

BEHAVIOR OF COMPOSITE COLUMNS UNDER LATERAL LOADING

Dr. Ali Azeez Tawwalo*

(Received 6 / 2 / 2024. Accepted 11 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

Composite columns are widely used in building structures, especially high-rise ones. They are considered of great importance because they depend on the principle of sharing between two materials that work together in one structural element while taking advantage of the advantages of each of them, as the tensile strength of steel and the pressure of concrete.

Composite columns are characterized by their high rigidity and good resistance, in addition to their plasticity property in cases of static and dynamic loading. The presence of concrete helps in resisting axial loads in addition to resisting lateral buckling and local buckling of the steel section. The concrete also contributes to protecting the steel section from fire and weather factors if the concrete is completely encased in the section.

To calibration the model, a numerical model was created using the ABAQUS program, identical to the experimental model tested by researchers Cristina Campian, Zsolt Nagy. The comparison included the response of the analytical and experimental model represented by the force-displacement curve, and the agreement rate exceeded 90%.

The numerical model was invested to study the behavior of four models of Composite columns under the influence of lateral loads. In the next stage, a comparative study was conducted of a building designed with reinforced concrete columns and then replacing them with Composite columns of the second model (IPE). The results have shown that the use of Composite columns is more efficient than reinforced concrete columns in terms of stiffness and resistance, and contributes to the same performance of reinforced concrete columns with sections smaller than the cross-sectional area of the longitudinal reinforcement bars used, which reflects positively on reducing dead loads and thus the economic cost and seismic forces in highrise buildings.

Keywords: Composite Columns, Seismic Behavior.

Copyright  :Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Ph. D. - Department of structural engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia- Syria. E-Mail: alitawwalo@yahoo.com

سلوك الأعمدة المختلطة تحت تأثير الحمولات الجانبية

د. علي عزيز طوالو*

(تاريخ الإيداع 6 / 2 / 2024. قُبِلَ للنشر في 11 / 6 / 2024)

□ ملخص □

تستخدم الأعمدة المختلطة بشكل واسع في منشآت الأبنية وخصوصاً العالية منها، وتعتبر ذات أهمية كبيرة كونها تعتمد على مبدأ المشاركة بين مادتين تعملان معاً في عنصر إنشائي واحد مع الاستفادة من ميزات كل منهما، إذ يتم الاستفادة من مقاومة الشد للفولاذ والضغط للبيتون.

تتميز الأعمدة المختلطة بصلابتها العالية ومقاومتها الجيدة بالإضافة إلى خاصية اللدونة لحالات التحميل الستاتيكي والديناميكي، ويفيد وجود البيتون في مقاومة الأحمال المحورية بالإضافة إلى مقاومة التحنيب الجانبي والتحنيب الموضعي للمقطع الفولاذي كما يساهم البيتون في حماية المقطع الفولاذي من الحريق والعوامل الجوية في حال كان البيتون مغلف كلياً للمقطع المعدني.

لتوثيق النموذج تم انشاء نموذج عددي باستخدام برنامج ABAQUS بشكل مطابق للنموذج التجريبي المختبر من قبل الباحثين Cristina Campian، Zsolt Nagy. تضمنت المقارنة استجابة النموذج التحليلي والتجريبي المتمثل بمنحني القوة-انتقال وتجاوزت نسبة التوافق الـ 90%.

تم استثمار النموذج العددي لدراسة سلوك أربعة نماذج من الأعمدة المختلطة تحت تأثير الحمولات الجانبية، وفي المرحلة التالية أجريت دراسة مقارنة لمبنى مصمم بأعمدة بيتونية مسلحة ثم تم استبدالها بأعمدة مختلطة من النموذج الثاني (IPE). وقد أظهرت النتائج أن استخدام الأعمدة المختلطة أكثر كفاءة من الأعمدة البيتونية المسلحة من حيث الصلابة والمقاومة، وتساهم في نفس أداء الأعمدة البيتونية المسلحة مع مقاطع أقل من مساحة مقاطع قضبان التسليح الطولي المستخدمة، مما ينعكس إيجاباً على تخفيض الحمولات الميتة وبالتالي التكلفة الاقتصادية والقوى الزلزالية في الأبنية العالية.

الكلمات المفتاحية: الأعمدة المختلطة، السلوك الزلزالي.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

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

مقدمة:

يعرف عنصر إنشائي ما كعنصر مختلط إذا كان يشرك مادتين مختلفتي الطبيعة والخصائص بغية الاستغلال الأمثل لهذه الشراكة الاتحادية بين المادتين. إن الحالة الأكثر انتشاراً في مجال المنشآت المختلطة هي المنشآت المركبة من البيتون والفولاذ، حيث يستخدم البيتون لمقاومة قوى الضغط والفولاذ لمقاومة قوى الشد وقوى القص. خلال الآونة الأخيرة، تم التوجه إلى التوسع الشاقولي للأبنية بغرض توفير السكن الأكبر عدد ممكن من السكان ضمن أقل مساحات أفقية ممكنة (كالأبراج)، الأمر الذي يتطلب المحافظة على استقرار البناء وتأمين صلابة ومقاومة كافية لتحمل الحمولات المطبقة سواء الأفقية منها أو الشاقولية. وكما هو معروف فإن زيادة الارتفاع تنتج مقاطع بيتونية كبيرة ينجم عنها أوزان ذاتية هائلة مما ينعكس على كميات التسليح وحجم الأساسات وزيادة تكاليف الإنشاء. تُعد فكرة العناصر المختلطة التي تعني دمج مادتين مختلفتين أو أكثر في عنصر واحد أحد الحلول المفضلة لتخفيف أوزان وأحجام العناصر مع المحافظة على مقاومة وصلابة جيدتين للعنصر، فقد أظهرت النتائج التجريبية المرجعية للعناصر المختلطة أن كل مادة تساهم بأداء أفضل مما لو كانت تعمل بشكل منفصل. يعتبر البيتون والفولاذ من أهم المواد الإنشائية التي تستخدم في العناصر المختلطة لأنهما تكملان بعضهما البعض من ناحية المقاومة، إضافة لامتلاكهما معاملي تمدد حراري متقاربين. [1]

في الأعمدة المختلطة المكونة من بروفيل مجوف دائري المقطع مملوء بالبيتون، يؤدي تطويق البيتون من قبل الفولاذ إلى منح العمود المختلط مقاومة إضافية على الضغط وهذا ناتج عن واقع زيادة التحميل عند حد معين يجعل التمدد العرضاني للبيتون أكبر منه للفولاذ بحيث تنشأ في البيتون نتيجة تطويقه بالأنبوب الفولاذي حالة إجهاديه ثلاثية المحاور تؤدي إلى زيادة مقاومة البيتون مقارنة مع مقاومته المحسوبة على عينة اسطوانية خاضعة لضغط أحادي المحور. بالمقابل ستولد في جدران الأنبوب الفولاذي إجهادات شد محيطية تؤدي وفقاً لشروط معيار Von Mises للتلدن إلى انخفاض طاقة تحمله للقوى المحورية. بيد أن الزيادة في مقاومة البيتون على الضغط ستكون هي الغالبة وهذا ما يمنح العمود المختلط مقاومة إضافية على الضغط. [2]

يجب التنويه إلى أن هذه الظاهرة لا تحدث إلا إذا كان البيتون مطوقاً بشكل صحيح أي إذا كان البروفيل الفولاذي المجوف يتمتع بصلابة كافية تمنع انتفاخ البيتون. [3].

