Comparative Study On The Effect Of Some Parameters On The Behavior Of R.C.C And Composite Columns Under Pushover Loading

Dr. Ali Tawwalo*

(Received 23 / 6 / 2024. Accepted 29 / 9 / 2024)

□ ABSTRACT □

The use of steel columns with hollow cross-sections filled with concrete is one of the effective techniques in high-rise composite buildings, as it relies on the principle of sharing between two materials working together in one structural element while taking the advantages of each material, like the tensile strength of steel and pressure of concrete.

In this research, the effect of some parameters on the seismic behavior of twenty composite columns specimens subjected to Pushover loading applied at the top of the column was studied. The selected parameters were: the varying thickness/width ratio of the steel element, the axial compression ratio of the column, and the yield stress values used for steel elements.

Through the results of the research and based on the results of some practical experiments in the references, it was found that the use of composite elements contributes to increasing the bearing capacity of the element and reducing its dimensions, which is positively reflected on the self-weight and seismic forces in addition to reducing the construction cost.

Keywords: Composite Columns, Seismic Behavior, Concrete Filled Steel Tube.

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**

دراسة مقارنة لتأثير بعض البارامترات على سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة والمختلطة تحت تأثير حمولة دفعية متزايدة (Pushover)

د. علي عزيز طوالو*

(تاريخ الإيداع 23 / 6 / 2024. قُبِل للنشر في 29/ 9 / 2024)

□ ملخّص □

يعد استخدام الأعمدة المختلطة ذات المقاطع العرضية المعدنية المغلفة كلياً أو جزئياً أو المملوءة بالبيتون من التقنيات الفعالة في الأبنية المختلطة العالية، 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.

إن فوائد الجمع بين مادتي البناء يؤدي الى زيادة نسبة طول المجاز الى ارتفاع المقطع وانخفاض السهوم وزيادة نسبة الصلابة مقارنة مع المنشآت التقليدية المصنوعة من الفولاذ أو البيتون. بالإضافة الى ذلك فإن اشراك البيتون الذي يغلف بروفيلات الأعمدة في مقاومة الاحمال المطبقة على هذه الاعمدة يزيد من قدرة تحمل العمود ويعطي مقطع تصميمي أقل مع تأمين حماية للعمود المعدني بشكل أساسي من الحريق ومن العوامل الجوية.

تم في هذا البحث دراسة تأثير بعض البارامترات على سلوك عشرين نموذجاً من الأعمدة المختلطة المعرضة لحمولة دفعية متزايدة (Pushover) مطبقة في أعلى العمود. البارامترات المدروسة هي: نسبة سماكة العنصر المعدني إلى عرضه، نسبة التحميل الشاقولي للعمود، قيم إجهاد الخضوع المستخدم للعنصر الفولاذي.

كما تطرق البحث الى دراسة مقارنة لبعض البارامترات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج SAP2000 لمبنى مؤلف من ستة طوابق تمت دراسته في حالتين: الأولى المبنى مصمم ويحوي على أعمدة بيتونية مسلحة والثانية المبنى مصمم ويحوي على أعمدة مختلطة.

من خلال نتائج البحث وبالاعتماد على نتائج بعض التجارب العملية المرجعية، تبين أن استخدام العناصر المختلطة يساهم في زيادة قدرة تحمل العنصر وتقليل أبعاده، مما ينعكس إيجاباً على تخفيف الوزن الذاتي والقوى الزلزالية بالإضافة إلى تقليل تكلفة البناء.

الكلمات المفتاحية: الأعمدة المختلطة، التحليل الستاتيكي المكافئ.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **دكتوراه – 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.

في الأعمدة المختلطة المكونة من بروفيل مجوف دائري المقطع مملوء بالبيتون، يؤدي تطويق البيتون من قبل الفولاذ الى منح العمود المختلط مقاومة إضافية على الضغط 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 الى زيادة مقاومة البيتون مقارنة مع مقاومته المحسوبة على عينة اسطوانية خاضعة لضغط أحادي المحور. بالمقابل ستتولد في جدران الانبوب الفولاذي إجهادات شد محيطية تؤدي وفقاً لشروط معيار Von Mises للتلدن الى 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.

خلال الآونة الأخيرة، تم التوجه إلى التوسع الشاقولي للأبنية بغرض توفير السكن لأكبر 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.

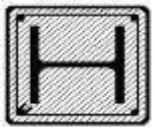
تسلك الأعمدة المختلطة سلوك العناصر الخاضعة للانضغاط إذ يمكن أن يحيط البيتون بالمقطع المعدني أو أن يتم ملء العنصر المعدني بالبيتون كما هو الحال في مقاطع التيب، فينتج عن العمل المشترك للمادتين زيادة في قدرة تحمل العمود المختلط. ولفهم سلوك الأعمدة المختلطة (مقاطع تيب معدنية مملوءة بالبيتون) تحت تأثير الأحمال الزلزالية، قمنا بإجراء دراسة تحليلية باستخدام برنامج التحليل الإنشائي المتقدم ABAQUS لمجموعة مؤلفة من عشرين نموذجاً من الأعمدة المختلطة المعرضة لحمولة زلزالية ممثلة بقوة أفقية دفعية متزايدة تدريجياً (Pushover) مطبقة في أعلى العمود بالإضافة إلى تطبيق قوة شاقولية في أعلى العمود لمراعاة نسبة التحميل الشاقولي له.

