



الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

دراسة سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المطوقة بهيكل فولاذي تحت تأثير ضغط لامحوري

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إعداد

المهندس فلاح مبارك

إشراف

الدكتور المهندس علي الجراش

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

الدكتور المهندس إحسان الطرشة

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

شكر وتقدير

Acknowledgments

أتوجه أولاً بالشكر لعمادة كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث وكل العاملين فيها. وأخص بتقديري وامتناني الكبيرين للدكتور المهندس إحسان الطرشة، والدكتور المهندس علي الجراش على الساعات الطويلة التي قضوها معي لإنجاز هذا العمل، وعلى صبرهم ومتابعتهم الحثيثة ونصائحهم الغنية وتشجيعهم المستمر طيلة فترة البحث والتي كان لها الدور الكبير في إنجاح العمل.

وأتوجه بالشكر أيضاً لأعضاء لجنة الحكم الممثلة بالدكتور المهندس وليد ابراهيم على قراءته المتأنية لهذه الأطروحة وملاحظاته الهامة لإغنائها بالمعلومات الوفيرة، والدكتور المهندس سليمان العامودي على توجيهه العلمي وملاحظاته القيمة والذي أعطاني من وقته الكثير وعلمه الوفير.

وأتوجه بالشكر أيضاً بامتناني ومحبي لزملائي وأصدقائي من طلاب الدراسات العليا، وأحتفظ بجل الامتتان لأحلا أصدقاء الذين سطوروا أجمل الذكريات ومساندتهم في الغربة.

أتقدم بخالص محبتي لعائلتي الكريمة وأخص بها والدي ووالدتي على دعواتهم وعطائهم الدائمين، اخواتي لدعائهن وتشجيعهن، وأتقدم وبالعرفان والجميل الكبيرين لإخواني عبدالله، والدكتور أحمد، على دعمهم المعنوي والمادي وصبرهم وتشجيعهم لي لإكمال هذا البحث.

وأتوجه بالمحبة وكل الجميل لموطني الثاني سورية الحبيبة التي قضيتُ فيها أجمل أيام حياتي، تعلمت فيها، وأكلت من خيرها.

وأخيراً أهدي هذا البحث المتواضع لوطني الغالي اليمن السعيد.

الملخص

تعتبر عملية إعادة تأهيل المباني من العمليات المعقدة والمكلفة اقتصادياً ما أدى إلى ظهور العديد من الدراسات التي تبحث في طرق إعادة تأهيل المباني بكفاءة عالية، وبما يحقق الجدوى الاقتصادية. وقد ركزت العديد من الأبحاث الحديثة على تدعيم العناصر الإنشائية ورفع كفاءتها عن طريق تقويتها بوسائل عديدة منها استخدام الهيكل الفولاذي.

يقدم هذا البحث دراسة تحليلية لعدد من نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة ذات المقاطع العرضية المستطيلة، والمربعة غير المدعمة والمدعمة بالهيكل الفولاذي المكون من (زوايا شاقولية، ومبسطات أفقية)، والمعرضة لضغط مركزي ولا مركزي وذلك بهدف معرفة مدى فعالية التدعيم في رفع مقاومة هذه الأعمدة. ويعتبر هذا النوع من التدعيم أفضل من التدعيم بالهيكل الخرساني والتدعيم بالبوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية وغيرها لما يملك من مزايا عديدة وسهولة وسرعة تنفيذه.

وأظهرت الدراسة أن التدعيم بالهيكل الفولاذي أدى إلى رفع المقاومة بنسبة كبيرة، وتبين أنه كلما زادت سماكة الهيكل الفولاذي زادت المقاومة، وأنه كلما زادت نسبة اللامركزية انخفضت المقاومة وكذلك حمولة الانهيار.

الكلمات المفتاحية: الأعمدة الخرسانية المسلحة، التدعيم، الهيكل الفولاذي، ضغط مركزي، ضغط لا مركزي، سماكة الهيكل الفولاذي، فعالية التدعيم، حمولة الانهيار.

Abstract

Many researches focused on developing new methods of strengthening the existing buildings. The new methods should have both feasibility and easy installation together with the economic use. Other researches go forward to strengthen those Structural

This research presents analytical study of a number of Reinforced Concrete Columns models which have rectangular and square cross sections and confined/unconfined by steel Structure of vertical angles and horizontal plates. Columns are subjected to centric and eccentric compression load. The objective is to know how far the bracing is effective in increasing the strength of these columns. This type of strengthening is considered better than the concrete Structure, Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) and other types because it has many features, easy and fast to be constructed.

The study demonstrated that the bracing by steel Structure led to increase the strength in large ratios and had been clear that once the thickness of steel Structure is increased, the strength increases. And once the eccentricity is increased, the strength decreases and also the failure load.

Keywords: Reinforced Concrete Columns – Strengthening – Steel Structure – Centric Compression – Eccentric Compression - Steel Structure Thickness – Strengthening Effectiveness – Failure Load.

الفهرس

I	كلمة شكر
II	الملخص باللغة العربية
III	الملخص باللغة الانكليزية
IV	الفهرس
VII	قائمة الجداول
VIII	قائمة الأشكال والرسومات
XVI	قائمة المختصرات والرموز
XX	قائمة المصطلحات باللغتين العربية والانكليزية
1	1-الفصل الأول: المقدمة
1	1-1 المقدمة
2	2-1 الحالات التي تستدعي التقوية والتأهيل للمباني والمنشآت القائمة
3	3-1 الأسباب الداعية لتقوية وتدعيم الأعمدة
4	4-1 أساليب تقوية وتدعيم الأعمدة
4	1-4-1 التقوية باستعمال قميص خرساني مسلح حول العمود
6	1-1-4-1 مزايا التدعيم باستخدام القميص الخرساني
6	2-1-4-1 عيوب التدعيم باستخدام القميص الخرساني
7	3-1-4-1 تنفيذ التقوية بالقمصان الخرسانية المسلحة
8	2-4-1 تقوية الأعمدة باستعمال صفائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية
10	3-4-1 التقوية بالهياكل الفولاذية
10	1-3-4-1 مزايا التدعيم بالهياكل الفولاذية
13	2-3-4-1 تنفيذ الهيكل الفولاذي
15	3-3-4-1 لمحة نظرية عن تقوية الأعمدة بالهياكل الفولاذية
15	1-3-3-4-1 الحالة الأولى: تصميم الهيكل الفولاذي لتحمل كامل الحمولات الشاقولية للعمود
24	1-3-3-4-1 الحالة (1') عن الحالة الأولى (طريقة بديلة لحساب الإجهادات المسموحة للفولاذ)
26	2-3-3-4-1 الحالة الثانية: تصميم الهيكل الفولاذي لتحمل جزء من الحمولات الشاقولية
26	3-3-3-4-1 الحالة الثالثة: تقوية العمود بهيكل فولاذي لزيادة تحمله من العزم

27	1-4-3-4-4 النموذج النظري لحصر الخرسانة بالهياكل الفولاذية
27	1-4-3-4-4 حساب تأثير الحصر
29	1-4-3-4-2 دراسة لحساب تحمل مقطع الخرسانة من الحمولة الشاقولية
30	1-5 مشكلة البحث
31	1-6 أهداف البحث
32	2-الفصل الثاني: الدراسة المرجعية
32	1-2 المقدمة
32	2-2 الدراسات المرجعية
59	3-الفصل الثالث: معايرة الدراسة التجريبية
59	1-3 المقدمة
59	2-3 توصيف النموذج التجريبي
59	1-2-3 مواصفات المواد المستخدمة في النموذج التجريبي
63	3-3 توصيف النموذج التحليلي
63	1-3-3 أساسيات النمذجة
64	2-3-3 مواصفات المواد المستخدمة في النموذج
64	1-2-3-3 النموذج البنيوي للخرسانة
64	1-1-2-3-3 سلوك الخرسانة في حالة الشد الأحادي المحور
66	2-1-2-3-3 سلوك الخرسانة في حالة الضغط الأحادي المحور
67	3-1-2-3-3 سلوك الخرسانة تحت تأثير الأحمال الدورية
68	2-2-3-3 توصيف مادة الخرسانة في النموذج العددي
71	3-2-3-3 توصيف النموذج البنيوي لفولاذ التسليح والهيك الفولاذي
75	3-3-3 خطوات النمذجة
75	1-3-3-3 تعريف الأجزاء Parts
75	2-3-3-3 تعريف المقاطع وإسناد هذه المقاطع
76	3-3-3-3 تعريف عملية التمشيش للمقاطع (Mesh)
76	4-3-3-3 التجميع (Assembly)
77	5-3-3-3 إضافة Constraints
78	6-3-3-3 تعريف الحمولات وإسناد الشروط المحيطية
78	7-3-3-3 تحليل النموذج
79	4-3-3 مقارنة النتائج
84	4-الفصل الرابع: التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
84	1-4 المقدمة

84	2-4 توصيف النموذج
84	1-2-4 توصيف مادة الخرسانة في النماذج العددية في الدراسة
85	2-2-4 توصيف مادة فولاذ التسليح للنماذج العددية في الدراسة
86	3-2-4 توصيف مادة الهيكل الفولاذي للنماذج العددية في الدراسة
87	3-4 ربط العناصر المحدودة
88	4-4 ملخص الدراسة
88	1-4-4 تصنيف النماذج
91	2-4-4 نتائج الدراسة التحليلية
131	5- الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
131	1-5 النتائج
131	2-5 التوصيات

قائمة الجداول

الصفحة	رقم الجدول وعنوانه
33	الجدول (1-2): تفاصيل عينات الأعمدة المرجعية والمدعمة بالإضافة إلى حمولة الانهيار
38	الجدول (2-2): تفاصيل عينات الأعمدة
43	الجدول (3-2): تفاصيل عينات الأعمدة المختبرة
43	الجدول (4-2): مواصفات المادة الرابطة بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني المسلح
44	الجدول (5-2): الخصائص الميكانيكية للزوايا الشاقولية والمسطات الأفقية وفولاذ التسليح الطولي
46	الجدول (6-2): النتائج النهائية للأعمدة المدعمة وغير المدعمة في المجموعتين الأولى والثانية
49	الجدول (7-2): نتائج اختبار عينات الأعمدة
52	الجدول (8-2): أبعاد هيكل التدعيم ومواصفات التسليح، ونوع التدعيم المستخدم للعينات الثلاث C1، C2، C3.
54	الجدول (9-2): تفاصيل التدعيم لكل عينة
55	الجدول (10-2): حمولات الانهيار لعينات الأعمدة المختبرة
57	الجدول (11-2): حمولات الانهيار والانزياح الشاقولي الحاصل لجميع عينات الأعمدة
60	الجدول (1-3): مواصفات الهيكل الفولاذي والتسليح الطولي والتسليح العرضي
71	الجدول (2-3): معاملات اللدونة التي تم إدخالها للبرنامج
79	الجدول (3-3): مقارنة النتائج بين النموذج التجريبي والتحليلي للعمود غير المدعم
81	الجدول (4-3): مقارنة النتائج بين النموذج التجريبي والتحليلي للعمود المدعم
83	الجدول (5-3): فعالية التدعيم في النموذج التجريبي والنموذج التحليلي
89	الجدول (1-4): أسماء ومواصفات النماذج
91	الجدول (2-4): حمولات الانهيار، فعالية التدعيم، وحمولات الاستثمار للنموذج ذي المقطع العرضي المربع
100	الجدول (3-4): الثوابت a,b,c المستخدمة في المعادلة للنموذج ذي المقطع العرضي المربع
109	الجدول (4-4): حمولات الانهيار، فعالية التدعيم، وحمولات الاستثمار للنموذج ذي المقطع العرضي المستطيل
128	الجدول (5-4): الثوابت a,b,c المستخدمة في المعادلة للنموذج ذي المقطع العرضي المستطيل
128	الجدول (6-4): الثوابت A,B,C,D,E,F,H المستخدمة في المعادلة للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
129	الجدول (7-4): الثوابت A,B,C,D,E,F,H في المعادلة للنموذج ذي المقطع العرضي المستطيل.

قائمة الأشكال والرسومات

الصفحة	رقم الشكل وعنوانه
4	الشكل (1-1): التسليح المستخدم في القميص الخرساني.
5	الشكل (2-1): التقوية باستعمال قمصان خرسانية مسلحة.
5	الشكل (3-1): تقوية رقبة العمود فوق الأساس.
6	الشكل (4-1): شكل تطويق الأعمدة بالقمصان الخرسانية.
8	الشكل (5-1): مبسّطات بوليميرية مسلّحة بالألياف.
9	الشكل (6-1): استعمال المبسّطات البوليميرية المسلّحة بالألياف للتقوية.
12	الشكل (7-1): صورة لأعمدة خرسانية مقوّاة بهياكل فولاذية.
12	الشكل (8-1): شكل توضيحي للهيكل الفولاذي.
13	الشكل (9-1): واجهة شاقولية ومقطعان عرضيان لعمود مقوّى بقميص فولاذي.
15	الشكل (10-1): صورة لتدعيم الأعمدة والشيناجات بالزوايا والمبسّطات الفولاذية.
16	الشكل (11-1): خواص الزاوية الفولاذية.
18	الشكل (12-1): استخدام العلاقة حسب نسبة النخافة λ والعامل C_c .
22	الشكل (13-1): قوى القص وعزوم الانعطاف للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي.
22	الشكل (14-1): المقطع العرضي للعمود المدعم بالهيكل الفولاذي.
27	الشكل (15-1): مقطع عرضي لحصر خرسانة العمود من الخارج.
27	الشكل (16-1): مقطع طولي لحصر خرسانة العمود وتوزيع الإجهادات.
29	الشكل (17-1): نسبة مقاومة الحصر k ، ونسب إجهاد الحصر بالاتجاهين x ، y .
34	الشكل (1-2): عينات الأعمدة المدعمة.
35	الشكل (2-2): حمولة الانهيار للأعمدة المرجعية وللأعمدة المدعمة تحت تأثير نسبة اللامركزية.
35	الشكل (3-2): العلاقة بين نسبة مساحة تغطية الهيكل الفولاذي للعمود إلى مساحة سطح العمود ونسبة الزيادة وقدرة تحمل العمود تحت تأثير نسبة اللامركزية.
36	الشكل (4-2): العلاقة بين نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للعمود والزيادة في قدرة تحمل العمود تحت تأثير نسبة اللامركزية.
37	الشكل (5-2): تفاصيل عينات الأعمدة المختبرة.
39	الشكل (6-2): حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة.
39	الشكل (7-2): حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة.
40	الشكل (8-2): شكل الانهيار للأعمدة المدعمة المزودة بمبسطات ذات توزيع غير منتظم.
40	الشكل (9-2): تأثير أبعاد الزاوية الشاقولية على حمولة انهيار الأعمدة.

- 42 الشكل (10-2): تفاصيل فولاذ التسليح لعينات الأعمدة الخرسانية.
- 43 الشكل (11-2): تفاصيل بعض عينات الأعمدة المدعمة.
- 44 الشكل (12-2) أشكال الانهيار لعينات الأعمدة المدعمة.
- 44 الشكل (13-2) انفصال اللحام بين المبسطات الأفقية والزوايا الشاقولية في بعض عينات الأعمدة المدعمة.
- 45 الشكل (14-2): منحني (الحمولة الشاقولية-الانزياح الشاقولي) في المجموعة الأولى.
- 45 الشكل (15-2): منحني (الحمولة الشاقولية-الانزياح الشاقولي) في المجموعة الثانية.
- 45 الشكل (16-2): نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة في المجموعة الأولى.
- 45 الشكل (17-2): نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة في المجموعة الثانية.
- 46 الشكل (18-2): أبعاد وتفاصيل الأعمدة الخرسانية المسلحة.
- 48 الشكل (19-2): تفاصيل العينات للأعمدة غير المزودة بتاج (A) والمزودة بتاج (B)، الأبعاد ب (mm).
- 48 الشكل (20-2): العينة المختبرة من النوع (B) المزودة بتاج، حيث تدعيمها بعد رفع الحمولة النوع (D).
- 49 الشكل (21-2): منحنيات (الحمولة-الانزياح الشاقولي) لجميع العينات المختبرة.
- 50 الشكل (22-2): الانهيار في العمود المدعم المختبر.
- 50 الشكل (23-2): أبعاد هيكل التدعيم، والمقاطع العرضية لعينات الأعمدة المختبرة (C1)، (C2)، (C3).
- 52 الشكل (24-2): أشكال التشققات الحاصلة في العينات المختبرة (C1)، (C2)، (C3).
- 53 الشكل (25-2): مخطط (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للعينات (C1)، (C2)، (C3).
- 53 الشكل (26-2): أبعاد وأشكال التدعيم للعينات المختبرة.
- 55 الشكل (27-2): أشكال تدعيم العينات بعد صبها وإجراء التدعيم.
- 55 الشكل (28-2): أشكال الانهيار لعينات الأعمدة المختبرة.
- 56 الشكل (29-2): منحنيات (الحمولة-الانزياح) للعينات المختبرة المدعمة وغير المدعمة.
- 57 الشكل (1-3): شكل توضيحي للهيكل الفولاذي وفق النموذج التجريبي.
- 60 الشكل (2-3): بعض خطوات التجربة التي قام بها الباحث وفق الدراسة المرجعية.
- 61 الشكل (3-3): شكل النماذج المدعمة بالهيكل الفولاذي وفق الدراسة المرجعية.
- 62 الشكل (4-3): شكل جهاز الاختبار المذكور في الدراسة المرجعية.
- 62 الشكل (5-3): سلوك الخرسانة في حالة الشد المحوري.
- 65 الشكل (6-3): سلوك الخرسانة في حالة الضغط المحوري.
- 66 الشكل (7-3): سلوك الخرسانة بتغير الحمل لدورة واحدة (شد-ضغط-شد).
- 68 الشكل (8-3): قيم معامل المرونة E، ومعامل بواسون.
- 69 الشكل (9-3): معاملات اللدونة للخرسانة.
- 70

70	الشكل (10-3): سلوك الخرسانة على الضغط.
70	الشكل (11-3): يوضح سلوك الخرسانة على الشد.
	الشكل (12-3): مخططات (الإجهادات-التشوهات) لفولاذ التسليح الطولي والعرضي والهيكل الفولاذي.
73	
74	الشكل (13-3): تعريف مرحلة المرونة في برنامج [ABAQUS.V6-14.3].
75	الشكل (14-3): تعريف مرحلة اللدونة في برنامج [ABAQUS.V6-14.3].
75	الشكل (15-3): تعريف أجزاء النموذج.
76	الشكل (16-3): تعريف مقاطع النموذج وإسنادها
76	الشكل (17-3): تعريف عملية إنشاء شبكة للنموذج (Mesh).
77	الشكل (18-3): عملية التجميع للعناصر (Assembly).
77	الشكل (19-3): الربط الكامل بين سطح العمود والسطح الداخلي للهيكل الفولاذي.
78	الشكل (20-3): تعريف الشروط المحيطة أعلى وأسفل العمود.
78	الشكل (21-3): نافذة خلق العمل للنموذج.
79	الشكل (22-3): التلدن في قمة وقاعدة العمود في النموذج التجريبي.
79	الشكل (23-3): شكل التلدن في قمة وقاعدة العمود في النموذج التحليلي.
79	الشكل (24-3): إجهادات Von Mises كانت أعظمية عند أطراف العمود.
80	الشكل (25-3): شكل تحنيب قضبان التسليح ضمن العمود الخرساني.
80	الشكل (26-3): تحنيب قضبان التسليح ضمن العمود الخرساني التجريبي.
80	الشكل (27-3): تركيز التلدن في حواف العمود العلوية والسفلية.
81	الشكل (28-3): التلدن في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي في النموذج التجريبي.
81	الشكل (29-3): إجهادات Von Mises أعظمية في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي.
82	الشكل (30-3): التلدن ضمن زوايا الهيكل الفولاذي.
82	الشكل (31-3): التلدن ضمن زوايا الهيكل الفولاذي في النموذج التجريبي.
82	الشكل (32-3): مخطط (الانتقال-الحمولة) للنموذج التجريبي والنموذج التحليلي.
85	الشكل (1-4): مخطط (الإجهاد-التشوه) للخرسانة.
85	الشكل (2-4): مخططات (الإجهاد - التشوه) لفولاذ التسليح الطولي والعرضي.
86	الشكل (3-4): فولاذ التسليح الطولي والتسليح العرضي.
86	الشكل (4-4): مخطط (الإجهاد - التشوه) للزوايا الفولاذية والمبسطات الأفقية.
87	الشكل (5-4): الزوايا والمبسطات الأفقية.
87	الشكل (6-4): الربط بين الخرسانة وفولاذ التسليح والربط بين العمود والهيكل الفولاذي.
88	الشكل (7-4): مخطط (الحمولة-الانزياح) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية (e/b=0, 0.45).

93	الشكل (4-8): مخطط (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0$).
93	الشكل (4-9): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.1$).
94	الشكل (4-10): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.25$).
94	الشكل (4-11): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.45$).
94	الشكل (4-12): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.6$).
95	الشكل (4-13): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.667$).
95	الشكل (4-14): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.767$).
95	الشكل (4-15): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=0.9$).
96	الشكل (4-16): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند نسبة لامركزية ($e/b=1.1$).
96	الشكل (4-17): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند السماكة ($t=3\text{ mm}$).
96	الشكل (4-18): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند السماكة ($t=6\text{ mm}$).
97	الشكل (4-19): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذي المقطع العرضي المربع عند السماكة ($t=10\text{ mm}$).
97	الشكل (4-20): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذي المقطع العرضي المربع.
98	الشكل (4-21): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذي المقطع العرضي المربع.
98	الشكل (4-22): مخطط (حمولة الاستثمار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذي المقطع العرضي المربع.
99	الشكل (4-23): مخطط (العزم-حمولة الانهيار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذات المقطع العرضي المربع.

- الشكل (4-24): مخطط (العزم-حمولة الاستثمار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذات المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-25): منحني (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) الناتج من التحليل والمنحني الناتج عن برنامج OriginPro 2018.
- الشكل (4-26): تأثير نسبة زيادة وانخفاض كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة ذات المقطع العرضي المربع على سماكة الهيكل الفولاذي.
- الشكل (4-27): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة الناتجة من حمولة الانهيار، على نسبة اللامركزية للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-28): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة الناتجة من حمولة الاستثمار، على نسبة اللامركزية للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-29): قيمة السماكة الأمثلية لتحمل حمولات الأعمدة المدعمة بسماكتين (6،3)mm للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-30): قيمة السماكة الأمثلية لتحمل حمولات الأعمدة المدعمة بسماكتين (6،10)mm للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-31): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على فعالية التدعيم للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-32): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على حمولات الانهيار للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-33): الاجهادات الضاغطة المحورية S33 (σ_z) في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي للنموذج ذي المقطع العرضي المربع.
- الشكل (4-34): شكل الضرر والاجهادات في فولاذ التسليح بالنسبة للعمود الخرساني المسلح ذي المقطع العرضي المربع غير المدعم والمعرض لضغط مركزي.
- الشكل (4-35): إجهادات Von Mises، شكل التلدن في العمود الخرساني المدعم ذي المقطع العرضي المربع والمعرض لضغط مركزي.
- الشكل (4-36): التلدن في الجزء المضغوط والمشدود للعمود الخرساني المسلح غير المدعم ذي المقطع العرضي المربع والمعرض لضغط لا مركزي.
- الشكل (4-37): الإجهادات S33 في العمود الخرساني المسلح غير المدعم ذي المقطع العرضي المربع والمعرض لضغط لا مركزي.
- الشكل (4-38): إجهادات Von Mises، S33 للعمود الخرساني المسلح المدعم ذي المقطع العرضي المربع والمعرض لضغط لا مركزي.
- الشكل (4-39): إجهادات Von Mises في فولاذ التسليح، والهيكل الفولاذي للعمود الخرساني

- المسلح المدعم ذي المقطع العرضي المربع والمعرض لضغط لا مركزي.
- الشكل (4-40): مخططات (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0)$. 111
- الشكل (4-41): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0.1)$. 112
- الشكل (4-42): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0.25)$. 112
- الشكل (4-43): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0.45)$. 112
- الشكل (4-44): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0.6)$. 113
- الشكل (4-45): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0.75)$. 113
- الشكل (4-46): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=0.867)$. 113
- الشكل (4-47): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=1)$. 114
- الشكل (4-48): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند نسبة لامركزية $(e/b=1.233)$. 114
- الشكل (4-49): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند السماكة $(t=3\text{ mm})$. 115
- الشكل (4-50): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند السماكة $(t=6\text{ mm})$. 115
- الشكل (4-51): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل عند السماكة $(t=10\text{ mm})$. 115
- الشكل (4-52): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذو المقطع العرضي المستطيل. 116
- الشكل (4-53): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذو المقطع العرضي المستطيل. 116
- الشكل (4-54): مخطط (حمولة الاستثمار-نسب اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذو المقطع العرضي المستطيل. 117

- 117 الشكل (4-55): مخطط (العزم-حمولة الانهيار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذو المقطع العرضي المستطيل.
- 118 الشكل (4-56): مخطط (العزم-حمولة الاستثمار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة ذو المقطع العرضي المستطيل.
- 119 الشكل (4-57): منحنى (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) الناتج من التحليل والمنحني الناتج عن برنامج OriginPro 2018.
- 120 الشكل (4-58): تأثير نسبة زيادة وانخفاض كفاءة التدعيم على سماكة الهيكل الفولاذي للنموذج ذو المقطع العرضي المستطيل.
- 120 الشكل (4-59): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة ذات المقطع العرضي المستطيل الناتجة من حمولة الانهيار، على نسبة اللامركزية.
- 121 الشكل (4-60): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة ذات المقطع العرضي المستطيل الناتجة من حمولة الاستثمار، على نسبة اللامركزية.
- 121 الشكل (4-61): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على فعالية التدعيم للنموذج ذات المقطع العرضي المستطيل.
- 122 الشكل (4-62): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على حمولات الانهيار للنموذج ذات المقطع العرضي المستطيل.
- 123 الشكل (4-63): الاجهادات الضاغطة المحورية S33 (σ_z) في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط مركزي.
- 123 الشكل (4-64): شكل الضرر، والتلدن في فولاذ التسليح بالنسبة للعمود الخرساني المسلح غير المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط مركزي.
- 124 الشكل (4-65): إجهادات Von Mises، وشكل التلدن في العمود الخرساني المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط مركزي.
- 124 الشكل (4-66): الإجهادات الضاغطة S33 والتحنيب في الهيكل الفولاذي للعمود المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط مركزي.
- 125 الشكل (4-67): التلدن في الجزء المضغوط والمشدود للعمود الخرساني المسلح غير المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي.
- 125 الشكل (4-68): الإجهادات S33، الانزياح الجانبي U1 للعمود الخرساني المسلح غير المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي.
- 126 الشكل (4-69): إجهادات Von Mises، S33 للعمود الخرساني المسلح المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي.
- 126 الشكل (4-70): إجهادات Von Mises في فولاذ التسليح والهيكل الفولاذي للعمود الخرساني المسلح

- المدعم ذات المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي.
- الشكل (4-71): الانزياح الجانبي U1 للعمود المدعم ذو المقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي.
- 127
- الشكل (4-72): منحنى (فعالية التدعيم-نسبة اللامركزية) للأعمدة المربعة الناتج من التحليل والمنحني الناتج عن برنامج OriginPro 2018.
- 128
- الشكل (4-73): منحنى (فعالية التدعيم-نسبة اللامركزية) للأعمدة المستطيلة الناتج من التحليل والمنحني الناتج عن برنامج OriginPro 2018.
- 129

قائمة المختصرات و الرموز

الرمز أو المختصر	الدلالة
ST-37	نوع الفولاذ المستخدم
AISC	American Institute Of Steel Construction
CDP	Concrete Damaged Plasticity
FEM	Finite element method
FRP	fibers reinforced polymers
f_y	إجهاد الخضوع للفولاذ
A	مساحة مقطع الزاوية
I_{xa}	عزم العطالة حول المحور x
I_{ya}	عزم العطالة حول المحور y
r_{xa}	نصف قطر العطالة حول المحور x
r_{ya}	نصف قطر العطالة حول المحور y
I_{va}	عزم العطالة حول المحور الأصغري
r_{va}	نصف قطر العطالة حول المحور الأصغري
λ	نسبة النحافة Slenderness Ratio
k	عامل التحنيط
L	ارتفاع العمود
L_x	العرض بالاتجاه x
L_y	العرض بالاتجاه y
I_y	عزم العطالة الكلي حول المحور y
r_y	نصف قطر العطالة الكلي حول المحور y
r_x	نصف قطر العطالة الكلي حول المحور x
I_x	عزم العطالة الكلي حول المحور x
N_a	الحمل الاستثنائي المطبق على الزوايا الأربع
N_{ang}	القوة المطبقة على الزاوية الواحدة
f_{sa}	الإجهاد الفعلي على كل زاوية
C_c	عامل لحساب الإجهاد المسموح في الأعمدة الفولاذية
E_s	معامل المرونة للفولاذ
s	التباعد بين محاور المبسطات
f_{a2}	الإجهاد النظري المسموح للزوايا

نصف قطر العطالة حول المحور الضعيف v	r_v
الحمل المسموح الذي تحمله الزوايا لوحدها	N_a
الإجهاد المسموح لفولاذ الأعمدة الخاضعة لقوة محورية	f_{a1}
الحمل الحدي الذي تحمله الزوايا لوحدها	N_{ua}
سماكة المبسطة الأفقية	t_2
المقاومة المميزة للخرسانة	f'_c
القوة الشادة المطبقة على المبسطة الواحدة	N_h
الضغط الناتج من الحصر عند تصميم المبسطة الأفقية	p_h
قوة شادة على المبسطة لمنع تحنيب زوايا الهيكل الفولاذي	N_{hb}
قوة الشد الإجمالية في المبسطة الواحدة	N_{hs}
إجهاد الشد الأعظمي في المبسطات	f_{st}
إجهاد السيلا للهيكل الفولاذي	f_{ys}
مجموع عزوم العطالة لزاويتين حول المحور y الموازي للمحور الرئيسي للعمود y	I_{y2a}
قوى القص التصميمية المؤثرة على المبسطات	H'_{ba}
عزوم الانعطاف المؤثرة على المبسطات	M'_{ba}
العزم عندما تعمل مقاطع الزوايا كمقطع واحد	M_{nv}
عدد المبسطات على كل جانب من الهيكل	N
البعد الحر (الضوء) بين الزاويتين في الاتجاه المدروس	b_{c1}
البعد بين مركزي الثقل في الاتجاه المدروس	b'
القص الأقصى للهيكل الفولاذي	V'_{sc}
القساوة العرضية	K_{sc}
عزم عطالة الزاوية المنفردة	I_{ang}
الإجهاد المسموح المرن	f_e
الإجهاد المسموح للفولاذ	f_{cr}
العزم الأقصى للزاوية الواحدة	M_{ang}
العزم الأقصى للزوايا المتحدة	M_{nv}
العرض الفعال المحصور في الاتجاه القصير x	b_{xe}
البعد الفعال المحصور في الاتجاه الطويل y	b_{ye}
نسبة التسليح الطولي للعمود	p_{s1}
متوسط إجهاد الحصر في الاتجاه x	σ_x
متوسط إجهاد الحصر في الاتجاه y	σ_y
إجهاد الحصر الفعال بالاتجاه y	σ_{ye}

إجهاد الحصر الفعال بالاتجاه x	σ_{xe}
المساحة الكلية للمقطع الخرساني	A_c
المساحة الدنيا المحصورة في المنسوب بين محاور المبسطات	A_e
المساحة غير المحصورة من المقطع	A_{cu}
عامل الحصر الفعال	k_e
تمثل تحمل الجزء غير المحصور من المقطع	N_{u1}
تحمل الجزء المحصور من مقطع العمود	N_{u2}
تحمل فولاذ التسليح الطولي	N_{us}
مساحة التسليح الطولي	A_{sb}
المقاومة المكافئة للمقطع A_c	f'_{ceq}
معامل بواسون	μ
إجهاد الانهيار على الشد الموافق لتشكل أول شق	σ_{to}
معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة	E_o
تشوه التشققات على الشد	ε_t^{ck}
التشوه المرن	ε_{ot}^{el}
الإجهادات الشاده الموافقة لكل تشوه	σ_t
معامل الضرر الناتج من الشد	d_t
تشوهات لدنة على الشد في المادة	ε_t^{pl}
الإجهاد الحدي على الضغط	σ_{cu}
تشوه التشقق على الضغط	ε_c^{in}
الإجهادات الضاغطة	σ_c
التشوهات الدنة على الضغط في المادة	ε_c^{pl}
معامل الضرر الناتج من الضغط	d_c
معامل استعادة القساوة على الضغط	w_c
معامل استعادة القساوة على الشد	w_t
قيمة زاوية التمدد للخرسانة	ψ
نسبة الضغط الثنائي المحاور إلى الضغط الأحادي المحور	f_{bo}/f_{co}
نسبة اللامركزية	e/b
اللامركزية	e
عمود ذو مقطع عرضي مربع	Sq
عمود ذو مقطع عرضي مستطيل	Rec
سماكة الهيكل الفولاذي	t

حمولة الانهيار	P_u
فعالية التدعيم	ρ
حمولة الاستثمار	P_c

قائمة المصطلحات باللغتين العربية والانكليزية

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الانكليزية
تدعيم، تقوية	strengthening
أعمدة	columns
خرسانة	concrete
قميص خرساني	concrete jacket
قضبان التسليح	Rebar Reinforcement
البوليمرات	polymers
الكربون	carbon
مادة الأراميد	aramid
هيكل فولاذي	Steel Structure
زاوية	Angle
مبسطات أفقية	Strips
نموذج عددي	numerical model
النموذج التجريبي	Experimental Model
الإجهاد الحدي	Ultimate stress
التشوه الحدي	Ultimate strain
النموذج التحليلي	Analytical Model
أساسيات النمذجة	Fundamentals Modeling
جزء	Part
خصائص	Property
التجميع	Assembly
خطوة	Step
حمولة	Load
استقراء داخلي	interpolation
الرتبة الهندسية	geometric order
الإيزوتروبية	Isotropic
الضغط	Compressive
الشقوق	Cracking
التشوهات اللدنة	Plastic Strain
الشّد	Tension

Material	مادة
Damage	ضرر
Viscosity	اللزوجة
Plastic	اللدونة
Section	مقطع
Analysis	تحليل
Numerical Study	الدراسة العددية

الوحدات المستخدمة

m
kN
MPa

الفصل الأول

طرق تدعيم الأعمدة الخرسانية المسلحة

1-1 المقدمة:

تهدف عمليات تدعيم وتقوية وتأهيل المنشآت والمباني القائمة إلى مقاومة الأحمال المطبقة والتي يمكن أن تطبق عليها (بما فيها أحمال الزلازل)، والحد من خطرهما ، حيث تقوى وتدعم لتجنب الانهيار الشامل أو الجزئي أثناء حدوث الزلازل (أو تعرضها للأحمال الإضافية الجديدة) بما يحفظ الأرواح والممتلكات ويخفف من الأضرار الناتجة في العناصر الإنشائية وعناصر الإكساء والتجهيزات ، وقد يحدث في المنشآت أو المباني المؤهلة زلزالاً تشققات إنشائية أو غير إنشائية نتيجة تعرضها للزلازل وتبقى قابلة للإصلاح والمعالجة بإعادة تأهيلها من جديد لتحقيق السلامة الإنشائية ولتعود قادرة على مقاومة زلازل أخرى.

بعد أن يتم تقييم الوضع الراهن للمبنى، يدرس وضع المبنى تماماً فيما إذا كان يحتاج إلى تقوية أم لا بما في ذلك الاستفادة من تخفيض القوى الزلزالية للمبنى القائم. فإذا ثبتت ضرورة التقوية والتدعيم لتأهيل المبنى، يمكن التمييز بين نوعين من التأهيل لمقاومة الزلازل الأول: يتم فيه التوجه إلى التخفيف من التشققات الناتجة من أثر الزلازل قدر الإمكان وفي هذه الحالة لا تخفض القوى الناتجة عن الزلازل، الثاني: يكون التوجه فيه إلى تأمين عدم انهيار المبنى، وفي هذه الحالة سمح الكود العربي السوري بتخفيض القوى الزلزالية بنسبة تتراوح بين (5%) و(15%) وفقاً للمقاومة المميزة الفعلية لخرسانة المبنى [23].

عموماً يوجد نوعان من التقوية والتأهيل للمباني والمنشآت القائمة ،يتعلق النوع الأول منها بتقوية المبنى أو المنشأة المعرض لخلل، يؤثر على السلامة الإنشائية له (كحالات عدم الانتظام في الجملة الإنشائية ، أو حالة الطرق بين كتلتين متجاورتين الخ)، ويمكن أن نطلق على هذا النوع : " التدعيم العام أو تدعيم المبنى " ويتعلق النوع الثاني بتقوية عناصر محددة من المبنى أو المنشأة ، وإعادة تأهيلها نتيجة عدم قدرتها على مقاومة القوى المتوقعة أن تتعرض لها خلال عمرها التصميمي (بما فيها قوى الزلازل)، ويمكن أن ندعو هذا النوع بـ"التدعيم الموضعي أو تدعيم العناصر " .

ويلزم التنبيه إلى أن التدعيم العام لا يعني تدعيم جميع العناصر الإنشائية للمبنى أو المنشأة (لأنه في هذه الحالة يكون الهدم وإعادة البناء أقل كلفة) وإنما يعني التدعيم لضمان الأمان للمبنى ككل ومنع انهياره الكامل [23].

1-2 الحالات التي تستدعي التقوية والتأهيل للمباني والمنشآت القائمة أو عناصر منها:

Cases that need strengthening and retrofitting for existing buildings and structures or elements of them:

هناك عدد من الحالات المحددة التي يمكن أن يستدعي وجود واحدة أو أكثر منها تنفيذ تقوية لعنصر واحد أو أكثر من المباني والمنشآت القائمة يمكن ذكر بعضها فيما يلي:

1. إذا تبين أن قدرة تحمل العنصر (في حالة حد الاستثمار أو حالة الحد الأقصى) تقل عن الحمل المطبق عليه وهذا ما يحصل عندما يكون هناك سوء تقدير بحساب الحمل أو سوء تنفيذ لأن المقاومة المميزة الفعلية للخرسانة المصبوبة فيه تقل عن المقاومة المميزة التصميمية.
2. إذا تبين أنه قد حصل ضعف في عنصر أو أكثر من عناصر المباني أو المنشآت بعد التنفيذ بسبب ظروف الاستثمار أي حالة تدهور مواد الإنشاء أو تعرض قضبان التسليح للصدأ والتآكل جزئياً أو كلياً.
3. الرغبة بتغيير وظيفة المبنى أو المنشأة مما سيزيد من الأحمال المطبقة على عنصر أو أكثر بما يؤدي الي زيادة هذه الأحمال عن قدرة التحمل الفعلية.
4. وجود أخطاء تصميمية في عنصر أو أكثر تم الكشف عنها أثناء إعداد دراسة تقييم للمبنى أو المنشأة وغالباً ما تصادف هذه الحالة في المباني والمنشآت المدروسة.
5. وجود أخطاء تنفيذية تم الكشف عنها أثناء إعداد دراسة تقييم للمبنى أو المنشأة.
6. ارتكاب أخطاء في الاستثمار (تغير الوظيفة الاستثمارية أو عدم تنفيذ الصيانة أو غير ذلك)، أدت إلى عيوب إنشائية ظاهرة.
7. تعرض المبنى أو أجزاء منه لأضرار إنشائية نتيجة أي سبب كان بما فيه التخریب أو تعرضها لظروف الحرب أو غير ذلك.
8. حصول تغيرات في الظروف المحيطة بالمبنى أو المنشأة لم تكن متوقعة ولم يتم أخذها بالحسبان خلال مرحلتي التصميم والتنفيذ كتغير منسوب المياه الجوفية في الموقع أو التعرض لمواد كيميائية أو غير ذلك من الأسباب.
9. خلل في الدراسة أدى إلى حصول تشققات أو تصدعات من جراء نقص في أبعاد المقاطع الخرسانية أو مساحات فولاذ التسليح المستعملة.
10. حصول بعض التشققات أو التصدعات في عنصر انشائي ما، بسبب تقلص الخرسانة والتغيرات الحرارية وتبين أنها ليست ناتجة عن ضعف في مقاومة الخرسانة.

11. تعرض عنصر ما أو أكثر في المنشأة إلى الحريق لمدة زمنية محددة مما أدى إلى تلف الغطاء الخرساني وتأثر قضبان التسليح بالحرارة العالية [23].

12. تعرض عنصر ما أو أكثر في المنشأة إلى قوى صدم خارجية من سيارة عابرة أو تأثير زلزال أو ما يماثلها.

1-3 الأسباب الموحية لتقوية وتدعيم الأعمدة:

Causes of columns strengthening:

هناك عدد من الأسباب ومنها:

1. ضعف مقاومة الخرسانة المنفذة وعدم تحقيقها للمقاومة التصميمية.
2. عدم كفاية المقطع المصمم للعمود لتحمل الجهود المطبقة عليه، أي وجود خطأ حسابي ناتج عن خلل في التصميم.
3. حصول هبوطات في التربة تسبب إعادة توزيع القوى المنقولة إلى الأعمدة ومن ثم انهيار عمود واحد أو أكثر.
4. زيادة الأحمال المطبقة على الأعمدة نتيجة أحمال جديدة بسبب تعديل الوظيفة الاستثمارية للمنشأة أو الإضافة غير الملحوظة في التصميم لطابق أو أكثر على البناء ما يؤدي إلى انهيار عمود أو أكثر فيه.
5. نقص كمية فولاذ تسليح العمود عن القيمة المطلوبة حسابياً أو إنشائياً حسب الكود المعتمد.
6. خطأ تصميمي في اختيار الأساور من حيث العدد أو القطر أو التباعد أو الربط مع قضبان التسليح الطولي للعمود مما يؤدي إلى حصول تحنيط في قضيب (أو أكثر) خروجه من العمل، وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض قدرة تحمل العمود.
7. وجود خطأ تنفيذي في تثبيت الأساور في مواضعها حيث يحصل انزياح لها أثناء صب العمود مما يؤدي إلى عدم الربط الكافي لقضيب أو أكثر من قضبان العمود وهذا الخلل يمكن أن يكون من التنفيذ.
8. تنفيذ أساور العمود بشكل غير صحيح حيث لم تزود بالعكفات أو التثبيت اللازمة عند نهايتها.
9. حصول حريق في المنشأة لمدة تتجاوز فيها الحرارة ما يسمح به الكود مما يعرض عموداً أو أكثر لهذا الحريق الذي يؤدي إلى احتراق التغطية الخرسانية وضعفها الشديد، مما يسبب نقصاً في مقطع الخرسانة الفعال، كما يؤدي إلى ضعف في قضبان التسليح نتيجة تأثرها بالحرارة العالية للحريق.
10. تعديل وظيفة المنشأة أو البناء مما يتطلب زيادة مقاومات الأعمدة لتحمل الزيادة الناتجة من أحمال وتأثيرات، إضافة إلى الحالة المهمة المتمثلة بإعادة تأهيل المنشأة [23].

1-4 طرق تقوية وتدعيم الأعمدة:

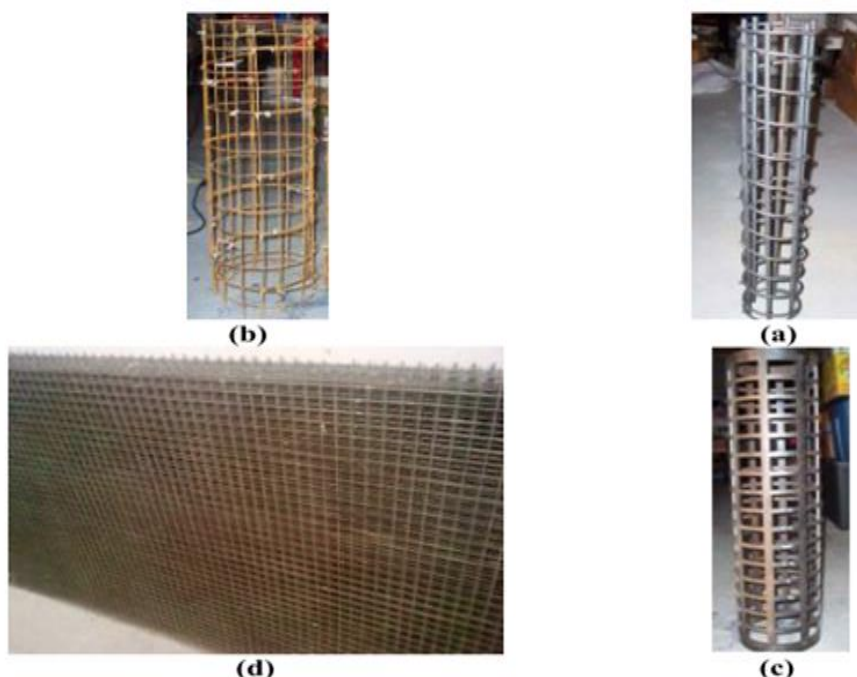
Methods of strengthening of columns:

يمكن استعمال أكثر من مادة لتقوية الأعمدة وتدعيمها تدعيماً دائماً وأهمها: الخرسانة المسلحة، الفولاذ، البوليمرات المسلحة الخ

1-4-1 التقوية باستعمال قميص خرساني مسلح حول العمود:

strengthening by using reinforced concrete jacket around the column:

يحاط العمود بقميص من الخرسانة المسلحة ويربط تسليح القميص الجديد بأسافين يتم زرعها في خرسانة العمود القديم، كما يوضح الشكل (1-1) شكل التطويق أو التسليح المستخدم في القمصان الخرسانية، يجب ألا تقل سماكة القميص الخرساني عن (100 mm) وكحد أدنى (100-150) mm ويفضل عند تنفيذ هذا القميص أن تستعمل الخرسانة المقذوفة وذلك لضمان التنفيذ بشكل صحيح، ولتأمين ذلك تضاف إلى الخرسانة المقذوفة مادة مانعة للنقلص ومواد مساعدة محسنة للدونة. [23]



الشكل (1-1): التسليح المستخدم في القميص الخرساني [26]

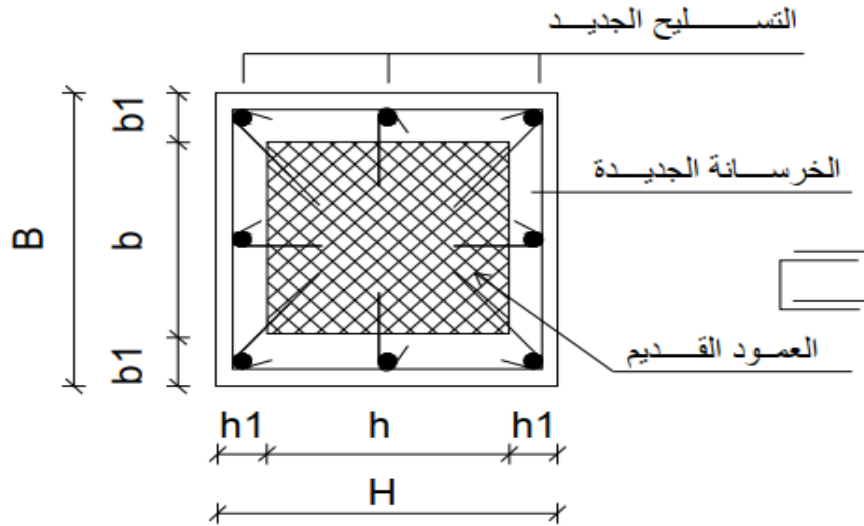
(a) قضبان التسليح Rebar Reinforcement.

(b) الياف الأسلاك الملحومة Welded Wire Fabric (WWF).

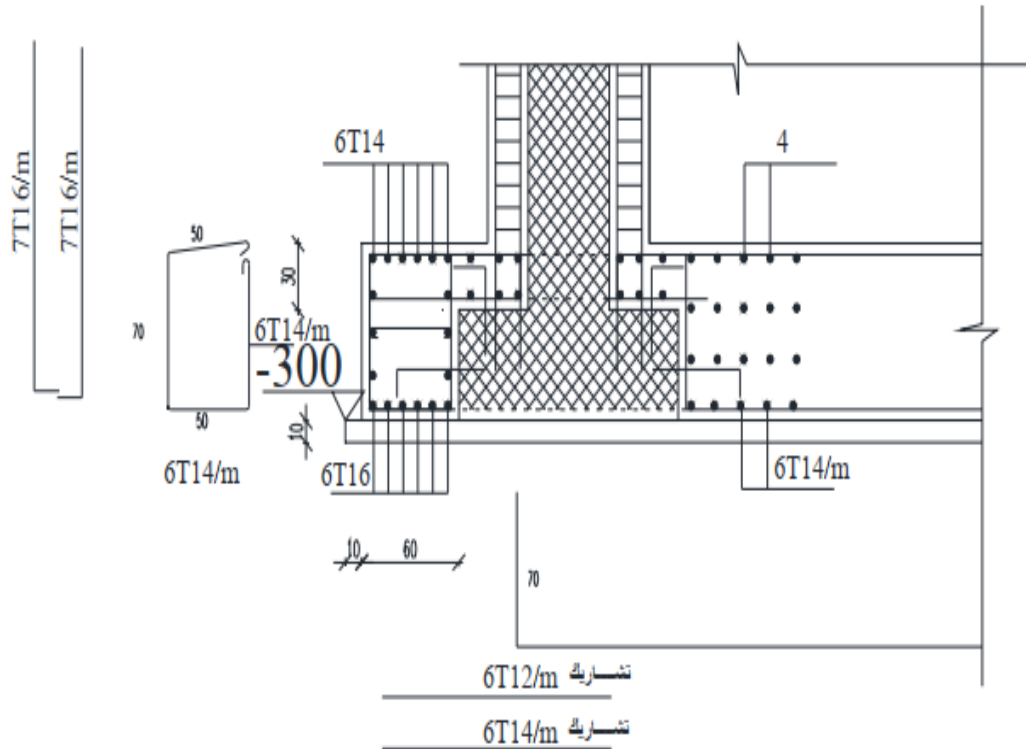
(c) نظام القفص المعدني المصنع مسبقاً Prefabricated Cage System (PCS).

(d) باستعمال طبقة الفيروسمنت المحتوية على شبكة التسليح الملحومة Welded Wire Meshes(WWMs).

وبين الشكل (2-1) والشكل (3-1) كيف يحاط العمود بقميص من الخرسانة المسلحة ويربط تسليح القميص الجديد بأسافين يتم زرعها في خرسانة العمود القديم. (والقيم الموضحة في الشكل (3-1) هي فقط للتمثيل، تتعلق قيمها بنتائج التصميم). [23]



الشكل (2-1): التقوية باستعمال قمصان خرسانية مسلحة. [23]



الشكل (3-1): تقوية رقبة العمود فوق الأساس [23]

والشكل (4-1) يوضح شكل وتدعيم الأعمدة في الموقع باستخدام القميص الخرساني.



الشكل (4-1): شكل تطويق الأعمدة بالقميصان الخرسانية.

1-1-4-1 مزايا التدعيم باستخدام القميص الخرساني:

1. يحقق هذا التدعيم وثوقية شبه تامة في زيادة مقاومة العمود للأحمال الشاقولية، وزيادة مقاومته للعزوم وخاصة عند استمرار الطوق الخرساني ضمن الجوائز وضمن الأعمدة في الطوابق المختلفة، كما أن كلفة هذا التدعيم لا تزيد - غالباً - عن الطرائق الأخرى، بما تحققه من زيادة كبيرة في مقاومة العمود.
2. يمكن للقميص (حسب شكله) أن يؤمن تطويقاً كاملاً لخرسانة العمود، مما يؤدي إلى زيادة مقاومتها على الضغط، أي أن القميص إضافة إلى ما يتحملة من أحمال وعزوم شاقولية فإنه يزيد من تحمل خرسانة العمود للجهود الخارجية [23].

1-1-4-2 عيوب التدعيم باستخدام القميص الخرساني:

نظراً لما يتطلبه هذا التدعيم من مساحة إضافية حول العمود فإن ذلك يمثل عيباً كبيراً في استعمال هذا التدعيم في المواقع التي تعاني من نقص المساحة حول العمود وبالتالي غالباً لا يلجأ له في المباني السكنية حيث تكون مساحة الغرف محدودة وإن أي نقصان في هذه المساحة يسبب أثراً سلبياً كبيراً ضمن شقق البناء كما أن بروز جزء من القميص خارج البناء في الأعمدة الطرفية والركنية وبالتالي يقتصر استعمال هذه الطريقة على تقوية الأعمدة في المستودعات الكبيرة التي لا تتأثر بنقص الفراغ المعماري إضافة إلى إمكانية استعمالها في تقوية أعمدة جسور الطرق والسكك الحديدية . وبشكل عام في تدعيم أية أعمدة يجب ألا يسبب تطويقها بالقميص عيباً معمارياً أو

استثمارياً. كما أن التدعيم بهذه الطريقة يمكن أن يتم في المباني السكنية والمنشآت إذا كانت الأعمدة في الأجزاء المطمورة تحت التربة.

ومن عيوب هذا التدعيم أيضاً أنه يتطلب تنفيذ خرسانة مسلحة جديدة بكل ما يحتاج ذلك من أعمال كوفراج وصب وسقاية وغيرها بحيث يجعل استعماله شبه مستحيل ضمن المباني السكنية أو المكاتب [23].

1-4-3 تنفيذ التقوية بالقمصان الخرسانية المسلحة:

ذكرنا سابقاً أنه تضاف إلى الخرسانة المقذوفة مادة مانعة للتقلص، ومواد مساعدة محسنة للدونة. ويتم تزويد العمود بشبكة من التسليح الشاقولي المربوطة بأساور أفقية حول العمود على أن تربط بأشاور (أو تشاريك dowels) تنفذ في جسم العمود مع حقنها بإسمنت بوليميري أو إيبوكسي لمنع تحنيط القضبان الشاقولية للقميص، توزع القضبان على المحيط مع تأمين التغطية اللازمة حسب الكود، تحسب مساحة القميص الخرساني بما يتوافق مع الحمل الإضافي اللازم لزيادة مقاومة العمود، إذا كانت سماكة القميص الخرساني اللازمة للعمود تزيد على (120mm) فيمكن استعمال الخرسانة المصبوبة في المكان، وتضاف إليها مواد ملدنة، على أن يصب الجزء السفلي من القميص بما لا يزيد عن (300 mm) كمرحلة أولى، ويترك عدة أيام كي يتقلص بشكل كافٍ ثم يصب الجزء العلوي (المتبقي) من خلال ثقوب في البلاطة العلوية على أن تضاف إلى خرسانة الجزء العلوي مادة مانعة لتقلص الخرسانة وذلك لمنع انفصال السطح العلوي للقميص عن الجائز أو بلاطة السقف. ومن أجل هذه القمصان التي تزيد سماكتها على (120 mm) يكمن استعمال شبكتي تسليح وصف واحد أو صفيين من القضبان الشاقولية، بحيث تربط بأساور أفقية، إضافة إلى شناكل أفقية تربط بين صفي القضبان وفقاً لمتطلبات الكود. حيث يمكن الاستغناء في هذه الحالة عن استعمال تشاريك الربط بين الخرسانة القديمة للعمود وبين القميص الخرساني الجديد [23].

ويتم تنفيذ التقوية وفقاً للخطوات الآتية:

1. تخشين سطح الخرسانة القديمة.
2. زرع تشاريك تسليح ضمن الخرسانة القديمة.
3. تنظيف السطوح بضغط هوائي وضغط مائي شديد.
4. تنفيذ تشاريك تسليح تربط بين التسليح القديم والتسليح الجديد.
5. تركيب الفولاذ الجديد لقميص التقوية، مع الانتباه إلى ضرورة تكثيف الأساور أعلى العمود وأسفله.
6. زيادة تماسك الخرسانة القديمة للعمود بالخرسانة الجديدة لقميص التقوية، حيث أنه قبل الصب مباشرة تطلّى سطوح الخرسانة القديمة بمادة بوليميرية SBR مثلاً ويتم الصب مباشرة بعد الطلاء. [23]

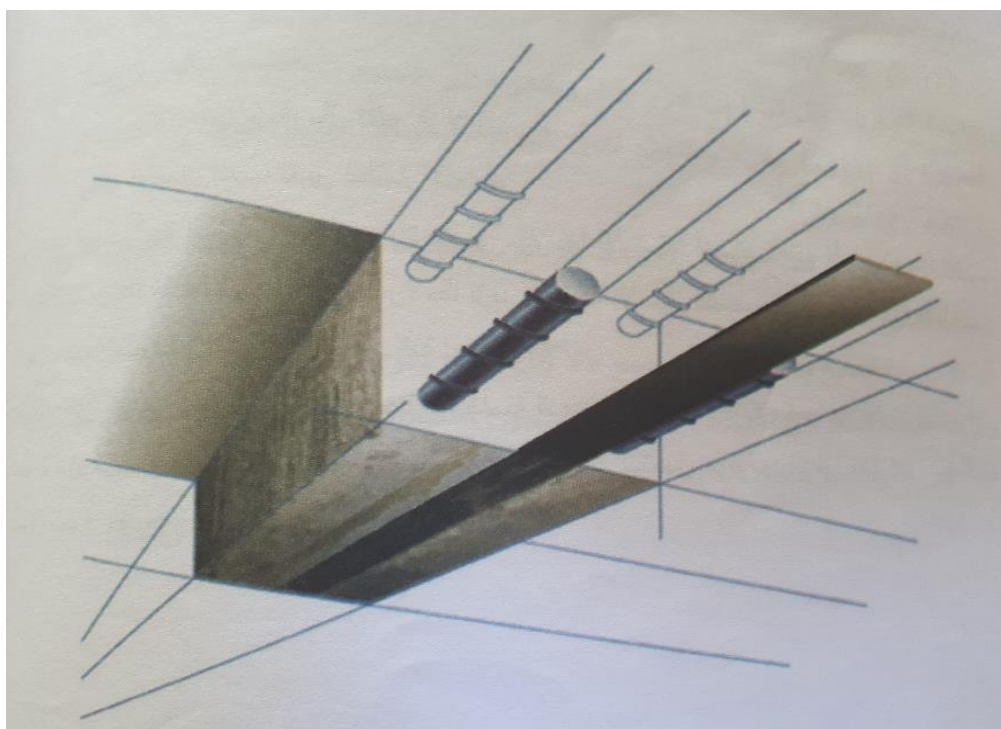
1-4-2 تقوية الأعمدة باستعمال صفائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية:

Strengthening of columns by using plates of carbon fibers reinforced polymers:

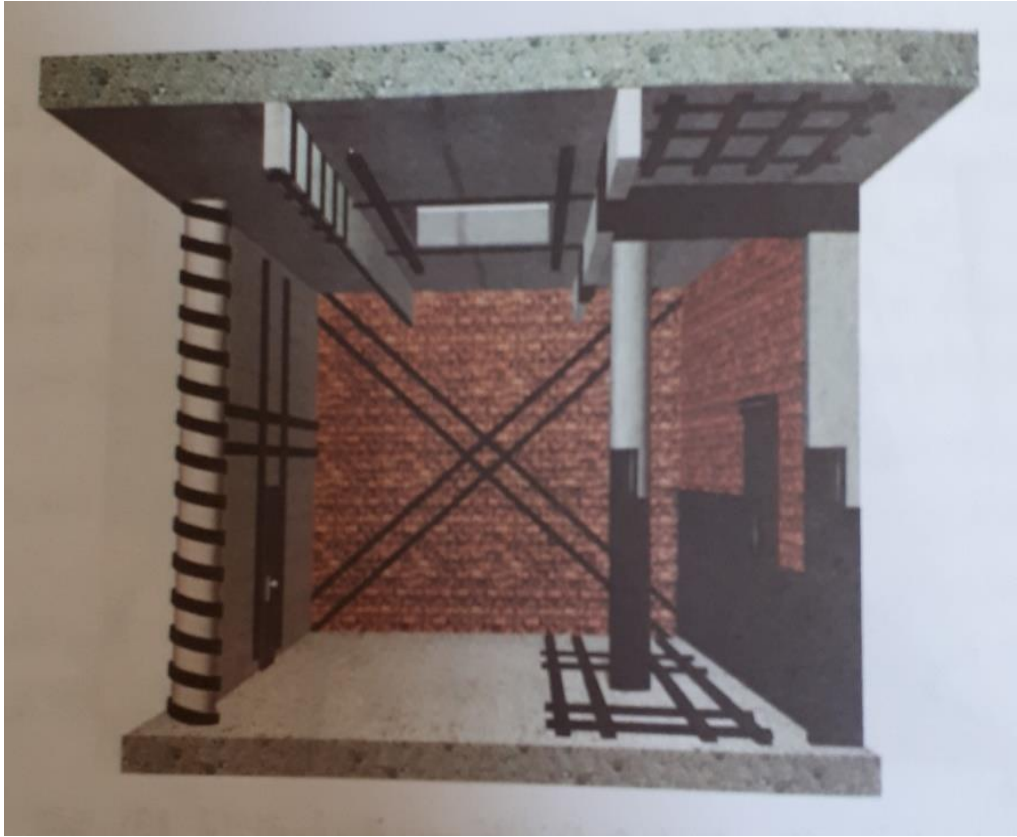
تتجلى أهم الإنجازات الحديثة نسبياً في مجال المواد وطرائق تدعيم المنشآت في استعمال مركبات البوليمرات المسلحة بالألياف FRP، التي تعدّ تطوراً هاماً في مجال تقوية العناصر الإنشائية لما لها من مزايا عديدة ومهمة. وتعني كلمة بوليمير مادة بلاستيكية ذات جزيء كبير يشكل من اتحاد جزيئات عديدة صغيرة بتوضع هندسي معيّن من خلال عملية تصنيع مدروسة ومختبرة.

