa).

S : خطوة الأسوار (mm).

d : قطر النواة البيتونية المطوقة بالأسوار الفولاذية (mm).



الشكل (3-4) القيم المختلفة للإجهاد الفعال f_l المسبب للضغط على البيتون نتيجة التطويق بأشكال مختلفة من الأسوار الفولاذية [15]، [17]

4-4- حساب قدرة التحمل الحدية للعمود الدائري المسلح والمدعم بالهيكل الفولاذي:

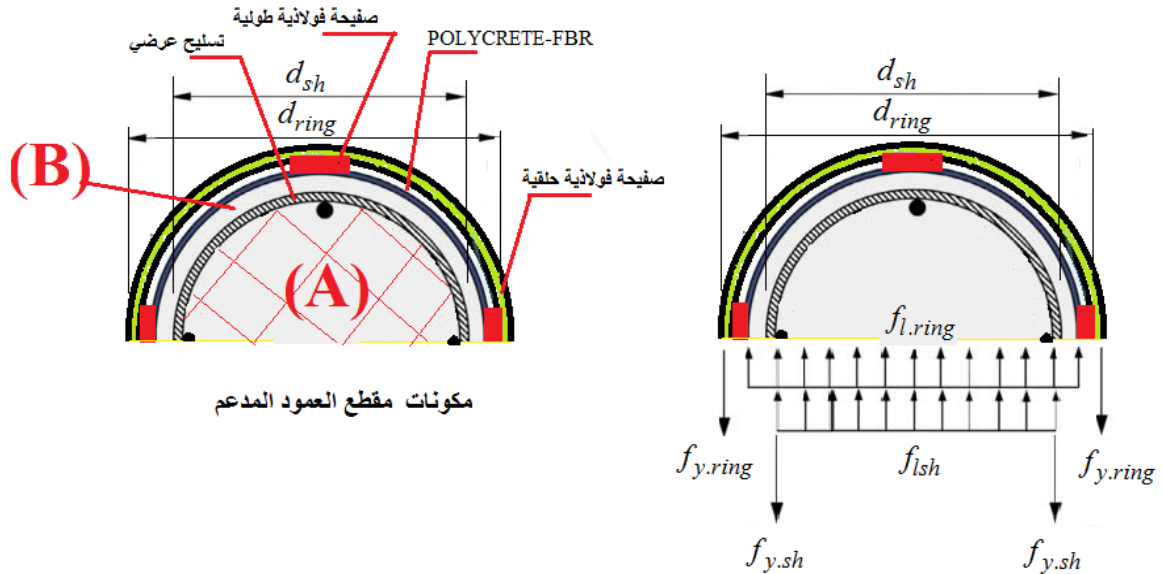
ان العلاقات الواردة في ملحق (4) الكود العربي السوري الخاص بالتدعيم [3] تدرس قدرة تحمل الأعمدة المستطيلة فقط والمدعمة بالصفائح الفولاذية والزوايا المعدنية ولم يرد فيها أي إشارة لحالة لأعمدة الدائرية لذلك سنقترح طريقة تقريبية لحساب قدرة تحمل العمود الدائري المدعم بالصفائح الفولاذية الطولية والحلقية معاً، حيث افترضنا تشابه سلوك التدعيم بالهيكل الفولاذي المكون من الصفائح الفولاذية الطولية والحلقية مع سلوك التسليح الطولي والعرضي بالأسوار الفولاذية من أجل الاستفادة من نموذج Mander، وسيتم اعتماد الفرضيات التالية :

1- العمل المشترك الكامل للهيكل الفولاذي والعمود البيتوني منذ بداية التحميل وحتى الانهيار، وتم تأمين ذلك تجريبياً من خلال تثبيت الصفائح الطولية على العمود بمادة ريزين البوليستر وملء الفراغ بين الصفائح الحلقية والسطح البيتوني للعمود بمادة البولي كريت.

2- سيتم افتراض أن عمل هيكل التدعيم الفولاذي مشابه لعمل قضبان التسليح الطولية والأسوار العرضية مما يتيح لنا استخدام نموذج Mander ليشمل التطويق باستخدام الهيكل الفولاذي.

3- يخضع البيتون في المنطقة (B) التي تمثل التغطية البيتونية لمقطع العمود لتأثير التطويق بالهيكل الفولاذي فقط كما هو موضح في الشكل (4-4).

4- يخضع البيتون في المنطقة (A) التي تمثل النواة البيتونية المحصورة بالتسليح العرضي لمقطع العمود إلى تأثير التطويق المركب الناتج عن الأساور الفولاذية والهيكل الفولاذي معاً كما هو موضح في الشكل (4-4).



الشكل (4-4) تفصيلات مقطع العمود الدائري المدعم والإجهادات الناتجة عن التطويق بأساور التسليح الفولاذية والصفائح الحلقية الفولاذية

بالتالي يمكن تعيين قدرة التحمل المتوقعة للعمود الدائري المسلح والمطوق بهيكل فولاذي باستخدام المعادلة التالية :

$$P = 0.8 * (P_A + P_B + P_{S.long} + P_{P.long}) \quad (4-9)$$

حيث :

❖ P_A : قدرة تحمل البيتون (N) (المطوق من قبل الأساور الفولاذية والصفائح الفولاذية الحلقية معاً) في المنطقة (A) على الضغط.

$$P_A = 0.85 \times f'_{ccA} \times A_A \quad (4-10)$$

حيث :

A_A : مساحة المقطع العرضي المطوق بأساور التسليح العرضي المنطقة (A) (mm²) ويساوي :

$$A_A = \frac{\pi \cdot d_{sh}^2}{4} - A_{s.long} \quad (4-11)$$

$A_{s.long}$: مساحة التسليح الطولي للعمود الدائري (mm²).

f'_{ccA} : مقاومة الضغط للبيتون المطوق (MPa) في المنطقة (A)، وينتج عن خضوع البيتون في المنطقة (A) لتأثير التطويق الناتج عن الأساور الفولاذية والتطويق الناتج عن الصفائح الحلقية معاً ويحسب وفق المراحل التالية :

1- حساب اجهاد الضغط في البيتون للمنطقة (A) نتيجة التطويق بالأساور الفولاذية وبالصفائح الحلقية معاً:

$$f_{l \cdot A} = f_{l \cdot sh} + f_{l \cdot ring} \Rightarrow$$

$$f_{l \cdot A} = \frac{2 \times A_{sh} \times f_{y \cdot sh}}{S_{sh} \times d_{sh}} + \frac{2 \times A_{ring} \times f_{y \cdot ring}}{S_{ring} \times d_{ring}} \quad (4-12)$$

حيث :

- A_{sh} : مساحة المقطع العرضي لذراع الأسورة (mm^2)، حيث: ($A_{sh} = 28.27mm^2$).
 - $f_{y \cdot sh}$: إجهاد الخضوع لفولاذ الأساور العرضية (MPa)، حيث: ($f_{y \cdot sh} = 433MPa$).
 - S_{sh} : خطوة الأسورة (mm)، حيث: ($S_{sh} = 120mm$).
 - d_{sh} : قطر النواة البيتونية المطوقة بالأساور الفولاذية (mm)، حيث: ($d_{sh} = 106mm$).
 - A_{ring} : مساحة المقطع العرضي لذراع الصفيحة الفولاذية الحلقية (mm^2)، حيث: ($A_{ring} = 60mm^2$).
 - $f_{y \cdot ring}$: إجهاد الخضوع لفولاذ لصفائح الفولاذية الحلقية (MPa)، حيث: ($f_{y \cdot ring} = 380MPa$).
 - S_{ring} : خطوة الصفيحة الفولاذية الحلقية (mm)، حيث:
- ($S_{ring} = 0$) عمود مرجعي، ($S_{ring} = 185mm$) عمود مطوق (3S) فقط، ($S_{ring} = 370mm$) عمود مطوق (4L-2S)، ($S_{ring} = 185mm$) عمود مطوق (4L-3S)، ($S_{ring} = 92.5mm$) عمود مطوق (5S) فقط، ($S_{ring} = 92.5mm$) عمود مطوق (4L-5S).
- d_{ring} : قطر النواة البيتونية للمنطقة المطوقة بالصفائح الفولاذية الحلقية (mm)، حيث: ($d_{ring} = 150mm$).

2- حساب مقاومة البيتون المطوق في المنطقة (A) نتيجة التطويق بالأساور الفولاذية وبالصفائح الحلقية معاً: نحسب قدرة تحمل البيتون المطوق في المنطقة (A) اعتماداً على العلاقة (4-7)، وباستخدام الإجهاد $f_{l \cdot A}$ فتصبح بالشكل :

$$f'_{ccA} = f'_{co} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_{l \cdot A}}{f'_{co}}} - 2 \frac{f_{l \cdot A}}{f'_{co}} - 1.254 \right) \quad (4-13)$$

حيث :

- f'_{co} : المقاومة الأسطوانية الأعظمية على الضغط للبيتون غير المطوق (MPa).
- f'_{CCA} : المقاومة الأسطوانية الأعظمية على الضغط للبيتون (MPa) في المنطقة (A) نتيجة التطويق بالأساور الفولاذية وبالصفائح الفولاذية الحلقية معاً.

❖ P_B : قدرة تحمل البيتون (N) (المطوق من قبل الصفائح الفولاذية الحلقية فقط) في المنطقة (B) على الضغط.

$$P_B = 0.85 \times f'_{ccB} \times A_B \quad (4-14)$$

A_B : مساحة المقطع العرضي المطوق والمحصور بين الصفائح الفولاذية الحلقية والأساور الفولاذية (mm^2) ويساوي:

$$A_B = \frac{\pi \cdot (d_{ring}^2 - d_{sh}^2)}{4} \quad (4-15)$$

f'_{ccB} : مقاومة الضغط للبيتون المطوق (MPa) في المنطقة (B)، وينتج عن خضوع البيتون في المنطقة (B) لتأثير التطويق الناتج عن الصفائح الحلقية فقط ويحسب وفق المراحل التالية :

1- حساب اجهاد الضغط في البيتون للمنطقة (B) نتيجة التطويق بالصفائح الحلقية فقط:

$$f_{l \cdot B} = f_{l \cdot ring} \Rightarrow$$

$$f_{l \cdot B} = \frac{2 \times A_{ring} \times f_{y \cdot ring}}{S_{ring} \times d_{ring}} \quad (4-16)$$

2- حساب مقاومة البيتون المطوق في المنطقة (B) نتيجة التطويق بالصفائح الحلقية :

نحسب قدرة تحمل البيتون المطوق في المنطقة (B) اعتماداً على العلاقة (4-7)، وباستخدام الاجهاد f_{lB} فتصبح بالشكل :

$$f'_{ccB} = f'_{co} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_{l \cdot B}}{f'_{co}}} - 2 \frac{f_{l \cdot B}}{f'_{co}} - 1.254 \right) \quad (4-17)$$

حيث :

f'_{co} : المقاومة الأسطوانية الأعظمية على الضغط للبيتون غير المطوق (MPa).
 f'_{ccB} : المقاومة الأسطوانية الأعظمية على الضغط للبيتون (MPa) في المنطقة (B) نتيجة التطويق بالصفائح الفولاذية الحلقية.

❖ $P_{S \cdot long}$: قدرة تحمل قضبان التسليح الفولاذية الطولية على الضغط (N) تعطى بالعلاقة :

$$P_{S \cdot long} = f_{ys \cdot long} \times A_{s \cdot long} \quad (4-18)$$

حيث :

$A_{s \cdot long}$: مساحة التسليح الرئيسي الطولي (mm^2).

$$A_{s \cdot long} = n_1 \times \frac{\pi \cdot d_{s \cdot long}^2}{4} \quad (4-19)$$

n_1 : عدد قضبان التسليح الطولي، حيث: ($n_1 = 4$).

$d_{s \cdot long}$: قطر قضبان التسليح الرئيسي الطولي للعمود (mm)، حيث: ($d_{s \cdot long} = 8mm$).

$f_{ys \cdot long}$: إجهاد الخضوع لفولاذ قضبان التسليح الرئيسي الطولي (MPa)، حيث: ($f_{ys \cdot long} = 502.3MPa$).

❖ $P_{P \cdot long}$: قدرة تحمل الصفائح الفولاذية الشاقولية على الضغط (N) تعطى بالعلاقة :

$$P_{P \cdot long} = f_{yP \cdot long} \times A_{P \cdot long} \quad (4-20)$$

حيث :

$A_{P.long}$: مساحة صفائح التدعيم الفولاذية الطولية (mm^2).

$$A_{P.long} = n_2 \times t \times b \quad (4-21)$$

n_2 : عدد الصفائح الفولاذية الطولية حيث ($n_2 = 4$).

t : سماكة الصفيحة الفولاذية الطولية (mm) حيث ($t = 3mm$).

b : عرض الصفيحة الفولاذية الطولية (mm) حيث ($b = 20mm$).