1- الدراسة المرجعية:

تتميز الأعمدة المختلطة بقدرة تحمل عالية مع مقاطع عرضية أصغر نسبياً مقارنة مع الأعمدة البيتونية المسلحة، وهذا مفيد من وجهة نظر معمارية في زيادة المساحات وخصوصاً في الأبنية العالية. حيث يساهم بيتون الملء في زيادة مقاومة المقطع على الضغط كونه يأخذ الحصة الأكبر من القوة الناظمية كما يمكنه أن يمنع أو يقلل من إمكانية حدوث التحنيب الموضعي للمقطع المعدني، بالمحصلة فإن العمل المشترك للبيتون مع المعدن يرفع من مقاومة المقطع ككل ويؤمن لدونة كافية له [1].

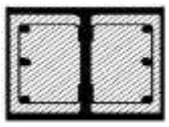
هناك ثلاثة أنواع للأعمدة المختلطة وهي:

2-1- عمود معدني مطوق بالبيتون: كما هو مبين في الشكل (1).



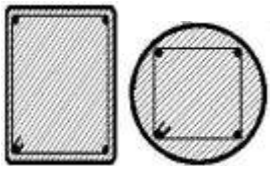
الشكل (1) عمود مقطع H مطوق بالبيتون كلياً

2-2- عمود معدني مدرفل ومطوق جزئياُ بالبيتون: كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) عمود مقطع H مطوق جزئياً بالبيتون

2-3- مقطع معدني مفرغ ومملوء بالبيتون: وهنا يستخدم المقطع الأنبوبي أو مقاطع التيب. كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) أعمدة مفرغة مملؤة بالبيتون

عند استخدام المقاطع المعدنية المملوءة بالبيتون (التيب) كأعمدة يمكن لجوانب المقطع المعدني أن تعمل كتسليح شاقولي وأفقي مع المحافظة على الشكل المطلوب للمقطع البيتوني إضافة إلى أنها تحسن سلوك العمود من خلال زيادة مقاومته على الانعطاف، القص والتحنيب، وبالتالي تسمح باستخدام مقاطع عرضية أقل مما هو مطلوب في الأعمدة البيتونية المسلحة التقليدية من أجل نفس الحمولات. وكذلك يساهم المقطع المعدني في تأمين الحماية اللازمة للعمود من العوامل الخارجية.

قام الباحث Vidhya Purushothaman [1] 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 وH. 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 [2] 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 [3] 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 وبيتونية. تم إجراء تحليل باستخدام السجل الزمني ومقارنة الانتقالات، القص القاعدي، الصلابة الجانبية وعزوم الانقلاب. وقد بينت النتائج أن المنشأ المختلط أفضل من مثيله من البيتون المسلح من حيث الأداء الزلزالي والكلفة الاقتصادية.

قام الباحثان Xilin LU And Weidong LU [4] 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 لبيتون الملء. وقد أُعتمدت هذه الدراسة المرجعية في توثيق النموذج التحليلي للأعمدة المدروسة في بحثنا هذا.

تطرق عدد من الباحثين Prathiba.G1, K. Soundhirarajan2, S. Raja3 [5] لدراسة التحليل الزلزالي للإطارات المختلطة المكونة من عدة مواد انشائية وتم دراسة الاستجابة الحقيقية باستخدام سجل زلزالي حقيقي وخلص الباحثون الى تقييم السلوك النموذجي للإطار نتيجة الحمولات الزلزالية وإيجاد المواد المختلطة الأكثر مناسبة لتخفيف القوى الزلزالية حيث تضمنت الإطارات مادتين او أكثر وكانت عبارة عن مواد بوليميرية بعضها فولاذي وبعضها ألياف كربونية.

أهمية البحث وأهدافه:

بما أن المنشآت المختلطة قد أصبحت أكثر شيوعاً في عصرنا الحالي بفضل ميزاتها الجيدة مقارنة مع غيرها من المنشآت التقليدية. فقد هدفنا في هذا البحث إلى تقييم سلوك هذه الاعمدة عند تعرضها لانعطاف مركب مع التركيز على تأثير بعض البارامترات وهي:

- نسبة السماكة إلى عرض المقطع (f).
- نسبة التحميل الشاقولي (K).
- قيم إجهاد الخضوع للفولاذ.

طرائق البحث ومواده:

تستند الدراسة التحليلية المنفذة في هذا البحث إلى عينة تجريبية مرجعية تم اختيارها من بين مجموعة من العينات التي اختبرت من قبل الباحثين Xilin LU1 And Weidong LU2 [4] في جامعة Tongji في الصين.