تهدف تقوية الأعمدة الخرسانية المسلحة المستطيلة أو الدائرية باستعمال طوق من الصفائح البوليميرية المسلحة (نسيج بوليميري مسلح) بالألياف الكربونية، إلى زيادة المقاومة في الأعمدة، والناجمة في الخرسانة بسبب الحصر الذي يسببه الطوق. تعمل الخرسانة المطوقة تحت ضغط ثنائي المحور، ضغط بالاتجاه الشاقولي من الحمل الخارجي ويرافقه ضغط حصر بالاتجاه الأفقي من الصفائح البوليميرية، يؤدي ذلك إلى زيادة مقاومة الخرسانة بالاتجاه الشاقولي، بكيفية مشابهة لما سيتم ذكره لاحقاً عند استعمال الهيكل الفولاذي المطوق للعمود؛ علماً أن التحليل النظري في حالة استعمال الصفائح البوليميرية يختلف قليلاً عن حالة استعمال الهيكل الفولاذي.

وقد تكون الألياف المستخدمة في التسليح من مادة الكربون (carbon) فتسمى أليافاً كربونية أو من مادة الزجاج (glass) فتسمى أليافاً زجاجية أو من مادة الأراميد (aramid) فتسمى أليافاً أراميدية، وكما يبين الشكلان (1-5)، (1-6) بعض استعمالات هذه الألياف في التقوية. [23]



الشكل (1-5): مبسّطات بوليميرية مسلحة بالألياف [23]



الشكل (6-1): استعمال المبسطات البوليميرية المسلحة بالألياف للتقوية. [23]

يمكن تلخيص فوائد استعمال البوليميرات المسلحة بالألياف في تقوية المنشآت الخرسانية بالآتي:

1. عدم تعرضها للصداً ومقاومتها للعوامل الجوية والجيوتكنيكية.
2. سماكتها قليلة (بضعة ميليمترات) وبالتالي لا تؤثر على الشكل المعماري للمبنى أو المنشأة كما لا تؤثر على عطايا العناصر الإنشائية.
3. سهولة التنفيذ وسرعته مما يعني إمكانية عدم توقيف الاستثمار أثناء عملية التقوية.
4. خفة وزنها بالمقارنة مع الفولاذ أو الخرسانة المسلحة مما يعني عدم تحميل الأساسات بأوزان إضافية كبيرة.
5. إمكانية استعمالها بشكل أسهل في مجال محصور.
6. عدم الحاجة إلى استعمال سقائل لحمل المواد أثناء تثبيتها مما يقلل من كلفة اليد العاملة.
7. مقاومة الشد العالية (في التحميل الستاتيكي اللحظي والتحميل طويل الأمد).
8. القساوة التي يمكن التحكم بها حسب متطلبات التصميم.
9. طاقة التشوه الكبيرة.
10. توافرها بأبعاد متنوعة لا حصر لها من حيث المقاس والسماكة [23].

ومن عيوب هذا الأسلوب من التدعيم الآتي:

1. قابلية هذه المواد للاحتراق إذا لم يؤمن لها الحماية المناسبة.
2. تغير خواص هذه المواد مع الزمن خاصة بتأثير عوامل البيئة المحيطة (من ضوء وحرارة ورطوبة ...) إذا لم يؤمن لها حماية مناسبة.
3. سلوك هذه المواد بشكل عام خطياً مرناً حتى الانهيار (علماً بأن الانهيار يترافق مع تشوهات كبيرة) وهذا السلوك يجعل هذه المواد مطاوعة منخفضة.
4. سعر هذه المواد عالية الثمن.
5. بعض أنواع البوليمرات المسلحة بالألياف مثل الكربون أو الأراميد لها معامل تمدد حراري غير متوافق مع الخرسانة.
6. تضررها للأشعة فوق البنفسجية، فقدانها لميزاتها في حالة التنفيذ الخاطئ [23].

1-4-3 التدعيم بالهياكل الفولاذية:

Strengthening by using Steel Structures:

1-4-3-1 مزايا هذا التدعيم:

1. زيادة بسيطة في حجم العمود تتمثل في سماكة الهيكل الفولاذي، التي تكون محدودة جداً نحو (20-30) mm لا أكثر، حيث أن سماكة الطينة الجديدة هي نفسها الموجودة ضمن العمود.
2. سرعة التنفيذ حيث أن استعمال الهياكل الفولاذية (المعدنية) يؤمن تقوية فعالة لمقاطع الأعمدة بزمن قصير وتجهيزات بسيطة.
3. عدم الحاجة إلى فراغ كبير حول العمود، حيث يمكن تنفيذها في غرف سكنية مع استعمال سائر متحرك - فقط - لمنع تطاير الشرر الناتج عن اللحام. ويجري العمل حول مساحة ضيقة من العمود بما لا يؤثر على نظافة المساحات المجاورة.
4. كلفتها النسبية تبقى قليلة تجاه ما تقدمه من مزايا، أي أن استعمالها يكون ضمن الحدود الاقتصادية.
5. يمكن بهذه التقوية أيضاً الوصول نظرياً إلى أية تقوية لازمة للعمود لمقاومة القوى المحورية أو العزوم أو كليهما.
6. تمتاز هذه الطريقة أيضاً بإمكانية تأمين العمل المشترك بين المقطع الخرساني القديم والمقاطع الفولاذية للهيكل الفولاذي، وذلك باستخدام تقنية لحام المبسطات على الزوايا الفولاذية بعد إحماء المبسطات حتى الاحمرار (أي بما لا يقل عن 400°C).
7. يمكن تأمين تحميل مسبق للتقوية عن طريق روافع (جاكات) وحشر صفائح فولاذية.
8. يؤدي الهيكل الفولاذي، (من أجل الأحمال الشاقولية والعزوم وقوى القص) إلى زيادة مطاوعة العمود، هو العامل الأكثر فعالية في مقاومة الزلازل.
9. يؤمن الهيكل الفولاذي حسب شكله حصراً جزئياً لخرسانة العمود وهذا يؤدي إلى زيادة مقاومة الخرسانة على الضغط، أي أن الهيكل يزيد من تحمل خرسانة العمود للأحمال الشاقولية إضافة إلى ما يتحملة الهيكل من أحمال شاقولية وعزوم [23].

تتألف الهياكل الفولاذية من:

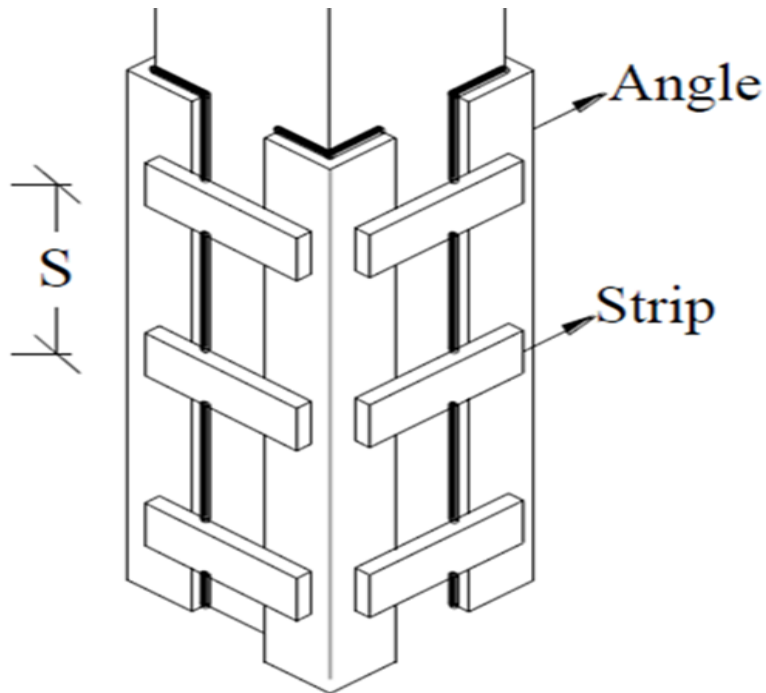
1. أربع زوايا في أركان العمود تتراوح أبعادها بين $(50*50*5)$ mm، $(150*150*15)$ mm وقد تحتاج في حالات خاصة إلى زوايا بأبعاد أكبر من ذلك يمكن أن تصل إلى $(200*200*20)$ mm وبالتالي يكون وزنها كبيراً وتحتاج إلى وسائل ميكانيكية لنقلها وحملها وتثبيتها في مكانها.
2. مبسّطات فولاذية أفقية بعرض $(60-120)$ mm، وبسماكة $(6-15)$ mm تلحم على الزوايا الفولاذية بطريقة فنية بعد تسخينها إلى درجة حرارة الاحمرار 400°C ، وتوضع على تباعدات في الاتجاه الشاقولي تتراوح بين $(200-400)$ mm من المحور إلى المحور وتمتد من نهاية الزاوية إلى نهاية الزاوية الأخرى، بحيث تلحم من أطرافها الثلاثة مع الزوايا الشاقولية ويفضل أن يكون الطرف الثالث عند أركان الزوايا.
3. زوايا أفقية (كراسي غالباً) لها أبعاد الزوايا الشاقولية نفسها، توضع عند أسفل العمود وعند أعلاه وتلحم هذه الكراسي مع الزوايا الشاقولية بعد أن تحشر مع بلاطة السقف أو الجوائز حسب الحالة باستعمال دعائم تلسكوبية. وفي بعض الأحيان يمكن استعمال مكابس هيدروليكية (جاكات) بهدف نقل جزء من تحمل العمود إلى الزوايا الشاقولية قبل لحام الكراسي مع هذه الزوايا.
4. يمكن (في بعض الأعمدة الكبيرة نسبياً) إضافة مبسّطات شاقولية عند منسوب ضلع الزوايا، أي تحت المبسّطات الأفقية لتحسين حصر خرسانة العمود وللمساهمة - أيضاً - في تحمل جزء من الحمل الشاقولي للعمود وعندما يكون طول مقطع العمود أكبر بكثير من عرضه يمكن تنفيذ براغ ضمن جسم العمود وذلك لربط المبسّطات الشاقولية ببعضها للوجهين الطويلين للعمود.
5. توجد أشكال متنوعة أخرى للهياكل الفولاذية يتم استعمالها إذا دعت الحاجة إلى ذلك؛ فمثلاً من أجل زيادة مقاومة الزوايا الأربعة نستعمل صفائح فولاذية بسماكة تتراوح بين $(5-20)$ mm تلحم على الزوايا على كامل ارتفاع العمود وبعرض مساوٍ إلى عرض العمود أو طوله، يمكن في بعض الأحيان لصق الصفائح على جسم العمود باستعمال مادة الإيبوكسي ومن ثم استعمال الزوايا عند الأركان ويصبح العمود مقوّى بصفائح على كامل المحيط إضافةً إلى الزوايا عند الأركان؛ وبناء على ذلك يمكن التّوقّع في شكل الهياكل الفولاذية حسب أبعاد العمود والزيادة المطلوبة في مقاومتها للأحمال الشاقولية، العزوم، قوى القص، مقدار المطاوعة (المطوئية) اللازم تأمينها عند التدعيم [23].

وتبين الصورة في الشكل (7-1) أعمدة خرسانية مقواة بهياكل فولاذية (على شكل أقفاص أو هياكل).



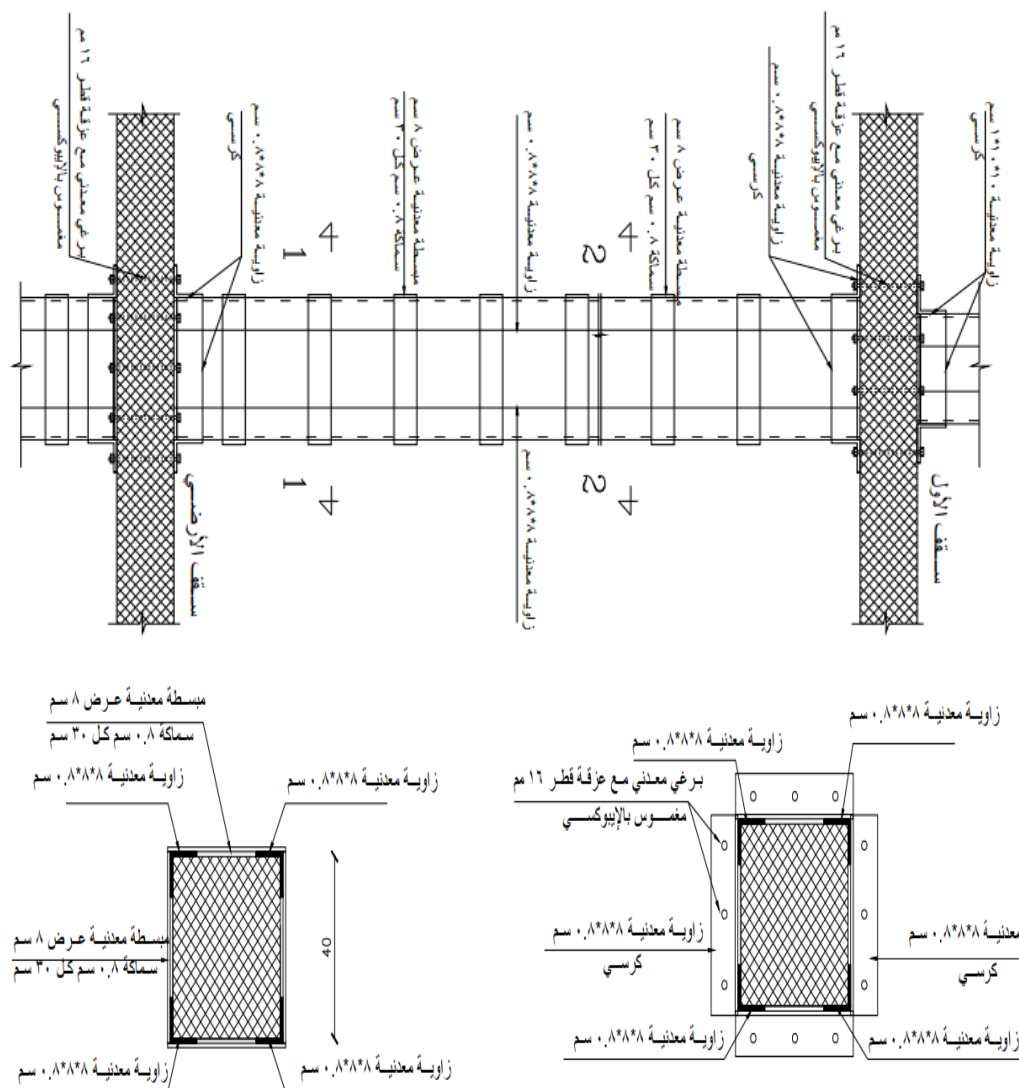
الشكل (7-1): صورة لأعمدة خرسانية مقواة بهياكل فولاذية.

تبين الصورة في الشكل (8-1) شكلاً توضيحياً لهيكل فولاذي مكون من زوايا (Angle)، ومبسطات أفقية (Strips)، وحيث أن (S) هي التباعد بين محاور المبسطات الأفقية.



الشكل (8-1): شكل توضيحي للهيكل الفولاذي.

وتبين الصورة في الشكل (9-1) واجهة شاقولية ومقطعين عرضيين لعمود خرساني مقوى بهيكل فولاذي ومتصل بالأسقف الأرضي والأول.



الشكل (9-1): واجهة شاقولية ومقطعان عرضيان لعمود مقوى بقميص فولاذي [23]

(القيم المبينة هي للتمثيل فقط، وتتعلق قيمها الحقيقية بنتائج التصميم)

1-4-3-2 تنفيذ الهيكل الفولاذي:

يتم تنفيذ الهيكل الفولاذي وفق المراحل الآتية:

1. تنظيف سطوح الأعمدة الخرسانية بشكل جيد ومعالجة التعشيش إن وجد، ومعالجة قضبان الفولاذ الظاهرة باستعمال مونة غراوت أو إيبوكسي حسب الحالة، وتلزم في بعض الحالات معالجة كامل سطح الخرسانة بالمونة إذا لزم الأمر.

2. تثبيت الزوايا الركنية الفولاذية مسبقاً بعد قصها لتكون بارتفاع العمود الصافي بين أسفله وأعلىه ويربط بعضها مع بعض بملازم فولاذية بشكل محكم، ثم تسخن المبسطات الفولاذية ضمن فرن كهربائي إلى الدرجة المطلوبة وتوضع في موقعها الصحيح، وتلحم بنقاط لحام عند الطرفين ليتم تثبيتها على الزوايا الشاقولية، ويجرى ذلك بالمبسطات على كامل المحيط ويفضل البدء من وسط ارتفاع العمود ثم من المبسطة الأولى العلوية تحت الكرسي، الذي يثبت بعد، ثم من المبسطة السفلية أعلى من الكرسي السفلي الذي لم يثبت بعد. وتثبت باقي المبسطات الفولاذية بالطريقة نفسها على كامل ارتفاع العمود وبعدها يمكن فك الملازم المؤقتة.
3. توضع الكراسي السفلية (الزوايا الفولاذية) في موضعها أسفل العمود ثم توضع الكراسي العلوية في مكانها وتحشر مع السقف باستعمال الدعائم التلسكوبية، ويمكن معايرة الرفع بالجاكات إذا تطلب الأمر وذلك لتأمين التحميل المسبق مع الزوايا، ويتم في حالات خاصة بعد حساب التشوهات وقياسها؛ أما في الحالات العامة فيتم الحشر العادي مع رفع بسيط للتأكد من قدرة الزوايا الشاقولية لتلقي الحمل.
4. يجرى بعد ذلك إتمام لحام جميع المقاطع الفولاذية على كامل امتداد خطوط تلاقيها.
5. تنفيذ طبقة من المونة الأولى تحشى تحت المبسطات وتحت الفراغات في الزوايا الشاقولية إن وجدت، وتكون هذه الطبقة بمثابة رشة مسمار وتضاف إليها ألياف بولي بروبيلين ومادة لتحسين التماسك، تملأ هذه الطبقة حتى سطح المبسطات، أي لا تغلف سطح المبسطات.
6. ينفذ شبك فولاذي مغلف بفتحات 10×10 mm وسماكة 1 mm، ويثبت بشكل جيد على الهيكل الفولاذي باستعمال عدد كاف من سرايد فولاذية (مبسّطات أفقية رقيقة) بأبعاد نحو 12×3 mm تلحم على الشبك مع الهيكل الفولاذي؛ بحيث لا يكون هناك انتفاخات في الشبك الفولاذي؛ على أن يؤمن تحته طبقة من المونة بسماكة لا تقل عن 3 mm.
7. تتفّذ طبقة من البطانة، ثم طبقة من الظهارة، إذا لم يرغب بإكساء العمود بالحجر أو الرخام.
8. بعد الظهارة تتفّذ معجونة الدهان مع إضافة الشاش [23].

وتبين الصورة في الشكل (10-1) أعمدة وشيئناجات أرضية مقواة بقمصان فولاذية من زوايا ومبسطات.



الشكل (10-1): صورة لتدعيم الأعمدة والشيئناجات بالزوايا والمبسطات الفولاذية.

1-3-4-3 لمحة نظرية عن تقوية الأعمدة بالهياكل الفولاذية:

1-3-4-1 الحالة الأولى:

أ- تصميم الهيكل الفولاذي لتحمل كامل الحمولات الشاقولية للعمود:

تصادف هذه الحالة عندما يحصل انهيار لجانب من العمود وقد يرافقه تحنيب لبعض قضبان التسليح (يبقي العمود في مكانه مع هبوط بسيط ولا ينتقل هذا الهبوط إلى الأعمدة المجاورة) بحيث يمكن تنفيذ تدعيم سريع للعمود وبشكل مؤقت بدعائم تلسكوبية وسقائل للمناطق المجاورة له لتخفيف الحمولة المنقولة له ويجب أن يتم ذلك لنقل الحمولة المؤثرة على العمود من جميع الطوابق التي تعلو العمود المهشم جزئياً. ويجب قبل تنفيذ التدعيم بالهيكل الفولاذي أن يتم تدعيم مؤقت حول الأعمدة المجاورة تحسباً لأي طارئ ينتج عن انهيار العمود نفسه أو حصول انهيار جزئي أو كلي في الأعمدة المجاورة.

وبعد ملاحظة الضعف في مقاومة خرسانة العمود تتم دراسة وضع العمود وذلك بتحديد المقاومة التقريبية للخرسانة بالمطرقة وإذا تبين أنها لا تحقق المقاومة المطلوبة وأن قضبان التسليح التي تعرضت للتحنيب غير مربوطة بشكل جيد بالأساور، وهذا أدى إلى ضعف خرسانة العمود وحصول تشققات فيه وكذلك حصل انسحاق في جزء من العمود مما أدى إلى تهشم الخرسانة ورافقه تحنيب لبعض القضبان، وبالتالي يلزم في هذه الحالة تصميم الهيكل

الفولاذي لتحمل كامل الحمل الشاقولي للعمود وإهمال الزيادة التي ستنتج في مقاومة الخرسانة نتيجة الحصر الناتج من الهيكل الفولاذي نظراً لأن جزء من الخرسانة قد وصل إلى مرحلة الانهيار.

عادةً ينفذ الهيكل من فولاذ (الزوايا، والمبسطات) إجهاد خضوعه $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ أو من فولاذ آخر إجهاد خضوعه $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ [24].

ب- حساب تحمل الزوايا الأربعة:

يتم حساب تحمل الزوايا الأربعة لحالتين:

1- الزوايا الأربعة تعمل معاً كمقطع فولاذي مشترك، وتحسب قدرة تحملها وفق ذلك مع أخذ تأثير تحنيب العمود المعدني بعين الاعتبار أثناء الحساب.

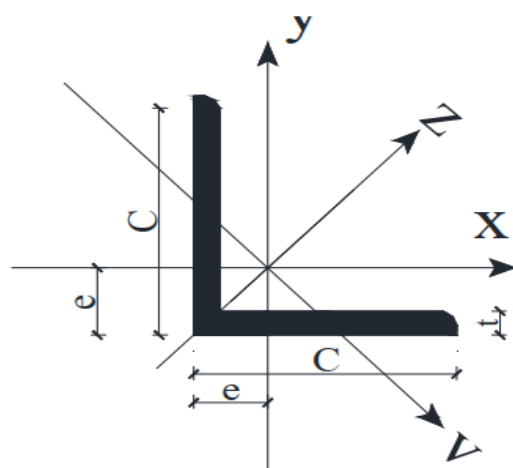
2- حساب تحمل الزاوية الواحدة بشكل مفرد كونها مربوطة بالمبسطات ذات التباعد (s).

ويجب الانتباه أثناء التنفيذ إلى ضرورة نقل أكبر جزء ممكن من حمولة العمود إلى الزوايا وذلك باستعمال دعائم تلسكوبية العمود قبل فك وإزالة السقائل المؤقتة التي استعملت للتدعيم المؤقت.

ج- تصميم الزوايا:

يتم أولاً حساب تحمل الزوايا الأربعة العاملة كمقطع واحد في العمود فنحسب الإجهاد الأقصى المسموح للزوايا وفق ما يلي:

خواص الزاوية مبينة في الشكل (11-1):

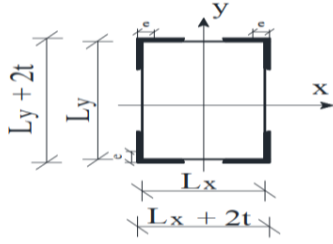


الشكل (11-1): خواص الزاوية الفولاذية [24]

مساحة مقطع الزاوية A وبعد مركز ثقلها عن المحورين x، y يساوي e، وعزم عطالة الزاوية حول المحور x أو y: $I_{xa} = I_{ya}$ ، ونصف قطر العطالة (نصف قطر الدوران) حول المحور x أو y يعطى كما في العلاقة:

$$r_{xa} = r_{ya} = \sqrt{I_{xa}/A} \quad (1)$$

وعزم عطالتها (الضعيف) حول المحور الأصغري I_{va} : v وأما نصف قطر عطالتها حول هذا المحور فيعطى بالعلاقة:



$$r_{va} = \sqrt{I_{va}/A} \quad (2)$$

ونحسب عزم عطالة المقطع الكلي والمكون من الزوايا الأربعة حول المحور y ونصف قطر العطالة بالعلاقين:

$$I_y = 4 * I_{xa} + 4A * \left(\frac{L_x}{2} + t - e\right)^2 \quad (3)$$

$$r_y = \sqrt{I_y/4A} \quad (4)$$

وبالتالي تكون نسبة النحافة λ Slenderness Ratio (بفرض أن الزوايا ذات استناد مفصلي عند النهايتين):

$$\lambda = \frac{k.L}{r_y} \quad (5)$$

حيث L ارتفاع العمود، k عامل التحنيب حسب استناد الزوايا عند النهايتين ويؤخذ مساوياً الواحد نظرياً عندما يكون الاستناد بسيطاً (ويؤخذ 1.25 عند أخذ تأثير اللامركزية الطارئة واعتبار المبسطات لها تشوهات لا تؤدي إلى الربط الصلب الكامل بين الزوايا الأربع). [23]

بفرض N_a الحمل الاستثماري المطبق على الزوايا الأربعة فتكون القوة المطبقة على الزاوية الواحدة N_{ang} :

$$N_{ang} = N_a / 4 \quad (6)$$

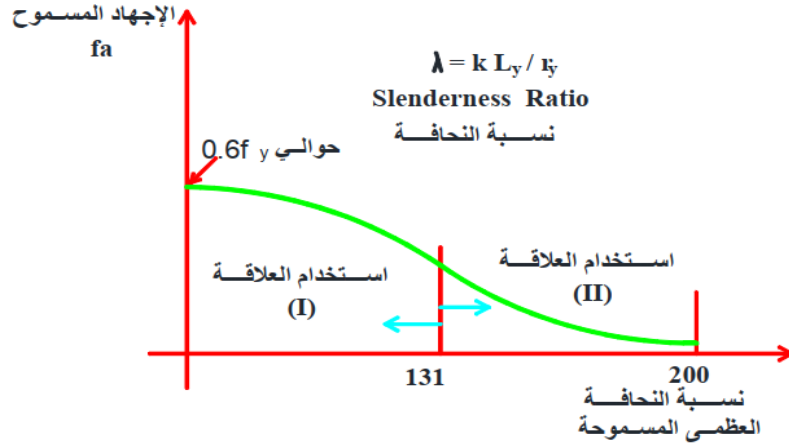
والإجهاد الفعلي على كل زاوية f_{sa} :

$$f_{sa} = N_{ang} / A \quad (7)$$

يعطي الكود AISC [2] علاقتين لحساب الإجهاد المسموح في الأعمدة الفولاذية مع أخذ قيمة عامل النحافة بعين الاعتبار ويتم حساب العامل C_c من العلاقة الآتية:

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2.E}{f_y}} \quad (8)$$

فإذا كانت قيمة العامل C_c أكبر من نسبة النحافة λ أي ($C_c > \lambda$) فإن الكود AISC [2] يعطي مقدار الإجهاد المسموح لفولاذ الأعمدة الخاضعة لقوة محورية بالعلاقة (9) ويوضح الشكل (12-1) استخدام العلاقة حسب نسبة النحافة λ والعامل C_c [23].



الشكل (12-1): استخدام العلاقة حسب نسبة النحافة λ والعامل C_c [23]

$$f_a = \frac{\left[1 - 0.5 \times \left(\frac{kL}{r_y \cdot C_c}\right)^2\right] \cdot f_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{kL}{r_y \cdot C_c}\right) - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{kL}{r_y \cdot C_c}\right)^3} \quad (9)$$

أما إذا كانت قيمة العامل C_c أقل من نسبة النحافة λ أي ($C_c < \lambda$) فإن الكود AISC [2] يعطي مقدار الإجهاد المسموح لفولاذ الأعمدة الخاضعة إلى قوة محورية بالعلاقة التالية:

$$f_{a1} = \frac{12 \pi^2 E}{23 (k_c \cdot C_c)^2} = \frac{12 \pi^2 E}{23 (\lambda)^2} \quad (10)$$

$$k_c = \frac{kL}{r_y \cdot C_c} = \left(\frac{\lambda}{C_c}\right) \quad \text{حيث:}$$

وهي تمثل قيمة الإجهاد المسموح f_{a1} للفولاذ في زوايا العمود العاملة كمقطع واحد.

ث- دراسة الزاوية الواحدة المستندة على المبسطات الأفقية:

يجب دراسة تحنيب الزاوية الواحدة باعتبارها مسنودة على المبسطات الأفقية وخاضعة للقوة الضاغطة المحورية باعتبار أن طول تحنيب الزاوية المنفردة يساوي التباعد بين محاور المبسطات s مصعداً بعامل من 1.5 إلى 3 حيث يؤخذ حوالي $2s$ في عدم الاعتماد على إجهاد الحصر للخرسانة ويمكن أن يصل إلى 3 عندما يؤثر إجهاد الحصر للخرسانة. مع ملاحظة أنه لا بد من تصعيد قيمة s للتعويض عما ينتج من تشوهات ضاغطة على

المبسطات والزوايا نحو الخارج تسبب فيها عزوم غير محسوبة وكذلك قوى شادة على المبسطات من نصف القصور الذاتي r_v حول المحور الضعيف v .

ت حسب نسبة النخافة للزاوية الواحدة بالعلاقة الآتية:

$$\lambda = \frac{k.L}{r_v} \quad (11)$$

حيث:

r_v : نصف قطر القصور حول المحور الضعيف v .

$L=2s$: لأن الزوايا ممنوعة من التحنيب بواسطة المبسطات الأفقية.

فإذا كانت أقل من C_c نحسب $\frac{k.L}{r_v \cdot C_c}$ ونستعمل العلاقة (10) لحساب الإجهاد النظري المسموح للزوايا f_{a2} .

وبالمقارنة بين قيمة f_{a2} للزاوية الواحدة (الإجهاد النظري المسموح للزوايا) العاملة بشكل مفرد مع قيمة f_{a1} المحسوبة للزوايا الأربعة العاملة ككتلة واحدة متحدة، نعلم القيمة الأصغر بينهما f_a .

ويلزم إجراء تخفيض على هذه القيمة حوالي 15% لأخذ العزوم غير المحسوبة والتي تتعرض لها الزوايا نتيجة ضغط الخرسانة نحو الخارج بعين الاعتبار. فيكون الإجهاد المسموح الفعلي للزوايا حوالي $0.85 f_a$ ، وبالتالي يتحدد الحمل المسموح N_a الذي تحمله الزوايا لوحدها من العلاقة الآتية:

$$N_a = 4 N_{ang} = 0.85 f_a \cdot A \cdot 4 \quad (12)$$

إذا كنا نحسب مساهمة الزوايا بالطريقة الحدية فنقسم على عامل أمان وسطي 1.6 حسب العلاقة:

$$N_{ua} = N_a / 1.6 \quad (13)$$

ت- دراسة المبسطات الأفقية للهيك الفولاذي المعرض لحمل شاقولي:

يتم تصميم المبسطات (الصفائح) الفولاذية الأفقية (ذات عرض h وسماكة t_2) الرابطة بين الزوايا الأربع ذات التباعد الشاقولي s . وفقاً لما تم تحليله سابقاً من حيث قوة الشد الناتجة فيها من جراء الضغوط الأفقية خارج المقطع التي تنتج عن الانضغاط الشاقولي وفق الفرضية أن الخرسانة محطمة ولا تساهم في تحمل القوى، وذلك إضافة إلى قوة أفقية مقدارها (2.5%) من حمولة العمود تؤثر بشكل أفقي متعامد مع محور العمود لمنع الزوايا من التحنيب.

وبفرض أن إجهاد الحصر الناتج من الهيكل الفولاذي بحدود 10% من الإجهاد الشاقولي الموضح لاحقاً، وبافتراض أن الخرسانة ستبقى معرضة لهذا الإجهاد الذي قيمته لا تقل عن عشر مقاومتها أي أن إجهاد الحصر على المساحة بين محاور المبسطات وطول مقطع العمود حوالي $0.1 * f'_c$ ، وهو يؤدي إلى شد أفقي على المبسطات. ومع أنه لم يؤخذ تأثير حصر الخرسانة في زيادة مقاومة العمود إلا أن الضغط الناتج من الحصر يلزم أخذه بالحساب ولو بد أدنى 10% عند تصميم المبسطات كما في العلاقة الآتية:

$$p_h = 0.1 * f'_c \quad (14)$$

فتكون قيمة القوة الشادة المطبقة على المبسطة الواحدة من جراء الضغط على مساحة تساوي طول مقطع العمود L_y مضروبة بالتباعد بين المبسطات s مساوياً لـ:

$$N_h = p_h * L_y * S/2 \quad (15)$$

وبإضافة قوة شادة تساوي 0.025 من الحمل المطبق على الزوايا لمنع تحنيب زوايا الهيكل الفولاذي تكون قوة الشد الناتجة عن ذلك:

$$N_{hb} = 0.025 * N_a / 2 \quad (16)$$

وتكون قوة الشد الإجمالية في المبسطة الواحدة:

$$N_{hs} = N_h + N_{hb} \quad (17)$$

أما إجهاد الشد الأعظمي في المبسطات فيساوي:

$$f_{st} = N_h / (s_2 * t_2) \quad (18)$$

ويلزم تخفيض الإجهاد المسموح للمبسطات حوالي 15% من الإجهاد المسموح نتيجة ما ستعرض له المبسطات من عزوم ناشئة من مساهمة الهيكل الفولاذي في العزوم الخارجية غير المحسوبة المطبقة على العمود، أي أن f_{st} يجب أن يكون أقل من f_{all} المحسوبة بالعلاقة:

$$f_{all} = f_{ys} * 0.6 * 0.85 \approx 0.5 f_{ys} \quad (19)$$

حيث f_{ys} إجهاد السيلان للهيكل الفولاذي. فإذا لم يتحقق المقطع المفترض للمبسطات وفق الاختبار الأولي لابد من زيادة أبعادها أو إنقاص تباعدها [23].

من المهم ملاحظة أنه في هذا التحليل لم يتم اعتماد التحمل الإضافي الذي يمكن أن تتحمله خرسانة العمود نتيجة الحصر من الهيكل الفولاذي وذلك نتيجة ضعف خرسانة العمود المنفذ وعدم الوثوقية الكاملة فيما سينتج من حصر

من الهيكل الفولاذي وذلك في صالح الأمان. علماً أنه في حال الرغبة باعتماد الحصر فيجب التأكد بشكل دقيق جداً من تنفيذ الهيكل الفولاذي ليتم ضمان حصره للخرسانة حيث أن أي فراغ بينه وبين جسم العمود لن يحقق هذه الزيادة في المقاومة [23].

ومن أجل حساب أدق لنحافة العمود المشكل من أربع زوايا معدنية متحدة فإنه يلزم زيادة نسبة النحافة النظرية المحسوبة للأخذ بالحسبان أن الزوايا غير مربوطة مع بعضها بشكل صلب وإنما هي متصلة مع بعضها عن طريق المبسطات الفولاذية القابلة للتشوه، ويمكن أخذ تأثير تشوهات المبسطات في زيادة نحافة العمود بالعلاقة الآتية [23]:

$$\left(\frac{k.L}{r_y}\right) = \sqrt{\left(\frac{L}{r_y}\right)^2 + \frac{\pi^2 \cdot I_y}{24 I_{y2a}} \left(\frac{s}{r_y}\right)^2} \quad (20)$$

حيث I_{y2a} تساوي مجموع عزوم العطالة لزاويتين حول المحور y الموازي للمحور الرئيسي للعمود y وذلك لأن الزاويتين تمثلان نصف العمود، ويمكن للتبسيط إهمال عزوم عطالة الزوايا حول محورها نظراً لصغره في العلاقة السابقة فيمكن كتابتها كما يلي [23]:

$$\left(\frac{k.L}{r_y}\right) = \sqrt{\left(\frac{L}{r_y}\right)^2 + \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{s}{r_{ya}}\right)^2} \quad (21)$$

وهي تعطي قيمة قريبة جداً من القيمة أعلاه ويمكن استعمال إحدى العلاقتين، كما أنه يمكن الاستغناء عن العلاقتين والوصول إلى نتيجة قريبة جداً من الصحيحة وذلك بزيادة نحافة العمود ذي الزوايا المتحدة بتصعيدها بعامل حوالي 1.25، وتستعمل $\left(\frac{k.L}{r_y}\right)$ في العلاقة الأساسية دون الحاجة للعلاقتين السابقتين، علماً أن زيادة نسبة نحافة العمود بمقدار 25% قد لا يؤثر على النتائج النهائية إذا كان الإجهاد الحرج ناتجاً من حساب الزوايا المنفردة [23].

ث- تصميم مقطع الهيكل الفولاذي لتحمل عزم معين (دون تحميل الزوايا لحمولة محورية):

تحتسب قدرة تحمل العزم للمقطع الخرساني المقوى بأخذ مجموع قدرتي تحمل العزم للمقطع الخرساني المحصور وللمقاطع الزوايا الفولاذية للهيكل.

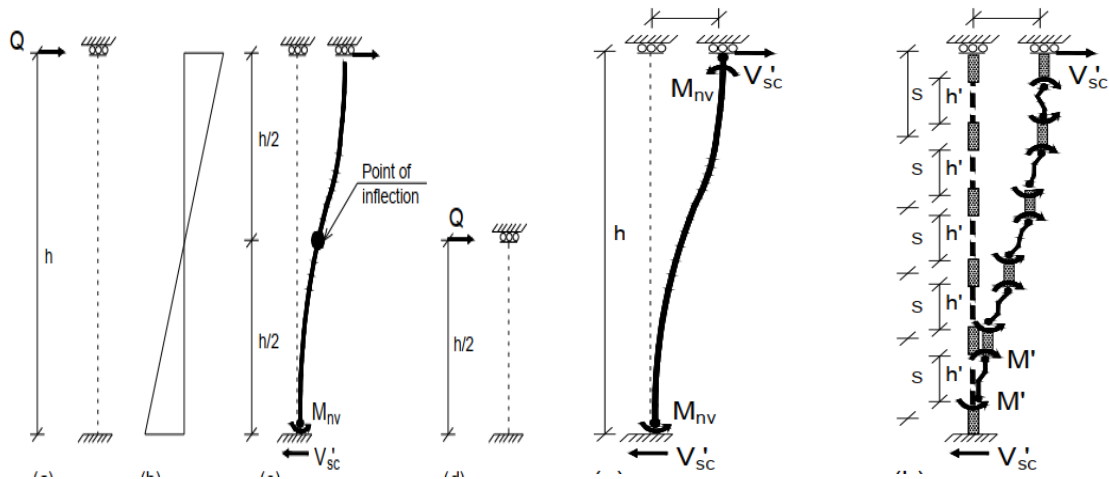
حيث أن مقاومة الضغط للخرسانة المحصورة للهيكل الفولاذي تعتمد على أبعاد الزوايا الفولاذية وعلى أبعاد وتباعد المبسطات لعددها، فإن التصميم المنطقي والاقتصادي للهيكل الفولاذي لتحمل عزم معين يتم بطريقة التجريب وتصحيح الفرضيات لأن المتغيرات عديدة [23].

عند تصميم مقاطع مبسطات الهيكل الفولاذي نستخدم عامل الزيادة للمقاومة 1.25 لتحديد قوة القص التصميمية وقيمة العزم المؤثرة لكل مبسطة بحيث تصل مقاطع الزوايا الفولاذية إلى السيلان قبل وصول المبسطات

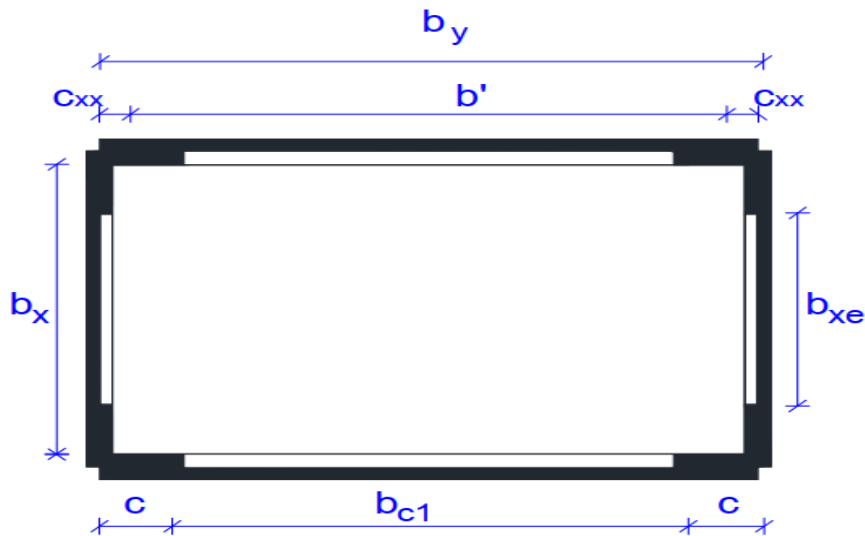
الأفقية[23]. أي نضمن بذلك عدم انهيار المبسطات قبل استنفاد طاقة الزوايا وبالتالي يكون التصميم اقتصادياً وأميناً، وتتأثر قيم قوى القص التصميمية H'_{ba} وقيم عزوم الانعطاف M'_{ba} المؤثرة على المبسطات بالعوامل التالية:

- قدرة تحمل مقاطع الزوايا التي تعمل كمقطع واحد للعزوم M_{nv} .
- عدد المبسطات على كل جانب من الهيكل N .
- البعد الحر (الضوء) بين الزاويتين في الاتجاه المدروس b_{c1} .
- البعد بين مركزي الثقل في الاتجاه المدروس b' .

كما يوضح الشكل (13-1) قوى القص وعزوم الانعطاف للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي، والشكل (14-1) يوضح المقطع العرضي للعمود المدعم بالهيكل الفولاذي.



الشكل (13-1): قوى القص وعزوم الانعطاف للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي [24]



الشكل (14-1): المقطع العرضي للعمود المدعم بالهيكل الفولاذي [24]

ويمكن حساب قوة القص H'_{ba} والعزم M'_{ba} عند طرفي كل مبسطة من العلاقتين:

$$H'_{ba} = \frac{1.25 \times 2M_{nv}}{2 \times 2b'N} \quad (22)$$

$$M'_{ba} = \frac{H'_{ba} b_{c1}}{2} \quad (23)$$

يتم حساب تباعد المبسطات s من المحور إلى المحور وكذلك التباعد الحر بالضوء h' من طرف مبسطة إلى الطرف القريب للمبسطة التالية (من أجل حساب العزم في كل زاوية معدنية) وذلك للنموذج الأصلي (المتحد) والنموذج المستقل (المنفرد) من خلال مقارنة القساوة العرضية ومقاومة القص للنموذجين.

- النموذج الأصلي (المتحد) يفترض فيه أن الزوايا الفولاذية والمبسطات للهيكل تشكل مقطعاً واحداً بحيث أن قدرة تحمل العزم M_{nv} وعزم العطالة I ثابتان على كامل طول العمود.
- يأخذ النموذج المستقل (المنفرد) الفرق بين القساوات الجانبية لأجزاء الزوايا في المناطق المربطة بالمبسطات وبين أجزاء الزوايا للهيكل الفولاذي غير المربطة بمبسطات وبعد ذلك يفترض أن المفاصل اللدنة تتشكل عند نهايات أجزاء الزوايا الفولاذية بين المبسطات المتجاورة. وبذلك فإن قيمة العزم وعزم العطالة للجزء المربط من الهيكل الفولاذي يساوي قيمة العزم وعزم العطالة لكل مقطع من المقاطع المستعملة في المقطع الأصلي أما قيمة العزم وعزم العطالة للجزء غير المربط من الهيكل الفولاذي فتساوي أربع مرات القيم المقابلة للزاوية الواحدة من زوايا المقطع، ويحسب تحمل القص الأقصى V_{sc} والقساوة العرضية K_{sc} لوحدة المقطع من المقطع الأصلي من العلاقتين الآتيتين:

$$V_{sc} = \frac{2 M_{nv}}{h} \quad (24)$$

$$K_{sc} = \frac{12 EI}{h^3} \quad (25)$$

حيث h ارتفاع الطابق وفي المقطع المستقل يعتمد تحمل القص الأقصى للهيكل الفولاذي V'_{sc} على تحمل العزم للزوايا الأربعة المنفردة M_{ang} ، والتباعد الصافي للمبسطات h' وبالمثل تعتمد القساوة العرضية للهيكل الفولاذي K_{sc} :

- عزم عطالة الزاوية المنفردة I_{ang} .
- عدد المبسطات N .
- التباعد بين محاور المبسطات s .

وبذلك تحسب قدرة تحمل القص الأقصى والقساوة العرضية للهيكل الفولاذي المؤلف من أربع زوايا كما يلي:

$$V'_{sc} = \frac{2 M'}{h'} = \frac{8 M_{ang}}{h'} \quad (26)$$

$$K'_{sc} = \frac{48 EI_{ang}}{S^3 (N-1)} \quad (27)$$

يتم تحديد المسافة بالضوء أو المسافة الصافية بين المبسطات بحيث تكون مقاومة القص للهيكل الفولاذي في نموذج المقطع المنفرد (المستقل) مساوية لمقاومة القص في نموذج المقطع الأصلي (المتحد): $V'_{sc} = V_{sc}$

وباستخدام العلاقتين (24) و(26) يحسب التباعد الصافي بين المبسطات بالعلاقة الآتية:

$$h' = \frac{4 M_{ang} h}{M_{nv}} \quad (28)$$

وبالمثل يمكن تحديد تباعد المبسطات s بحيث تكون القساوة العرضية للهيكل الفولاذي في المقطع المستقل (المنفرد) مساوية للقساوة في المقطع المتحد بالنموذج الأصلي: $K'_{sc} = K_{sc}$

يمكن استخدام العلاقتين (25) و(27) في تحديد التباعد المطلوب بين المبسطات s بالعلاقة:

$$\frac{12 EI}{h^3} = \frac{48 EI_{ang}}{s^3 (N-1)}$$

$$S = h \sqrt[3]{\frac{4 I_{ang}}{I (N-1)}} \quad (29)$$

وبالتالي يجب أن يحقق تصميم المبسطات تجنب الانهيار المبكر لزوايا المقطع تحت تأثير الحمولات الجانبية.

1-3-3-4-1 الحالة (1') عن الحالة الأولى (طريقة بديلة لحساب الإجهادات المسموحة للفولاذ):

أ- تصميم الهيكل الفولاذي لتحمل كامل الحمولات الشاقولية للعمود:

يتم في هذه الحالة إعادة حل الحالة الأولى ولكن باستعمال علاقات الكود AISC [2] المطور لعام 2010. يعطي الكود [2] AISC لعام 2010 العلاقات التالية لحساب الإجهاد المسموح في الأعمدة الفولاذية مع أخذ قيمة عامل النحافة بالحساب، ومن علاقة أولير يكون الإجهاد الحرج المرن في العلاقة:

$$f_e = \frac{\pi^2 E_s}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (30)$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{أو} \quad \left(\frac{f_y}{f_e} \leq 2.25\right) \quad \text{حيث:}$$

كان يمكن الاكتفاء بواحد من الشرطين لأنهما مشتقان من بعضهما، وبالتالي يكون الإجهاد المسموح:

$$f_a = f_{cr}/1.67 = \left[0.658^{\frac{f_y}{f_e}}\right] * f_y/1.67 \quad (31)$$

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{أو} \quad \left(\frac{f_y}{f_e} > 2.25\right) \quad \text{أما لو كانت:}$$

فيحسب الإجهاد الأقصى للفلولاذ من العلاقة:

$$f_{cr} = 0.877 f_e \quad (32)$$

والإجهاد المسموح للفلولاذ من العلاقة:

$$f_{cr} = 0.877 f_e / 1.67 \quad (33)$$

بعد حساب قيمة الإجهاد المسموح (f_a) للفلولاذ في زوايا العمود كمقطع متحد (تؤخذ $k=1.25$) لابد من حساب إجهاد الضغط الفعلي المسموح للزوايا التي تعمل بشكل منفرد وتكون مربوطة بالمبسطات لمنع تحنيبها [23].

ب- دراسة الزاوية الواحدة المستندة على المبسطات الأفقية:

يجب دراسة تحنيب الزاوية الواحدة باعتبارها مسنودة على المبسطات الأفقية وخاضعة لقوة ضاغطة محورية مع الأخذ بعين الاعتبار أن طول التحنيب للزاوية المنفردة يؤخذ مساوياً إلى التباعد بين محاور المبسطات s ، مصعداً بالعامل من 1.5 إلى 3 حيث يؤخذ حوالي 2 في حال عدم الاعتماد على إجهاد الحصر للخرسانة ويؤخذ 3 عندما يؤثر إجهاد الحصر للخرسانة، حيث لابد من تصعيد قيمة s اللازمة للتعويض عما ينتج من تشوهات ضاغطة على المبسطات والزوايا نحو الخارج حيث تحدث فيها عزوم غير محسوبة وكذلك تنتج قوى شادة على المبسطات.

$$\lambda = \frac{kL}{r_y} \quad \text{وفي العلاقة (5) عامل النحافة للزاوية الواحدة هو:}$$

ومن علاقة أولير فإن الإجهاد المسموح المرن:

$$f_e = \frac{\pi^2 E_s}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad (34)$$

$$\frac{kL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{أو} \quad \left(\frac{f_y}{f_e} \leq 2.25\right) \quad \text{حيث:}$$

ويمكن الاكتفاء بواحد من الشرطين لأنهما مشتقان من بعضهما، وبالتالي ينتج أن الإجهاد المسموح:

$$f_a = f_{cr} / 1.67 = [0.658 \frac{f_y}{f_e}] * f_y / 1.67 \quad (35)$$

$$\frac{kL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{أو} \quad \left(\frac{f_y}{f_e} > 2.25\right) \quad \text{أما لو كانت:}$$

فيكون الإجهاد الأقصى للفلولاذ مساوياً لـ:

$$f_{cr} = 0.877 f_e \quad (36)$$

وبالتالي تكون قيمة القوة الضاغطة المحورية التي تتحملها زوايا العمود الأربعة:

$$N_a = 4N_{ang} = 0.85 f_a * A * 4 \quad (37)$$

وإذا كنا نحسب مساهمة الزوايا بالطريقة الحدية فنقسم على عامل أمان وسطي 1.6 أي:

$$N_{ua} = N_a / 1.6 \quad (38)$$

ويلاحظ من نتائج الأمثلة أن القيم التي نحصل عليها من علاقات الكود AISC [2] المطور قريبة جداً من نتائج الكود القديم، وبالتالي يمكن استعمال أيًا من الكودين دون فروق تذكر.

1-4-3-2 الحالة الثانية:

أ- تصميم الهيكل الفولاذي لتحمل جزء من الحمولات الشاقولية:

سنصمم التدعيم اللازم لنفس العمود المعطى للحالة الأولى من أجل تحمل 60% من الحمل الشاقولي الخارجي ودون أخذ القوى والعزوم الزلزالية [24].

ب- نتبع نفس خطوات الحالة الأولى تماماً دون تعديل مع أخذ التحمل 60%:

وهذه الحالة أيضاً لم نعتد على القوة الإضافية التي يمكن أن تتحملها خرسانة العمود نتيجة الحصر من الهيكل الفولاذي وذلك لصالح الأمان.

1-4-3-3 الحالة الثالثة:

أ- تقوية العمود بهيكل فولاذي لزيادة تحمله من العزم:

نستخدم الهيكل الفولاذي المكون من الزوايا الأربعة والمبسطات الأفقية لزيادة العزم الأقصى الذي يتحمله العمود في وضعه الراهن دون تحميل الزوايا بالحمولة الشاقولية.

ب- تحمل الزوايا للعزوم:

يحدد التحمل الأقصى للزاوية الواحدة بالعلاقة الآتية:

$$M_{ang} = f_y * Z_{ang} \quad (39)$$

حيث: Z_{ang} معامل الزاوية المنفردة.

أما التحمل الأقصى للزوايا المتحدة فيعطى بالعلاقة الآتية:

$$M_{nv} = f_y * Z \quad (40)$$

حيث: Z معامل الزوايا المتحدة.

يحسب البعد بين محاور الزوايا بالعلاقة:

$$b' = b_y + 2(t' - e) \quad (41)$$

أما المسافة الصافية بين أطراف الزوايا تؤخذ بالعلاقة الآتية:

$$b_{c1} = b_y + 2(t' - c) \quad (42)$$

ويتم متابعة الحساب كما ورد في الحالة الأولى [24].

ت- تصميم المبسطات للهيكل المقاوم للعزوم:

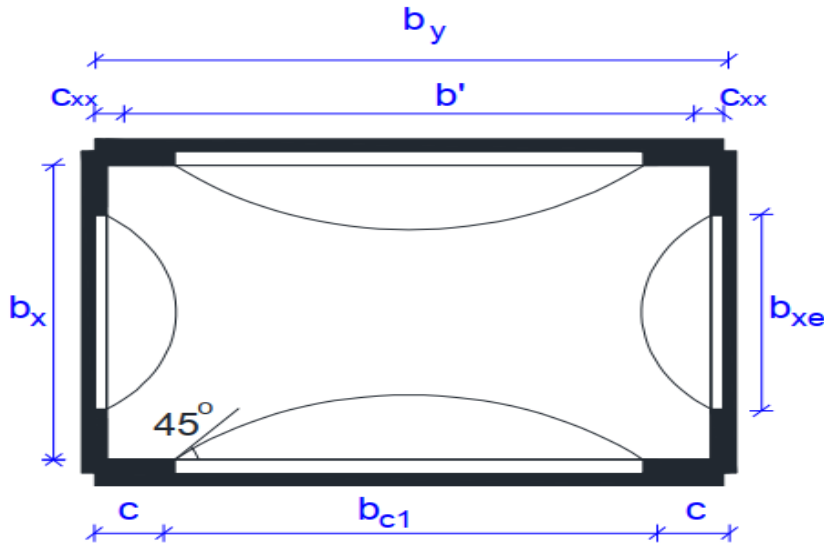
نحسب قوة القص المؤثرة على المبسطات مع التأكيد على ضرورة التصميم بحيث لا يحصل انهيار للزوايا قبل المبسطات، وحسب ما ورد في الحالة الأولى [24].

1-4-3-4-1 النموذج النظري لحصر الخرسانة بالهياكل الفولاذية:

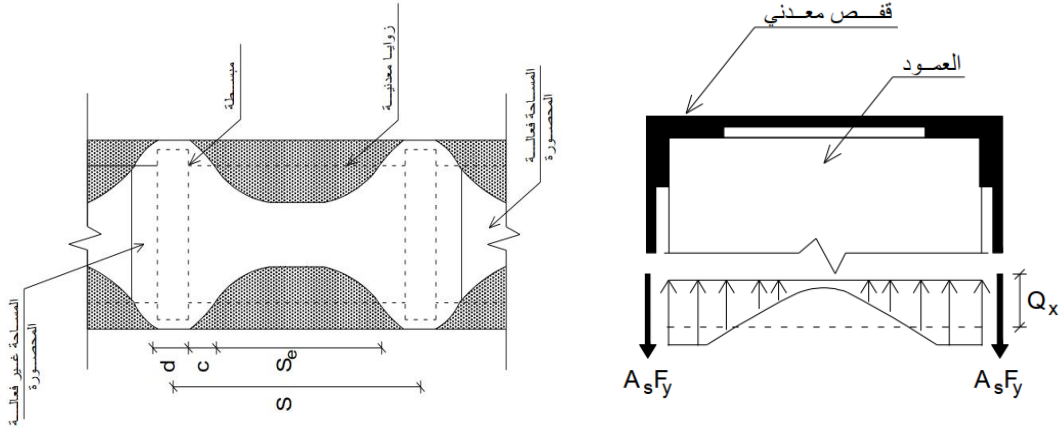
1-4-3-4-1 حساب تأثير الحصر:

يتم حصر خرسانة العمود من الخارج جراء استعمال الهيكل الفولاذي وذلك نتيجة تأثير عامل بواسون بسبب الإعاقة العرضية التي تقدمها عناصر الهيكل الفولاذي عند الأركان من الزوايا وعند المبسطات كما هو موضح في الشكل (15-1) ويبقى جزء من خرسانة العمود بجوار المبسطات غير محصور بسبب عدم وجود ضغط الحصر وذلك يماثل حالة الأساور المستطيلة في مقطع عمود خرساني حيث تكون في جانب من الأساور غير محصورة وبالنتيجة يمكن استعمال نموذج الحصر للخرسانة المقترح [24].

وعندما يقترب إجهاد الضغط في خرسانة العمود من قيمة مقاومة الضغط الأحادي تصبح التشوهات العرضية ذات قيمة عالية جداً نتيجة ازدياد التشقق الداخلي وينتج عند ذلك تعرض مبسطات الهيكل الفولاذي إلى إجهادات شد عالية والتي تنتج إجهاد حصر على الخرسانة، وكما هو موضح في الشكل (16-1).



الشكل (15-1): مقطع عرضي لحصر خرسانة العمود من الخارج [24]



الشكل (16-1): مقطع طولي لحصر خرسانة العمود وتوزيع الإجهادات [24]

يتم حساب مقاومة الخرسانة المحصورة للعمود وفق ما يلي:

العرض الفعال المحصور في الاتجاه القصير x:

$$b_{xe} = b_x + 2(t' - c) \quad (43)$$

البعد الفعال المحصور في الاتجاه الطويل y:

$$b_{ye} = b_y + 2(t' - c) \quad (44)$$

$$S_e = S - d - 2c \quad (45)$$

نسبة التسليح الطولي للعمود:

$$p_{s1} = A_{st} / A_{cc} \quad (46)$$

متوسط إجهاد الحصر في الاتجاه x:

$$\sigma_x = 2 A_s f_y / b_y S \quad (47)$$

متوسط إجهاد الحصر في الاتجاه y:

$$\sigma_y = 2 A_s f_y / b_x S \quad (48)$$

وتحسب قيمة σ_{xe} من العلاقة:

$$\sigma_{xe} = \left(1 - \frac{b_{xe}^2 + b_{ye}^2}{3b_x b_y}\right) \left(1 - \frac{s_e}{2b_x}\right) \left(1 - \frac{s_e}{2b_y}\right) * \frac{2td}{sb_y} f_y / (1 - p_{s1}) \quad (49)$$

وبالمثل يكون إجهاد الحصر الفعال بالاتجاه y:

$$\sigma_{ye} = b_x \sigma_{xe} / b_x \quad (50)$$

وتحسب المساحة الكلية للمقطع الخرساني من العلاقة:

$$A_c = b_x \cdot b_y (1 - p_{s1}) \quad (51)$$

وتحسب المساحة الدنيا المحصورة في المنسوب بين محاور المبسطات من العلاقة:

$$A_e = (b_x b_y - \frac{b_{xe}^2}{3} - \frac{b_{ye}^2}{3}) * (1 - \frac{s_e}{2b_y}) (1 - \frac{s_e}{2b_x}) \quad (52)$$

وتكون المساحة غير المحصورة من المقطع A_{cu} محددة بالعلاقة:

$$A_{cu} = A_c - A_e \quad (53)$$

بفرض k_e عامل الحصر الفعال وقيمته تساوي نسبة المساحة المحصورة إلى مساحة الخرسانة الكلية وهو أيضاً يمثل نسبة إجهاد الحصر إلى الإجهاد المتوسط ويحسب من العلاقات:

$$k_e = \sigma_{xe} / \sigma_x \quad (54)$$

أو من العلاقة الآتية:

$$k_e = A_e / A_c \quad (55)$$

وإذا فرضنا أن N_{u1} تمثل تحمل الجزء غير المحصور من المقطع تحسب من العلاقة:

$$N_{u1} = 0.7 * 0.8 * (0.85 f'_c A_{cu}) \quad (56)$$

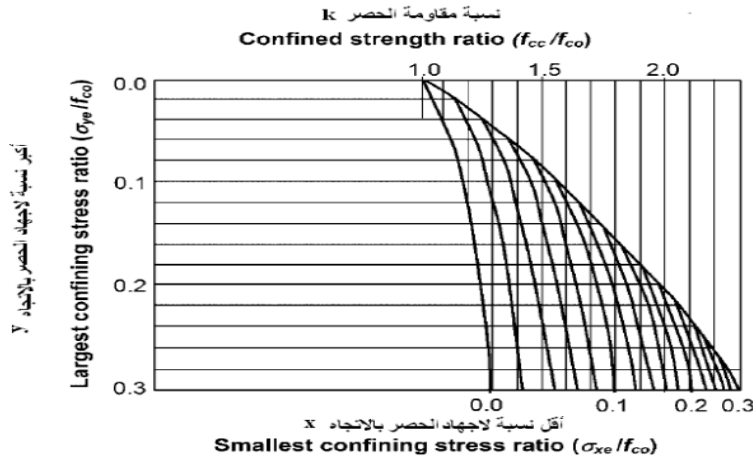
أما نسبة الحصر بالاتجاه y فتحسب من العلاقة:

$$\frac{\sigma_{ye}}{f'_c} \quad (57)$$

وبالاتجاه x من العلاقة:

$$\frac{\sigma_{xe}}{f'_c} \quad (58)$$

كما يوضح الشكل (17-1) نسبة مقاومة الحصر k ، ونسب إجهاد الحصر بالاتجاهين x ، y ونحسب قيمة f'_{cc} من العلاقة الآتية: $f'_{cc} = k * f'_c$ [23]



الشكل (17-1) نسبة مقاومة الحصر k ، ونسب إجهاد الحصر بالاتجاهين x ، y [24]

1-4-3-2 دراسة العمود لتحديد أو حساب تحمل مقطع الخرسانة من الحمولة الشاقولية [23]:

تحتسب N_{u2} (تحمل الجزء المحصور من مقطع العمود) من العلاقة:

$$N_{u2} = 0.7 * 0.8 * (0.85 f'_{cc} A_e) \quad (59)$$

ونحسب قيمة N_{us} (تحمل فولاذ التسليح الطولي) من العلاقة الآتية:

$$N_{us} = 0.7 * 0.8 * (f_y A_{sb}) \quad (60)$$

حيث A_{sb} هي مساحة التسليح الطولي.