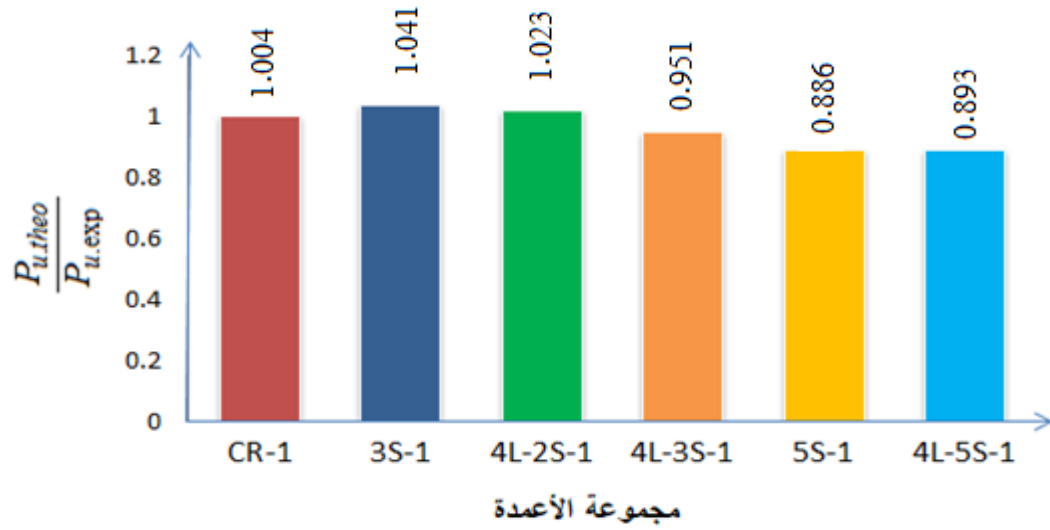
$f_{yP.long}$: إجهاد الخضوع لفولاذ الصفائح الفولاذية الطولية (MPa) حيث ($f_{yP.long} = 380MPa$).

تم برمجة كافة العلاقة السابقة وادخال جميع المعطيات المذكورة في الدراسة النظرية على برنامج (Excel) وذلك لحساب قدرة التحمل الحدية المتوقعة للأعمدة الدائرية المرجعية والأعمدة الدائرية المطوقة المنفذة بالنوع الأول من البيتون ذو المقاومة الأسطوانية الوسطية ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) والأعمدة الدائرية المرجعية والمطوقة المنفذة بالنوع الثاني من البيتون ذو المقاومة الاسطوانية الوسطية ($f'_{cm2} = 36.8MPa$). ورتبت النتائج وفق الجدولين (1-4) و(2-4).

الجدول (1-4) مقارنة النتائج النظرية والتجريبية لقوة الضغط الأعظمية التي تتحملها الأعمدة المنفذة بالبيتون من النوع الأول ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)

الجموعة	f'_{CCA}	f'_{ccB}	P_A	P_B	$P_{S.long}$	$P_{P.long}$	$P_{u,theo}$	$P_{u.exp}$	$\frac{P_{u,theo}}{P_{u.exp}}$
	(MPa)	(MPa)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	-
CR-1	36.66	25.30	268.73	190.25	101.00	0.00	447.99	446.00	1.004
3S-1	44.17	35.19	323.81	264.65	101.00	0.00	551.57	530.00	1.041
4L-2S-1	40.61	30.59	297.65	230.01	101.00	91.20	575.89	563.00	1.023
4L-3S-1	44.17	35.19	323.81	264.65	101.00	91.20	624.53	656.67	0.951
5S-1	50.44	42.98	369.71	323.19	101.00	0.00	643.06	725.00	0.886
4L-5S-1	50.44	42.98	369.71	323.19	101.00	91.20	708.08	792.33	0.893

قمنا بتمثيل النتائج في الجدول (1-4) كما هو موضح في الشكل (4-5) الذي يمثل مقارنة النتائج النظرية والتجريبية لقوة الضغط الأعظمية التي تتحملها الأعمدة المنفذة بالبيتون من النوع الأول ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)



الشكل (5-4) مقارنة نسبة حمولة الانهيار النظرية الى التجريبية لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام النوع الأول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) تبعاً لنماذج التدعيم

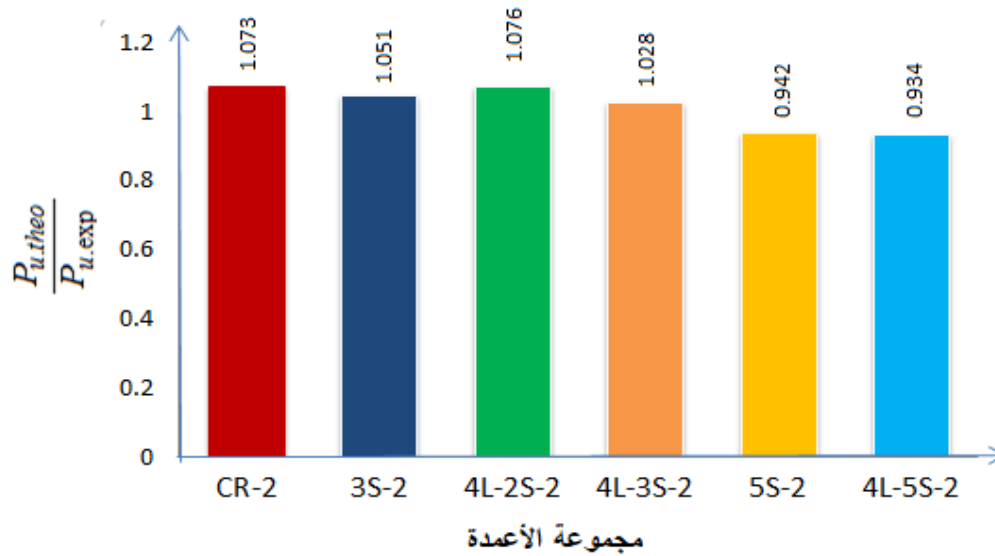
نلاحظ من النتائج المدرجة في الجدول السابق (4-1) والموضحة بالشكل (4-5) ما يلي:

- لوحظ تطابق بين حمولة الانهيار النظرية وحمولة التجريبية بالنسبة لمجموعات الأعمدة المرجعية، وازدادت بنسبة (4.1%) في حالة أعمدة المجموعة (3S-1) والتي تتضمن استخدام (ثلاثة صفائح حلقيّة فقط)، وازدادت بنسبة (2.3%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-2S-1) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيّة).
- انخفضت حمولة الانهيار النظرية مقارنة مع التجريبية بنسبة (5%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-3S-1) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيّة)، وانخفضت بنسبة (11%) في حالة أعمدة المجموعة (5S-1) والتي تتضمن استخدام (5 صفائح حلقيّة فقط)، وانخفضت بنسبة (10.7%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-5S-1) المتضمنة استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة).

الجدول (2-4) مقارنة النتائج النظرية والتجريبية لقوة الضغط الأعظمية التي تتحملها الأعمدة المنفذة بالبيتون من النوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)

المجموعة	f'_{CCA}	f'_{ccB}	P_A	P_B	$P_{S.long}$	$P_{P.long}$	$P_{u.theo}$	$P_{u.exp}$	$\frac{P_{u.theo}}{P_{u.exp}}$
	(MPa)	(MPa)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	-
CR-2	48.70	36.80	356.95	276.73	101.00	0.00	587.74	548.00	1.073
3S-2	57.08	47.10	418.39	354.21	101.00	0.00	698.88	665.33	1.051
4L-2S-2	53.05	42.21	388.86	317.40	101.00	91.20	718.77	668.00	1.076
4L-3S-2	57.08	47.10	418.39	354.21	101.00	91.20	771.84	750.67	1.028
5S-2	64.34	55.72	471.61	418.99	101.00	0.00	793.28	842.00	0.942
4L-5S-2	64.34	55.72	471.61	418.99	101.00	90.48	865.67	926.67	0.934

قمنا بتمثيل النتائج في الجدول (2-4) كما هو موضح في الشكل (4-6) الذي يمثل مقارنة النتائج النظرية والتجريبية لقوة الضغط الأعظمية التي تتحملها الأعمدة المنفذة بالبيتون من النوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)



الشكل (4-6) مقارنة نسبة حمولة الانهيار النظرية الى التجريبية لمجموعات الأعمدة المنفذة باستخدام النوع الثاني من البيتون ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) تبعاً لنماذج التدعيم

نلاحظ من النتائج المدرجة في الجدول السابق (2-4) والموضحة بالشكل (4-6) ما يلي:

- ازدادت حمولة الانهيار النظرية مقارنة مع التجريبية بنسبة (7.3%) لمجموعات الأعمدة المرجعية، وازدادت بنسبة (5.1%) في حالة أعمدة المجموعة (3S-2) والتي تتضمن استخدام (ثلاثة صفائح حلقيّة فقط)، وازدادت بنسبة (7.6%) في أعمدة المجموعة (4L-2S-2) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 2 صفيحة حلقيّة)، وازدادت بنسبة (2.8%) في أعمدة المجموعة (4L-3S-2) والتي تتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 3 صفائح حلقيّة) .
- انخفضت حمولة الانهيار النظرية مقارنة مع التجريبية بنسبة (5.8%) في حالة أعمدة المجموعة (5S-2) والتي تتضمن استخدام (5 صفائح حلقيّة فقط)، وانخفضت بنسبة (6.6%) في حالة أعمدة المجموعة (4L-5S-2) المتضمنة استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة).

4-5- تحديد معامل التطويق للمنطقتين (A) و (B):

يعطى معامل التطويق وفقاً لـ Mander [14] بالعلاقة :

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} \quad (4-22)$$

حيث :

f'_{cc} : مقاومة الضغط للبيتون المطوق (MPa).

f'_{co} : مقاومة الضغط للبيتون غير المطوق (MPa).

وبالاعتماد على الجدولين (1-4) و (2-4) نجد قيم معامل التطويق للمنطقتين (A) و (B) كما هو موضح في الجدول (3-4) .

الجدول (3-4) القيم النظرية لمعامل التطويق للمنطقتين (A) و (B)

الجموعة	$(f'_{cm1} = 25.3MPa)$				الجموعة	$(f'_{cm2} = 36.8MPa)$			
	f'_{CCA}	K_A	f'_{ccB}	K_B		f'_{CCA}	K_A	f'_{ccB}	K_B
	(MPa)		(MPa)			(MPa)		(MPa)	
CR-1	36.66	1.45	25.30	1.00	CR-2	48.70	1.32	36.80	1.00
3S-1	44.17	1.75	35.19	1.39	3S-2	57.08	1.55	47.10	1.28
4L-2S-1	40.61	1.61	30.59	1.21	4L-2S-2	53.05	1.44	42.21	1.15
4L-3S-1	44.17	1.75	35.19	1.39	4L-3S-2	57.08	1.55	47.10	1.28
5S-1	50.44	1.99	42.98	1.70	5S-2	64.34	1.75	55.72	1.51
4L-5S-1	50.44	1.99	42.98	1.70	4L-5S-2	64.34	1.75	55.72	1.51

نلاحظ من النتائج في الجدول السابق (3-4) ما يلي:

- تتخفيض قيم معامل التطويق K بازدياد المقاومة الاسطوانية الوسطية للبيتون مما يدل على انخفاض فعالية التدعيم مع ازدياد مقاومة البيتون .

4-6- تحديد نسبة مساهمة مكونات العمود الدائري المسلح المدعم في الزيادة الحاصلة على مقاومة البيتون المطوق :

يمكن معرفة نسبة مساهمة كل من مكونات العمود الدائري المدعم تبعاً لنموذج التدعيم في زيادة قدرة تحمل البيتون المطوق وبالاتماد على العلاقة:

$$P = 0.8 * (P_A + P_B + P_{S.long} + P_{P.long}) \quad (4-9)$$

من خلال قسمة كل حد من حدود هذه العلاقة على قدرة التحمل الحدية النظرية، علماً بأن المنطقة (A) تشمل تأثير كل من الأساور الفولاذية العرضية (الحلقية) وصفائح التدعيم العرضية (الحلقية) إن وجدت، ويمكن الحصول على مساهمة الأساور فقط من خلال حذف تأثير التطويق بالشرائح الفولاذية العرضية في المنطقة (A) وفق ما هو مبين في الجدول (4-4) في حالة البيتون من النوع الاول $(f'_{cm1} = 25.3MPa)$ ، والجدول (4-5) في حالة البيتون من النوع الثاني $(f'_{cm2} = 36.8MPa)$.