1- وصف العينة المرجعية:

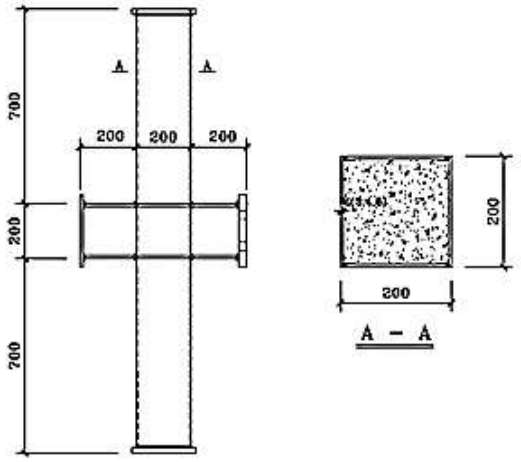
العينة التجريبية المرجعية هي عبارة عن عمود مختلط مكون من مقطع فولاذي (تيب) مملوء بالبيتون كما هو مبين بالشكل (4)، وقد تم تلخيص أبعاده ومواصفاته في الجدول (1).

الجدول (1) أبعاد ومواصفات العينة التجريبية

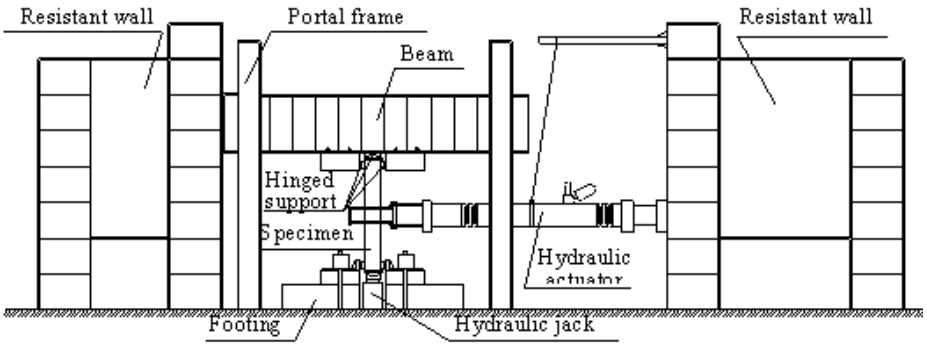
العينة	D (mm)	t (mm)	f	concrete strength	K	P (kN)
R4M3	200	4	0.02	C50	0.3	650

مواصفات المواد في العينة التجريبية: إجهاد الخضوع للفولاذ Fy=315 MPa ، وإجهاد الخضوع للبيتون $f_c' = 40MPa$.

إعداد الاختبار: تم تثبيت العمود من الأسفل بوثاقة ومن الأعلى باستناد مفصلي يسمح للعمود بالدوران ويمنعه من الانتقال الأفقي، كما طبقت قوة أفقية متزايدة في منتصف الطول كما هو مبين بالشكل (5).



الشكل (4) العينة التجريبية المرجعية [4]



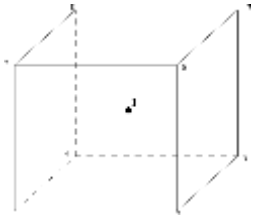
الشكل (5) تجهيزات التجربة [4]

2- النمذجة العددية باستخدام برنامج ABAQUS.

2-1 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.

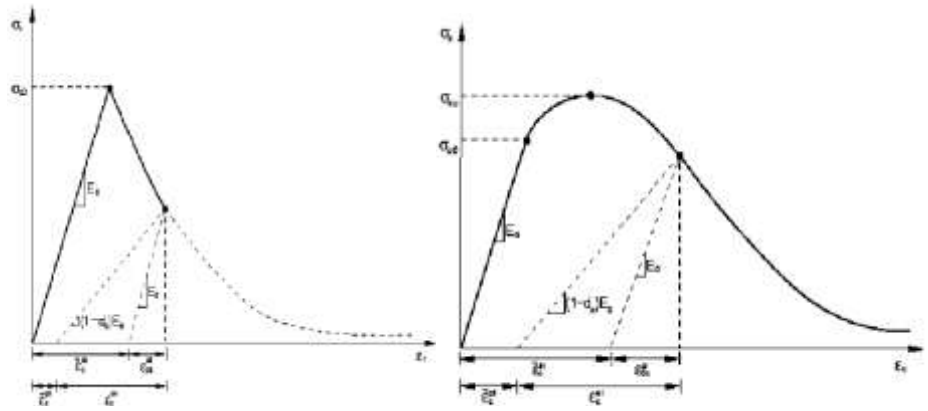
تم استخدام العنصر C3D8 لنمذجة جزأي للعمود، وهو عنصر حجمي (SOLID ELEMENT) مؤلف من ثماني عقد لكل منها ثلاث درجات حرية (3انتقالات) كما يبين الشكل (6).



الشكل (6) نمط العناصر المستخدمة في النمذجة [ABAQUS 6.14 Documentation] [6]

تمت نمذجة البيتون باستخدام نموذج CDP (Concrete Damaged Plasticity)، يفترض هذا النموذج وجود آليتي انهيار رئيسيتين لمادة البيتون هما التشقق بالشد والتهشم 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 (7) السلوك المستخدم للبيتون على الشد والضغط.