وتحسب قدرة تحمل عمود وسطي في بناء للحمولات النازمية (في حالة الحد الأقصى) من العلاقة الآتية:

$$N_u = N_{u1} + N_{u2} + N_{us} \quad (61)$$

كما يمكن حساب تحمل العمود للقوى أو الحمولات النازمية فنعتبر أن المقاومة المكافئة للمقطع A_c من العلاقة:

$$f'_{ceq} = (1 - k_e) f'_c + k_e f'_{cc} \quad (62)$$

فيكون تحمل مقطع العمود بعد تدعيمه وأخذ الزيادة في مقاومة الخرسانة المحصورة مساوياً لـ:

$$N_u = 0.7 * 0.8 * (0.85 f'_{ceq} A_c + A_{sb} * f_y) \quad (63)$$

بينما كانت قيمة تحمل مقطع العمود قبل التدعيم مساوياً لـ:

$$N_u = 0.7 * 0.8 * (0.85 f'_c A_c + A_{sb} * f_y) \quad (64)$$

يركز هذا البحث على التدعيم بالهيكل الفولاذي للأعمدة الخرسانية المسلحة؛ والمعرضة لضغط مركزي، لامركزي، حيث أن تركيب الهيكل الفولاذي يكون سهلاً نسبياً في الموقع، كما أنه فعال لزيادة سعة الحمولة. يتكون الهيكل الفولاذي من أربع زوايا (Angle) مثبتة بأركان العمود، ومبسّطات (Strips) فولاذية أفقية تلحم إلى الزوايا وذات تباعدات محددة، يجب أن يكون طول اللحام كافياً لتجنب انهيار القص عند المفاصل عند الاستثمار. ويطلق على هذه العناصر المجمعة مع بعضها البعض مصطلح الهيكل الفولاذي أو القميص الفولاذي. وتُملأ الفجوات بين الهيكل الفولاذي والسطح الخرساني بواسطة المونة الإسمنتية أو مادة الإيبوكسي لضمان الاتصال الجيد بينهما.

5-1 مشكلة البحث:

Research Problem:

أجرى العديد من الباحثين عدة دراسات لتقييم قدرة تحمل الأعمدة الخرسانية المقواة بهياكل فولاذية وقد تناولت هذه الدراسات المتغيرات (البارامترات) الآتية: (حجم الزوايا، وحجم المبسّطات الأفقية، والمادة الرابطة بين الهيكل الفولاذي

وسطح الخرسانة المسلحة) والتي كان لها تأثير كبير على قدرة التحمل والسلوك، لكن هذه الدراسات لم تأخذ بعين الاعتبار الأعمدة الخرسانية المسلحة المقواة بالهيكل الفولاذية المعرضة لضغط لامركزي مع تثبيت بقية المتغيرات (البارامترات) وكذلك لم تكن الدراسات بالتباعدات بين المبسّطات الأفقية وسماكتها أو سماكة الزوايا الشاقولية كمتغير رئيسي مع تثبيت بقية المتغيرات (البارامترات)، وهناك حاجة إلى مزيد من الدراسات حول سلوك الأعمدة الخرسانية المسلحة المقواة بالهياكل الفولاذية المعرضة لضغط لامركزي بأخذ التباعدات بين المبسّطات الأفقية وسماكتها أو سماكة الزوايا الشاقولية كمتغير رئيسي مع تثبيت بقية المتغيرات (البارامترات)؛ ولتلبية هذه الحاجة سيتم بناء النماذج الخاصة لهذا البحث ودراساتها وتحليلها وفق طريقة العناصر المحدودة؛ وسيتم محاكاة بعض النماذج التجريبية من أجل الدراسات المرجعية باستخدام طريقة العناصر المحدودة.

6-1 أهداف البحث:

Research Objectives:

وسوف يتم تلخيص الأهداف وفق الآتي:

- 1- معرفة مدى فعالية الهيكل الفولاذي في تقوية الأعمدة الخرسانية المسلحة المعرضة لضغط مركزي ولامركزي وذلك في رفع مقاومتها وكفاءتها.
- 2- مقارنة نسب المقاومة للعمود بعد التدعيم وفق متغيرات البحث.
- 3- إعداد وبناء عدد من النماذج للأعمدة الخرسانية المسلحة ذات المقاطع العرضية (المربعة، المستطيلة) المدعمة بهياكل فولاذية وتحليلها باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) بالاعتماد على برنامج [ABAQUS V6.14-3] ودراساتها ومقارنة النتائج.

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

1-2 المقدمة:

اهتم العديد من الباحثين في العقدين الأخيرين بتدعيم وتقوية المنشآت القديمة والحديثة، خاصة المنشآت الخرسانية المسلحة، من أجل عدم انهيارها وزيادة كفاءة عناصرها، وذلك برفع قدرة تحملها للحمولات المطبقة عليها لتقاوم الجهود التي سوف يتعرض لها المنشأ الخرساني بأمان كافٍ، فمثلاً تحتاج الكثير من الأبنية خلال مراحل استثمارها لتدعيم وتقوية بسبب تغيير وظيفتها أو تضرر مواد بنائها نتيجة مرور الزمن أو تعرضها للحرائق أو لهزات أرضية أو عيوب طارئة في التربة. ومع تطور تقنيات هندسة البناء، فقد كرس الباحثون والمهندسون أنفسهم للبحث الدائم عن أفضل المواد والطرق في تدعيم عناصر المنشآت الخرسانية وخاصة الأعمدة التي تعتبر من أهم وأخطر العناصر الإنشائية في هذه المنشآت، وذلك في سبيل تقويتها ورفع كفاءتها. يعتبر التدعيم بالهيكل الفولاذي المكون من (أربع زوايا شاقولية، ومبسطات أفقية ملحومة إلى تلك الزوايا) أحد المتطلبات الأساسية لتحقيق التوازن بين الأداء والكلفة على النحو الأمثل، وهو من أفضل أساليب التدعيم، وهناك العديد من الأبحاث النظرية والتجريبية التي اهتمت بتدعيم وتقوية الأعمدة الخرسانية المسلحة بالهيكل الفولاذي، وسنستعرض في هذا الفصل بعض هذه الأبحاث.

Literatures Review:

2-2 الدراسات المرجعية:

1-2-2 قام الباحث (Ezz-Eldeen, H. A. 2016) [10] بإجراء دراسة تجريبية لتدعيم أعمدة خرسانية مسلحة ذات مقطع عرضي مستطيل معرض لضغط لا مركزي بتقنية الهيكل الفولاذي، وكان الهيكل الفولاذي المستخدم بأبعاد متغيرة للزوايا الشاقولية الملحومة مع المبسطات الأفقية، تم اختبار (17) عينة من الأعمدة بتحميلها بحمولات لامركزية مختلفة حتى حدوث الانهيار، وكانت أبعاد المقطع العرضي للعينات (120*160) mm، وبطول mm (1000)، مسلحة بأربعة قضبان شاقولية من الفولاذ العادي المطاوع بقطر mm (8) والتسليح العرضي من الفولاذ العادي المطاوع بقطر mm (6) وبتباعد بين الأساور mm (120)، تم اختبار (5) عينات من الأعمدة غير المدعمة (عينات مرجعية) تحت تأثير ضغط لامركزي وكانت نسب اللامركزية (e/t=0%, 6.25%, 12.5%, 18.75%, 25%)، وتم توزيع (12) عينة من الأعمدة المدعمة ضمن (3) مجموعات، جميعها كانت أبعاد الزاويتين الشاقوليتين للهيكل الفولاذي في الطرف المشدود للعينات mm (20*20*2) أما الطرف المضغوط فكانت mm (20*20*2) بالنسبة للمجموعة الأولى، mm (40*40*2)، للمجموعة الثانية، mm (60*60*2) للمجموعة الثالثة، وكانت جميع العينات المدعمة معرضة لضغط لامركزي

بنفس نسب اللامركزية السابقة بالنسبة للعينات غير المدعمة، يبين الجدول (1-2) مواصفات العينات للأعمدة المدعمة وغير المدعمة وحمولة الانهيار لكل عينة.

الجدول (1-2): تفاصيل عينات الأعمدة المرجعية والمدعمة بالإضافة إلى حمولة الانهيار [10]

Specimen No.	Steel jacket			eccentricity		Failure load (kN)	Control Failure load (kN) at $e/t = 0$
	straps	Angles tension side	Angles compression side	e (mm)	e/t %		
CS0e0	control			0	0	554	554
CS0e1	control			10	6.25	490	
CS0e2	control			20	12.50	422	
CS0e3	control			30	18.75	371	
CS0e4	control			40	25.00	322	
CS22e1	5 straps 20 x 2 mm	2 angles 20 x 20 x 2mm	2 angles 20 x 20 x 2mm	10	6.25	643	
CS22e2				20	12.50	552	
CS22e3				30	18.75	474	
CS22e4				40	25.00	420	
CS24e1			2 angles 40 x 40 x 2mm	10	6.25	755	
CS24e2				20	12.50	692	
CS24e3				30	18.75	627	
CS24e4				40	25.00	579	
CS26e1			2 angles 60 x 60 x 2mm	10	6.25	816	
CS26e2				20	12.50	781	
CS26e3				30	18.75	700	
CS26e4				40	25.00	621	

ويبين الشكل (1-2) عينات الأعمدة المدعمة.



الشكل (1-2): عينات الأعمدة المدعمة [10]

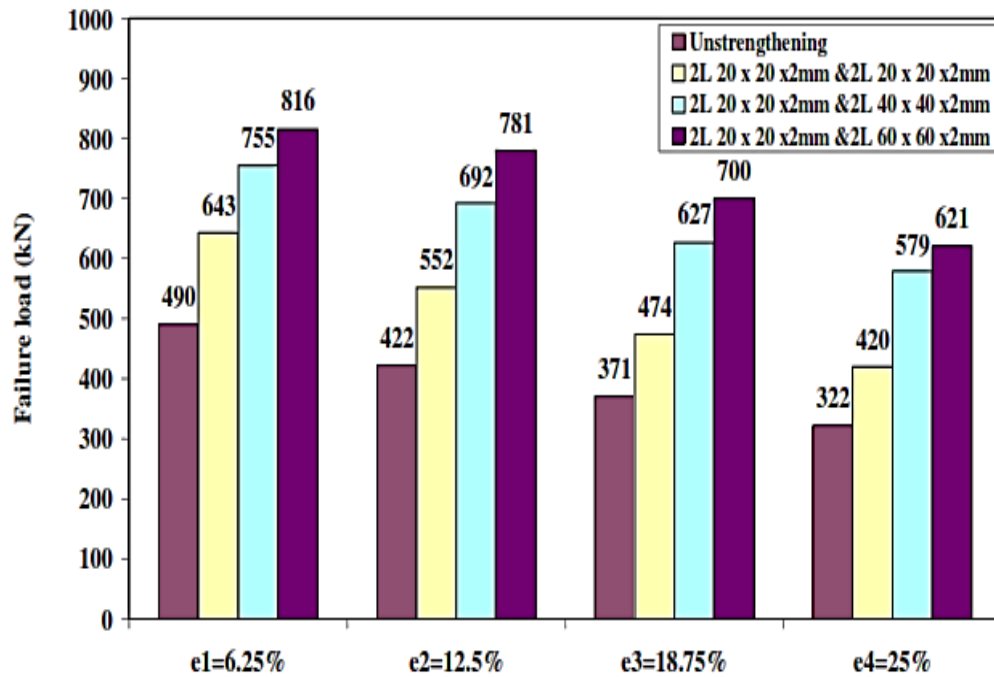
(a) زاويتين بأبعاد $20 \times 20 \times 2$ mm في الطرف المشدود من العمود وزاويتين بأبعاد $20 \times 20 \times 2$ mm في الطرف المضغوط من العمود.

(b) زاويتين بأبعاد $20 \times 20 \times 2$ mm في الطرف المشدود من العمود وزاويتين بأبعاد $40 \times 40 \times 2$ mm في الطرف المضغوط من العمود.

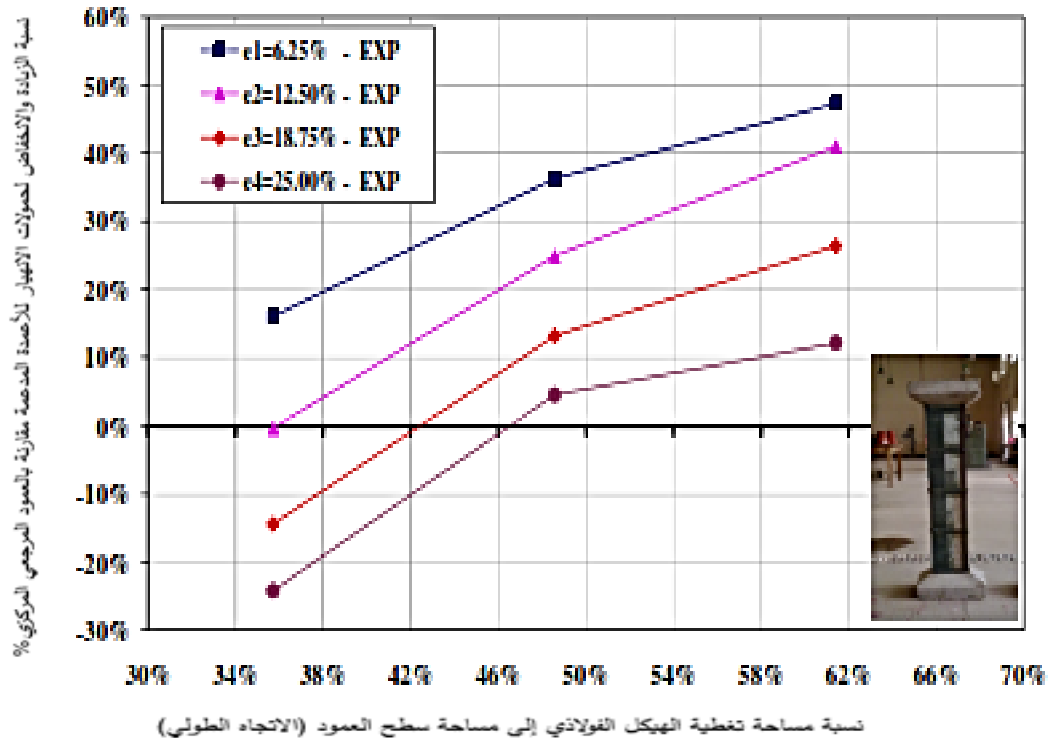
(c) زاويتين بأبعاد $20 \times 20 \times 2$ mm في الطرف المشدود من العمود وزاويتين بأبعاد $60 \times 60 \times 2$ mm في الطرف المضغوط من العمود.

يوضح الشكل (2-2) حمولات الانهيار لعينات الأعمدة المرجعية كما يبين تأثير التدعيم على قدرة التحمل تحت تأثير نسب لامركزية مختلفة.

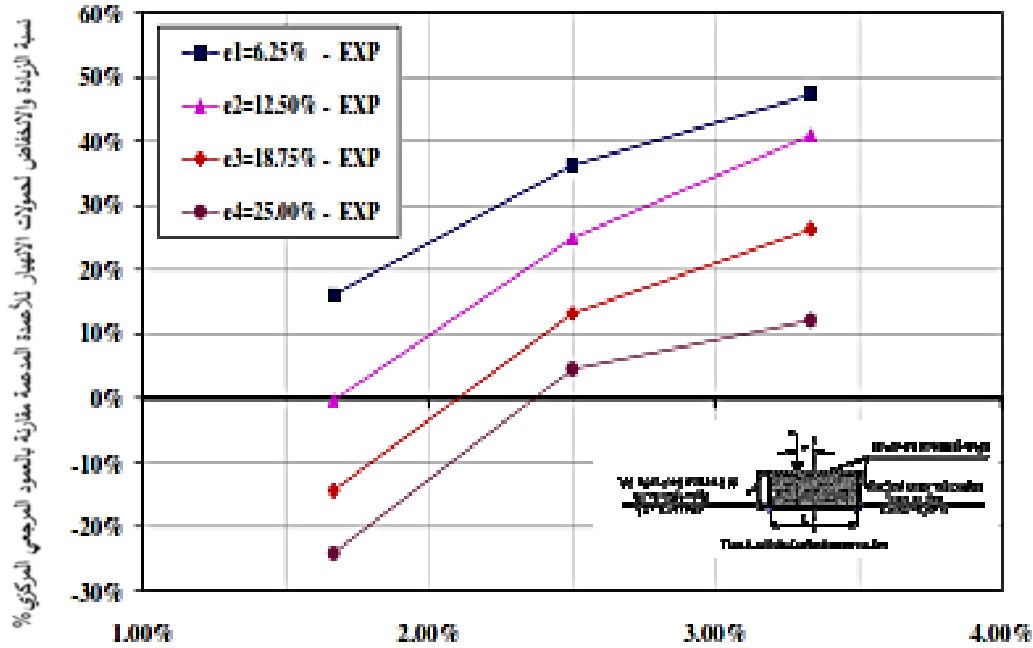
كما يوضح الشكل (3-2) تأثير نسبة مساحة تغطية الهيكل الفولاذي إلى مساحة سطح العمود على قدرة التحمل للعمود، الشكل (4-2) يوضح العلاقة بين نسبة مساحة المقطع العرضي للزوايا الشاقولية للهيكل ومساحة المقطع العرضي للعمود الخرساني على قدرة التحمل للعمود.



الشكل (2-2): حمولة الانهيار للأعمدة المرجعية (غير المدعمة) وللأعمدة المدعمة تحت تأثير نسبة اللامركزية المذكورة [10]



الشكل (2-3): العلاقة بين نسبة مساحة تغطية الهيكل الفولاذي للعمود إلى مساحة سطح العمود ونسبة الزيادة على قدرة تحمل العمود تحت تأثير نسبة اللامركزية المذكورة [10]



نسبة مساحة العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للعمود

الشكل (4-2): العلاقة بين نسبة مساحة المقطع العرضي للزوايا الشاقولية إلى مساحة المقطع العرضي للعمود

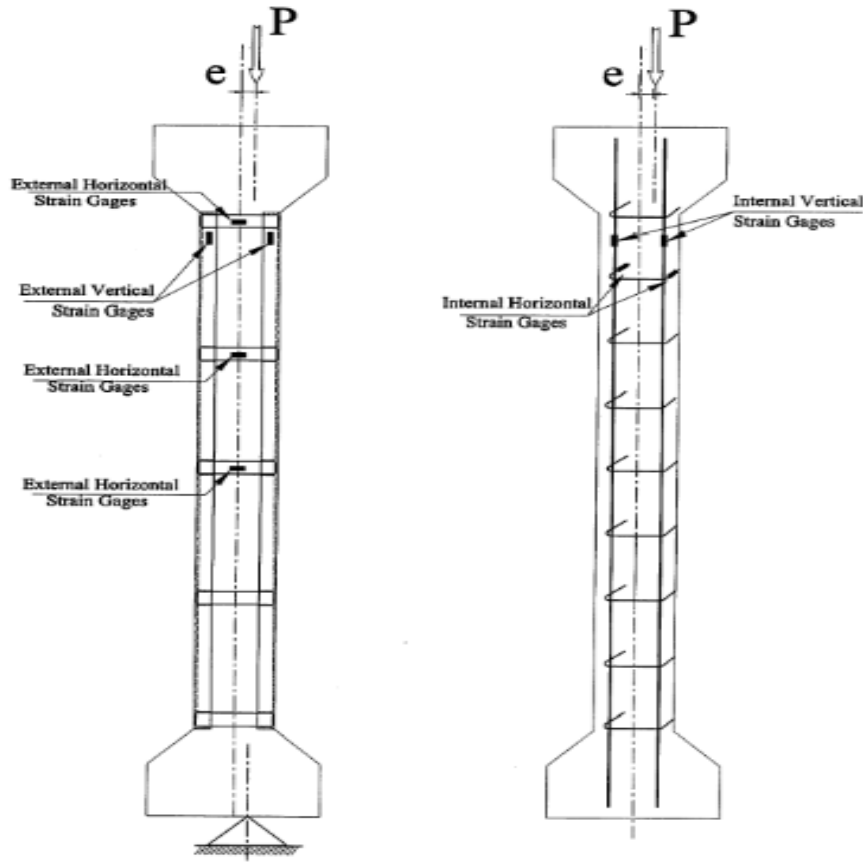
والزيادة في قدرة تحمل العمود تحت تأثير نسبة اللامركزية المذكورة [10]

وفي نهاية البحث تم التوصل إلى النتائج الآتية:

- إن زيادة مساحة تغطية الهيكل الفولاذي للعمود المدعم وكذلك زيادة مساحة المقطع العرضي للزوايا الشاقولية للهيكل الفولاذي أدت إلى زيادة قدرة تحمل الأعمدة المدعمة.
- بزيادة نسبة اللامركزية انخفضت حمولة الانهيار من (816) إلى (621) للأعمدة المدعمة، ومن (490) إلى (322) للأعمدة غير المدعمة. [10]

2-2-2 قام الباحثون (Elsamny.M.K,Hussein .A .A ,Nafie .A .M and Abd-Elhamed .M)

(K. 2013) [9] بإجراء دراسة تجريبية لأعمدة خرسانية مسلحة معرضة لضغط لامركزي مدعمة باستخدام تقنية الهيكل الفولاذي، الذي يتكون من أربع زوايا معدنية شاقولية تتوضع على أركان العمود وملحومة مع مبسطات بالاتجاه العرضي تعطي تطويق إضافي للعمود، قد أجريت الاختبارات على عينات الأعمدة الخرسانية المسلحة بتطبيق ضغط لامركزي بشكل متزايد حتى حدوث الانهيار، كانت عينات الأعمدة الخرسانية المسلحة ذات مقطع عرضي مربع بأبعاد (120*120) mm، بطول (1000) mm، وقد زودت العينات برؤوس في الطرفين العلوي والسفلي بأبعاد (260*260) mm كما هو موضح بالشكل (5-2)، وتم تسليح الأعمدة بتسليح شاقولي بقطر mm (8)، وأساور بقطر mm (6)، بتباعد (120) mm، وبإجهاد خضوع (240 MPa).



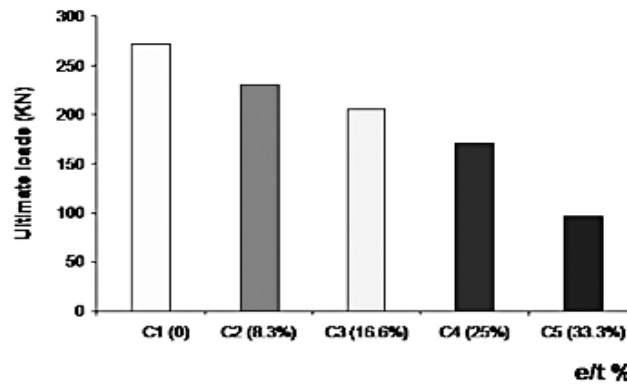
الشكل (5-2): تفاصيل عينات الأعمدة المختبرة [9]

تم اختبار (27) عينة، صنفت هذه العينات إلى مجموعتين: المجموعة الأولى (19) عينة كانت مقاومة الخرسانة المكعبية ($F_{cu}=15 \text{ MPa}$)، المجموعة الثانية (8) عينات كانت مقاومة الخرسانة المكعبية ($F_{cu}=30 \text{ MPa}$)، وأجريت الاختبارات على المجموعة الأولى على الشكل التالي، (5) عينات غير مدعمة تعرضت لضغط لامركزي بلامركزية $cm (0,1,2,3,4)$ على الترتيب ونسب اللامركزية ($e/t=0,8.3\%,16.6\%,25\%,33.3\%$)، باقي العينات الـ (14) كانت مدعمة بأربع زوايا شاقولية بأبعاد $mm (20*20*2)$ وبعدد متغير من المبسطات الأفقية بأبعاد $mm (20*2)$ أيضاً كانت تتعرض لضغط لامركزي وفق نسب اللامركزيات السابقة، أربع عينات كانت فيها (3) مبسطات ، أربع عينات أخرى كانت فيها 5 مبسطات ، وأربعة أخرى 7 مبسطات وكانت جميع المبسطات للعينات السابقة موزعة بانتظام، العينتين الأخيرتين كانت المبسطات فيها موزعة بتباعدات غير منتظمة (5 و 7) مبسطات لبيان أثر تغيير تباعد المبسطات بالقرب من أعلى وأسفل العمود. المجموعة الثانية للعينات تم اختبارها بضغط لامركزي ونسب اللامركزية ($e/t=25\%, 33.3\%$)، وتم تدعيم العينات بـ (3) مبسطات موزعة بانتظام بتباعدات متساوية، باستثناء أبعاد الزوايا الشاقولية التي كانت متغيرة، $mm (10*10*2)$ ، $mm (20*20*2)$ ، $mm (40*40*2)$ ، يوضح الجدول (2-2) التفاصيل الكاملة للعينات.

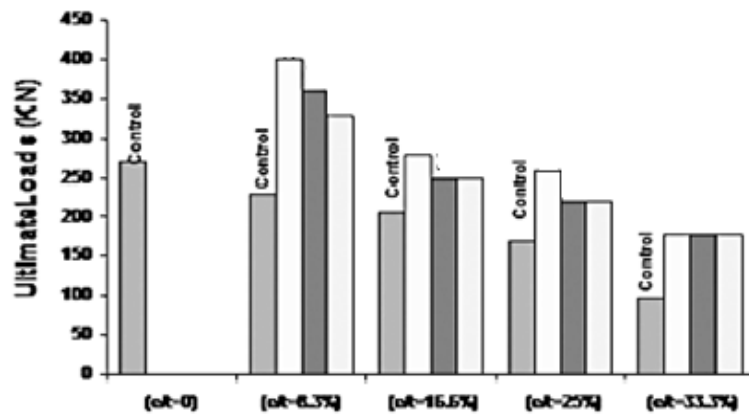
الجدول (2-2): تفاصيل عينات الأعمدة [9]

Code	F_{cu} N/mm ²	(e/t)	Conversion from Gaussian and CGS EMU to SI ^a
C1	15	0	No Strengthening
C2	15	8.3 %	No Strengthening
C3	15	16.6 %	No Strengthening
C4	15	25 %	No Strengthening
C5	15	33.3 %	No Strengthening
C1 T3	15	8.3 %	4 angles (20x20) & 3 uniformly distributed straps
C2 T5	15	8.3 %	4 angles (20x20) & 5 uniformly distributed straps
C3 T7	15	8.3 %	4 angles (20x20) & 7 uniformly distributed straps
C4 T3	15	16.6 %	4 angles (20x20) & 3 uniformly distributed straps
C5 T5	15	16.6 %	4 angles (20x20) & 5 uniformly distributed straps
C6 T7	15	16.6 %	4 angles (20x20) & 7 uniformly distributed straps
C7 T3	15	25 %	4 angles (20x20) & 3 uniformly distributed straps
C8 T5	15	25 %	4 angles (20x20) & 5 uniformly distributed straps
C9 T7	15	25 %	4 angles (20x20) & 7 uniformly distributed straps
C10 T3	15	33.3 %	4 angles (20x20) & 3 uniformly distributed straps
C11 T5	15	33.3 %	4 angles (20x20) & 5 uniformly distributed straps
C12 T7	15	33.3 %	4 angles (20x20) & 7 uniformly distributed straps
C13 T5	15	33.3 %	4 angles (20x20) & 5 non-uniformly distributed straps
C14 T7	15	33.3 %	4 angles (20x20) & 7 non-uniformly distributed straps
C15	30	33.3 %	No Strengthening
C17A1 X1	30	33.3 %	4 angles (10x10) & 3 uniformly distributed straps
C18A2 X2	30	33.3 %	4 angles (20x20) & 3 uniformly distributed straps
C19A4 X4	30	33.3 %	4 angles (40x40) & 3 uniformly distributed straps
C16	30	25 %	No Strengthening
C20A1 X1	30	25 %	4 angles (10x10) & 3 uniformly distributed straps
C21A2 X2	30	25 %	4 angles (20x20) & 3 uniformly distributed straps
C21A4 X4	30	25 %	4 angles (40x40) & 3 uniformly distributed straps

يوضح الشكل (6-2) حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة (المرجعية) تحت تأثير نسب اللامركزية المذكورة، نلاحظ أن قدرة تحمل العمود المعرض لضغط لامركزي عند نسبة اللامركزية (33.3%) انخفضت من (270 KN) إلى حوالي (100 KN) بالنسبة للعمود المعرض لضغط مركزي، الشكل (7-2) يوضح حمولة الانهيار بالنسبة للأعمدة المدعمة، نلاحظ زيادة قدرة التحمل من (37.5%) إلى (85%) مقارنة مع العمود المرجعي المعرض لضغط مركزي في المجموعة الأولى، كما نلاحظ أيضاً أن الأعمدة المدعمة بخمس أو سبع مبسطات أظهرت زيادة بسيطة في قدرة التحمل بالمقارنة مع الأعمدة المدعمة بثلاث مبسطات، إذ تبدو النتيجة غير منطقية لأنه كان من المتوقع أن إضافة المزيد من المبسطات تزيد كثيراً من فعل التطويق وبالتالي ترفع من قدرة تحمل العمود، كما أظهرت الدراسة التجريبية أن الانهيار كان يحدث في الجزء غير المطوق من العمود بين المبسطات الأفقية، بناءً على ما سبق نجد أن عدد المبسطات لا يؤثر على الحمولة الأعظمية للأعمدة المدعمة، وبالنسبة لتأثير توزيع المبسطات فقد تم اختبار عينتين مدعمتين بخمس وسبع مبسطات بتوزيع غير منتظم، حيث تم وضع مبسطة في منتصف طول العينة وبقية المبسطات موزعة بتباعدات (بحيث تشكل وثاقة) بالقرب من أعلى وأسفل العمود، ففي هذه الحالة الانهيار لم يحصل بين المبسطات بالقرب من نهايتي العمود ولكنه حصل بين المبسطات ذات التباعدات الكبيرة، كما هو واضح بالشكل (8-2).



الشكل (6-2): حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة [9]



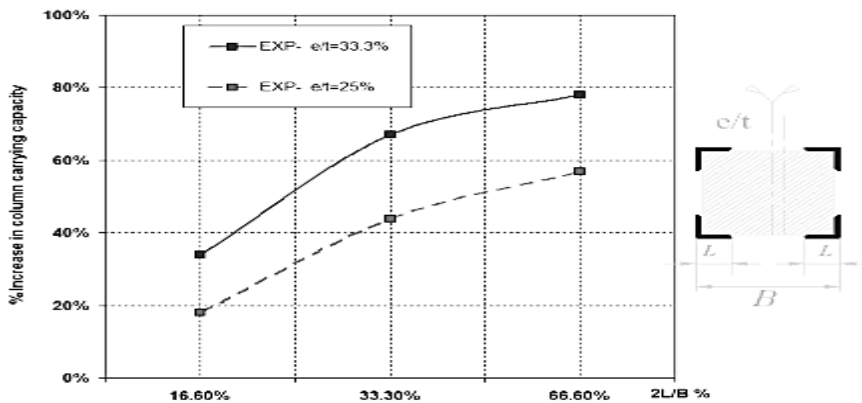
الشكل (7-2): حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة [9]



الشكل (2-8): شكل الانهيار للأعمدة المدعمة المزودة بمبسطات ذات توزيع غير منتظم [9]

كما نلاحظ أن قدرة التحمل للعمود قد زادت فقط بحوالي (3%)، بالتالي نجد أنه إذا تم تدعيم العمود بمبسطات ذات تباعدات صغيرة (تطويق بشكل محكم) على كامل ارتفاع العمود سوف يزيد بشكل كبير من قدرة تحمل العمود، ولكن سيؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة في الكلفة.

الشكل (2-9) يوضح تأثير زيادة أبعاد الزوايا الشاقولية على حمولة الانهيار للأعمدة، حيث زادت القدرة من (18%) إلى (34%) عند التدعيم بزوايا شاقولية ذات أبعاد $10 \times 10 \times 2$ mm في حالة نسب اللامركزية ($e/t=25\%$, 33.3%)، كانت الزيادة في قدرة التحمل كبيرة بزيادة أبعاد الزوايا الشاقولية $40 \times 40 \times 2$ mm فقد وصلت إلى (78%) في حالة نسبة اللامركزية (33%) لأن اللامركزية صغيرة والانهيار يحدث في منطقة الضغط دون انهيار منطقة الشد وتقوية منطقة الضغط سيؤدي إلى زيادة قدرة تحمل العمود.



الشكل (2-9): تأثير أبعاد الزوايا الشاقولية في المنطقة المضغوطة على حمولة انهيار الأعمدة [9]

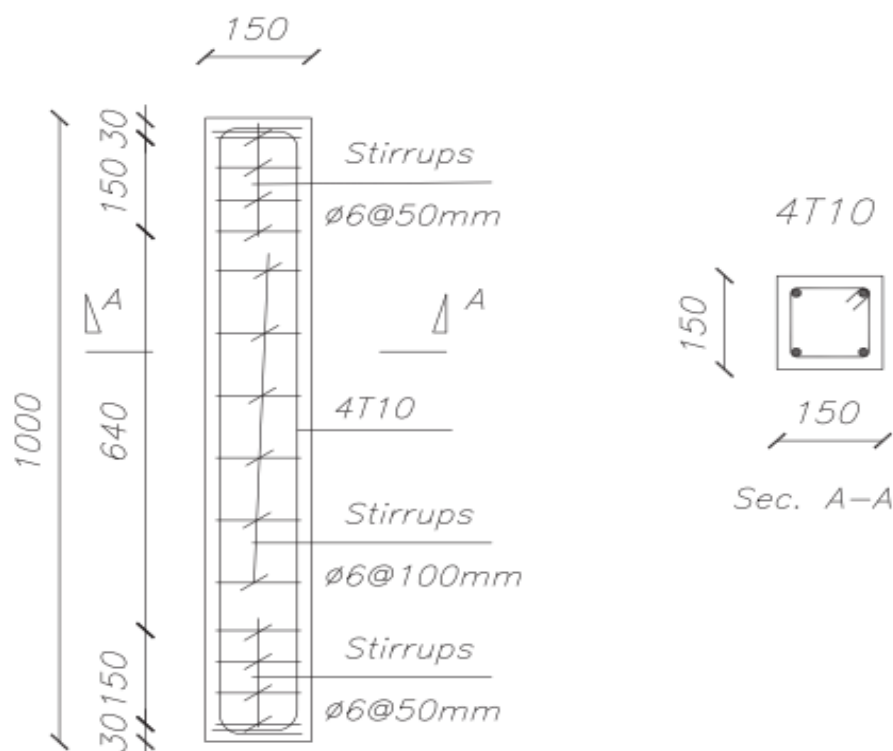
وقد توصل الباحثون إلى النتائج الآتية:

- زيادة نسبة اللامركزية خفضت بشكل واضح من حمولة الانهيار بنسبة (85%) وذلك عند النسبة ($e/t=33.3\%$) وزادت مقدار الانزياح بمقدار 21% مقارنةً مع المركزي.
- زيادة أبعاد الزوايا رفعت من قدرة التحمل من (37%) إلى (78%).
- إن عدد المبسطات الأفقية لم يؤثر بشكل ملموس على قدرة تحمل الأعمدة، وذلك يمكن أن يعزى إلى التباعد الكبير بين المبسطات.

- زيادة مقاومة الخرسانة أدت إلى زيادة قدرة تحمل الأعمدة بنسبة (31%). [9]

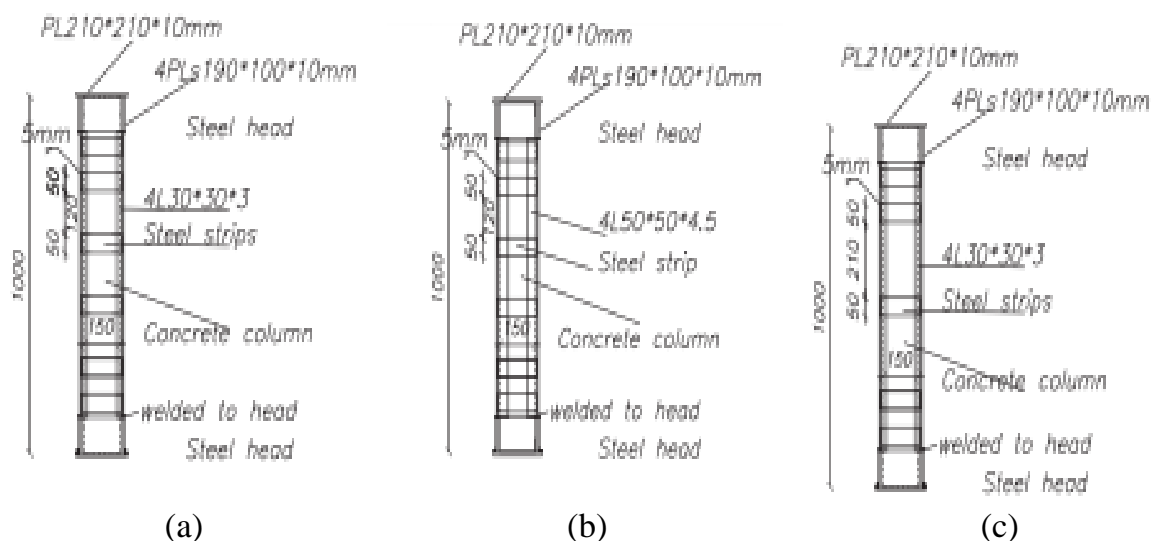
3-2-2 قام الباحثان (Tarabai. A.M., H.F. Albakry. 2014) [19] بدراسة تجريبية لأعمدة خرسانية مسلحة مدعمة بزوايا فولاذية ومبسطات أفقية (هيكل فولاذي)، كان الهدف من هذا البحث هو دراسة سلوك وفعالية هذه الأعمدة المعرضة لضغط مركزي، وكانت المتغيرات الرئيسية في هذه الدراسة (مقاومة الخرسانة، أبعاد الزوايا الفولاذية، التباعد بين المبسطات الأفقية، نوع المادة اللاصقة بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني، موقع اللحام بين الهيكل الفولاذي وأطراف العينات).

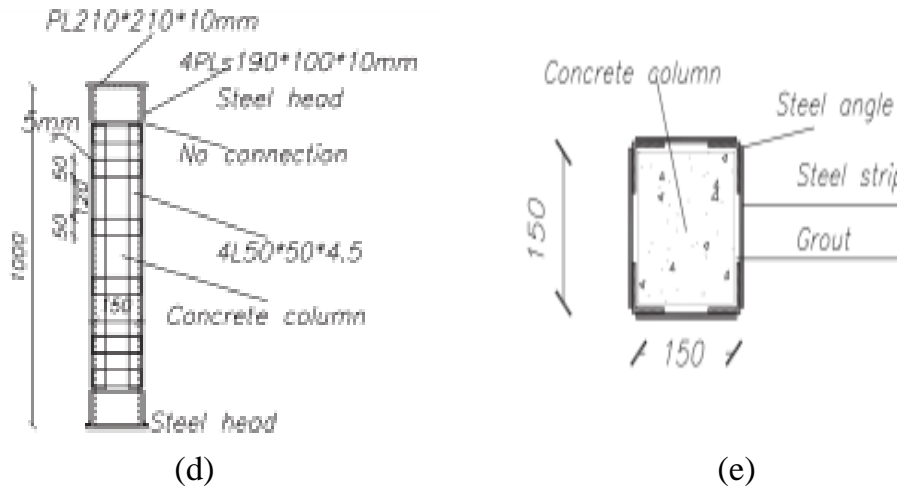
وتمت الدراسة التجريبية على عشر عينات لأعمدة معرضة لضغط مركزي حتى الانهيار، العينات كانت ذات مقطع عرضي مربع بأبعاد (150*150) mm، وطول (150) cm، باستخدام خرسانة ذو مقاومتين مميزتين مكعبيتين مختلفين ($F_{cu}=47.5$ MPa)، ($F_{cu}=57.8$ MPa)، وجميع العينات المختبرة بنفس التسليح الطولي الذي هو عباره عن (4T10) والتسليح العرضي قطره 6 mm بتباعد (100) mm، وتبعد (50) mm عن أطراف العمود، كما هو موضح بالشكل (2-10)، تمت حماية أطراف العينات برؤوس معدنية بسماكة (10) mm، وتم ملء الفراغ بين أطراف العينات والرأس المعدني بمادة لاصقة اسمنتية مائعه.



الشكل (10-2): تفاصيل فولاذ التسليح لعينات الأعمدة الخرسانية [19]

قسمت العينات إلى مجموعتين، في كل مجموعة عينة لعمود غير مدعم (مرجعي)، وباقي العينات مدعمة بهيكل فولاذي (زوايا شاقولية ومبسطات أفقية)، حيث كانت أبعاد الزوايا الشاقولية لعينات الأعمدة المدعمة للمجموعة الأولى $50 \times 50 \times 4.5$ mm، وللمجموعة الثانية $30 \times 30 \times 3$ mm، وعرض المبسطات الأفقية 50 mm، تم تقليل التباعد بين المبسطات بالقرب من أطراف عينات الأعمدة إلى 50 mm وذلك لتخفيف ضرر الانهيار الموضعي عند الأطراف، لجعل الانهيار يحدث عند منتصف العمود، يوضح الشكل (11-2) تباعد وعدد المبسطات وتفاصيل التدعيم لعينات من الأعمدة المدعمة.





(a)-العينة (SC1). (b)-العينة (SCN1). (c)-العينة (SCW2).

(d)-العينة (SE2). (e)-المقطع العرضي للعمود المدعم.

الشكل (11-2): تفاصيل بعض عينات الأعمدة المدعمة [19]

ويوضح الجدول (3-2) تفاصيل العينات المختبرة: الأبعاد بين المبسطات الأفقية، أبعاد الزوايا، نوع الاتصال بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني المسلح.

الجدول (3-2): تفاصيل عينات الأعمدة المختبرة [19]

specimen	group	Spacing of strips	Center angle	Grout type	Angle-head connection	$f_{cu}(N/mm^2)$
N1(reference)	1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	57.8
SC1	1	170	4L50*50*4.5	cement	connected	57.8
SCN1	1	170	4L50*50*4.5	Cement	Not connected	57.8
SCW1	1	260	4L50*50*4.5	cement	connected	57.8
SE1	1	170	4L50*50*4.5	epoxy	connected	57.8
N1(reference)	2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	47.5
SC2	2	170	4L30*30*3	cement	connected	47.5
SCN2	2	170	4L30*30*3	Cement	Not connected	47.5
SCW2	2	260	4L30*30*3	cement	connected	47.5
SE2	2	170	4L30*30*3	epoxy	connected	47.5

وقد تم ملئ الفراغ المتبقي بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني بماده لاصقة، حيث يوضح الجدول (4-2) موصفات المادة الرابطة بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني المسلح.

الجدول (4-2): موصفات المادة الرابطة بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني المسلح

Grout material	Compressive strength (after 24 h) (N/mm ²)	Flexural strength (N/mm ²)
Cementitious mortar	18-20	6.95
Epoxy Grout	100	40

والجدول (5-2) يبين الخصائص الميكانيكية للزوايا الشاقولية والمبسطات الأفقية للهيكل الفولاذي، وفولاذ التسليح الطولي.

الجدول (5-2): الخصائص الميكانيكية للزوايا الشاقولية والمبسطات الأفقية وفولاذ التسليح الطولي

Item	Type	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
10 mm	Reinforcement	420.0	—
L 50°50°4.5	Corner angle	415.0	540.0
L 30°30°3	Corner angle	485.0	699.0

f_y : Yield stress.
 f_u : Maximum stress.

ويبين الشكل (12-2) آلية حدوث الانهيار في العينات، حيث بدأ التحنيب في واحدة أو أكثر من الزوايا الشاقولية، بعد ذلك حصل التحنيب في قضبان فولاذ التسليح، ثم انهيار جزء من خرسانة العينة بالقرب من هذه القضبان.



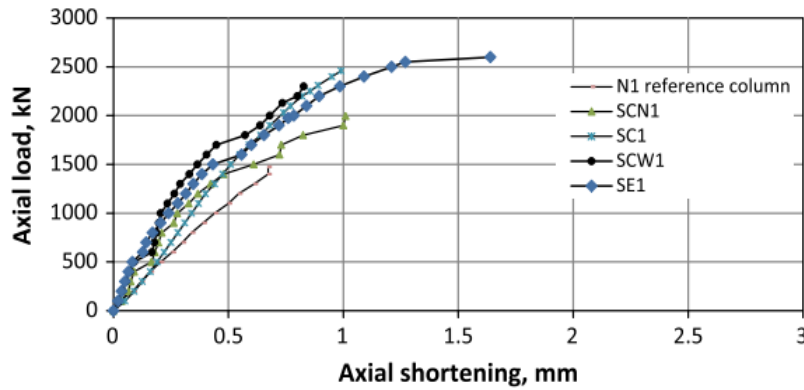
الشكل (12-2) أشكال الانهيار لعينات الأعمدة المدعمة [19]

كما يوضح الشكل (13-2) انفصال اللحام بين الزوايا الشاقولية والمبسطات الأفقية في بعض العينات، ذلك بعد حدوث التحنيب في الزوايا الشاقولية.

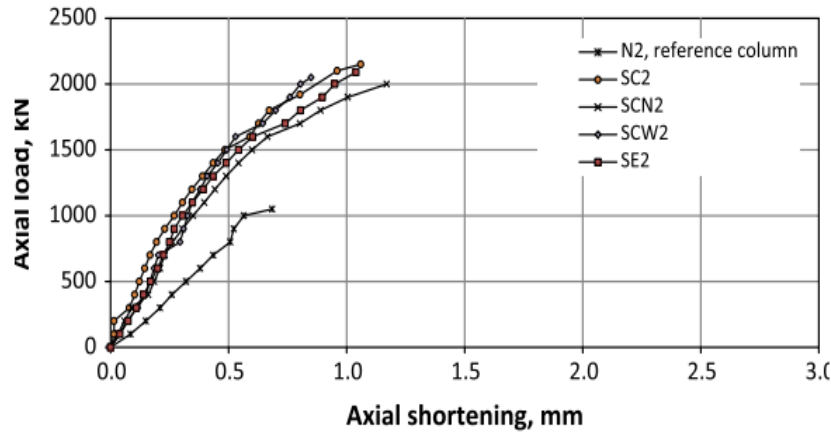


الشكل (13-2) انفصال اللحام بين المبسطات الأفقية والزوايا الشاقولية في بعض عينات الأعمدة المدعمة

يبين الشكل (14-2) منحنى (الحمولة الشاقولية-الانزياح الشاقولي) في المجموعة الأولى، وكما يبين الشكل (2-15) منحنى (الحمولة الشاقولية-الانزياح الشاقولي) في المجموعة الثانية.

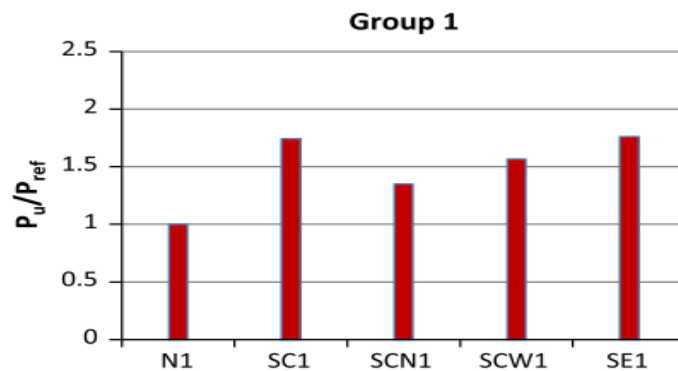


الشكل (14-2): منحنى (الحمولة الشاقولية-الانزياح الشاقولي) في المجموعة الأولى [19]



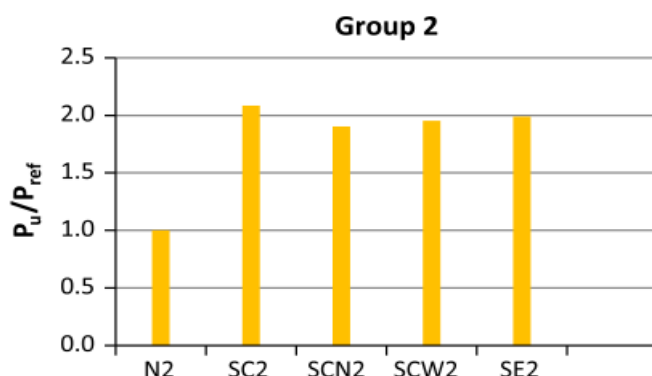
الشكل (15-2): منحنى (الحمولة الشاقولية-الانزياح الشاقولي) في المجموعة الثانية [19]

يوضح الشكل (2-16) نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة (الأعمدة المرجعية) في المجموعة الأولى.



الشكل (2-16): نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير مدعمة في المجموعة الأولى [19]

ويوضح الشكل (2-17) نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير مدعمة (الأعمدة المرجعية) في المجموعة الثانية.



الشكل (2-17): نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير مدعمة في المجموعة الثانية [19]

يوضح الجدول (2-6) حمولات الانهيار للأعمدة المختبرة المدعمة وغير المدعمة، الانزياح الأعظمي، والتشوه الأعظمي، نسبة حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة إلى حمولة الانهيار للأعمدة غير المدعمة (الأعمدة المرجعية) في المجموعتين الأولى والثانية.

الجدول (2-6): النتائج النهائية للأعمدة المدعمة وغير المدعمة في المجموعتين الأولى، والثانية [19]

Specimen	Group	f_{cu} (MPa)	$P_{failure}$ (kN)	Max. axial shortening (mm)	Max. axial strain	$P_{ou} = \frac{P}{f_{av} A_e}$	$\frac{P_{failure}}{P_{reference}}$
N1 (reference)	1	57.80	1475.00	0.67	0.0017	1.13	1.00
SC1	1	57.80	2570.00	0.99	0.0025	1.98	1.74
SCN1	1	57.80	1990.00	1.00	0.0025	1.46	1.35
SCW1	1	57.80	2310.00	0.83	0.0021	1.77	1.57
SE1	1	57.80	2600.00	1.64	0.0041	2.00	1.76
N2 (reference)	2	47.50	1050.00	0.69	0.0017	0.98	1.00
SC2	2	47.50	2190.00	1.06	0.0027	2.01	2.08
SCN2	2	47.50	2000.00	1.17	0.0029	1.87	1.90
SCW2	2	47.50	2050.00	0.93	0.0023	2.00	1.95
SE2	2	47.50	2090.00	1.04	0.0026	1.96	1.99

P_{ou} is the normalized ultimate axial load.

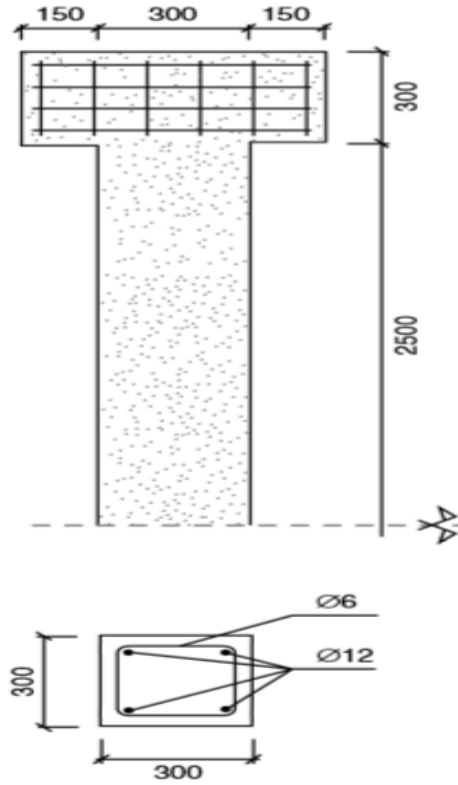
وقد توصل الباحثان إلى النتائج الآتية:

- تبين أن هذه الطريقة في التدعيم كانت ذات فعالية كبيرة، حيث زادت في قدرة تحمل الأعمدة من 1.35 إلى 2.1 مرة مقارنة بالأعمدة غير المدعمة، وهذه الزيادة كانت نتيجة لتأثير التطويق، لتحمل الزوايا الشاقولية لجزء من الحمولة حتى في حالة تحميل الزوايا غير المباشر (أي عدم إجراء اللحام بين الزوايا الشاقولية والرؤوس المعدنية الموجودة في أطراف العمود)، حيث أن المطاوعة ازدادت بنسبة 50% بالمقارنة مع الأعمدة غير المدعمة.

- بدأ الانهيار بالتحنيب في الزوايا الشاقولية ثم بدأت بالتدن في أغلب الحالات. لم يلاحظ تلدن في المبسطات الأفقية وكان ذلك نتيجة أبعاد المبسطات الكبيرة نسبياً مقارنة بأبعاد الزوايا الشاقولية.
- إن استخدام مادتي الإيبوكسي والاسمنت كماده لاصقة بين الهيكل الفولاذي والسطح الخرساني أدى إلى تحسن بسيط في قدرة تحمل الأعمدة الخرسانية المدعمة وبالتالي إن استخدام الاسمنت كمادة لاصقة يمكن أن يكون اقتصادياً مقارنة مع مادة الإيبوكسي.
- في حالة التحميل المباشر (إجراء اللحام للزوايا الشاقولية مع الرؤوس المعدنية الموجودة في أطراف العمود) حدث التلدن في الزوايا قبل حدوث الانهيار، أما في حالة التحميل غير المباشر (عدم إجراء اللحام بين الزوايا والرؤوس المعدنية الموجودة في أطراف العمود) كان التحميل يطبق على الزوايا عبر الاحتكاك الحاصل بين العمود والهيكل الفولاذي، حيث أن الزوايا لم تصل إلى مرحلة التلدن [19].

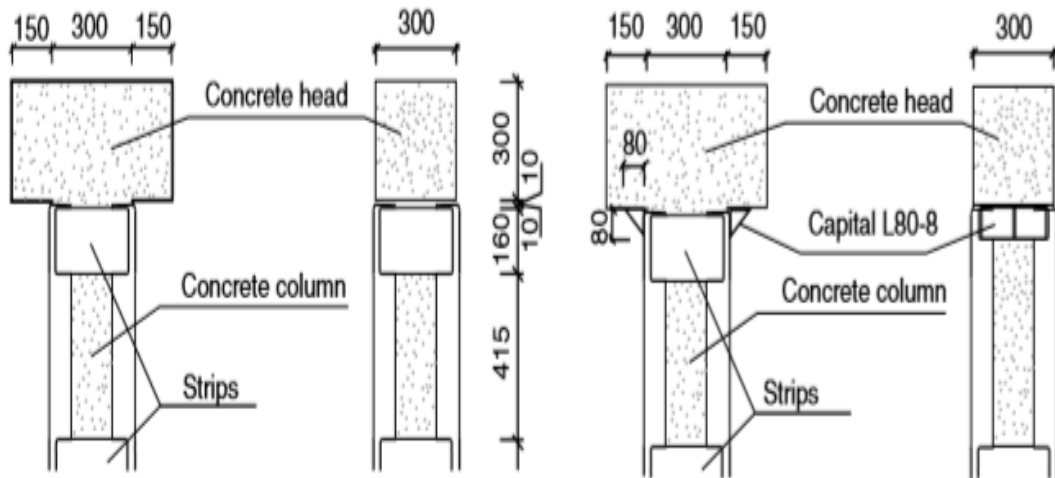
4-2-2 قام الباحثون (Giménez .E ,Adam .J .M ,Ivorra .S ,Moragues .J .J and Calderón .P .A. 2008) [11] بدراسة تجريبية لسلوك الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بهيكل فولاذي، وبأبعاد حقيقية، وجميع الأعمدة معرضة لضغط مركزي، وتم دراسة تأثير مختلف العوامل على سلوك الأعمدة المدعمة، وقد أظهرت النتائج المخبرية أن التدعيم أعطى فعالية عالية في زيادة الحمولة الحدية للعمود في الصلابة وفي التشوه الحدي، وكانت متغيرات البحث: حالة تطبيق التحميل للأعمدة (رفع الحمولة قبل إجراء التدعيم أو تطبيق الحمولة أثناء التدعيم)، نوع الاتصال بين الأعمدة و الجوائز (وجود تاج يؤمن الاتصال أو عدم وجوده)، نوع المادة اللاصقة بين الزوايا الشاقولية للهيكل الفولاذي (إسمنت أو إيبوكسي).

وكانت أبعاد الأعمدة mm (300*300*2500)، وتم صب الأعمدة برؤوس في الطرفين العلوي والسفلي لمحاكاة العقدة بين العمود والجائز، تفاصيل وأبعاد الأعمدة موضحة بالشكل (2-18)، وأما مقاومة الخرسانة فكانت بين MPa (12-15.5)، ومن أجل العينات التي تكون المادة اللاصقة فيها بين الزوايا الشاقولية والسطح الخرساني إيبوكسي خفضت المقاومة المميزة الاسطوانية إلى MPa (8.3)، حيث كانت مقاومة الخرسانة منخفضة لتحاسي فترة السبعينات في اسبانيا، بالنسبة للتسليح الشاقولي كان (4 T12)، الأساور (Ø6) بتباعد mm (200)، وإجهاد الخضوع لفولاذ التسليح هو MPa (Fy=400)، تم التدعيم بأربع زوايا أبعادها mm (80*80*8) مع خمس مبسطات أبعادها mm (270*160*8) والتباعدات بين هذه المبسطات متساوية حوالي mm (415) وإجهاد الخضوع للهيكل الفولاذي (Fy=270 MPa).



الشكل (18-2): أبعاد وتفاصيل الأعمدة الخرسانية المسلحة [11]

عدد العينات (14) عينة، (2) منها غير مدعمة، (12) مدعمة مقسمة إلى مجموعتين حسب نوع التدعيم، المجموعة الأولى (A) كانت الزوايا الشاقولية فيها غير متصلة مع رأسي العمود (أي لم يتم لحام الزوايا الشاقولية بالزوايا الأفقية المثبتة مع رأسي العمود)، بينما المجموعة الثانية (B) تم تزويد العينات بتاج (زوايا أفقية) لتأمين الاتصال بين رأسي العمود وعناصر الهيكل الفولاذي، يبين الشكل (19-2) تفاصيل المجموعتين (A)، (B).



الشكل (19-2): تفاصيل العينات للأعمدة غير المزودة بتاج (A) والمزودة بتاج (B)، الأبعاد ب (mm) [11]

تم اختبار التحميل للأعمدة وفق طريقتين مختلفتين. الطريقة الأولى: النوع (D) حيث تم تدعيم بعض الأعمدة بعد رفع الحمولة المطبقة عليها، أما الطريقة الثانية: النوع (C) تم تعريض الأعمدة أثناء التدعيم لحمولة محورية (900 kN) والتي تشكل تقريبا (70%) من حمولة الضغط الحدية، وذلك لمحاكاة الحالة الواقعية للأعمدة في الأبنية السكنية، والجدول (7-2) يوضح مواصفات العينات والمتغيرات ونتائج الاختبار.

الجدول (7-2): نتائج اختبار عينات الأعمدة [11]

	Name of columns	Type of capital	Concrete Strength (MPa)	Steel Strengthening N_{st} (kN)	ULTIMATE LOADS		N_{se} (kN)	N_{se}/N_{st} (%)	ΔN (kN)	Eff = $\Delta N/N_{st}$ (%)
					THEORETICAL N_{ct} (kN)	TEST RESULTS $N_{st} = N_{ct} + N_{ut}$ (kN)				
Controls	Hx	-	12.0	-	1261	-	1275	-	-	-
	Hy	-	11.8	-	1243	-	1252	-	-	-
Strengthening built with the column previously unloaded and cement mortar as adhesive										
AD	ADx	A	15.4	1353	1567	2920	2652	91	1085	80
	ADy	A	15.6	1353	1585	2938	1636 ¹	-	-	-
	BDx	B	11.0	1353	1171	2424	2090	86	919	68
BD	BDy	B	10.2	1353	1099	2452	2111	86	1012	75
Strengthening built with the column previously unloaded and epoxy mortar as adhesive										
MEAD	MEADx	A	8.3	1353	946	2299	1835	80	889	66
	MEADy	A	8.3	1353	946	2299	1855	80	909	67
	MEBDx	B	8.3	1353	946	2299	1922 ¹	-	-	-
MEBD	MEBDx	B	8.3	1353	946	2299	2040	89	1094	81
Strengthening built while the column was loaded and cement mortar as adhesive										
AC	ACx	A	12.3	1353	1288	2641	2300	87	1012	75
	ACy	A	12.5	1353	1306	2659	2290	86	984	73
	BCx	B	13.8	1353	1423	2776	2104 ¹	-	-	-
BC	BCy	B	14.2	1353	1459	2812	2261	81	802	60

¹ Anomalous failure

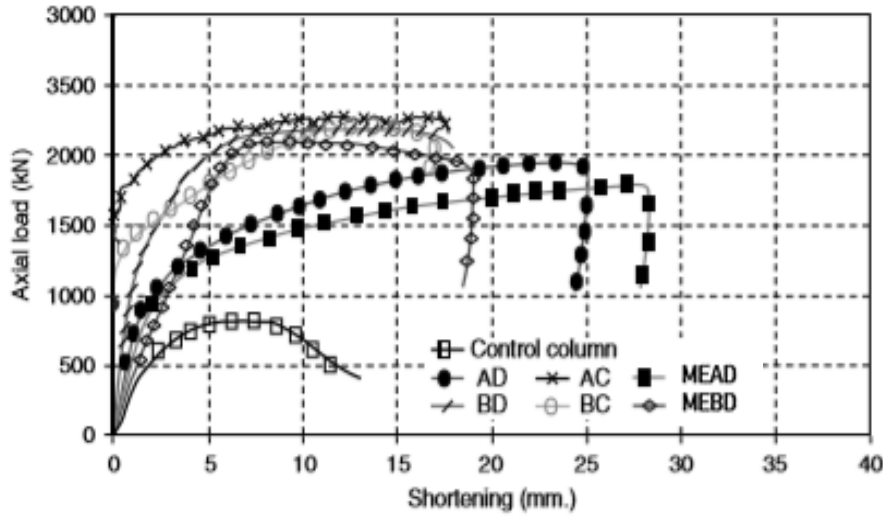
يوضح الشكل (20-2) العينة المختبرة من النوع (B) المزودة بتاج، حيث تم تدعيمها بعد رفع الحمولة المطبقة عليها أي من النوع (D).



