

## دراسة سلوك الأعمدة الخرسانية المسلحة المطوقة بهيكل فولاذي تحت تأثير ضغط لامحوري

إحسان الطرشة<sup>(1,\*)</sup>

علي الجراش<sup>1</sup>

فلاح مبارك<sup>(2,\*)</sup>

© 2020 University of Science and Technology, Sana'a, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

©2020 جامعة العلوم والتكنولوجيا، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

<sup>1</sup>أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سوريا  
<sup>2</sup>طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سوريا  
\*عناوين المراسلة: [imtarsha@gmail.com](mailto:imtarsha@gmail.com) . [eng.falahmubark@gmail.com](mailto:eng.falahmubark@gmail.com)

## دراسة سلوك الأعمدة الخرسانية المسلحة المطوقة بهيكل فولاذي تحت تأثير ضغط لامحوري

### الملخص:

يقدم هذا البحث دراسة تحليلية لعدد من نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة للمقطع العرضي المستطيل والمدعمة بالهيكل الفولاذي المكون من (زوايا شاقولية، ومبسطات أفقية)، وغير المدعمة، 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 أدت 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.

## Studying the Behavior of Reinforced Concrete Columns Confined by Steel Structure Under Eccentrically Loading

### Abstract:

This research paper presents an analytical study of a number of Reinforced Concrete Columns models which have rectangular cross section 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, bracing, steel structure, centric compression, eccentric compression, steel structure thickness, strengthening effectiveness, failure load.

## 1. المقدمة:

تهدف عمليات تدعيم وتقوية وتأهيل المنشآت والمباني القائمة إلى مقاومة الأحمال المطبقة والتي يمكن أن تطبق عليها (بما فيها أحمال الزلازل)، الحد من الخطر عليها ، 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 زلزالياً 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.

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" [17].

## 2. مشكلة البحث:

هناك الكثير من الحالات تعرضت فيها الأعمدة لإضرار معينة نتيجة الحروب وغيرها، ولا زالت تلك الأعمدة قائمة حيث كانت الأضرار فيها جزئية.

## 3. هدف البحث:

تدعيم الأعمدة الخرسانية المسلحة بالهيكل الفولاذي المكون من (زوايا شاقولية، ومبسطات أفقية) وذلك لمعرفة مدى فعالية هذا التدعيم في رفع مقاومة الأعمدة.

## 4. مزايا التدعيم بالهيكل الفولاذي:

- زيادة بسيطة في حجم العمود تتمثل في سماكة الهيكل الفولاذي، التي تكون محدودة جداً نحو mm (20 - 30) لا أكثر، حيث أن سماكة الطينة الجديدة هي نفسها الموجودة ضمن العمود.
- سرعة التنفيذ حيث أن استعمال الهياكل الفولاذية (المعدنية) يؤمن تقوية فعالة لمقاطع الأعمدة بزمن قصير وتجهيزات بسيطة.
- 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.
- كلفتها النسبة تبقى قليلة تجاه ما تقدمه من مزايا، أي أن استعمالها يكون ضمن الحدود الاقتصادية.
- يمكن بهذه التقوية أيضاً الوصول نظرياً إلى أي تقوية لازمة للعمود سواء كانت من الأحمال الشاقولية أو العزوم أو كليهما.
- تمتاز هذه الطريقة أيضاً بسهولة تأمين العمل المشترك بين المقطع الخرساني القديم والمقاطع الفولاذية للهيكل الفولاذي.
- يمكن تأمين تحميل مسبق للتقوية عن طريق روافع (جاكات) وحشر صفائح فولاذية.
- يؤدي الهيكل الفولاذي، (من أجل الأحمال الشاقولية والعزوم وقوى القص) إلى زيادة مطاوعة العمود، هو العامل الأكثر فعالية في مقاومة الزلازل [17].

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



شكل (1): صورة لأعمدة خرسانية مقواة بهياكل فولاذية

## 5. نتائج من الدراسات المرجعية:

توصل الباحثون في المرجع رقم [4] من خلال دراستهم إلى إن استخدام تقنية الهيكل الفولاذي في تدعيم الأعمدة الخرسانية المسلحة أدى إلى زيادة قدرة تحمل الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي، وأن زيادة مساحة تغطية الهيكل الفولاذي للعمود المدعم وكذلك زيادة مساحة المقطع العرضي للزوايا الشاقولية للهيكل الفولاذي أدت إلى زيادة قدرة تحمل الأعمدة المدعمة، وكذلك بزيادة نسبة اللامركزية للأعمدة المدعمة، وغير المدعمة تنخفض مقاومة الأعمدة. وقد توصل الباحثون في المراجعين [1]، [6] إلى أن عدد المبسطات الأفقية لم يؤثر بشكل ملموس على قدرة تحمل الأعمدة، وذلك يمكن أن يعزى إلى التباعد الكبير بين المبسطات، وكما أظهر التأثير الكبير لزيادة أبعاد الزوايا الشاقولية على قدرة تحمل العمود المدعم. وتوصل الباحثون في المراجع [3]، [12]، [7] إلى أن جميع العناصر المختبرة أظهرت تحسن ملحوظ في مقاومة الضغط والانتقال 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، وأنه لم يكن هناك اختلاف كبير في سلوك الأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي في حالة استخدام مادة الإيبوكسي أو مادة الاسمنت كمادة لاصقة بين الهيكل الفولاذي والسطح الخرساني.

تمت معايرة نموذج تجريبي لدراسة مرجعية [5] باستخدام برنامج التحليل الإنشائي [ABAQUS V6.14.3] [2]، وذلك للتحقق من صحة النمذجة، وبعد عملية النمذجة واستخراج النتائج كان الفرق بين النموذج التجريبي والنموذج التحليلي هو ( $\Delta=2.8\%$ ).

## 6. متغيرات البحث:

□ نسبة اللامركزية.

□ سماكة الهيكل الفولاذي.

## 7. توصيف نموذج الدراسة:

بالاستعانة ببرنامج [ABAQUS V6.14.3] [2]، تمّت دراسة مجموعة من نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة للمقطع العرضي المستطيل أبعاده  $40 \times 30$  cm وارتفاعه  $m$  (3) المدعمة بالهيكل الفولاذي وغير المدعمة، وتم تحميل النموذج لضغط مركزي ولا مركزي، وكانت اللامركزيات المأخوذة هي:  $(e=0,30,75,135,180,225,260,300,370)$  mm، وكانت نسبة اللامركزية على التوالي:  $(e/b=0,0.1,0.25,0.45,0.6,0.75,0.867,1,1.233)$ ، وتم نمذجة النموذج حسب مواد وفق الآتي:

### 7 - 1 توصيف مادة الخرسانة 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 الدراسات المرجعية، أما البعض الآخر فقد أخذ من برنامج الـ ABAQUS ، فقد تم أخذ قيمة زاوية التمدد للخرسانة  $\psi = 36$  (Dilation angle) ، لامركزية التدفق الكامن (Eccentricity Flow Potential)  $E = 0.1$  ، نسبة الضغط الثنائي المحاور إلى الضغط الأحادي المحور (compressive yield stress to initial)  $k = 0.667$  ، معامل اللزوجة  $\mu = 0.001$  (Viscosity parameter) ، معامل استعادة القساوة على الضغط (Tension Recovery)  $w_t = 0$  ، معامل استعادة القساوة على الشد (Compression Recovery)  $w_c = 1$  ،  $f_{bo}/f_{co} = 1.16$  (uniaxial compressive yield stress ratio of initial equibiaxial) ، وسطح التلدن  $w_f = 0$  .