الجدول (4-4) نسبة مساهمة مكونات العمود الدائري المسلح المدعم في الزيادة الحاصلة على مقاومة البيتون المطوق للأعمدة المنفذة بالبيتون من النوع الأول ($f'_{cm1} = 25.3MPa$)

المجموعة	مساهمة قضبان التسليح الطولية	مساهمة صفائح التدعيم الطولية	مساهمة أساور التسليح العرضي والتدعيم العرضي	مساهمة صفائح التدعيم العرضية	تأثير الأساور بدون صفائح عرضية في منطقة A	تأثير الأساور بدون صفائح عرضية في منطقة A بال (MPa)
	P_u / P_{sLong}	P_u / P_{PLong}	P_u / P_A	P_u / P_B	-	-
CR-1	0.18	0.00	0.49	0.34	0.49	5.78
3S-1	0.15	0.00	0.47	0.38	0.09	1.62
4L-2S-1	0.14	0.13	0.41	0.32	0.09	1.44
4L-3S-1	0.13	0.12	0.41	0.34	0.08	1.43
5S-1	0.13	0.00	0.47	0.41	0.06	1.47
4L-5S-1	0.11	0.10	0.42	0.37	0.05	1.32

الجدول (5-4) نسبة مساهمة مكونات العمود الدائري المسلح المدعم في الزيادة الحاصلة على مقاومة البيتون المطوق للأعمدة المنفذة بالبيتون من النوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8MPa$)

المجموعة	مساهمة قضبان التسليح الطولية	مساهمة صفائح التدعيم الطولية	مساهمة أساور التسليح العرضي والتدعيم العرضي	مساهمة صفائح التدعيم العرضية	تأثير الأساور بدون صفائح عرضية في منطقة A	تأثير الأساور بدون صفائح عرضية في منطقة A بال (MPa)
	P_u / P_{sLong}	P_u / P_{PLong}	P_u / P_A	P_u / P_B	-	-
CR-2	0.14	0.00	0.48	0.38	0.48	5.45
3S-2	0.12	0.00	0.48	0.41	0.07	1.49
4L-2S-2	0.11	0.10	0.43	0.35	0.08	1.29
4L-3S-2	0.10	0.09	0.43	0.37	0.07	1.35
5S-2	0.10	0.00	0.48	0.42	0.05	1.46
4L-5S-2	0.09	0.08	0.44	0.39	0.05	1.34

من النتائج المدرجة في الجدول (4-4) نلاحظ أن:

- الأساور العرضية تساهم في زيادة قدرة التحمل الحدية للبيتون في المنطقة (A) من خلال التطويق بنسبة تتراوح % (49) للأعمدة المرجعية (CR-1)، وبنسبة (9%) للأعمدة المطوقة (3S-1)، وبنسبة (9%) للأعمدة المطوقة (4L-2S-1)، وبنسبة (8%) للأعمدة المطوقة (4L-3S-1) وبنسبة (6%) للأعمدة المطوقة (5S-1)، وبنسبة (5%) للأعمدة المطوقة (4L-5S-1) من أجل الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$).

من النتائج المدرجة في الجدول (5-4) نلاحظ أن:

- الأساور العرضية تساهم في زيادة قدرة التحمل الحدية للبيتون في المنطقة (A) من خلال التطويق بنسبة تتراوح % (48) للأعمدة المرجعية (CR-2)، وبنسبة (7%) للأعمدة المطوقة (3S-2)، وبنسبة (8%) للأعمدة المطوقة (4L-2S-2)، وبنسبة (7%) للأعمدة المطوقة (4L-3S-2) وبنسبة (5%) للأعمدة المطوقة (5S-2)، وبنسبة (5%) للأعمدة المطوقة (4L-5S-2) من أجل الأعمدة المنفذة بالنوع الثاني من البيتون ($f'_{cm2} = 36.8MPa$).

علماً أن الأساور العرضية لا تحقق شروط التطويق الداخلي المحددة بالعلاقات :

❖ شرط قطر الأساور :

$$dst \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 8mm \\ \frac{ds_{long}}{3} = \frac{8}{3} = 2.67mm \end{array} \right. \quad (4-23)$$

والشرط غير محقق لأن $d_{st} = 6mm < 8mm$.

❖ شرط تباعد الأساور :

$$50mm \leq S \leq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{D}{5} = \frac{150}{5} = 30mm \\ 80mm \end{array} \right. \quad (4-24)$$

حيث:

dst : قطر الأسورة العرضية، حيث ($dst = 6mm$).

S : خطوة الأسورة، حيث ($S = 120mm$).

حيث نوصي بادخال تأثير الأساور العرضية في بحثنا الحالي لانها تؤدي الى زيادة قدرة التحمل الحدية للبيتون حتى لو بنسب قليلة حيث لا نستطيع اهمال تأثيرها.

ملاحظة 1: لقد تم تصميم التسليح العرضي بهذا الشكل للأعمدة المدروسة في هذا البحث وذلك لإظهار فعالية التدعيم الخارجي بالهيكل الفولاذي.

ملاحظة 2: الأعمدة المختبرة هي أعمدة مخبرية حيث أن سلوكها يتغير إذا كانت الأبعاد حقيقية.

نستنتج مما سبق:

- أعطت العلاقات النظرية قيماً متماثلة مع النتائج التجريبية لحمولة الانهيار وتراوحت نسبة الاختلاف بين الطريقتين من % (1-11) للأعمدة المنفذة من النوع الأول للبيتون ذو المقاومة $(f'_{cm1} = 25.3MPa)$ ، ومن % (2.8-7.3) بالنسبة للأعمدة المنفذة من النوع الثاني للبيتون ذو المقاومة $(f'_{cm2} = 36.8MPa)$.
- من خلال قيم معامل التطويق K التي تراوحت بين (1.45-1.99) للمنطقة المطوقة (A) وتراوحت بين (1.00-1.70) للمنطقة (B) من أجل الأعمدة المنفذة بالنوع الأول من البيتون ذو المقاومة $(f'_{cm1} = 25.3MPa)$ ، وقيم المعامل K التي تراوحت بين (1.32-1.75) للمنطقة (A) وتراوحت بين (1.00-1.51) للمنطقة (B) من أجل الأعمدة المنفذة بالنوع الثاني من البيتون ذو المقاومة $(f'_{cm2} = 36.8MPa)$ نلاحظ أن فعالية التدعيم تتخفّض مع زيادة مقاومة البيتون وهذا يتطابق مع الدراسة التجريبية سابقاً.

الفصل الخامس

الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة

5-1- مقدمة:

يعتبر تمثيل السلوك اللاخطي الحقيقي للبيتون المسلح بشكل عام وتأثير التطويق عليه مسألة حيوية هامة في مجال الهندسة الإنشائية وخصوصاً في الأعمدة البيتونية المسلحة المدعمة نظراً لصعوبة نمذجة الخواص اللاخطية لمواد مركبة وغير متجانسة كالبيتون المسلح والصفائح الفولاذية، إضافة لصعوبة تعريف الترابط بين مكونات العنصر البيتوني المسلح مع مواد التدعيم.

وساعد التطور الكبير الذي شهده قطاع البرامج الحاسوبية بحل العديد من المشاكل التي قد تصادف المهندس المدني و تعتبر طريقة العناصر المحدودة (FEM) طريقة عددية حاسوبية معتمدة لدراسة سلوك العناصر بمختلف أنواعها، وذلك عند تعرضها لتأثير العوامل المختلفة مثل (القوى الخارجية، الإجهادات الحرارية، الاهتزازات الميكانيكية) وغيرها من العوامل الناتجة عن الظروف والقوى الخارجية، وساهمت طريقة العناصر المحدودة في الآونة الأخيرة بشكل فعال في نمذجة وحل الكثير من المنشآت الهندسية المتنوعة، وأصبحت هذه الطريقة أداة فعالة في عملية التحليل و التصميم، وفي صيانة وتدعيم المنشآت القائمة، وغدت ضرورة أساسية من ضرورات التحليل الإنشائي، و في السنوات الأخيرة تم اقتراح عدة نماذج جوهريّة لتمثيل سلوك البيتون المسلح وخواصه اللاخطية، وأعطت هذه الدراسات والطرق المقترحة نتائج دقيقة مقارنة بالاختبارات التجريبية، مما جعلها أفضل الطرق لتحليل المكونات البيتونية الإنشائية [18].

تم في البحث استخدام برنامج ANSYS لعملية النمذجة و التحليل الإنشائي للأعمدة البيتونية الدائرية المسلحة والمدعمة بالهيكل الفولاذي وفق النماذج المختلفة للتدعيم، وتهدف الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ANSYS لما يلي:

1- وضع نموذج حاسوبي للعمود الدائري البيتوني المسلح المدعم بخمس صفائح عرضية من النوع الثاني

للبيتون ($f'_{cm2} = 36.8 \text{ MPa}$) باستخدام برنامج ANSYS.

2- مقارنة نتائج النموذج الحاسوبي للعمود الدائري البيتوني المسلح المدعم مع النتائج التجريبية للعمود

المدعم والمنفذ بالبيتون من النوع الثاني.

5-2- منهجية البحث:

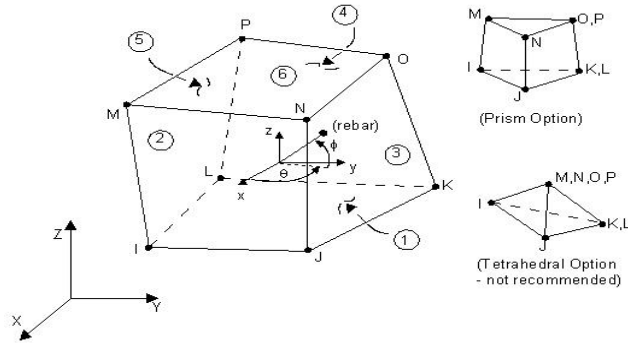
5-2-1- التوصيف الحاسوبي لنمذجة المواد:

عموماً توجد ثلاثة أنواع من المواد المطلوب نمذجتها ضمن الدراسة التحليلية وهي: البيتون - فولاذ قضبان التسليح الرئيسي والعرضي - فولاذ صفائح التدعيم الفولاذية، وتوضح الفقرات التالية الخصائص الأساسية لهذه العناصر.

5-1-1-2-1- نموذج العناصر البيتونية :

5-1-1-2-1- نوع العنصر المحدود المستخدم لنمذجة البيتون :

تمت نمذجة مادة البيتون كعناصر حجمية فراغية، استخدم لنمذجتها العنصر المحدود (Solid Concrete 65) كما هو موضح في الشكل (1-5)، ويتألف هذا العنصر من ثماني عقد كما يمتاز بقدرته على تمثيل التشقق في منطقة الشد والتحطم في منطقة الضغط، وتمثيل الزحف والتشوه اللدن [19]، [20].



الشكل (1- 5) العنصر المحدود (Solid Concrete 65) المستخدم لنمذجة العناصر البيتونية والمونة الإسمنتية [20]

5-2-1-1-2- الثوابت الحقيقية (Real Constant):

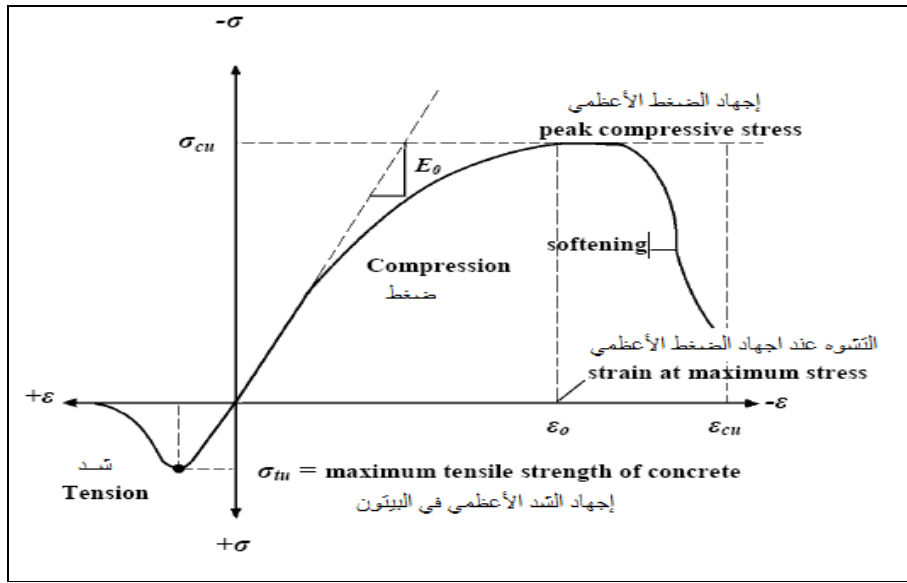
تتضمن نافذة الثوابت المتعلقة بالعنصر المحدود (Solid Concrete 65) والمستخدم لنمذجة العناصر البيتونية تعريف وتحديد خصائص قضبان التسليح الموزعة ضمن هذه العناصر باعتبارها (Smeared Model)، وتم في هذه الدراسة نمذجة قضبان التسليح ضمن الأعمدة البيتونية على شكل عناصر منفصلة (Discrete Element) تتصل مع العناصر البيتونية في العقد لذلك تكون جميع الثوابت الخاصة بالعنصر (Solid Concret 65) مساوية للصفر كما هو مبين بالجدول (1-5).