1- الدراسات السابقة:

قام الباحث Vidhya Purushothaman [4] بإجراء تحليل زلزالي باستخدام برنامج ETABS 2015 لأبنية مكونة من 15 طابق باستخدام عدة نماذج للأعمدة المختلطة، تنوعت أشكال المقاطع المختلطة المستخدمة من المستطيلة، C، L و H. وهدف البحث إلى مقارنة سلوك الأبنية ذات الأعمدة المختلطة السابقة مع نموذج آخر يحوي مقاطع معدنية بشكل I مطوقة بالبيتون.

قدم الباحثون S.S. Charantimath. Swapnil B. Cholekar, Manjunath M. Birje [5] دراسة تحليلية لمقارنة أداء العناصر الإنشائية البيتونية والمختلطة في الأبنية العالية حيث أظهرت النتائج أنه في الأبنية العالية تصبح العناصر البيتونية المسلحة غير اقتصادية بسبب زيادة الوزن الذاتي وقلة الصلابة بالإضافة إلى نقصان المجازات بين الأعمدة، وخلص الباحثون إلى أن المنشآت المختلطة هي الحل الأفضل للأبنية العالية مقارنة مع المنشآت البيتونية المسلحة.

أجرى عدد من الباحثين Jalaja M, Nanjunda K, Shylaja, Avinash S Deshpande [6] دراسة مقارنة للسلوك الزلزالي لمبنى بيتوني مسلح مؤلف من 20 طابق باستخدام برنامج ETABS2016، حيث اعتبر المبنى

كنموذج للمقارنة ومن ثم تم استبدال أعمدته بأخرى مختلطة مؤلفة من مقاطع معدنية وبيبتونية. تم إجراء تحليل باستخدام السجل الزمني ومقارنة الانتقالات، القص القاعدي، الصلابة الجانبية وعزوم الانقلاب. وقد بينت النتائج أن المنشأ المختلط أفضل من مثيله من البيبتون المسلح من حيث الأداء الزلزالي والكلفة الاقتصادية.

قام الباحثان Xilin LU And Weidong LU [7] باختبار تجريبي على عينة تجريبية مؤلفة من 12 عمود مختلط معرضة الى حمولات جانبية بالإضافة الى حمولات شاقولية. أجري كذلك التحليل اللاخطي الحاسوبي للمعايرة مع النتائج التجريبية، مع الاخذ بعين الاعتبار لتأثير عدة متحولات على السلوك الزلزالي للعمود مثل نسبة سماكة المقطع المعدني الى عرضه، نسبة التحميل الشاقولي والمقاومة المميزة لبيبتون الملء.

أهمية البحث وأهدافه:

بما أن المنشآت المختلطة قد أصبحت أكثر شيوعاً في عصرنا الحالي بفضل ميزات الجيدة مقارنة مع غيرها من المنشآت التقليدية. فقد هدفنا في هذا البحث إلى تقييم استجابة عدد من الأعمدة المختلطة للحمولات الأفقية باستخدام طريقة العناصر المنتهية بمساعدة برامج بحثية متقدمة بهدف التحري عن تأثير تزويد العمود البيبتوني بمقطع فولاذي على السلوك الكلي للعمود من حيث المقاومة والصلابة والطاقة المبددة والخضوع.

طرائق البحث ومواده:

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

تم استخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS-V14.2 لإنشاء النموذج العددي اللازم لدراسة سلوك الاعمدة المختلطة. حيث تم وضع نموذج ثلاثي الأبعاد يأخذ بعين الاعتبار اللاخطية الهندسية والمادية، ومن أجل توثيق النموذج العددي المطور تم تشكيل النموذج بشكل مطابق للنموذج التجريبي المختبر من قبل الباحثين Cristina Campian، Zsolt Nagy [4]، وذلك من حيث الأبعاد الهندسية وخواص مواد البناء المستخدمة والشروط الطرفية، ونعرض فيما يلي لمحة مختصرة عن الدراسة التجريبية المعتمدة في النمذجة.

2- الدراسة التجريبية المرجعية المعتمدة في النمذجة:

تستند الدراسة التحليلية المنفذة في هذا البحث إلى عينة تجريبية مرجعية أجريت في الجامعة التقنية في مختبر Cluj Napoca في رومانيا 2015 والتي اختبرت من قبل الباحثين Cristina Campian، Zsolt Nagy [4].

2- وصف العينة المرجعية:

العينة التجريبية المرجعية هي عبارة عن عمود مختلط مكون من مقطع فولاذي مطوق كلياً بالبيبتون. المقطع المعدني I12 وفق مواصفات الكود الروماني للعناصر المعدنية وهو يوافق المقطع IPE120 وفق المواصفات الأوروبية، رُود المقطع البيبتوني بأربعة قضبان فولاذية طولية 4T12. يبين الجدول (1) مواصفات العينة المدروسة.

الجدول (1) مواصفات العينة التجريبية

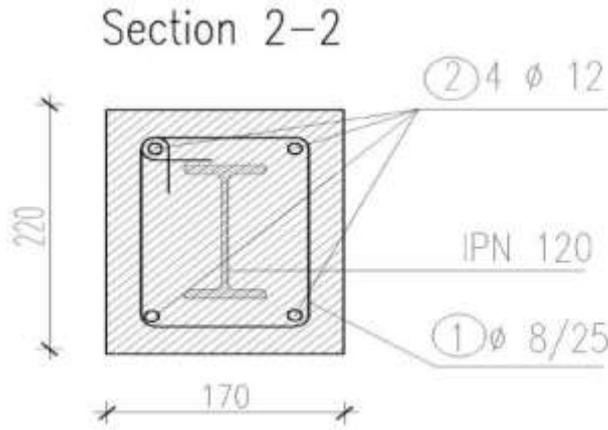
نموذج العمود	الطول (m)	F ^c (MPa)	معامل مرونة البيبتون (MPa)	معامل مرونة التسليح الطولي	معامل مرونة التسليح	اجهاد الخضوع	اجهاد الخضوع للمقطع المعدني	معامل مرونة للمقطع المعدني

(MPa)	(MPa)	الطولي (MPa)	(MPa)				
207000	302	559	207000	37373.33	29.5	3	SIII

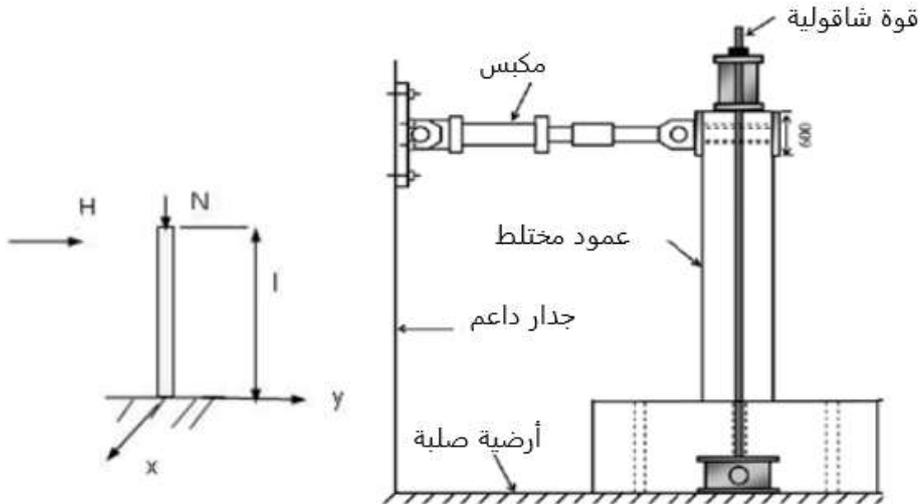
تم اختبار استجابة العمود بمقياس 1/1 وهو معرض لحمولة أفقية مطبقة في أعلى العمود وحمولة شاقولية محورية ذات قيمة ثابتة. أبعاد المقطع العرضي 220mm×170mm كما يبينه الشكل (1).