وتم اعتماد المقاومة المميزة للخرسانة على الضغط  $f'_c = 18 \text{ Mpa}$  ، ومعامل بواسون لها هو 0.2.

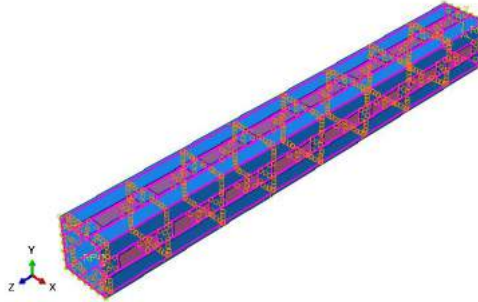
### 7 - 2 توصيف مادة فولاذ التسليح في الدراسة :

تم تسليح النموذج بتسليح طولي 8T16 مقاومته  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  وتسليح عرضي  $10/200 \text{ mm}$  مقاومته  $f_y = 240 \text{ Mpa}$  ، ومعامل بواسون هو 0,3.

### 7-3 توصيف مادة الهيكل الفولاذي في الدراسة :

تم نمذجة الهيكل الفولاذي المكون من أربع زوايا فولاذية بأبعاد  $(10 \times 10) \text{ cm}$  ، ومبسطات أفقية بارتفاع  $(10) \text{ cm}$  ، والسماكة هي من متغيرات البحث، أخذت المقاومة للزوايا الفولاذية والمبسطات الأفقية  $f_y = 240 \text{ Mpa}$  ، ومعامل بواسون هو 0,3.

ويوضح الشكل (2) النموذج المعتمد في الدراسة.



شكل (2): النموذج المدروس

## 8. تصنيف النماذج:

وبعد أخذ المتغيرات (البارامترات) تم تصنيف النماذج إلى عدد من المجموعات كما يلي:

◀ المجموعة الأولى (C1): تشمل نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة للمقطع العرضي المستطيل.

◀ المجموعة الثانية (C2): تشمل نماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة للمقطع العرضي المستطيل.

ولتسمية النماذج تم اعتماد الطريقة التالية:

◀ الرمز (C): يدل على اسم المجموعة وتشمل الرموز الآتية: (C2,C1).

(C) - (Rec) - (t) - (e)

◀ الرمز (Rec): يدل على المقطع العرضي للنموذج، (Rec) للنموذج المقطع المستطيل.

◀ الرمز (t): يدل على سماكة الهيكل الفولاذي ويشمل سماكة الزوايا الشاقولية، وسماكة المبسطات الأفقية، والسماكات التي تم اعتمادها (0,0,16,3)mm.

◀ الرمز (e): يدل على قيمة اللامركزية، أي بعد نقطة تطبيق القوة عن مركز العمود أي (e=0,30,75,135,180,225,260,300,370)mm.

ويبين الجدول (1) أسماء ومواصفات النماذج العديدة في الدراسة، وكذلك متغيرات البحث:

جدول (1): أسماء ومواصفات النماذج

اسم المجموعة	اسم النموذج	أبعاد النموذج (mm)	سماكة الهيكل الفولاذي (mm)	قيمة اللامركزية (mm)	نسبة لامركزية (e/b)
C1	C1-Rec-0-0	400*300	0	0	0
	C1- Rec -0-30		0	30	0.1
	C1- Rec -0-75		0	75	0.25
	C1- Rec -0-135		0	135	0.45
	C1- Rec -0-180		0	180	0.6
	C1- Rec -0-225		0	225	0.75
	C1- Rec -0-260		0	260	0.867
	C1- Rec -0-300		0	300	1
	C1- Rec -0-3 / 0		0	370	1.233
C2	C2- Rec -3-0	400*300	3	0	0
	C2- Rec -6-0		6		
	C2- Rec -10-0		10		
	C2- Rec -3-30		3	30	0.1
	C2- Rec -6-30		6		
	C2- Rec -10-30		10		
	C2- Rec -3-75		3	75	0.25
	C2- Rec -6-75		6		

جدول (1): يتبع

اسم المجموعة	اسم النموذج	أبعاد النموذج (mm)	سماكة الهيكل الفولاذي (mm)	قيمة اللامركزية (mm)	نسبة لامركزية (e/b)
	C2- Rec -6-75		6		
	C2- Rec -10-75		10		
	C2- Rec -3-135		3	135	0.45
	C2- Rec -6-135		6		
	C2- Rec -10-135		10		
	C2- Rec -3-180		3	180	0.6
	C2- Rec -6-180		6		
	C2- Rec -10-180		10		
	C2- Rec -3-225		3	225	0.75
	C2- Rec -6-225		6		
	C2- Rec -10-225		10		
	C2- Rec -3-260		3	260	0.867
	C2- Rec -6-260		6		
	C2- Rec -10-260		10		
	C2- Rec -3-300		3	300	1
	C2- Rec -6-300		6		
	C2- Rec -10-300		10		
	C2- Rec -3-370		3	370	1.233
	C2- Rec -6-370		6		
	C2- Rec -10-370		10		

## 9. ملخص الدراسة التحليلية:

سيتم استعراض ملخص الدراسة بعد عملية النمذجة والتحليل، ويوضح الجدول (2) حمولات الانهيار، وكفاءة أو نسبة فعالية التدعيم، وحمولات الاستثمار.