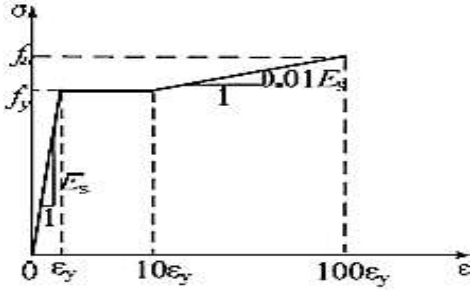


a) مخطط الاجهاد–تشوه للبيتون على الضغط **b) مخطط الاجهاد–تشوه للبيتون على الشد**

الشكل (7) منحني إجهاد–تشوه لمادة البيتون [6]

E_0: معامل المرونة الابتدائي، $E_0 = 5000\sqrt{f'c}$

كما تمت نمذجة مادة الفولاذ باستخدام منحني ثلاثي الخطوط كما يوضح الشكل (8).



الشكل (8) مخطط اجهاد – تشوه لمادة الفولاذ [6]

تمت نمذجة الشروط الطرفية بما يتوافق مع الحالة الفراغية للمبنى:

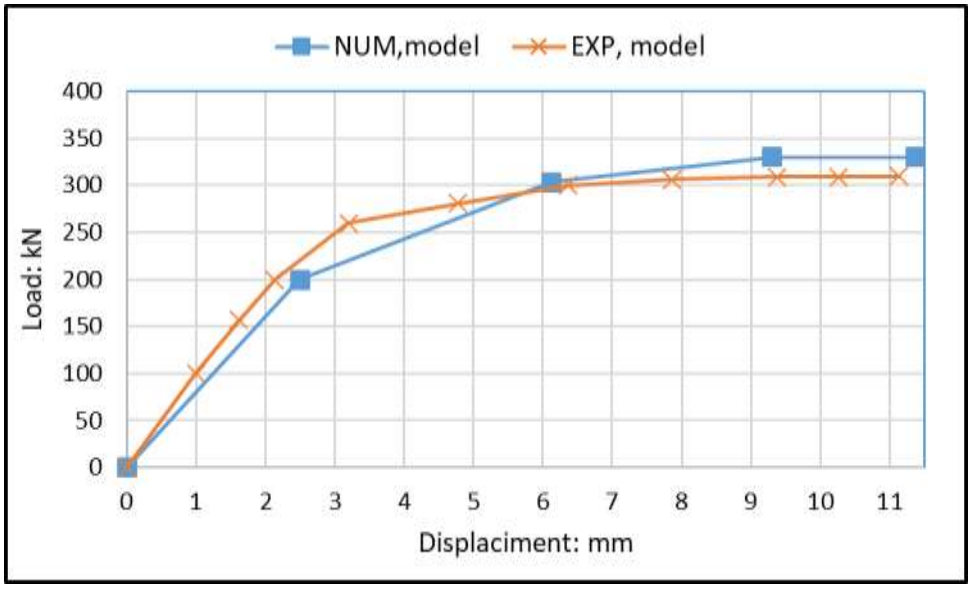
–الأعمدة موثوقة من نهايتها السفلية.

–تم تقييد الانتقالات الجانبية بالاتجاه المتعامد مع اتجاه التحميل.

2–2 معايرة وتوثيق النموذج التحليلي

لتوثيق النموذج العددي المختبر، سنقارن النتائج التي يعطيها مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة في عملية النمذجة. تضمنت المقارنة استجابة النموذج الممثلة بمنحني القوة–انتقال.

يظهر الشكل (9) المنحني قوة–انتقال المستنتج كمغلف لنتائج السلوك الهستيري الناتج تجريبياً والمنحني المستنتج باستخدام النموذج العددي المنجز في هذا البحث. حيث تجاوزت الدقة في توقع المقاومة القصوى وفي درجة تقارب المنحنيين 90%.



الشكل (9) المخطط القوة–انتقال التجريبي والتحليلي

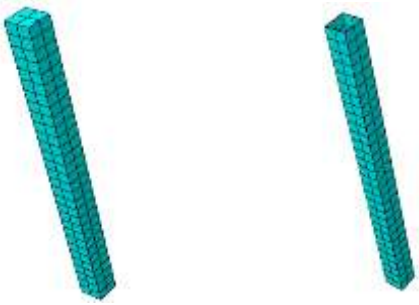
3- الدراسة البارامترية:

تم تطوير النموذج التحليلي للعمود المختلط ليصبح ارتفاعه ثلاثة أمتار. وتراوح إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم بين $(f_y = 235{\sim}440\ MPa)$ بينما كانت مقاومة بيتون الملء $f_c' = 20\ MPa$.

يبين الشكل (10) النموذج التحليلي للعمود المختلط المطور. كما يوضح الشكل (11) كيفية تطبيق القوة الأفقية المتزايدة مع الزمن بالتزامن مع القوة الشاقولية الثابتة.

