

Seismic Behavior of Composite Shear Walls with Encased Vertical Steel Sections

Dr. Ali Tawwalo*

(Received 21 / 1 / 2022. Accepted 22 / 9 / 2022)

□ ABSTRACT □

The concept of steel-concrete composite shear wall is introduced due to the benefits achieved by integrating both the materials. These are structural walls, where steel profiles are encased at the boundary elements. Due to their higher lateral strength and stiffness, they offer a good alternative to improve earthquake resistance over conventional reinforced concrete shear walls in medium and high-rise buildings.

Shear walls generally have rectangular cross section with the high concentration of vertical reinforcement at the boundary elements. The use of conventional reinforced concrete shear wall in multistoried buildings is sometimes limited because of the high concentration of reinforcement provided at the boundary element. Composite steel-concrete shear walls with encased vertical steel sections provide good alternative.

Through this research, an analytical study was presented for the possibility of replacing the vertical reinforcement of a concrete shear wall using two steel sections according to the specifications of the European code.

The Lateral load-displacement values belonging to each wall, maximum load, deformation and stiffness capacity were evaluated.

Comparative study indicates that presence of vertical steel sections significantly increases base shear, stiffness, and ductility.

Keywords: Composite shear wall, boundary reinforcement, steel section.

*Doctor, Department of structural engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University-Latakia- Syria. E-Mail: alitawwalo@yahoo.com

السلوك الزلزالي لجدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية شاقولية

د. علي عزيز طوالو*

(تاريخ الإيداع 21 / 1 / 2022. قُبِلَ للنشر في 22 / 9 / 2022)

□ ملخص □

تم تقديم فكرة جدران القص المختلطة، البيتونية والمزودة بمقاطع معدنية، بسبب الميزات التي تحققها من خلال دمج كلتا المادتين للعمل سوياً. يتم تزويد المقطع البيتوني في جدران القص الانشائية هذه بمقاطع فولاذية عند الأطراف ونظراً لمقاومتها الجانبية العالية وصلابتها، فإنها تشكل بديلاً جيداً عن جدران القص البيتونية التقليدية كونها تساهم في تحسين المقاومة الزلزالية بشكل فعال في الأبنية العالية والمتوسطة الارتفاع.

عموماً يكون المقطع العرضي لجدار القص البيتوني المسلح بشكل مستطيل مع تركيز لفولاذ التسليح الشاقولي عند طرفي المقطع العرضي (العمود المخفي).

في بعض الحالات قد يكون استخدام جدران القص البيتونية المسلحة التقليدية في الأبنية العالية محدوداً بسبب ارتفاع نسبة تركيز حديد التسليح عند الأطراف.

يمكن في مثل هذه الحالات استخدام جدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية شاقولية عند الأطراف كحل بديل عن حديد التسليح الشاقولي.

من خلال هذا البحث تم تقديم دراسة تحليلية لإمكانية استبدال التسليح الشاقولي للأعمدة المخفية في جدار القص البيتوني باستخدام مقطعين معدنيين حسب مواصفات الكود الأوروبي، وقمنا باستنتاج منحنيات قوة القص-انتقال، قدرة التحمل الاعظمية، التشوهات بالإضافة الى الصلابة الجانبية الأولية لمجموعة الجدران المدروسة.

بينت مقارنة النتائج بين جدران القص البيتونية المسلحة والجدران المختلطة المزودة بمقاطع معدنية أن هناك تحسناً ملحوظاً في المقاومة الجانبية، الصلابة بالإضافة الى قوة خضوع الجدار.

الكلمات المفتاحية: جدران القص المختلطة، التسليح الطرفي، المقاطع المعدنية.

* دكتور - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين - اللاذقية- سورية. E-Mail: alitawwalo@yahoo.com

مقدمة:

تعتبر جدران القص البيتونية المسلحة أحد أهم العناصر الإنشائية في منشآت الأبنية والأكثر فعالية في مقاومة الحمولات الجانبية سواء كانت هذه الحمولات زلازل أو رياح، إنما تم ملاحظة زيادة كبيرة في كمية التسليح الشاقولي وخصوصاً عند الأطراف (الاعمدة المخفية) عند زيادة ارتفاع المبنى بسبب زيادة عزوم الانعطاف والقوى القاصة هذا بالإضافة الى حدوث التشققات في مناطق الضغط الأعظمي من مقطع الجدار.

من أجل تحسين الأداء الزلزالي لجدران القص البيتونية المسلحة في الأبنية العالية تم اقتراح استبدال التسليح الطولي عند الأطراف بمقاطع معدنية بروفيلية مساحتها مكافئة لمساحة هذا التسليح.

قمنا في هذا البحث بدراسة تحليلية بطريقة Pushover Analysis وبمساعدة برنامج التحليل الإنشائي المتطور [2] ABAQUS لنوعين من جدران القص: البيتونية المسلحة التقليدية والمختلطة المزودة بمقاطع معدنية عند الأطراف وكان هناك ستة نماذج من تلك الجدران متشابهة بالخواص الميكانيكية والهندسية إلا أنها تختلف بالمقطع المعدني المزودة به، بهدف التنبؤ بالسلوك الفعلي للمنشأ بتأثير الحمولات الزلزالية ومقارنتها مع الجدار البيتوني المسلح.

قدم عدد من الباحثين دراسات حول سلوك جدران القص المختلطة والمزودة بمقاطع معدنية عند الأطراف حيث قام الباحث S. Bahadır Yuksel بإجراء دراسة تجريبية بهدف التحري عن السلوك الزلزالي لجدار مختلط مزود بمقاطع معدنية زاوية L عند الأطراف كتسليح طولي [1]. وتم ملاحظة أنه عند الوصول الى المقاومة الجانبية الاعظمية لم يحصل انهيار مفاجئ إنما كان السلوك أكثر لدونة من جدار القص البيتوني المسلح.

أنجز الباحثان D. Dan, A. Fabian, V. Stoian. دراسة تجريبية لجدران قص مختلطة مع مقاطع معدنية مختلفة بالعلاقة مع القوة الناطمية المؤثرة على الجدار، وقد أظهرت الاختبارات أنه بالرغم من حدوث انهيار البيتون نتيجة الانعطاف إلا ان ذلك لم يؤد الى حدوث الخضوع في المقاطع المعدنية. [3]

تركزت أبحاث P.P.Phadnis, D.K.Kulkarni, A.B.Kulkarni and V.V Karjinni [4]، حول فعالية المقاطع المعدنية المتوفرة حسب الكود الهندي في زيادة المقاومة الجانبية للجدار عن طريق مقارنة سلوك أربعة جدران مختلطة بمعاملات شكل مختلفة وتحتوي على مقاطع معدنية مع سلوك جدار بيتوني مسلح، وتبين لديهم زيادة في الصلابة الجانبية لجدران القص المختلطة بسبب تركيز التسليح الإنشائي في الأطراف بالإضافة الى زيادة الانتقال للندن للجدار مقارنة مع جدار القص البيتوني المسلح. بالإضافة الى ذلك تم لخط تأثير لخطية المادة الناجمة عن تشقق البيتون على استجابة الجدار من حيث انخفاض في الصلابة الإنعطافية إذ أن تشقق البيتون يؤدي الى زيادة كبيرة في مقدار التشوهات الجانبية. وأعتبر عزم عطالة المقطع هو العامل الرئيسي المؤثر على صلابته، حتى يمكننا من اختيار عزم عطالة فعال للمقطع بعد أخذ التشققات بعين الاعتبار. وكما ذكر الباحثون أن هناك اختلافاً في تقدير عوامل تعديل عزم العطالة للمقطع المتشقق حسب معايير كودات التصميم لكل بلد [5]. فمثلاً يوصي الكود الأوروبي [6] بتحديد الصلابة الفعالة على الانعطاف للعناصر البيتونية المسلحة كنسبة 0.5 مرة من قيمتها الحقيقية عند لحظة التشققات بعين الاعتبار.