جدول (2): حمولات الانهيار للنماذج المدروسة

اسم المجموعة	اسم النموذج	حمولة الانهيار (kN)	نسبة فعالية التدعيم (%)	حمولة الاستثمار (kN)
C1	C1-Rec-0-0	2885.68	-	1991.12
	C1- Rec -0-30	2217.07	-	1503.17
	C1- Rec -0-75	1513.3	-	1039.64
	C1- Rec -0-135	969.32	-	688.22
	C1- Rec -0-180	724.6	-	523.88
	C1- Rec -0-225	501	-	339.68

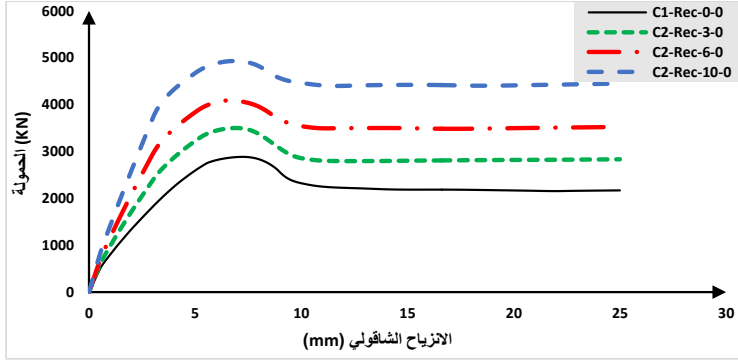


جدول (2): يتبع

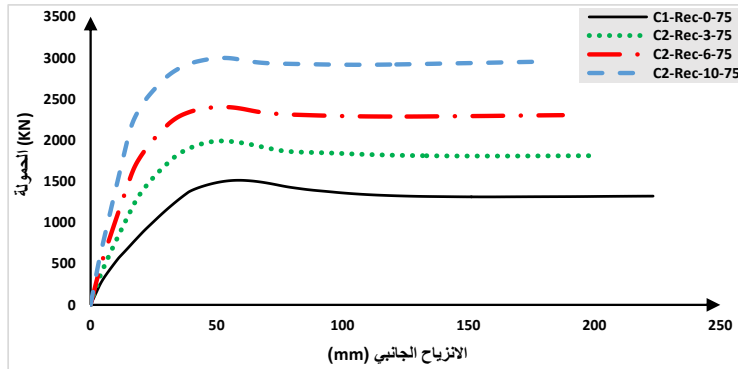
اسم المجموعة	اسم النموذج	حمولة الانهيار (kN)	نسبة فعالية التدعيم (%)	حمولة الاستئثار (kN)
C1	C1- Rec -0-260	318.43	-	212.07
	C1- Rec -0-300	134.01	-	91.8
	C1- Rec -0-370	82.91	-	54.55
C2	C2- Rec -3-0	3501.69	21.35	2412.66
	C2- Rec -6-0	4093.36	41.86	2857.16
	C2- Rec -10-0	4930.87	70.87	3505.85
	C2- Rec -3-30	2753.65	24.2	1924.8
	C2- Rec -6-30	3244.7	46.35	2229.11
	C2- Rec -10-30	3972.03	79.16	2740.1
	C2- Rec -3-75	1990.77	31.55	1389.56
	C2- Rec -6-75	2403.47	58.82	1708.87
	C2- Rec -10-75	2999.39	98.2	2129.57
	C2- Rec -3-135	1402.33	44.67	967.61
	C2- Rec -6-135	1752.94	80.84	1174.47
	C2- Rec -10-135	2232.99	130.37	1607.75
	C2- Rec -3-180	1122.8	54.95	785.96
	C2- Rec -6-180	1403.04	93.63	980.72
	C2- Rec -10-180	1795.47	147.79	1312.49
	C2- Rec -3-225	727.13	45.13	516.26
	C2- Rec -6-225	885.5	76.75	618.96
	C2- Rec -10-225	1098.29	119.22	757.82
	C2- Rec -3-260	354.39	11.29	251.62
	C2- Rec -6-260	501.98	57.65	350.88
	C2- Rec -10-260	604.62	89.88	429.28
C2- Rec -3-300	138.5	3.35	96.81	
C2- Rec -6-300	145.65	8.68	101.96	
C2- Rec -10-300	227.56	69.8	154.74	
C2- Rec -3-370	82.98	0.08	56.26	
C2- Rec -6-370	83.76	1.03	58.55	
C2- Rec -10-370	91.96	10.92	63.27	

9-1 النتائج والمخططات من الدراسة التحليلية :

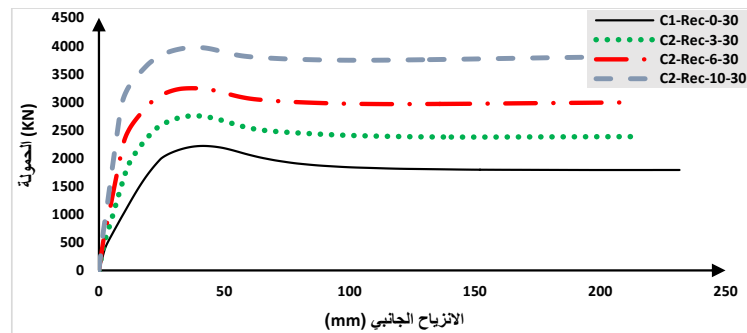
توضيح الأشكال (3)، (4)، (5)، (6)، (7)، (8)، (9)، (10)، (11)، مخططات (الحمولة - الانزياح) لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة وغير المدعمة للمقطع العرضي المستطيل عند نسبة اللامركزيات المذكورة سابقاً .



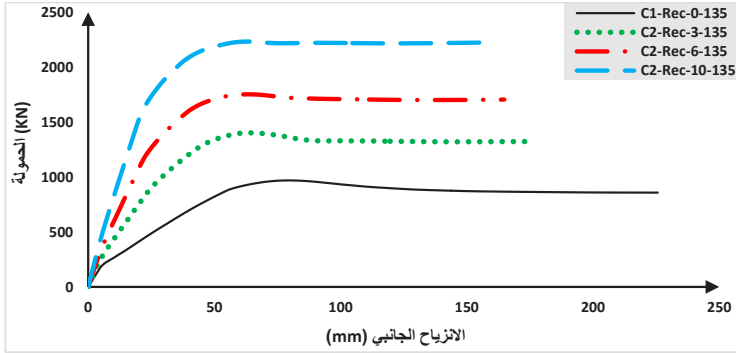
شكل (3): مخطط (الحمولة - الانزياح الشاقولي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b=0)$



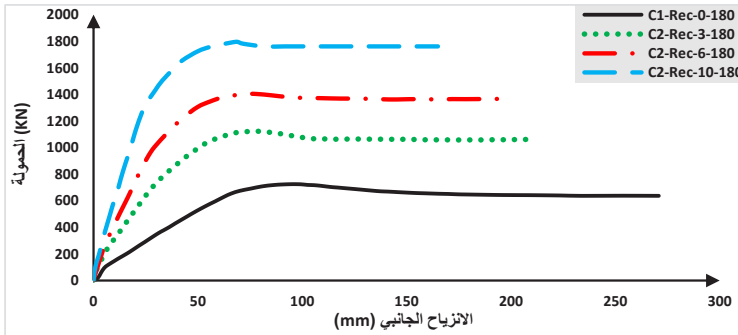
شكل (4): مخطط (الحمولة - الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b=0.1)$