3- إعداد الاختبار:

أجريت التجربة بتطبيق انتقال أفقي متزايد باستخدام مكبس هيدروليكي عند أعلى الجدار، أما القوة الشاقولية المطبقة فكانت قيمتها بين $(7\% - 14\%)N_{pl,Rd}$ لمحاكات الحملات الستاتيكية المطبقة على العمود، حيث $N_{pl,Rd}$ تعبر عن المقاومة الاسمية على الضغط للعمود المختلط وأعطيت في التجربة ($N=200$ kN). أخذت الشروط الطرفية مناسبة لوضعية العمود الحقيقية في المنشأ حيث تم تقييد الانتقال في الاتجاه العمودي على مستوي العمود كما تم وثق النهاية السفلية للعمود بواسطة كتلة بيتونية صلبة (الشكل 2). [4]



الشكل (1) المقطع العرضي للعمود المختلط

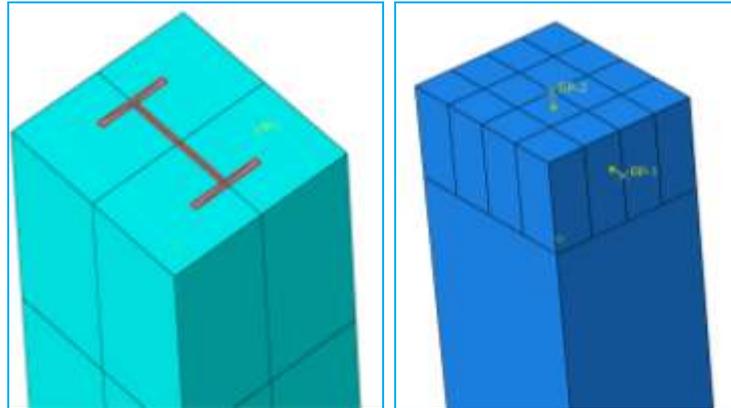


الشكل (2) النموذج الميكانيكي وتجهيزات التجربة (العينة التجريبية المرجعية) [4]

4 - النمذجة العددية باستخدام برنامج ABAQUS.

4-1 إنشاء نموذج عددي 3D للعينة المرجعية:

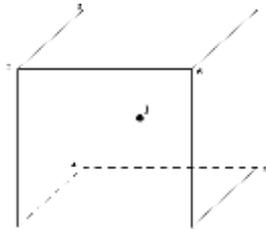
تم استخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS-V14.2 لإنشاء النماذج العددية اللازمة في هذه الدراسة. بدايةً، تم إنشاء نموذج عددي ثلاثي الأبعاد للعينة المرجعية، وبعد معايرة النموذج التحليلي تم استثماره لإجراء دراسة بارامترية لمعرفة تأثير بعض البارامترات على سلوك العينة. يظهر الشكل (3) النموذج العددي باستخدام برنامج ABAQUS بشكله النهائي لمحاكاة التجربة المعروضة أعلاه [8].



الشكل (3) النموذج العددي المطور باستخدام ABAQUS بشكله النهائي [8]

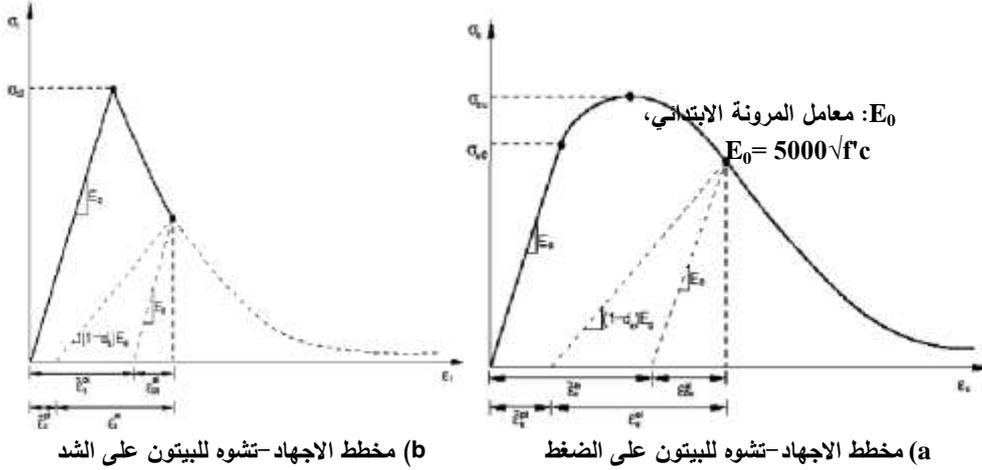
4-2 نمط العناصر المنتهية المستخدمة في النمذجة باستخدام ABAQUS:

تم استخدام العنصر C3D8 لنمذجة جزأي للعمود، وهو عنصر حجمي (SOLID ELEMENT) مؤلف من ثمانية عقد لكل منها ثلاث درجات حرية (3انتقالات) كما يبين الشكل (4).



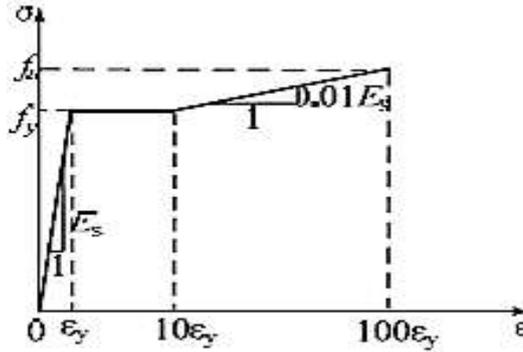
الشكل (4) نمط العناصر المستخدمة في النمذجة [ABAQUS 6.14 Documentation] [8]

تمت نمذجة البيتون باستخدام نموذج CDP (Concrete Damaged Plasticity)، 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. يوضح الشكل (5) السلوك المستخدم للبيتون على الشد والضغط.



الشكل (5) منحنى إجهاد-تشوه لمادة البيتون [8]

كما تمت نمذجة مادة الفولاذ باستخدام منحنى ثلاثي الخطوط كما يوضح الشكل (6).



الشكل (6) مخطط إجهاد - تشوه لمادة الفولاذ [8]

تمت نمذجة الشروط الطرفية بما يتوافق مع الحالة الفراغية للمبنى:

- الأعمدة موثوقة من نهايتها السفلية.

- تم تقييد الانتقالات الجانبية بالاتجاه المتعامد مع اتجاه التحميل.