أهمية البحث وأهدافه:

تستخدم جدران القص المختلطة في منشآت الأبنية بشكل قليل نظراً لحداتها وعدم توفر الأبحاث الكافية التي تعالج جميع البارامترات الخاصة بها. لذلك تكمن أهمية وهدف هذا البحث في إجراء دراسة تحليلية عن السلوك اللاخطي لعدد من جدران القص المختلطة باستخدام طريقة العناصر المنتهية بمساعدة برامج بحثية متقدمة، ومن ثم مقارنة سلوك هذه الجدران المزودة بمقاطع معدنية تؤخذ مساحة مقطعها كنسبة من مساحة التسليح الشاقولي للعمود المخفي في جدار القص المختلط، مع سلوك الجدار البيتوني المسلح من حيث المقاومة والصلابة المرنة.

طرائق البحث ومواده:

1- الدراسة التحليلية باستخدام النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية (FEM).

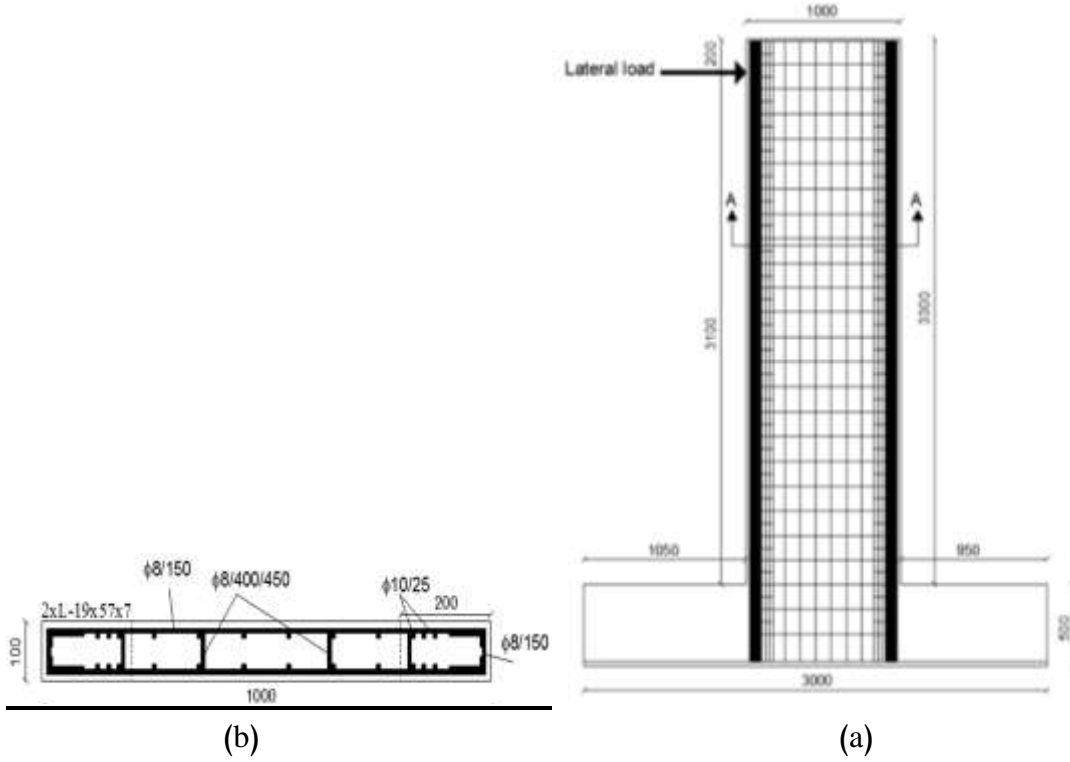
لإنشاء النماذج العددية اللازمة لدراسة سلوك جدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية عند الاطراف. تم استخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS-V14.2 بدايةً، تم وضع نموذج ثلاثي الأبعاد 3D يأخذ بعين الاعتبار اللاخطية الهندسية والمادية. وفي المرحلة الثانية تم استثمار نتائج التحليل باستخدام النموذج العددي 3D الموثق بهدف دراسة الفعالية الزلزالية لمجموعة من جدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية مختلفة.

2-1 إنشاء نموذج عددي 3D لجدار القص المختلط.

من أجل توثيق النموذج العددي قمنا بإنشائه بشكل مطابق للنموذج التجريبي المختبر من قبل الباحثين S. Bahadır Yuksel, Alptuğ Unal [1]، وذلك من حيث الأبعاد الهندسية وخواص مواد البناء المستخدمة والشروط الطرفية، ونعرض فيما يلي لمحة مختصرة عن الدراسة التجريبية المعتمدة في النمذجة.

3- الدراسة التجريبية المرجعية المعتمدة في النمذجة:

قام الباحثان S. Bahadır Yuksel, Alptuğ Unal [1] باختبار تجريبي على جدار قص مختلط مزود بأربعة مقاطع معدنية بشكل حرف L موزعة في الزوايا الأربعة للجدار عوضاً عن التسليح الإضافي الذي يوضع في الأطراف كأعمدة مخفية في جدران القص البيتونية المسلحة التقليدية. وذلك لثلاثة طوابق وبمقياس 1/3 كما هو مبين في الشكل (1). تمثل العينة التجريبية نظام مقاوم للحمولات الجانبية حيث يعتبر الجدار المختلط هو النظام الإنشائي الأساسي لمقاومة الحمولات الجانبية.



الشكل (1) a: مقطع شاقولي في الجدار، b: مقطع أفقي في الجدار

1-3 مواصفات المواد المستخدمة في التجربة:

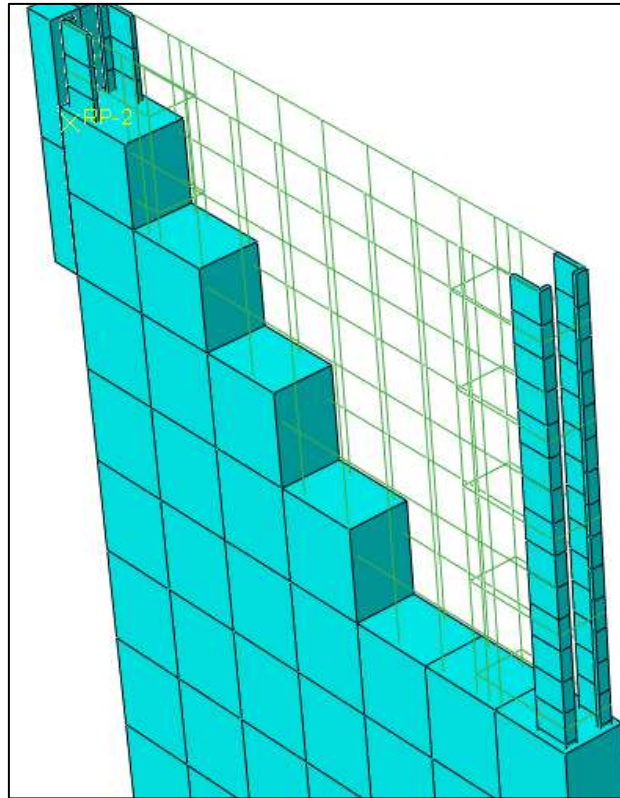
تم تصنيع المقاطع المعدنية من فولاذ نموذج A36 ($f_u=372\text{MPa}$, $f_y=248\text{MPa}$). أما الجدار البيتوني مكون من بيتون مقاومته المميزة ($f_c=25\text{MPa}$)، ومسلح بقضبان فولاذية طولية قطر 10mm ($f_y=420\text{MPa}$)، وقضبان عرضية بقطر 8mm. يلخص الجدول (1) مكونات الجدار.

الجدول (1) مكونات نموذج الاختبار

التسليح العرضي	التسليح الطولي		أبعاد الجدار البيتوني (mm)		أبعاد الزاوية المعدنية (mm)	
	القطر	العدد	H	B	B	L
8mm	10 mm	12 قضيب	3300	1000	19	57
تباعده 150mm شاقولياً	6 قضبان طرفية	الإضافي الطرفي	100	t	7	t

أجريت التجربة بتطبيق انتقال أفقي متزايد باستخدام مكبس هيدروليكي عند أعلى الجدار وكانت الشروط الطرفية مناسبة لوضعية الجدار الحقيقية في المنشأ حيث تم تقييد الانتقال في الاتجاه العمودي على مستوي الجدار كما تم وثق النهاية السفلية للجدار بواسطة كتلة بيتونية صلبة كما هو مبين أعلاه في الشكل (1).