الجدول (1-5) ثوابت العنصر (Solid Concrete 65)

Real Constant Set	Element Type		Real Constants For Rebar 1	Real Constants For Rebar 2	Real Constants For Rebar 3
1	Solid Concrete 65	Material Number	0	0	0
		Volume Ratio	0	0	0
		Orientation Angle	THETA	0	0
			PHI	0	0

5-2-1-1-3- خصائص المادة و توصيف سلوكها:

يعتبر تطوير نموذج يصف سلوك البيتون مهمة صعبة فالبيتون مادة شبه هشّة ويسلك سلوكاً مختلفاً في الشد والضغط. مقاومة الشد للبيتون تكون بين (8-15%) من مقاومة الضغط والشكل (2-5) يظهر المنحني النموذجي لعلاقة (الإجهاد-التشوه) للبيتون العادي، ويظهر من الشكل (2-5) أن منحنى (الإجهاد- التشوه) للبيتون في حالة الضغط يكون خطياً مرناً إلى حوالي 30% من مقاومة الضغط القصوى، وبعد هذه النقطة يزداد الإجهاد تدريجياً ليصل لمقاومة الضغط العظمى σ_{cu} وبعدها ينحدر لينتهي أخيراً بتحطم البيتون عند تشوه أعظمي ϵ_{cu} ، أما في حالة الشد فيكون منحنى (الإجهاد - التشوه) خطياً مرناً تقريباً حتى الوصول لمقاومة الشد العظمى وبعد هذه النقطة يتشقق البيتون و تنخفض المقاومة تدريجياً إلى الصفر. [21]



الشكل (2-5) منحنى نموذجي لعلاقة (الإجهاد - التشوه) للبيتون [21]

5-2-1-1-3-1- البيانات المطلوبة لتوصيف سلوك البيتون في برنامج ANSYS:

من أجل البيتون فإن البيانات المطلوبة للإدخال هي خواص المادة التالية :

1- المقاومة القصوى الأسطوانية على الضغط (f'_c): من التجارب وجدنا أن متوسط المقاومة الأسطوانية على

الضغط للنوع الثاني ($f'_{cm2} = 36.8 MPa$).

2- معامل مرونة البيتون (E_c) ويحسب للبيتون من النوع الثاني بالعلاقة: [22]

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_{cm2}} = 28515.49 MPa \quad (5-1)$$

3- المقاومة القصوى للبيتون على الشد (f_r): $f_r = 3.68 MPa$.

4- معامل بواسون: $\nu = 0.2$.

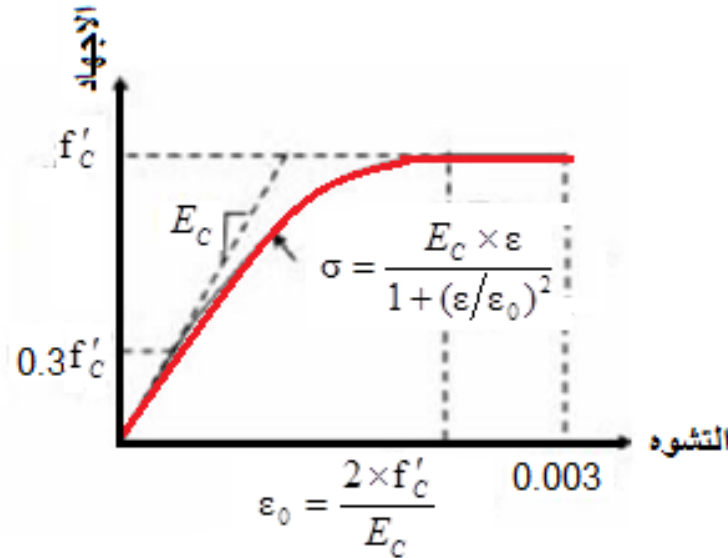
5- معامل نقل القص β_t :

هو معامل خاص بالعناصر البيتونية بشكل عام، حيث يمثل الشروط المتعلقة بالسطح أو الوجه المتشقق (Crack Face) من البيتون. وتتراوح قيمته بين (0-1) فالقيمة (0) تمثل حالة الشقوق ذات السطوح الناعمة أي فقدان كامل لانتقال القص، أما القيمة (1) فتمثل حالة الشقوق ذات السطوح الخشنة أي لا توجد خسارة في انتقال

القص [21]، وتتراوح قيم معامل نقل القص للشقوق المفتوحة لأغلب الدراسات المعتمدة على طريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج ANSYS بين القيمتين (0.05-0.3) [21] واعتمدت قيمة $\beta_r = 0.3$.

6- علاقة (الإجهاد - التشوه) للبيتون:

يتطلب برنامج Ansys إدخال علاقة الإجهاد - التشوه للبيتون في حالة الضغط واعتمدنا علاقات التقريب المبسط (Simplified) [23] المبينة في الشكل (3-5) لتمثيل البيتون.



الشكل (3-5) منحنى (إجهاد - تشوه) للبيتون على الضغط وفق التقريب المبسط (Simplified) [23]

والعلاقات التالية تستخدم لبناء هذه العلاقة [23]، [24]:

$$\sigma = \frac{E_c \times \varepsilon}{1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^2} \quad (5-2)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{2 \times f'_c}{E_c} \quad (5-3)$$

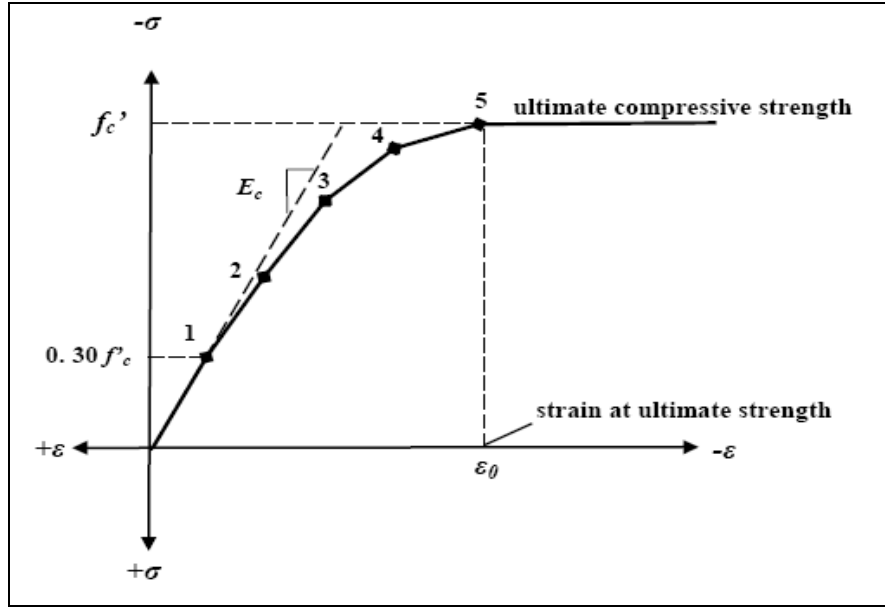
$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5-4)$$

حيث : f'_c : المقاومة الاسطوانية للبيتون على الضغط ، فهي تكافئ في بحثنا $(f'_{cm2} = 36.8MPa)$.

σ : الإجهاد عند أي قيمة للتشوه ε .

ε_0 : التشوه عند القيمة القصوى لإجهاد الضغط f'_c .

و يبين الشكل (4-5) منحنى الإجهاد - التشوه النموذجي الناتج عن استخدام علاقات التقريب المبسط.



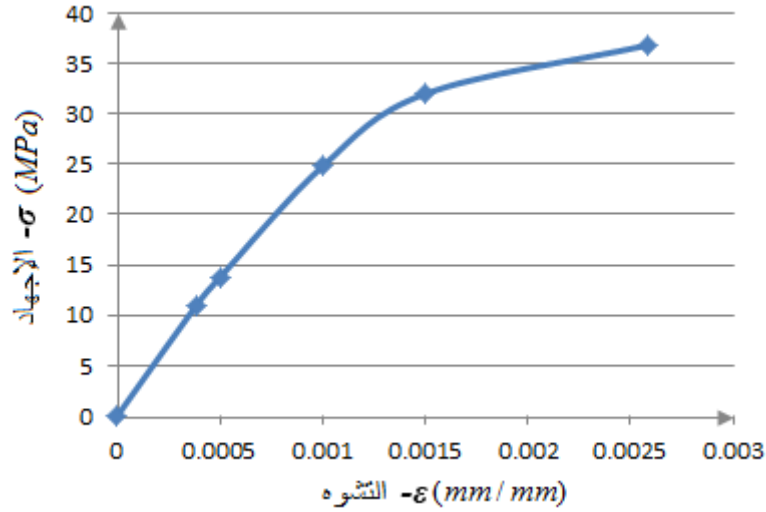
الشكل (4-5) منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون في مرحلة الضغط وفق التقريب المبسط (Simplified) [24]

يلاحظ من الشكل السابق ان منحنى الإجهاد - التشوه يبدأ من قيمة الصفر عند بداية التحميل، ومع زيادة الحمولة تزداد الإجهادات والتشوهات تدريجياً حتى النقطة (1) من المنحنى، حيث تكون قيمة الإجهاد مساوية إلى $(0.3f'_c)$ باعتبار سلوك البيتون حتى هذه القيمة عبارة عن سلوك خطي مرن، وتحسب قيمة التشوه المقابل لهذا الإجهاد من المعادلة (4-5) بالاعتماد على قانون هوك وذلك باعتبار قيمة معامل المرونة للبيتون معروفة، أما النقاط (2,3,4) فيتم الحصول عليها من المعادلتين (2-5) و (3-5). وتحسب النقطة رقم (5) المقابلة لقيمة (f'_c) و (ϵ_0) أي لكل من الإجهاد الحدي والتشوه على التوالي. ويبين الجدول (2-5) إحداثيات نقاط المنحنى المميز لعلاقة الإجهاد - تشوه للبيتون المستخدم في الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ANSYS.

الجدول (2-5) إحداثيات نقاط المنحنى المميز لعلاقة الإجهاد - تشوه للبيتون

رقم النقطة	الإجهاد σ (MPa)	التشوه ϵ (mm/mm)
1	11.043	0.000387263
2	13.74231258	0.0005
3	24.7954884	0.001
4	31.97852204	0.0015
5	36.81	0.002581755

ويظهر الشكل (5-6) منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون المعتمد في النمذجة.

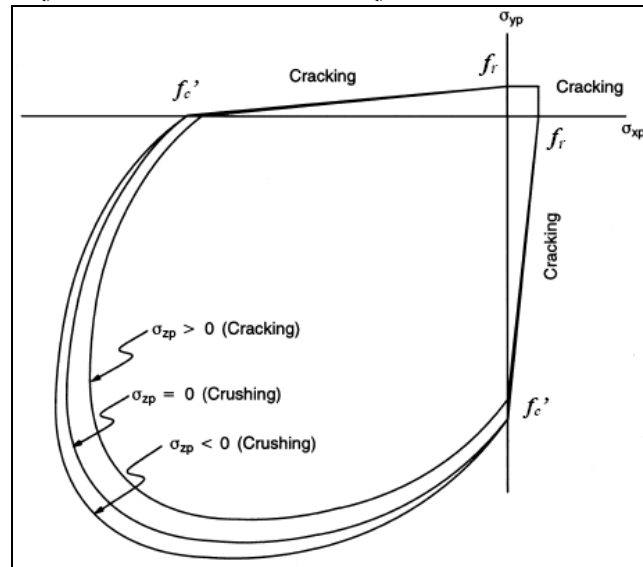


الشكل (6-5) منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون المعتمد في النمذجة

5-2-1-1-3-2- معايير الانهيار للبيتون :

يمكن من خلال النموذج التحليلي بطريقة العناصر المحدودة تحديد آليات انهيار العناصر البيتونية المدروسة على الضغط والشد. من أجل تعريف سطوح الانهيار لهذه العناصر البيتونية لا بد من تعريف المقاومة الحدية لها على الضغط والشد.