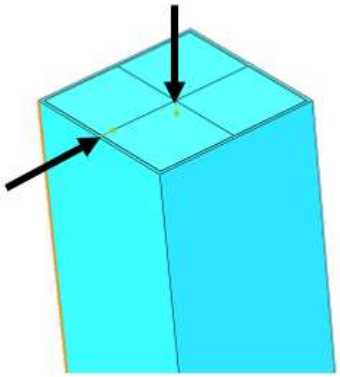
تم الاكتفاء بالوصول إلى إزاحة طابقية نسبية مقدارها (180mm) نظراً لثبات قيمة القوة من جهة ولحدوث الانهيار في بعض العينات من جهة أخرى، مما يسمح بملاحظة التلدن الحاصل قبل الانهيار.

تطبق القوة الشاقولية بشكل ثابت خلال عملية التحليل، أما القوة الأفقية فتطبق وفق تابع زمني متزايد يبدأ من الصفر ويتوقف عند انهيار العمود، أُعتبرت القوة الاعظمية في جميع النماذج موافقة للانتقال التصميمي المذكور سابقاً.



(b) **(a)**

الشكل (10) a: نموذج الجزء المعدني من العمود (تيب)، b: نموذج لجزء العمود البيتوني



الشكل (11) آلية تطبيق القوة الأفقية مع القوة الشاقولية

تم تطوير عشرين نموذجاً من الأعمدة المختلطة لدراسة البارامترات المذكورة في هدف البحث. وقد صنفت هذه الأعمدة إلى أربع مجموعات هي:

المجموعة الأولى (COL-I): تتألف من ستة أعمدة متماثلة من حيث الأبعاد والارتفاع والمادة، لكنها تختلف فيما بينها بنسبة التحميل الشاقولي(**K**).

المجموعة الثانية (COL-II): تحوي ستة أعمدة متماثلة بالارتفاع ونسبة التحميل الشاقولي ومواصفات المواد، لكنها تختلف بنسبة النحافة الموضعية أي نسبة سماكة المقطع المعدني إلى عرضه (f).

المجموعة الثالثة(COL III): مؤلفة من أربعة أعمدة متماثلة من حيث الأبعاد ونسبة التحميل الشاقولي لكنها مختلفة بقيم اجهاد الخضوع لمادة الفولاذ.

المجموعة الرابعة(COL IV): تتكون من أربعة أعمدة متماثلة الأبعاد ومعرضة لقوة ناظمية ثابتة، لكنها تختلف بقيم اجهاد الخضوع لمادة الفولاذ مما سبب اختلاف نسبة التحميل الشاقولي.

يبين الجدول (1) المواصفات الهندسية للأعمدة المدروسة.

حيث: D: عرض المقطع المعدني (مقطع مربع) بالـ mm،

t: سماكة جسد المقطع المعدني بالـ mm.

f: نسبة السماكة إلى العرض $f = t/D$

f_c' : المقاومة المميزة لبيتون الملء بالـ MPa. f_y: إجهاد الخضوع للفولاذ بالـ MPa.

k: نسبة التحميل الشاقولي، وتمثل نسبة القوة الناظمية الضاغطة المطبقة إلى المقاومة الحدية للمقطع.

$$K = \frac{P}{Nu}$$

تعطى المقاومة اللدنة للعمود المختلط على الضغط المحوري (المركزي) $N_{Pl,Rd}$ بالعلاقة:

$$N_u = N_{pl,Rd} = A_a.F_{yk} + A_c.\alpha_{cc}\,F_{ck} + A_s.F_{sk}$$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

Nu: قدرة تحمل العمود على الضغط. P: القوة الناظمية المطبقة على العمود.[7,8]

A_a, A_c, A_s : سطوح المقاطع العرضية لكل من فولاذ التسليح، البيتون والبروفيل الفولاذي على الترتيب.

F_{yk}, F_{ck}, F_{sk} : المقاومات المميزة للمواد المستخدمة: فولاذ التسليح، البيتون والفولاذ الانشائي على الترتيب.[9]

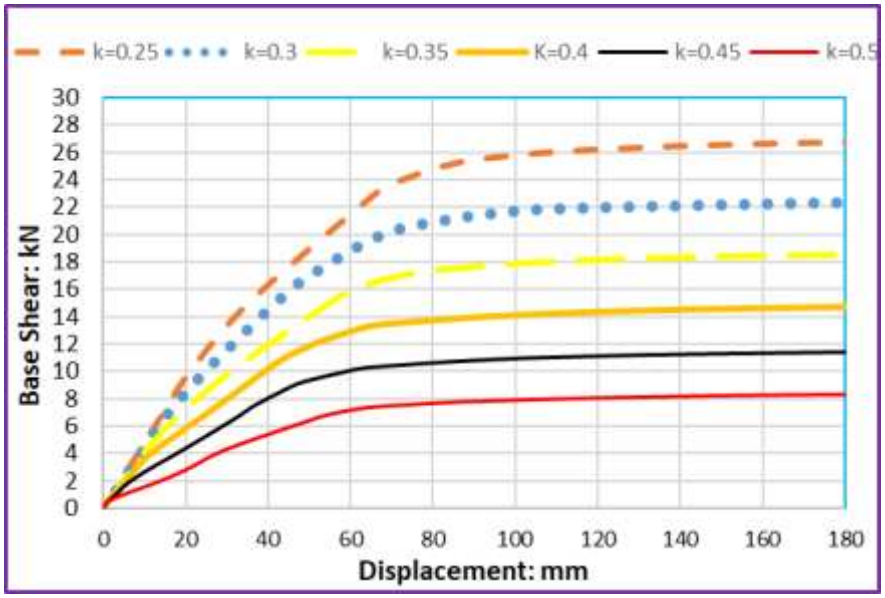
النتائج والمناقشة:

1- تأثير نسبة التحميل الشاقولي:

يوضح الشكل (12) العلاقة بين القص القاعدي والانتقال في أعلى العمود وذلك لأعمدة المجموعة الأولى **COL-I** التي تختلف بنسبة التحميل الشاقولي (K) فقط. وفيه نجد حدوث انخفاض ملحوظ في قدرة التحمل مع زيادة نسبة التحميل K، حيث انخفضت قدرة التحمل الأعظمية للعمود من 26.76kN الى 8.35 kN (يعادل 68%) عند زيادة نسبة التحميل بمقدار 100% (أي عند زيادة K من 0.25 إلى 0.5).

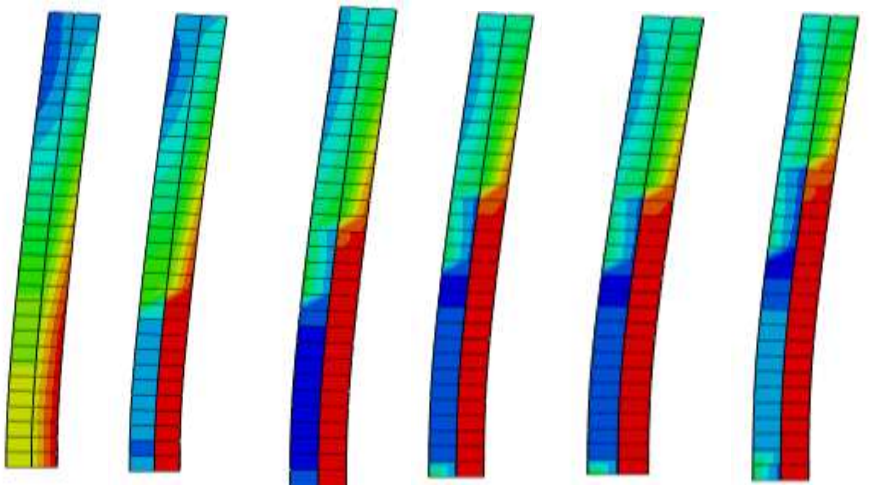
الجدول (2) المواصفات الهندسية لمجموعة النماذج التحليلية

المجموعة	العمود	D(mm)	t (mm)	f	F'c (MPa)	Fy (MPa)	k	P(kN)
COL-I	COL	200	4	0.02	20	345	0.25	428
	COL	200	4	0.02	20	345	0.3	513
	COL	200	4	0.02	20	345	0.35	600
	COL	200	4	0.02	20	345	0.4	685
	COL	200	4	0.02	20	345	0.45	769
	COL	200	4	0.02	20	345	0.5	855
COL-II	COL	200	5	0.025	20	345	0.5	980
	COL	200	6	0.03	20	345	0.5	1105
	COL	200	7	0.035	20	345	0.5	1227
	COL	200	8	0.04	20	345	0.5	1348
	COL	200	9	0.045	20	345	0.5	1468
	COL	200	10	0.05	20	345	0.5	1587
COL-III	COL	200	4	0.02	20	235	0.5	682
	COL	200	4	0.02	20	275	0.5	745
	COL	200	4	0.02	20	355	0.5	870
	COL	200	4	0.02	20	440	0.5	1004
COL-IV	COL	200	4	0.02	20	235	0.5	682
	COL	200	4	0.02	20	275	0.45	682
	COL	200	4	0.02	20	355	0.39	682
	COL	200	4	0.02	20	440	0.34	682



الشكل (12) مخطط القص القاعدي–الانتقال لمجموعة الأعمدة المختلطة COL-I

يظهر الشكل (13) تمثيل لإجهادات Von-mises الموافقة لانتقال أعظمي قدره 180mm وذلك لنماذج الأعمدة المدروسة من المجموعة الأولى COL-I.