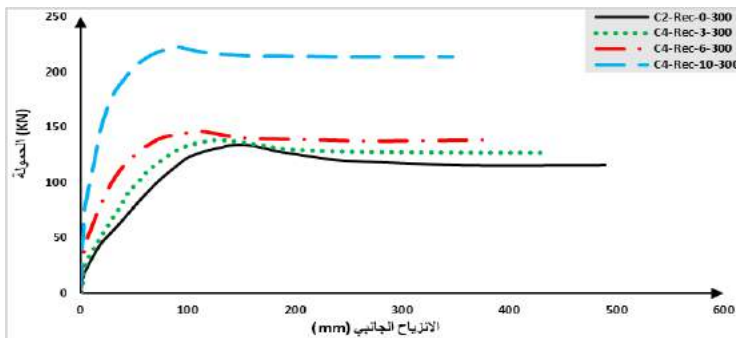
شكل (5): مخطط (الحمولة - الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b=0.25)$



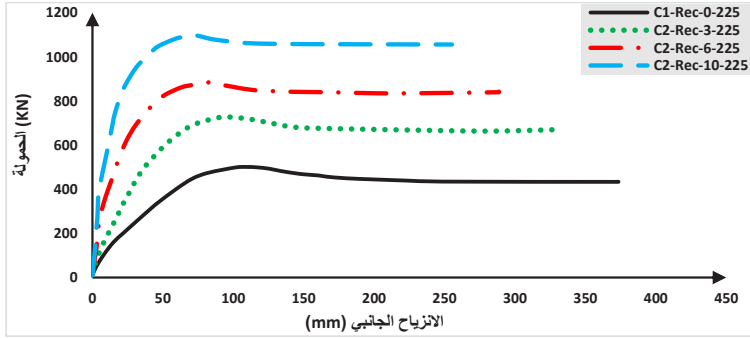
شكل (6): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b = 0.45)$



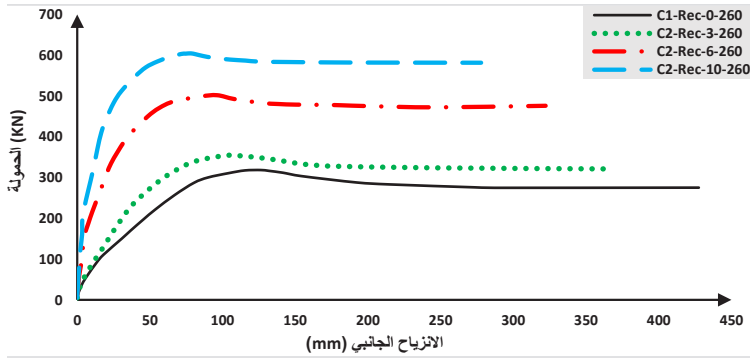
شكل (7): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b = 0.6)$



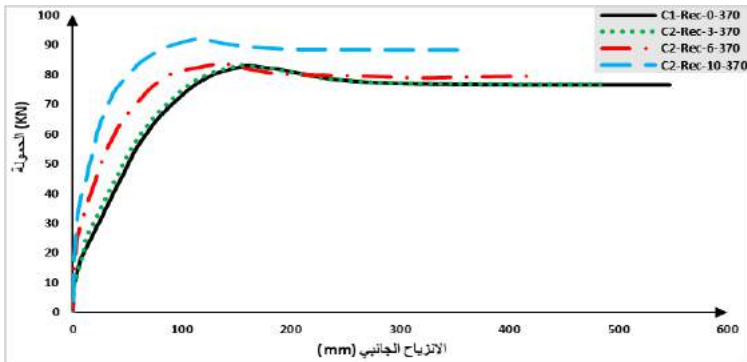
شكل (8): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b = 0.75)$



شكل (9): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b=0.867)$

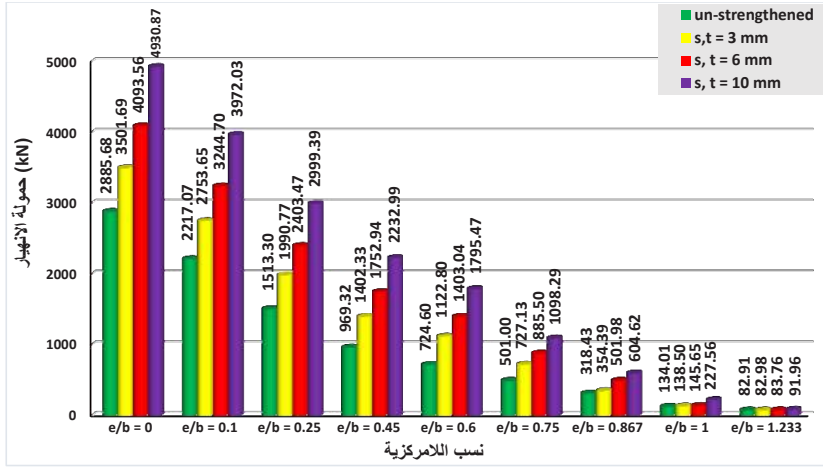


شكل (10): مخطط (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b=1)$



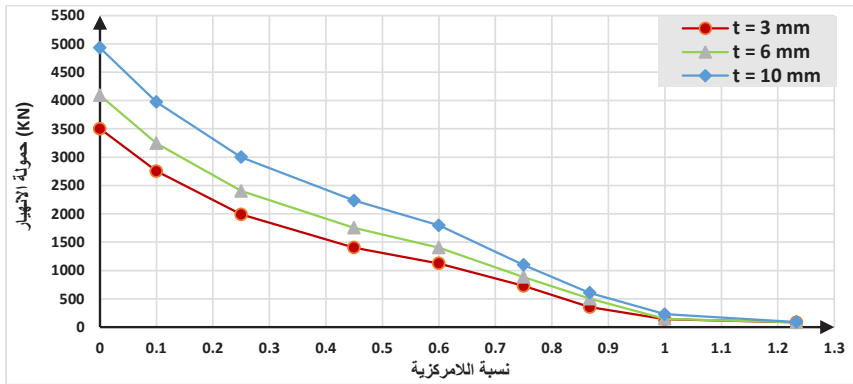
شكل (11): مخططات (الحمولة-الانزياح الجانبي) للنماذج عند نسبة لامركزية  $(e/b=1.233)$

يوضح الشكل (12) مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة والمعرضة لضغط مركزي ولا مركزي للنموذج.