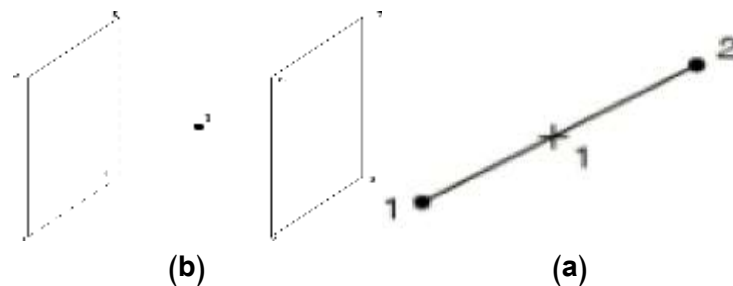
يظهر الشكل (2) النموذج العددي (3D-الجدار البيتوني-التسليح-الزوايا المعدنية) باستخدام برنامج ABAQUS بشكله النهائي لمحاكاة التجربة المعروضة أعلاه [2].



الشكل (2) النموذج العددي المطور باستخدام ABAQUS بشكله النهائي [2]

2-3 نمط العناصر المنتهية المستخدمة في النمذجة باستخدام ABAQUS:

أُستخدم العنصر C3D8 لنمذجة الجدار البيتوني والزوايا وهو عنصر حجمي (SOLIDELEMENT) مؤلف من ثماني عقد (الشكل (3-a)) وكل عقدة تملك ثلاث درجات حرية (3انتقالات). أما من أجل نمذجة فولاذ التسليح أُستخدم العنصر T3D2 وهو من النوع الشبكي الفراغي (Truss Element) مؤلف من عقدتين (الشكل (3-b)) وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية (3 انتقالات).



الشكل (3) نمط العناصر المستخدمة في النمذجة [2] [ABAQUS 6.14 Documentation]

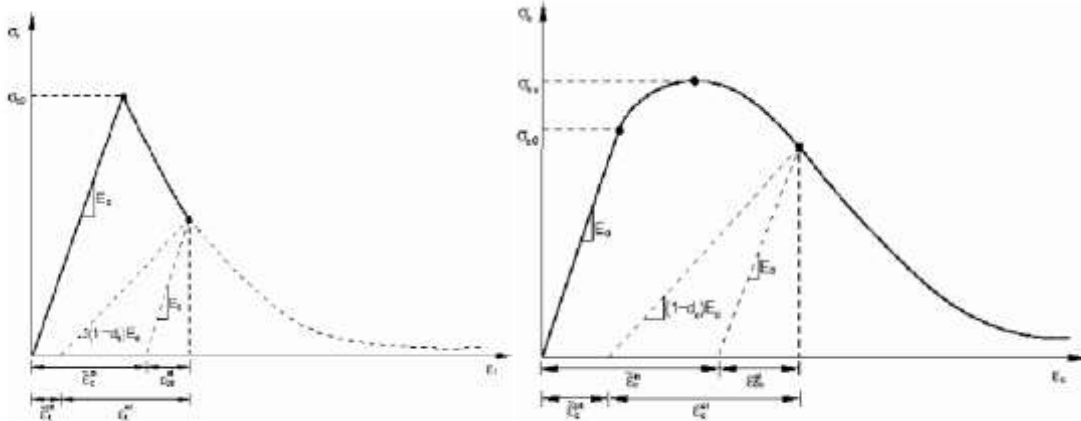
3-3 توصيف مواد البناء:

3-3-1 البيتون: تم استخدام النموذج Concrete Damaged Plasticity (CDP) لتوصيف مادة البيتون وهو نموذج تضرر قائم على اللدونة (Plasticity-based damage model) لوصف سلوك البيتون. يفترض هذا النموذج وجود آليتي انهيار رئيسيتين لمادة البيتون هما التشقق بالشد والتشقق بالضغط، ويتم التحكم بتطور سطح الانهيار من

خلال متحولين، المتحول ϵ_c^{pl} ويمثل تشوه الضغط اللدن المكافئ وهو يرتبط بآلية الانهيار تحت حمولة ضغط والمتحول ϵ_t^{pl} ويمثل تشوه الشد اللدن المكافئ وهو يرتبط بآلية الانهيار تحت حمولة شد. يفترض النموذج (CDP) أنه يمكن توصيف استجابة البيتون تحت شد أو ضغط محوري باستخدام ما يعرف باللدونة المتضررة (Damaged Plasticity) كما يظهر الشكل (4).

يُفترض أن سلوك البيتون الخاضع لشد أحادي المحور هو من خطي بمعامل مرونة ابتدائي (E_0) حتى بلوغ إجهاد الانهيار بالشد (σ_{t0}). يتوافق إجهاد الانهيار (σ_{t0}) مع بدء تشكل تشققات مايكروية (Micro-cracking) في البيتون. وبعد إجهاد الانهيار يتم تمثيل التشققات المايكروية على مقياس أكبر (Macro) من خلال تليين (softening) الاستجابة إجهاد-تشوه للبيتون المشدود وهذا يؤدي إلى تركيز التشوهات فيه. بشكل مماثل يفترض أيضاً أن سلوك البيتون الخاضع لضغط أحادي المحور هو من خطي حتى بلوغ ما يعرف بإجهاد التلدن البدئي (σ_{c0} initial stress) ومن ثم يصبح سلوك البيتون لاختطياً حيث تستمر الاجهادات بالتزايد بفعل التقسية (hardening) لتصل إلى إجهاد حدي σ_{cu} ومن ثم تنخفض الإجهادات مع ازدياد التشوهات بفعل التليين (softening).

يتم توصيف تدهور الصلابة المرنة للبيتون المتضرر في مختلف مراحل سلوكه باستخدام متحولي تضرر (damage variables) dc (للبيتون المشدود) و dt (للبيتون المضغوط)، وهما تابعان للتشوهات اللدنة بشكل أساسي. يأخذ متحول التضرر القيم من الصفر (مادة غير متضررة) حتى الواحد (المادة متضررة بشكل تام). يظهر الشكل (4) مخطط الإجهاد - تشوه المعتمد للبيتون في حالتي الشد والضغط.



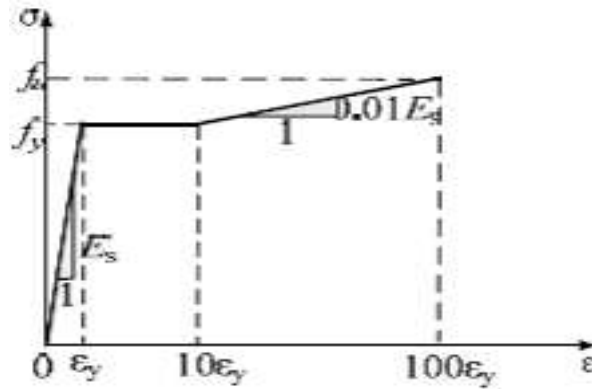
الشكل (4) a مخطط الاجهاد-تشوه للبيتون على الشد

b : مخطط الاجهاد-تشوه للبيتون على الضغط

[ABAQUS V6.14 Documentation] [2]

E_0 : معامل المرونة الابتدائي

3-3-2 الفولاذ: الفولاذ مادة مطاوعة تسلك سلوكاً لاختطياً نتيجة الخضوع اللدن والتصلب التشوهي للمادة. قمنا بنمذجة هذا السلوك بمنحني إجهاد-تشوه ثلاثي الخطية مبين على الشكل (5).



الشكل (5) مخطط الاجهاد - تشوه المعتمد لمادة الفولاذ

3-3-3 الشروط الطرفية والتحميل:

قمنا بنمذجة الشروط الطرفية بشكل يتطابق مع الدراسة التجريبية المعتمدة:

- الجدار المختلط موثوق من الأسفل لتأمين إمكانية تمثيل الكتلة الصلبة التي يستند عليها الجدار.

- أجري تقييد للانتقالات الجانبية بما يتوافق مع الاختبار التجريبي.