يمكن توضيح ذلك من الشكل (7-5) الذي يمثل سطوح انهيار العناصر البيتونية في الحالة الفراغية (3-D)، وتمثل الإجهادات σ_{yp} ، σ_{xp} الإجهادات الرئيسية في الاتجاهين Y، X على التوالي.



الشكل (7-5) سطوح انهيار العناصر البيتونية في الحالة الفراغية

يلاحظ من الشكل السابق تشكل مساقط ثلاثة سطوح انهيار للعناصر البيتونية في مستوى الإجهادات الرئيسية σ_{yp} ، σ_{xp} بحيث تصبح أنماط الانهيار توابع للمتحول σ_z (الإجهاد في الاتجاه Z).

- يحدث التشقق (Cracking) في عنصر البيتون عندما يقع إجهاد الشد الرئيسي في أي اتجاه خارج سطح الانهيار، أي يتجاوز مقاومة البيتون على الشد، لأن قيمة معامل مرونة البيتون بعد التشقق تصبح معدومة في الاتجاه الموازي لإجهاد الشد الرئيسي.
- يحدث التحطم (Crushing) عندما تكون الإجهادات الرئيسية كافة ضاغطة وتقع خارج سطح الانهيار، ولذلك فإن معامل المرونة يصبح معدوماً في الاتجاهات كافة، وعندئذ فإن العنصر المحدود يخضع عملياً في هذا البحث وبسبب ارتفاع مقاومة البيتون على الضغط (انهيار العناصر البيتونية على الضغط نادراً ما يحدث) ولأن البيتون عموماً ضعيف المقاومة على الشد، فقد تم تجاهل تمثيل انهيار العناصر البيتونية على الضغط وتم اعتبار التشققات التي تصيب العناصر البيتونية هي الانهيارات الحاكمة عند النمذجة بطريقة العناصر المحدودة [25]، والخواص المرنة الخطية ومدخلات برنامج ANSYS للبيتون مبينة في الجدول (3-5).

الجدول (3-5) الخواص المرنة الخطية ومدخلات برنامج ANSYS للبيتون

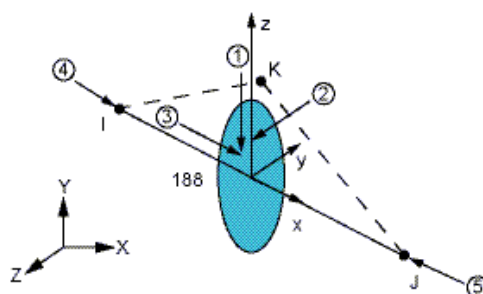
البيتون المسلح المتضرر	مواصفات المادة
36.81	f_c (MPa)
1	Material Model Number
28515.49	معامل مرونة EX (MPa)
0.2	معامل بواسون PRXY
0.3	معامل القص للشقوق المفتوحة Open-shear Tr Cof
1	معامل القص للشقوق المغلقة Closed-shear Tr Cof
3.681	إجهاد الشد المحوري Uniaxial-Cracking Stress
-1	إجهاد التحطم المحوري Uniaxial-Crushing Stress
0	Biaxial Crushing Stress
0	Hydrostatic Pressure
0	Hydrostatic Biax Crush Stress
0	Hydro Uniax Crush Stress
0.6	Tensile Crack Factor

5-2-1-2-2- نموذج قضبان التسليح الفولاذية وصفائح التدعيم الفولاذية الحلقية العرضية :

5-2-1-2-1- نوع العنصر المحدود المستخدم لنمذجة قضبان التسليح الفولاذية:

تم استخدام العنصر (Beam188) والموضح في الشكل (5-8) لنمذجة قضبان التسليح المختلفة الأقطار بالإضافة لنمذجة صفائح التدعيم الفولاذية الحلقية، وهذا العنصر من النوع 3-D ويتألف من عقدتين على طرفيه، وكل عقدة تتمتع بست درجات حرية وهي ثلاثة انتقالات في الاتجاهات الثلاثة (Z,Y,X)، وثلاثة دورانات حول المحاور (Z,Y,X)، وهذا العنصر مناسب جداً لنمذجة الحالات الخطية، والدورانات الكبيرة وتطبيقات الانفعال اللاخطي الكبير، ويمتاز هذا العنصر بقدرته على التمثيل الجيد لكل من مسائل الانعطاف، والتحنيب الجانبي

الفتلي، كما يمتاز بقدرته على التشوه المرن واللدن والزحف وكافة النماذج اللاخطية الأخرى [20] ، ولا يملك العنصر (Beam188) أية ثوابت حقيقية والمتغير الوحيد له هو مقطعه العرضي الذي يجب تحديد مواصفاته من قائمة مستقلة في برنامج ANSYS.



الشكل (5-8) العنصر المحدود (Beam188) المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح وصفائح الفولاذية

5-2-2-1-2-5- المقطع العرضي للعنصر المحدود (Beam188):

يبين الجدول (4-5) مدخلات المقاطع المختارة لقضبان التسليح والصفائح الفولاذية الحلقية في برنامج ANSYS.

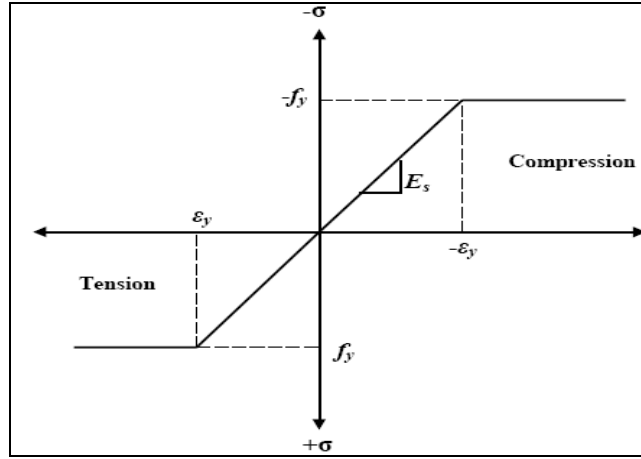
الجدول (4-5) مواصفات المقاطع العرضية لقضبان التسليح وصفائح الفولاذية الحلقية ببرنامج ANSYS

صفائح التدعيم الحلقية	التسليح الطولي	التسليح العرضي	نوع التسليح
-	8	6	القطر (mm)
Plate	S-long	S-cross	الاسم (Name)
مستطيل مصمت	دائري مصمت	دائري مصمت	المقطع العرضي (Sub-Type)
(3، 20)	-	-	الأبعاد (H، B) (mm)
-	4	3	نصف قطر المقطع (R) (mm)

5-3-2-1-2-5- خصائص المادة و توصيف سلوكها:

عند النمذجة الإنشائية لقضبان التسليح الفولاذية الطولية والعرضية وصفائح التدعيم الحلقية تم افتراض أن سلوك الفولاذ عبارة عن سلوك مادة مرنة - تامة اللدونة (Elastic-Perfect Plastic) في كل من المنطقة المشدودة والمنطقة المضغوطة كما هو موضح في الشكل (5-9)، حيث يعتبر التسليح نحيلاً نسبياً ويفترض أن يكون قادراً على نقل الحمولة المحورية فقط، لذلك تعتبر علاقة (الاجهاد المحوري - الانفعال) كافية للاستخدام العام، حيث يعرف سلوك القضبان باستخدام خاصية (Bilinear Isotropic) مما يتطلب تحديد إجهاد الخضوع لهذه القضبان، مع تحديد معامل قساوتها والذي يجب أن تكون قيمته أكبر من الصفر وأصغر من قيمة معامل المرونة الخاص بمادتها [20].

ويوضح الجدول (5-5) تعريف سلوك مادة فولاذ التسليح المستخدم في الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ANSYS.



الشكل (5-9) منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح المستخدم في مرحلة الضغط والشد

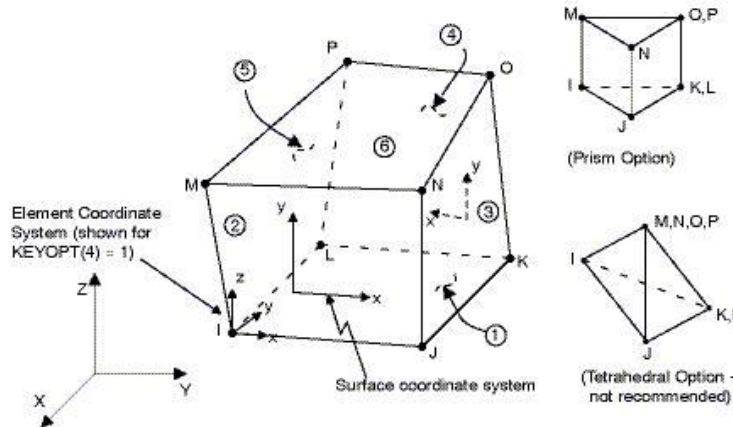
الجدول (5-5) توصيف سلوك مادة العنصر (Beam188) باستخدام برنامج ANSYS

قطر قضيب التسليح - الصفحة المستخدمة	Material Model Number	Element Type	Material properties	
8	2	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص - خطية	
			EX	$2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic - موحدة الخواص - ثنائية الخطية	
			Yield Stss	$5.023 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$
			Tang Mod	0
6	3	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص - خطية	
			EX	$2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic - موحدة الخواص - ثنائية الخطية	
			Yield Stss	$4.333 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$
			Tang Mod	0
صفحة التدعيم 3*20	5	Beam188	Linear Isotropic - موحدة الخواص - خطية	
			EX	$2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
			PRXY	0.3
			Bilinear Isotropic - موحدة الخواص - ثنائية الخطية	
			Yield Stress	$3.80 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$
			Tang Mod	0

5-2-1-3- نموذج الصفائح المعدنية عند الاستناد والتحميل:

5-2-1-3-1- نوع العنصر المحدود المستخدم لنمذجة الصفائح المعدنية:

تم استخدام العنصر (Solid45) الموضح بالشكل (5-10) لنمذجة الصفائح المعدنية المستخدمة في منطقة الاستناد ومنطقة تطبيق الحمولة تحت القوة المركزة على العمود لتوزيع الإجهادات ومنع الانهيار الموضعي للبيتون نتيجة تركيز الحمولة، ويتألف العنصر من ثمانية عقد بثلاثة درجات حرية عند كل عقدة وهي انتقالات في الاتجاهات (Z,Y,X) [20].



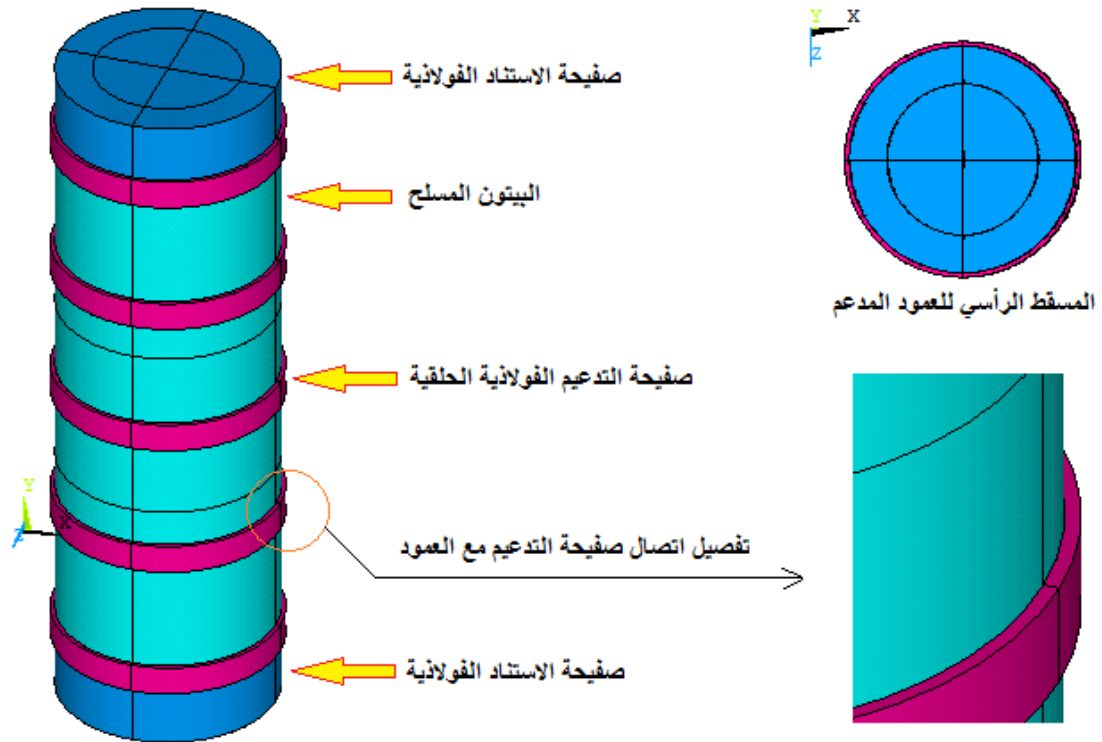
الشكل (5-10) العنصر المحدود (Solid45) المستخدم لنمذجة الصفائح الفولاذية [25] يوضح الجدول التالي خصائص مادة العنصر (Solid45) المستخدم في الدراسة التحليلية باستخدام برنامج Ansys.