الشكل (20-2): العينة المختبرة من النوع (B) المزودة بتاج، حيث تدعيمها بعد رفع الحمولة النوع (D) [11]

وتم ملئ الفراغ بين المبسطات الأفقية والسطح الخرساني للعمود باستخدام الأسمنت كمادة لاصقة، بينما تم تثبيت الزوايا الشاقولية بالسطح الخرساني بمادة الإيبوكسي أو الاسمنت، وذلك لضمان الاتصال بين الهيكل الفولاذي والخرسانة.

يبين الشكل (21-2) منحنيات (الحمولة-الانزياح الشاقولي) لجميع العينات المدعمة وغير المدعمة، وجميع الأنواع.



الشكل (21-2): منحنيات (الحمولة-الانزياح الشاقولي) لجميع العينات المختبرة [11]

يبين الشكل (22-2) الانهيار في العمود المدعم المختبر.



الشكل (22-2): الانهيار في العمود المدعم المختبر [11]

وقد توصل الباحثون إلى النتائج الآتية:

- أن جميع العناصر المختبرة أظهرت تحسناً ملحوظاً في مقاومة الضغط والانزياح الشاقولي عند الانهيار، حيث أن قيمة حمولة الانهيار التي وصلت لها الأعمدة المدعمة المختبرة كانت أقل من مجموع قيم حمولات الانهيار

للأعمدة الخرسانية والهيكل الفولاذي المحسوبة نظرياً، كانت نسب قيم حمولات الانهيار للأعمدة المدعمة المختبرة بين % (81-91) بالنسبة للقيم النظرية المحسوبة، وكانت نسب حمولات الانهيار التجريبية إلى النظرية بالنسبة للهيكل الفولاذي تتراوح بين % (60-80).

- لم يكن هناك اختلاف كبير في سلوك الأعمدة في حالة استخدام مادة الإيبوكسي أو مادة الاسمنت كمادة لاصقة بين الهيكل الفولاذي والسطح الخرساني كما هو موضح في الشكل (21-2).

- حدث الانهيار في أطراف العمود المدعم بدون تاج النوع (A)، وذلك بسبب الانعطاف الحاصل في الزوايا الشاقولية نتيجة إجهاد الحصر للخرسانة كما هو موضح بالشكل (21-2)، حدث ذلك أيضاً للأعمدة المزودة بتاج النوع (B)، وكما لوحظ أيضاً في هذه العينات حدوث تحنيب موضعي للزوايا الشاقولية بالقرب من التاج.

- في العينات التي تم تدعيمها قبل التحميل (AD، BD) لوحظ هناك تحسن في توزيع الحمولة إلى الزوايا الشاقولية سواءً كانت هذه العينات مزودة بتاج أو بدون تاج.

- في العينات المزودة بتاج حدث الانهيار في الخرسانة عند مقاومة أعلى بقليل من مقاومة الضغط، وكان للزوايا الشاقولية دور مهم في المقاومة عند أطراف العمود.

- وكما بينت النتائج تحسناً ضئيلاً في مقاومة وسلوك الأعمدة المدعمة قبل التحميل مقارنة مع الأعمدة المدعمة بعد التحميل.

5-2-2 قام الباحثون (Ali .A .G ,Khalil .A ,Beih .A. 2018) [3] بدراسة سلوك الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي تحت تأثير ضغط لامركزي حتى الانهيار، وكان المتغير في هذه الدراسة هو شكل التدعيم، تم إيجاد حمولات الانهيار للعينات والانتقالات والتشوهات .

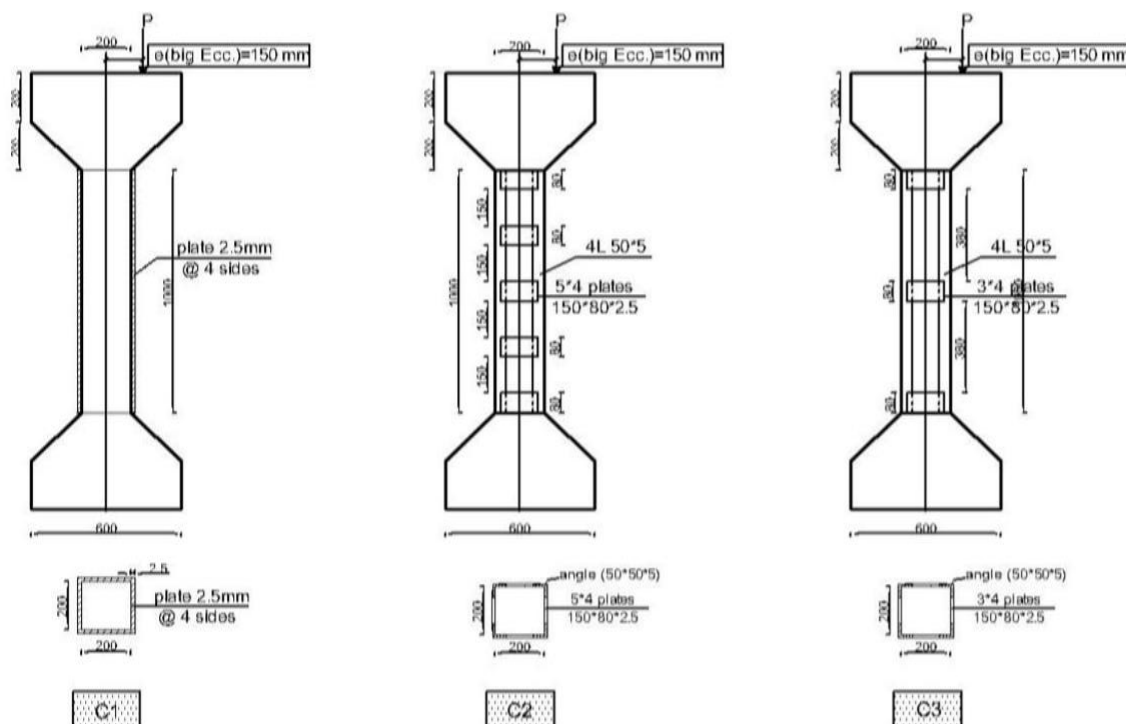
تم اختبار ثلاث عينات من الأعمدة الخرسانية المسلحة بأبعاد $(200 \times 200 \times 1000)$ mm، حيث كانت مقاومة الخرسانة $(F_{cu}=38 \text{ MPa})$ ، إجهاد الخضوع للفولاذ $(F_y=360 \text{ MPa})$ ، فولاذ التسليح الطولي $(4T12)$ ، العرضي $(\emptyset 8)$ بتباعد (200) mm، تم تدعيم العينة الأولى (C1) بهيكل فولاذي على كامل طول العينة مكون من أربع صفائح فولاذية أبعادها $(200 \times 1000 \times 2.5)$ mm، العينة الثانية (C2) تم تدعيمها بهيكل فولاذي مكون من أربع زوايا شاقولية أبعادها $(50 \times 50 \times 2.5)$ mm، وخمس مبسطات أفقية أبعادها $(150 \times 80 \times 2.5)$ mm، ودعمت العينة الثالثة (C3) بهيكل فولاذي بنفس المواصفات السابقة ولكن عدد المبسطات كان ثلاث مبسطات أفقية، وتم تطبيق ضغط لامركزي على العينات الثلاث بلامركزية مقدارها (15 cm) عن مركز العمود.

وبين الجدول (8-2) أبعاد هيكل التدعيم ومواصفات التسليح الطولي والعرضي، ونوع التدعيم المستخدم للعينات الثلاث C1، C2، C3.

الجدول (8-2): أبعاد هيكل التدعيم ومواصفات التسليح، ونوع التدعيم المستخدم للعينات الثلاث C1، C2، C3.

specimens	RC. Dim.(mm)	R F T		eccentricity(e)	strengthening configuration			
		long bars	stirrups		steel jacket	type	size	confinement
C 1	200×200×1000	4 ϕ 12	6 ϕ 8/m	e = 15 cm	fully height fully steel jacket	plates	Plate @ 4 sides	Plates 2.5*1000*200
C 2					fully height partially steel jacket	angles	4L 50*50*5	2.5*80*150 4L*5plates
C 3					fully height partially steel jacket	angles	4L 50*50*5	2.5*80*150 4L*3plates

يوضح الشكل (23-2) أبعاد هيكل التدعيم وشكل التدعيم، والمقاطع العرضية لعينات الأعمدة المختبرة (C1)، (C2)، (C3).



الشكل (23-2): أبعاد هيكل التدعيم، والمقاطع العرضية لعينات الأعمدة المختبرة (C1)، (C2)، (C3) [3]

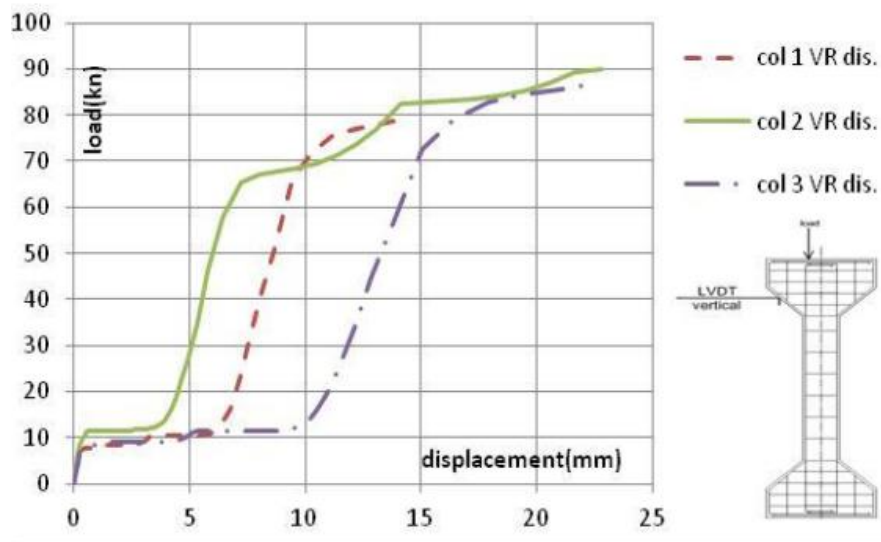
وقد أظهرت نتائج الاختبار: أن حمولة الانهيار للعينة الأولى (C1) بلغت (791.57 kN)، في حين بلغت للعينة الثانية (C2) (900.5 kN)، أما العينة الثالثة (C3) بلغت حمولة الانهيار لها (867.39 kN).

ويبين الشكل (24-2) أشكال التشققات الحاصلة في العينات المختبرة (C1)، (C2)، (C3).



الشكل (24-2): أشكال التشققات الحاصلة في العينات المختبرة (C1)، (C2)، (C3) [3]

ويبين الشكل (25-2) مخطط (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للعينات المختبرة (C1)، (C2)، (C3).



الشكل (25-2): مخطط (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للعينات (C1)، (C2)، (C3) [3]

وتوصل الباحثون إلى النتائج التالية:

- أن استخدام تقنية التدعيم بالهيكل الفولاذي (صفائح فولاذية أو هيكل فولاذي) للأعمدة الخرسانية المسلحة يزيد من قيمة حمولة الانهيار لها إلى قيمة تتراوح (من 27.4% إلى 28.8%) مع الأخذ بعين الاعتبار لامركزية الحمولة.

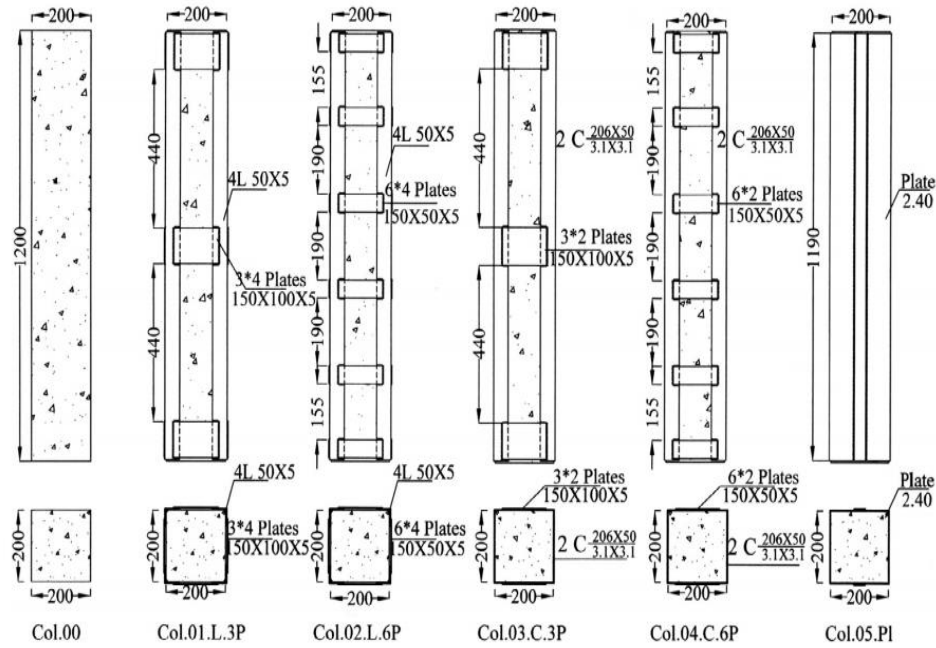
- تبين أن عدد المبسطات الأفقية للهيكल الفولاذي المستخدم في التدعيم يؤثر بشكل ضئيل على حمولة انهيار الأعمدة، وذلك بسبب التباينات الكبيرة بين المبسطات.
- العينات المدعمة بهيكل فولاذي أعطت قيمة أكبر لحمولة الانهيار مقارنة مع المدعمة بصفائح فولاذية على كامل طولها، يعزى ذلك إلى حدوث التحنيط في مقاطع الفولاذ الرقيقة.
- تحسنت المطاوعة للأعمدة المختبرة بعد تدعيمها بالهيكل الفولاذي (صفائح أو هيكل فولاذي)، بسبب مطاوعة هذه الصفائح.

6-2-2 قام الباحثون (Belal .M .M, Mohamed .H .M, Morad .S .A. 2015) [4] بدراسة سلوك الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بتقنية الهيكل الفولاذي والمعرضة لضغط مركزي، كانت متغيرات البحث: شكل التدعيم (زوايا فولاذية ومبسطات أفقية، مقاطع فولاذية بشكل حرف (C) ومبسطات، صفائح فولاذية)، عدد وأبعاد المبسطات الأفقية للهيكل الفولاذي.

كانت عينات الأعمدة المختبرة بأبعاد (200*200*1200) mm، مقاومة الخرسانة ($F_{cu}=34$ MPa)، فولاذ التسليح الطولي (4T12)، والتسليح العرضي ($\emptyset 8$) بتباعد (200) mm، وإجهاد الخضوع لفولاذ التسليح ($F_y=360$ MPa)، عدد عينات الأعمدة (7) عينات، قسمت العينات إلى مجموعتين، المجموعة الأولى تتضمن عينتين غير مدعمتين (مرجعتين)، والمجموعة الثانية تشمل (5) عينات لأعمدة مدعمة بأشكال مختلفة من الهيكل الفولاذي بحيث العينة الأولى مدعمة بأربع زوايا شاقولية أبعادها (50*50*5) mm، (3) مبسطات أفقية بأبعاد (150*100*2) mm بتباعدات متساوية، العينة الثانية مدعمة كما سبق لكن عدد المبسطات أصبح (6) بأبعاد (150*50*2) mm، بينما تم تدعيم العينة الثالثة بمقطعين فولاذيين على شكل حرف (C) أبعادها (206*50*3.1) mm ومبسطات أفقية بأبعاد (150*100*2) بتباعدات متساوية، العينة الرابعة مدعمة كما السابقة لكن عدد المبسطات أصبح (6) بأبعاد (150*50*2) mm، أما العينة الخامسة فتم تدعيمها بأربع صفائح فولاذية بأبعاد (200*1200*2.4)، كما يبين الجدول (9-2) تفاصيل التدعيم لكل عينة، والشكل (26-2) يوضح أبعاد العينات وأشكال التدعيم، بينما الشكل (27-2) يبين العينات المدعمة بعد صبها وإجراء التدعيم لها.

الجدول (9-2): تفاصيل التدعيم لكل عينة [4]

Specimen	Strengthening configuration			
	Type	Size (mm)	Confinement	
			Original	Additional
Col.00 (2 specimen)	Reference specimens (Refs. [1,2])			
Col.01.L.3P	Angles	4 L 50*50*5	3*4 plates 150*100*2	-
Col.02.L.6P	Angles	4 L 50*50*5	3*4 plates 150*50*2	3*4 plates 150*50*2
Col.03.C.3P	Channels	2C (206*50)/(3.1*3.1)	3*4 plates 150*100*2	-
Col.04.C.6P	Channels	2C (206*50)/(3.1*3.1)	3*4 plates 150*50*2	3*4 plates 150*50*2
Col.05.PI	Plates	4 Plates @ 4 sides	4*4 plates 200*2.4	-



الشكل (26-2): أبعاد وأشكال التدعيم للعينات المختبرة [4]



الشكل (27-2): أشكال تدعيم العينات بعد صبها وإجراء التدعيم [4]

ويبين الجدول (10-2) حمولات الانهيار لعينات الأعمدة المختبرة ونسبة الزيادة في الحمولة بالنسبة للعينة المرجعية (Col.00) غير المدعمة.

الجدول (10-2): حمولات الانهيار لعينات الأعمدة المختبرة [4]

Specimen	Failure load P_u (kN)	$P_u/P_{u(Ref.)}$
Col.00 (Ref.)	1255	1.00
Col.01.L.3P	1821	1.45
Col.02.L.6P	1649	1.31
Col.03.C.3P	1545	1.23
Col.04.C.6P	1841	1.47
Col.05.PI	1489	1.19

كما يوضح الشكل (28-2) أشكال الانهيار لعينات الأعمدة المختبرة.

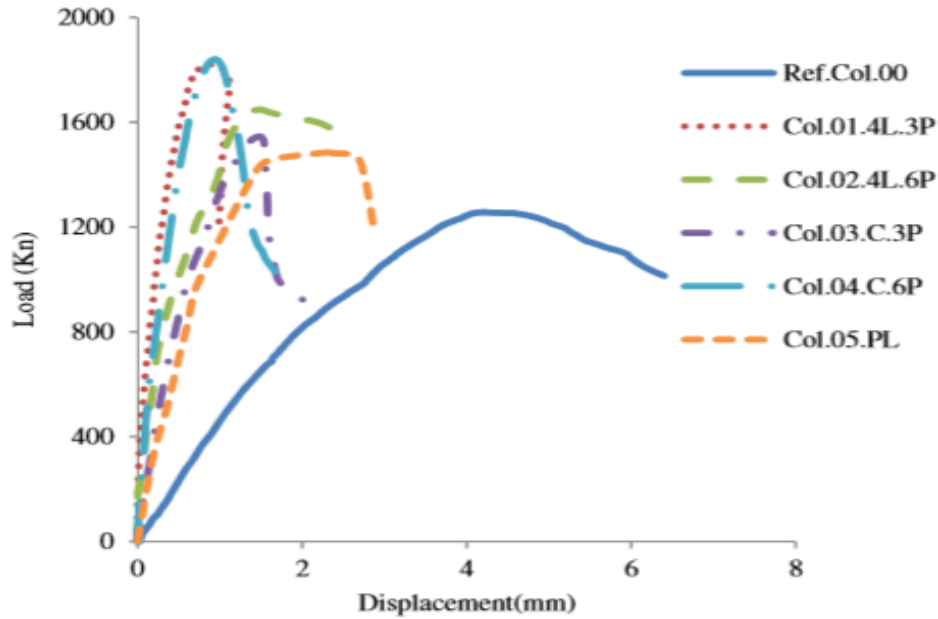


الشكل (28-2): أشكال الانهيار لعينات الأعمدة المختبرة [4]

بعد إجراء التجربة تبين أنه من أجل عينات الأعمدة المدعمة بزوايا شاقولية ومبسطات أفقية فإن زيادة أبعاد المبسطات الأفقية أدت إلى زيادة حمولة الانهيار للعينات نتيجة تأثير إجهاد التطويق، شكل الانهيار تضمن حدوث تحنيط للزوايا الشاقولية، إضافةً إلى تحنيط موضعي لقضبان التسليح في المنطقة بين المبسطات الأفقية، أما بالنسبة للعينات المزودة بمقاطع فولاذية شكل حرف (C) فإن زيادة عدد المبسطات الأفقية (من 3 إلى 6) مبسطات أدى إلى تحسين قيمة حمولة الانهيار بشكل ملحوظ، وذلك بسبب امتداد المقاطع الفولاذية شكل حرف (C) على كامل طول العينة وعلى وجهين، وبالتالي تمت حماية العينة من الانهيار نتيجة الزيادة في التطويق خاصة في الجزء السفلي للعينة.

يبين الشكل (29-2) منحنيات (الحمولة-الانزياح) لكل العينات المختبرة المدعمة وغير المدعمة، وكما يوضح الجدول (11-2) حمولات الانهيار والانزياحات للعينات المختبرة، والنسبة بين إنزياحات العينات المدعمة والعينة المرجعية (Col.00) غير المدعمة، وحيث تبين أن جميع عينات الأعمدة المدعمة انهارت عند قيمة أقل من

الانزياح مقارنة بالعينة المرجعية غير المدعمة، حيث كان سلوكها خطياً حتى حوالي (50%) من قيم حمولة انهيارها.



الشكل (29-2): منحنيات (الحمولة-الانزياح) للعينات المختبرة المدعمة وغير المدعمة [4]

الجدول (11-2) حمولات الانهيار والانزياح الشاقولي الحاصل لجميع عينات الأعمدة [4]

Specimen	Failure load P_u (kN)	Disp. δ (mm)	$\delta/\delta_{ref.}$
Col.00 (Ref. specimen)	1255	4.24	1.00
Col.01.L.3P	1821	0.89	0.21
Col.02.L.6P	1649	1.55	0.37
Col.03.C.3P	1545	1.46	0.35
Col.04.C.6P	1841	0.93	0.22
Col.05.PI	1489	2.45	0.58

وتبين أن التدعيم بالزوايا الفولاذية والمبسطات الأفقية أو بالمقاطع الفولاذية بشكل حرف (C) والمبسطات الأفقية كان له أثر أساسي بالنسبة لإنزياحات العينات المختبرة لأن إنزياحات هذه العينات كانت صغيرة ومقاربة كما هو مبين في الشكل (29-2)، أما طريقة التدعيم بالصفائح الفولاذية على كامل طول العينات فقد زادت الإنزياحات فيها بقيم أكبر نسبياً مقارنة بطريقة التدعيم بالزوايا الفولاذية والمبسطات الأفقية أو بالمقاطع الفولاذية بشكل حرف (C) والمبسطات الأفقية [4].

وقد توصل الباحثون إلى النتائج التالية:

- إن استخدام تقنية تدعيم الأعمدة الخرسانية المسلحة بـ (الصفائح والهيكل الفولاذي) يؤثر بشكل أفضل حيث أدى إلى زيادة في قدرة تحمل العمود الخرساني المسلح بحوالي 46% بالنسبة للعمود المرجعي غير المدعم.

- حدث الانهيار بالنسبة للعمود المرجعي غير المدعم بشكل مفاجئ وقصيف، أما بالنسبة للأعمدة المدعمة فحدث بشكل أكثر مطاوعة.
- عينات الأعمدة المدعمة بالزوايا الفولاذية والمبسطات الأفقية أو بالمقاطع الفولاذية بشكل حرف (C) والمبسطات الأفقية، أظهرت حمولة انهيار أكبر من تلك المدعمة بالصفائح الفولاذية على كامل طول العينة.
- زيادة عدد المبسطات في العينات التي تم تدعيمها بطريقة (الزوايا الفولاذية والمبسطات) لم تعط زيادة كبيرة في حمولات الانهيار بالنسبة للعينات التي تم تدعيمها بطريقة (المقاطع الفولاذية بشكل حرف (C) والمبسطات الأفقية).
- الحذر في استخدام طريقة (المقاطع الفولاذية بشكل حرف (C) والمبسطات) أو طريقة (الصفائح الفولاذية على كامل طول العينة) في تدعيم الأعمدة الخرسانية المسلحة، بسبب حدوث التحنيب في هذه الصفائح نظراً لسمكها الرقيقة.
- في العينات المدعمة بطريقة الزوايا الفولاذية والمبسطات الأفقية، كانت التشوهات قليلة مقارنة بباقي العينات الأخرى.
- بزيادة مساحة الهيكل الفولاذي (صفائح فولاذية أو هيكل زوايا ومبسطات أفقية) إلى مساحة السطح الخرساني للعمود، يزداد أثر التطويق وتزداد المقاومة [4].

الفصل الثالث

معايرة الدراسة التجريبية

Validation of Experimental Study

3-1 المقدمة:

سيتم في هذا الفصل معايرة نموذج تجريبي معتمد في أحد الدراسات المرجعية [Elsamny, M. K and et al, 2011] [8] وهو عبارة عن عمود خرساني مسلح أبعاده (150*150*1500) mm معرض لحمولة شاقولية ضاغطة وذلك بحالتين؛ الأولى: وجود تدعيم فولاذي للعمود [هيكل فولاذي مؤلف من: زوايا (Angles)، ومبسطات أفقية (Strips)]، والحالة الثانية: تمثل حالة العمود دون تدعيم. تم بناء نموذج عددي (numerical model) يحاكي الدراسة المرجعية المذكورة.

وقد تم استخدام برنامج التحليل الإنشائي [ABAQUS, V6.14-3] [1]، واعتماد طريقة العناصر المحدودة (FEM)، تمت عملية بناء النموذج العددي بعدة خطوات تبدأ من اختيار أبعاد مقاطع النموذج، اختيار العناصر المحدودة المناسبة له، ومن ثم اختيار الطرق المناسبة لنمذجة سلوك المواد المكونة للنموذج، ثم ربط العناصر المختلفة لتأمين الترابط والعمل المشترك بينها، وبعدها تم اختيار الشروط المحيطية المناسبة لمحاكاة النموذج التجريبي (المعتمد في الدراسة المرجعية) وإجراء عملية التحليل وذلك من أجل التحقق من دقة النمذجة واستخراج النتائج. وأخيراً تمت مقارنة النتائج بين النموذجين.

3-2 توصيف النموذج التجريبي:

Description of Experimental Model:

بالاعتماد على الدراسة المرجعية [8] تم بناء نموذج تجريبي لعمود خرساني مسلح أبعاده (150*150*1500 mm) مدعم بهيكل فولاذي [زوايا (Angles)، ومبسطات أفقية (Strips)]، ونموذج آخر غير مدعم بنفس الأبعاد.

3-2-1 مواصفات المواد المستخدمة في النموذج التجريبي:

كانت مواصفات المواد المستخدمة في النموذج التجريبي وفق الآتي:

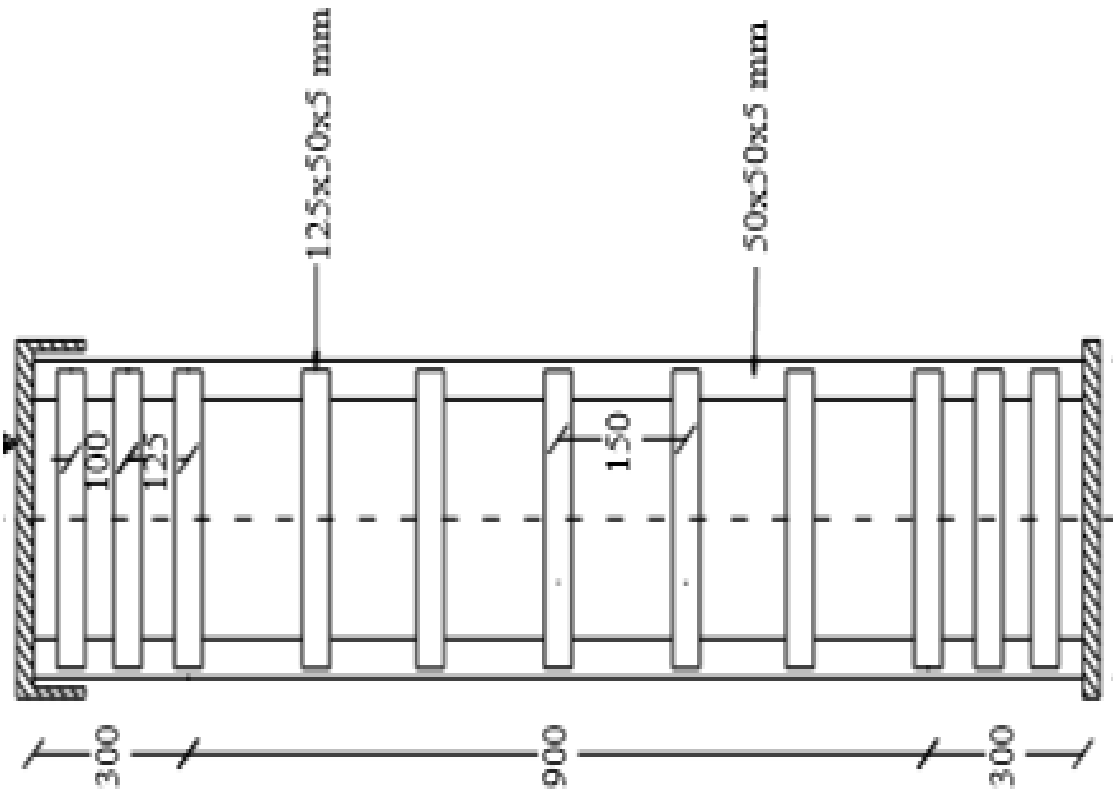
- 1- الخرسانة: المقاومة المميزة لها (f'c=18) MPa، ومعامل بواسون $\mu=0.2$.
- 2- فولاذ التسليح: تم استخدام تسليح طولي 4T10 mm وتسليح عرضي 1Ø8/150 mm ومعامل بواسون $\mu=0.3$.
- 3- الهيكل الفولاذي: تم استخدام هيكل فولاذي مكون من: أربع زوايا (Angles) في أركان العمود ذات أبعاد (50*50*5) mm، مبسطات أفقية (Strips) ذات أبعاد (125*50*5) mm ملحومة إلى الزوايا، ومعامل بواسون للهيكل الفولاذي هو $\mu=0.3$.

ويبين الجدول (1-3) مواصفات الهيكل الفولاذي المكون من زوايا (Angles)، ميسّطات أفقية (Strips)، التسليح الطولي، والتسليح العرضي للنموذج التجريبي.

الجدول (1-3): مواصفات الهيكل الفولاذي والتسليح الطولي والتسليح العرضي [8]

Properties	التسليح الطولي 10mm	التسليح العرضي 8mm	الزوايا (Angles)	الميسّطات (Strips)
Yield stress (MPa)	409	243	260	260
Yield strain (mm/mm)	0.00204	0.00121	0.00127	0.00127
Ultimate stress (MPa)	556	434	448	448
Ultimate strain (mm/mm)	0.19	0.172	0.178	0.178

ويبين الشكل (1-3) الهيكل الفولاذي؛ موضح عليه أبعاد الزوايا، الميسّطات الأفقية، والتباعدات بين الميسّطات الأفقية في الوسط والأطراف؛ للنموذج التجريبي وفق الدراسة المرجعية المعتمدة [8].



الشكل (1-3): شكل توضيحي للهيكل الفولاذي وفق النموذج التجريبي [8]

ويبين الشكل (2-3) بعض خطوات التجربة التي قام بها الباحث من أجل تحضير النماذج وفق الدراسة المرجعية المذكورة سابقاً.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل (2-3): بعض خطوات التجربة التي قام بها الباحث وفق الدراسة المرجعية [8]

(a): صورة الخلاطة المستخدمة، (b): صب الخلطة الخرسانية، (c): تجهيز القوالب وفولاذ التسليح، (d): اختبار الخلطة الخرسانية، (e): صب الخلطة الخرسانية في القوالب، (f): صورة الأعمدة الخرسانية المسلحة في القوالب.

وقام الباحث بعد 28 يوم من المعالجة بتدعيم الأعمدة الخرسانية المسلحة بهيكل فولاذي مكون من زوايا (Angle)، ومبسّطات أفقية (Strip) مواصفاته محددة سابقاً بالجدول (1-3)؛ ويبيّن الشكل (3-3) شكل النماذج التجريبية المدعمة بالهيكل الفولاذي وفق الدراسة المرجعية [8].



الشكل (3-3): شكل النماذج المدعمة بالهيكل الفولاذي وفق الدراسة المرجعية [8]

كما قام الباحث باختبار النماذج المذكور سابقاً وكان عمر الخرسانة المسلّحة يزيد عن 120 يوماً؛ حيث وضعت الأعمدة عمودياً على جهاز الاختبار الموضح في الشكل (4-3) الذي هو عبارة عن رافعة هيدروليكية قادرة على تطبيق ضغط قدره 2000kN وتم تحميل النماذج حتى حدوث الانهيار.



الشكل (4-3): شكل جهاز الاختبار المذكور في الدراسة المرجعية [8]

Description of Analytical Model:

3-3 توصيف النموذج التحليلي:

Fundamentals Modeling:

1-3-3 أساسيات النمذجة:

تم الاعتماد على برنامج (ABAQUS, V6.14-3) [1]، والذي يستخدم طريقة العناصر المحدودة (FEM) في

التحليل، يتألف برنامج (ABAQUS, V6.14-3) من عدة أطوار وفق ما يلي:

1- Part: يخص أجزاء النموذج (Geometry)، أي رسم النموذج.

2- Property: يخص خصائص النموذج (المواد وإسنادها والمقاطع...).

3- Assembly: وهو طور التجميع حيث يتم ضمنه تجميع كافة أجزاء النموذج.

4- Step: يخص خلق خطوات التحليل.

5- Interaction: يخص وضع قيود Constrains، ونوع الوصل والارتباط بين العناصر.

6- Load: يخص تعريف الحمولات، وتعريف شروط الاستناد لهذه الحمولات.

7- Mesh: طور إنشاء شبكة.

8- Optimization: وهو يخص موضوع دراسة أمثلية.

9- Job: تنفيذ العمل، أي خلق العمل الذي سيتم تحليله.

10- Visualization: طور الإظهار أي إظهار النتائج ويصبح فعال بعد التحليل.

11- Sketch: طور يساعد في عملية رسم النموذج.

• يؤمن البرنامج عدد من العناصر المحدودة وفق أنواعها وخصائصها، تقسم تلك الخصائص إلى ما يلي:

1- Family: وتضم هذه الخاصية الآتي (solid، shell، truss، beam،)، وكمثال على ذلك (C3D8، S4R).

2- Degree of freedom: تمثل عدد درجات الحرية حيث كل عقدة بالفراغ لها ست درجات حرية وتضاف إليها درجات حرية الحرارة (Temperature).

3- Number of nodes: تمثل عدد العقد التي يتم حساب درجات الحرية ضمنها وأن هذا المفهوم يرتبط بـ interpolation (استيفاء أو استقراء داخلي)، وهو نوعين من حيث الرتبة الهندسية (geometric order): [Linear] من الدرجة الأولى (خطية)، [Quadratic] من الدرجة الثانية (تربيعية).

4- Formulation: وهي تمثل الصيغة الرياضية وهي الأساس التي يعتمد عليها كل تحليل وعلى سبيل المثال: C3D8H تستخدم هذه الصيغة لتمثيل سلوك المواد المطاطية ذات السلوك عالي المرونة.

5- Integration: ويعتمد البرنامج على مكاملة مقادير معينة ضمن حجم العنصر للحصول على استجابة المادة وذلك ضمن نقاط (عقد) معينة.

- وتم الاعتماد في هذا البحث على ما يلي:

- 1- العنصر المكعبي (Solid Element) من النوع Hex، الرتبة الهندسية (geometric order) من النوع (Linear)، والتكامل الجزئي من أجل نمذجة العمود الخرساني.
- 2- العنصر المكعبي (Solid Element) من النوع Hex، الرتبة الهندسية (geometric order) من النوع (Linear)، والتكامل الجزئي من أجل نمذجة الزوايا والمبسطات الأفقية.
- 3- العنصر الشبكي (Truss) T3D2، الرتبة الهندسية (geometric order) من النوع (Linear)، والمؤلف من عقدتين في فضاء ثلاثي البعد من أجل نمذجة قضبان التسليح الطولية والعرضية [1].

2-3-3 مواصفات المواد المستخدمة في النموذج:

Materials Properties used in the Model:

Constitutive Model of Concrete:

1-2-3-3 النموذج البنيوي للخرسانة:

تم الاعتماد على النموذج (Concrete Damaged Plasticity Model; CDP) والذي يعتمد على دمج مفهوم مرونة المادة الإيزوتروبية (Isotropic Damaged Elasticity) مع مفهوم لدونة المادة الإيزوتروبية في حالتي الشد والضغط (Isotropic Tensile and Compressive Plasticity). يستخدم هذا النموذج عند تعرض الخرسانة لأحمال متغيرة مثل الأحمال الدورية. يعتمد مفهوم الانهيار في هذا النموذج على ميكانيزمين هما تشكل الشقوق (Cracking) في حالة الانهيار على الشد أو تحطم المادة (Crushing) في حالة الانهيار على الضغط، ويأخذ بعين الاعتبار تناقص القساوة المرنة (Elastic Stiffness) بسبب التشوهات اللدنة (Plastic Strain) الحاصلة في كل من حالتي الشد والضغط، كما أنه يدخل تأثير استعادة القساوة (Stiffness Recovery) عند تغير الحالة الإجهادية من شد إلى ضغط أو بالعكس [25]، [1].

تم اعتماد النموذج (CDP) لملاءمته للحالة المدروسة حيث يأخذ بعين الاعتبار انهيار المادة في كل من حالتي الضغط والشد.

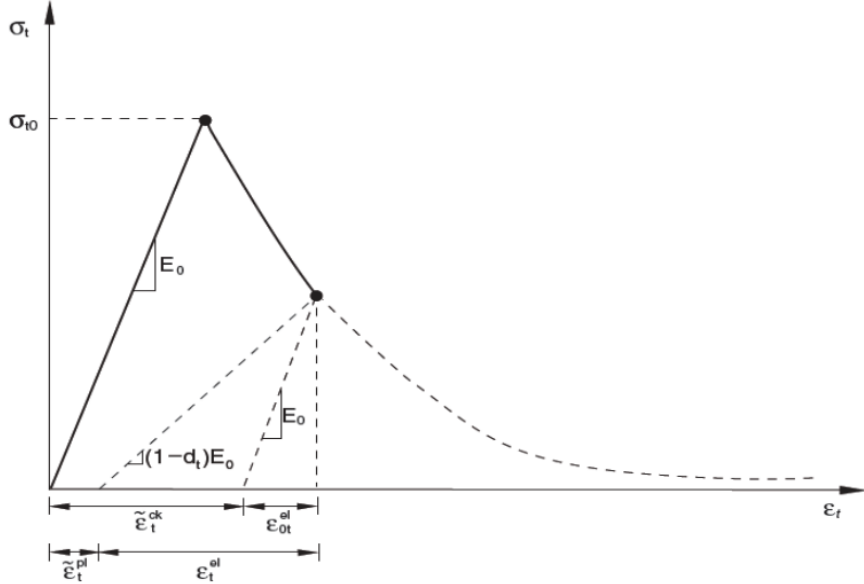
من الأمور الهامة والدقيقة في نموذج CDP تعريف سلوك الخرسانة بشكل دقيق في حالة الضغط الأحادي المحور (Uni-Axial Compression) وحالة الشد الأحادي المحور (Uni-Axial Tension) وذلك لإعطاء تمثيل دقيق لسلوك المادة في الحالتين.

1-1-2-3-3 سلوك الخرسانة في حالة الشد الأحادي المحور:

Uni-Axial Tension Behavior of Concrete:

يبدأ سلوك الخرسانة في حالة الشد الأحادي المحور الموضح في الشكل (3-5)، بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى إجهاد الانهيار (Failure stress) على الشد σ_{to} الموافق لتشكل أول شق دقيق (micro-cracking) في

الخرسانة، بعدها يتوالى تشكل الشقوق واتساعها وتتصل مع بعضها مترافقة مع انحدار في علاقة الإجهاد-التشوه وتمثل هذه المرحلة مرحلة ما بعد الانهيار (Post-Failure) أو مرحلة الخرسانة المتشققة، ويتم ذلك في مرحلة الشد (Tension Stiffening) [1]، [25].



الشكل (5-3): سلوك الخرسانة في حالة الشد المحوري [1]

نتيجة لتشكيل الشقوق في هذه المرحلة تنخفض القساوة المرنة للمادة ولكن بإهمال تأثير انخفاض القساوة المرنة المذكور آنفاً، وفي حال الحمل عند أي نقطة في هذه المرحلة تعود المادة بميل E_0 ، حيث E_0 هو معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة (initial undamaged modulus) فينشأ ما يسمى بتشوه التشققات على الشد ϵ_t^{ck} (Cracking Strain) كما في الشكل (5-3)، ويعطى بالعلاقة (3-1)، ويعرف بأنه الفرق بين التشوه الكلي للمادة والتشوه المرن ϵ_{ot}^{el} الموافق للمادة قبل التشقق والذي يعطى بدوره بالعلاقة (3-2). يعتبر تشوه التشققات على الشد ϵ_t^{ck} (Cracking Strain) من المعطيات الأساسية الواجب تعريفها ضمن البرنامج لنمذجة مرحلة الشد، حيث يتم تعريف مرحلة الشد بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول الإجهادات الشادة σ_t الموافقة لكل تشوه، ويضم الحقل الثاني التشوه على الشد ϵ_t^{ck} [1]، [25].

$$\epsilon_t^{ck} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \quad (1-3)$$

$$\epsilon_{ot}^{el} = \sigma_t / E_0 \quad (2-3)$$

يحدد إنخفاض القساوة المرنة للمادة على الشد بالمعامل d_t والذي يغير من سلوك المادة عند إزالة الحمل عند أي نقطة في مرحلة الشد، حيث تعود المادة بميل $E_0(1-d_t)$ أصغر من الميل السابق، ويترافق ذلك مع ظهور تشوهات لدنة على الشد (tensile equivalent plastic strains) في المادة تعرف بـ ϵ_t^{pl} .

ويمكن حساب المعامل d_t من خلال العلاقة (3-3) (Jankowiak and Lodygowski, 2005) [13] وتتراوح قيمته بين الصفر والواحد فيأخذ القيمة صفر عندما تكون المادة ما تزال سليمة غير متشققة، ويأخذ قيمة الواحد

عندما تنهار المادة بشكل كامل، ويعتبر من المعطيات الأساسية في ABAQUS لتعريف انحدار القساوة المرنة للمادة على الشد، حيث يتم تعريف انخفاض القساوة المرنة للمادة على الشد وذلك بشكل جدول من حقلين: يعرف الحقل الثاني بالمعامل d_t بينما يعرف الحقل الأول الإجهادات σ_t الموافقة لكل تشوه [25]، [1].

$$d_t = (\sigma_{t0} - \sigma_t) / \sigma_{t0} \quad (3-3)$$

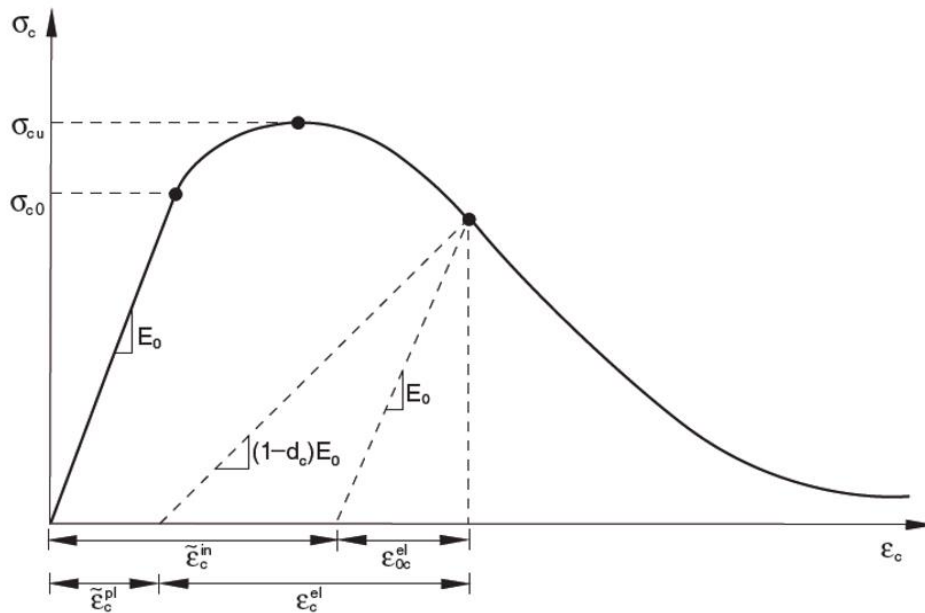
يعتمد برنامج الـ ABAQUS قيمة التشوه اللدن ε_t^{pl} للمادة كمعيار لتقييم سطح الانهيار (Failure Surface) وميكانيكية انهيار المادة ويقوم بحسابه بشكل آلي من خلال العلاقة (4-3):

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{(1-d_t)} \cdot \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (4-3)$$

2-1-2-3-3 سلوك الخرسانة في حالة الضغط الأحادي المحور:

Uni-Axial Compression Behavior of Concrete:

في حالة الضغط الأحادي المحور كما في الشكل (6-3)، يبدأ سلوك الخرسانة بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى التلدن الأولي (σ_{c0} Initial yield)، تتحول العلاقة بين الإجهاد والتشوه إلى علاقة غير خطية حتى الوصول إلى الإجهاد الحدي (Ultimate stress) على الضغط σ_{cu} وتسمى بمرحلة تقسية الضغط (Compression Hardening)، بعدها تبدأ مرحلة انحدار في علاقة (الإجهاد-التشوه)، تمثل هذه المرحلة مرحلة ما بعد الانهيار (Post-Failure) [25]، [1].



الشكل (6-3): سلوك الخرسانة في حالة الضغط المحوري [1]

نتيجة لتشكّل الشقوق في هذه المرحلة تنخفض القساوة المرنة للمادة ولكن بإهمال تأثير انخفاض القساوة المرنة المذكور آنفاً، وفي حال الحمل عند أي نقطة في هذه المرحلة تعود المادة بميل E_0 ، حيث E_0 هو معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة (initial undamaged modulus) فينشأ ما يسمى بتشوه التشقق على الضغط (Inelastic Cracking Strain) ε_c^{in} كما في الشكل (6-3)، ويعطى بالعلاقة (5-3)، ويعرف بأنه الفرق بين

التشوه الكلي للمادة والتشوه المرن ε_{oc}^{el} الموافق للمادة قبل التشقق والذي يعطى بدوره بالعلاقة (3-6). ويعتبر تشوه التشقق على الضغط ε_c^{in} (Cracking Strain) من المعطيات الأساسية الواجب تعريفها في برنامج الـ ABAQUS لنمذجة مرحلة تقسية الضغط، حيث يتم تعريف مرحلة تقسية الضغط بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول الإجهادات الضاغطة σ_c الموافقة لكل تشوه، بينما يتم إدخال التشوه اللامرن على الضغط ε_c^{in} في الحقل الثاني [25]، [1].

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (5-3)$$

$$\varepsilon_{oc}^{el} = \sigma_c / E_0 \quad (6-3)$$

يحدد إنخفاض القساوة المرنة للمادة على الضغط بالمعامل d_c والذي يغير من سلوك المادة عند إزالة الحمل عند أي نقطة في مرحلة تقسية الضغط، حيث تعود المادة بميل $E_0 (1-d_c)$ أقل من الميل السابق، ويترافق ذلك مع ظهور تشوهات لدنة على الضغط (compressive equivalent plastic strains) في المادة تعرف بـ ε_c^{pl} .

ويمكن حساب المعامل d_c من خلال العلاقة (3-7) (Jankowiak and Lodygowski, 2005) وتتراوح قيمته بين الصفر والواحد فيأخذ قيمة الصفر عندما تكون المادة ما تزال سليمة غير متحطمة، وقيمة الواحد عندما تنهار المادة بشكل كامل، ويعتبر من المعطيات الأساسية في برنامج الـ ABAQUS لتعريف انحدار القساوة المرنة للمادة على الضغط، حيث يتم تعريف انخفاض القساوة المرنة للمادة على الضغط في مرحلة تقسية الضغط بشكل جدول من حقلين: يعرف الحقل الأول الإجهادات σ_c الموافقة لكل تشوه، بينما يعرف الحقل الثاني بالمعامل d_c [25]، [1].

$$d_c = (\sigma_{cu} - \sigma_c) / \sigma_{cu} \quad (7-3)$$

يعتمد برنامج الـ ABAQUS قيمة التشوه اللدن ε_c^{pl} للمادة كمعيار لتقييم سطح الانهيار (Failure Surface) وميكانيكية انهيار المادة ويقوم بحسابه بشكل آلي من خلال العلاقة (3-8):

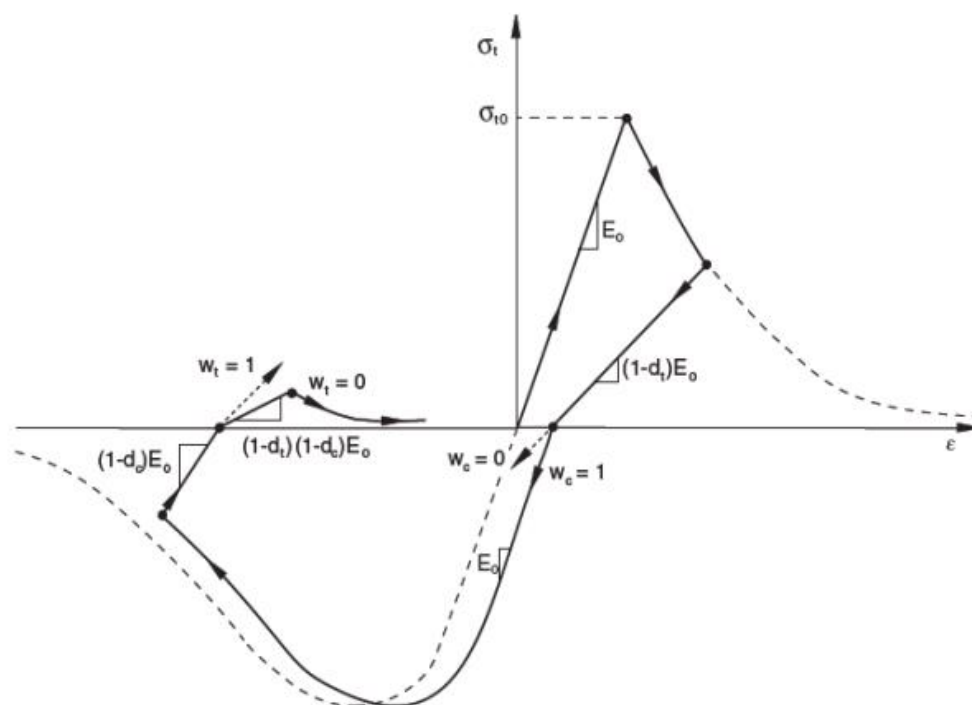
$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \cdot \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (8-3)$$

3-1-2-3-3 سلوك الخرسانة تحت تأثير الأحمال الدورية:

Behavior Under Cyclic Loads of Concrete:

أثبتت التجارب التي أجريت على المواد ذات الانهيار الشبيه بالهش (Quasi-Brittle) أن المادة تستعيد جزءاً من قساوتها عند تحول الحمل من الشد إلى الضغط نتيجة لانغلاق بعض الشقوق المتشكلة في مرحلة الشد عند تعرض المادة للضغط، وعلى العكس عند تحول الحمل من الضغط إلى الشد فإن التشققات لا تعود لتكتسب أية قساوة. يأخذ برنامج الـ ABAQUS تأثير استعادة القساوة (Stiffness Recovery) عند تغير الحالة الإجهادية من شد إلى ضغط أو بالعكس، من خلال عاملين هما w_c ، w_t ؛ حيث يمثل المعامل w_c معامل استعادة القساوة على الضغط (Compression Recovery) وقيمته الافتراضية $w_c = 1$ ، ما يعني استعادة القساوة بشكل كامل عند

تحويل الحمل من الشد إلى الضغط، بينما يمثل المعامل w_t معامل استعادة القساوة على الشد (Recovery Tension) وقيمته الافتراضية $w_t = 0$ ، ما يعني عدم استعادة أي من قساوة المادة عند تحويل الحمل من الضغط إلى الشد، ويبين الشكل (3-7) سلوك المادة عند تغير الحمل لدورة كاملة (شد-ضغط-شد) وتأثير عوامل استعادة القساوة بافتراض $w_c = 1$ ، $w_t = 0$ [25]، [1].



الشكل (3-7): سلوك الخرسانة بتغير الحمل لدورة واحدة (شد-ضغط-شد) [1]

- كذلك مع عملية التحميل والتفريغ يعاني الخرسانة ضمن مرحلتَيّ (الضغط والشد) في تدهور في الصلابة حيث تم التعبير عن ذلك بمعاملات الضرر d_c ، d_t التي تم حسابها سابقاً.
- تم الاستعانة بملف جزئي مكتوب بلغة Python (المعهد العالي للبحوث والدراسات-دمشق) والذي يعطي سلوك الخرسانة ضمن حالتَيّ الشد والضغط بالإضافة إلى منحنيات الضرر ضمن مرحلتَيّ الشد والضغط بالاعتماد على علاقات (Carriera and Chu,1985) [5].

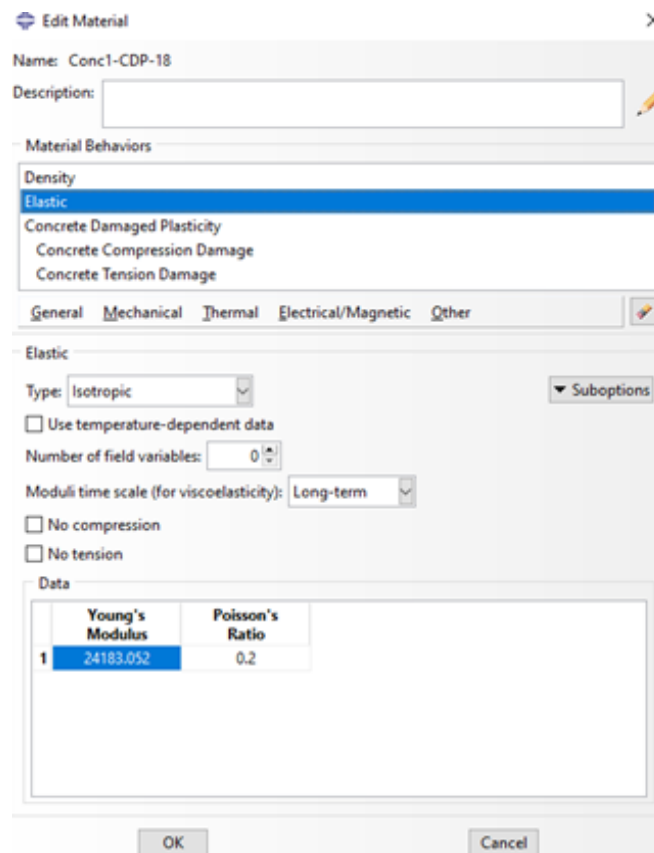
2-2-3-3 توصيف مادة الخرسانة في النموذج العددي:

Definition of Concrete in Numerical Model:

إن النموذج **CDP** المختار يحتاج إلى العديد من المتحولات التي تعتمد على الفحص التجريبي المتقدم لمادة الخرسانة المستخدمة، بعض هذه القيم تم أخذها من الدراسة المرجعية [Elsamny, M. K and et al,2011] [8]، أما البعض الآخر فقد أخذ من برنامج الـ **ABAQUS** وبعض الدراسات المرجعية الأخرى، حيث يؤمن برنامج الـ **ABAQUS** تعريف كامل لسلوك الخرسانة في مرحلتَي المرونة واللدونة؛ وتم إدخال معاملات المرونة واللدونة كما هو موضح في الاشكال لاحقاً:

(a) مرحلة المرونة:

تم تعريف مرحلة المرونة، وتم إدخال قيم معامل المرونة E ، ومعامل بواسون كما موضح في الشكل (8-3).



الشكل (8-3): قيم معامل المرونة E ، ومعامل بواسون [1]

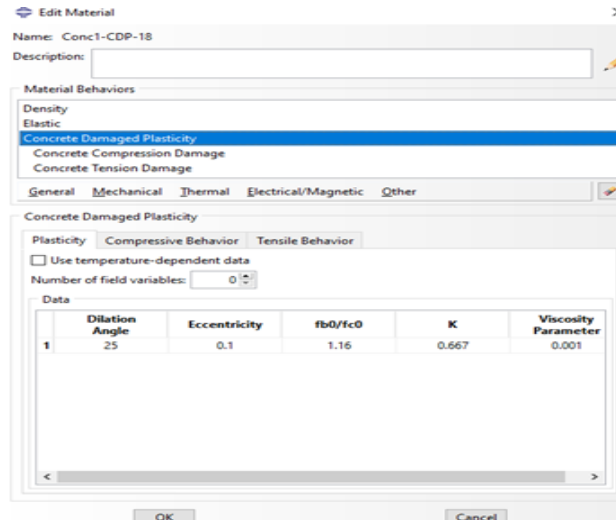
(b) مرحلة اللدونة:

تم تعريف مرحلة اللدونة كما في الاشكال لاحقاً، بإدخال بعض قيم معاملات اللدونة الواردة بناءً على الدراسة المرجعية [Elsamny, M. K and et al, 2011] [8] ، ونظراً لعدم توفر بعض المعلومات الكافية فقد تم إعطاء هذه المتحولات القيم المنصوح باستخدامها من قبل برنامج الـ ABAQUS وبعض الدراسات المرجعية، علماً أن معامل اللزوجة (parameter Viscosity) أكثر معامل أثر على تقارب القيم التحليلية من القيم التجريبية.

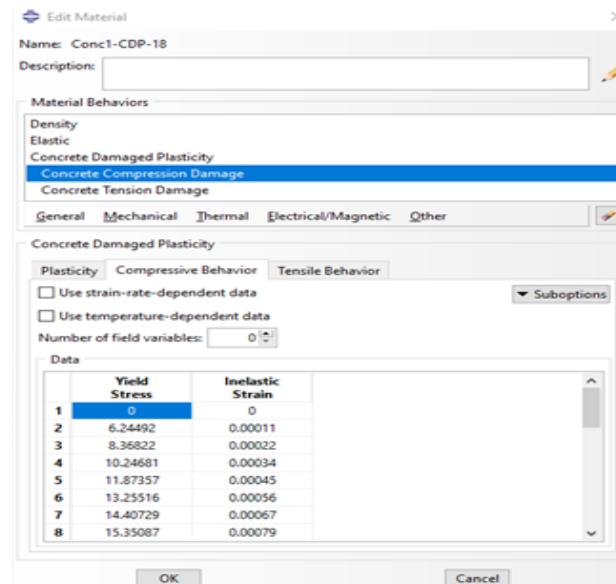
وقد تم إدخال معاملات اللدونة إلى برنامج [ABAQUS.V6-14.3] وفق المسار الآتي:

Material → Mechanical → Plasticity → Concrete Damaged Plasticity

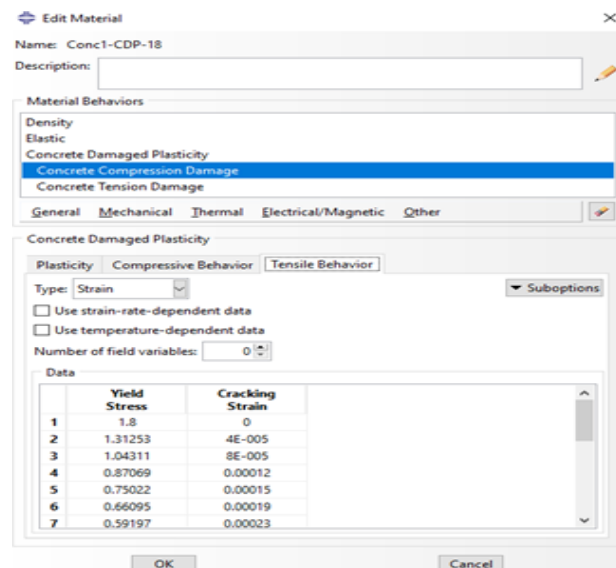
يبين الشكل (9-3) معاملات اللدونة في الخرسانة وسيتم شرح هذه المعاملات لاحقاً التي تم إدخالها في برنامج [ABAQUS.V6-14.3]، كذلك يوضح الشكل (10-3) بيانات تعريف سلوك الخرسانة على الضغط، أما الشكل (11-3) يوضح بيانات تعريف سلوك الخرسانة على الشد.