3-4 معايرة وتوثيق النموذج:

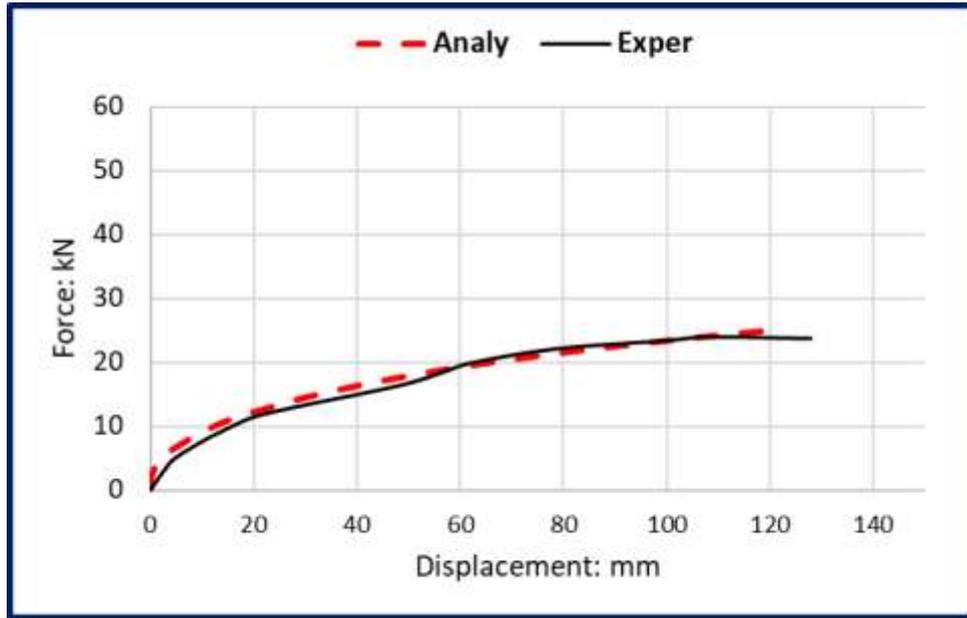
لتوثيق النموذج العددي المختبر، سنقارن النتائج التي يعطيها مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة في عملية

النمذجة. [4] تضمنت المقارنة توضيح استجابة النموذج التحليلي والتجريبي المتمثل بمنحنى القوة-انتقال.

يظهر الشكل (7) المنحنى قوة-انتقال المستنتج كمغلف لنتائج السلوك الهستيرتي الناتج تجريبياً والمنحنى المستنتج

باستخدام النموذج العددي المنجز في هذا البحث. حيث تجاوزت الدقة في توقع المقاومة القصوى وفي درجة تقارب

المنحنيين 90%. أي أن النموذج العددي يستطيع محاكاة النموذج الحقيقي للعمود المختلط.



الشكل (7) مقارنة المخطط القوة-انتقال التجريبي والتحليلي

5- بناء النموذج العددي:

تم استخدام نفس الإجراءات المتبعة في بناء النموذج العددي وتوثيقه من أجل بناء نماذج إضافية لاستخدامها في تحليل ودراسة أهم البارامترات المؤثرة على سلوك الاعمدة المختلط.

يعتبر استخدام مقطع معدني ضمن المقطع البيتوني عاملاً هاماً يؤثر بشكل فعال في أداء العمود المختلط، وحيث لا يوجد دليل واضح لمقارنة أداء الأعمدة البيتونية المسلحة مع الأعمدة المختلطة من حيث بارامتر ثابت لذلك لجأنا بدايةً الى الاعتماد على التصميم الكامل للمنشأ باعتبار أعمدته بيتونية مسلحة وفي مرحلة تالية تم استبدال التسليح الشاقولي بمقطع معدني (I , U, 4L , Tub) بمساحة مقطع مساوية لمساحة التسليح الشاقولي في العمود البيتوني المسلح مع المحافظة على المقطع البيتوني وذلك بالاستناد الى بعض الدراسات البحثية [9].

تتناول الدراسة الحالية الأداء الإنشائي لمبنى مؤلف من 5 طوابق بارتفاع طبقي 3.3m. تم تحليله باستخدام طريقة العناصر المنتهية بمساعدة برنامج SAP2000, V20 ، ومعرض لحمولة زلزالية، وكان الهدف من هذه الدراسة هو تحليل وتصميم الاعمدة البيتونية المسلحة ومن ثم اجراء التعديل على أحد هذه الاعمدة (العمود C2) ليصبح عمود مختلط مزود بمقاطع معدنية بالطريقة التي ذكرت في السياق كبديل عن التسليح الطولي.

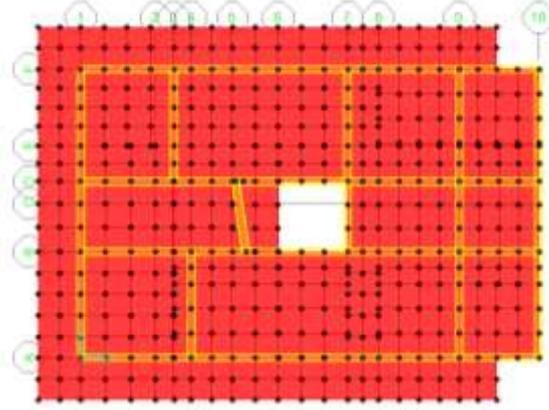
فُدمت نتائج المقارنة بيانياً لبيان فعالية الأعمدة المختلطة المدروسة في الأبنية العالية المعرضة لأحمال أفقية. ونشير هنا إلى أن التحليل الزلزالي كان باستخدام طريقة تحليل السجل الزمني وتم الاعتماد على سجل زلزالي حقيقي هو EL-Centro نظراً لكونها طريقة بسيطة ومنطقية لتحديد الأحمال الزلزالية في كل لحظة زمنية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

6- وصف النموذج:

يظهر الشكل (8) المسقط الأفقي للمبنى المدروس (مبنى سكني منفذ في مدينة اللاذقية)، الجملة الإنشائية المقاومة للحمولات الجانبية في النموذج هي جملة إطارات (أعمدة مع جوائز متدلّية).

قمنا بالنمذجة الحاسوبية بمساعدة برنامج التحليل الإنشائي SAP2000 وأُستخدمت العناصر الإطارية الخطية (Frame Element) بعقدتين من أجل تمثيل الأعمدة والجوائز، أما البلاطات فقد تم نمذجتها باستخدام عناصر

(Shell Element) التي تجمع في سلوكها ما بين السلوك الانعطافي (bending behavior) والسلوك الغشائي (membrane behavior).



الشكل (8) المسقط الأفقي للبناء المدروس

➤ الحمولات المؤثرة على المنشأ:

تؤثر الحمولات التالية بالإضافة إلى الوزن الذاتي على بلاطة الطابق: [10]

- حمولات ميتة: $DL=2.5 \text{ kN/m}^2$

- حمولة حية: $LL=2 \text{ kN/m}^2$

➤ نموذج الحمولات الزلزالية التصميمية المطبقة على المبنى:

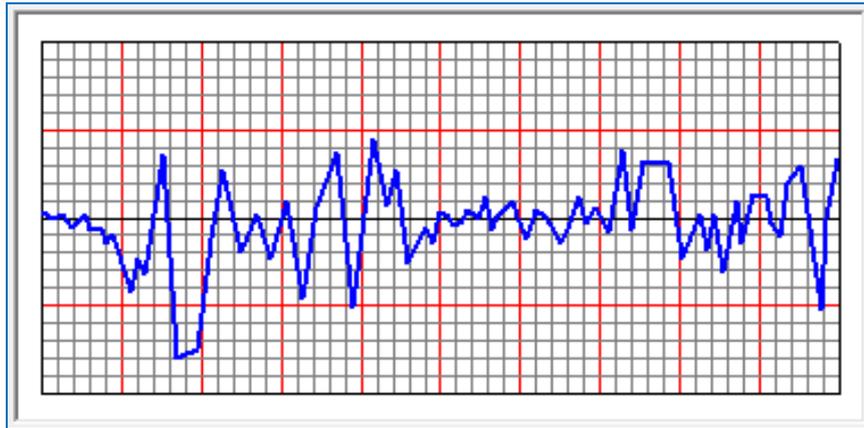
حمولة زلزالية بالاتجاهين.