الجدول (5-6) خصائص مادة العنصر (Solid45) المستخدم في الدراسة التحليلية

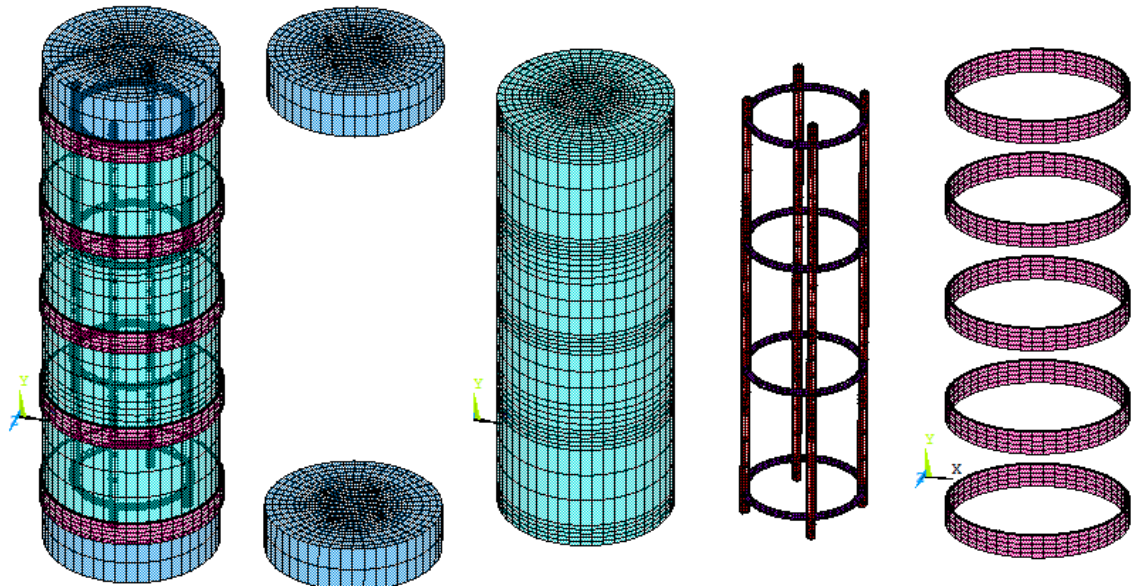
Material Model Number	Element Type	Material properties	
4	Solid45	Linear Isotropic	
		EX	$2.1 \times 10^7 \text{ N/mm}^2$
		PRXY	0.3

5-2-2- النمذجة الهندسية (Modeling Geometry):

تم نمذجة العمود الدائري البيتوني المسلح المدعم بخمس صفائح عرضية كاملاً، ويوضح الشكل (5-11) النموذج الحجمي للعناصر المكونة للعمود الدائري المدعم ضمن برنامج ANSYS، ويوضح الشكل (5-12) النموذج الهندسي للعمود الدائري المسلح المدعم بخمس صفائح فولاذية حلقة ضمن برنامج ANSYS.



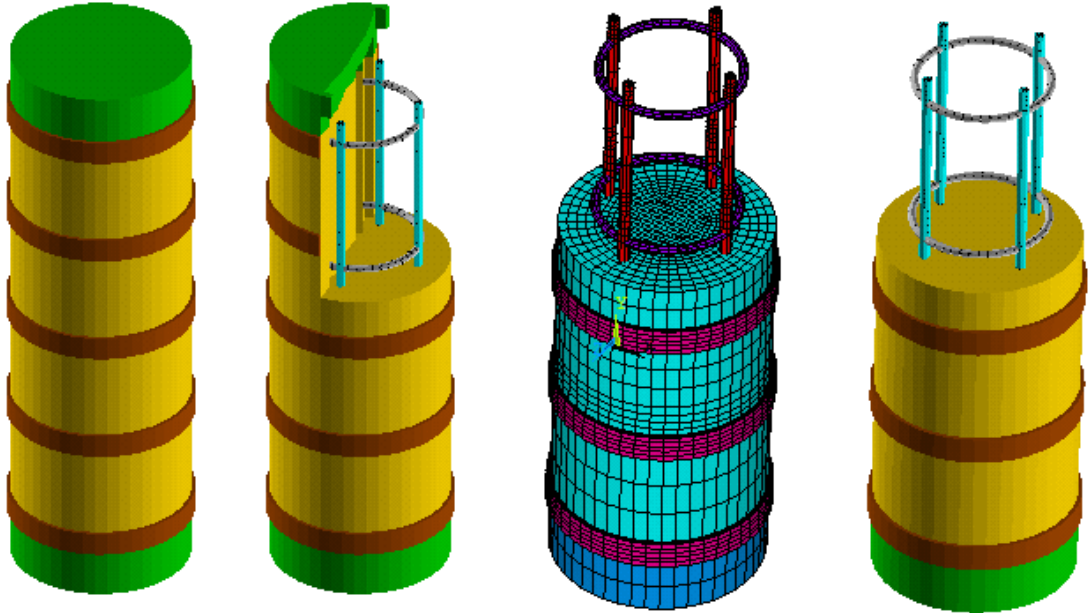
الشكل (11-5) النمذجة الحجمية للعمود البيتوني المسلح والمدعم بخمس صفائح عرضية ببرنامج ANSYS



الشكل (12-5) النموذج الهندسي للعمود البيتوني المسلح المدعم بخمس صفائح عرضية ومكوناته ببرنامج ANSYS

يبين الشكل (5-13) النموذج الفراغي لكامل للعمود الدائري البيتوني المسلح المدعم بخمس صفائح عرضية وتوضع كل من صفائح الاستناد وصفائح التقوية وفولاذ التسليح .

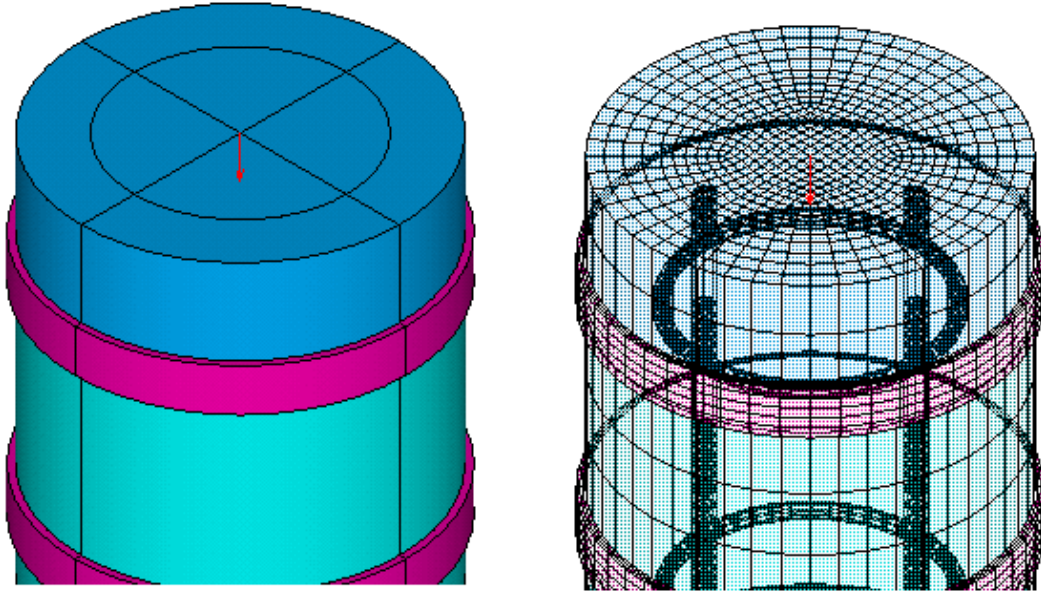
ANSYS



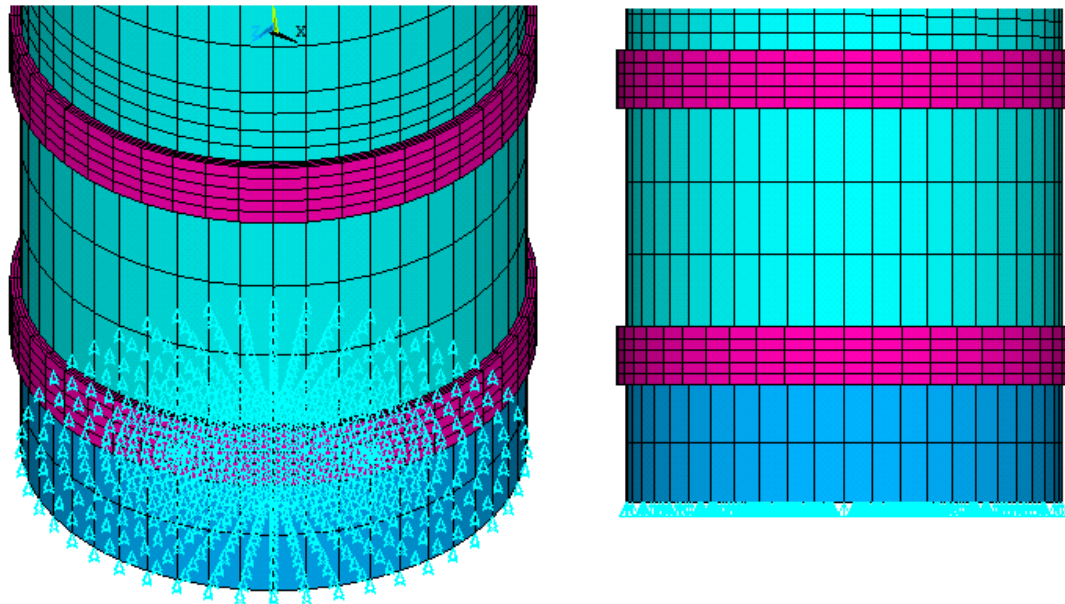
الشكل (5-13) النموذج الفراغي لقضبان التسليح وصفائح الاستناد وصفائح التدعيم للعمود المدعم ضمن ANSYS

5-2-3- الشروط الطرفية وتطبيق الحمولة:

من أجل تطبيق الحمولة الخارجية باعتبارها مركزة في منتصف الصفيحة الفولاذية قمنا بتقسيم صفيحة الاستناد الدائرية العلوية والسفلية مع عقدة مركزية وبحيث نحصل على عقد متوافقة مع بقية مكونات العمود المدعم كما هو موضح في الشكل (5-14)، ومن أجل تطبيق الشروط الطرفية عند المساند فقد تم تقييد الانتقالات وفق المحاور X، Y، Z للعقد في صفيحة الاستناد كما هو موضح في الشكل (5-15).



الشكل (5- 14) النموذج الحاسوبي للحمولات المطبقة على العمود باستخدام ANSYS



الشكل (5- 15) تطبيق شروط الاستناد باستخدام ANSYS

5-3- النتائج المستخلصة من تحليل نموذج العمود المدعم بطريقة العناصر المحدودة:

سيتم دراسة مايلي ومقارنته مع النتائج التجريبية:

- شكل الانهيار للعمود المدعم.
- قيم حمولة الانهيار
- قيم الانتقال الشاقولي الأعظمي عند حمولة الانهيار.

5-3-1- مقارنة شكل الانهيار للنموذج العددي مع العينات التجريبية:

أظهر النموذج العددي سلوك الأعمدة المجربة مخبرياً عند الانهيار، وذلك من خلال تمدد وانتفاخ البيتون في المنطقة المحصورة بين صفائح التدعيم الفولاذية الجانبية كما هو موضح في الشكل (5-16) والذي يبين مقارنة شكل الانهيار للنموذج العددي باستخدام برنامج ANSYS مع الأعمدة المماثلة المجربة مخبرياً.