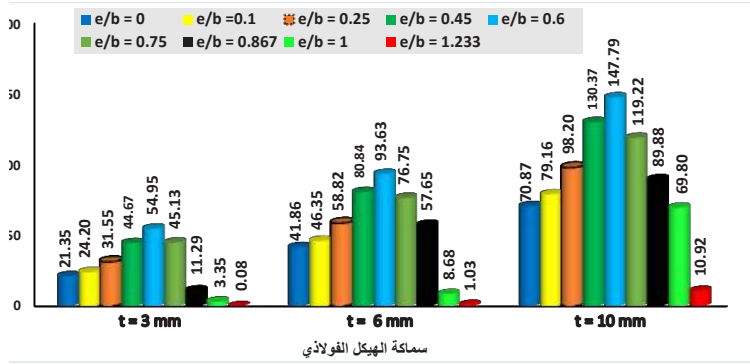
شكل (12): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة وغير المدعمة

أما الشكل (13) فيوضح مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي عند السماكات (3,6,10)mm.

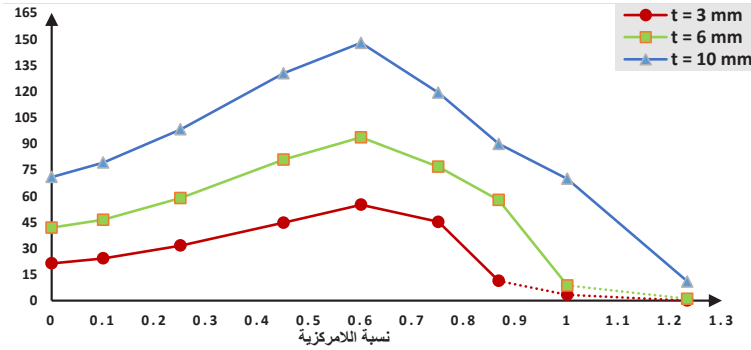


شكل (13): مخطط (حمولة الانهيار-نسبة اللامركزية) للأعمدة المدعمة

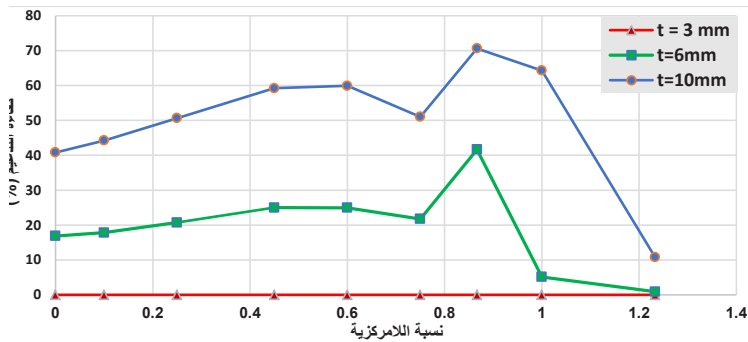
يوضح الشكل (14) تأثير نسبة زيادة وانخفاض فعالية أو كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة للمقطع العرضي المستطيل بتغيير نسبة اللامركزية على سماكة الهيكل الفولاذي.



شكل (14): تأثير نسبة زيادة وانخفاض كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة على سماكة الهيكل الفولاذي  
يوضح الشكل (15) تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة غير المدعمة، على نسبة اللامركزية، كما يبين نسبة اللامركزية التي يصبح عندها التدعيم غير فعال.

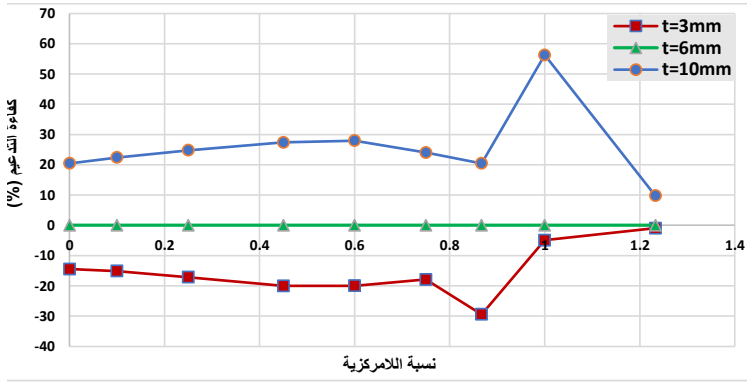


شكل (15): تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة غير المدعمة، على نسبة اللامركزية  
يوضح الشكل (16) تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة مع الأعمدة المسلحة المدعمة بهيكل فولاذي بسماكتين (t=6,10) mm مقارنة مع العمود المدعم بالهيكل الفولاذي بسماكة (t=3) mm، على نسبة اللامركزية.



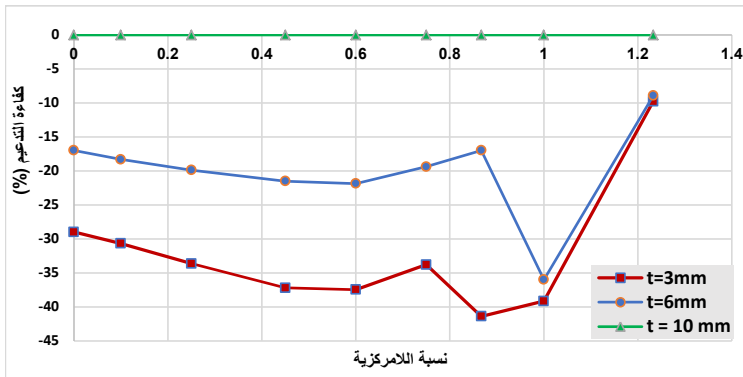
شكل (16): تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة بالعمود المدعم بسماكة (t=3) mm على نسبة اللامركزية

يوضح الشكل (17) تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بهيكل فولاذي بسماكتين (t=3,10)mm مقارنة مع العمود المدعم بالهيكل الفولاذي بسماكة (t=6)mm، على نسبة اللامركزية.



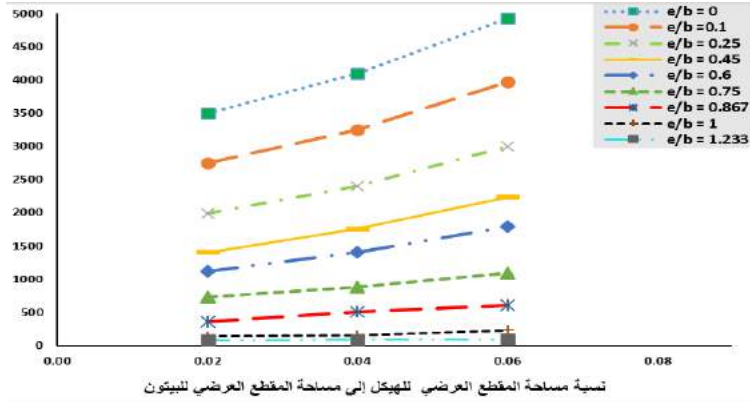
شكل (17): تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة بالعمود المدعم بسماكة (t=6)mm على نسبة اللامركزية

يوضح الشكل (18) تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة الخرسانية المسلحة المدعمة بهيكل فولاذي بسماكتين (t=3,6)mm مقارنة مع العمود المدعم بالهيكل الفولاذي بسماكة (t=10)mm، على نسبة اللامركزية.