وأما التحميل كان عن طريق تطبيق انتقال أفقي عند أعلى الإطار متزايد بشكل تدريجي للوصول إلى الإزاحة المطلوبة.

النتائج والمناقشة:

1- معايرة وتوثيق النموذج:

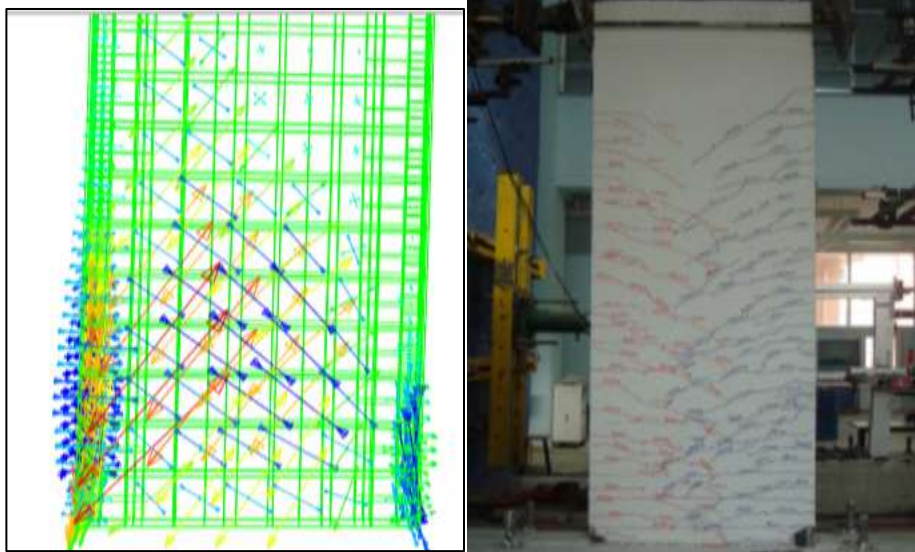
لتوثيق النموذج العددي المختبر، سنقارن النتائج التي يعطيها هذا النموذج مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة في

عملية النمذجة. تتضمن المقارنة جانبين أساسيين: يتعلق الجانب الأول بأنماط الانهيار الملاحظة، أما الجانب الثاني

فيتعلق باستجابة النموذج الممثلة بمنحني القوة-انتقال.

نلاحظ من خلال الشكل (6) أن هناك تقارباً واضحاً بين النموذجين التجريبي والعددي فيما يتعلق بآلية تشكل التشققات

في الجدار وتموضعها.

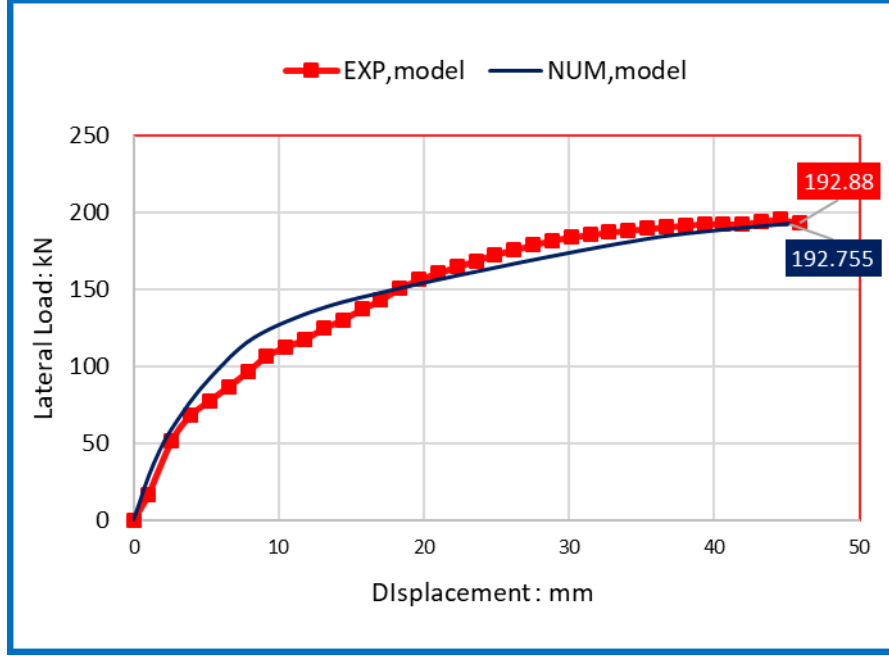


(b)

(a)

الشكل (6) مقارنة مكان توضع التشققات في النموذجين التحليلي (a) والتجريبي (b)

يظهر الشكل (7) المنحني قوة القص - انتقال التجريبي والمنحني المستنتج باستخدام النموذج العددي المنجز في هذا البحث. حيث وجدنا تطابقاً بشكل تقريبي ما بين قدرة التحمل النهائية للنموذج التجريبي وقدرة التحمل للنموذج التحليلي (192 kN)، وفي باقي أجزاء المخطط البياني نجد أن دقة التقارب بين المنحنيين قد تجاوزت 90%.



الشكل (7) مقارنة المخطط قوة القص - انتقال التجريبي والتحليلي

من خلال ما تقدم يمكننا الحكم على وثوقية النموذج التحليلي من حيث النمذجة الحاسوبية، المدخلات وآلية تطبيق الحملات عليه من خلال التقارب الجيد بين النتائج.

2- الدراسة البارامترية:

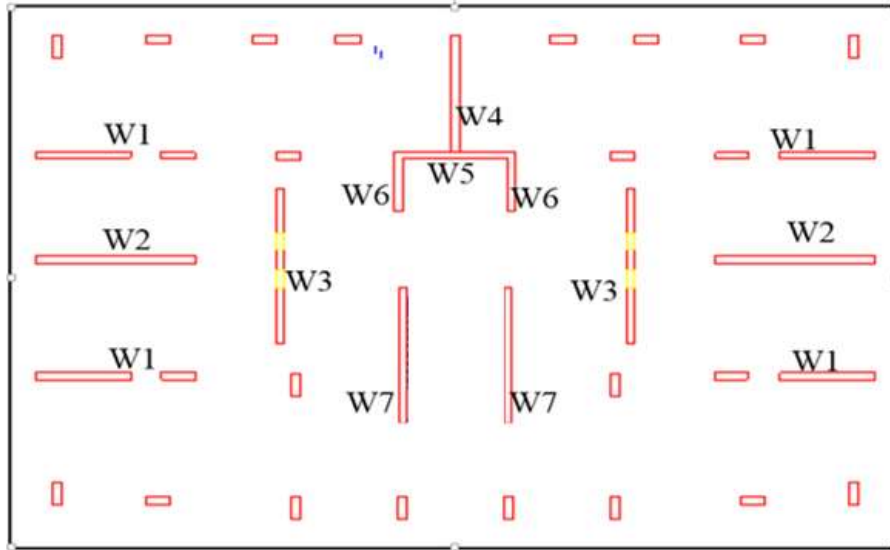
تتناول الدراسة الحالية الأداء الإنشائي لمبنى يحوي في جملته الإنشائية على جدران قص بيتونية، حيث تم تحليله باستخدام طريقة العناصر المنتهية بمساعدة برنامج SAP2000, V20 وهذا النموذج مؤلف من عشرين طابقاً بارتفاع طابقي 3.3m، ومعرض لحمولة زلزالية، وكان الهدف من هذه الدراسة هو تحليل وتصميم جدران القص البيتونية المسلحة ومن ثم إجراء التعديل على أحد هذه الجدران ليصبح جدار مختلط مزود بمقاطع معدنية عند الأطراف كبديل عن تسليح الأعمدة المخفية.

قُدمت نتائج المقارنة بيانياً لبيان فعالية جدران القص المختلطة المدروسة في الأبنية العالية المعرضة لأحمال الزلازل. ونشير هنا إلى أن التحليل الزلزالي كان باستخدام طريقة تحليل السجل الزمني وتم الاعتماد على سجل زلزالي حقيقي هو EL-Centro نظراً لكونها طريقة بسيطة ومنطقية لتحديد الأحمال الزلزالية في كل لحظة زمنية من زمن الزلزال.