نموذج مقطع التربة: SD

معامل المنطقة الزلزالية: $Z=0.3$

معامل تعديل الاستجابة الزلزالية: $R=8.5$.

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



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

➤ **النموذج الإنشائي للمبنى باستخدام SAP2000:**

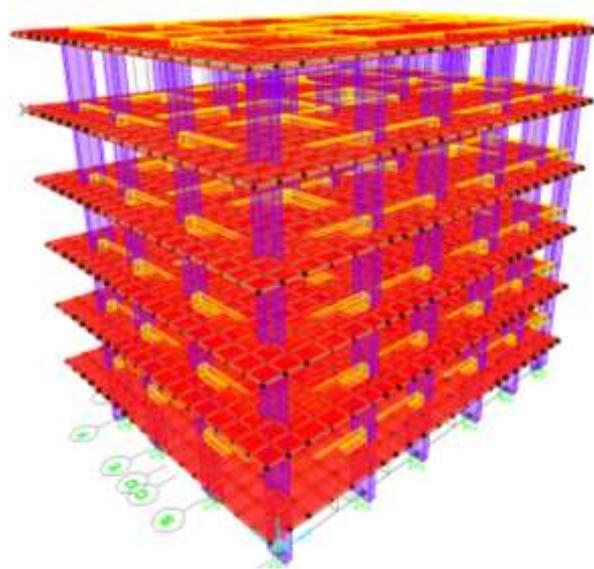
من المفضل الانطلاق من مبنى ذو أبعاد حقيقية يحوي في مسقطه على جدران قص وأعمدة. وهو مبنى سكني، تبلغ مساحته الطابقية $290m^2$ كما هو مبين على الشكل (8). وهو أحد الأبنية المشيدة في مدينة اللاذقية، مكون من 5 طوابق وصمم المبنى باستخدام برنامج SAP2000. يبين الشكل (10) نموذج المبنى المستخدم في الدراسة. تم اعتبار اجهاد الخضوع (Yield strength) لمادة الفولاذ تساوي $F_y=400MPa$ ومعامل المرونة (Young's modulus) يساوي $E=200,000MPa$.

استخدم الكود 7 (LRFD)ASCE/SEI [11] للحصول على التراكب الأعظمي للحمولات الميتة والحية:

$$W_u=1.2DL + 1.6LL \quad (1)$$

$$W_u=1.2DL + 1.0 E + (0.5 \text{ or } 1.0) LL+0.2 S \quad (2)$$

تمت في الخطوة الأولى نمذجة المبنى المؤلف من 5 طوابق بالأبعاد الهندسية الحقيقية باستخدام برنامج SAP2000 وتم تصميم جميع العناصر الاطارية وفق الكود AISC تحت تأثير تراكب الحمولات الحية والميتة المعطاة بالعلاقة (2). وفي الخطوة الثانية، تم عزل عمود بيتوني مسلح من البناء المصمم وفق البرنامج ليستخدم كعينة مرجعية لنماذج الاعمدة المختلطة التجريبية والتي تمت دراستها باستخدام برنامج ABAQUS، بنفس الأبعاد الهندسية للمقطع البيتوني وبمقاطع معدنية مختلفة مع المحافظة على القوة الناظمية المتولدة للأخذ بعين الاعتبار التحميل الشاقولي. استخدم صنف الفولاذ ST37 من أجل المقاطع المعدنية المستخدمة في الأعمدة المختلطة. وأجري التحليل بطريقة Pushover.



الشكل (10) النموذج الإنشائي للمبنى باستخدام برنامج SAP2000

أجريت دراسة تحليلية بطريقة Pushover Analysis وبمساعدة برنامج التحليل الإنشائي المتقدم [2] ABAQUS لأربعة أنواع من الاعمدة المختلطة المزودة بمقاطع معدنية مختلفة التوضع في العمود: عند الأطراف، ضمن العمود البيتوني والمقطع المعدني مغلف للبيتون كمايلي:

1. عمود بيتوني مسلح بقضبان فولاذية طولية وتم اعتباره العينة المرجعية كما هو مصمم.
2. عمود بيتوني مختلط مؤلف من مقطع بيتوني نفس مقطع العينة المرجعية ومزود بمقطع فولاذي I ضمنه.

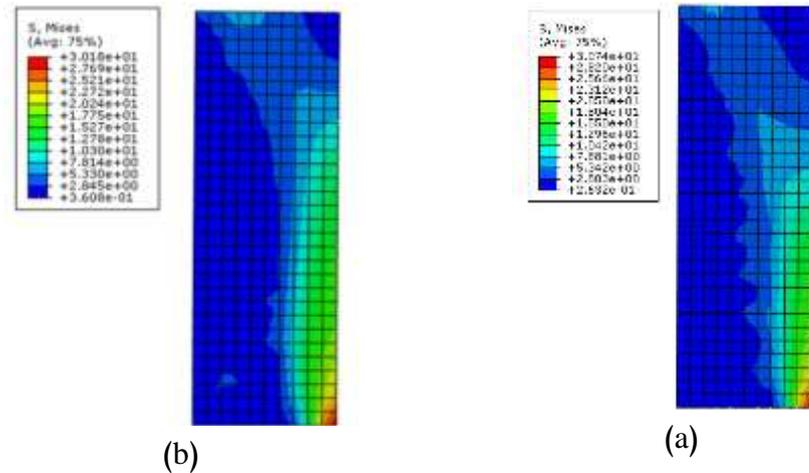
3. عمود بيتوني مختلط مؤلف من مقطع بيتوني نفس مقطع العينة المرجعية ومزود بمقطعين فولاذيين 2U ضمنه.
 4. عمود بيتوني مختلط مؤلف من مقطع بيتوني نفس مقطع العينة المرجعية ومزود بأربعة مقاطع فولاذية 4L ضمنه.
 5. عمود بيتوني مختلط مؤلف من مقطع بيتوني نفس مقطع العينة المرجعية ومزود بمقطع فولاذي TUB مغلف للبيتون.
- أُخذت مساحة المقاطع المعدنية مساوية لمساحة التسليح الشاقولي في العينة المرجعية وتم أخذ تأثير التحميل الشاقولي بعين الاعتبار من خلال تطبيق قوة ناظرية ثابتة خلال مرحلة التحليل تمثل القوة الناظرية المنقولة الى العمود في النموذج الانشائي للمبنى المدروس.