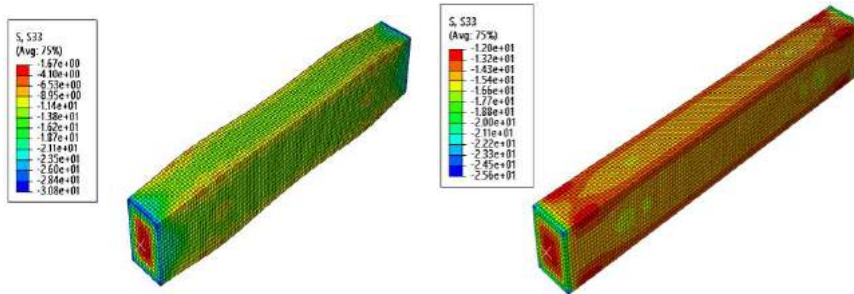
شكل (18): تأثير نسبة كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة مقارنة بالعمود المدعم بسماكة (t=6)mm على نسبة اللامركزية

يوضح الشكل (19) تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيك الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للعمود الخرساني للمقطع العرضي المستطيل على حملات الانهيار للأعمدة المدعمة وتغيير نسبة اللامركزية.



شكل (19): تأثير نسبة مساحة المقطع العرضي للهيكل الفولاذي إلى مساحة المقطع العرضي للخرسانة على حمولات الانهيار

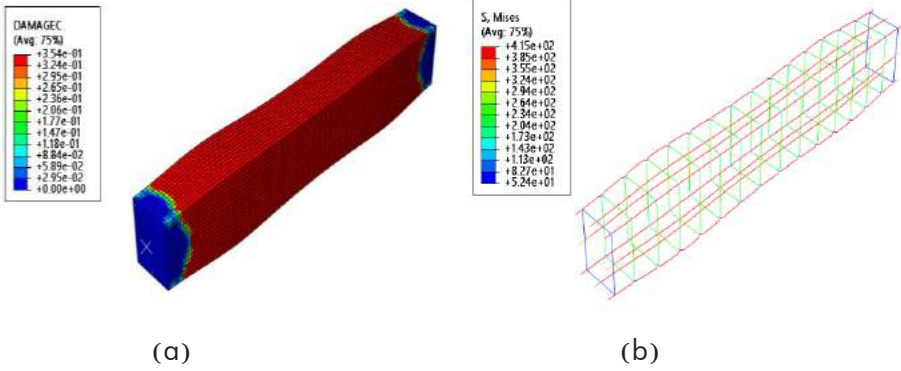
أما الشكل (20) فيوضح أن الاجهادات الضاغطة المحورية S33 ( $\sigma_z$ ) عند مراحل مختلفة من التحميل، حيث كانت أعظمية في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي [2].



شكل (20): الاجهادات الضاغطة المحورية S33 ( $\sigma_z$ ) في بداية ونهاية العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي

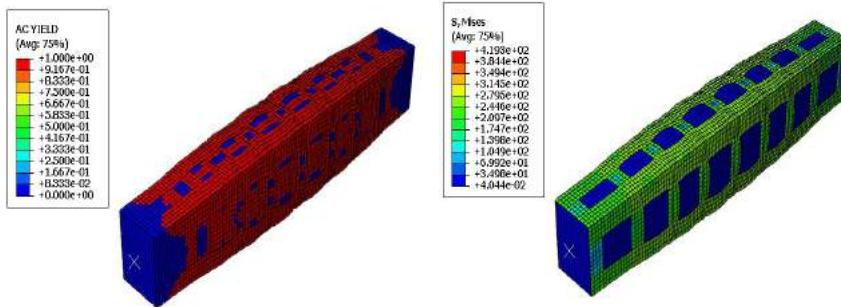
يوضح الشكل (21) أن التلدن بدأ وانتهى ضمن فولاذ التسليح الطولي، وشكل التحنيب فيه، وكانت تغيراته ضئيلة ضمن الأساور، وكما يبين شكل الضرر في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي [2].





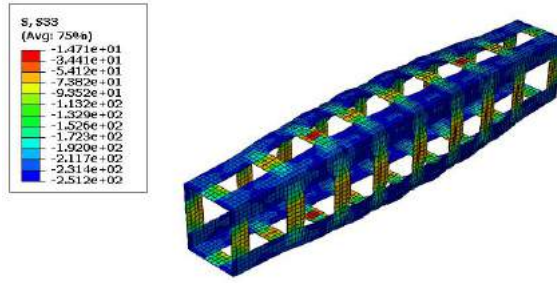
شكل (21): (a): شكل الضرر في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي. (b): التلدن بدأ وانتهى ضمن فولاذ التسليح الطولي في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط مركزي

يوضح الشكل (22) أن زيادة الإجهادات حصلت في الزوايا الأربع للهيكل الفولاذي ويفسر ذلك بأن تلك المناطق تعاني من انهيارات جزئية قبل غيرها، وكما يظهر التلدن بشكل أساسي في الزوايا الأربع وضمن العمود الخرساني، وأما المبسطات الأفقية فقد كان التلدن فيها ضئيلاً مقارنة بالزوايا، بالنسبة للعمود الخرساني المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط مركزي [2].

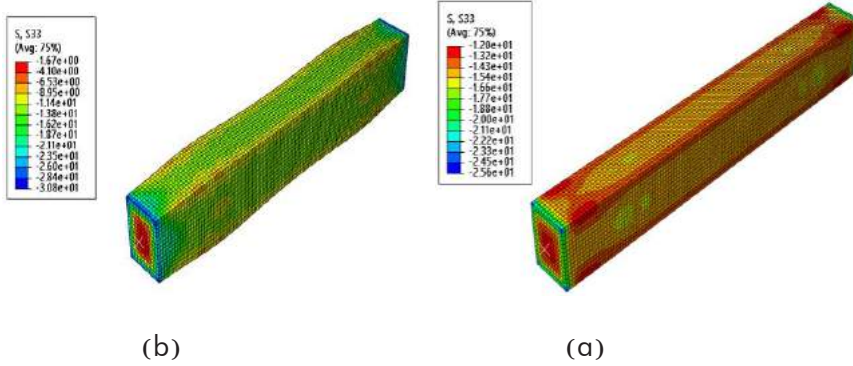


شكل (22): إجهادات Von Mises، وشكل التلدن في العمود الخرساني المدعم والمعرض لضغط مركزي

يوضح الشكل (23) الإجهادات S33 في الهيكل الفولاذي، ونلاحظ أن أكبر قيمة للإجهادات الضاغطة في زوايا الهيكل الفولاذي هي (251.2MPa) وهذه القيمة أكبر من إجهاد الخضوع لزوايا الهيكل وأصغر من الإجهاد الحدي لها وهذا مؤشر على حدوث التحنيب ضمن هذه الزوايا، أما الإجهادات فقد كانت ضئيلة في المبسطات الأفقية، وكذلك يبين شكل التحنيب في زوايا الهيكل الفولاذي بالنسبة للعمود الخرساني المسلح والمعرض لضغط مركزي [2].