3- وصف النموذج:

يظهر الشكل (8) المسقط المعماري للجملة الإنشائية الحاملة من أعمدة وجدران قص (مبنى سكن ادخار في اللاذقية)، وأجرينا التحليل للنموذج باعتبار أن جميع جدران القص هي بيتونية مسلحة. الجملة الإنشائية المقاومة للحملات الجانبية في النموذج هي جملة جدران القص فقط لذلك تم إسناد مفاصل من الطرفين لجميع الأعمدة.

قمنا بالنمذجة الحاسوبية بمساعدة برنامج التحليل الانشائي SAP2000 وأُستخدمت العناصر الإطارية الخطية (Frame Element) بعقدتين من أجل تمثيل الأعمدة والجوائز، أما جدران القص البيتونية فقد تم نمذجتها باستخدام عناصر (Shell Element) التي تجمع في سلوكها ما بين السلوك الانعطافي (bending behavior) والسلوك الغشائي (membrane behavior).



الشكل (8) مسقط المبنى المدروس (توزع الأعمدة وجدران القص)

➤ الحمولات المؤثرة على المنشأ:

تؤثر الحمولات التالية بالإضافة إلى الوزن الذاتي على بلاطة الطابق:

- حمولات ميتة: $DL=2 \text{ kN/m}^2$

- حمولة حية: $LL=2 \text{ kN/m}^2$

➤ نموذج الحمولات الزلزالية التصميمية المطبقة على المبنى:

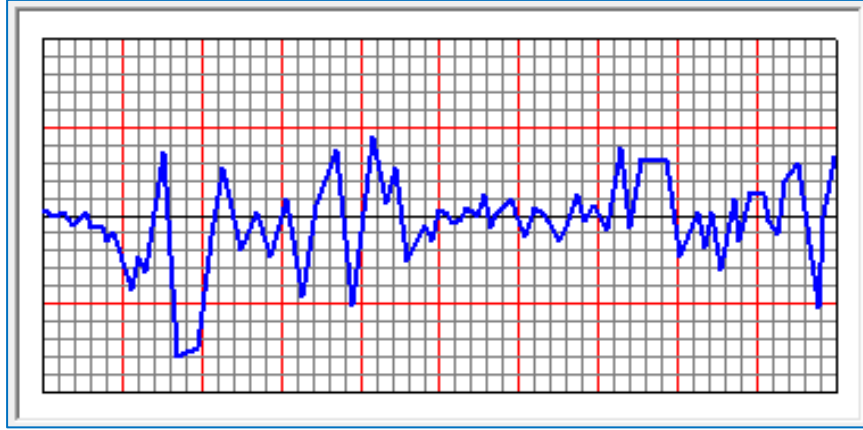
حمولة زلزالية بالاتجاهين.

نموذج مقطع التربة: SD

معامل المنطقة الزلزالية: $Z=0.3$

معامل تعديل الاستجابة الزلزالية: $R=4.5$.

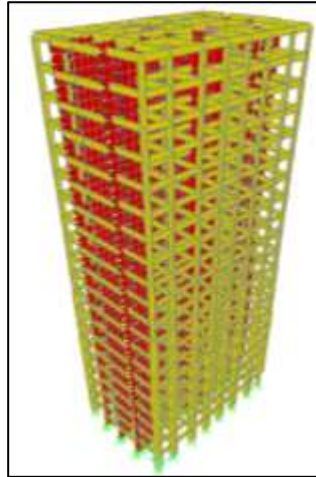
تم التحليل باستخدام السجل الزمني التحليلي لزلزال EL-Centro الموضح بالشكل (9).



الشكل (9) السجل الزلزالي لزلزال EL-Centro بشدة 0.32g [7]

➤ النموذج الإنشائي للمبنى باستخدام SAP2000:

تم دراسة نموذج لأحد الأبنية المشيدة في مدينة اللاذقية، مكون من 20 طابقاً وصمم المبنى باستخدام برنامج SAP2000 باعتبار أن جملته الإنشائية المقاومة للحمولات الزلزالية هي جملة جدران قص بيتونية، يبين الشكل (10) نموذج المبنى المستخدم في الدراسة.



الشكل (10) النموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى المدروس والمؤلف من 20 طابق

4- تصميم جدران القص:

✓ الجدار البيتوني المسلح W2 :

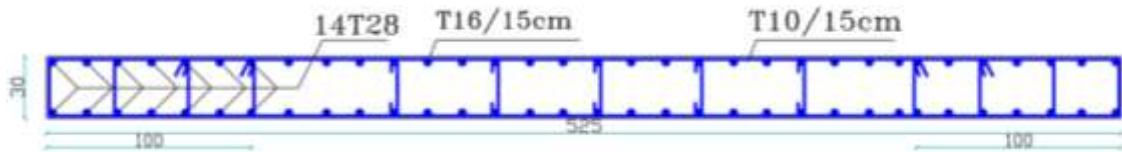
صُمم المبنى ليكون محقق على قدرة تحمل مقاطع الأعمدة والجدران وعلى تحقيق الانتقالات الجانبية واعتمدنا على أخذ مقاطع عرضية في جدران القص عند مستوي الأرض ووجدنا جميع القوى المتولدة في المقطع وفقاً للترابكات التصميمية المعتمدة وفق الكود الأمريكي ACI-318 [8]، وقمنا بتصميم المقطع العرضي لجدار القص المذكور بالاستعانة ببرنامج CSI COL كون برنامج SAP2000 لا يعطي تصميماً مباشراً مع التسليح لجدران القص الممثلة بعناصر .SHELL ELEMENT.

يظهر الجدول (1) الخصائص الهندسية لجدار القص المدروس.

الجدول (1) مواصفات الجدار

لجدار	الأبعاد (m)	F'c(MPa) - للبيتون	Fy(MPa) - فولاذ التسليح
W2	5.25 * 3.3 * 0.3	25	400

نوضح من خلال الشكل (11) أبعاد المقطع العرضي التصميمية للجدار مع إظهار توزيع التسليح الحسابي الأفقي والشاقولي طبقاً لبرنامج CSI COL.



الشكل (11) مقطع عرضي لجدار القص W2 عند القاعدة

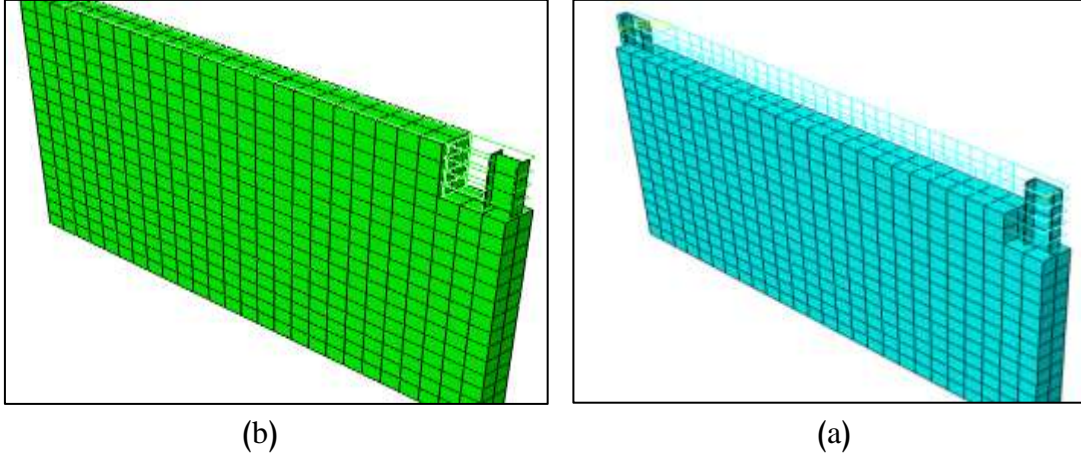
بالاعتماد على ما سبق قمنا بإجراء دراسة تحليلية باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي (pushover)، بهدف إيجاد منحنى السلوك قوة القص - انتقال للجدار المذكور، وذلك باستخدام برنامج التحليل الإنشائي المتقدم **ABAQUS 6.14**.