الشكل (9-3): معاملات اللدونة للخرسانة [1]



الشكل (10-3): سلوك الخرسانة على الضغط [1]



الشكل (11-3): سلوك الخرسانة على الشد [1]

يمكن التعبير عن معاملات اللدونة التي تم إدخالها إلى برنامج [ABAQUS.V6-14.3]، الموضحة بالأشكال السابقة يمكن التعبير عنها كما في الجدول (2-3) الآتي:

الجدول (2-3): معاملات اللدونة التي تم إدخالها للبرنامج [1]

الرمز	الدالة
$\psi = 25$	قيمة زاوية التمدد أو التأخير للخرسانة (Dilation angle)
$E = 0.1$	لامركزية التدفق الكامن (Eccentricity Flow potential)
$f_{bo}/f_{co} = 1.16$	نسبة الضغط الثنائي المحاور إلى الضغط الأحادي المحور (compressive yield stress to initial uniaxial compressive yield stress ratio of initial equibiaxial)
$k = 0.667$	معامل اللزوجة (the ratio of the second stress invariant on the tensile q(TM)), to that on the compressive meridian, q(CM))
$\mu = 0.001$	معامل اللزوجة (Viscosity parameter)
$w_c = 1$	معامل استعادة القساوة على الضغط (Compression Recovery)
$w_t = 0$	معامل استعادة القساوة على الشد (Tension Recovery)

حيث:

ψ : زاوية التأخير أو زاوية الاحتكاك الداخلية للخرسانة.

K: قيمة لتعديل معيار (1952) Drucker, D. C., W. Prager [7] وتحويله سطح سيلان مناسب لمادة الخرسانة وهي النسبة بين بعد المحور الهيدروستاتيكي والمعيار المعدل إلى بعد المحور الهيدروستاتيكي ومعيار Drucker (1952) D. C., W. Prager [7]، فإذا كانت النسبة تساوي الواحد فإن سلوك الخرسانة ينطبق على معيار Drucker, D. C., W. Prager (1952) [7]، وإذا كانت أقل من الواحد فإنه يبتعد من معيار Drucker, D. C., W. Prager (1952) [7]، كما قام العالم (2003) Majewski, S. [16] بعدة تجارب على الخرسانة فإن هذه النسبة تكون $k = 0.667$ ، كذلك توصل إلى النسبة من قبل العالمين William, K.J., Warnke, E.P. (1975) [21].

E: لتعديل معيار (1952) Drucker, D. C., W. Prager [7] ومعيار CDP وتسمى اللامركزية، فإذا كانت تساوي الصفر فإن سلوك الخرسانة ينطبق على معيار Drucker-Prager. f_{bo}/f_{co} : النسبة بين عندما تكون الخرسانة مطبق عليها ضغط ثنائي المحاور إلى عندما يكون مطبق عليها ضغط أحادي المحور، وقد قام العالم Kufler [14] عام (1979) بعدة تجارب وتوصل إن هذه النسبة تكون تساوي 1.16248.

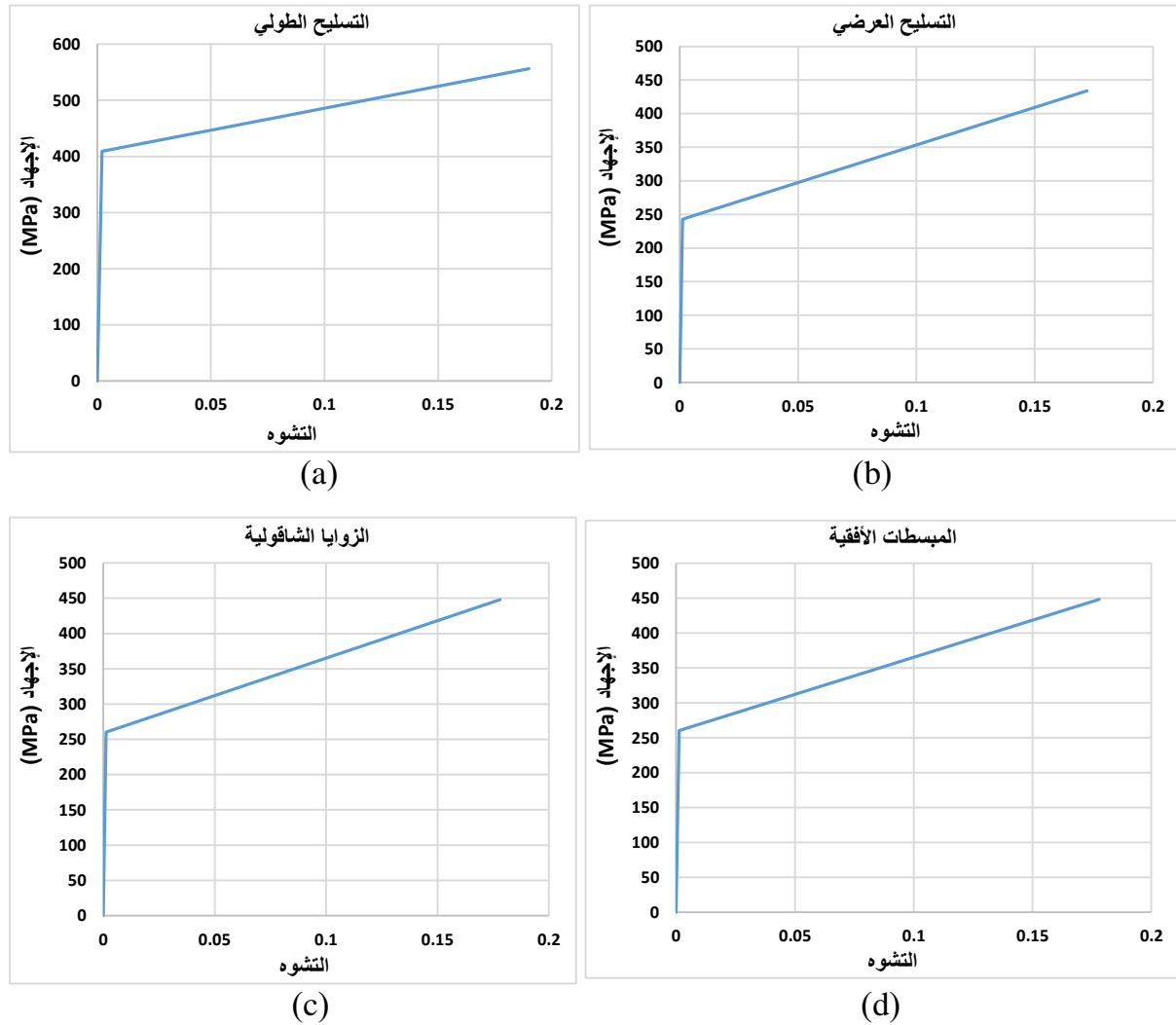
3-2-3-3 النموذج البنيوي لفولاذ التسليح والهيكل الفولاذي:

Steel Structure and Steel Reinforcement Constitutive Model:

تم توصيف سلوك الفولاذ [فولاذ التسليح الطولي والعرضي، والهيكل الفولاذي المكون من: الزوايا (Angles)، والمبسطات الأفقية (Strips)]؛ كسلوك مؤلف من مرحلتين: مرحلة المرونة، ومرحلة اللدونة (النقسية الإنفعالية)؛

وحيث تم أخذ الإجهادات والإنفعالات (التشوهات) الناتجة من قبل الدراسة التجريبية المرجعية [Elsamny, M. 2011] [K and et al, 2011] [8] المذكورة في الجدول (1-3).

والمخططات الآتية تعطي السلوك الكامل لكل من فولاذ التسليح الطولي، فولاذ التسليح العرضي، الهيكل الفولاذي المكون من الزوايا (Angles)، والمبسطات الأفقية (Strips)؛ ويبين الشكل (3-12) السلوك لكل من فولاذ التسليح الطولي والعرضي، والهيكل الفولاذي.



الشكل (3-12): مخططات (الإجهادات-التشوهات)

- (a): فولاذ التسليح الطولي.
- (b): فولاذ التسليح العرضي.
- (c): الزوايا Angles.
- (d): المبسطات الأفقية Strips.

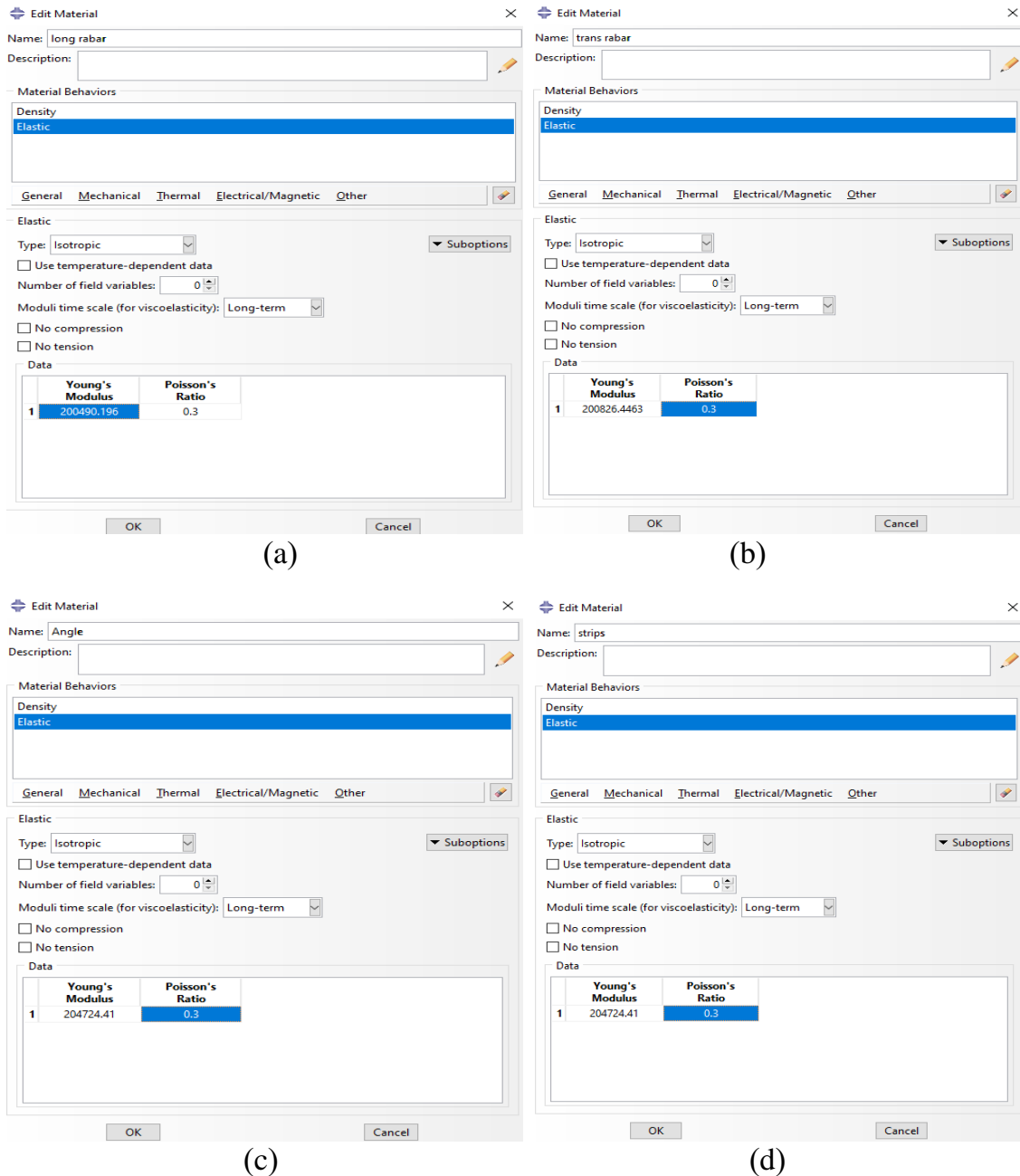
- تم تعريف فولاذ التسليح الطولي والعرضي، وكذلك الهيكل الفولاذي المكون من: الزوايا (Angles)، والمبسطات الأفقية (Strips) ضمن برنامج [ABAQUS.V6-14.3] في مرحلتَي المرونة واللدونة وفق ما يلي:

1- مرحلة المرونة:

تم تعريف مرحلة المرونة في البرنامج وفق المسار الآتي:

Material → Mechanical → Elasticity → Elastic

كما يوضح الشكل (3-13) تعريف هذه المرحلة لكل من فولاذ التسليح الطولي والتسليح العرضي، وكذلك الهيكل الفولاذي المكون من: الزوايا (Angles)، والمبسطات الأفقية (Strips).



الشكل (3-13): تعريف مرحلة المرونة في برنامج [ABAQUS.V6-14.3] [1]

(a): التسليح الطولي. (b): التسليح العرضي.

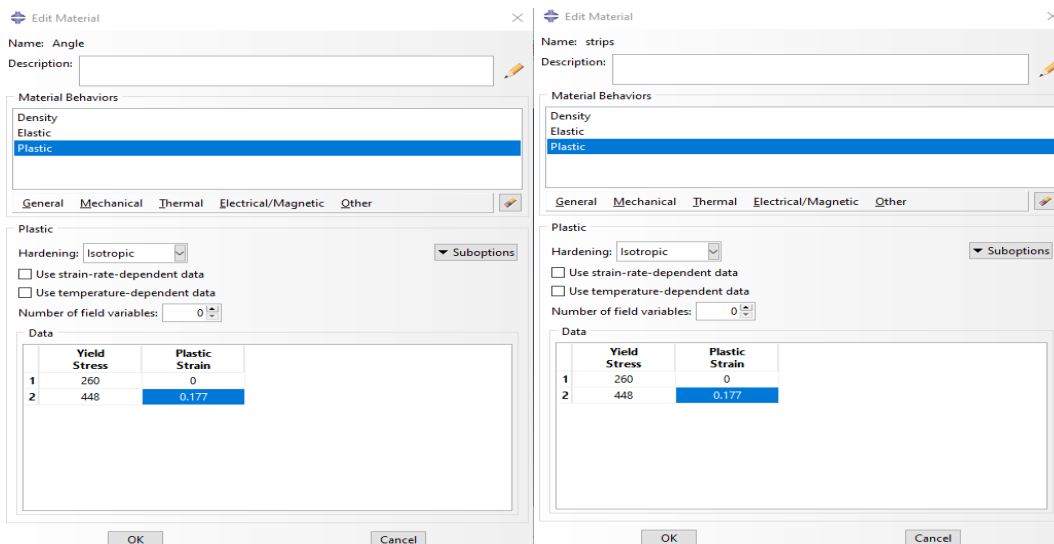
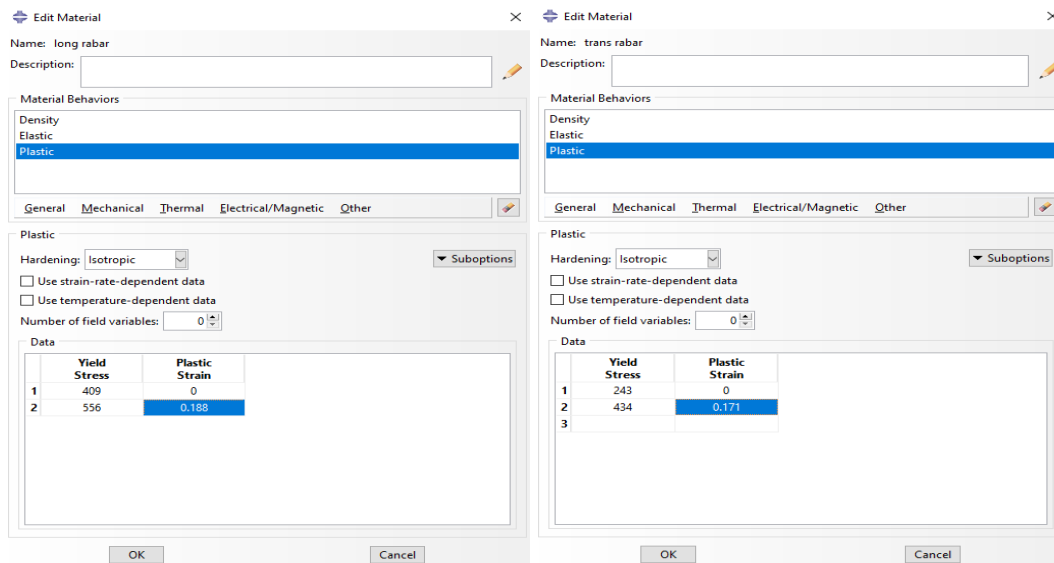
(c): الزوايا (Angles). (d): المبسطات الأفقية (Strips).

2- مرحلة اللدونة:

تم تعريف مرحلة اللدونة في البرنامج وفق المسار الآتي:

Material → Mechanical → Plasticity → Plastic

كما يوضح الشكل (14-3) تعريف هذه المرحلة لكل من فولاذ التسليح الطولي والتسليح العرضي، كذلك الهيكل الفولاذي المكون من: الزوايا (Angles)، والمبسطات الأفقية (Strips)؛ حيث أن القيم الموضحة في النوافذ هي عبارة عن الإنفعالات اللدنة والمقصود بالإنفعال اللدن هو (الإنفعال الكلي مطروح منه الإنفعال المرن) كما موصى من قبل برنامج [ABAQUS.V6-14.3] [1].



الشكل (14-3): تعريف مرحلة اللدونة في برنامج [ABAQUS.V6-14.3] [1]

(a): التسليح الطولي. (b): التسليح العرضي.

(c): الزوايا Angle. (d): المبسطات الافقية Strips.

Modeling Steps:

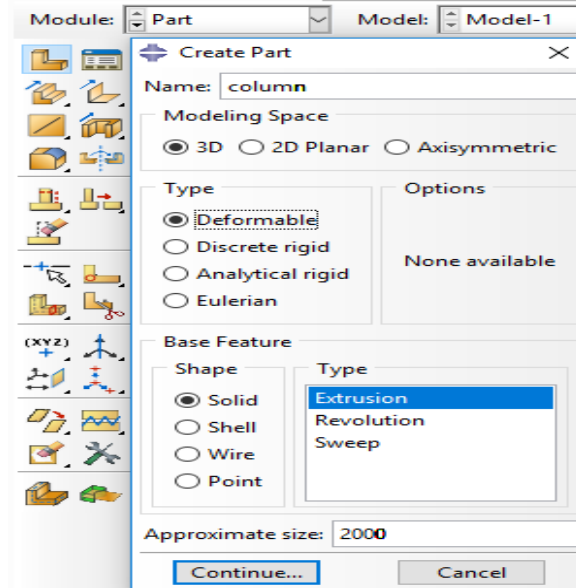
3-3-3 خطوات النمذجة:

1-3-3-3 تعريف الأجزاء Parts:

Part → Create Part

تم تعريف أجزاء النموذج وفق المسار الآتي:

كما توضح النافذة في الشكل (15-3) تعريف أجزاء النموذج في برنامج [ABAQUS.V6-14.3].



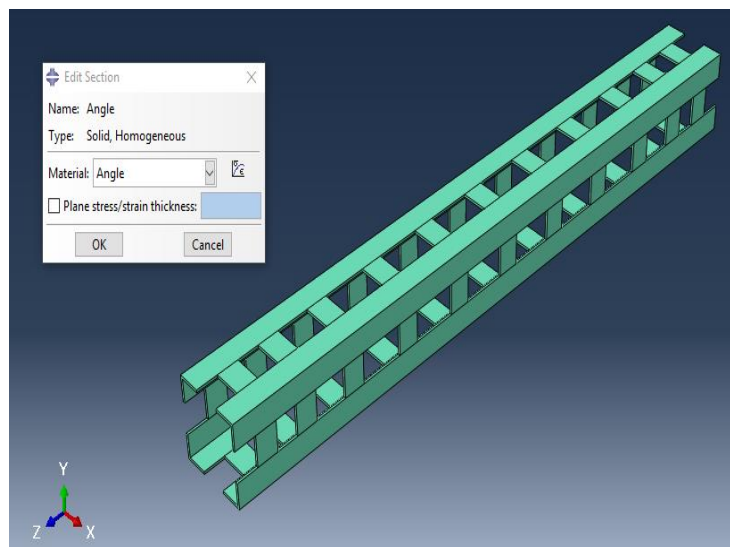
الشكل (15-3): تعريف أجزاء النموذج

2-3-3-3 تعريف المقاطع وإسناد هذه المقاطع:

Property → Create Section

تم تعريف المقاطع وفق المسار الآتي:

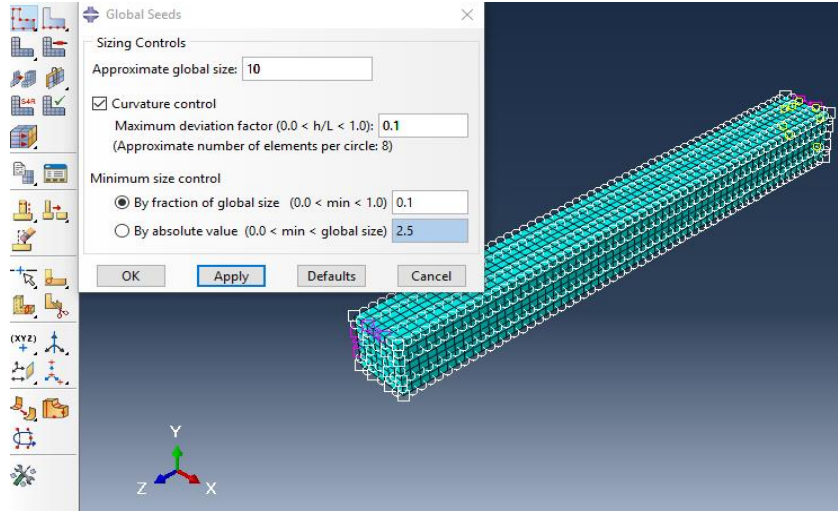
كما توضح النافذة في الشكل (16-3) تعريف مقاطع النموذج وإسنادها.



الشكل (16-3): تعريف مقاطع النموذج وإسنادها

3-3-3-3 تعريف عملية إنشاء شبكة للمقاطع (Mesh):

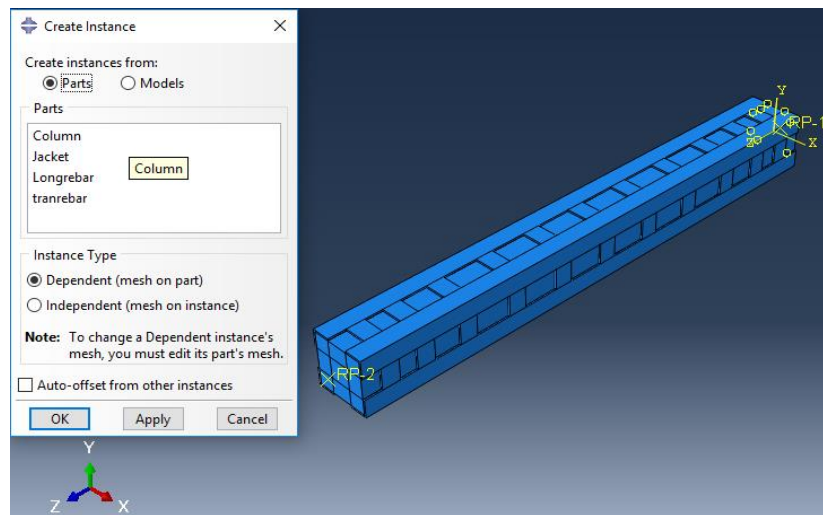
تم تعريف إنشاء شبكة المقاطع وفق المسار الآتي: Mesh → Part
كما توضح النافذة في الشكل (17-3) تعريف عملية إنشاء شبكة (Mesh) للنموذج.



الشكل (17-3): تعريف عملية الـ (Mesh) للنموذج

4-3-3-3 التجميع (Assembly):

تم تجميع عناصر النموذج المؤلف من العنصر الخرساني وفولاذ التسليح الطولي والعرضي وكذلك الهيكل الفولاذي وفق المسار الآتي: Assembly → Instance
كما توضح النافذة المبينة في الشكل (18-3) عملية التجميع (Assembly) للعناصر في البرنامج.



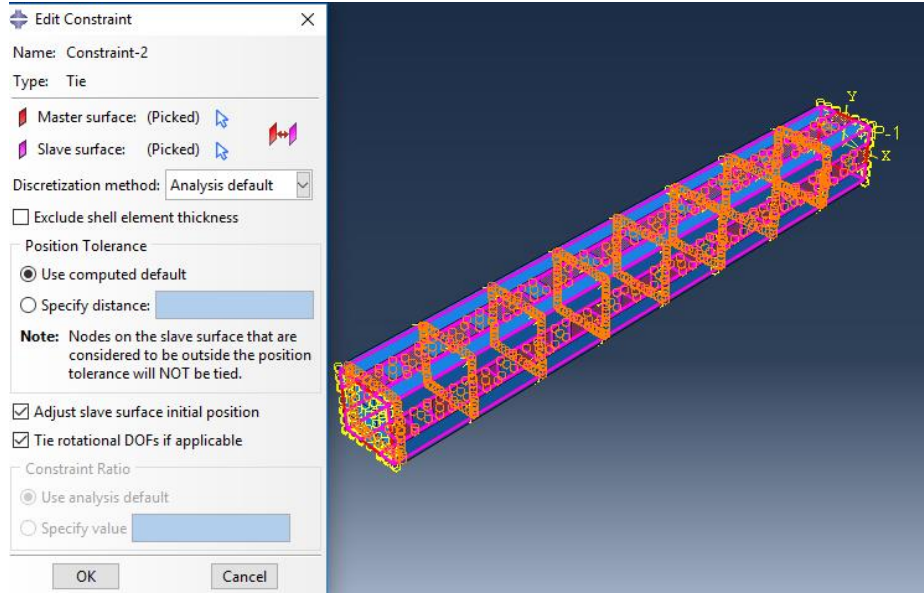
الشكل (18-3): عملية التجميع (Assembly) للعناصر

5-3-3-3 إضافة Constraints:

تم الربط بين فولاذ التسليح والعمود الخرساني باستخدام الرابط من النوع Embedded region، استخدام رابط من النوع Rigid body للتعويض عن الصفائح أعلى وأسفل العمود حيث أنه يأخذ بعين الاعتبار أن الصفائح هي

عناصر غير قابلة للتشوه، كذلك تم الربط الكامل بين سطح العمود الخرساني والسطح الداخلي للهيكل الفولاذي باستخدام رابط من النوع Tie.

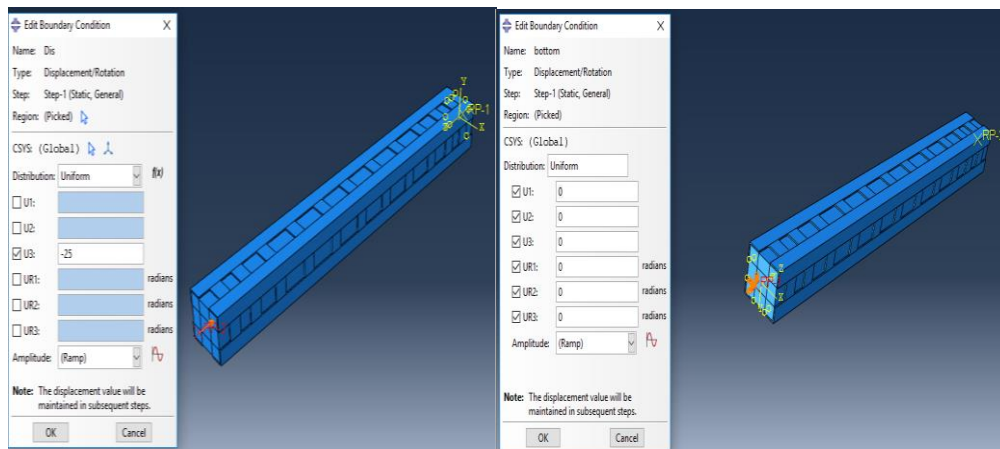
توضح النافذة المبينة في الشكل (19-3) عملية الربط الكامل بين سطح العمود الخرساني والسطح الداخلي للهيكل الفولاذي ضمن البرنامج.



الشكل (19-3): الربط الكامل بين سطح العمود والسطح الداخلي للهيكل الفولاذي

6-3-3-3 تعريف الحمولات وإسناد الشروط المحيطية:

تم تعريف Step وذلك قبل إسناد الشروط المحيطية أو الحمولات، وبعدها تم تعريف الشروط المحيطية أعلى العمود وأسفله حيث اعتبرنا العمود موثوق بشكل كامل في أسفله، بينما طبق أعلى العمود إنتقال وفق المحور Z، كما هو موضح بالنافذة في الشكل (20-3).



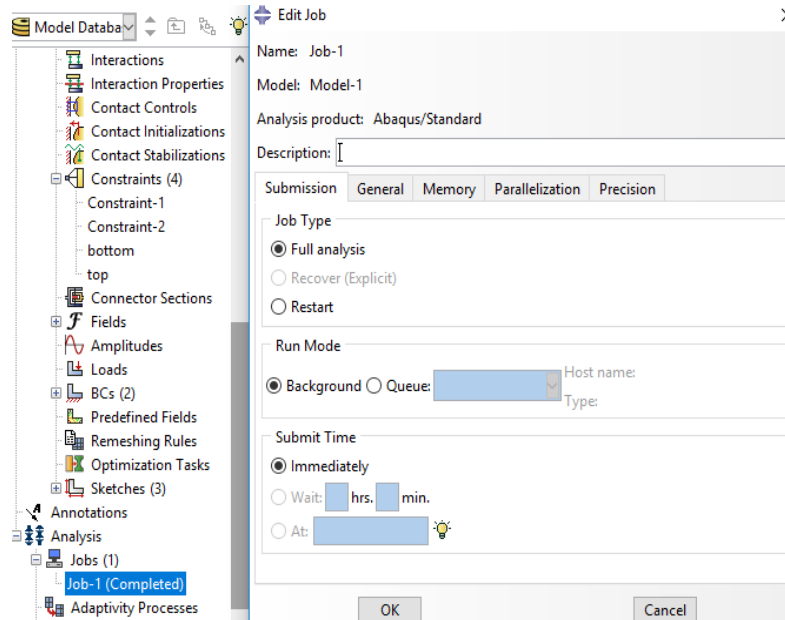
الشكل (20-3): تعريف الشروط المحيطية أعلى وأسفل العمود

7-3-3-3 تحليل النموذج:

بعد إتمام الخطوات المذكورة سابقاً تم خلق العمل الجاهز بالنموذج ليتم إعطائه أمر التحليل وذلك وفق المسار الآتي:

Analysis → Job → Submit

كما هو موضح بالنافذة في الشكل (21-3).



الشكل (21-3): نافذة خلق العمل للنموذج [1]

Comprison of Results:

4-3-3 مقارنة النتائج :

تمت مقارنة النتائج بين النموذج التجريبي المعتمد في الدراسة المرجعية والنموذج التحليلي الذي تم العمل على إنجازه ضمن هذا البحث وذلك وفق حالتين:

الحالة الأولى: نموذج العمود الخرساني المسلح غير المدعم

بعد عملية التحليل واستخراج النتائج تمت مقارنة قدرة التحمل الحدية بين النموذج التجريبي والتحليلي بالنسبة للعمود الخرساني المسلح غير المدعم ونظمت النتائج في الجدول (3-3).

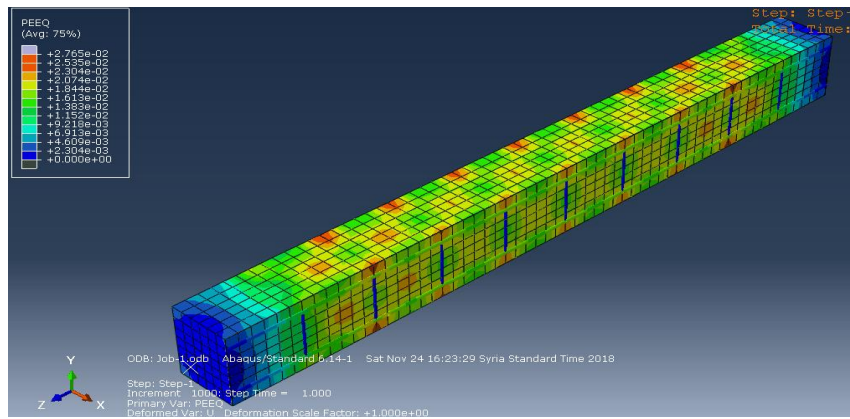
الجدول (3-3): مقارنة النتائج بين النموذج التجريبي والتحليلي بالنسبة للعمود غير المدعم.

العمود غير المدعم	حمولة الانهيار للنموذج التجريبي (kN)	حمولة الانهيار للنموذج التحليلي (kN)	(الفرق النسبي) % Δ
الحمولة الحدية	358.28	371.84	3.78 %

ذكرت الدراسة المرجعية [Elsamny, M. K and et al,2011] [8]؛ من خلال النتائج أن التلدين حدث بدايةً في قمة وقاعدة العمود كما في الشكل (22-3)، وبالعودة إلى النموذج التحليلي فقد لوحظ أن التلدين حدث في قمة وقاعدة العمود فبدأ التلدين في الخرسانة قبل وصوله لفولاذ التسليح وهذا يتوافق مع الدراسة المرجعية، يوضح الشكل (23-3) شكل التلدين في قمة وقاعدة العمود في النموذج التحليلي ضمن برنامج [ABAQUS.V6-14.3].

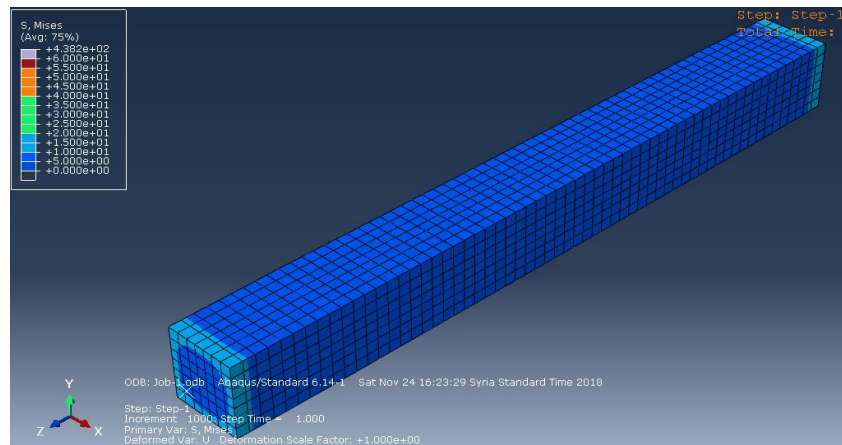


الشكل (22-3): التلدين في قمة وقاعدة العمود في النموذج التجريبي [8]



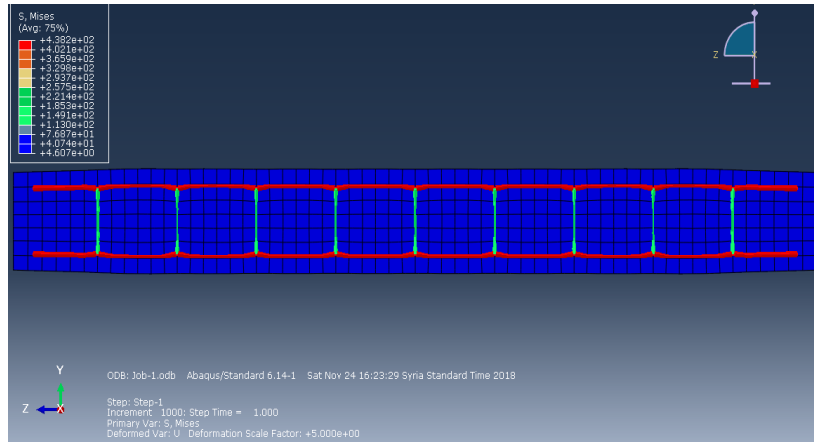
الشكل (23-3): شكل التلدين في قمة وقاعدة العمود في النموذج التحليلي [1]

كما يوضح الشكل (24-3) أن إجهادات Von Mises كانت أعظمية عند أطراف العمود وهذا يتوافق مع النموذج التجريبي الذي بدأ الانهيار في تلك المناطق.



الشكل (24-3): إجهادات Von Mises كانت أعظمية عند أطراف العمود [1]

ويوضح الشكل (25-3) شكل تحنيط قضبان التسليح ضمن العمود الخرساني تحت تأثير الحمل المطبق وهذا يتوافق مع النموذج التجريبي الموضح في الشكل (26-3).

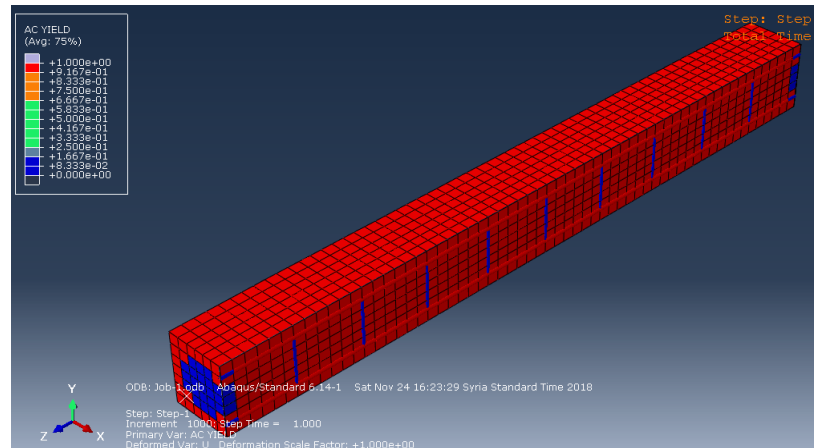


الشكل (25-3): شكل تحنيط قضبان التسليح ضمن العمود الخرساني [1]



الشكل (26-3): تحنيط قضبان التسليح ضمن العمود الخرساني التجريبي [8]

أما الشكل (27-3) فيوضح أماكن التلدن النهائية حيث أن الأساور ووجه العمود في الوسط لم تتعرض للتلدن وبالتالي تركز التلدن في حواف العمود العلوية والسفلية.



الشكل (27-3): تركز التلدن في حواف العمود العلوية والسفلية [1]

الحالة الثانية: نموذج العمود الخرساني المسلح المدعم:

بعد عملية التحليل واستخراج النتائج تمت مقارنة قدرة التحمل الحدية بين النموذج التجريبي والتحليلي بالنسبة للعمود الخرساني المسلح المدعم كما هو موضح في الجدول (4-3).

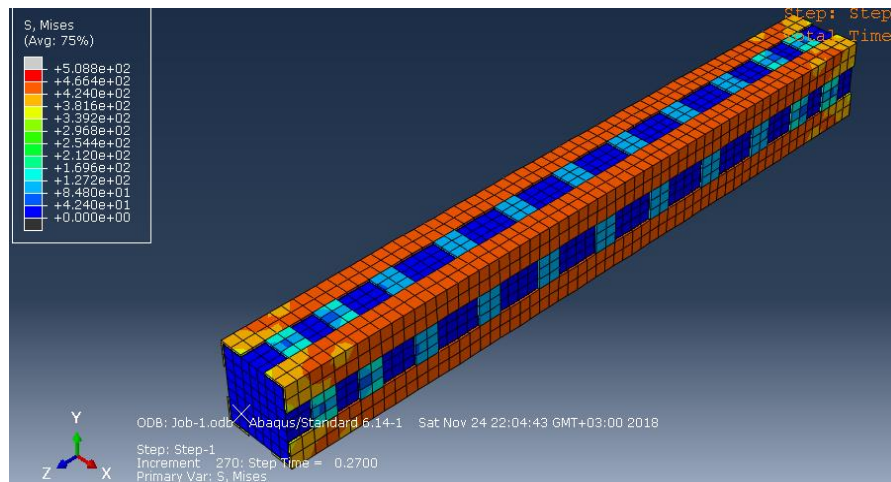
الجدول (4-3): مقارنة النتائج بين النموذج التجريبي والتحليلي بالنسبة للعمود المدعم

العمود المدعم	حمولة الانهيار للنموذج التجريبي (kN)	حمولة الانهيار للنموذج التحليلي (kN)	(الفرق النسبي) % Δ
الحمولة الحدية	1233.91	1277.94	3.57 %

بينت الدراسة المرجعية [Elsamny, M. K and et al,2011] [8] من خلال النتائج أن التلدن حدث بدايةً في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي كما في الشكل (28-3)، وهو ما حدث أيضاً في النموذج التحليلي في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي وهذا ما يتوافق مع الدراسة المرجعية؛ يوضح الشكل (29-3) إجهادات Von Mises كانت أعظمية في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي في النموذج التحليلي في برنامج [ABAQUS.V6-14.3].

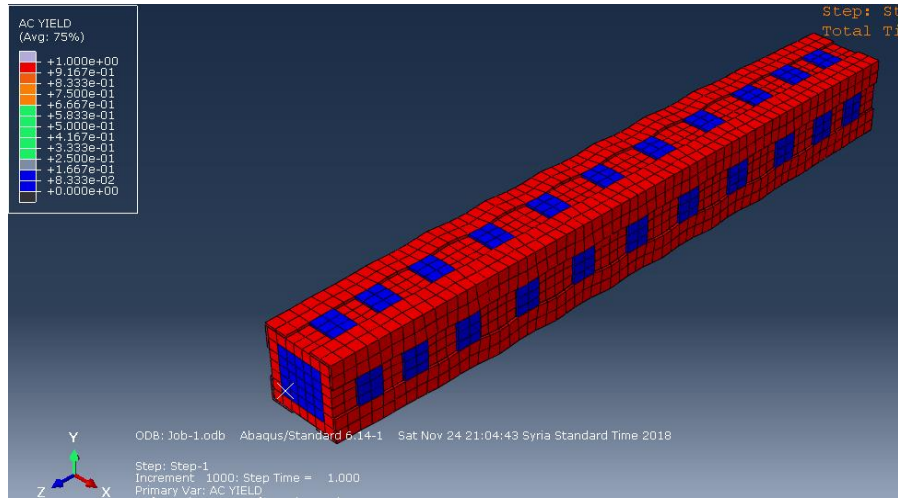


الشكل (28-3): التلدن في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي في النموذج التجريبي [8]



الشكل (29-3): إجهادات Von Mises أعظمية في قمة وقاعدة الهيكل الفولاذي [1]

كما يبيّن الشكل (30-3) أن التلدن حدث بشكل أساسي ضمن زوايا الهيكل الفولاذي وضمن العمود الخرساني، حيث لم تتعرض المبسّطات الأفقية إلى تلدن، وهذا أيضاً يتوافق مع النموذج التجريبي المبين في الشكل (31-3).

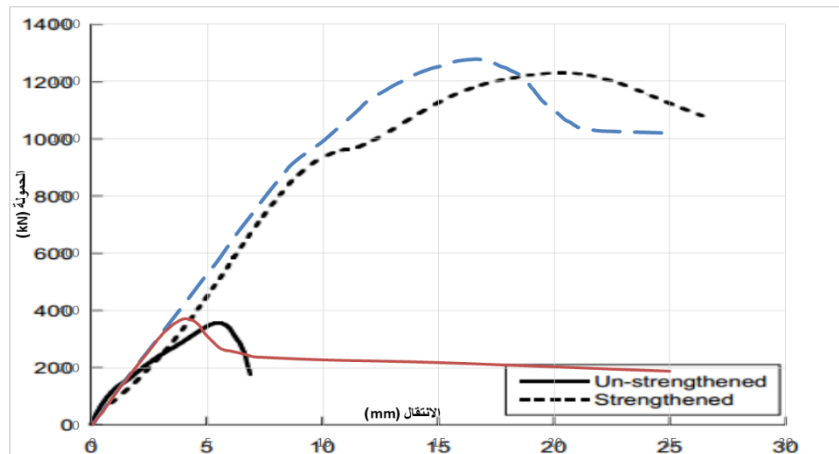


الشكل (30-3): التلدن ضمن زوايا الهيكل الفولاذي [1]



الشكل (31-3): التلدن ضمن زوايا الهيكل الفولاذي في النموذج التجريبي [8]

والشكل (32-3) يعبر عن مخطط (الانتقال-الحمولة) للمقارنة بين النموذج التجريبي والنموذج التحليلي للأعمدة المدعمة وغير المدعمة.



الشكل (32-3): مخطط (الانتقال-الحمولة) للنموذج التجريبي والنموذج التحليلي

- ومن عملية المقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية في الحالتين: وجدنا سابقاً أنه في حالة العمود غير المدعم كان الفرق النسبي في حمولة الانهيار بين النموذج التجريبي والتحليلي هو ($\Delta=3.78\%$)، أما بالنسبة لحالة العمود المدعم بالهيكل الفولاذي فقد كان الفرق النسبي في حمولة الانهيار بين النموذج التجريبي والتحليلي هو ($\Delta=3.57\%$)، وتعتبر هذه الفروقات النسبية مقاربة ومقبولة لأنها لم تتجاوز النسبة المسموحة (5%)؛ من خلال النتائج لاحظنا أن التدعيم بواسطة الهيكل الفولاذي زاد من مقاومة العمود الخرساني المسلح سواءً النموذج التجريبي أو التحليلي بنسبة (244%)، يبين الجدول (5-3) فعالية التدعيم (ρ) وذلك في كل من النموذج التجريبي والتحليلي والتي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\rho = \frac{(\text{حمولة الانهيار غير المدعم} - \text{حمولة الانهيار المدعم})}{(\text{حمولة الانهيار غير المدعم})} \times 100$$

الجدول (5-3): فعالية التدعيم في النموذج التجريبي والنموذج التحليلي

	النموذج التحليلي (KN)	النموذج التجريبي (KN)
العمود المدعم	1277.94	1233.91
العمود غير المدعم	371.84	358.28
فعالية التدعيم	243.7 %	244 %

الفصل الرابع

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

1-4 المقدمة:

يتضمن هذا الفصل الدراسة العددية (Numerical Study) باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) لنموذجين من الأعمدة الخرسانية المسلحة، النموذج الأول: عمود خرساني مسلح مقطعه العرضي مربع، النموذج الثاني: عمود خرساني مسلح مقطعه العرضي مستطيل، حيث تم تدعيم النموذجين السابقين بهيكل فولاذي مكون من أربع زوايا، ومبسطات أفقية بهدف معرفة مدى فعالية الهيكل الفولاذي في زيادة مقاومة الأعمدة الخرسانية المسلحة بتأثير الضغط المركزي والضغط اللامركزي وفقاً لمتغيرات البحث وهي: اللامركزية (e)، التباعد بين المبسطات الأفقية (s).

تم التحليل الإنشائي للنموذجين السابقين باستخدام برنامج [ABAQUS V6.14-3] [1]، وبعد التأكد من صحة المعايير وفقاً للدراسة التجريبية [Elsamny, M. K and et al, 2011] [8] المذكورة في الفصل الثالث، تم بناء النموذجين السابقين بالاعتماد على الدراسة المرجعية السابقة مع تغيير بعض المواصفات الهندسية للمواد بحيث تحاكي النماذج الواقع العملي كما هو مبين لاحقاً.

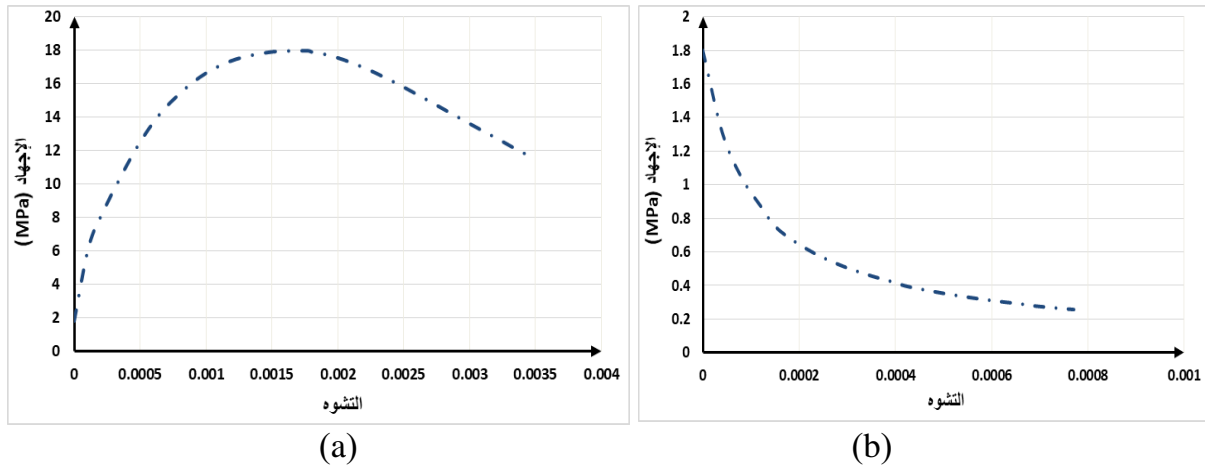
2-4 توصيف النموذج: Model Description:

لقد تم تصنيف النماذج إلى نموذجين الأول: عمود خرساني مسلح مقطعه العرضي مربع أبعاده (30*30) cm وبارتفاع 3m، الثاني: عمود خرساني مسلح مقطعه العرضي مستطيل أبعاد (40*30) cm وبارتفاع 3m.

1-2-4 توصيف مادة الخرسانة في النماذج العددية في الدراسة:

إن النموذج CDP المختار يحتاج إلى العديد من المتحولات التي تعتمد على الفحص التجريبي المتقدم لمادة الخرسانة المستخدمة، بعض هذه القيم تم أخذها من الدراسة المرجعية [Elsamny, M. K and et al, 2011] [8]، أما البعض الآخر فقد أخذ من برنامج الـ ABAQUS وبعض الدراسات المرجعية الأخرى، فقد تم أخذ قيمة زاوية التمدد للخرسانة (Dilation angle) $\psi = 36$ ، لامركزية التدفق الكامن (Eccentricity Flow) $E = 0.1$ (potential)، نسبة الضغط الثنائي المحاور إلى الضغط الأحادي المحور (compressive yield / $f_{co} = 1.16$ stress to initial uniaxial compressive yield stress ratio of initial equibiaxial)، معامل التلدن $k = 0.667$ ، معامل اللزوجة (Viscosity parameter) $\mu = 0.001$ ، معامل استعادة القساوة على الضغط (Compression Recovery) $w_c = 1$ ، معامل استعادة القساوة على الشد (Tension) $w_t = 0$ (Recovery).

وتم اعتماد المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط $f'_c = 18 \text{ MPa}$ ، وتعريف مخطط (الإجهاد-التشوه) للخرسانة على الضغط والشد، كما هو موضح في الشكل (1-4).



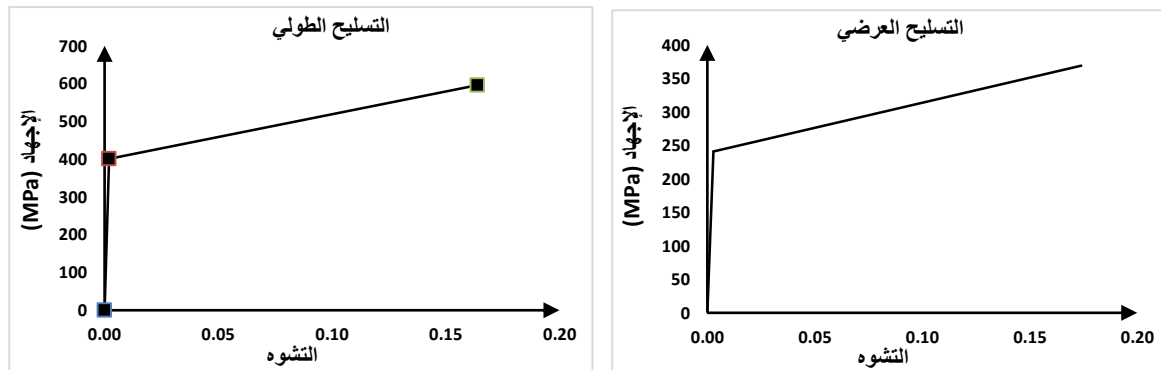
الشكل (1-4): (a) مخطط (الإجهاد-التشوه) للخرسانة على الضغط [1]

(b) مخطط (الإجهاد-التشوه) للخرسانة على الشد [1]

ومعامل بواسون للخرسانة هو 0,2.

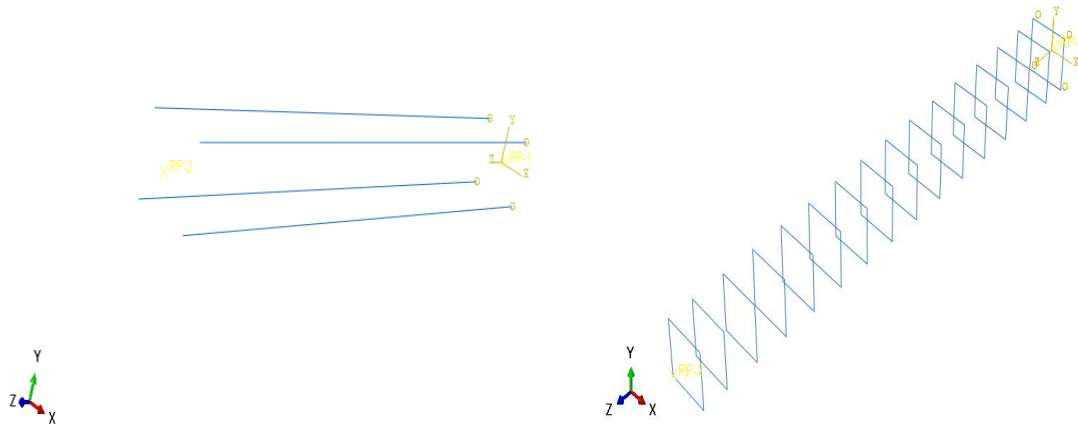
4-2-2 توصيف مادة فولاذ التسليح للنماذج العددية في الدراسة:

تم تسليح النموذج الأول للمقطع العرضي المربع بتسليح طولي 4T14 مقاومته $f_y = 400 \text{ MPa}$ وتسليح عرضي $1\text{Ø}8/200 \text{ mm}$ مقاومته $f_y = 240 \text{ MPa}$ ، كما تم تسليح النموذج الثاني للمقطع العرضي المستطيل بتسليح طولي 8T16 مقاومته $f_y = 400 \text{ MPa}$ وتسليح عرضي $1\text{Ø}10/200 \text{ mm}$ مقاومته $f_y = 240 \text{ MPa}$ ، تم اعتبار سلوك فولاذ التسليح مرناً، بعد الوصول الى انهيار المادة كان سلوك الفولاذ كامل اللدونة، معامل بواسون له 0,3، تم تعريف مخططات (الإجهاد - التشوه) لفولاذ التسليح الطولي والعرضي في برنامج [ABAQUS V6.14]، كما هو موضح في الشكل (2-4).



الشكل (2-4): مخططات (الإجهاد - التشوه) لفولاذ التسليح الطولي والعرضي [1]

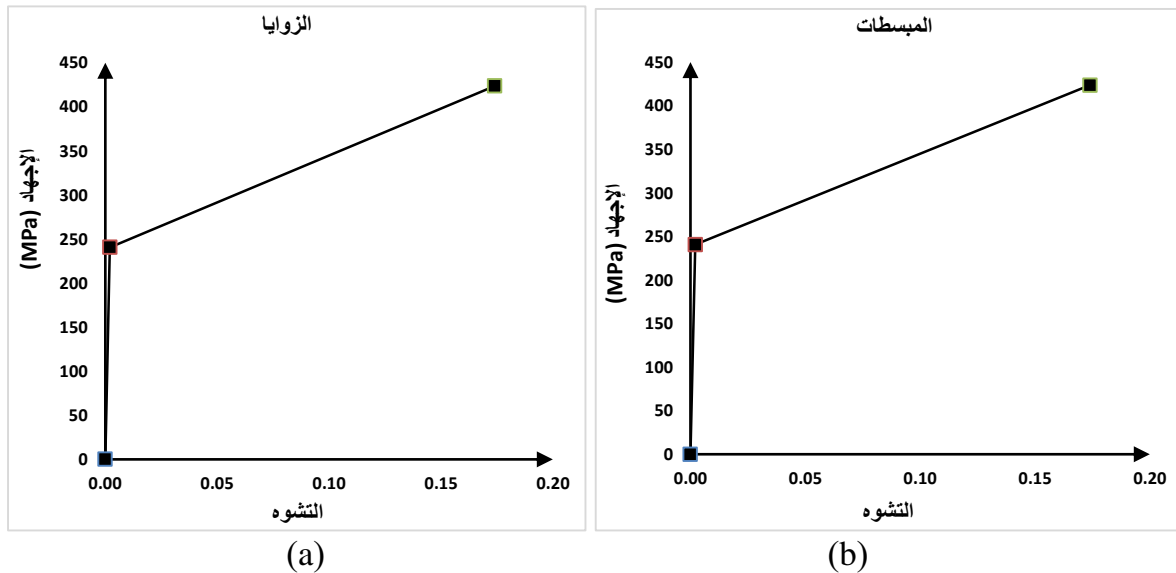
ويوضح الشكل (3-4) نمذجة فولاذ التسليح الطولي والعرضي في البرنامج.



الشكل (3-4): فولاذ التسليح الطولي والتسليح العرضي [1]

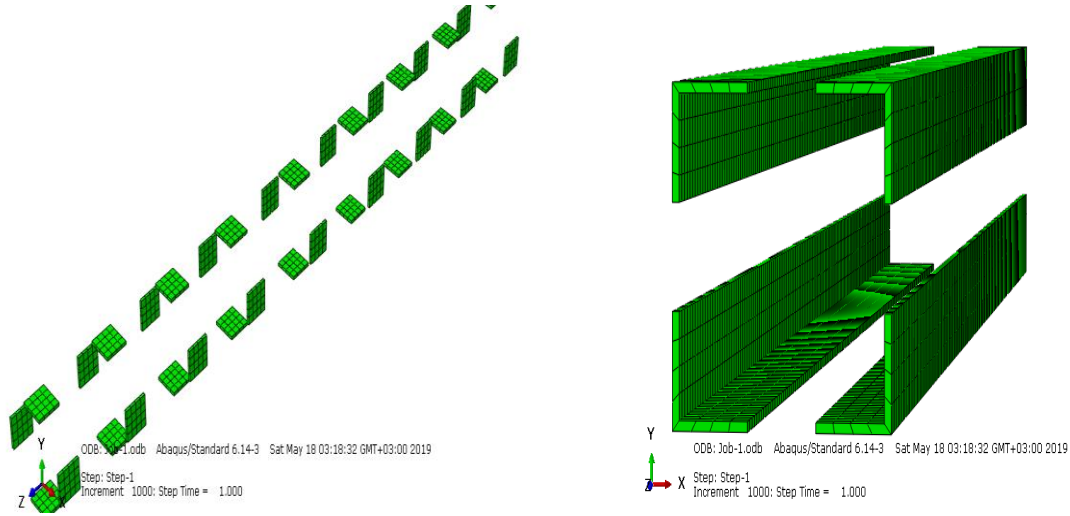
3-2-4 توصيف مادة الهيكل الفولاذي للنماذج العددية في الدراسة:

تم نمذجة الهيكل الفولاذي المكون من أربع زوايا شاقولية بأبعاد $(10 \times 10 \times 1)$ cm، مبسطة أفقية بأبعاد (10×1) cm، تم اعتبار مقاومة الزوايا الفولاذية والمبسطة الأفقية مساوية لـ $f_y = 240 \text{ MPa}$ ، معامل بواسون 0.3 ، كما تم تعريف مخططات (الإجهاد - التشوه) للهيكل الفولاذي المكون من زوايا شاقولية، ومبسطة أفقية في برنامج [ABAQUS V6.14-3]، كما هو موضح في الشكل (4-4).



الشكل (4-4): (a) مخطط (الإجهاد - التشوه) للزوايا الفولاذية [1]
(b) مخطط (الإجهاد - التشوه) المبسطة الأفقية [1]

ويوضح الشكل (4-5) نمذجة كل من الزوايا والمبسطات الأفقية في البرنامج.



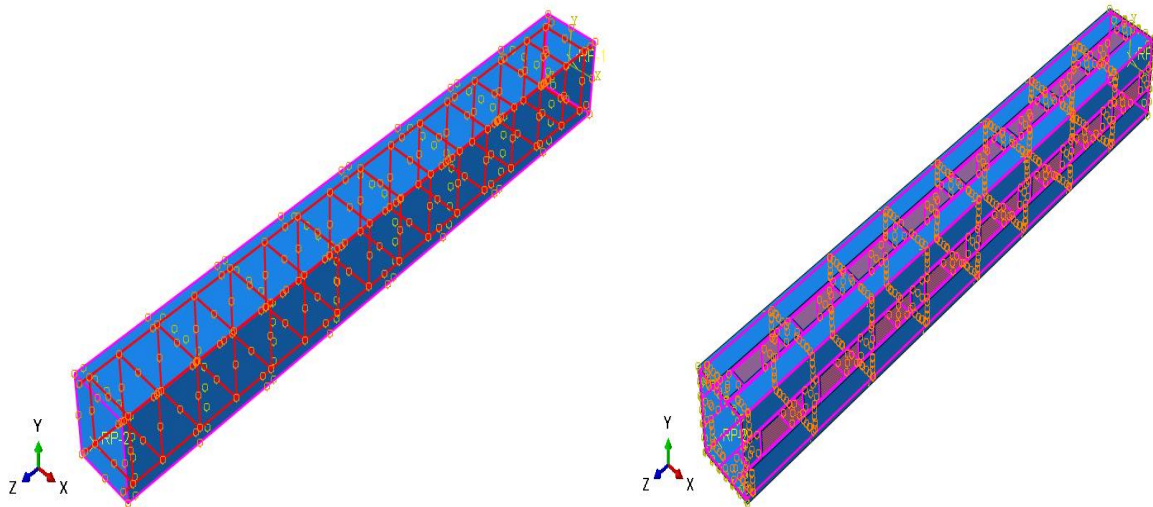
الشكل (4-5): الزوايا والمبسطات الأفقية [1]

Finite Element Interface

3-4 ربط العناصر المحدودة:

للحصول على السلوك الدقيق للنموذج لابد من الربط الصحيح بين كل من العناصر الممثلة للخرسانة والعناصر الممثلة لفولاذ التسليح الطولي والعرضي، قد تم الربط بين الخرسانة وفولاذ التسليح الطولي والعرضي بالربط من النوع (Embedded region)، ومن ثم تأمين الربط بين العمود الخرساني المسلح والهيكل الفولاذي وكذلك صفائح التحميل بالربط من النوع (Tie).