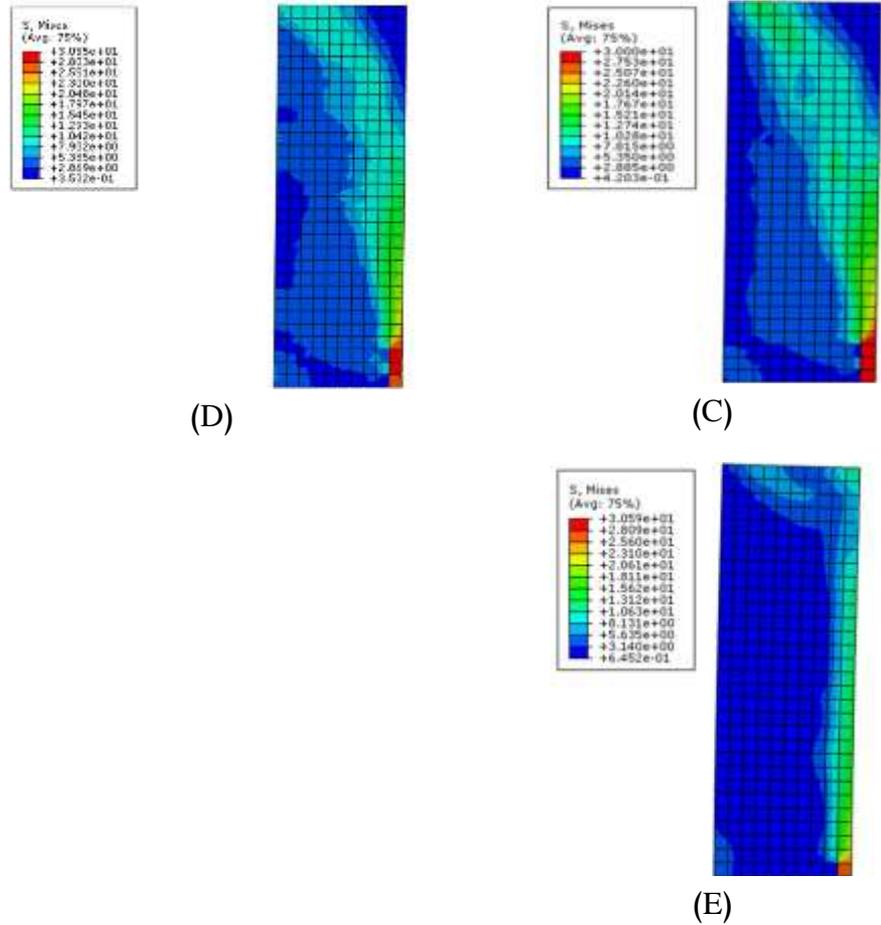
الجدول (2) المواصفات الهندسية للنماذج

الاسم	العمود	مساحة التسليح Cm^2	الابعاد (cm)	F'c(MPa)	Fy(MPa)
نموذج 1	C2 (بيتون مسلح)	75	100×30	20	400
نموذج 2	C2 (مختلط) مع مقطع IPE	75.05	H=800mm Bf=170mm Tw=4.2mm Tf=12.5mm		
نموذج 3	C2 (مختلط) مع مقطع L	76	4L100×100×10		
نموذج 4	C2 (مختلط) مع مقطع 2 UPE240	75.1	H=240mm Bf=90mm Tw=7mm Tf=12.5mm		
نموذج 5	C2 (مختلط) مع مقطع Tub	75.2	H=1006mm B=306mm Tw=3mm Tf=2.5mm		

النتائج والمناقشة:

يظهر الشكل (11) نماذج الاعمدة المختلطة المدروسة مع تمثيل إجهادات Von-Mises على الشكل المتشوه (deformed shape) لكل من هذه النماذج عند خضوع البيتون.



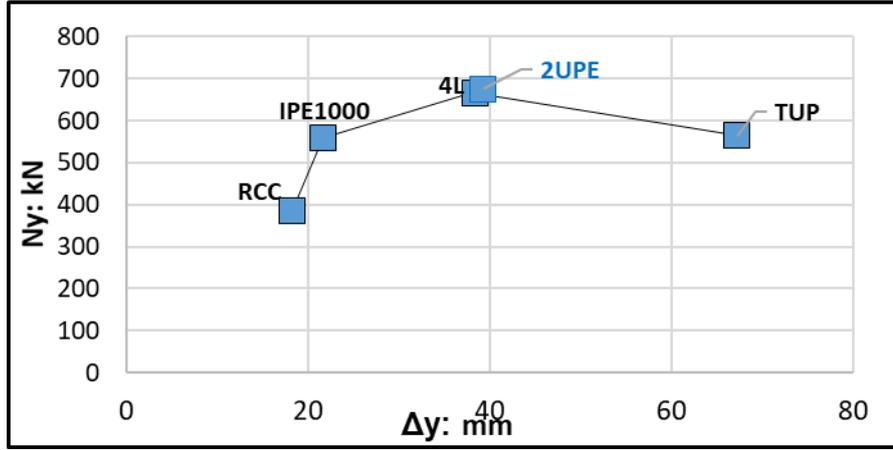


الشكل (11) نماذج الاعمدة المختلطة مع تمثيل الإجهادات Von-Mises على الشكل المتشوه (deformed shape)

- (a) الية انهيار العمود البيتوني المسلح كما هو مبين عند وصول الاجهادات الى قيمة 30MPa.
- (b) الية انهيار البيتون عندما يكون العمود المعدني IPE1000 ضمنه.
- (C) الية انهيار البيتون عندما يكون العمود المعدني 2UPE ضمنه.
- (D) الية انهيار البيتون عندما يكون العمود المعدني 4L ضمنه.
- (E) الية انهيار البيتون عندما يكون العمود المعدني TUP مغلف للمقطع البيتوني.
- يمكننا ملاحظة أن الإجهادات الأعظمية حدثت في العمود المختلط المزود بمقاطع 4L و 2C.
- سوف نبين من خلال الجدول التالي (الجدول 3) حد الخضوع للندن للعمود والذي يحدد عنده القوة الأفقية المشكلة للمفصل اللدن في البيتون والانتقال الموافق له من أجل كل نموذج من الاعمدة المختلطة المدروسة ومقارنتها مع العمود البيتوني المسلح.

الجدول (3) قيم قوى الخضوع مع الانتقال الموافق لها

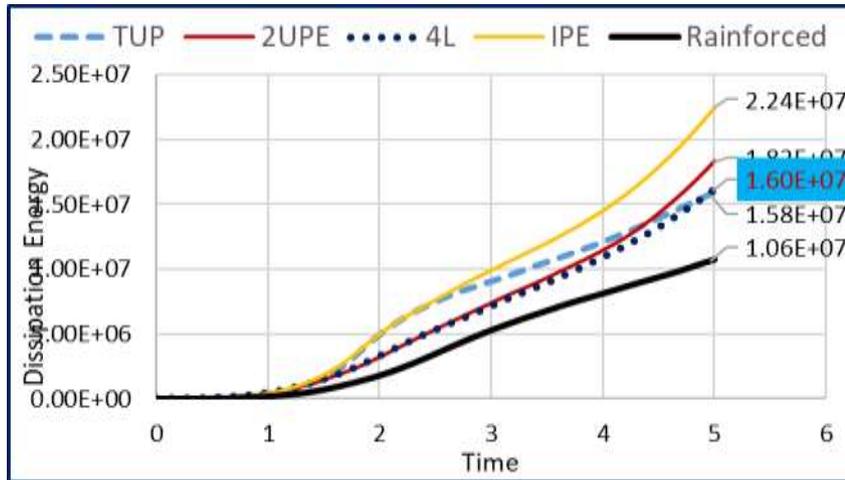
قوة الخضوع kN Ny	انتقال الخضوع mm Δy	العمود
386.825	18.25	البيتوني المسلح
559.783	21.608	IPE1000
675.045	39.299	2UPE
665.340	38.44	4L
564.639	67.25	TUP



الشكل (12) حد الخضوع اللدن للعمود المختلط

يبين الشكل (12) انتقال الخضوع مع القوة الموافقة له حيث تشير القيم الموضحة أن انتقال الخضوع كان أعظميا من أجل العمود المختلط المكون من مقطعي 2UPE مع زيادة في قيمة الحمولة الجانبية الموافقة لهذا الانتقال، حيث ازادت قوة الخضوع والانتقال بمقدار 74%، 115% مقارنة مما هي في العمود البيتوني المسلح على الترتيب. بينما أبدى المقطعان IPE, TUP قوى خضوع متقاربة بنسبة زيادة 46% عما هي في العمود البيتوني المسلح.