✓ دراسة الجدران المختلطة:

تناولت هذه الدراسة تأثير استبدال التسليح الشاقولي المتوضع في الأطراف (الأعمدة المخفية) بمقاطع معدنية مدرقطة وفق النورم الأوروبي، واعتمدنا في اختيار المقطع المعدني على مساحة مقطعه العرضي ونسبتها من مساحة مقطع التسليح الطولي المستبدل وهذا ما تم تسميته جدار القص المختلط المزود بمقاطع معدنية. يبين الشكل (12) النموذج التحليلي لجدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية عند الأطراف باستخدام برنامج **ABAQUS**. نبين من خلال الجدول (2) المقاطع المعدنية في الجدار المختلط كبديل للتسليح الطرفي الطولي في الجدار البيتوني المسلح مع إظهار نسبة مساحة المقطع المستبدل الى التسليح الطولي الأصلي.

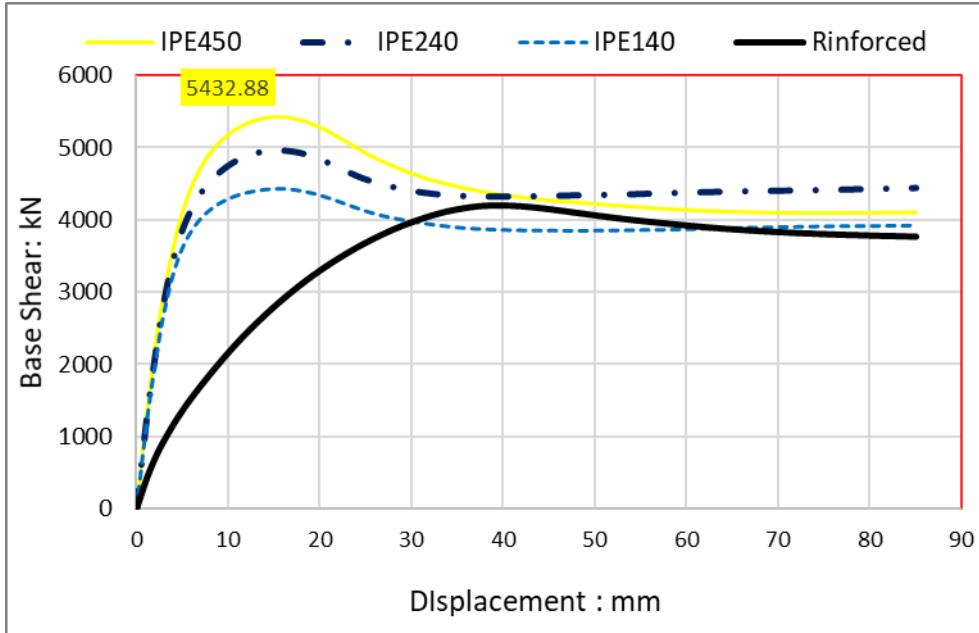
الجدول (2) مساحة تسليح الجدار البيتوني المسلح والمختلط المزود بمقاطع معدنية مختلفة

نسبة مساحة المقطع المعدني الى تسليح العمود الطرفي	مساحة التسليح الطرفي A_s (cm ²)	الجدار
-----	86.2	بيتون مسلح (14T28)
~ 1	85.6	مختلط (IPE450.)
0.45	39.1	مختلط (IPE240)
0.19	16.4	مختلط (IPE140)
0.9	77.9	مختلط (UPE360*)
0.52	44.8	مختلط (UPE270*)
0.29	25.1	مختلط (UPE180*)

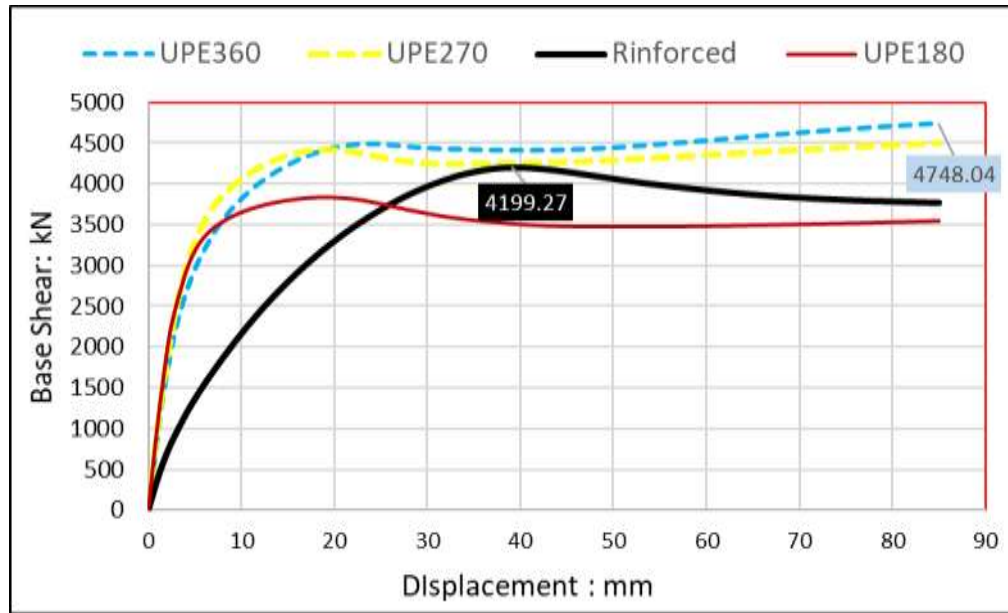


الشكل (12) نموذج جدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية، (a) مقطع UPE (b) مقطع IPE

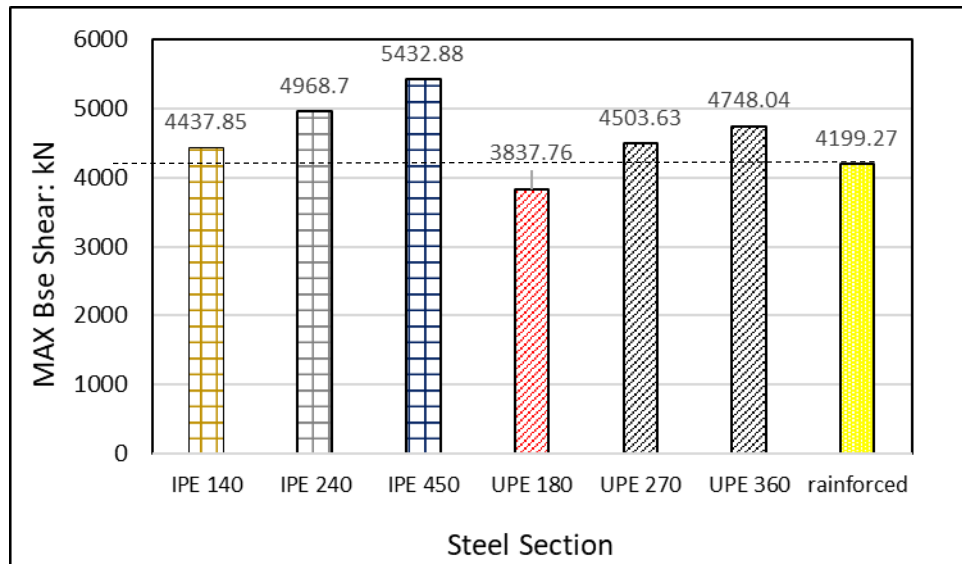
حيث يوضح الشكل (12) استبدال التسليح الشاقولي في الأعمدة المخفية بالمقاطع المعدنية والإبقاء على التسليح الأفقي والأساور الخاصة بالعمود المخفي لتأمين استقرار وتثبيت المقطع. نورد من خلال الشكلين (13) و (14) منحنيات القص القاعدي - الانتقال لنموذج جدار القص البيتوني المسلح مقارنة مع النموذج المختلط والمزود بمقاطع معدنية IPE و UPE على الترتيب. والتي تم الحصول عليها باستخدام طريقة التحليل Pushover وذلك بتطبيق انتقال أفقي عند أعلى الجدار بمقدار 85mm وهو ما يوافق 2.5% من ارتفاع الجدار كحد مسموح للانتقال الأفقي حسب متطلبات الكود العربي السوري. [9] يتبين لنا من خلال الشكلين أن هناك زيادة في مقدار الصلابة الأفقية والمقاومة الجانبية للجدار المختلط مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح.