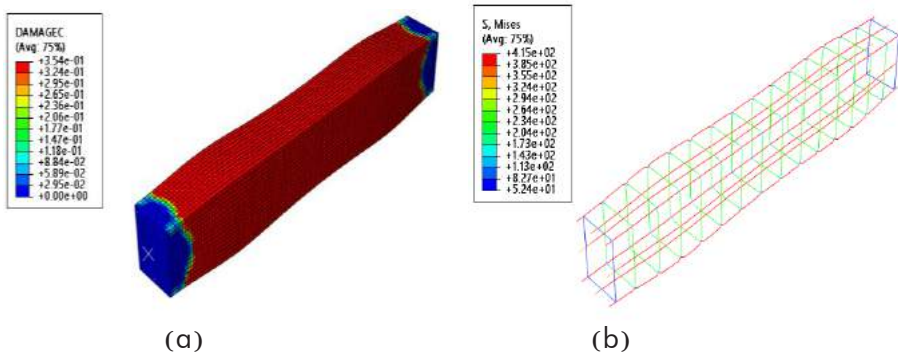


شكل (23): الإجهادات الضاغطة S33، والتحنيب في الهيكل الفولاذي للعمود المدعم والمعرض لضغط مركزي يوضح الشكل (24) التلدن في العمود الخرساني المسلح غير المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لامركزي في الجزء المضغوط والجزء المشدود.



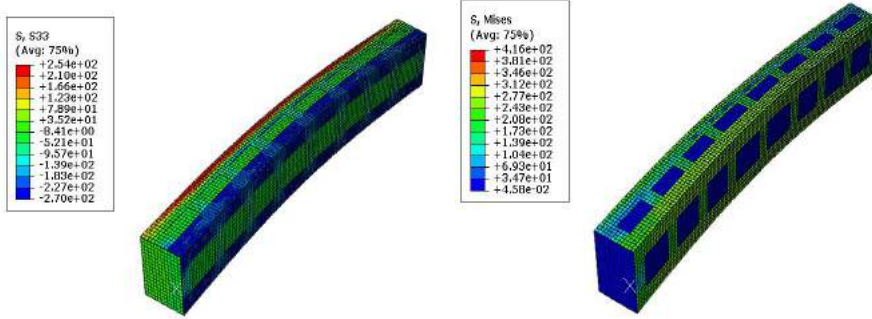
شكل (24): التلدن في العمود الخرساني المسلح غير المدعم والمعرض لضغط لا مركزي. (a): الجزء المضغوط، (b): الجزء المشدود

يوضح الشكل (25) الإجهادات S33 في العمود الخرساني المسلح غير المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي، ويبين الانزياح الجانبي U1 في هذا العمود الخرساني المسلح غير المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي [2].



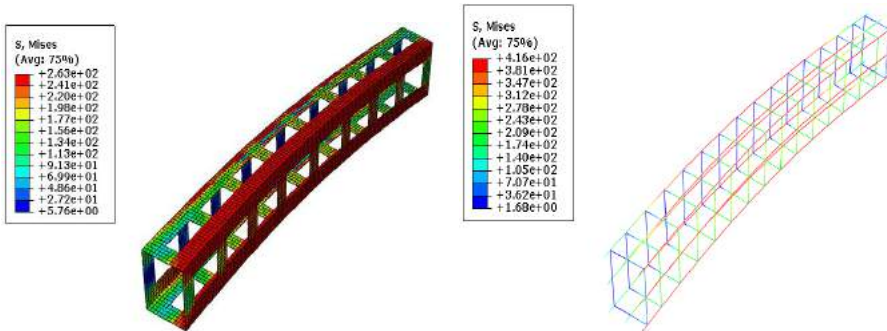
شكل (25): (a): الإجهادات S33. (b): الانزياح الجانبي U1

يوضح الشكل (26) إجهادات S33، Von Mises للعمود الخرساني المسلح المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لامركزي، حيث بدأ التلدين في الزوايا، وحدث ضمن العمود الخرساني وكان ضئيل في المبسطات الأفقية.



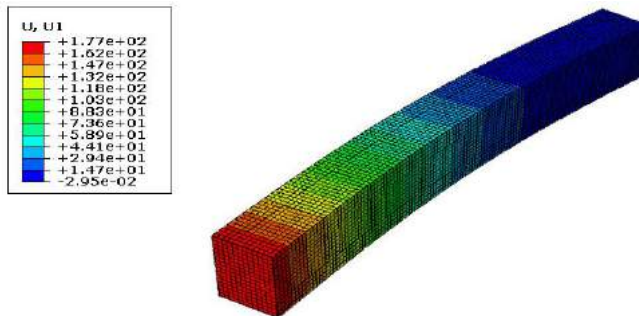
شكل (26): إجهادات S33 ، Von Mises للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لا مركزي

يوضح الشكل (27) إجهادات Von Mises للهيكل الفولاذي وفولاذ التسليح الطولي والعرضي؛ للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لامركزي.



شكل (27): إجهادات Von Mises للهيكل الفولاذي وفولاذ التسليح الطولي والعرضي للعمود الخرساني المسلح المدعم والمعرض لضغط لا مركزي

يوضح الشكل (28) الانزياح الجانبي U1 للعمود المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لامركزي.