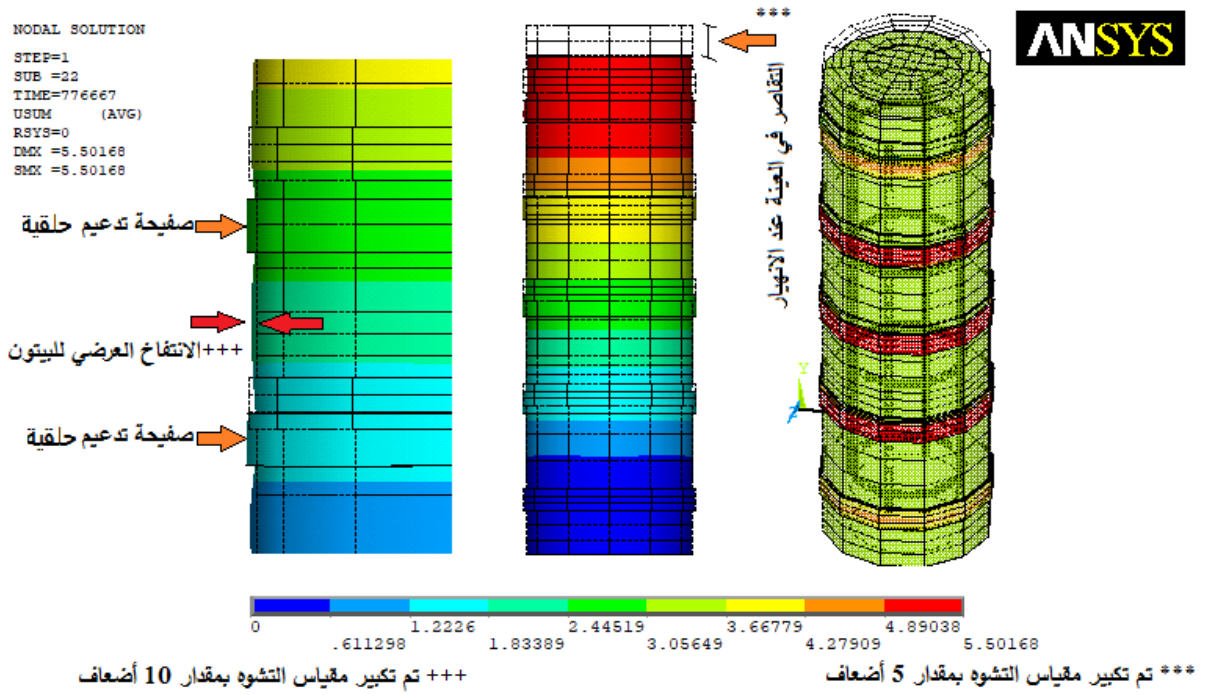


الشكل (5-16) مقارنة شكل الانهيار للنموذج العددي باستخدام برنامج ANSYS مع شكل الانهيار للأعمدة المماثلة المجربة مخبرياً

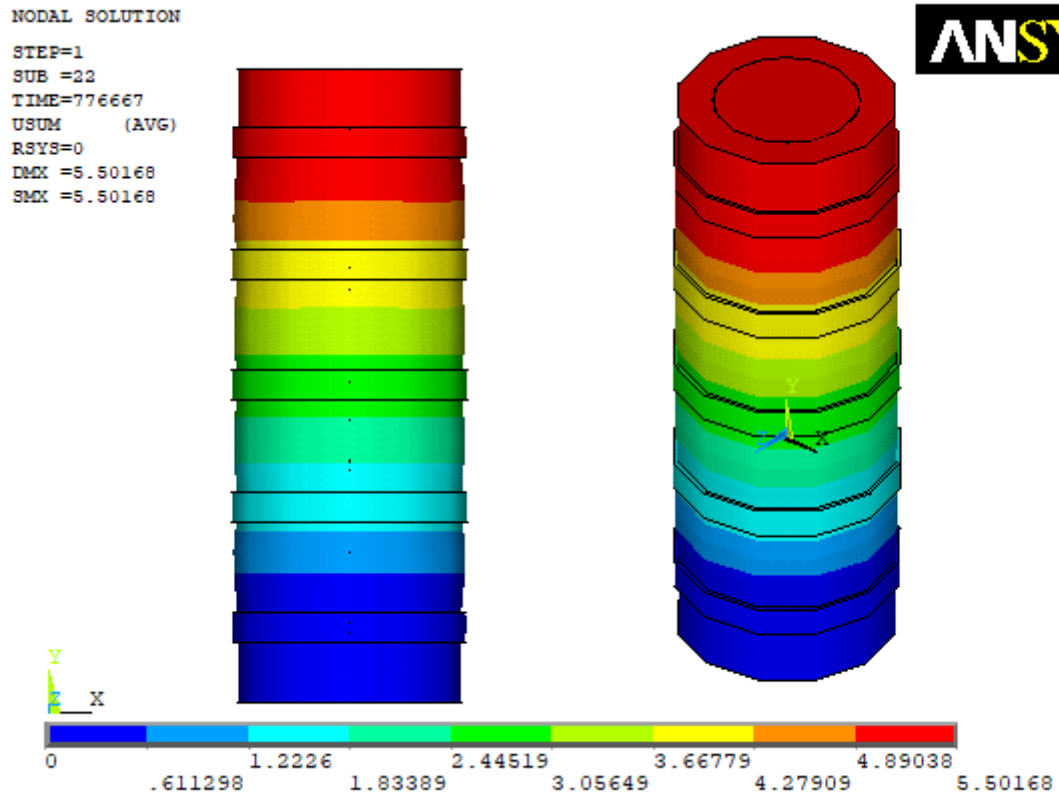
5-3-2- مقارنة حمولة الانهيار والانتقال المحوري الأعظمي للنموذج العددي مع وسطي الأعمدة المماثلة المجربة مخبرياً:

يبين الشكلان (5-17) و (5-18) شكل التشوه و قيم الانتقال الشاقولي عند حمولة الانهيار لعقد النموذج العددي للعمود المدعم بخمس صفائح فولاذية عرضية والمنفذ بالنوع الثاني للبيتون باستخدام برنامج ANSYS ، ويبين الجدول (5-7) نتائج مقارنة الانتقال الأعظمي و حمولة الانهيار للنموذج العددي باستخدام برنامج ANSYS مع وسطي نتائج الأعمدة المماثلة المجربة مخبرياً.

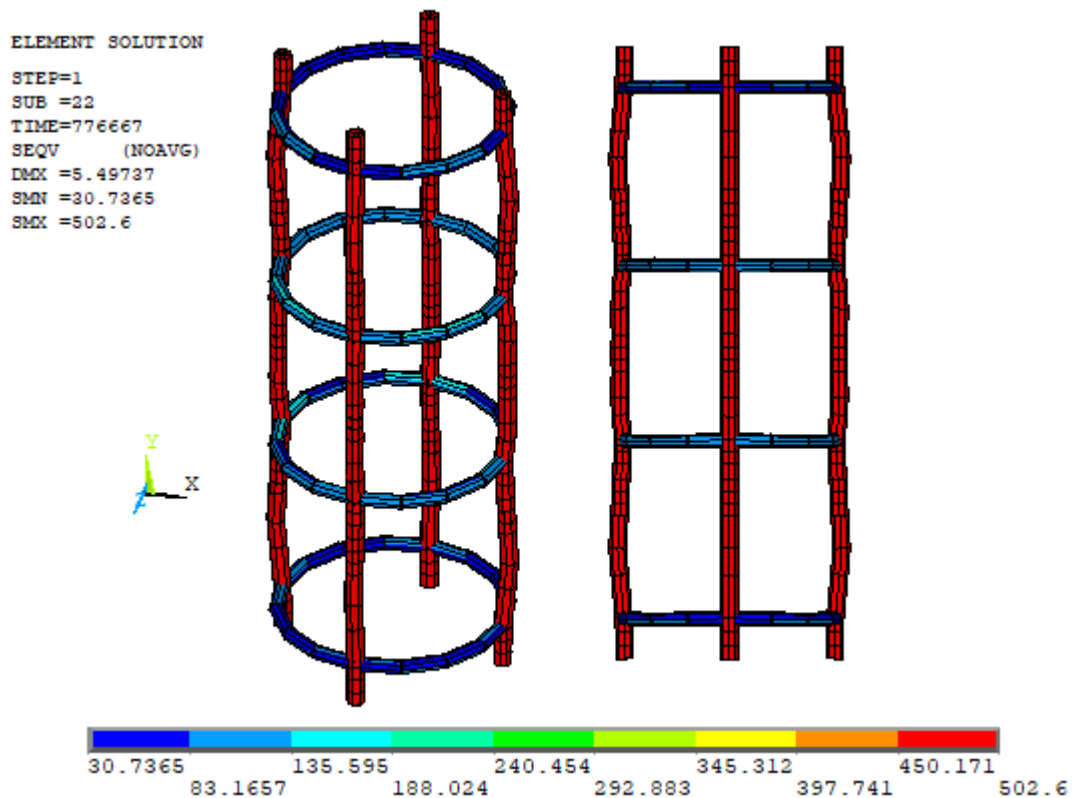
كما يبين الشكل (5-19) شكل التشوه وقيم الاجهادات في قضبان التسليح الفولاذية الطولية والعرضية للعمود المدعم بخمس صفائح عرضية وفق ANSYS.



الشكل (5-17) شكل الانهيار للنموذج العددي باستخدام برنامج ANSYS



الشكل (5-18) الانتقال الشاقولي لعقد النموذج الحاسوبي للعمود المدعم وفق ANSYS

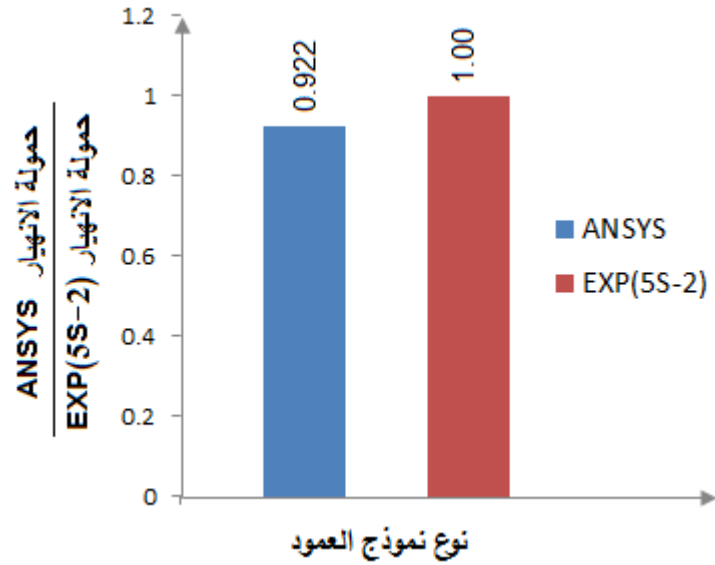


الشكل (19-5) شكل التشوه وقيم الاجهادات في قضبان التسليح للنموذج الحاسوبي للعمود المدعم وفق ANSYS

الجدول (7-5) مقارنة بين النتائج الوسطية التجريبية و النمذجة العددية لأعمدة المجموعة (5S-2)

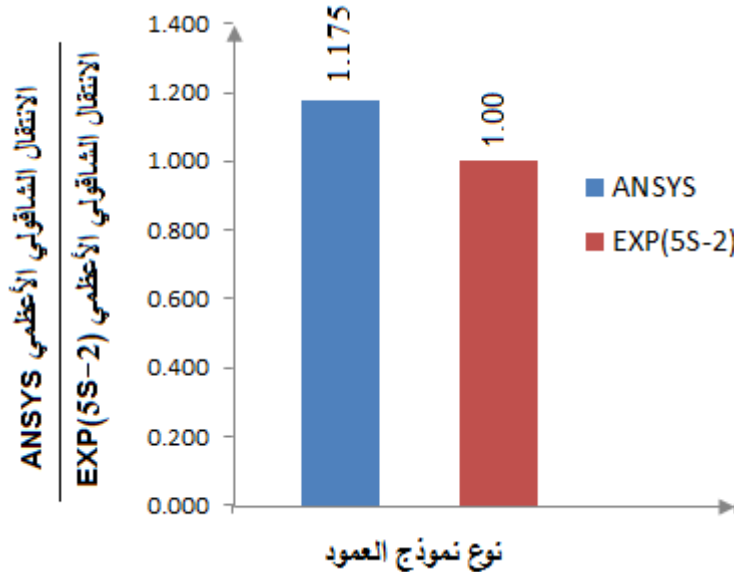
العمود المرجعي	وسطي الأعمدة التجريبية	ANSYS	النتائج العددية / النتائج التجريبية
حمولة الانهيار (KN)	842.00	776.67	0.922
الانفعال المحوري الأعظمي (mm)	4.16	4.89	1.175

تم تمثيل النتائج في الجدول (19-5) بيانياً كما هو مبين في الشكلين (20-5)، (21-5) .