الشكل (13) منحني القص القاعدي - انتقال لجدار القص البيتوني المسلح والمختلط مع مقاطع IPE مختلفة



الشكل (14) منحنى القص القاعدي - انتقال لجدار القص البيتوني المسلح والمختلط مع مقاطع UPE مختلفة



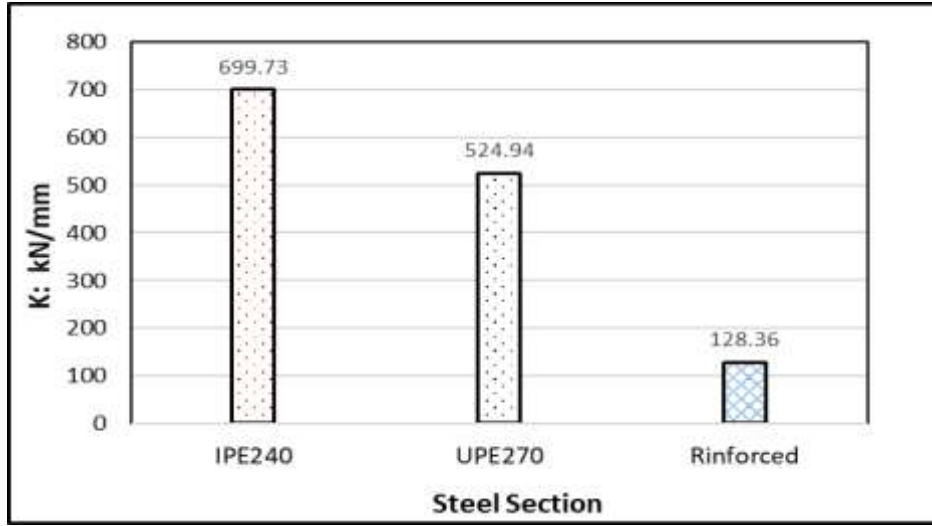
الشكل (15) القص القاعدي الأعظمي لجدران القص المختلفة مقارنة مع جدار القص البيتوني المسلح

يبين الشكل (15) أن قيمة مقاومة الجدار الأعظمية تزداد بشكل ملحوظ مع ادخال المقاطع المعدنية كبديل للتسليح الطولي في العمود المخفي حيث نلاحظ أن المقاومة قد زادت بمقدار 29% من أجل المقطع IPE450 والمساوي تقريباً لمساحة التسليح الذي تم استبداله، بينما ازدادت المقاومة بمقدار 5% من أجل المقطع IPE140 على الرغم من أن مساحة المقطع لا تعادل أكثر من 20% من مساحة التسليح الطولي المستبدل. كما لاحظنا أن زيادة المقاومة كانت بمقدار 13% من أجل المقطع UPE360 مع العلم أن المساحة المكافئة للمقطع تعادل حوالي 90% من مساحة التسليح المستبدل.

من ناحية أخرى ومن وجهة نظر اقتصادية يمكننا الحصول على قيمة مساوية أو أكبر بقليل من المقاومة الحقيقية للجدار عند استبدال التسليح بمقطع IPE240 أو مقطع UPE270 وبذلك يكون التوفير في مساحة التسليح بمقدار 55% و 48% للمقطعين على الترتيب.

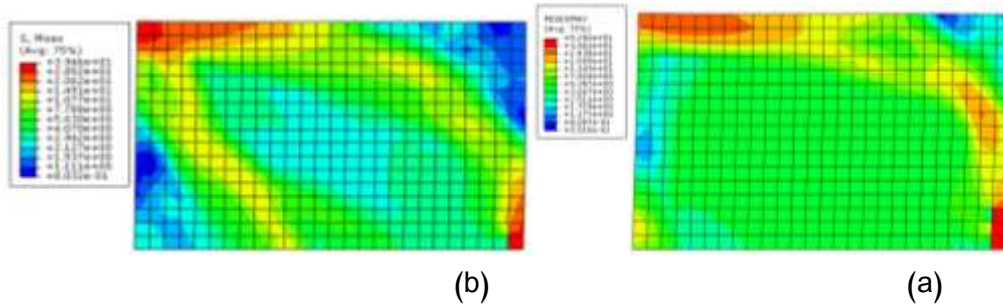
بالاعتماد على الشكلين (13) و(14) تم اشتقاق صلابة الجدار الأولية من أجل ثلاث حالات (حالة البيتون المسلح وحالتي المختلط مع مقطعين مختلفين) وتم إظهارها بالشكل (16).

يظهر الشكل (16) ازدياد الصلابة الجانبية للجدار المختلط المزود بمقاطع معدنية مقارنة مع صلابة الجدار المسلح بأعمدة مخفية من قضبان التسليح وهذا بالطبع ناتج عن الصلابة الإضافية التي يبيدها المقطع المعدني. بيد أن هذا الاستنتاج يكون أكثر أهمية لحالة الجدار المزود بمقطع معدني IPE، فمثلاً نجد أن الصلابة الجانبية للجدار المختلط مع IPE240 قد ازدادت بمقدار 5.45 ضعف مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح، بينما ازدادت الصلابة للجدار المزود بمقطع UPE270 بمقدار أربع مرات تقريباً مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح مع العلم أن مساحة مقطعه تعادل 2.7 مرة من مساحة المقطع الأول.



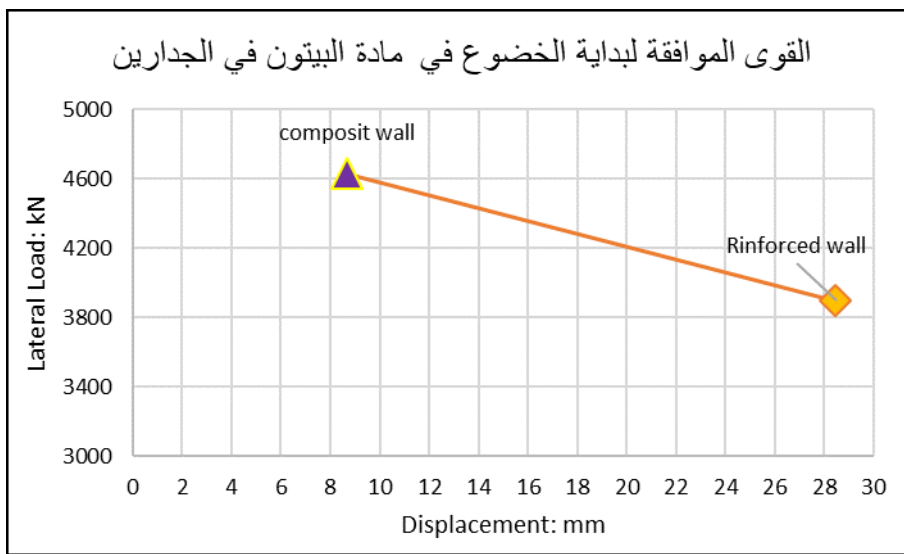
الشكل (16) الصلابة الجانبية للجدار البيتوني والمختلط بمقطعين مختلفين

وفيما يتعلق بتوزيع الاجهادات في الجدار فقد لوحظ توزيع قطري للاجهادات الأعظمية في الجدار البيتوني مع حدوث انهيار للبيتون في الزاوية السفلى المقابلة لنقطة تطبيق الحمولة، بينما كانت تلك الاجهادات منتظمة تقريباً في الجدار المختلط مع ظهور زيادة في قيمة الاجهاد في منطقة تواجد المقطع المعدني. كما هو مبين في الشكل (17).