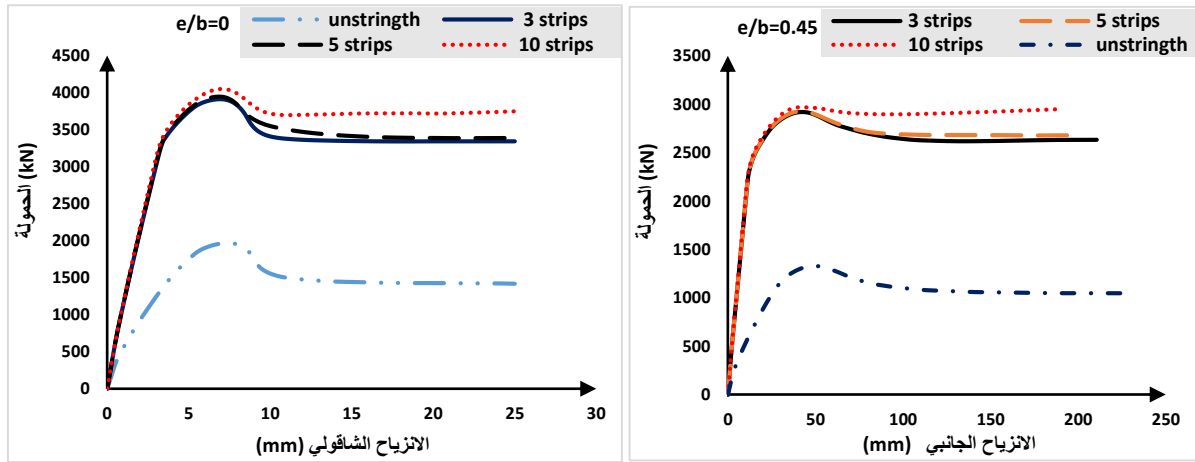
ويبين الشكل (4-6) الربط بين الخرسانة وفولاذ التسليح الطولي والعرضي والربط بين العمود الخرساني المسلح والهيكل الفولاذي.



الشكل (4-6): الربط بين الخرسانة وفولاذ التسليح والربط بين العمود والهيكل الفولاذي [1]

4-4 ملخص الدراسة:

تم نمذجة وتحليل نماذج الأعمدة السابقة المدعمة وغير المدعمة، والمعرضة لضغط مركزي ولا مركزي في برنامج [ABAQUS V6.14-3] [1] بحسب الطريقة المذكورة سابقاً في الفصل الثالث في الفقرة (3-3-3)، وكانت نسب اللامركزية ($e/b = 0, 0.1, 0.25, 0.45, 0.67$)، ومن خلال النتائج بعد التحليل تبين أنه لا توجد فروقات كبيرة في حمولات الانهيار بين نماذج الأعمدة ذات المقطع العرضي المربع المدعمة بالهيكل الفولاذي عندما كان المتغير عدد المبسطات، حيث كان 3 مبسطات أو 5 مبسطات أو 10 مبسطات مهما كانت نسبة لامركزية، كما الشكل (7-4) مخطط (الحمولة – الانزياح الشاقولي والجانبى) عند نسب اللامركزية ($e/b=0, 0.45$).



الشكل (7-4): مخطط (الحمولة-الانزياح) عندما نسبة لامركزية ($e/b=0, 0.45$) [1]

وبناءً على ما سبق تم اعتماد سماكة الهيكل الفولاذي (أي سماكة الزوايا الشاقولية، المبسطات الأفقية) كمتغير في هذا البحث عوضاً عن عدد المبسطات، حيث تم تثبيت عددها، التباعد بين محاورها 35cm، وعليه تم اعتماد متغيرات البحث وفق الآتي:

- سماكة الهيكل الفولاذي (t).

- نسبة اللامركزية (e/b).

4-4-1 تصنيف النماذج:

بعد أخذ المتغيرات السابقة تم تصنيف النماذج إلى عدد من المجموعات كالتالي:

- المجموعة الأولى (C1): تشمل نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة للمقطع العرضي المربع.
- المجموعة الثانية (C2): تشمل نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة للمقطع العرضي المستطيل.
- المجموعة الثالثة (C3): تشمل نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة للمقطع العرضي المربع.
- المجموعة الرابعة (C4): تشمل نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة للمقطع العرضي المستطيل.

تنويه: تعتبر المجموعتان الأولى (C1)، والثانية (C2) النماذج المرجعية في هذه الدراسة.

ولتسمية النماذج تم اعتماد الطريقة التالية:

$$(C) - (Sq, Rec) - (t) - (e)$$

- الرمز (C): يدل على أسم المجموعة وتشمل الرموز الآتية: (C1، C2، C3، C4).
- الرمز (Sq, Rec): يدل على المقطع العرضي للنموذج وتشمل الرمزین الآتیین: (sq) لنموذج المقطع المربع، (Rec) لنموذج المقطع المستطيل.
- الرمز (t): يدل على سماكة الهيكل الفولاذي ويشمل سماكة الزوايا الشاقولية، سماكة المبسطات الأفقية، السماكات التي تم اعتمادها mm(10,6,3,0).
- الرمز (e): يدل على قيمة اللامركزية، أي بعد نقطة تطبيق القوة عن مركز العمود أي mm (, 30 , 0 e=0 , 75 , 135 , 200,.....).

ومثال على ذلك: (C3-sq-3-0)، (C4-Req-0-30).

ويبين الجدول (1-4) أسماء ومواصفات النماذج العددية في الدراسة، متغيرات البحث.

الجدول (1-4): أسماء ومواصفات النماذج

أسم المجموعة	أسم النموذج	أبعاد النموذج (mm)	سماكة الهيكل الفولاذي (mm)	قيمة اللامركزية (mm)	نسبة اللامركزية (e/b)
C1	C1-Sq-0-0	300*300	0	0	0
	C1-Sq-0-30		0	30	0.1
	C1-Sq-0-75		0	75	0.25
	C1-Sq-0-135		0	135	0.45
	C1-Sq-0-180		0	180	0.6
	C1-Sq-0-200		0	200	0.667
	C1-Sq-0-230		0	230	0.767
	C1-Sq-0-270		0	270	0.9
	C1-Sq-0-330		0	330	1.1
C2	C2-Rec-0-0	400*300	0	0	0
	C2- Rec -0-30		0	30	0.1
	C2- Rec -0-75		0	75	0.25
	C2- Rec -0-135		0	135	0.45
	C2- Rec -0-180		0	180	0.6
	C2- Rec -0-225		0	225	0.75
	C2- Rec -0-260		0	260	0.867
	C2- Rec -0-300		0	300	1

	C2- Rec -0-370		0	370	1.233
C3	C3-Sq-3-0	300*300	3	0	0
	C3-Sq-6-0		6		
	C3-Sq-10-0		10		
	C3-Sq-3-30		3	30	0.1
	C3-Sq-6-30		6		
	C3-Sq-10-30		10		
	C3-Sq-3-75		3	75	0.25
	C3-Sq-6-75		6		
	C3-Sq-10-75		10		
	C3-Sq-3-135		3	135	0.45
	C3-Sq-6-135		6		
	C3-Sq-10-135		10		
	C3-Sq-3-180		3	180	0.6
	C3-Sq-6-180		6		
	C3-Sq-10-180		10		
	C3-Sq-3-200		3	200	0.667
	C3-Sq-6-200		6		
	C3-Sq-10-200		10		
	C3-Sq-3-230		3	230	0.767
	C3-Sq-6-230		6		
	C3-Sq-10-230		10		
	C3-Sq-3-270		3	270	0.9
	C3-Sq-6-270		6		
	C3-Sq-10-270		10		
	C3-Sq-3-330		3	330	1.1
	C3-Sq-6-330		6		
	C3-Sq-10-330		10		
C4	C4- Rec -3-0	400*300	3	0	0
	C4- Rec -6-0		6		
	C4- Rec -10-0		10		
	C4- Rec -3-30		3	30	0.1
	C4- Rec -6-30		6		
	C4- Rec -10-30		10		
	C4- Rec -3-75		3	75	0.25
	C4- Rec -6-75		6		
	C4- Rec -10-75		10		
	C4- Rec -3-135		3	135	0.45
	C4- Rec -6-135		6		
	C4- Rec -10-135		10		
	C4- Rec -3-180		3	180	0.6
	C4- Rec -6-180		6		
	C4- Rec -10-180		10		
	C4- Rec -3-225		3	225	0.75
	C4- Rec -6-225		6		

	C4- Rec -10-225		10	260	0.867
	C4- Rec -3-260		3		
	C4- Rec -6-260		6		
	C4- Rec -10-260		10		
	C4- Rec -3-300		3	300	1
	C4- Rec -6-300		6		
	C4- Rec -10-300		10		
	C4- Rec -3-370		3	370	1.233
	C4- Rec -6-370		6		
	C4- Rec -10-370		10		

2-4-4 نتائج الدراسة التحليلية:

وبعد إجراء عملية التحليل، ثم استعراض نتائج الدراسة التحليلية وفق مرحلتين:

1- المرحلة الأولى:

الدراسة التحليلية لنموذج العمود الخرساني المسلح للمقطع العرضي المربع المدعم وغير المدعم، والمعرض لضغط مركزي ولا مركزي، عند اللامركزية التالية: (e=0,30,75,135,180,200,230,270,330) mm، كانت نسب اللامركزية على التوالي (e/b=0,0.1,0.25,0.45,0.6,0.667,0.767,0.9,1.1).

ونظماً نتائج حمولة الانهيار (P_u)، كفاءة أو فعالية التدعيم (ρ)، وحمولة الاستئثار (P_c) وهي الحمولة المحسوبة من الانزياح، في الجدول (2-4)، حيث فعالية التدعيم (ρ) تعطى بالعلاقة الآتية:

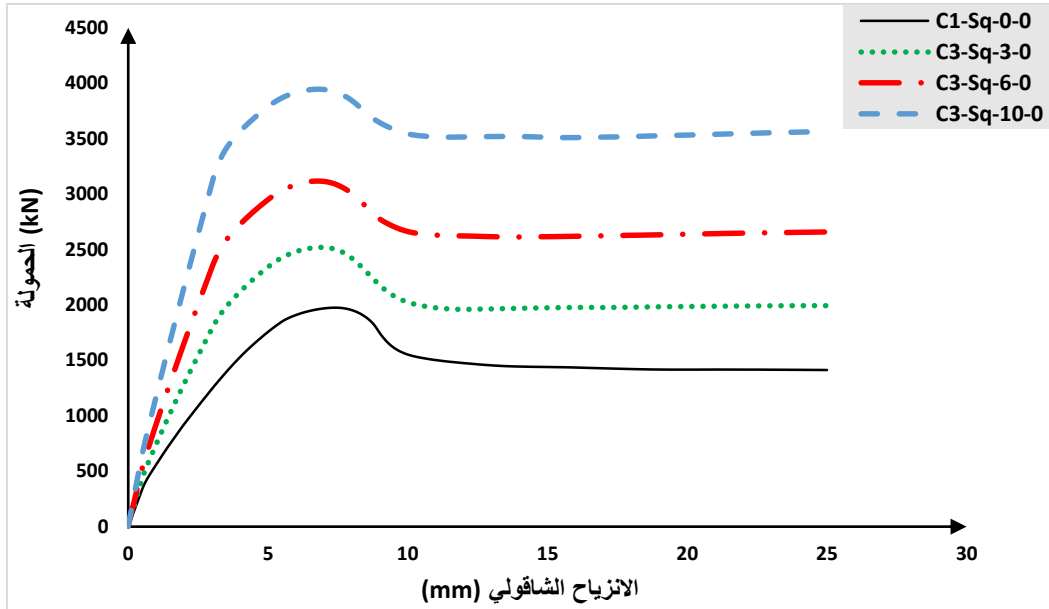
$$\rho = \frac{(\text{حمولة الانهيار غير المدعم} - \text{حمولة الانهيار المدعم})}{(\text{حمولة الانهيار غير المدعم})} \times 100$$

الجدول (2-4): حمولات الانهيار، فعالية التدعيم، وحمولة الاستئثار للنماذج المدروسة

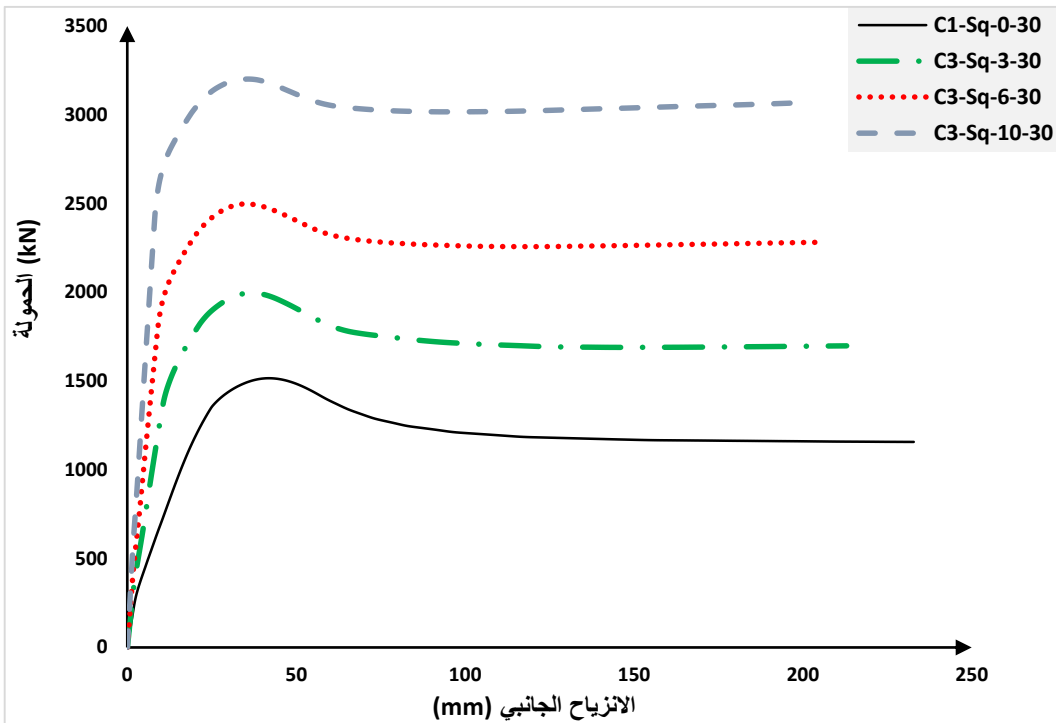
أسم المجموعة	أسم النموذج	P_u (kN)	فعالية التدعيم (%)	P_c (kN)	P_u / P_c
C1	C1-Sq-0-0	1975.21	-	1380.67	1.431
	C1-Sq-0-30	1515.55	-	1045.73	1.449
	C1-Sq-0-75	1039.09	-	722.17	1.439
	C1-Sq-0-135	656.62	-	459.63	1.429
	C1-Sq-0-180	451.92	-	314.08	1.439
	C1-Sq-0-200	356.01	-	249.21	1.429
	C1-Sq-0-230	240.61	-	160.97	1.495

	C1-Sq-0-270	125.94	-	86.9	1.449
	C1-Sq-0-330	69.12	-	48.38	1.429
C3	C3-Sq-3-0	2519.85	27.57	1789.09	1.408
	C3-Sq-6-0	3118.07	57.86	2167.06	1.439
	C3-Sq-10-0	3947.11	99.83	2759.03	1.431
	C3-Sq-3-30	1996.53	31.74	1417.54	1.408
	C3-Sq-6-30	2496.97	64.76	1715.42	1.456
	C3-Sq-10-30	3200.26	111.16	2236.98	1.431
	C3-Sq-3-75	1467.45	41.22	1041.89	1.408
	C3-Sq-6-75	1869.92	74.96	1302.59	1.436
	C3-Sq-10-75	2438.55	134.68	1702.11	1.433
	C3-Sq-3-135	1057.56	61.06	738.18	1.433
	C3-Sq-6-135	1383	110.62	967.69	1.429
	C3-Sq-10-135	1837.77	179.88	1304.82	1.408
	C3-Sq-3-180	712.08	57.57	498.18	1.429
	C3-Sq-6-180	955	111.32	678.87	1.407
	C3-Sq-10-180	1285	184.34	896.93	1.433
	C3-Sq-3-200	482.81	35.62	337.48	1.431
	C3-Sq-6-200	709.9	99.41	496.93	1.429
	C3-Sq-10-200	970.23	172.53	678.19	1.431
	C3-Sq-3-230	266.66	10.83	190.93	1.397
	C3-Sq-6-230	380.31	58.66	265.84	1.431
	C3-Sq-10-230	513.96	113.61	359.76	1.429
	C3-Sq-3-270	130.74	3.81	88.72	1.474
	C3-Sq-6-270	142.64	13.26	101.42	1.406
	C3-Sq-10-270	216.19	71.66	151.07	1.431
	C3-Sq-3-330	69.32	0.29	48.45	1.431
	C3-Sq-6-330	70.87	2.54	49.61	1.429
	C3-Sq-10-330	78.49	13.55	54.86	1.431

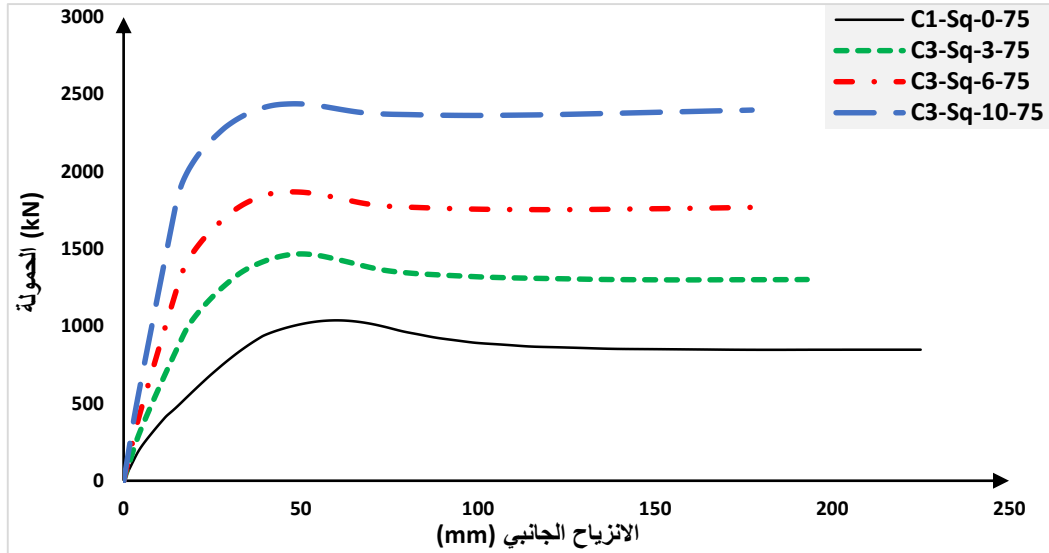
وتوضح الأشكال (4-8)، (4-9)، (4-10)، (4-11)، (4-12)، (4-13)، (4-14)، (4-15)، (4-16) مخططات (الحمولة-الانزياح) لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة وغير المدعمة للمقطع العرضي المربع عند نسب اللامركزية المدروسة [1].



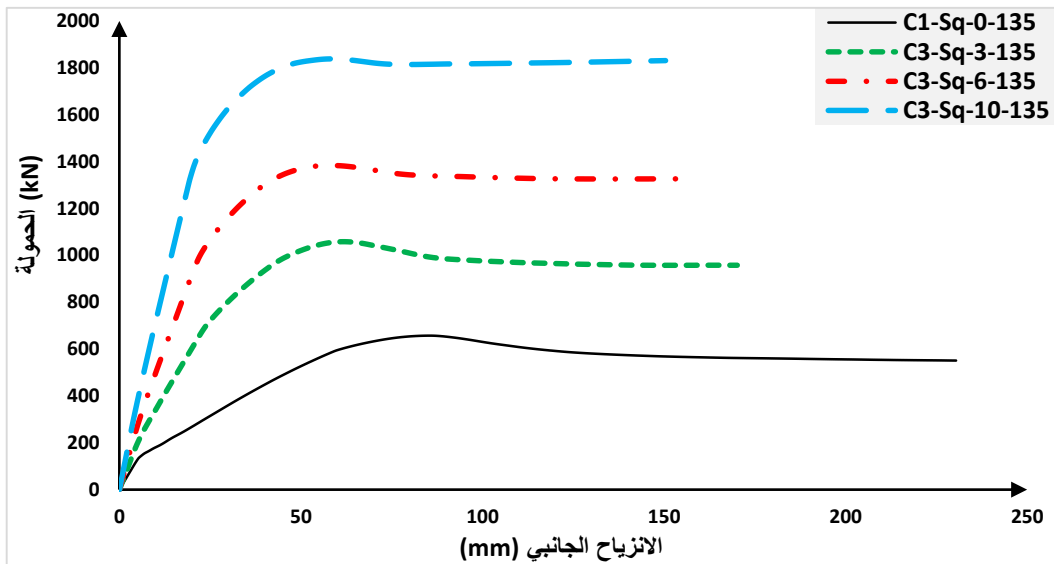
الشكل (4-8): مخطط (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b=0)



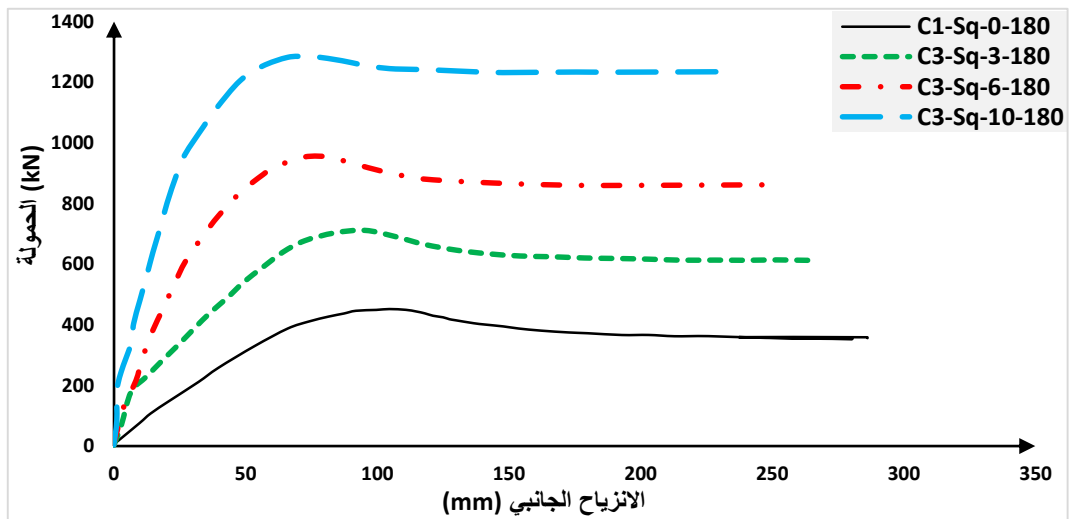
الشكل (4-9): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b=0.1)



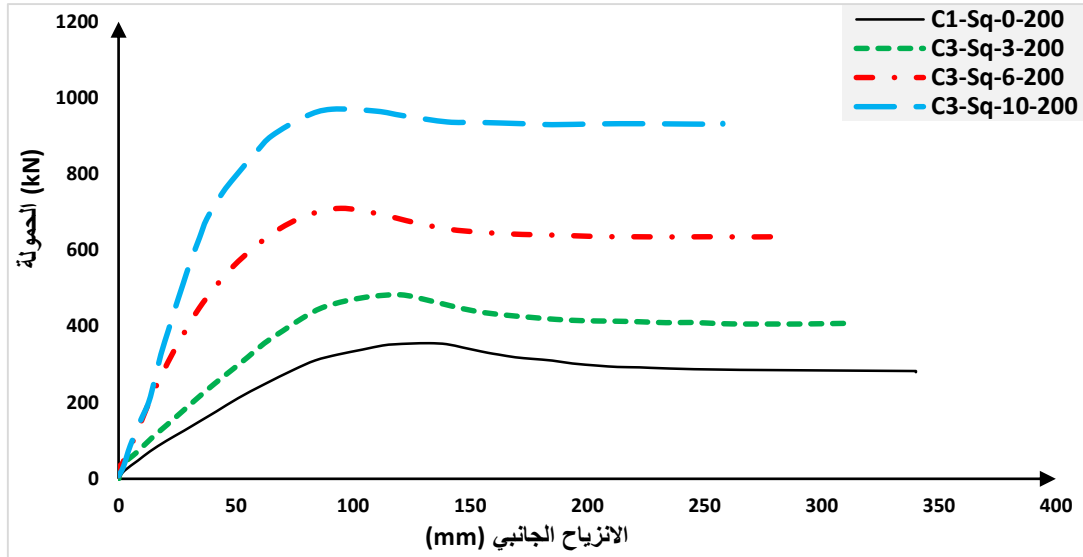
الشكل (10-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.25)



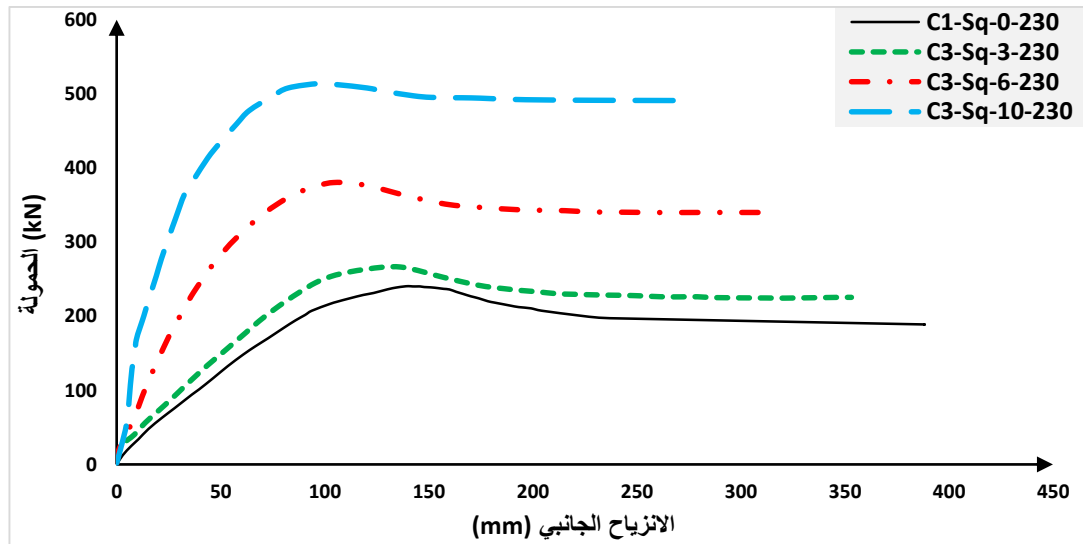
الشكل (11-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.45)



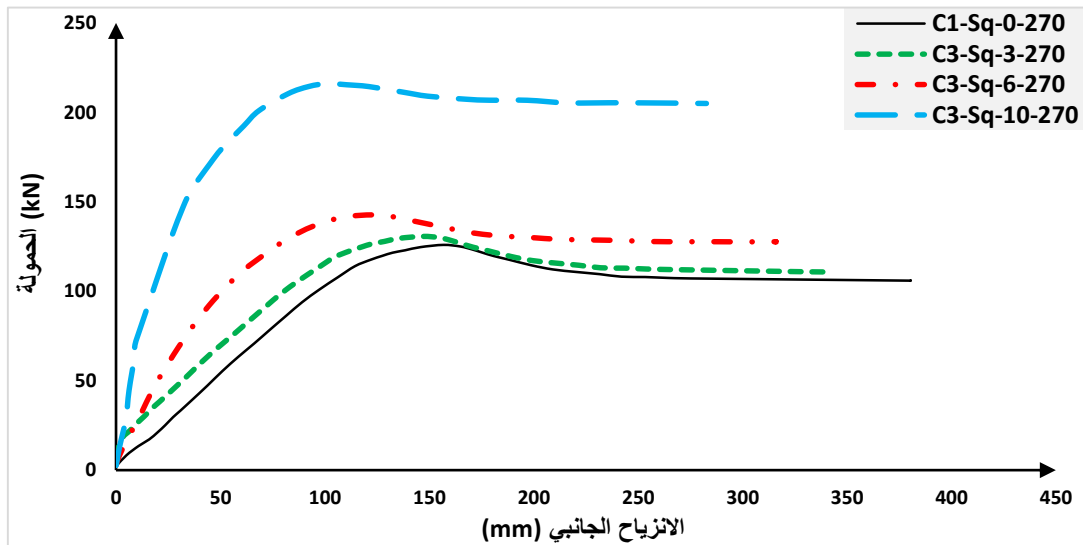
الشكل (12-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.6)



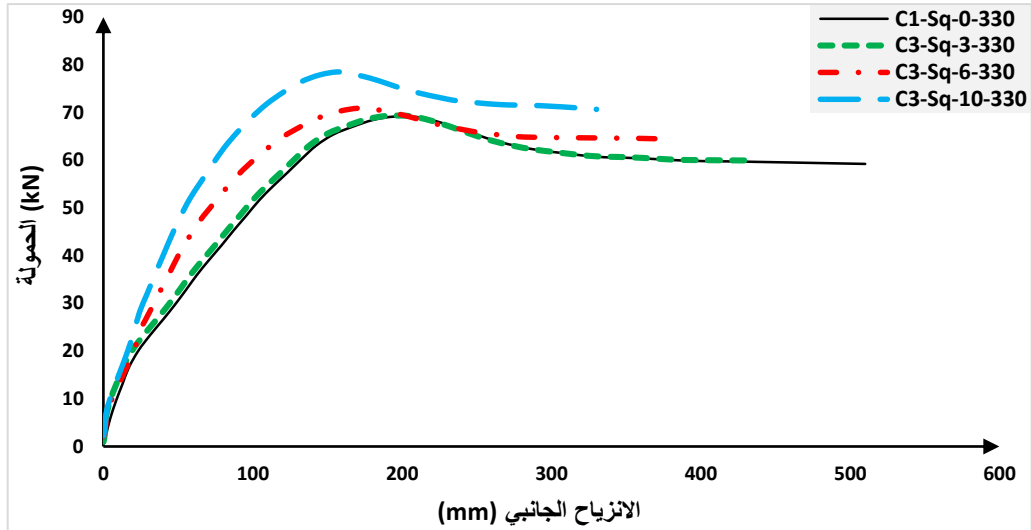
الشكل (13-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.667)



الشكل (14-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.767)

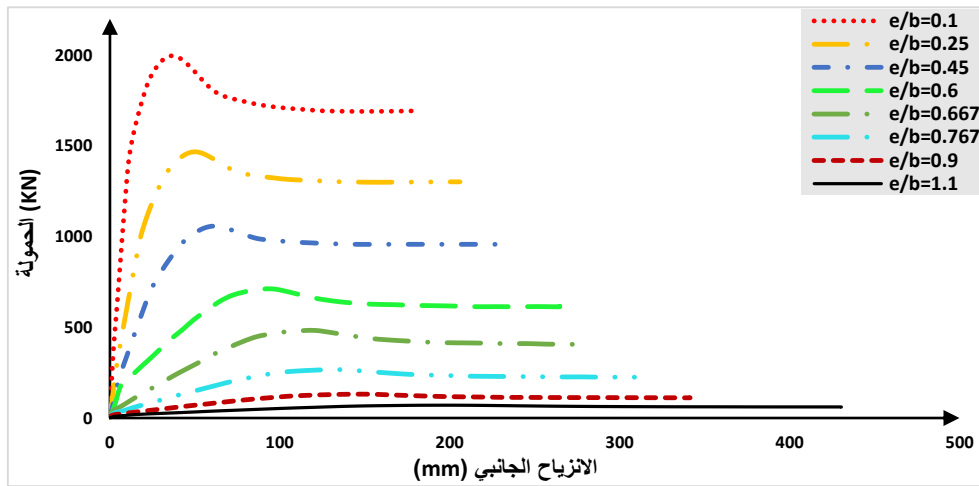


الشكل (15-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.9)

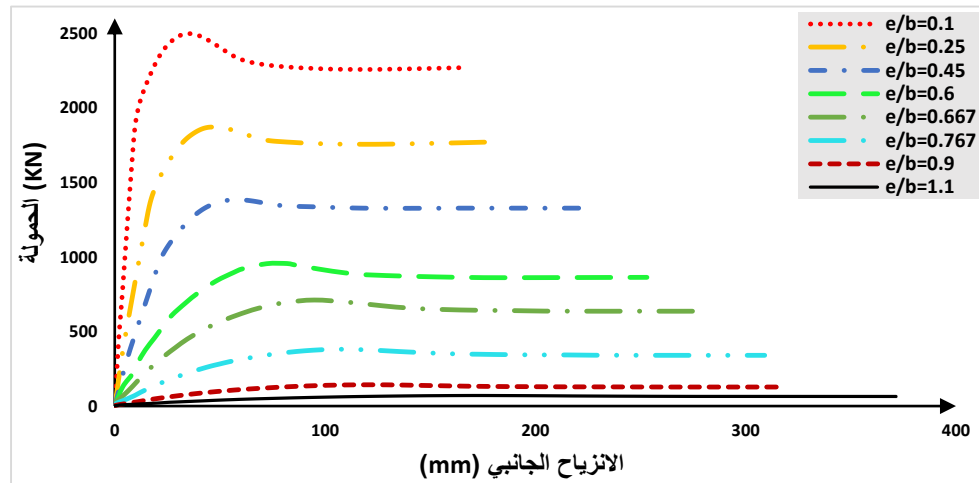


الشكل (4-16): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية ($e/b = 1.1$)

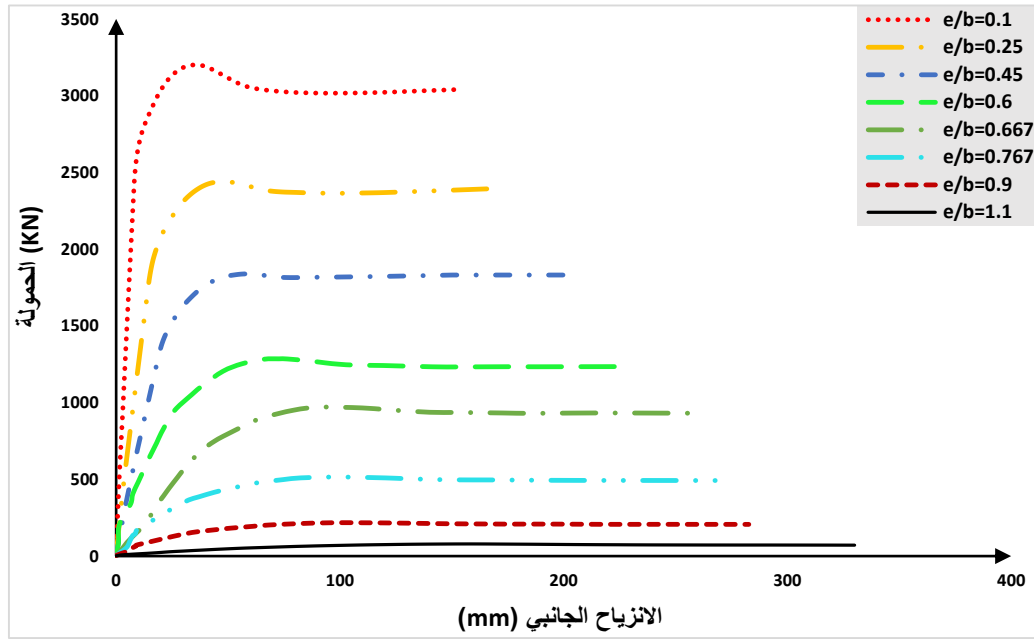
توضح الأشكال (4-17)، (4-18)، (4-19) مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكات ($t = 3, 6, 10$) mm مع تغيير نسبة اللامركزية [1].



الشكل (4-17): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكة $t = 3$ mm

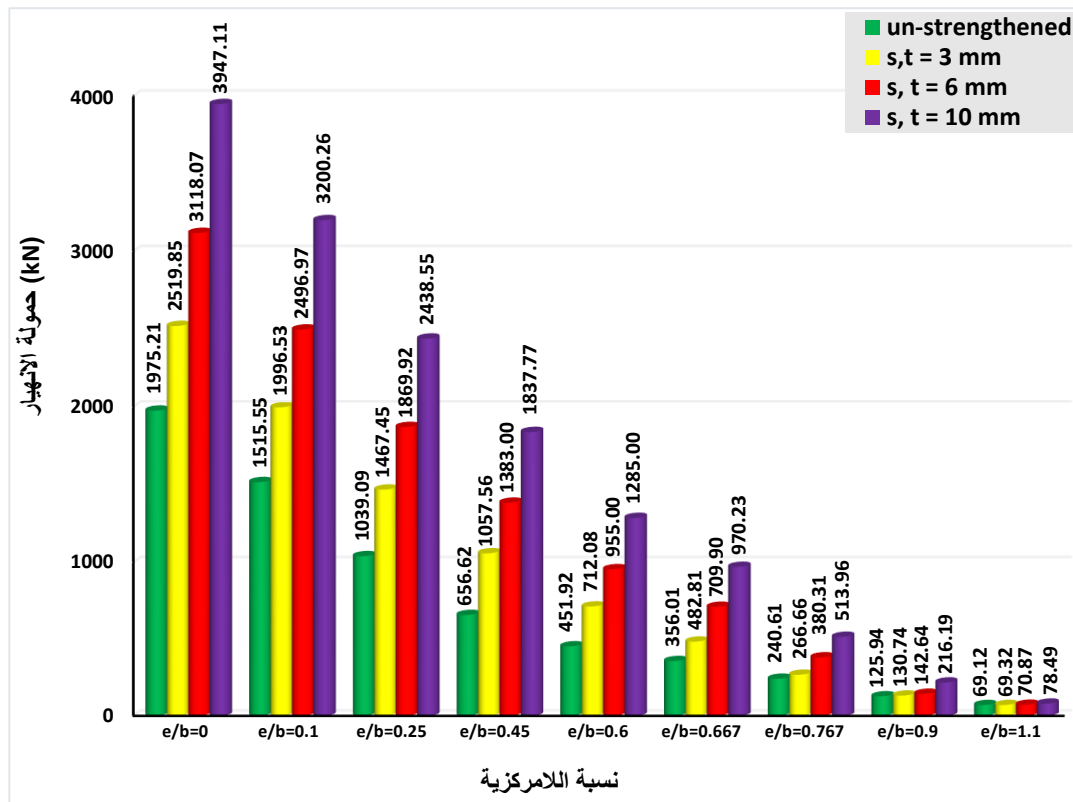


الشكل (4-18): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكة $t = 6$ mm



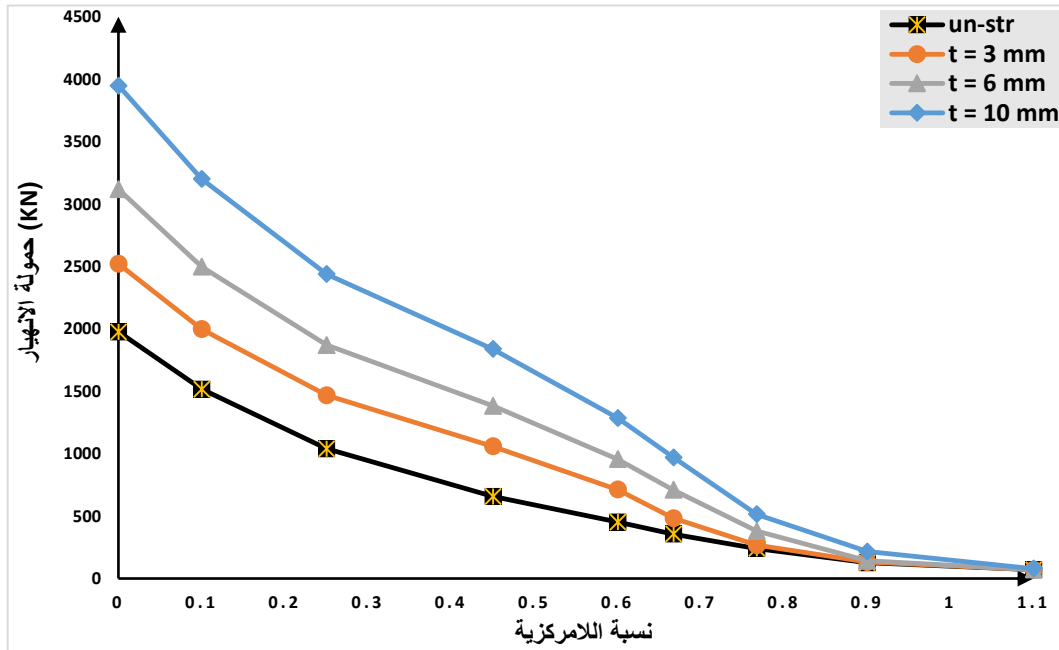
الشكل (19-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكة $t=10 \text{ mm}$

ويوضح الشكل (20-4) مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المربعة المدعمة وغير المدعمة والمعرضة لضغط مركزي ولا مركزي [1].



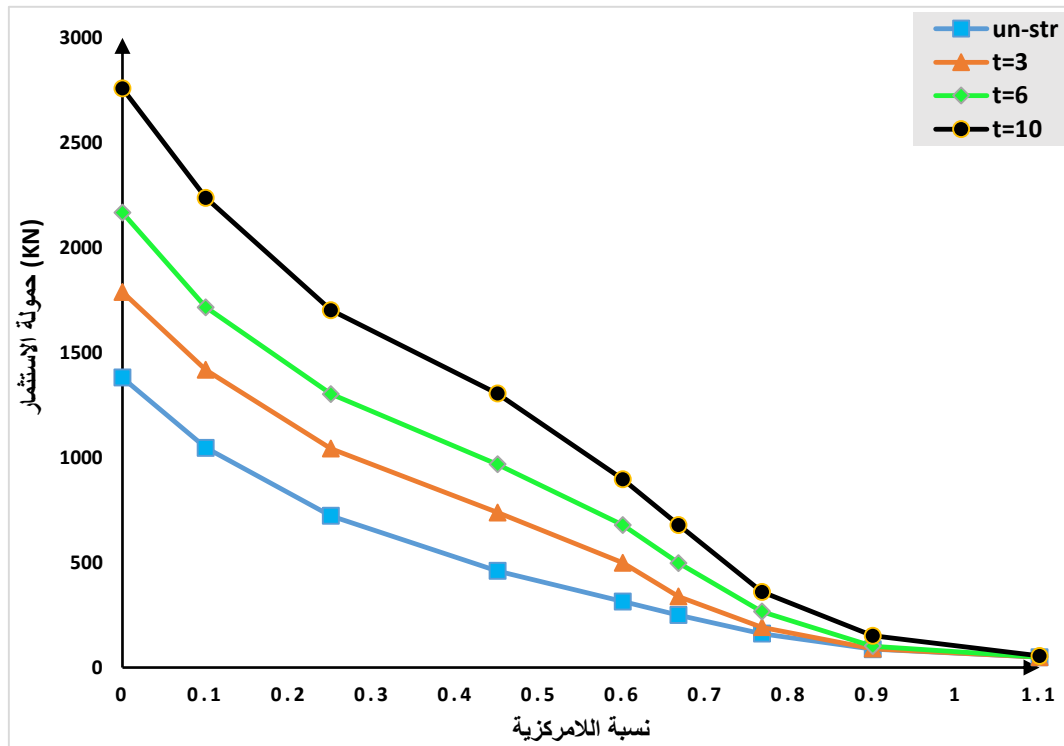
الشكل (20-4): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المربعة المدعمة وغير المدعمة.

أما الشكل (21-4) فيوضح مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي عند السماكات (t=3,6,10) mm وغير المدعمة بتغيير نسبة اللامركزية [1].



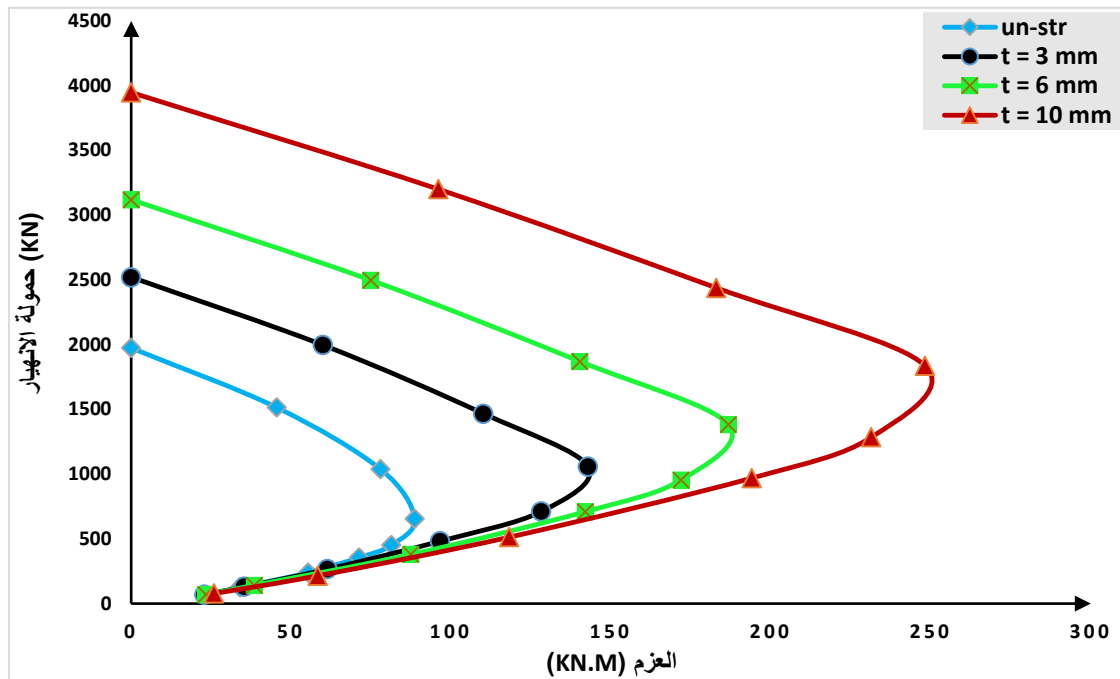
الشكل (21-4): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة.

أما الشكل (22-4) فيوضح مخطط (حمولة الاستئثار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي عند السماكات (t=3,6,10) mm وغير المدعمة [1].



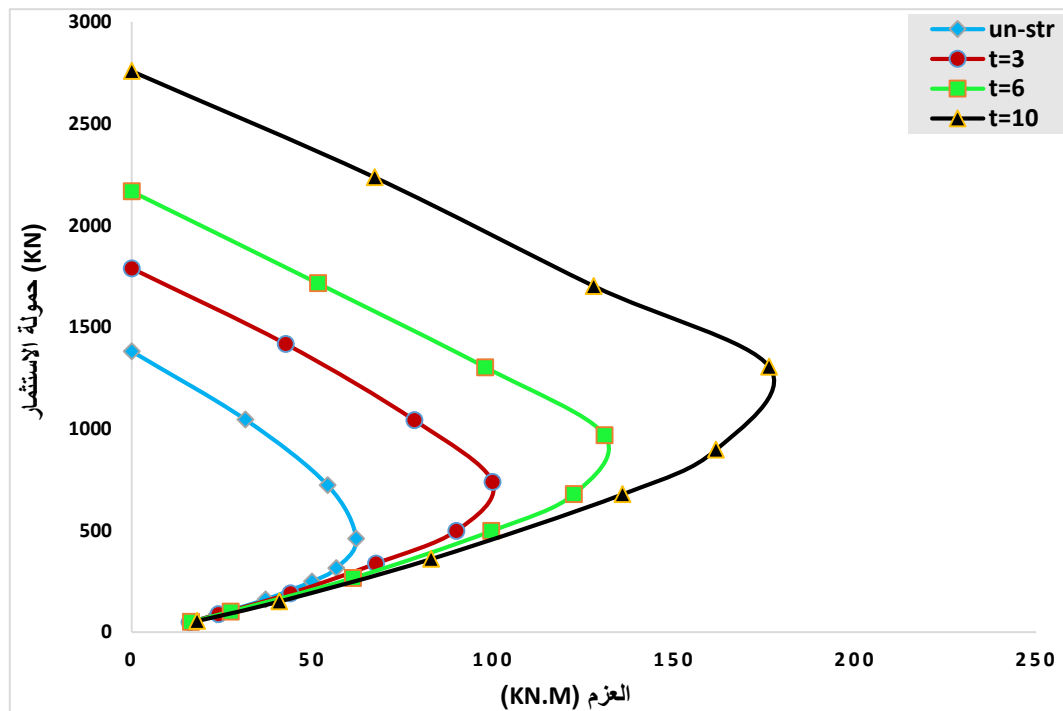
الشكل (22-4): مخطط (حمولة الاستئثار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة

يوضح الشكل (23-4) مخطط (العزم-حمولة الانهيار) أي منحنى الترابط للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي وغير المدعمة بتغيير نسبة اللامركزية [1].



الشكل (23-4): مخطط (العزم-حمولة الانهيار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة

أما الشكل (24-4) مخطط (العزم-حمولة الاستثمار) أي منحنى الترابط للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي وغير المدعمة بتغيير نسبة اللامركزية [1].



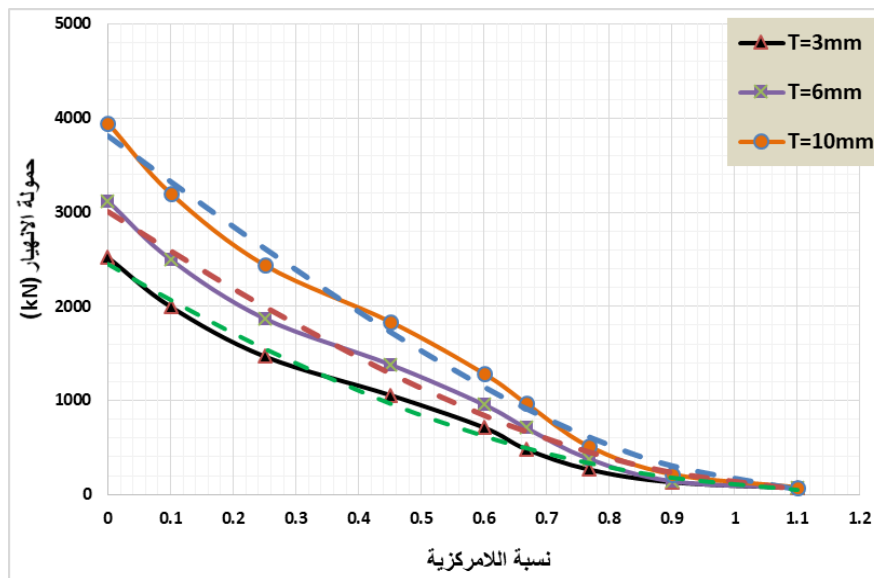
الشكل (24-4): مخطط (العزم-حمولة الاستثمار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة

تم الاستعانة ببرنامج OriginPro 2018 [17] لإيجاد معادلة يمكن من خلالها حساب حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة بهيكل فولاذي عند نسبة لامركزية معينة، وذلك عبر إيجاد منحنى شبه مطابق للمنحنى الناتج من التحليل في برنامج [ABAQUS V6.14-3] [1]، كما هو موضح في الشكل (4-25)، يمكن حساب حمولة الانهيار من العلاقة الآتية:

$$P_u = e^{a + \frac{b}{x+c}}$$

حيث:

- P_u : حمولة الانهيار. - a, b, c : ثوابت. - x : نسبة اللامركزية.



الشكل (4-25): منحنى (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) الناتج من التحليل والمنحنى الناتج عن برنامج OriginPro 2018

—: يمثل المنحنى الناتج عن التحليل. -----: يمثل والمنحنى الناتج عن برنامج OriginPro 2018

يبين الجدول (3-4) الثوابت a, b, c المستخدمة في المعادلة.

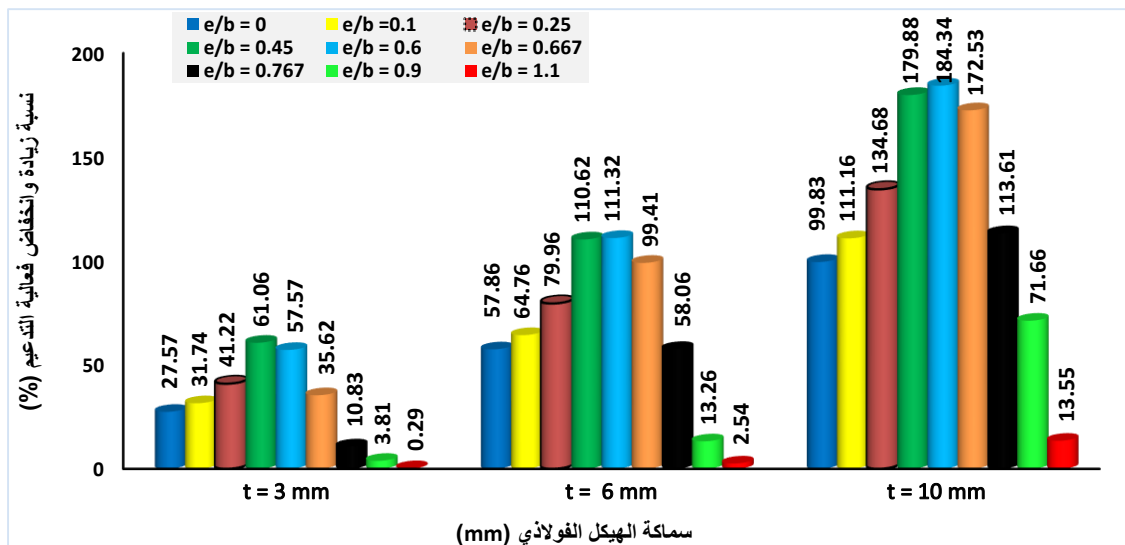
الجدول (3-4): الثوابت a, b, c المستخدمة في المعادلة [17]

الثوابت	T = 3	T = 6	T = 10
a	10.364	10.552	11.01
b	3.52	4.486	6.42
c	-1.661	-1.785	-2.003

من خلال الجداول والمخططات السابقة يمكن استخلاص النتائج الآتية:

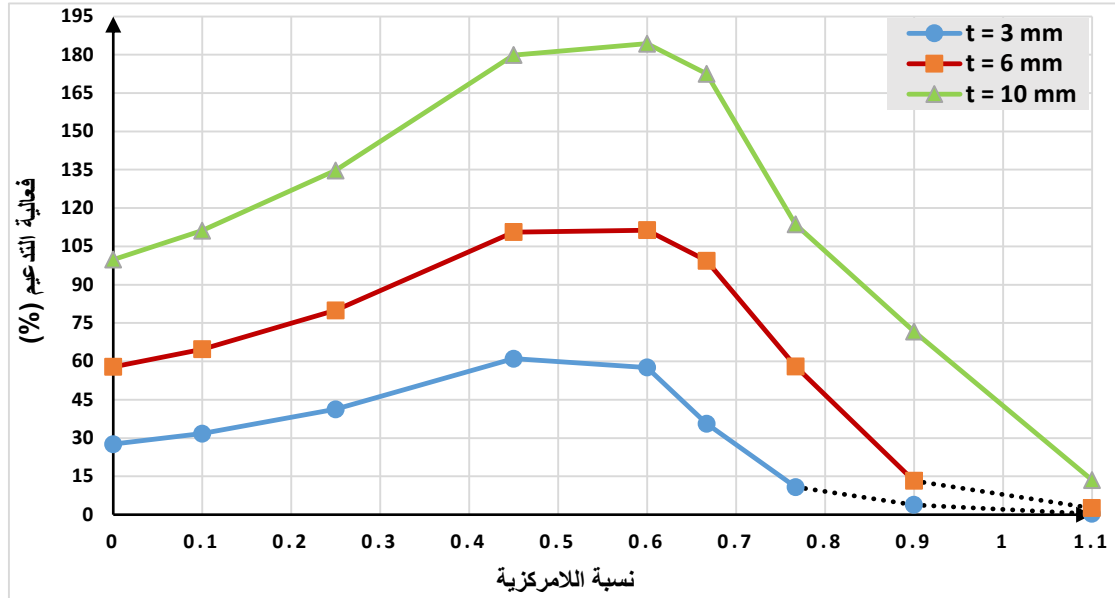
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة انخفضت حمولة الانهيار من kN (1975.21) إلى kN (69.12) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.1)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة انخفضت حمولة الاستثمار من kN (1380.67) إلى kN (48.38) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.1)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $(t=3)$ mm انخفضت حمولة الانهيار من kN (2519.85) إلى kN (69.32)، وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (1789.09) إلى kN (48.45) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.1)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $(t=6)$ mm انخفضت حمولة الانهيار من kN (3118.07) إلى kN (70.87)، وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (2167.06) إلى kN (49.61) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.1)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $(t=10)$ mm انخفضت حمولة الانهيار من kN (3947.11) إلى kN (78.49)، وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (2759.03) إلى kN (54.86) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.1)$.
- أما نسبة حمولة الانهيار إلى حمولة الاستثمار للأعمدة غير المدعمة بين (1.429-1.495)، وللأعمدة المدعمة بسماكة $(t=3)$ mm بين (1.397-1.474)، وللأعمدة المدعمة بسماكة $(t=6)$ mm بين (1.406-1.456)، وللأعمدة المدعمة بسماكة $(t=10)$ mm بين (1.408-1.433).

ويوضح الشكل (26-4) تأثير نسبة زيادة وانخفاض فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة الناتجة من حمولة الانهيار بتغيير نسب اللامركزية على سماكة الهيكل الفولاذي [1].



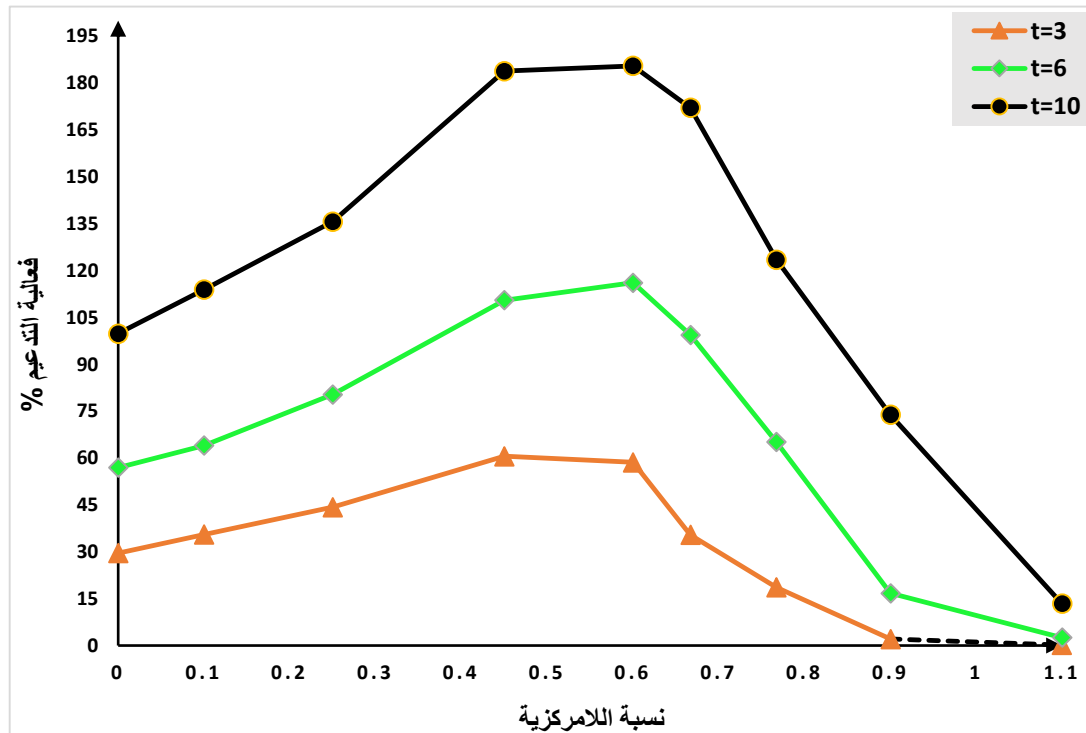
الشكل (26-4): تأثير نسبة زيادة وانخفاض كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة على سماكة الهيكل الفولاذي

يوضح الشكل (27-4) تأثير فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة غير المدعمة، الناتجة من حمولة الانهيار على نسبة اللامركزية، كما يبين نسبة اللامركزية التي يصبح عندها التدعيم غير فعال أي عندما تقل فعالية التدعيم عن (15%) كما هو مذكور ببعض الدراسات المرجعية [8]، [4]، [6].