الشكل (20-5) مقارنة نسبة حمولة الانهيار العددية الى وسطي التجريبية لمجموعة الأعمدة (5S-2)

من النتائج في الجدول (7-5) والموضحة في الشكل (20-5) نستنتج انخفاض حمولة الانهيار لنموذج العمود المدعم باستخدام برنامج ANSYS بمقدار (7.8%) مقارنة مع وسطي حمولة الانهيار التجريبية لمجموعة الأعمدة (5S-2) والتي تتضمن استخدام (5 صفائح حلقيه فقط).



الشكل (21-5) مقارنة الانتقال الشاقولي الأعظمي العددي الى وسطي التجريبي لمجموعة الأعمدة (5S-2)

من النتائج في الجدول (7-5) والموضحة في الشكل (21-5) نستنتج ازدياد الانتقال الشاقولي المحوري الأعظمي لنموذج العمود المدعم باستخدام برنامج ANSYS بمقدار (17.5 %) مقارنة مع وسطي الانتقال الشاقولي المحوري الأعظمي التجريبي لمجموعة الأعمدة (5S-2) والتي تتضمن استخدام (5 صفائح حلقيه فقط).

5-3-4- النتائج المستخلصة من تحليل النموذج الحاسوبي للعمود المدعم بطريقة العناصر المحدودة:

من المخططات والجدول السابقة نستنتج ما يلي:

- (1) التوافق الجيد بين النتائج العددية والتجريبية لحمولة الانهيار وشكل الانهيار، و يمكننا اعتبار النموذج التحليلي قادراً على توقع حمولة الانهيار التجريبية للأعمدة المدعمة (5S-2) بدرجة جيدة وكافية من الدقة.
- (2) أعطى النموذج العددي للأعمدة المدعمة انتقالات شاقولية أكبر من الأعمدة التجريبية عند الانهيار.
- (3) التحليل العددي باستخدام برنامج ANSYS أعطى درجة جيدة من التوافق مع النتائج التجريبية ويمكن تبرير الاختلاف بين نتائج الطريقتين بمجموعة من العوامل المتعلقة بشكل رئيسي بنمذجة السلوك الإنشائي للمواد الداخلة في تركيب العمود و المعتمدة في النمذجة.

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

6-1- النتائج :

يمكننا من خلال الدراسة التجريبية و النظرية و التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة للأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة المدعمة بالصفائح الفولاذية أن نجمل النتائج التي حصلنا عليها كما يلي:

1- أظهرت نتائج الدراسة التجريبية أن تدعيم الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة باستخدام الهيكل الفولاذي وفق النماذج المختلفة يؤدي الى زيادة قدرة التحمل القصوى للأعمدة المدعمة بنسبة تصل الى % (19-78) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وبنسبة تصل الى % (21-69) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) كما يزيد من الانتقالات الشاقولية مما يدل على زيادة مطاوعة الأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة المرجعية بنسبة تصل الى % (24-70) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وبنسبة تصل الى % (6-41) للبيتون ذو المقاومة $f'_{cm2} = 36.8MPa$.

2- يعتبر نموذج التدعيم (4L-5S) المتضمن استخدام (4 صفائح طولية + 5 صفائح حلقيّة) أفضل نموذج تدعيم حيث تزداد قدرة التحمل القصوى بنسبة % (78) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وبنسبة % (69) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) ، بينما يعتبر (3S) المتضمن استخدام (3 صفائح حلقيّة فقط) أقل نماذج التدعيم فعالية حيث تزداد قدرة التحمل القصوى بنسبة % (19) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) وبنسبة % (21) للبيتون ذو المقاومة ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) .

3- أظهرت نتائج الدراسة التجريبية والدراسة النظرية أن فاعلية التدعيم للأعمدة وفق النماذج المختلفة تنخفض مع ازدياد المقاومة الأسطوانية الوسطية للبيتون المستخدم في تنفيذ الأعمدة .

4- أظهرت نتائج الدراسة التجريبية إمكانية استخدام كلا من مادتي (POLYCRETE-FBR) ومالينات البوليستر لتأمين العمل المشترك بين الصفائح الفولاذية المكونة للهيكل الفولاذي و سطح العمود البيتوني حيث تملكان ذات الفعالية والثبات حتى الانهيار .

5- أعطت العلاقات النظرية قيماً متوافقة مع النتائج التجريبية لحمولة الانهيار وتراوحت نسبة الاختلاف بين الطريقتين من % (1-11) للأعمدة المنفذة من النوع الأول للبيتون ($f'_{cm1} = 25.3MPa$) ، ومن % (2.8-7.3) بالنسبة للأعمدة المنفذة من النوع الثاني للبيتون ($f'_{cm2} = 36.8MPa$) .

6- نلاحظ توافقاً جيداً بين نتائج الدراسة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة مع النتائج التجريبية بشكل عام، مما يؤكد صلاحية النموذج الهندسي المعتمد في الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ANSYS.

6-2- المقترحات المستقبلية:

يمكن إجمال المقترحات المستقبلية بما يلي:

- 1- دراسة سماكات وأبعاد مختلفة للصفائح الفولاذية أخرى غير التي وردت في البحث .
- 2- إجراء الدراسة باستخدام مقاومات مختلفة للبيتون عما ورد في هذا البحث.
- 3- دراسة تأثير تغير تباعدات صفائح التدعيم غير ماورد في البحث.
- 4- دراسة تأثير طرق اللحام أخرى (اللحام التراكبي).

المراجع العلمية

المراجع العربية:

[1]- رسالة ماجستير في الهندسة الإنشائية " تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام الشبكات المعدنية الملحومة المتوافرة محلياً" (2014).م. يامن علي ,إشراف دم عبد الحميد كيخيا , جامعة دمشق , كلية الهندسة المدنية, قسم الهندسة الإنشائية - دمشق, 2014 .

[2]- مقالة " تدعيم المنشآت الخرسانية باستخدام الضغط الخارجي للعناصر الإنشائية" (2000). دم التهامي أبو زيد التهامي, دم محمد خالد الهادي سويلم , كلية الهندسة - جامعة الزقازيق - جمهورية مصر العربية

[3] الملحق (4) للكود العربي السوري لتصميم المنشآت وتنفيذها بالخرسانة المسلحة ، نقابة المهندسين، الطبعة الأولى - دمشق 2016 .

[4] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة ,الطبعة الرابعة المنقحة - دمشق-(2012) .

المراجع الأجنبية:

[5]- Salam Alobaidi ,Thulfiqar Salim Hussein.(2018). " Strengthening of circular concrete columns using metal straps" Road And Transportation Department College Engineering , University Of Al- Diwaniyah ,Iraq, July2018.

[6]- Ahmed El-Badawy Sayed .(2009). " Retrofitting And Strengthening Of Reinforced Concrete Columns Using Steel Jackets; Mechanical Performance And Applications " Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 37, No. 3, pp. 563 -580, May 2009.

[7]- Khamail Abdul-Mahdi Mosheer .(2009). " Strengthening And Rehabilitation Of Reinforcement Concrete Square Columns Confined With External Steel Collars " Kufa Journal of Engineering Vol. 7, No. 1, January, 2016, P.P.129-142 ,Received 8 September 2015, accepted 26 January 2016.

- [8]- Halil Sezen, M.Asce, Eric A. Miller.(2011)."Experimental Evaluation of Axial Behavior of Strengthened Circular Reinforced-Concrete Columns" JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING © ASCE / MARCH/APRIL 2011 / 239.
- [9]- Shamsai, M. (2006). "Prefabricated cage system for reinforcing concrete members." Ph.D. dissertation, Ohio State Univ., Columbus,OH.
- [10]- Shamsai, M., Whitlatch, E., and Sezen, H. (2007). "Economic evaluation of reinforced concrete structures with columns reinforced with prefabricated cage system." J. Constr. Eng. Manage., 133(11),864–870.
- [11]- Sezen, H., and Shamsai, M. (2008). "High-strength concrete columns reinforced with prefabricated cage system" J. Struct. Eng., 134(5),750–757.
- [12]- Data Sheet Of " Polymer modified high strength cementations repair mortar - Henkel Polybit Industries Ltd- Umm Al Quwain, UAE .
- [13]- ASTM, (2002), ASTM E8.
- [14]- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.(1988)" Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", Journal of Structural Engineering ,Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826, August 1988.
- [15]-Shafqat A & Ali A.(2012)."Lateral Confinement Of Rc Short Column",Sci.Int.(Lahore), 24(4),371-379 ,2012 ISSN 1013-5316,CODEN: SINTE 8
- [16] -Technical Data Sheet Of "MASTICE 2000" Mastic For Marble & Stone-BELLINZONI Company –VIA DON GNOCCHI 4 20016 PERO (MI)-ITALY.
- [17]- Prof. M. Mahdy.(2016)."Experimental Investigation for Circular Concrete Columns confined by FRP and Conventional Lateral Steel",International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 5, Issue 10, April 2016, ISSN: 2277-3754 ISO 9001:2008 Certified.
- [18]- A.J.Wolanski, (2004), "Flexural behavior of reinforced and prestressed concrete beams using finite element analysis". Master thesis, Marquette University, Wisconsin, USA.
- [19]- SAS (2008). ANSYS 12 ,"Finite Element Analysis System", SAS IP, Inc, USA.
- [20]- ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 5.5, ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, 1998.
- [21]- Bangash, M. Y. H., "Concrete and Concrete Structures: Numerical Modeling and Applications", Elsevier Science Publishers Ltd., London, England, 1989.

[22]-M.H.Ashour, (2015), "Nonlinear Finite Element Analysis of RC Beams Strengthened with SFRC overlays" A thesis in Civil Engineering Design and Rehabilitation of Structure, The Islamic University – Gaza.

[23]- Vasudevan,G.; Kothandaraman, S. (2011)."Parametric study on Nonlinear Finite Element Analysis on flexural behaviour of RC beams using ANSYS". International journal of civil and structural engineering. Vol. 2, № 1, pp. 98-111.

[24]- Hemmaty, Y., DeRoeck, G., and Vandewalle, L., "Parametric Study of RC Corner Joints Subjected to Positive Bending Moment by Nonlinear FE Model", Proceedings of the ANSYS Conference, Vol. 2, Pittsburgh, Pennsylvania, June 1992.

[25]- D. Kachlakev, , T. Miller, and S. Yim, (2001). "Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened with FRP Laminates", Civil and Environmental Engineering Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA93407 and Oregon Department of Transportation, Final Report, SPR 316.

Abstract

Engineering buildings and their structural elements, such as columns, are exposed to many damages due to many factors, which greatly affects the resistance of these structural elements, consequently, the need to strengthen and rehabilitation it to prevent its failure, One of the creative techniques that must be developed in order to strengthen the damaged concrete columns is confinement with steel structure.

This research includes an experimental, theoretical and analytical study of reinforced concrete columns subject to axial load, the columns were of a circular cross section with a diameter (15cm) and a height (40 cm).

The experimental study included preparing and testing twelve groups of columns, each of them includes three similarly reinforced circular concrete columns, six groups were executed using a compressive strength of concrete 25.3MPa, while the remaining six groups were executed using a concrete having compressive strength of concrete 36.8MPa to study the effect of this on the behavior of the confined circular columns, two of these groups were considered reference ,using the rest of the groups the experimentally effect of changing the bonding pattern between steel plates and concrete surfaces using two types of material was studied (POLYCRETE–FBR, POLYESTER RESIN) this is to determine the best technology in terms of ensuring full joint work between the strengthen plates and the confining column, the effect of the change in the compressive strength of concrete of the column was also studied, the effect of the shape of the confinement model was studied (only three ring plates, only five ring confined by using only five steel sheets and compared their results with experimental plates, three ring plates with four verticals, five ring plates with four verticals, two ring plates with four verticals) on the model of failure, ultimate load and the maximum axial displacement of the tested columns.

The ANSYS program was used to model reinforced concrete circular columns results. An accurate and reliable analytical model was found.

The results of the experimental, theoretical and analytical study completed in this research showed a good effectiveness of confining the steel structure in strengthening the reinforced concrete circular columns as it increased its durability and ultimate load with the reference column, some conclusions and recommendations were reached.

Syrian Arab Republic
AL–Baath University
Faculty of Civil Engineering
Structural Engineering Department



Behavior of Reinforced Concrete Circular Columns Confined by Steel Structure Under Axil Loading

A Study was prepared to get a Master Degree in Civil Engineering

Prepared
Eng. Ranin Ahmad Aldarf

Supervisor

Dr. Ihssan Tarsha
Professor at Structural
Engineering Depart-
Engineering Faculty of
AlBaath University

Dr. Muneeb Al-alaf
Professor at Structural
Engineering Depart-
Engineering Faculty of
AlBaath University

2020/1441