دراسة الطاقة المبددة:

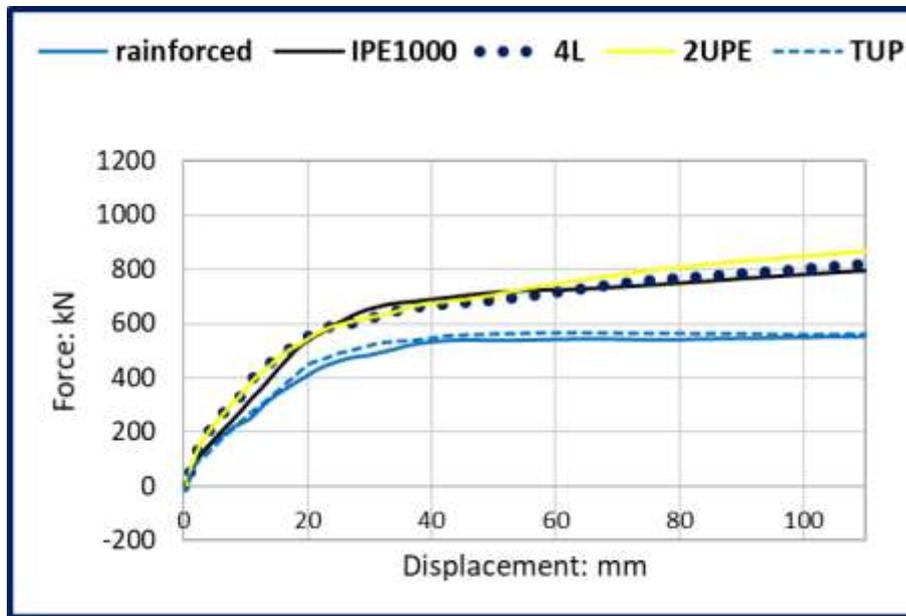


الشكل (13) الطاقة المبددة للعمود المختلط

تبين المنحنيات الموضحة على الشكل (13) ازدياد قيمة الطاقة المبددة للأعمدة المختلطة عما هي في العمود البيتوني المسلح وأظهر العمود المختلط المزود بمقطع IPE أكبر قيمة للطاقة المبددة من بين مجموعة الأعمدة المدروسة حيث ازدادت قيمة الطاقة المبددة بمقدار 111% مقارنة مع العمود البيتوني المسلح وهذا يشير الى أداء انشائي أفضل من حالات تحميل أكبر شدة.

دراسة الاستجابة الجانبية:

تبين النتائج الموضحة على الشكل (14) أن المقاومة القصوى والصلابة الأولية للأعمدة المختلطة تزداد بنسب متفاوتة مقارنة مع العمود البيتوني المسلح، حيث ازدادت مقاومة العمود المختلط المزود بمقاطع 2UPE بما يقارب 47% مقارنة مع العمود البيتوني المسلح المرجعي، بينما أبدى العمود المختلط ذات مقطع TUP أداء متقارب بشكل ملحوظ مع العمود البيتوني المسلح.



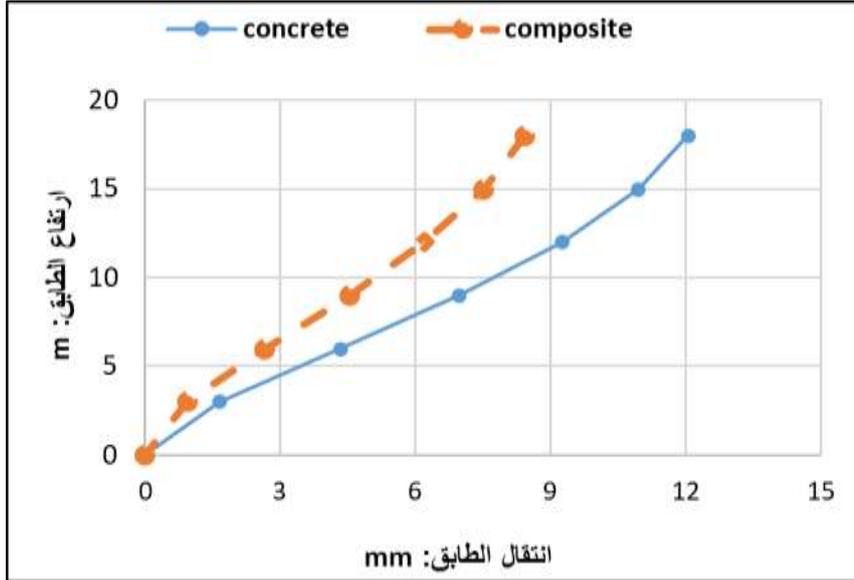
الشكل (14) منحنيات القوة - انتقال للنماذج المدروسة

7- التحليل الانشائي للمبنى:

أجري المرحلة الثانية وبمساعدة برنامج SAP2000 التحليل الانشائي للمبنى المذكور في حالتين. الأولى: جميع عناصر المبنى من البيتون المسلح بالكامل والثانية: المبنى من البيتون المسلح والأعمدة جميعها مختلطة، وأُعيد النموذج الثاني من الأعمدة المختلطة والتي تم تصميمه كما هو مبين في الجدول (2)، حيث مساحة التسليح الشاقولي في العمود البيتوني مساوية لمساحة المقطع المعدني IPE. حيث أنه حقق أداء جيد من حيث المقاومة والطاقة المبددة.

دراسة الانتقالات الجانبية:

تم اعتماد نتائج الانتقالات الجانبية من حالة التحليل الزلزالي بالاتجاه الافقي X. يظهر الشكل (15) مقارنة الانتقالات الجانبية الطابقية للمبنى من أجل حالتي الدراسة المذكورة.

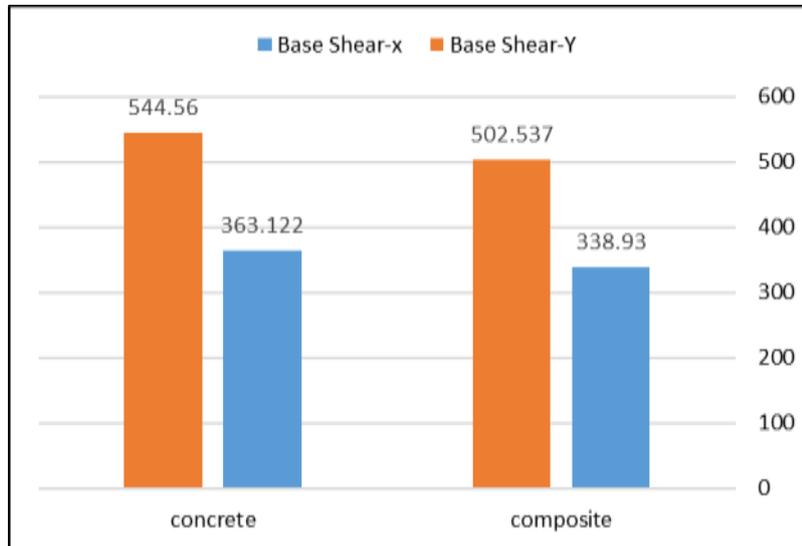


الشكل (15) الانتقالات الجانبية الطابقية للمبنى في الحالتين

من خلال الشكل (15) يتبين بوضوح انخفاض في قيمة الانتقالات الجانبية للمبنى على كامل الارتفاع حيث انخفض الانتقال الاعظمي للمبنى بمقدار 43% عند استبدال الاعمدة البيتونية المسلحة بأخرى مختلطة. وهذا مرده الى زيادة صلابة العمود المختلط مقارنة مع العمود البيتوني المسلح.