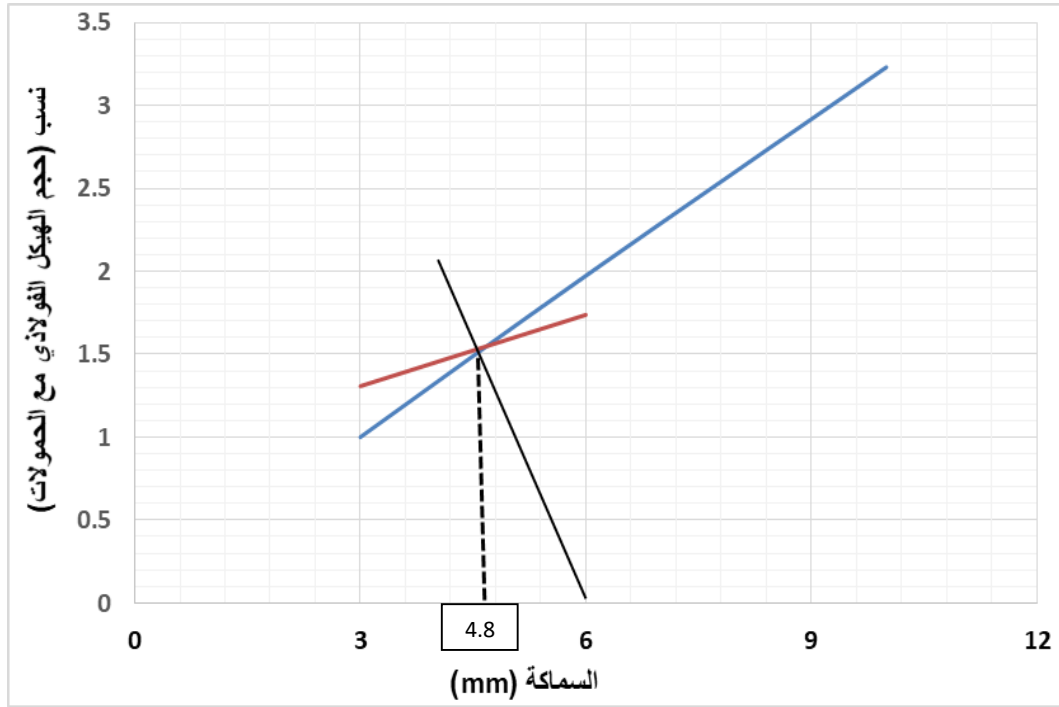
الشكل (27-4): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة الناتجة من حمولة الانهيار، على نسبة اللامركزية

يوضح الشكل (28-4) تأثير فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة غير المدعمة، الناتجة من حمولة الاستثمار على نسب اللامركزيات المختلفة.



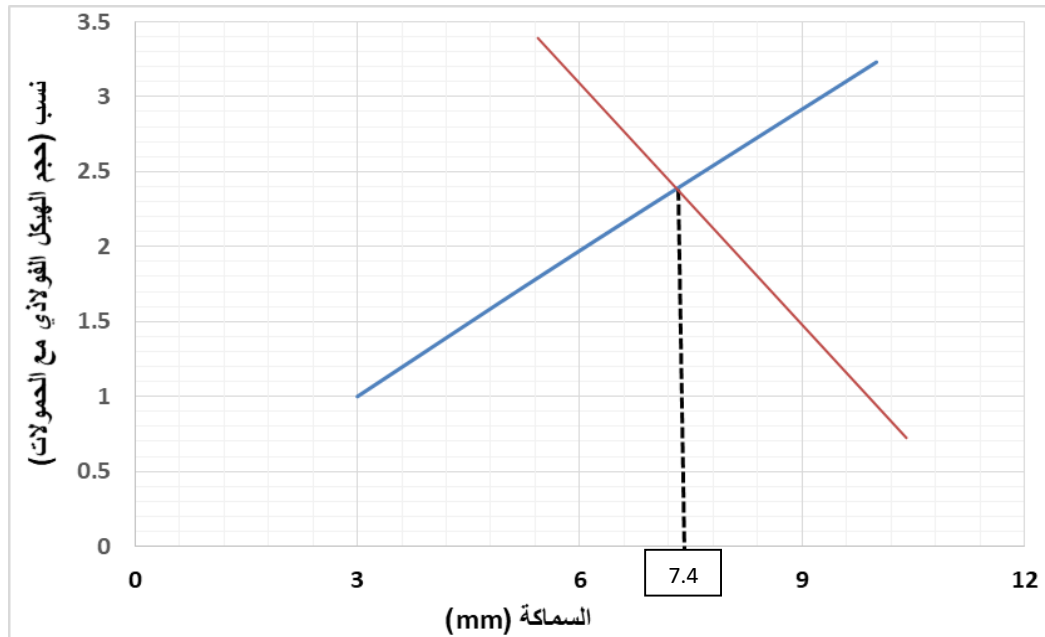
الشكل (28-4): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة الناتجة من حمولة الاستثمار، على نسبة اللامركزية

يوضح الشكل (4-29) قيمة سماكة الهيكل الفولاذي الأمثلية لتحمل حمولات الأعمدة المدعمة بسماكتين (3,6)mm عن طريق الحل الأمثل من نسب حجم فولاذ الهيكل، وحمولات الانهيار مع السماكة.



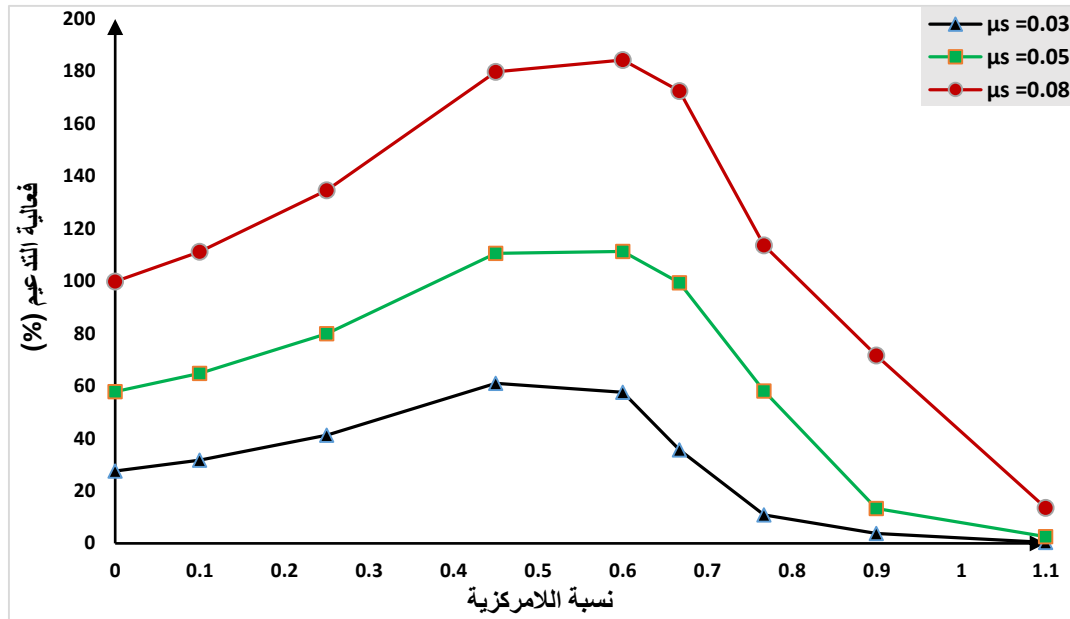
الشكل (4-29): قيمة السماكة الأمثلية لتحمل حمولات الأعمدة المدعمة بسماكتين (3,6)mm

يوضح الشكل (4-30) قيمة سماكة الهيكل الفولاذي الأمثلية لتحمل حمولات الأعمدة المدعمة بسماكتين (10,6)mm عن طريق الحل الأمثل من نسب حجم فولاذ الهيكل، وحمولات الانهيار مع السماكة.



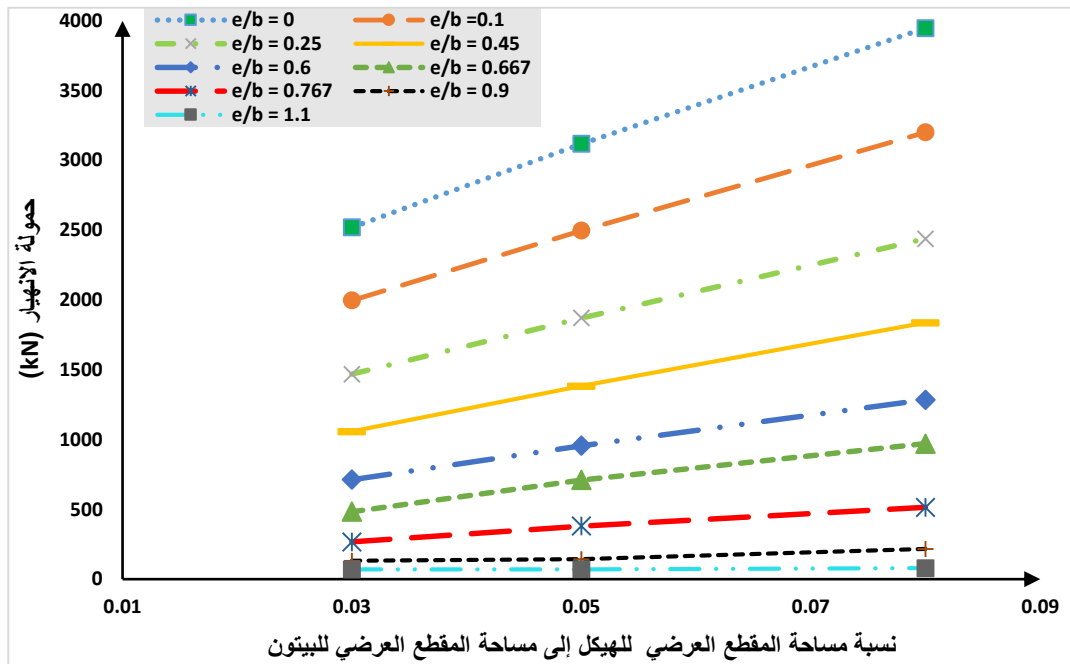
الشكل (4-30): قيمة السماكة الأمثلية لتحمل حمولات الأعمدة المدعمة بسماكتين (10,6)mm

يوضح الشكل (4-31) تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة وتغيير نسبة اللامركزية [1].



الشكل (4-31): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على فعالية التدعيم

يوضح الشكل (4-32) تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على حمولات الانهيار للأعمدة المدعمة وتغيير نسب اللامركزية.

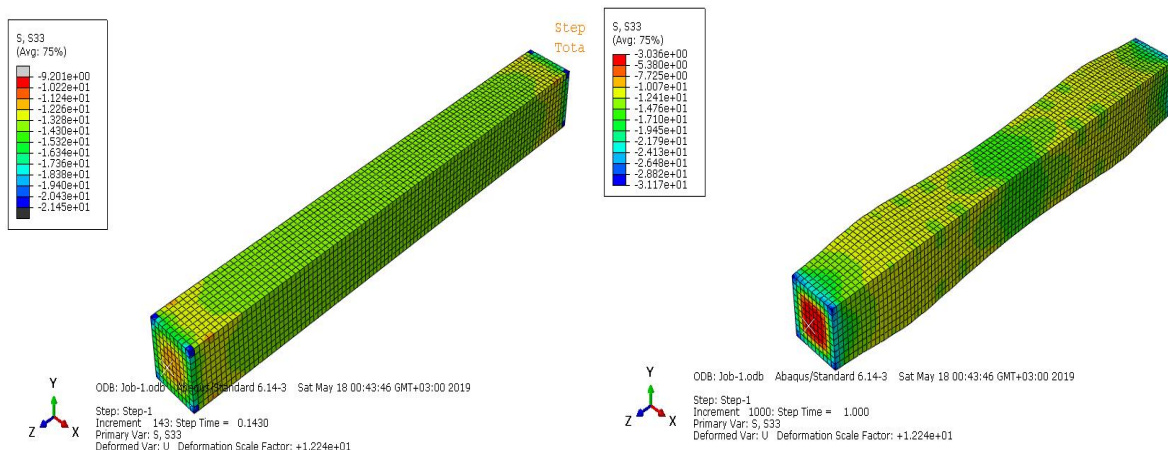


الشكل (4-32): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على حمولات الانهيار [1]

• نتائج المرحلة الأولى:

- إن فعالية أو كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة (t=3)mm مقارنة بالأعمدة غير المدعمة ازدادت بحوالي % (27.57-61.06) بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة (e/b=0) حتى النسبة (e/b=0.45) ثم انخفضت كفاءة التدعيم بعد هذه النسبة، وعندما كانت نسبة اللامركزية (e/b=0.767) أصبح التدعيم غير فعال، أما بالنسبة لنموذج المدعم بسماكة (t=6)mm ازدادت بحوالي % (57.86-111.32) بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة (e/b=0) حتى النسبة (e/b=0.6) ثم انخفضت كفاءة التدعيم بعد هذه النسبة، وعندما كانت نسبة اللامركزية (e/b=0.9) أصبح التدعيم غير فعال، وبالنسبة لنموذج المدعم بسماكة (t=10)mm ازدادت بحوالي % (99.83-184.34) بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة (e/b=0) حتى النسبة (e/b=0.6) حيث انخفضت كفاءة التدعيم بعد هذه النسبة، وعندما كانت نسبة اللامركزية (e/b=1.1) أصبح التدعيم غير فعال.
- فعالية التدعيم الناتجة من حمولة الاستثمار كانت الزيادة والانخفاض عند نفس النسب، ولكن الأعمدة المدعمة بسماكة (t=3)mm كان التدعيم غير فعال عند النسبة (e/b=0.9)، والمدعمة بسماكة (t=6)mm كان التدعيم غير فعال عند النسبة (e/b=1.1) والمدعمة بسماكة (t=10)mm كان التدعيم غير فعال بعد النسبة (e/b=1.1).
- الأعمدة المدعمة بالسماكتين (t=3,6mm) كانت السماكة الأمثلية هي (t=4.8mm)، الأعمدة المدعمة بالسماكتين (t=6,10mm) كانت السماكة الأمثلية هي (t=7.4mm) كما هي موضحة في الشكلين (4-29)، (4-30).

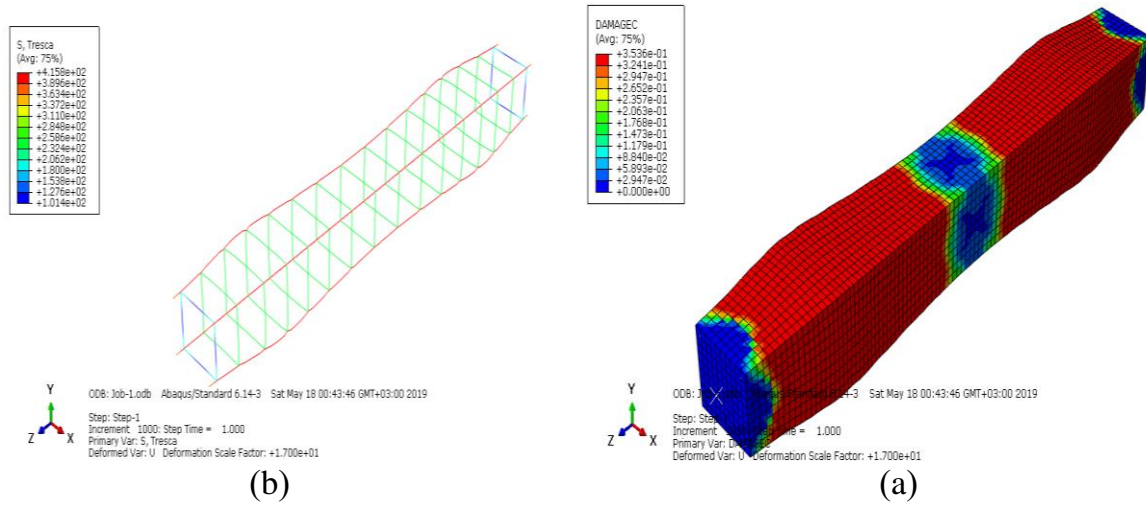
أما الشكل (4-33) فيوضح أن الاجهادات الضاغطة المحورية S33 (σ_z) عند مراحل مختلفة من التحميل، حيث كانت أعظمية في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي [1].



الشكل (4-33): الاجهادات الضاغطة المحورية S33 (σ_z) في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير

المدعم والمعرض لضغط مركزي [1]

يوضح الشكل (4-34) أن التلدن بدأ وانتهى ضمن فولاذ التسليح الطولي، يبين شكل التحنيب فيها، وكانت تغيراته ضئيلاً ضمن الأساور، كما يبين شكل الضرر في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي.

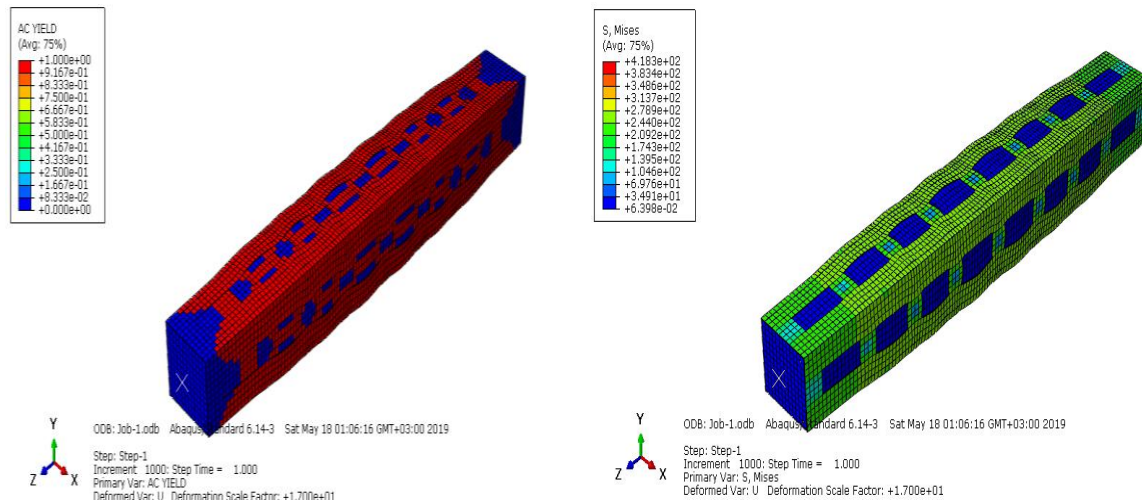


الشكل (4-34):

(a): شكل الضرر في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي [1]

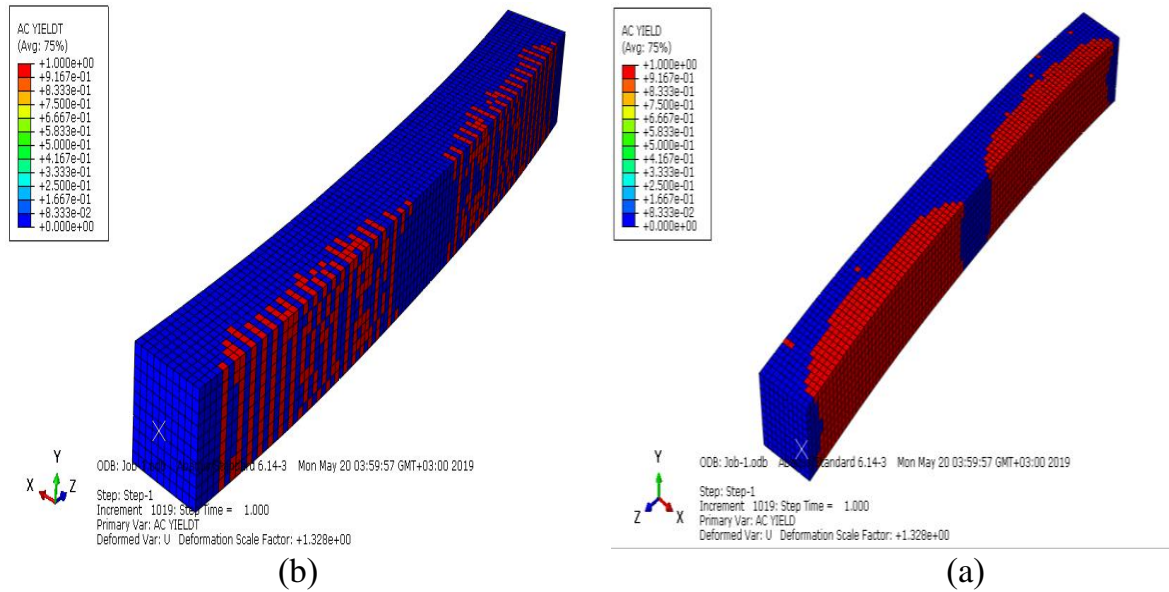
(b): الإجهادات ضمن فولاذ التسليح الطولي في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي

يوضح الشكل (4-35) أن زيادة الإجهادات تحصل في الزوايا الأربع للهيكل الفولاذي ويفسر ذلك بأن تلك المناطق تعاني من انهيارات جزئية قبل غيرها، يظهر التلدن بشكل أساسي في الزوايا الأربع وضمن العمود الخرساني، أما المبسطات الأفقية فقد كان التلدن فيها ضئيلاً مقارنة بالزوايا، بالنسبة للعمود الخرساني المدعم المعرض لضغط مركزي [1].



الشكل (4-35): إجهادات Von Mises، شكل التلدن في العمود الخرساني المدعم والمعرض لضغط مركزي

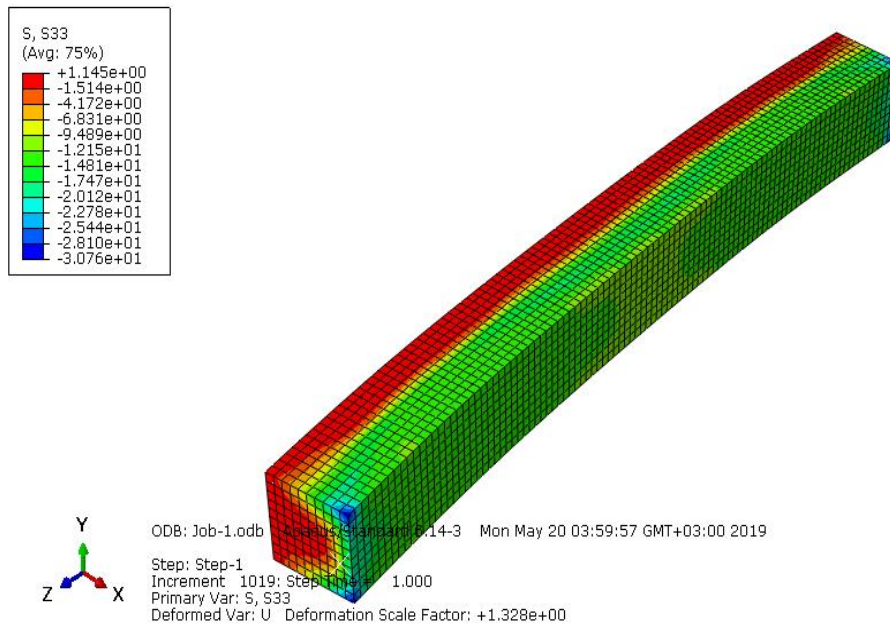
يوضح الشكل (36-4) التلدين في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط لامركزي في الجزء المضغوط والجزء المشدود [1].



الشكل (36-4): التلدين في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط لا مركزي.

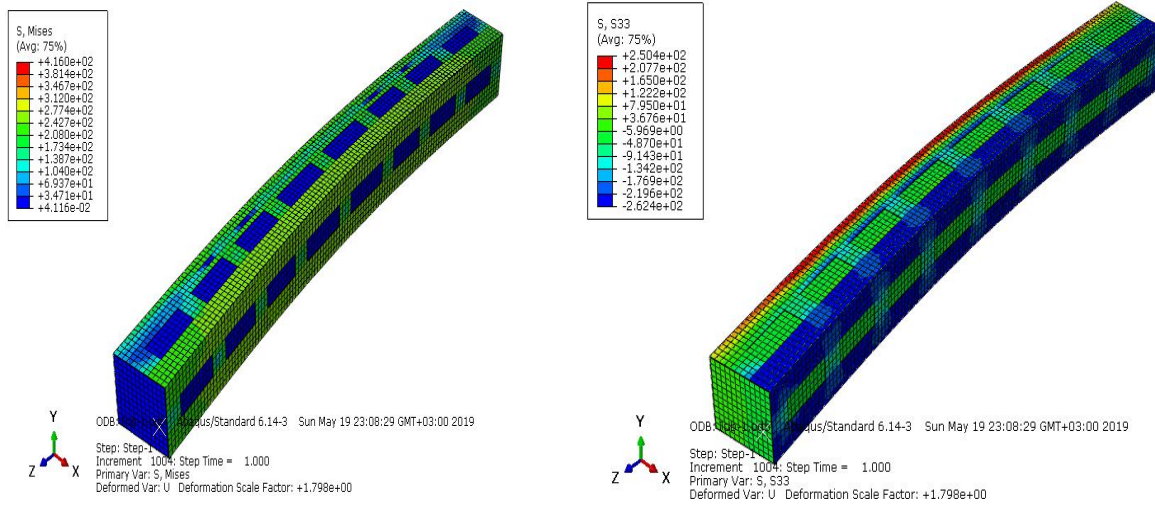
(a): الجزء المضغوط، (b): الجزء المشدود [1]

يوضح الشكل (37-4) الإجهادات S33 في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط لامركزي.



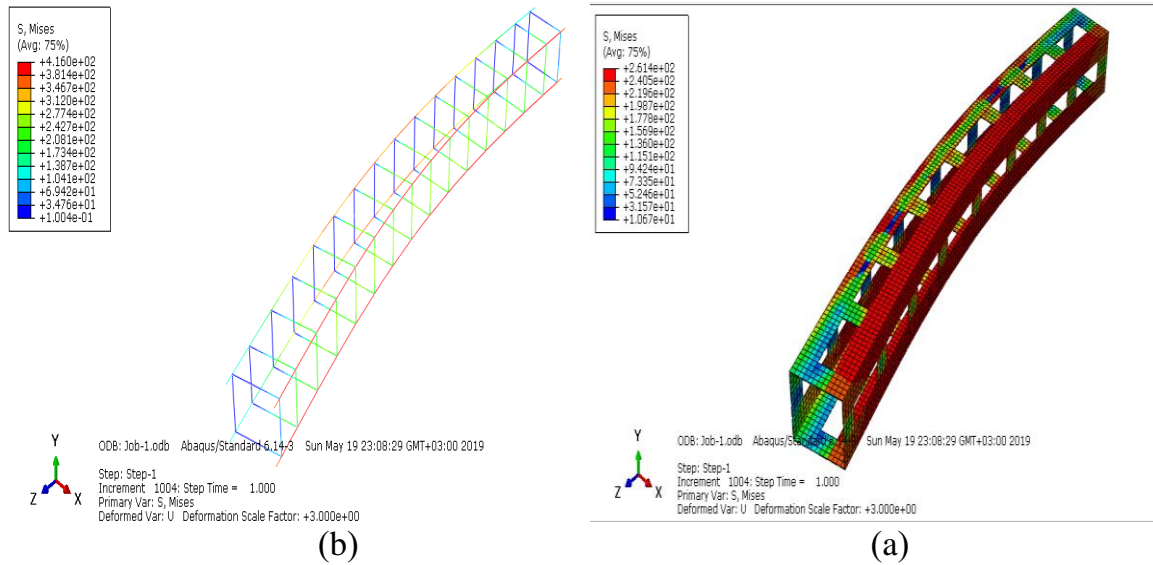
الشكل (37-4): الإجهادات S33 في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط لامركزي [1]

أما الشكل (38-4) فيوضح إجهادات Von Mises، S33 للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لا مركزي، حيث بدأ التلدن في الزوايا، وحدث ضمن العمود الخرساني وكان ضئيلاً في المبسطات الأفقية.



الشكل (38-4): إجهادات Von Mises، S33 للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لا مركزي

يوضح الشكل (39-4) إجهادات Von Mises للهيكل الفولاذي وفولاذ التسليح الطولي والعرضي للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لا مركزي [1].



الشكل (39-4): إجهادات Von Mises للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لا مركزي.

(a): الهيكل الفولاذي.

(b): فولاذ التسليح الطولي والعرضي [1]

- ونلاحظ أن إجهادات Von Mises أو إجهادات Tresca أو الإجهادات الضاغطة كانت أعظمية عند أطراف العمود الخرساني المسلح غير المدعم.
- نلاحظ أن التلدن حدث في فولاذ التسليح الطولي وكان ضئيلاً ضمن الأساور.
- نلاحظ أن التلدن في العمود الخرساني المسلح المدعم حدث في الزوايا الشاقولية وكان ضئيلاً في المبسطات الأفقية، وكانت الإجهادات الضاغطة أو إجهادات Von Mises أو إجهادات Tresca أعظمية في الزوايا الشاقولية وكانت قيمتها أكبر من قيمة إجهاد الخضوع للزوايا (240 MPa) وهذا مؤشر لحدوث التحنيب والتلدن ضمن الزوايا.
- نلاحظ أن الإجهادات كانت أعظمية في الزوايا الشاقولية وخاصة الزوايا في الجزء المضغوط.

2- المرحلة الثانية:

الدراسة التحليلية لنموذج العمود الخرساني المسلح للمقطع العرضي المستطيل المدعم وغير المدعم، المعرض لضغط مركزي ولا مركزي، عند اللامركزية التالية: (e=0,30,75,135,180,225,260,300,370) mm، حيث نسب اللامركزية هي على التوالي (e/b=0,0.1,0.25,0.45,0.6,0.75,0.867,1,1.233).

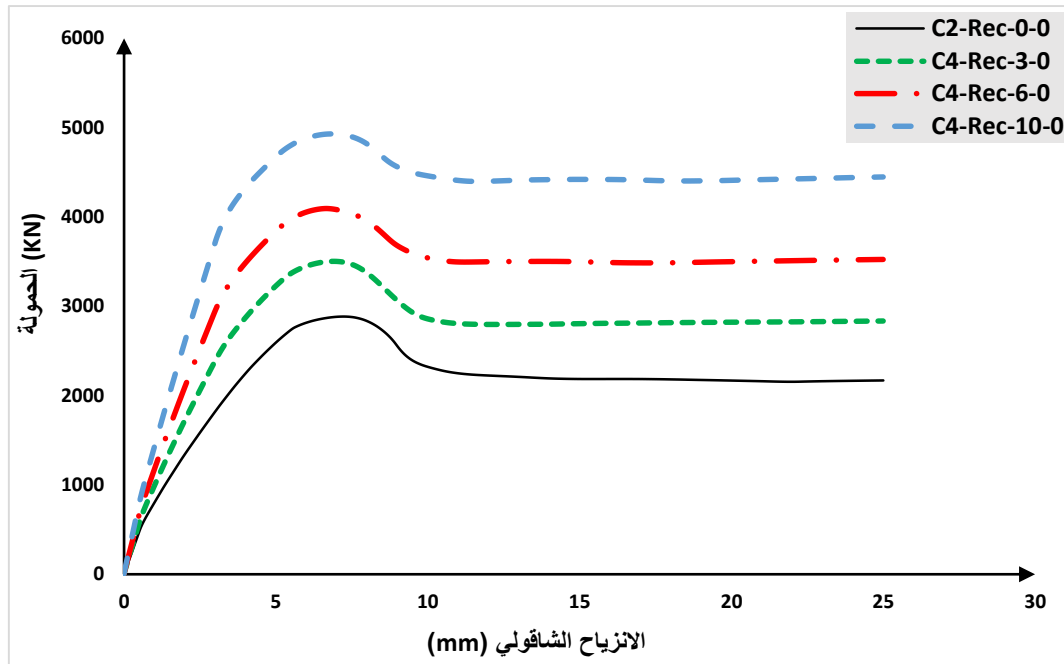
ونظمنا نتائج حمولة الانهيار (P_u)، كفاءة أو فعالية التدعيم (ρ)، وحمولة الاستثمار (P_c) وهي الحمولة المحسوبة من الانزياح في الجدول (4-4).

الجدول (4-4): حمولات الانهيار، فعالية التدعيم، وحمولات الاستثمار

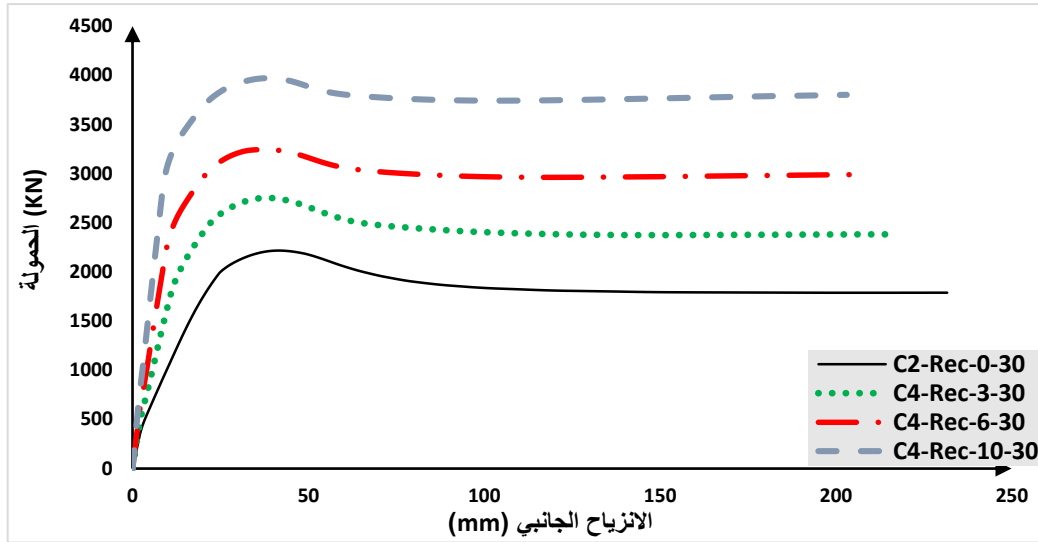
أسم المجموعة	أسم النموذج	P_u (kN)	فعالية التدعيم (%)	P_c (kN)	P_u / P_c
C2	C2-Rec-0-0	2885.68	-	1991.12	1.449
	C2- Rec -0-30	2217.07	-	1503.17	1.475
	C2- Rec -0-75	1513.3	-	1039.64	1.456
	C2- Rec -0-135	969.32	-	688.22	1.408
	C2- Rec -0-180	724.6	-	523.88	1.383
	C2- Rec -0-225	501	-	339.68	1.475
	C2- Rec -0-260	318.43	-	212.07	1.502
	C2- Rec -0-300	134.01	-	91.8	1.460
	C2- Rec -0-370	82.91	-	54.55	1.520
C4	C4- Rec -3-0	3501.69	21.35	2412.66	1.451
	C4- Rec -6-0	4093.36	41.86	2857.16	1.433
	C4- Rec -10-0	4930.87	70.87	3505.85	1.406
	C4- Rec -3-30	2753.65	24.2	1924.8	1.431
	C4- Rec -6-30	3244.7	46.35	2229.11	1.456
	C4- Rec -10-30	3972.03	79.16	2740.1	1.450
	C4- Rec -3-75	1990.77	31.55	1389.56	1.433
	C4- Rec -6-75	2403.47	58.82	1708.87	1.406
	C4- Rec -10-75	2999.39	98.2	2129.57	1.408
	C4- Rec -3-135	1402.33	44.67	967.61	1.449
	C4- Rec -6-135	1752.94	80.84	1174.47	1.493
	C4- Rec -10-135	2232.99	130.37	1607.75	1.389
	C4- Rec -3-180	1122.8	54.95	785.96	1.429
	C4- Rec -6-180	1403.04	93.63	980.72	1.431

C4- Rec -10-180	1795.47	147.79	1312.49	1.368
C4- Rec -3-225	727.13	45.13	516.26	1.408
C4- Rec -6-225	885.5	76.75	618.96	1.431
C4- Rec -10-225	1098.29	119.22	757.82	1.449
C4- Rec -3-260	354.39	11.29	251.62	1.408
C4- Rec -6-260	501.98	57.65	350.88	1.431
C4- Rec -10-260	604.62	89.88	429.28	1.408
C4- Rec -3-300	138.5	3.35	96.81	1.431
C4- Rec -6-300	145.65	8.68	101.96	1.428
C4- Rec -10-300	227.56	69.8	154.74	1.471
C4- Rec -3-370	82.98	0.08	56.26	1.475
C4- Rec -6-370	83.76	1.03	58.55	1.431
C4- Rec -10-370	91.96	10.92	63.27	1.454

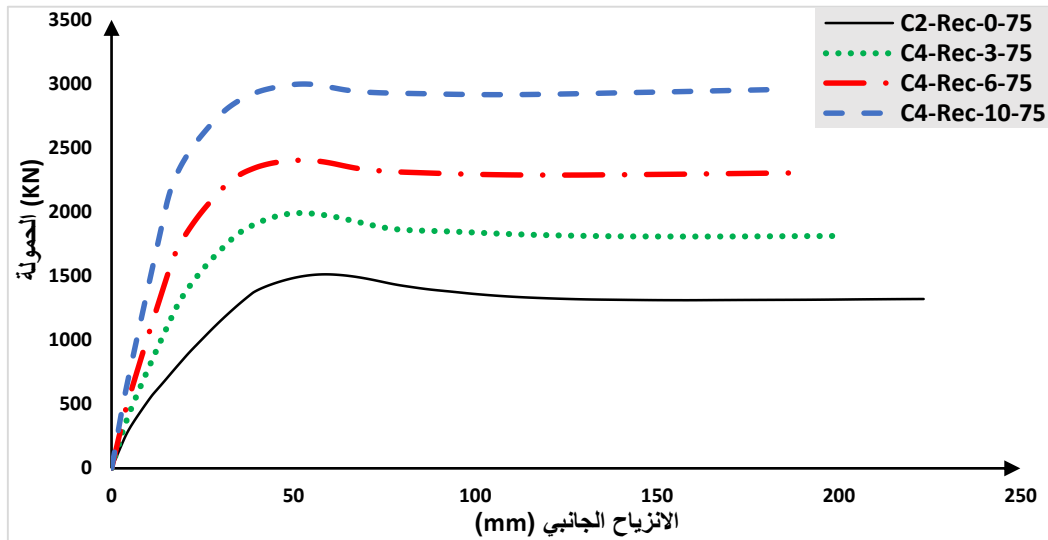
يوضح الشكل (40-4)، (41-4)، (42-4)، (43-4)، (44-4)، (45-4)، (46-4)، (47-4)، (48-4) مخططات (الحمولة-الانزياح) لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة وغير المدعمة للمقطع العرضي المستطيل عند نسب لامركزية (e/b=0,0.1,0.25,0.45,0.6,0.75,0.867,1,1.233) [1].



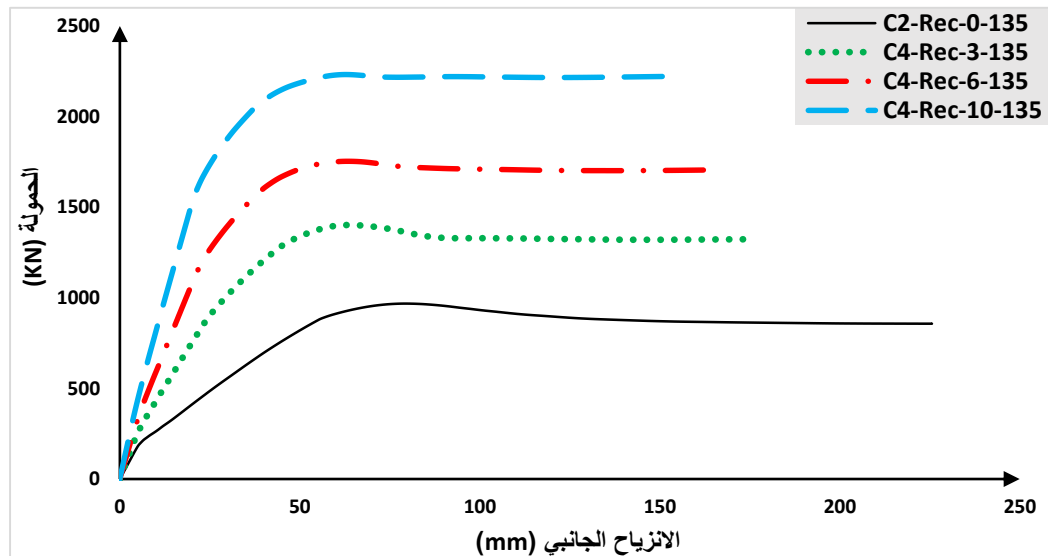
الشكل (40-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الشاقولي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0)



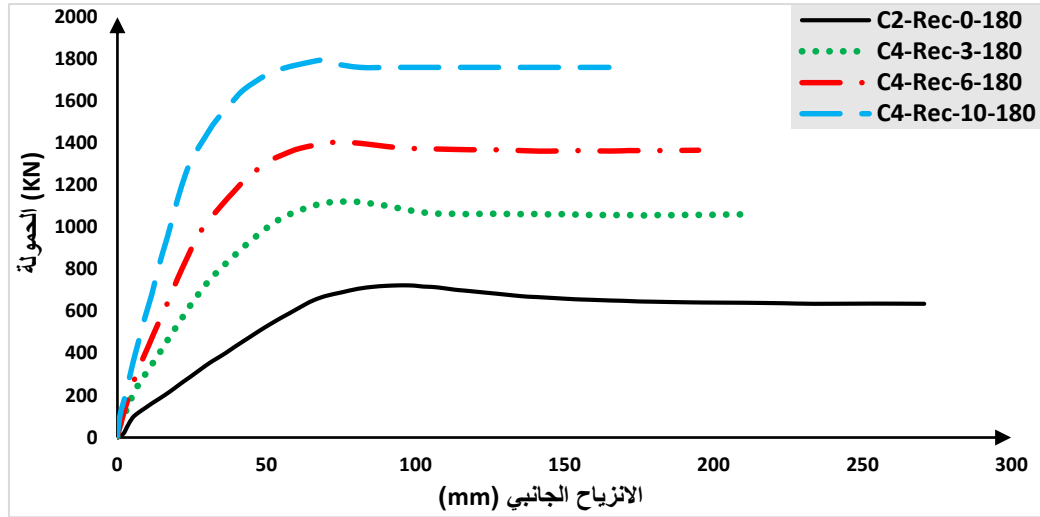
الشكل (41-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.1)



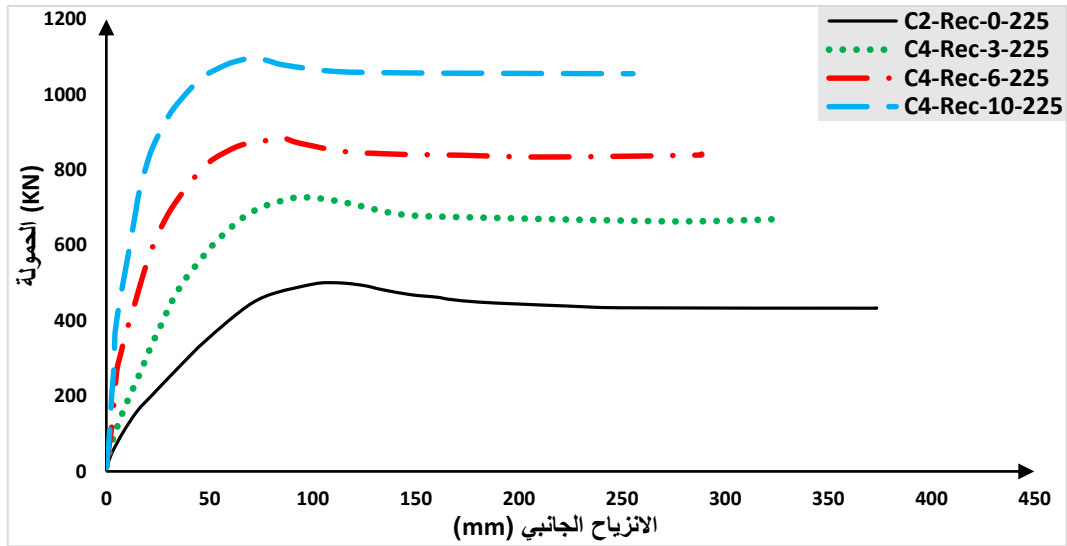
الشكل (42-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.25).



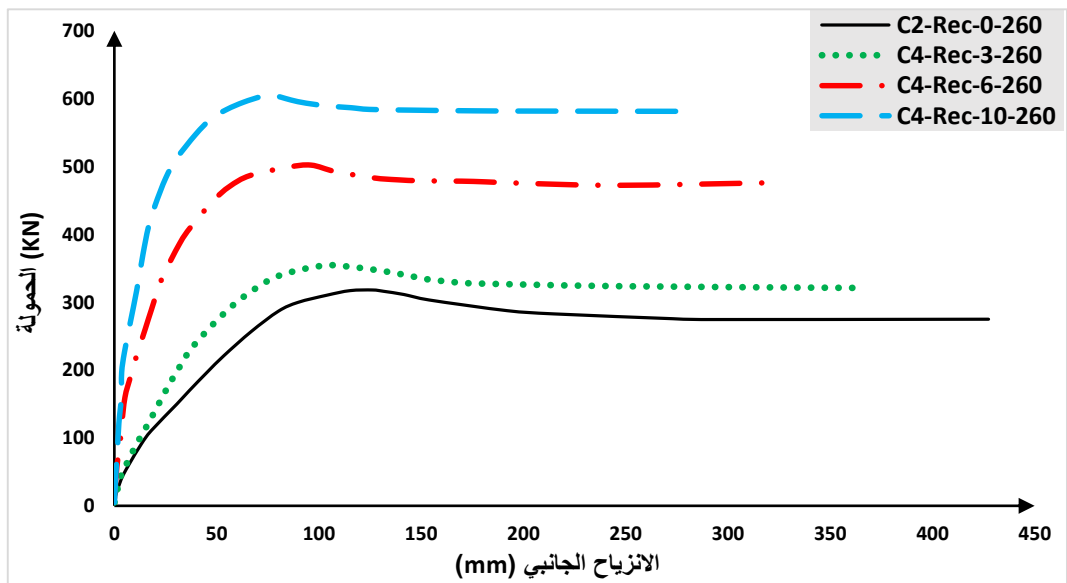
الشكل (43-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.45)



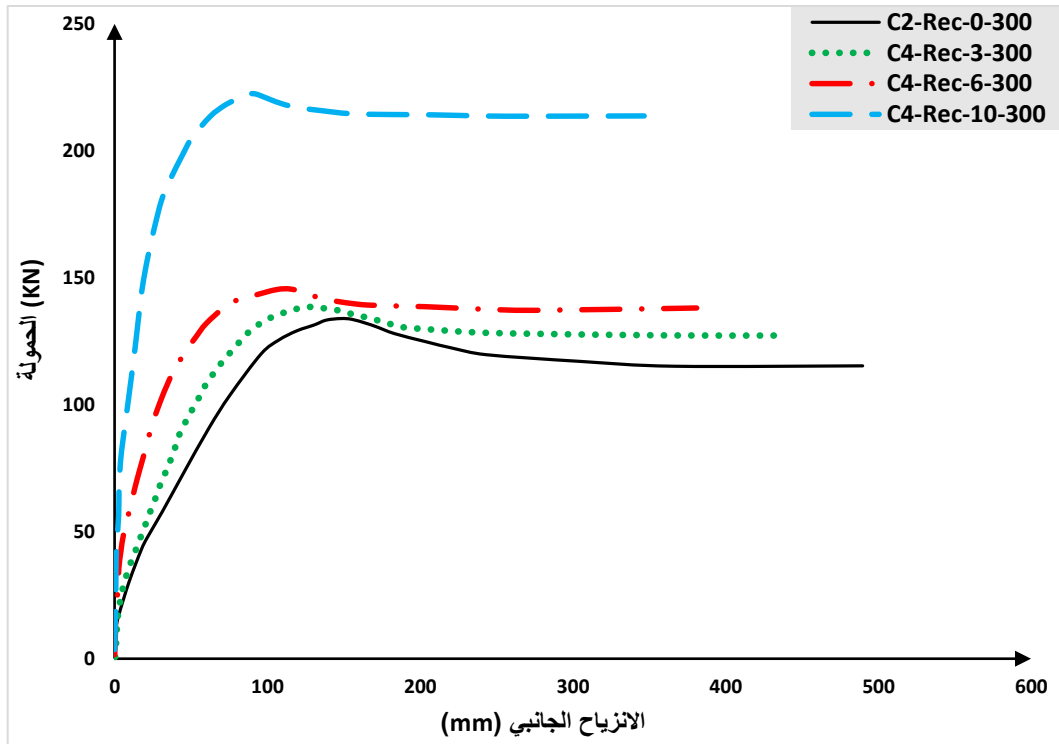
الشكل (44-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.6)



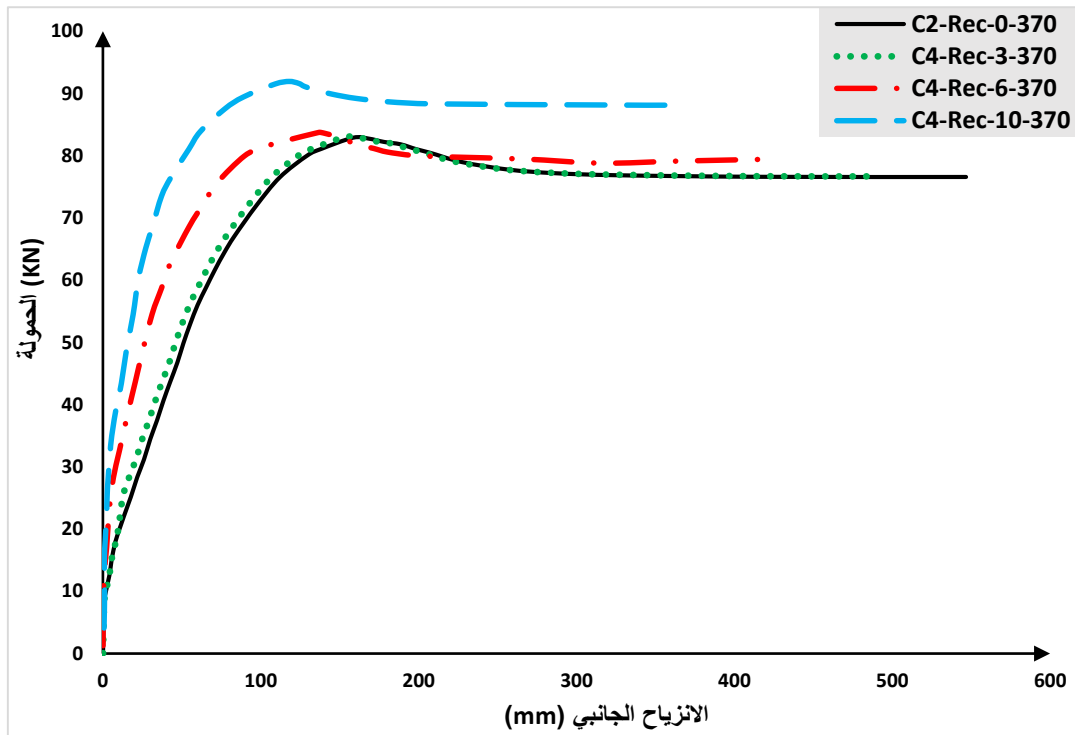
الشكل (45-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.75)



الشكل (46-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b= 0.867)

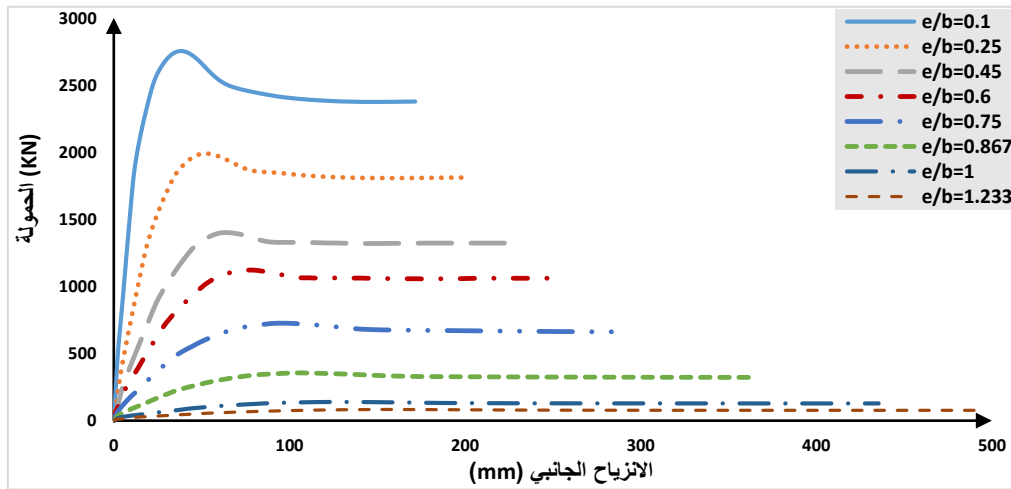


الشكل (47-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b=1)

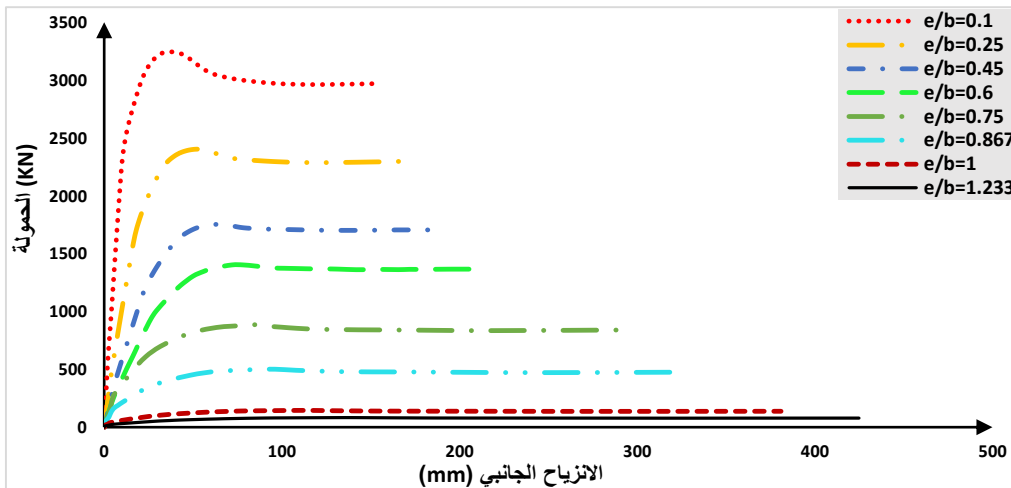


الشكل (48-4): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية (e/b=1.233)

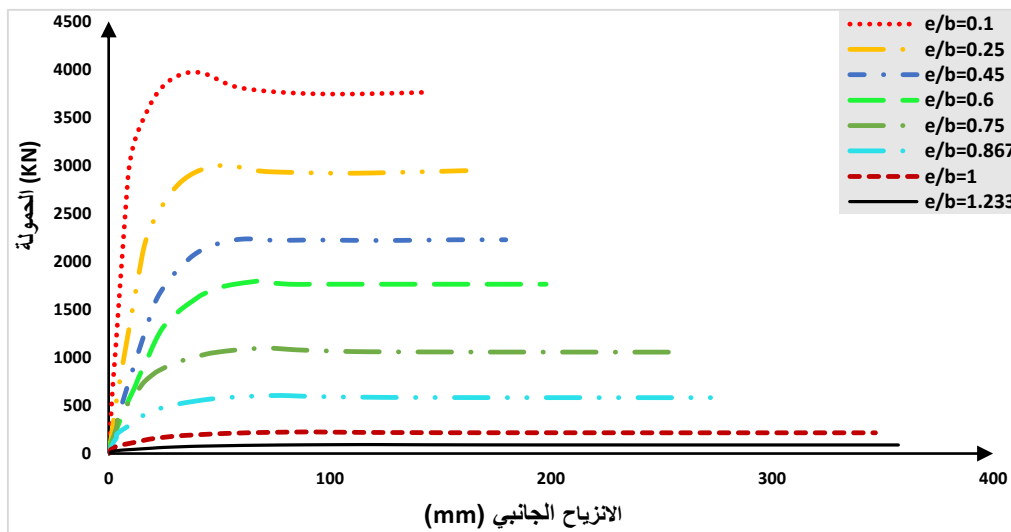
توضح الأشكال (49-4)، (50-4)، (51-4) مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكات $t=3, 6, 10$ mm مع تغيير نسبة اللامركزية [1].



الشكل (49-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكة $t=3$ mm

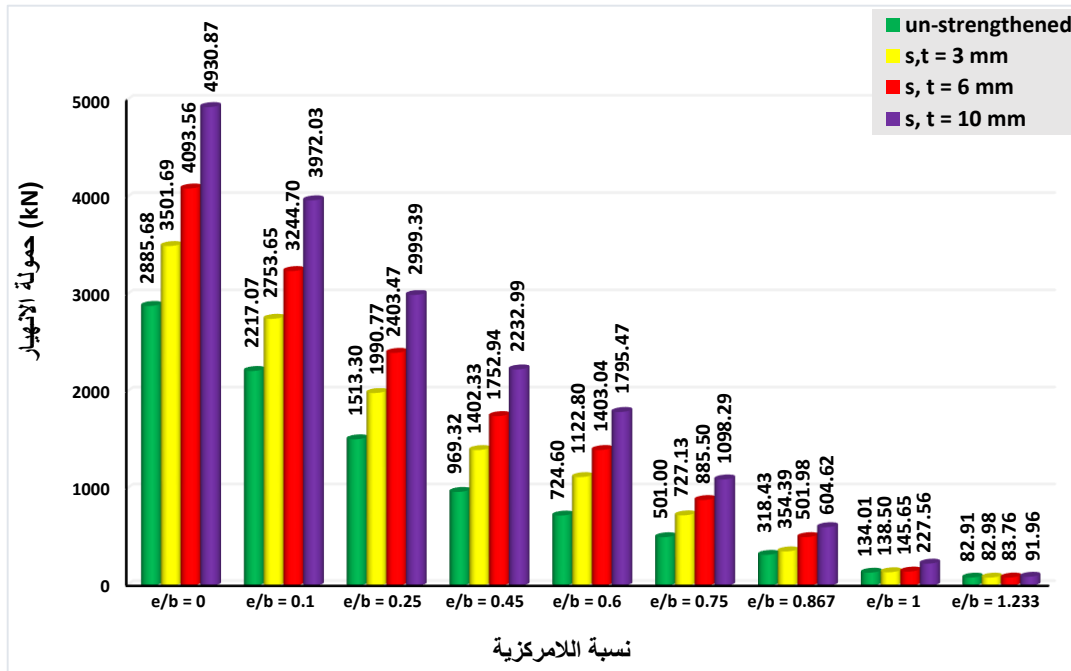


الشكل (50-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكة $t=6$ mm



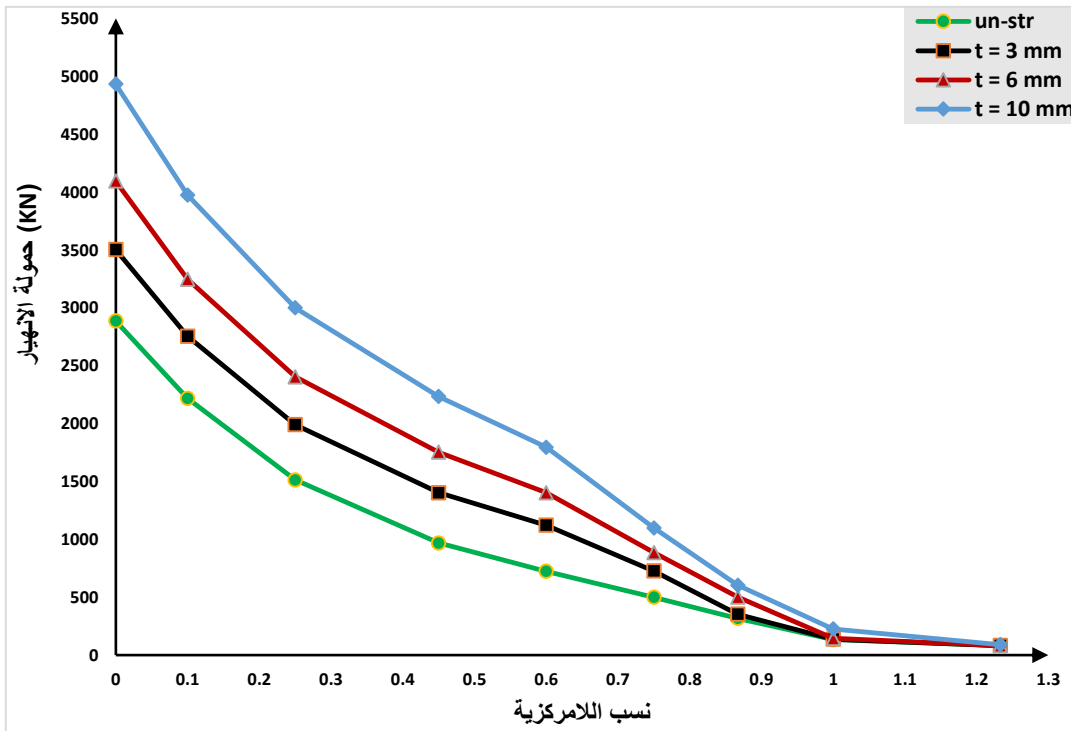
الشكل (51-4): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند السماكة $t=10$ mm

ويوضح الشكل (4-52) مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة والمعرضة لضغط مركزي ولا مركزي للنموذج للمقطع المستطيل [1].