شكل (28): الانزياح الجانبي U1 للعمود المدعم للمقطع العرضي المستطيل والمعرض لضغط لا مركزي

## 9-2 استخلاص النتائج من المخططات والأشكال:

- بالنسبة لنماذج الأعمدة الخرسانية المسلحة غير المدعمة انخفضت حمولة الانهيار من  $2885.68$  kN إلى  $82.91$  kN، وانخفضت حمولة الاستثمار من  $1991.12$  kN إلى  $54.55$  kN 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  $3501.69$  kN إلى  $82.98$  kN، وانخفضت حمولة الاستثمار من  $2412.66$  kN إلى  $56.26$  kN 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  $4093.36$  kN إلى  $83.76$  kN، وانخفضت حمولة الاستثمار من  $2857.16$  kN إلى  $58.55$  kN 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  $4930.87$  kN إلى  $91.96$  kN، وانخفضت حمولة الاستثمار من  $3505.85$  kN إلى  $63.27$  kN بزيادة نسبة اللامركزية من  $(e/b=0)$  إلى  $(e/b=1.233)$ .
- بالنسبة لفعالية التدعيم للأعمدة 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.
- بالنسبة لفعالية أو كفاءة التدعيم للأعمدة المدعمة بالهيكل الفولاذي بسماكتين  $(t=6,10)$  mm مقارنة بالأعمدة المدعمة بسماكة  $(t=3)$  mm ازدادت بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة  $(e/b=0)$  حتى النسبة  $(e/b=0.867)$  ثم انخفضت كفاءة التدعيم، وبالنسبة للنموذج المدعم بسماكة  $(t=10)$  mm مقارنة بالمدعم بسماكة  $(t=6)$  mm ازدادت بزيادة نسبة اللامركزية بدءاً من النسبة  $(e/b=0)$  حتى النسبة  $(e/b=1)$  ثم انخفضت كفاءة التدعيم.
- 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  $(240\text{MPa})$  وهذا مؤشر لحدوث التحنيب والتلدن ضمن الزوايا.
- نلاحظ أن الإجهادات كانت أعظمية في الزوايا الشاقولية وخاصة الزوايا في الجزء المضغوط.

## 10. الاستنتاجات والتوصيات:

### 1 - الاستنتاجات:

- كلما زادت نسبة الالامركزية تنخفض حمولة الانهيار للأعمدة وصلابتها، وتزداد الانزياحات الجانبية.
- كلما زادت سماكة الهيكل الفولاذي تزداد مقاومة العمود، وصلابته، تقل حمولة الانهيار، وتقل الانزياحات الجانبية والشاقولية، وكذلك التحنّب (الانبعاج) في زوايا الهيكل الفولاذي.
- عند نسبة الالامركزية ( $e/b=0.867$ ) 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.
- حدث التحنّب في زوايا الهيكل الفولاذي عند النسبة (65%) من حمولة الانهيار.
- حمولة الانهيار تمثل حوالي (1.397-1.495) مرة من حمولة الاستثمار.

### 2-10 التوصيات:

- نوصي بإجراء دراسات أعمق تتضمّن أبعاد الزوايا والمبسّطات الأفقية كمتغير.
- نوصي بإجراء دراسات للأعمدة خرسانية مسلحة مدعّمة بهيكل فولاذي، بتغيير مقاومة الخرسانة.
- نوصي بإجراء دراسات للأعمدة خرسانية مسلحة مدعّمة بهيكل فولاذي، ذات مقطع عرضي مربع أو دائري.
- نوصي بإجراء دراسات تجريبية (مخبرية) للنماذج السابقة، والمقارنة بين النتائج.
- نوصي بإجراء دراسات للأعمدة خرسانية مسلحة مدعّمة بهيكل فولاذي، وتغيير نوع المادة الرابطة بين الهيكل الفولاذي والعمود الخرساني.

## المراجع:

- [1] Elsamny, M.K., Hussein, A.A., Nafie, A. M., and Abd-Elhamed, M.K., "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, PP. 900-907, 2013.
- [2] ABAQUS (2015), version 6.14-3 . Dassaultsystemes simulia Grop, USA.
- [3] Giménez E, Adam JM, Ivorra S, Moragues JJ, Calderón P."Full-scale testing of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips". Advance Structural Engineering, 12(2), 169–181, 2009.
- [4] 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, Iss. 12, Dec.2016, PP. 16-24, 2016.
- [5] Debasish Sen. (2017). "Behaviour and strength of rc columns retrofitted with steel angles and strips under eccentric axial loads". Bangladesh University of Engineering and Technology dhaka, Bangladesh, 0412-42362.

- [6] Tarabia, A. M., and Albakry, H. F. (2014). "Strengthening of RC columns by steel angle and strip." Alexandria Engineering Journal, 53(3), 615-626.
- [7] Belal, M. F., Mohamed, H. M., and Morad, S. A. (2015). "Behavior of reinforced concrete columns strengthened by steel jacket." HBRC Journal, 11(2), 201-212.
- [8] Ali, A. G., Khalil, A., & Beih, A. (2018). "Behavior of steel jacketed reinforced concrete column under eccentric forces" Al-Azhar University Civil Engineering Research Magazine (CERM) Vol. (40) No. (4) October, 2018.
- [9] Rosario Montuori, Vincenzo Piluso (2009). "Reinforced concrete columns strengthened with angles and battens subjected to eccentric load" department of Civil Engineering, University of Salerno, Italy, Engineering Structures (539–550).
- [10] AISC. "American Institute Of Steel Construction" inc.1921.
- [11] Jankowiak T., Lodygowski T. (2005). "Identification Of Parameters Of Concrete Damage Plasticity Constitutive Model", Poznan University of Technology, Institute of Structural Engineering, Poland, 6, 53–69.
- [12] Ihssan Tarsha, Muneeb Al-alaf, Ranin Ahmad Aldarf. (2020). "Strengthening Of Reinforced Concrete Circular Columns Using a Steel Structure And Exposed To Central Pressure". Journal of Al-Baath University, Volume 42 (In Arabic).
- [13] Carreira, D. J., and Chu, K. H. (1985). "Stress strain relationship for plain concrete in compression." ACI Journal, 82(6), 796-804.
- [14] Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S., and Onate, E. (1989). "A plastic-damage model for concrete." International Journal of solids and structures, 25(3), 299-326.
- [15] Giménez, E., Adam, J. M., Ivorra, S., and Calderón, P. A. (2009). "Influence of strips configuration on the behaviour of axially loaded RC columns strengthened by steel angle and strip." Materials and Design, 30(10), 4103-4111.
- [16] Yusuf Sümer, Muharrem Aktaş (2015). "Defining parameters for concrete damage plasticity model". Challenge Journal Of Structural Mechanics, 1(3), 149–155.
- [17] الكود العربي السوري لتصميم المنشآت وتنفيذها بالخرسانة المسلحة - الملحق رقم (4) (2016). "الدليل الإرشادي لتدعيم المباني والمنشآت القائمة وتأهيلها لمقاومة الزلازل"، منشورات نقابة المهندسين، سوريا.
- [18] محمد كرامة بدورة (2013). "تقوية وتدعيم وتأهيل المباني والمنشآت القائمة"، دوره تدريبية في تقوية وتدعيم وتأهيل المباني والمنشآت القائمة، مركز التدريب والتأهيل فرع محافظة دمشق.
- [19] فراس علقم (2014). "تأثير المواصفات الميكانيكية لجدران البلوك القواة بالبوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) على السلوك الإنشائي للإطارات البيتونية في مستويها" مجلة جامعة دمشق.