دراسة القص القاعدي:

تم حساب قوى القص القاعدي للمبنى في الحالتين بتأثير حالة التحميل الزلزالي بالاتجاهين الأفقيين للمبنى.



الشكل (16) قيم القص القاعدي للمبنى في الحالتين

يظهر الشكل (16) انخفاض في قيمة القص القاعدي بالاتجاهين للمبنى المزود بأعمدة مختلطة بقيم قليلة تراوحت بـ 7% و 8% من أجل الاتجاهين X و Y على الترتيب.

كنتيجة لهذه المناقشة حول تأثير الأعمدة المختلطة على سلوك المبنى من حيث المقاومة والصلابة، نخلص إلى أن وجود المقطع المعدني كبديل عن التسليح الشاقولي مع المحافظة على الحد الأدنى من التسليح الطولي كما ينص الكود الأوروبي للمنشآت المختلطة يلعب دوراً إيجابياً في تحسين الصلابة الأفقية المرنة والمقاومة وتقليل الانتقالات الجانبية. ويُعزى هذا الدور الإيجابي إلى واقع أن وجود المقطع المعدني يساهم من جهة في تخفيض كمية التسليح الطولي اللازمة ومن جهة أخرى يزيد من فعالية العمل المشترك بين العمود البيتوني والمقطع المعدني. ونقل أهمية هذا الدور الذي يلعبه المقطع المعدني في حالة مقاطع TUP، حيث لاحظنا تشابه السلوك الإنشائي للمقطعين. وقد بينت النتائج أن أفضل أداء (من حيث الصلابة والمقاومة) للعمود المختلط قد تم تسجيله لحالة المقطع المزود ببروفيل UPE.

الاستنتاجات والتوصيات:

يتأثر سلوك المباني العالية بشكل كبير بنموذج العمود المستخدم. لدراسة هذه الحالة، اعتمدت النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية، حيث تم إنشاء نموذج عددي باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS، واعتمد التحليل الستاتيكي اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة واللاخطية الهندسية، وتم توثيق النموذج العددي بالمقارنة مع نتائج تجريبية مستخلصة من الأبحاث المنشورة. استخدم النموذج العددي الموثق لإنجاز دراسة تحليلية حول سلوك وخصائص العمود المختلط (المقاومة والصلابة) والطاقة المبددة ونلخص فيما يلي أهم النتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث:

- أظهرت المقارنة مع نتائج تجريبية قدرة النموذج العددي 3D المستخدم في هذا البحث على توقع الاستجابة اللامرنة الكلية للعمود المختلط بدقة جيدة.
- تؤدي المقاطع المختلطة أداء أفضل تحت تأثير الحمولات الجانبية وبمقاطع أقل من مقطع التسليح الطولي للعمود وهذا بدوره يساهم في تخفيض الحمولات الميتة المؤثرة على المنشأ.
- يلعب تزويد الأعمدة بمقاطع معدنية (أعمدة مختلطة) دوراً إيجابياً في تحسين الصلابة الأفقية المرنة والمقاومة القصوى للعمود.
- تم تسجيل أفضل أداء (بالنسبة للصلابة والمقاومة) للأعمدة المختلطة المزودة بمقاطع UPE، مقارنة مع العمود البيتوني المسلح بينما تقارب الأداء للعمود المختلط المزود بمقطع TUP مع العمود المرجعي.
- أظهرت نتائج التحليل الإنشائي لكامل المبنى أن هناك انخفاض واضح بمقدار الانتقالات الجانبية الطابقية في حال استخدام الأعمدة المختلطة، وهذا يحقق أفضل أداء للمبنى وخصوصاً في الأحداث الزلزالية، حيث لوحظ من خلال الحدث الزلزالي الذي حدث مؤخراً في سورية أن معظم الانهيارات والتضررات الإنشائية كانت نتيجة الانتقالات الزائدة.
- تبين النتائج أن تأثير جملة الأعمدة المختلطة على نتائج القص القاعدي كانت قليلة حيث ترواحت قيم التخفيض بين 7-8%. باعتبار أنه تم اعتماد مساحة مقطع تسليح واحدة للعمود البيتوني المسلح والمختلط.
- من خلال ملاحظة الدور الإيجابي لسلوك الأعمدة المختلطة يمكننا تصميم مقاطع مختلطة بأبعاد أقل مما هي في الأعمدة البيتونية المسلحة مع المحافظة على نفس الأداء، بالإضافة إلى ذلك يمكننا مقارنة أفضل أداء لنماذج الأعمدة المختلطة المذكورة في هذا البحث وهذا يمكن إنجازها في أبحاث لاحقة.

References:

- [1] EN 1994-1-1 (English): Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. (2004)
- [2] EN 1994-1-2 (English): Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design. (2005)
- [3] CAMPIAN, C; ZSOLT, N. *Behavior of Fully Encased Steel-Concrete Composite Columns Subjected to Monotonic and Cyclic Loading. Romania. Procedia Engineering 117(2015) PP 439 – 451.*
- [4]- Jalaja M S, Nanjunda K N, Shylaja N, Avinash S Deshpande. Comparative Study on Seismic Behavior of Multi Storeyed Building with Composite and Conventional Columns. REVA University, Karnataka, India, 2010.
- [5]-Vidhya Purushothaman, Archanna Sukumaran [2017] “Comparative study on seismic analysis of multi-storied buildings with composite columns”, IJERT, vol.6 issue June, 2017.
- [6]- S. S. Charantimath. Swapnil B.Cholekar, Manjunath M.Birje. Comparative Study on Structural Parameter of R.C.C and Composite Building. Civil and Environmental Research, Vol.6, No.6, 2014, (Karnataka). India.
- [7] Xilin, LU. Weidong, LU. "SEISMIC BEHAVIOR OF CONCRETE AND STEEL COMPOSITE COLUMNS UNDER CYCLIC LOADING" 12WCEE 2000. Tongji University, China.
- [8] ABAQUS, Version 6.14.2, " ABAQUS/Standard User's Manual " ABAQUS Inc., USA (2014).
- [9] Y, Shobha; N, Kailash; V, Kumar. Comparative study on seismic behavior of building provided with RCC and composite concrete encased steel composite column. Volume6, Issue 5. (India)2019.
- [10]Syrian Arab Code for the Design and Implementation of Reinforced Concrete Facilities, Annex 2, Design and Construction of Buildings and Seismic resistance. Damascus2012.
- [11] AISC. “Load and Resistance Factor Design Specification.” American Institute of Steel Construction Inc., Chicago. 1999.