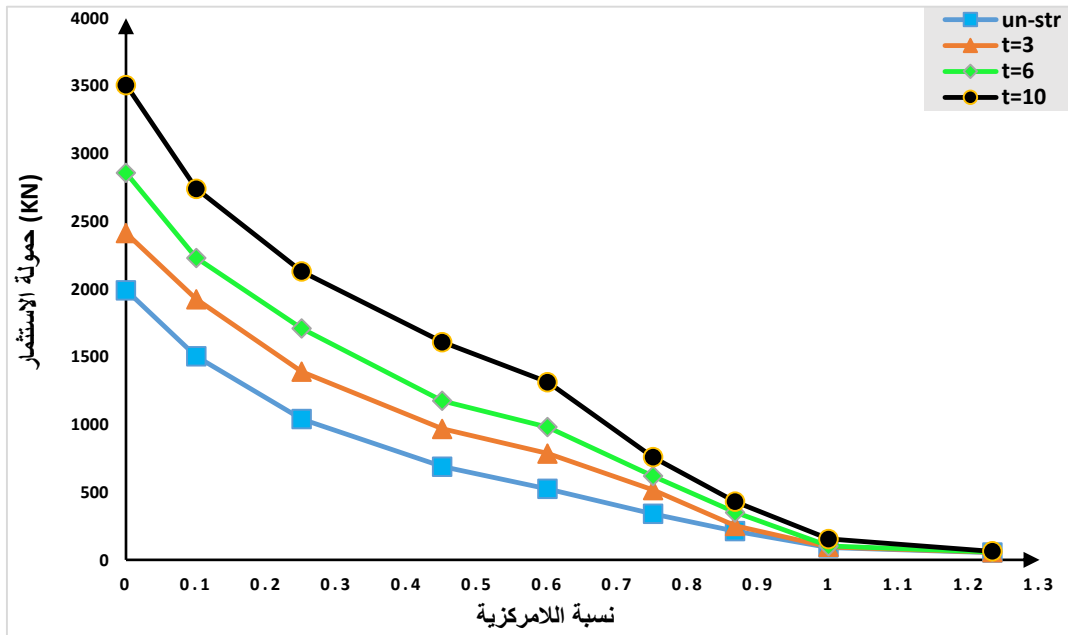
الشكل (4-52): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة

ويوضح الشكل (4-53) مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي عند السماكات (t=3,6,10)mm.



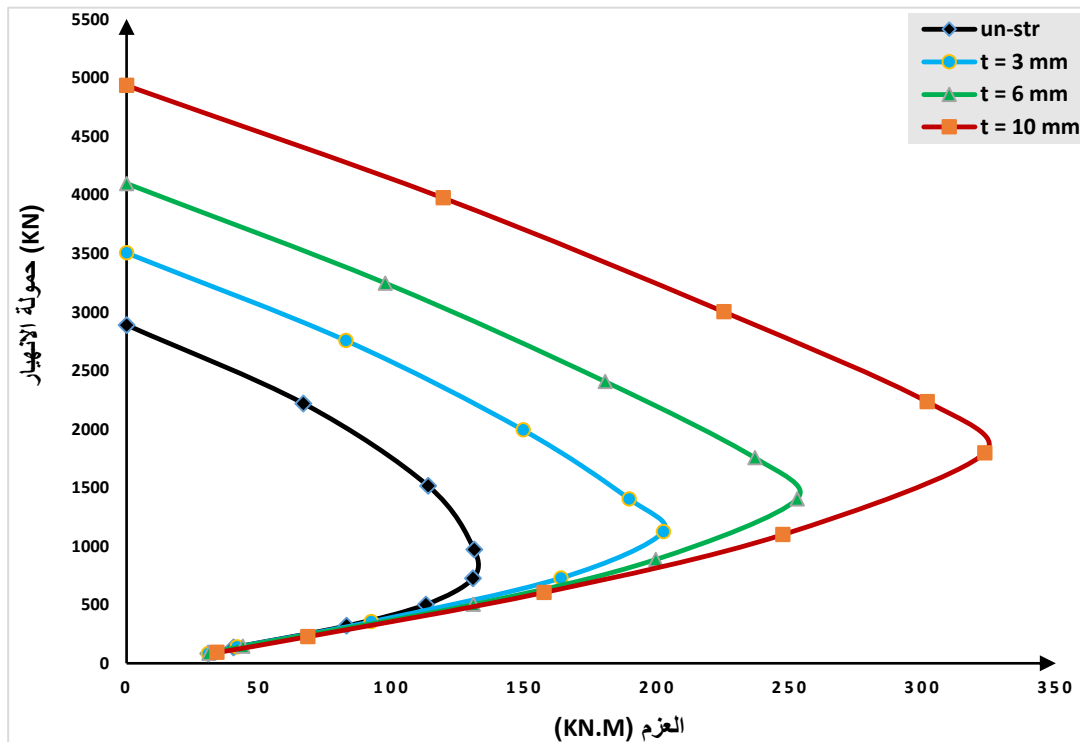
الشكل (4-53): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة [1]

أما الشكل (54-4) فيوضح مخطط (حمولة الاستثمار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي عند السماكات (t=3,6,10) mm وغير المدعمة للنموذج المستطيل.



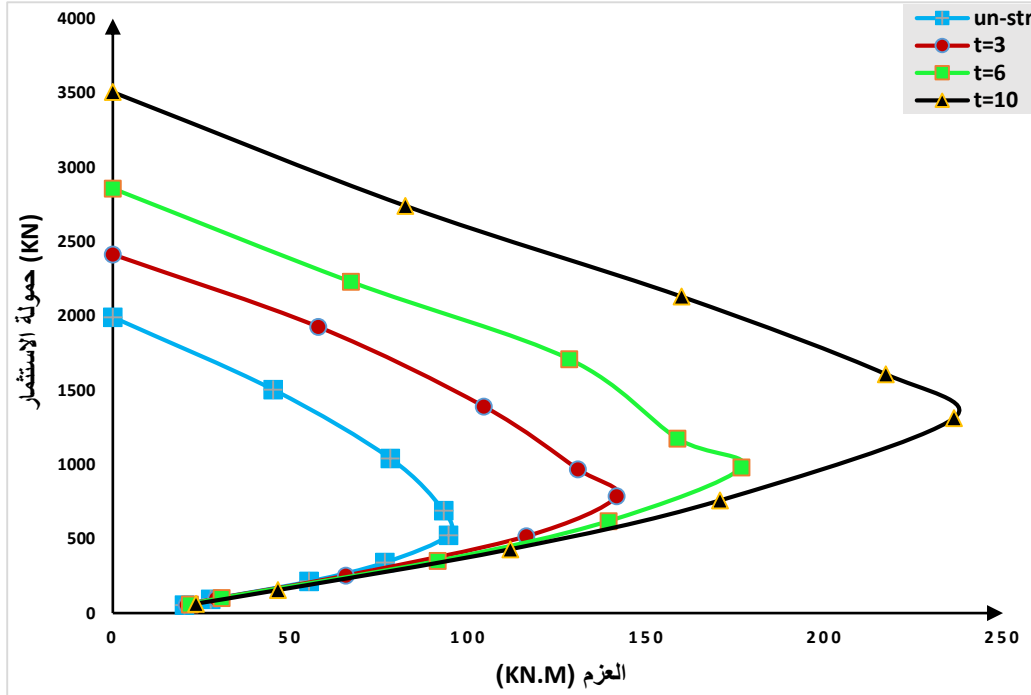
الشكل (54-4): مخطط (حمولة الاستثمار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة [1]

يوضح الشكل (55-4) مخطط (العزم-حمولة الانهيار) أي منحنى الترابط للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي وغير المدعمة بتغيير نسبة اللامركزية.



الشكل (55-4): مخطط (العزم-حمولة الانهيار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة [1]

أما الشكل (4-56) مخطط (العزم-حمولة الاستثمار) أي منحنى الترابط للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي وغير المدعمة بتغيير نسبة اللامركزية.



الشكل (4-56): مخطط (العزم-حمولة الاستثمار) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة [1]

من خلال الجداول والمخططات السابقة يمكن استخلاص النتائج الآتية:

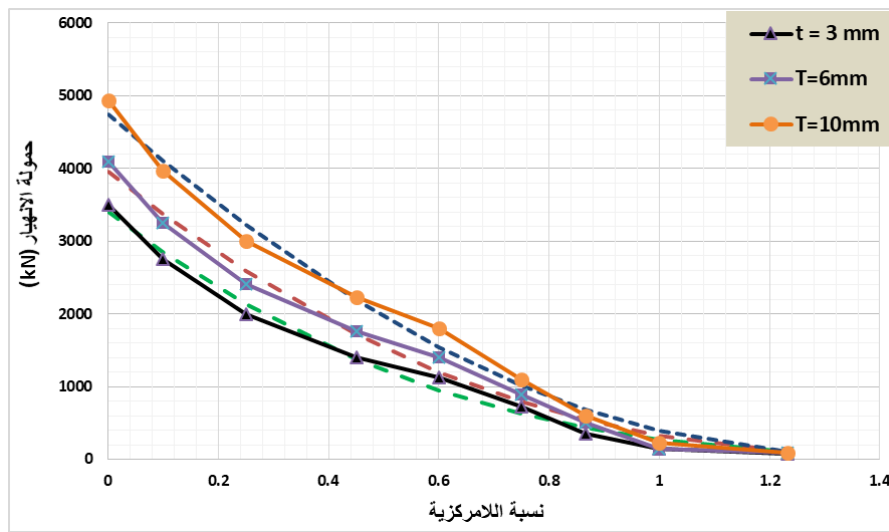
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة انخفضت حمولة الانهيار من kN (2885.68) إلى kN (82.91)، وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (1991.12) إلى kN (54.55) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.233)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $(t=3)$ mm انخفضت حمولة الانهيار من kN (3501.69) إلى kN (82.98)، وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (2412.66) إلى kN (56.26) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.233)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $(t=6)$ mm انخفضت حمولة الانهيار من kN (4093.36) إلى kN (83.76)، وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (2857.16) إلى kN (58.55) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.233)$.
- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $(t=10)$ mm انخفضت حمولة الانهيار من kN (4930.87) إلى kN (91.96) وانخفضت حمولة الاستثمار من kN (3505.85) إلى kN (63.27) بزيادة نسبة اللامركزية من $(e/b=0)$ إلى $(e/b=1.233)$.

تم الاستعانة ببرنامج OriginPro 2018 [17] إيجاد معادلة يمكن من خلالها حساب حمولة الانهيار للأعمدة المستطيلة المدعمة بهيكل فولاذي عند نسبة لامركزية معينة، وذلك عبر إيجاد منحنى شبه مطابق للمنحنى الناتج من التحليل في برنامج [ABAQUS V6.14-3] [1]، كما هو موضح في الشكل (4-57)، يمكن حساب حمولة الانهيار من العلاقة الآتية:

$$P_u = e^{a + \frac{b}{x+c}}$$

حيث:

- P_u : حمولة الانهيار. - a, b, c : ثوابت. - x : نسبة اللامركزية.



الشكل (4-57): منحنى (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) الناتج من التحليل والمنحنى الناتج عن برنامج

OriginPro 2018

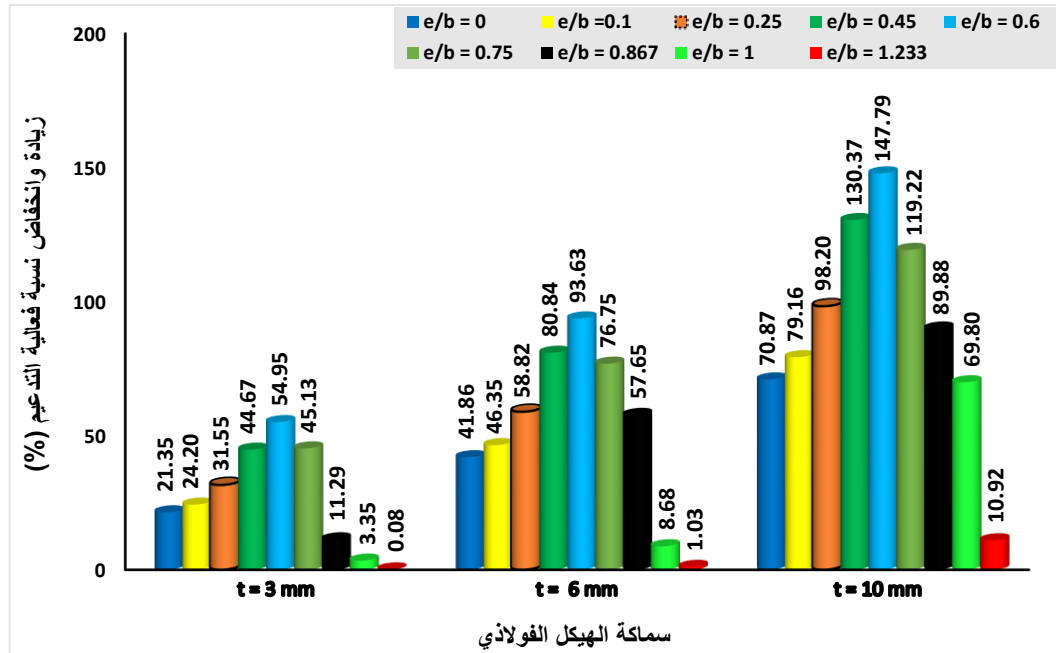
-----: يمثل المنحنى الناتج عن التحليل. —: يمثل المنحنى الناتج عن برنامج OriginPro 2018

يبين الجدول (4-5) الثوابت a, b, c المستخدمة في المعادلة.

الجدول (4-5): الثوابت a, b, c المستخدمة في المعادلة [17]

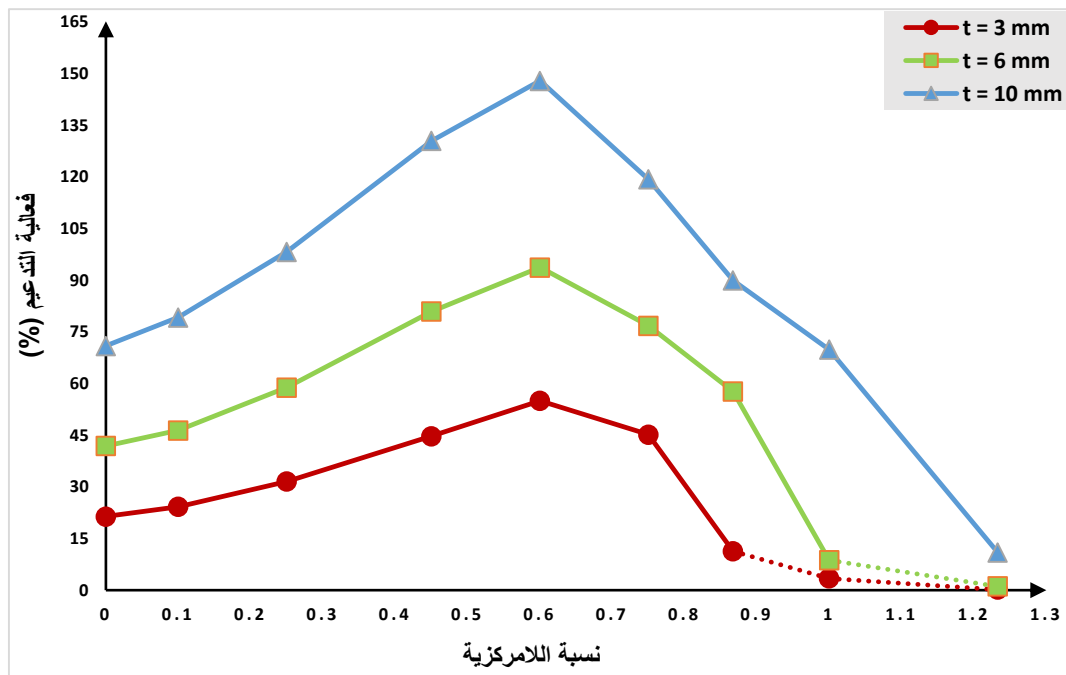
الثوابت	T = 3	T = 6	T = 10
a	13.674	12.274	11.517
b	17.758	10.422	6.81
c	-3.204	-2.61	-2.23

يوضح الشكل (4-58) تأثير نسبة زيادة وانخفاض فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة للمقطع العرضي المستطيل بتغيير نسبة اللامركزية على سماكة الهيكل الفولاذي.



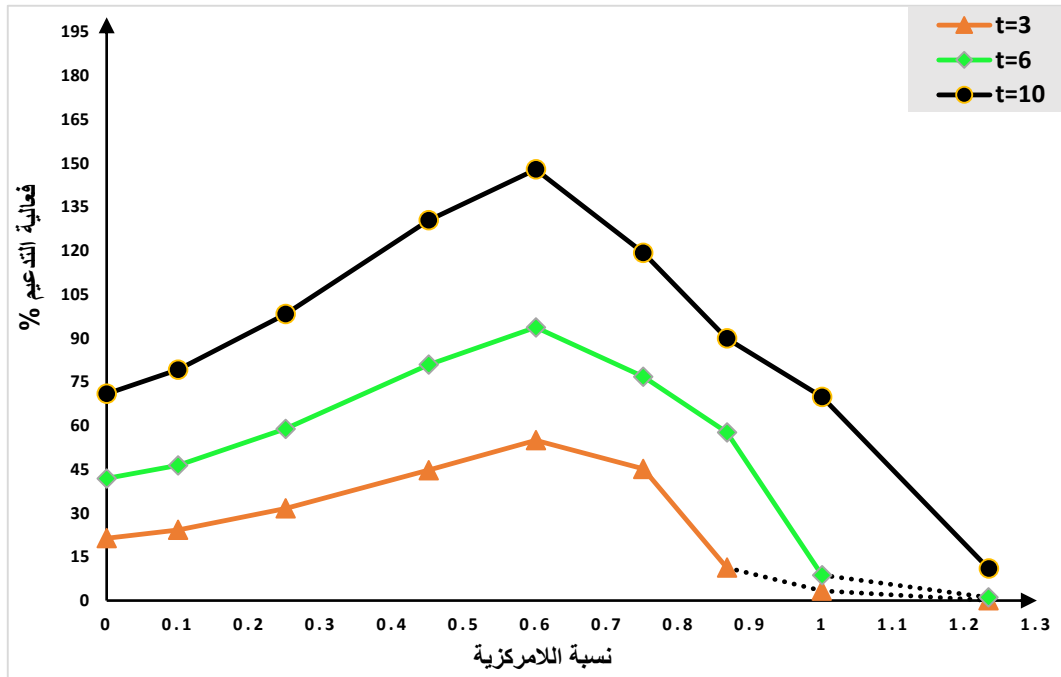
الشكل (4-58): تأثير نسبة زيادة وانخفاض كفاءة التدعيم على سماكة الهيكل الفولاذي [1]

يوضح الشكل (4-59) تأثير فعالية التدعيم الناتجة من حمولة الانهيار للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة غير المدعمة ذات مقطع العرضي المستطيل، على نسبة اللامركزية، كما يبين نسبة اللامركزية التي يصبح عندها التدعيم غير فعال أي عندما تقل فعالية التدعيم عن (15%) كما هو مذكور ببعض الدراسات المرجعية [1].



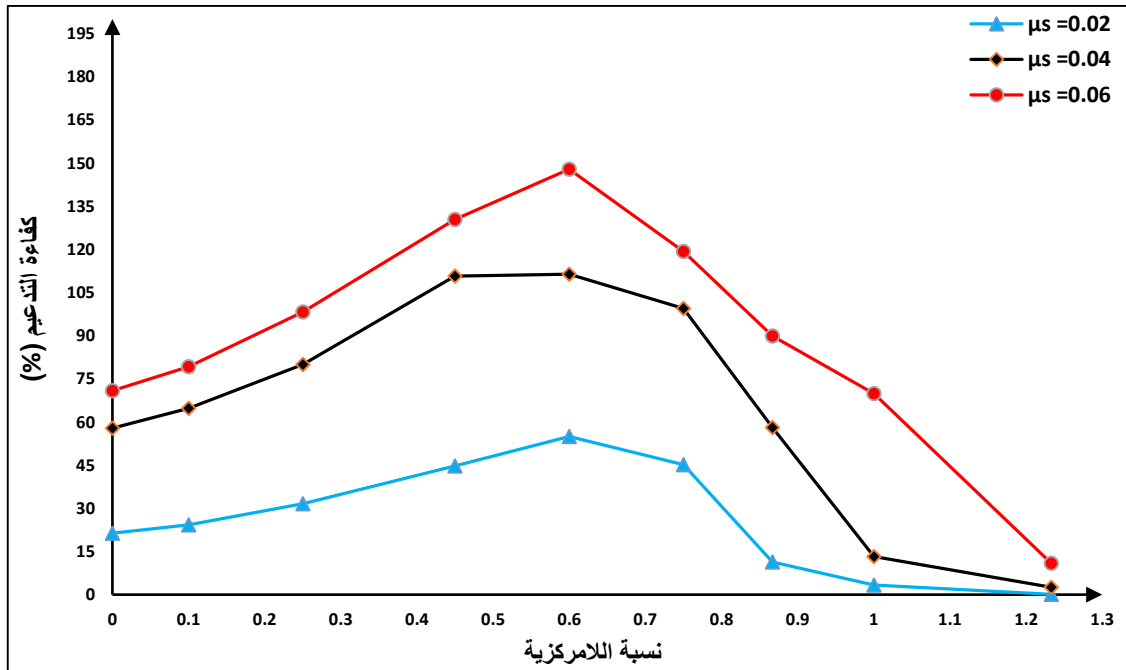
الشكل (4-59): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة الناتجة من حمولة الانهيار، على نسبة اللامركزية

يوضح الشكل (4-60) تأثير فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة غير المدعمة، الناتجة من حمولة الاستثمار على نسب اللامركزيات المختلفة.



الشكل (4-60): تأثير فعالية التدعيم للأعمدة الناتجة من حمولة الاستثمار، على نسبة اللامركزية

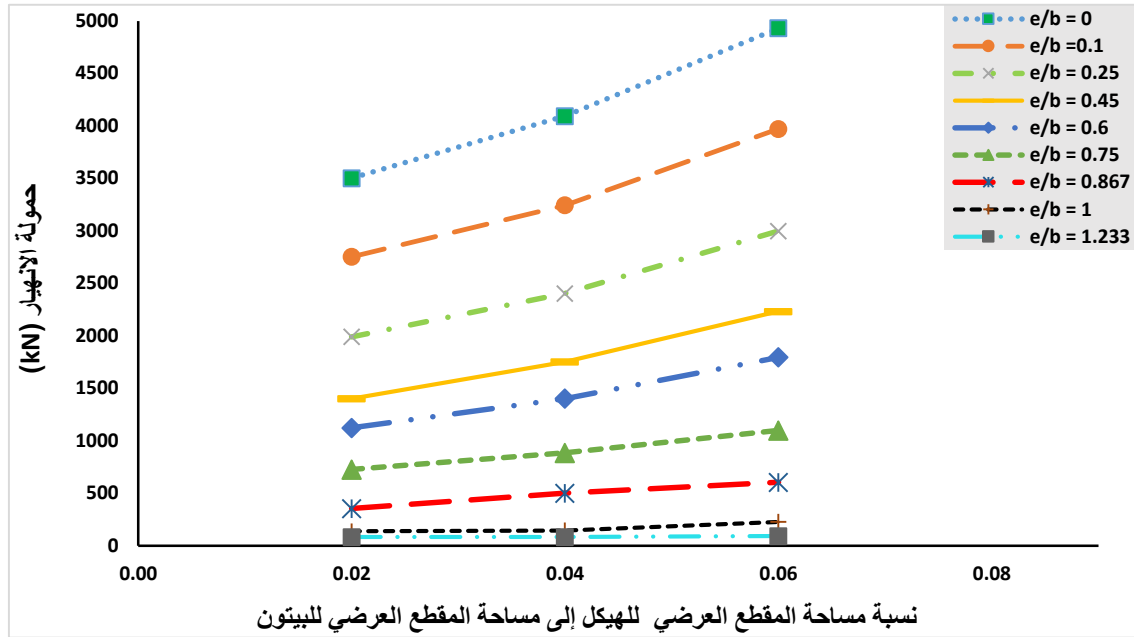
يوضح الشكل (4-61) تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على فعالية التدعيم للأعمدة المدعمة وتغيير نسب اللامركزية.



الشكل (4-61): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على

فعالية التدعيم [1]

يوضح الشكل (4-62) تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للعمود الخرساني للمقطع العرضي المستطيل على حمولات الانهيار للأعمدة المدعمة وتغير نسبة اللامركزية.

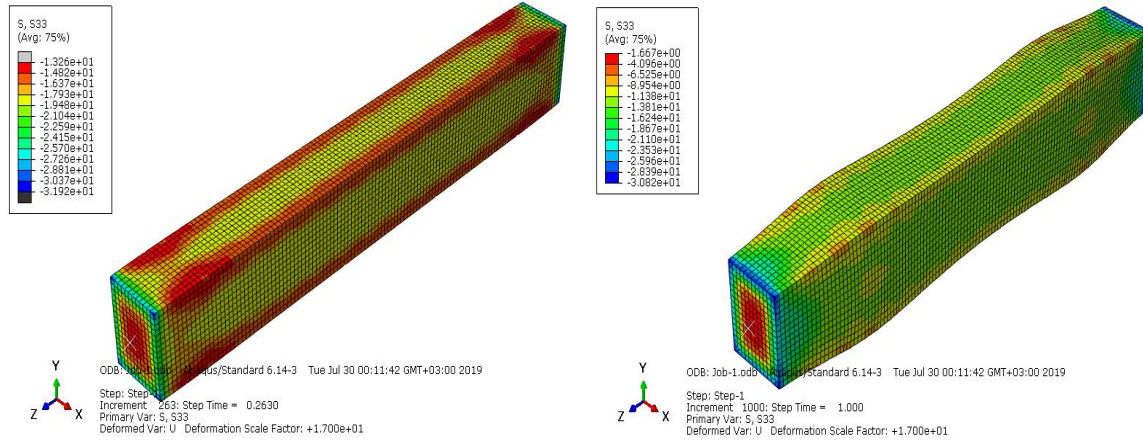


الشكل (4-62): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على حمولات الانهيار [1]

من خلال الجداول والمخططات السابقة يمكن استخلاص النتائج الآتية:

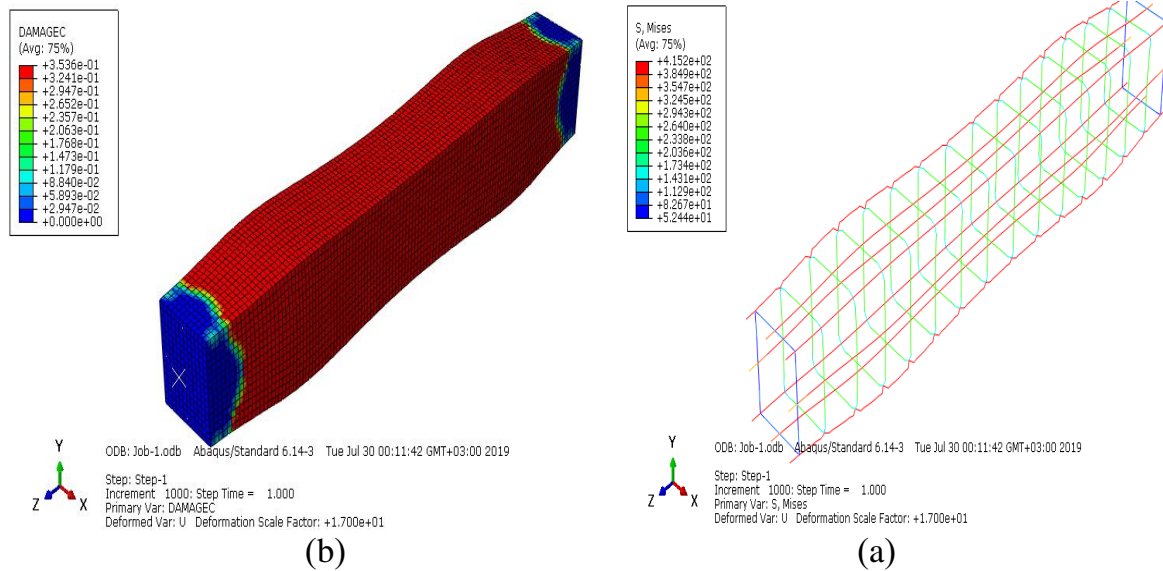
- بالنسبة لفعالية التدعيم للأعمدة ذات المقطع المستطيل المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكة $t=3$ mm مقارنة بالأعمدة غير المدعمة ازدادت بحوالي $(21.35-54.95)\%$ بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة $(e/b=0)$ حتى النسبة $(e/b=0.6)$ ثم انخفضت كفاءة التدعيم بعد هذه النسبة، وعندما كانت نسبة اللامركزية $(e/b=0.867)$ أصبح التدعيم غير فعال، أما بالنسبة للنموذج المدعم بسماكة $t=6$ mm ازدادت بحوالي $(41.86-93.63)\%$ بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة $(e/b=0)$ حتى النسبة $(e/b=0.6)$ ثم انخفضت كفاءة التدعيم بعد هذه النسبة، وعندما كانت نسبة اللامركزية $(e/b=1)$ أصبح التدعيم غير فعال، وبالنسبة للنموذج المدعم بسماكة $t=10$ mm ازدادت بحوالي $(70.87-147.79)\%$ بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة $(e/b=0)$ حتى النسبة $(e/b=0.6)$ ثم انخفضت كفاءة التدعيم بعد هذه النسبة، وعندما كانت نسبة اللامركزية $(e/b=1.233)$ أصبح التدعيم غير فعال.
- فعالية التدعيم الناتجة من حمولة الاستثمار كانت الزيادة والانخفاض عند نفس النسب، ولكن الأعمدة المدعمة بسماكة $t=3$ mm كان التدعيم غير فعال عند النسبة $(e/b=0.867)$.

يوضح الشكل (4-63) أن الاجهادات الضاغطة المحورية S33 (σ_z) عند مراحل مختلفة من التحميل، حيث كانت أعظمية في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي [1].



الشكل (4-63): الاجهادات الضاغطة المحورية S33 (σ_z) في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي

يوضح الشكل (4-64) أن التلدن بدأ وانتهى ضمن فولاذ التسليح الطولي، يبين شكل التحنيب فيه، كانت تغيراته ضئيلة ضمن الأساور، ويبين شكل الضرر في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي.



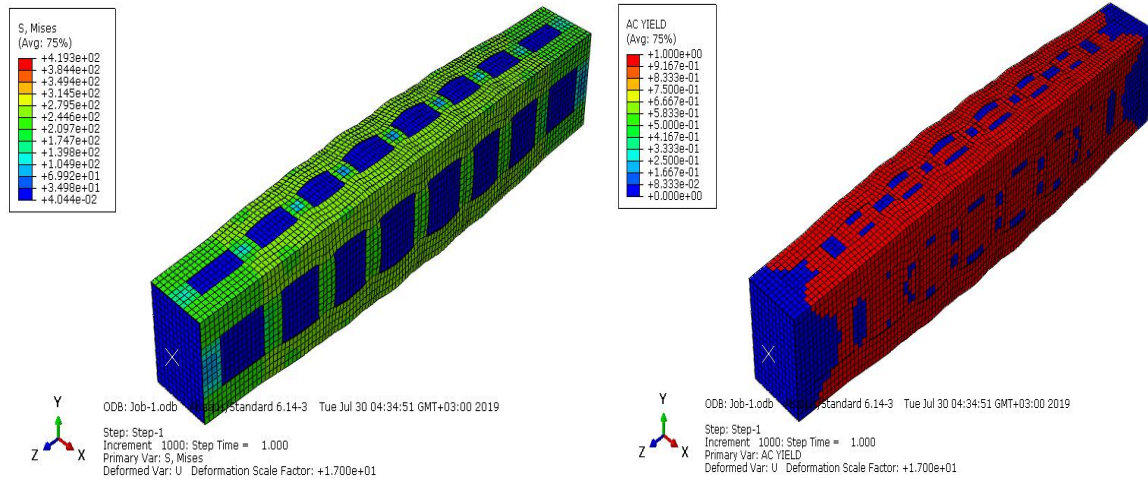
الشكل (4-64):

(a): شكل الضرر في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي

(b): التلدن بدأ وانتهى ضمن فولاذ التسليح الطولي في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط

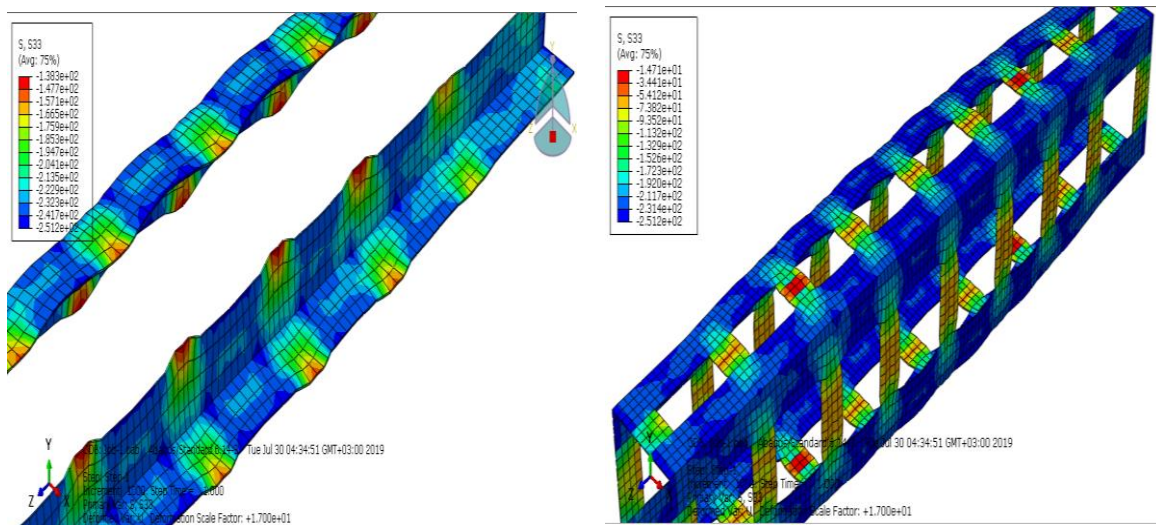
مركزي [1]

يوضح الشكل (4-65) أن زيادة الإجهادات حصلت في الزوايا الأربع للهيكل الفولاذي ويفسر ذلك بأن تلك المناطق تعاني من انهيارات جزئية قبل غيرها، كما ظهر التلدن بشكل أساسي في الزوايا الأربع وضمن العمود الخرساني، أما في المبسطات الأفقية فقد كان ضئيلاً مقارنة بالزوايا، بالنسبة للعمود الخرساني المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط مركزي [1].



الشكل (4-65): إجهادات Von Mises، وشكل التلدن في العمود الخرساني المدعم والمعرض لضغط مركزي

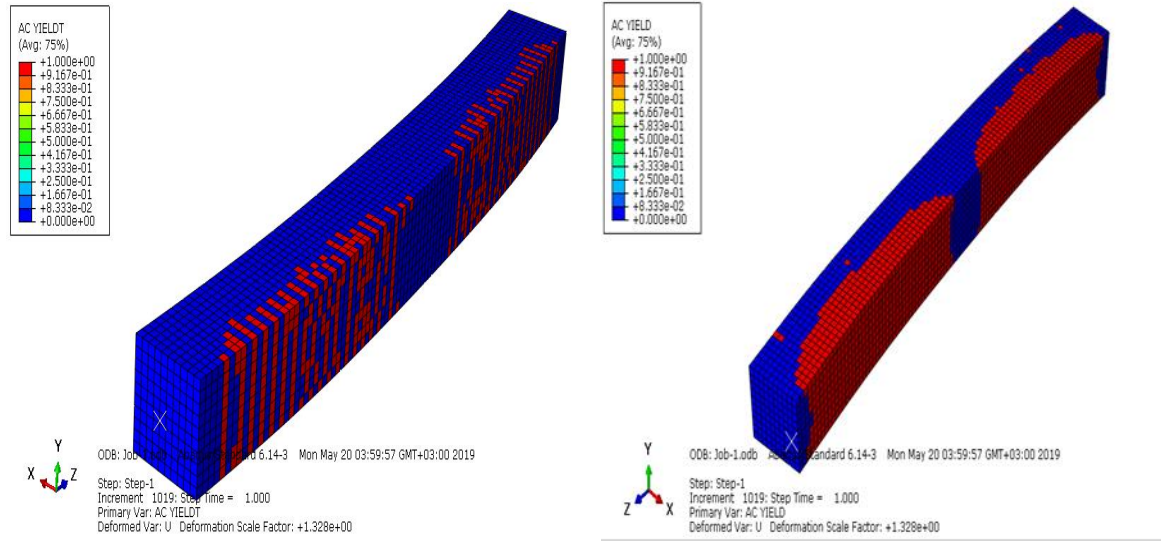
يوضح الشكل (4-66) الإجهادات S33 في الهيكل الفولاذي، ونلاحظ أن أكبر قيمة للإجهادات الضاغطة في زوايا الهيكل الفولاذي هي (251.2 MPa) وهذه القيمة أكبر من إجهاد الخضوع لزوايا الهيكل وأصغر من الإجهاد الحدي لها وهذا مؤشر على حدوث التحنيط ضمن هذه الزوايا، أما الإجهادات فقد كانت ضئيلة في المبسطات الأفقية، وكذلك يبين الشكل شكل التحنيط في زوايا الهيكل الفولاذي بالنسبة للعمود الخرساني المسلح والمعرض لضغط مركزي [1].



الشكل (4-66): الإجهادات الضاغطة S33 والحنيط في الهيكل الفولاذي للعمود المدعم والمعرض لضغط

مركزي [1]

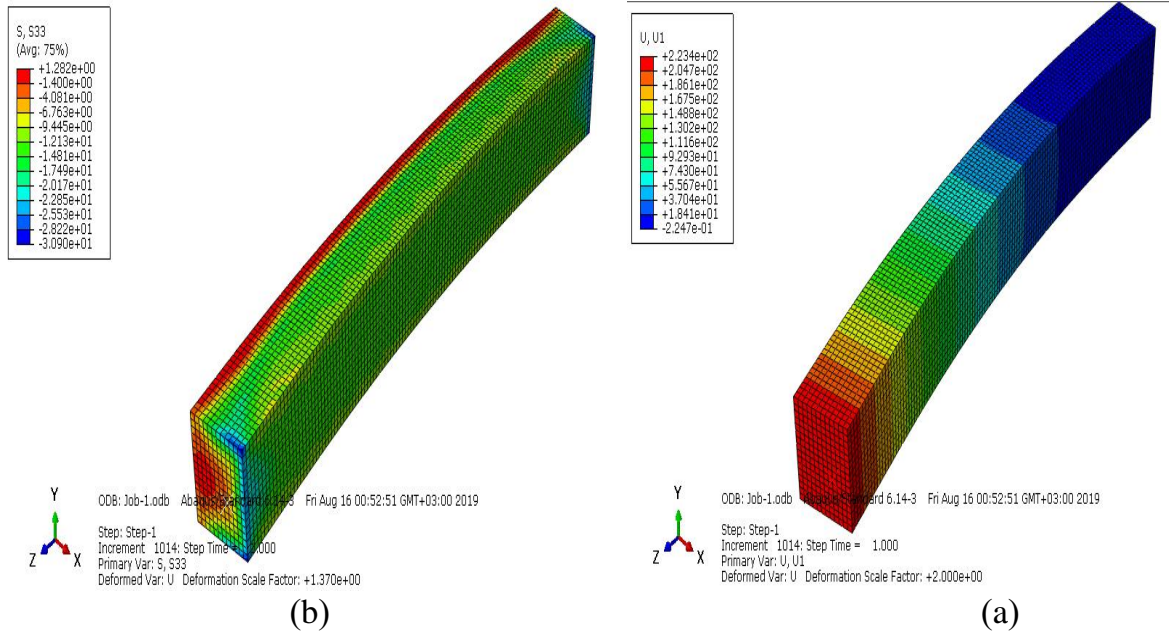
يوضح الشكل (4-67) التلدن في العمود الخرساني المسلح غير المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي في الجزء المضغوط والجزء المشدود.



الشكل (4-67): التلدن في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط لا مركزي

(a): الجزء المضغوط، (b): الجزء المشدود [1]

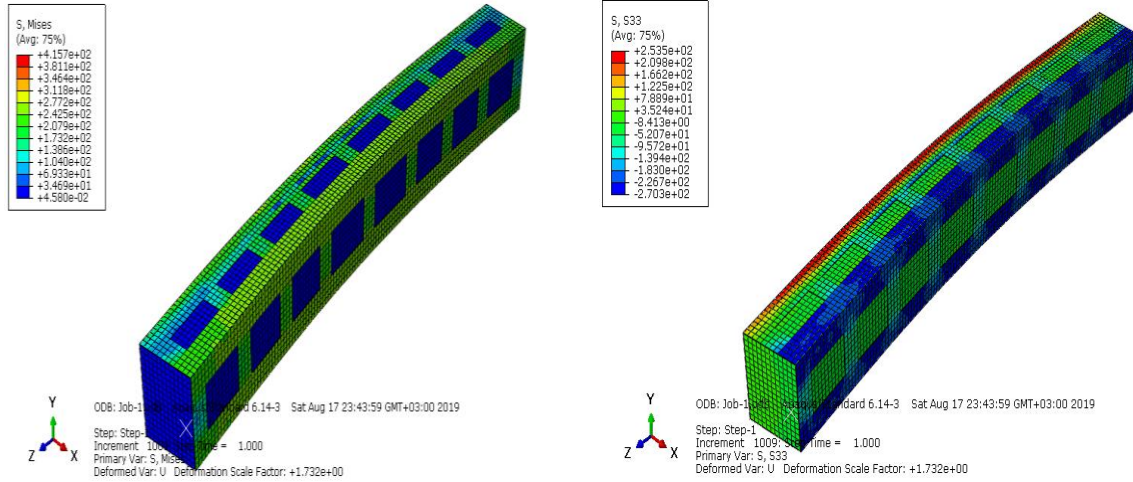
يوضح الشكل (4-68) الإجهادات S33 في العمود الخرساني المسلح غير المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي، ويبين الانزياح الجانبي U1 في هذا العمود [1].



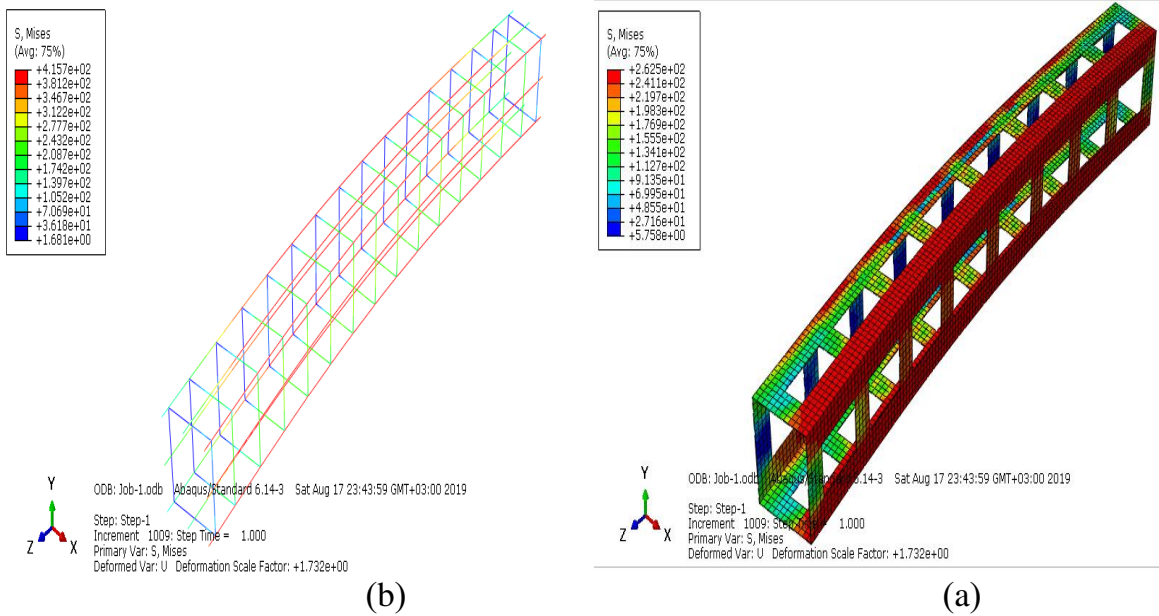
الشكل (4-68):

(a): الإجهادات S33. (b): الانزياح الجانبي U1 [1]

يوضح الشكل (4-69) إجهادات Von Mises، S33 للعمود الخرساني المسلح المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لامركزي، حيث بدأ التلدن في الزوايا، حدث ضمن العمود الخرساني وكان ضئيلاً في المبسطات الأفقية [1].



الشكل (4-69): إجهادات Von Mises، S33 للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لامركزي
يوضح الشكل (4-70) إجهادات Von Mises للهيكل الفولاذي وفولاذ التسليح الطولي والعرضي؛ للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لامركزي [1].

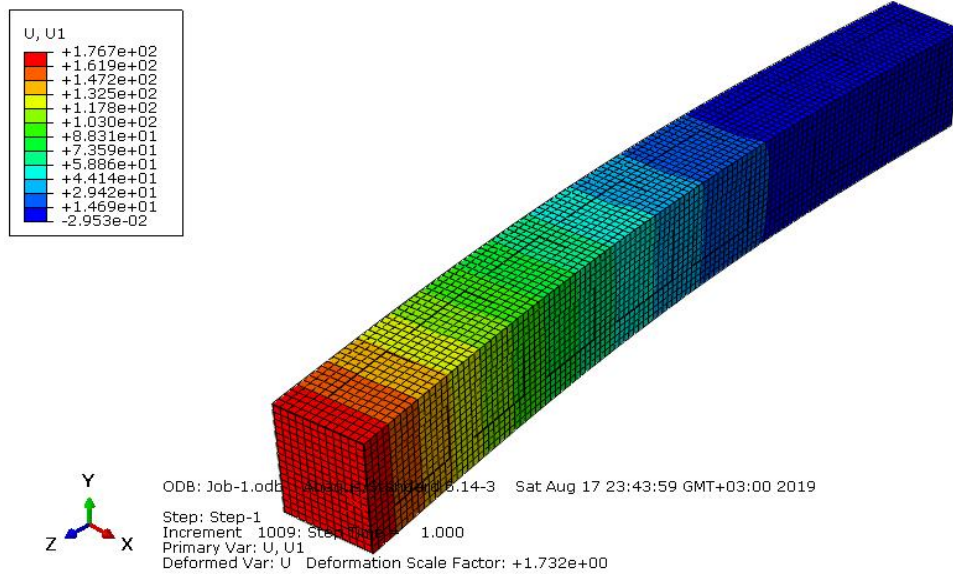


الشكل (4-70): إجهادات Von Mises للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لامركزي.

(a): الهيكل الفولاذي.

(b): فولاذ التسليح الطولي والعرضي.

يوضح الشكل (4-71) الانزياح الجانبي U1 للعمود المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لامركزي [1].



الشكل (4-71): الانزياح الجانبي U1 للعمود المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لامركزي

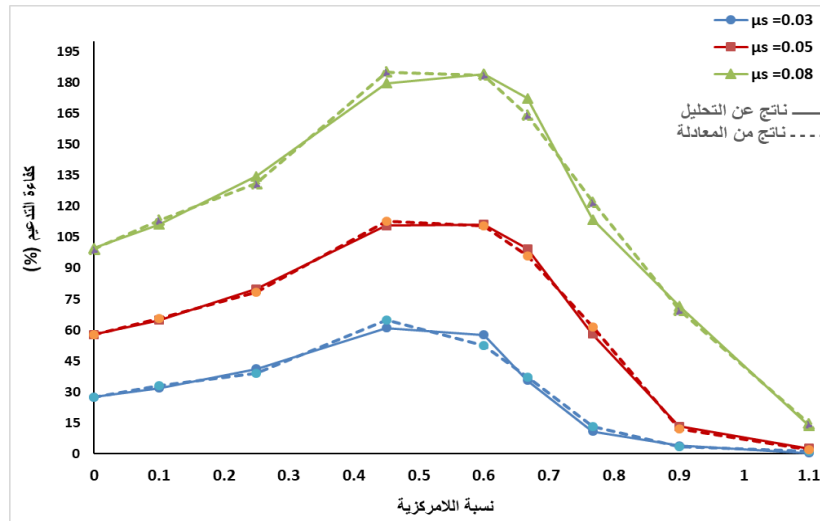
- ونلاحظ أن إجهادات Von Mises أو إجهادات Tresca أو الإجهادات الضاغطة كانت أعظمية عند أطراف العمود الخرساني المسلح غير المدعم.
- نلاحظ أن التلدن حدث في فولاذ التسليح الطولي وكان ضئيلاً ضمن الأساور.
- نلاحظ أن التلدن في العمود الخرساني المسلح المدعم حدث في الزوايا الشاقولية وكان ضئيلاً في المبسطات الأفقية، وكانت الإجهادات الضاغطة أو إجهادات Von Mises أو إجهادات Tresca أعظمية في الزوايا الشاقولية وكانت قيمتها أكبر من قيمة إجهاد الخضوع لزوايا (240 MPa) وهذا مؤشر لحدوث التحنيب والتلدن ضمن الزوايا.
- نلاحظ أن الإجهادات كانت أعظمية في الزوايا الشاقولية وخاصة الزوايا في الجزء المضغوط.

ومما سبق تم الاستعانة ببرنامج OriginPro 2018 [17] لإيجاد معادلة يمكن من خلالها فعالية التدعيم للأعمدة المربعة المدعمة بهيكل فولاذي عند نسبة لامركزية معينة، وذلك عبر إيجاد منحني شبه مطابق للمنحني الناتج من التحليل في برنامج [ABAQUS V6.14-3] [1]، كما هو موضح في الشكل (4-72)، يمكن حساب فعالية التدعيم من العلاقة الآتية:

$$\rho = A + BX + CX^2 + DX^3 + EX^4 + FX^5 + HX^6$$

حيث:

- (ρ): فعالية التدعيم. - A,B,C,D,E,F,H: ثوابت. - X: نسبة اللامركزية.
- (μs): نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للعمود الخرساني.



الشكل (4-72): منحني (فعالية التدعيم-نسبة اللامركزية) للأعمدة المربعة الناتج من التحليل والمنحني الناتج عن

برنامج OriginPro 2018

-----: يمثل المنحني الناتج عن التحليل. —: يمثل المنحني الناتج عن برنامج OriginPro 2018

يبين الجدول (4-6) الثوابت A,B,C,D,E,F,H المستخدمة في المعادلة.

الجدول (4-6): الثوابت A,B,C,D,E,F,H المستخدمة في المعادلة

الثوابت	T=3mm	T=6mm	T=10mm
A	27.264	57.616	99.265
B	234.71	194.59	374.03
C	-3070.5	-1976.2	-3977.8
D	15884	10138	19963
E	-33251	-19698	-39760
F	29781	15584	33552
H	-9590.7	-4307.2	-10204

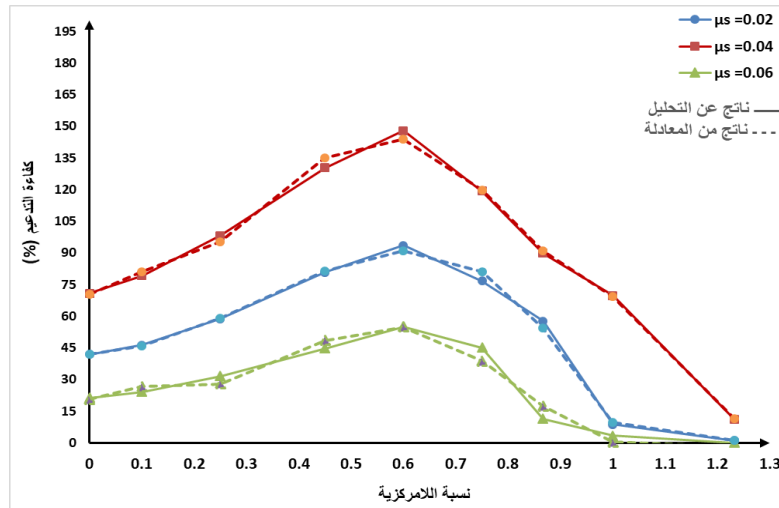
وكذلك تم الاستعانة ببرنامج OriginPro 2018 [17] لإيجاد معادلة يمكن من خلالها فعالية التدعيم للأعمدة المستطيلة المدعمة بهيكل فولاذي عند نسبة لامركزية معينة، وذلك عبر إيجاد منحنى شبه مطابق للمنحنى الناتج من التحليل في برنامج [ABAQUS V6.14-3] [1]، كما هو موضح في الشكل (4-73)، يمكن حساب فعالية التدعيم من العلاقة الآتية:

$$\rho = A + BX + CX^2 + DX^3 + EX^4 + FX^5 + HX^6$$

حيث:

-(ρ): فعالية التدعيم. - A,B,C,D,E,F,H: ثوابت. - X: نسبة اللامركزية.

-(μ_s): نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للعمود الخرساني.



الشكل (4-73): منحنى (فعالية التدعيم-نسبة اللامركزية) للأعمدة المستطيلة الناتج من التحليل والمنحنى الناتج عن برنامج OriginPro 2018

—: يمثل المنحنى الناتج عن التحليل. -----: يمثل والمنحنى الناتج عن برنامج OriginPro 2018

يبين الجدول (4-7) الثوابت A,B,C,D,E,F,H المستخدمة في المعادلة.

الجدول (4-7): الثوابت A,B,C,D,E,F,H المستخدمة في المعادلة

الثوابت	T=3mm	T=6mm	T=10mm
A	20.643	41.966	70.368
B	190.33	14.185	236.39
C	-2039.6	314.52	-2191.3
D	8711.2	-601.69	10743
E	-15224	1283.8	-20549
F	11461	-1942	16542
H	-3119.2	898.85	-4782.3

الفصل الخامس

النتائج والتوصيات

1-5 النتائج:

- 1- كلما زادت نسبة اللامركزية تنخفض حمولة الانهيار للأعمدة وصلابتها، وتزداد الإنزياحات الجانبية والشاقولية.
- 2- كلما زادت سماكة الهيكل الفولاذي تزداد مقاومة العمود، وصلابته، تقل الزيادة في حمولة الانهيار، وتقل الإنزياحات الجانبية والشاقولية، ويقل التحنيب (الانبعاج) في زوايا الهيكل الفولاذي.
- 3- عند نسبة اللامركزية ($e/b=0.767$) أصبح الهيكل الفولاذي ذو السماكة 3mm غير فعال، وعند النسبة ($e/b=0.9$) أصبح الهيكل الفولاذي ذو السماكة 6mm غير فعال، وعند النسبة ($e/b=1.1$) أصبح الهيكل الفولاذي ذو السماكة 10mm غير فعال، بالنسبة للعمود المدعم ذي المقطع العرضي المربع، أما ذي المقطع العرضي المستطيل عند نسبة اللامركزية ($e/b=0.867$) أصبح الهيكل الفولاذي ذو السماكة 3mm غير فعال، وعند النسبة ($e/b=1$) أصبح الهيكل الفولاذي ذو السماكة 6mm غير فعال، وعند النسبة ($e/b=1.233$) أصبح الهيكل الفولاذي ذو السماكة 10mm غير فعال.
- 4- حمولة الانهيار تمثل حوالي (1.397-1.495) مرة من حمولة الاستثمار.

2-5 التوصيات:

- 1- إجراء دراسات للأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بهيكل فولاذي عند خضوعها إلى لامركزية بالاتجاهين.
- 2- نوصي بإجراء دراسات تجريبية (مخبرية) للنماذج السابقة، والمقارنة بين النتائج.
- 3- إجراء دراسات أعمق بتغير مقاومة الخرسانة وأبعاد المبسطات والزوايا الشاقولية.

المراجع العلمية

المراجع الأجنبية:

- [1] - **ABAQUS** (2015), version **6.14-3** . Dassaultsystemes simulia Grop, USA.
- [2] - **AISC-ANSI,A.**(2010). 360-10, "**specification for structural steel**". Chicago (IL): American Institute Of Steel Construction Inc..
- [3] - Ali, A .G, A.Khalil, and A.Beih (2018). "**Behavior of Steel Jacketed Reinforced Concrete Column under Eccentric Forces**". Al-Azhar University Civil Engineering Research Magazine (CERM) Vol. (40) No. (4): 108-116pp.
- [4] -Belal, M. F., H.M.Mohamed, and S.A.Morad (2015). "**Behavior of reinforced concrete columns strengthened by steel jacket**". HBRC Journal 11(2): 201-212.
- [5] - Carreira, D.J., and K.H.Chu (1985). "**Stress strain relationship for plain concrete in compression**". ACI Journal 82(6): 796-804pp.
- [6] - Debasish, Sen (2017). "**Behaviour and Strength of RC Columns Retrofitted with Steel Angles and Strips under Eccentric Axial Loads**". bangladesh university of engineering and technologydhaka, bangladesh. 86pp.
- [7] - Drucker, D. C.,W. Prager (1952). "**Soil mechanics and plastic analysis or limit design**". Quarterly of applied mathematics, Brown University, USA 10(2), 157-165pp.
- [8] - Elsamny, M. K., Brahim, M. A., Elesnawi, H. H. and Oudah, H. K.,(2011) "**Experimental Behavoir Of Reinforced Concrete Columns Strengthened By Steel Jacket**". Journal of Al Azhar Universty Engineering Sector vol. 6 No. 19.285-514pp.
- [9] - Elsamny, M.K., A.A.Hussein, A.M.Nafie, and M.K.Abd-Elhamed (2013). "**Experimental Study of Eccentrically Loaded Columns Strengthened Using a Steel Jacketing Technique**". World Academy of Science, Engineering and Technology - International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering Vol. (7), No. (12): 900-907pp.
- [10] - Ezz-Eldeen, H.A (2016). "**Steel Jacketing Technique used in Strengthening Reinforced Concrete Rectangular Columns under Eccentricity for Practical Design Applications**". International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) Vol. (4), No. (12): 197-203pp.
- [11] - Giménez, E., J.M.Adam, S.Ivorra, J.J.Moragues, and P.Calderón (2009). "**Full-scale testing of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips**". Advance Structural Engineering 12(2): 169–181pp.
- [12] - Giménez, E., j.M.Adam, S.Ivorra, and P.A.Calderón (2009). "**Influence of strips configuration on the behaviour of axially loaded RC columns strengthened by steel angle and strip**". Materials and Design 30 (10): 103-111pp.
- [13] - Jankowiak, T., and T.Lodygowski (2005). "**Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model**". Poznan University of Technology, Institute of Structural Engineering, Poland, 53–69pp.
- [14] - Kupfer H., Hilsdorf H.,K., Rusch H., (1979). "**Behavior of concrete under biaxial stresses**". ACI Journal, 65, 8, 656-666pp.
- [15] - Lubliner, J., J.Oliver, S.Oller, and E.Onate (1989). "**plastic-damage model for concrete**". International Journal of solids and structures 25(3): 299-326pp.

- [16] - Majewski, S. (2003). **"The mechanics of structural concrete in terms of elasto-plasticity"**. Publishing House of Silesian University of Technology, Gliwice, Poland.
- [17] - **OriginPro 2018**, SR1, b9.5.1.195, copyright 1991-2017, originlab corporation.
- [18] - Rosario, M., and P. Vincenzo (2009). **"Reinforced concrete columns strengthened with angles and battens subjected to eccentric load"**. Department of Civil Engineering, University of Salerno, Italy, Engineering Structures 539–550pp.
- [19] - Tarabia, A. M., and H.F.Albakry (2014). **"Strengthening of RC columns by steel angle and strip"**. Alexandria Engineering Journal 53(3): 615-626.
- [20] - Tarsha, I., M.Al-alaf, and R.A.Aldarf (2020). **"Strengthening of reinforced concrete circular columns using a steel structure and exposed to central pressure"**. Journal of Al-Baath University Vol (42).
- [21] - William, K.J., Warnke, E.P. (1975). **"Constitutive Model For The Triaxial Behavior Of Concrete"**.
- [22] - Yusuf, S., and A.Muharrem (2015). **"Defining parameters for concrete damage plasticity model"**. Department of Civil Engineering, Sakarya University challenge journal of structural mechanics 1(3): 149–155pp.

المراجع العربية:

- [23] -الكود العربي السوري لتصميم المنشآت وتنفيذها بالخرسانة المسلحة (2016). **"الدليل الإرشادي لتدعيم المباني والمنشآت القائمة وتأهيلها لمقاومة الزلازل"** -الجزء العاشر 175-225 الطبعة الأولى، إعداد لجنة الكود، 301 صفحة منشورات نقابة المهندسين، سوريا.
- [24] - بدورة، محمد كرامة (2013م). **"تقوية وتدعيم وتأهيل المباني والمنشآت القائمة. دوره تدريبية في تقوية وتدعيم وتأهيل المباني والمنشآت القائمة"**. مركز التدريب والتأهيل فرع محافظه دمشق، دمشق 12-23 مارس 2013: 12-97.
- [25] -بطيخة، مصطفى. علقم، فراس (2014). **"تأثير المواصفات الميكانيكية لحدران البلوك المقواة بالبوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) على السلوك الإنشائي للإطارات البيتونية في مستويها"**. رسالة ماجستير، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية -جامعة دمشق، دمشق -سوريا 98 صفحة.
- [26] -كيخيا، عبد الحميد. علي، يامن (2014). **"تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة باستخدام الشبكات المعدنية الملحومة المتوافرة محلياً"**. رسالة ماجستير، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية -جامعة دمشق، دمشق -سوريا 9-10 صفحة.

Syrian Arab Republic
Al Baath University
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering



Studying the Behavior of Reinforced Concrete Columns Confined By Steel Structure under Eccentrically Loading

A Study Submitted for Master Research in Structure Engineering

Prepared By

Eng. Falah Mubarak

Supervised By

Prof. Dr. Ihssan AL-Tarsha

Professor Structural Engineering Department

Prof. Dr. Ali AL-Jarrash

Professor Structural Engineering Department