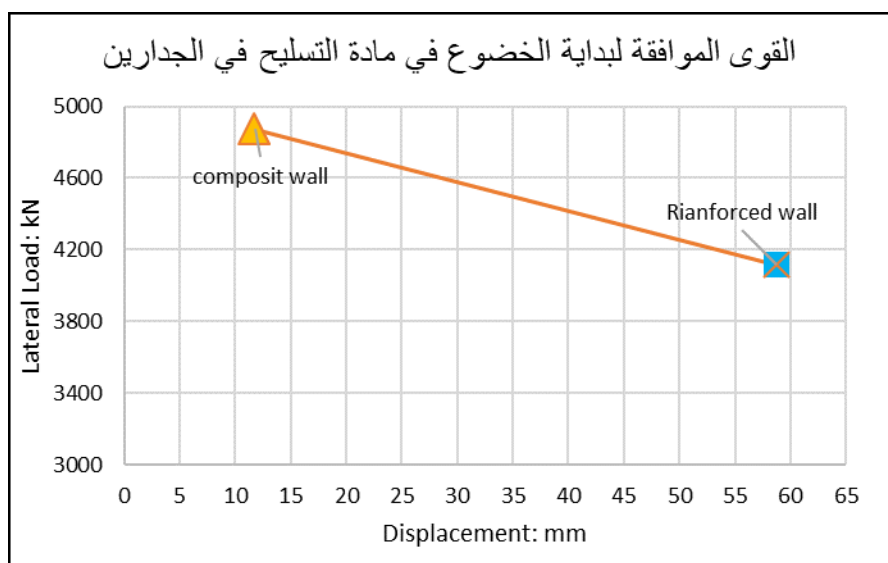


الشكل (17) الاجهادات V-miss في جدار القص (a) البيتوني المسلح (b) المختلط والمزود ب IPE240

وفي السياق تمت دراسة اجهادات حد الخضوع في كلا الجدارين وتبين لنا ما يلي.
 نلاحظ من الشكلين (18) و(19) أن مقاومة الجدار المختلط في بداية المرحلة اللدنة قد ازدادت بمقدار 18% مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح اذ وجدنا أن الخضوع في مادة البيتوني للجدار البيتوني المسلح قد بدأ عند قوة أفقية قدرها 3896kN والموافقة لانتقال قدره 28.49mm مقابل الخضوع عند قوة أفقية قدرها 4625 kN والموافقة لانتقال قدره 8.7 mm من أجل الجدار المختلط، والحالة نفسها من أجل فولاذ التسليح في الجدار اذ يوضح الشكل (19) أن فولاذ التسليح قد بدأ الخضوع عند قوة مساوية الى 4114 kN و 4875 kN من أجل الجدار البيتوني المسلح والجدار المختلط على الترتيب، الأمر الذي يعكس زيادة المقاومة اللدنة التي يبديها الجدار المختلط عند تزويده بالمقطع المعدني وهنا (IPE240)، وكانت 18.7% و 18.5% من أجل حالتي الخضوع في البيتون وفولاذ التسليح على الترتيب.



الشكل (18) القوى الموافقة لبداية الخضوع في مادة البيتون من أجل الجدارين البيتوني والمختلط



الشكل (19) القوى الموافقة لبداية الخضوع في مادة فولاذ التسليح من أجل الجدارين البيتوني والمختلط

الاستنتاجات والتوصيات:

في التصميم التقليدي لجدران القص البيتونية، يتم الاعتماد على مادتي البيتون وقضبان التسليح الطولية والعرضية لمقاومة القوى القاصة وعزوم الانعطاف. اعتمدنا في هذه الدراسة على ادخال مقطع معدني كبديل لفولاذ التسليح في الأطراف (الاعمدة المخفية) حيث تم انشاء نموذج عددي ثلاثي الأبعاد 3D للجدار المختلط باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS وتم توثيقه بالمقارنة مع نتائج تجريبية. واستخدم النموذج العددي لإنجاز دراسة بارامترية لتقصي فعالية المقطع المعدني وتأثيره على أداء الجدار من حيث المقاومة والصلابة الجانبية مقارنة مع الجدار الأصلي البيتوني المسلح.

نلخص فيما يلي أهم النتائج التي توصلنا اليها من خلال هذه الدراسة وإجراء التحليل اللاخطي لعدد من جدران القص المختلطة المزودة بمقاطع معدنية مختلفة.

1. يمكننا من خلال النموذج الرياضي لجدار القص المختلط المعمول بطريقة العناصر المنتهية بمساعدة البرنامج ABAQUS التنبؤ بالسلوك الحقيقي للجدار.
2. يختلف سلوك جدار القص المختلط عن الجدار البيتوني المسلح، ويعود السبب الرئيسي الى وجود المقطع المعدني في الأطراف من حيث توزيع الاجهادات والتشوهات.
3. تم ملاحظة أن جدار القص البيتوني المختلط والمعرض لحمولة جانبية تكافئ الحمولة الزلزالية يبدي تحسن في أداء النظام الإنشائي.
4. أجري التحليل اللاخطي لستة جدران قص مختلطة مزودة بمقاطع معدنية وقد أخذت مساحتها كنسبة أصغر أو تساوي مساحة التسليح الشاقولي في الجدار البيتوني المسلح الأصلي، نتج عنه زيادة في المقاومة الجانبية للقوى الأفقية وكذلك زيادة في الصلابة الجانبية مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح، حيث لاحظنا ازدياد المقاومة بمقدار 29% من أجل المقطع IPE450 والذي مساحة مقطعه تساوي تقريباً لمساحة التسليح الذي تم استبداله.
5. ازدياد الصلابة الجانبية للجدار المختلط بمقدار 5.45 ضعف مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح، لمقطع IPE240، بينما ازدادت الصلابة للجدار المزود بمقطع UPE270 بمقدار أربع مرات تقريباً مقارنة مع الجدار البيتوني المسلح مع العلم أن مساحة مقطعه تعادل 2.7 مرة من مساحة المقطع الأول.
6. تبين من التحليل أن المقاطع المعدنية ذات الشكل I أكثر فعالية من المقاطع المعدنية ذات الشكل C.
7. من وجهة نظر اقتصادية يمكننا الحصول على قيمة مساوية أو أكبر بقليل من المقاومة الحقيقية للجدار عند استبدال التسليح بمقطع IPE240 مع العلم أن التوفير في مساحة التسليح يعادل 55%.
8. لاحظنا ازدياد في قيمة قوة الخضوع للجدار المختلط، مع العلم أن هناك اختلاف في اجهاد الخضوع لمادة المقطع المعدني ولمادة فولاذ التسليح والذي كان $F_y=350\text{MPa}$ و $F_y=400\text{MPa}$ على الترتيب.
9. نوصي بدراسة تحليلية لجدران قص مختلطة مزودة بمقاطع معدنية مع الاخذ بعين الاعتبار للقوى القاصة والناظمية المتولدة في الجدار.
10. نظراً لتعدد أشكال المقاطع المعدنية نوصي بدراسة أنواع مختلفة من تلك المقاطع واستخدامها بالشكل الأمثل الذي يحقق الغاية الإنشائية والاقتصادية معاً.

References:

- [1] BAHADIR. S. *Experimental Behavior of Composite Shear Walls Having L Shape Steel Sections in Boundary Regions*. World Academy of Science. Vol:9, No:6, Turkey, 2015.
- [2] ABAQUS, Version 6.14.2, 2014 -*ABAQUS/Standard User's Manual* " ABAQUS Inc, USA.
- [3] DAN. D; FABIAN, A; STOIAN, V. *Theoretical and experimental study on composite steel–concrete shear walls with vertical steel encased profiles*. University of Timisoara, Romania, 2011, PP:800-813.
- [4] P.P. PHADNIS, P, P; KULKARNI, D; KARJINNI, V, V. *Performance of composite steel-concrete shear walls with encased vertical steel sections*. Indian Concrete Journal · India 2018.
- [5] Ahmed, M. *Effect of Concrete Cracking on the Lateral Response of RCC Buildings*, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Vol. 9, No. 1, 2008, pp. 25-34.
- [6] European Committee for Standardization, *Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures*, Brussels EC-8, 1994-2003.
- [7] SAP2000 V-18.2 (2016), *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis, Reference Manual*, Berkeley (CA, USA): Computers and Structures Inc.
- [8] ACI 318 Committee. *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-11) and commentary*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.2011.
- [9] Syrian Arab code for Design and Implementation of structures with Reinforced concrete , Appendix 2, Damascus 2013.