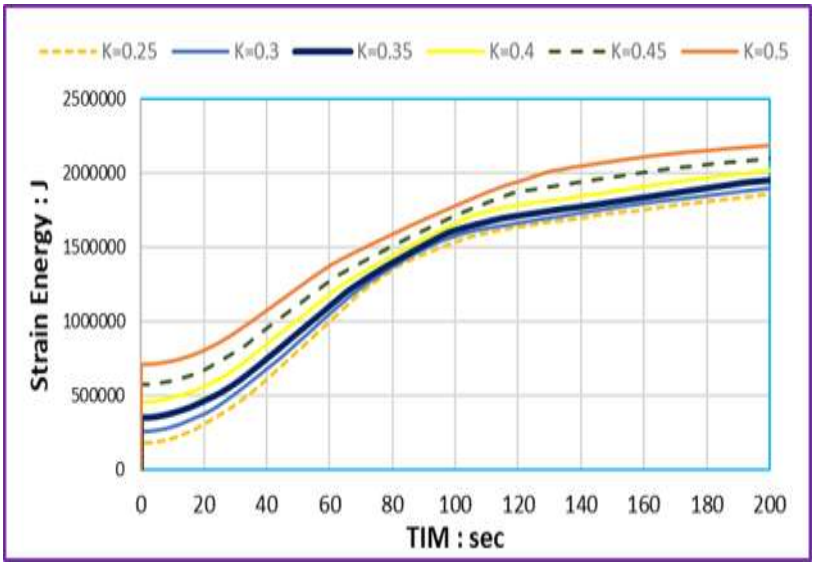
K=0.5 K=0.45 K=0.4 K=0.35 K=0.3 K=0.25

الشكل (13) إجهادات Von-mises في أعمدة المجموعة الأولى

الجدول (3) قيمة قوة الخضوع الأولية للعمود بالعلاقة مع تغير النسبة K

نسبة التحميل الشاقولي	K=0.25	K=0.3	K=0.35	K=0.4	K=0.45	K=0.5
قوة الخضوع الأولية (kN)	25	20	16.6	11.8	9.25	6.85
P (kN)	428	513	600	685	769	855
Nu (kN)	1708.608					

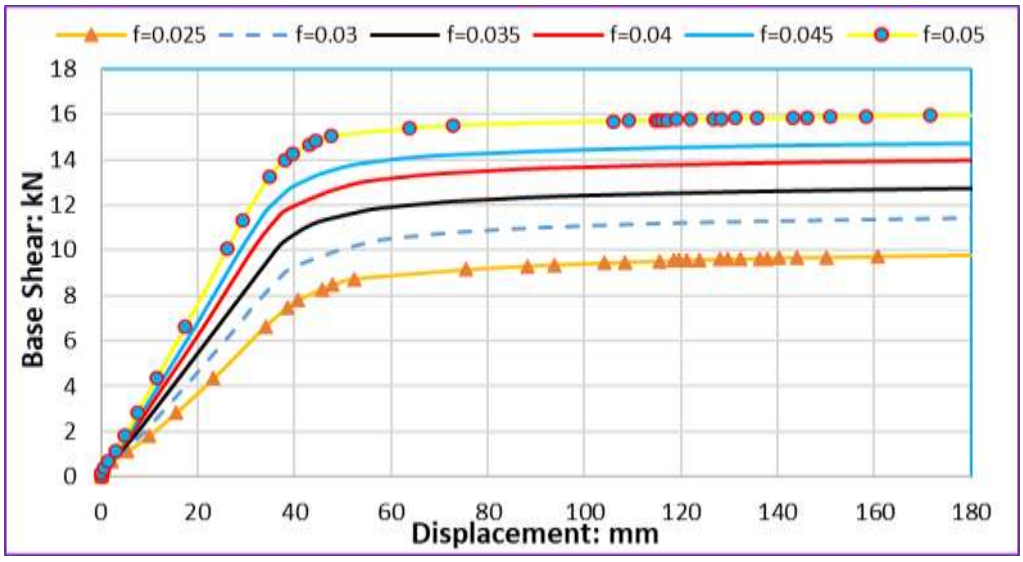
يتبين من الشكل (13) والجدول (3) أن نسبة التحميل الشاقولي ساهمت في زيادة قيمة الإجهادات في العمود، حيث حصل تلدن مبكر في الجزء المعدني من العمود عند زيادة نسبة التحميل الشاقولي (التلدن باللون الاحمر)، وبالتالي ازادت طاقة الانفعال مع زيادة النسبة K كما يظهر الشكل (14).



الشكل (14) مخطط طاقة الانفعال لمجموعة الاعمدة المختلطة COL-I

2- تأثير نسبة السماكة إلى العرض $(f = t/D)$:

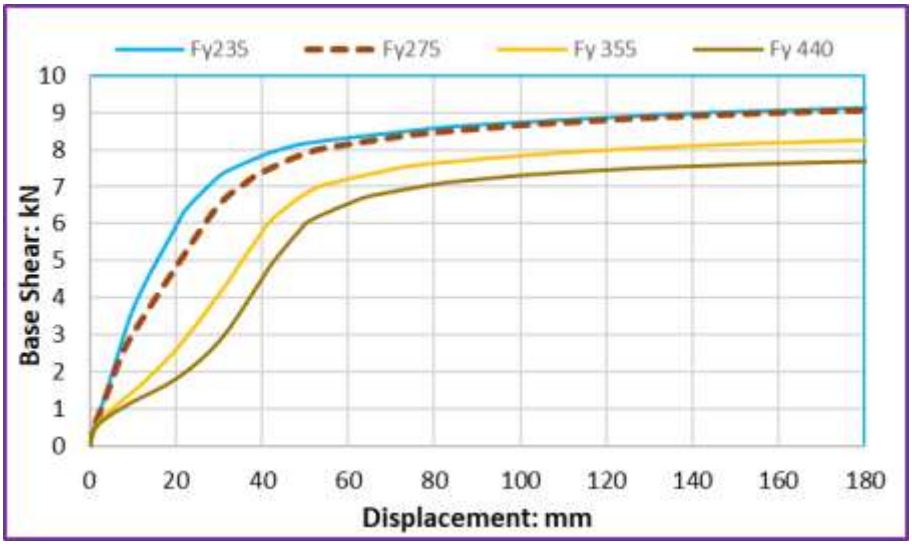
يبين الشكل (15) العلاقة بين القص القاعدي والانتقال أعلى العمود لعينات المجموعة الثانية**COL-II** بالعلاقة مع تغير النسبة **f**، يلاحظ من هذا الشكل أنه بزيادة النسبة f (التي تعكس نسبة الفولاذ في المقطع العرضي المختلط) تزداد مقاومة الخضوع والمقاومة القصوى للعمود المختلط. حيث كانت المقاومة العظمى حوالي 9.78 kN ، 15.97 kN من أجل قيم f مساوية لـ 0.025 ,0.05 على التوالي، أي حصلت زيادة في المقاومة بحوالي 63% عند زيادة f بمقدار 100%.



الشكل (15) مخطط القص القاعدي– الانتقال لمجموعة الاعمدة المختلطة COL-II

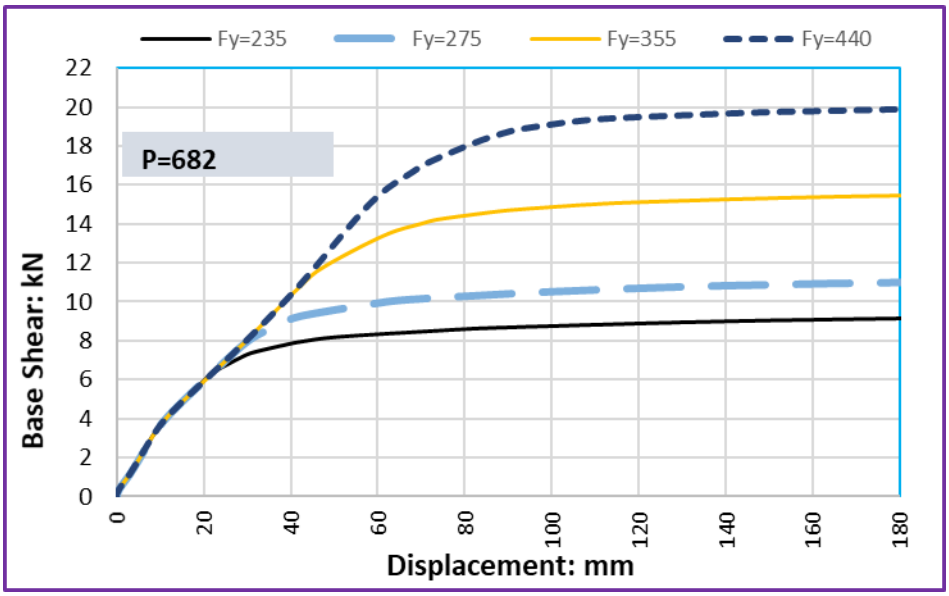
3- تأثير تغير قيمة إجهاد الخضوع للفولاذ:

يظهر الشكل (16) الذي يربط بين القص القاعدي والانتقال أعلى العمود لعينات المجموعة الثالثة **COL-III** بالعلاقة مع تغير إجهاد الخضوع للفولاذ، أن زيادة إجهاد الخضوع للفولاذ في العمود المختلط مع بقاء نسبة التحميل الشاقولي ثابتة لم تساهم في زيادة قدرة التحمل بشكل هام.



الشكل (16) مخطط القص القاعدي–الانتقال لمجموعة الأعمدة المختلطة COL-III بالعلاقة مع تغير إجهاد الخضوع للفولاذ

لكن بالنظر الى الشكل (17) عندما تم تطبيق قوة تحميل شاقولية ثابتة (P=682kN) على مجموعة الأعمدة في المجموعة الرابعة **COL-IV** مع بقاء المتحول هو اجهاد الخضوع للفولاذ، لوحظ تأثير إيجابي واضح لزيادة إجهاد الخضوع على قدرة تحمل العمود المختلط.



الشكل (17) مخطط القص –الانتقال للمجموعة COL-IV بالعلاقة مع تغير إجهاد الخضوع للفولاذ والنسبة K

من الشكلين (16) و(17) يمكننا استخلاص القيم الموضحة في الجدول (4) والتي تشير إلى المقاومة القصوى للأعمدة في المجموعتين الثالثة والرابعة عند تغير إجهاد الخضوع وذلك في الحالتين التاليتين:

– تثبيت القوة الشاقولية P . – تثبيت نسبة التحميل K.

الجدول (4) المقاومة القصوى لمجموعة الأعمدة في المجموعتين (III) و (IV)

إجهاد الخضوع (Fy: MPa)	440	355	275	235
P ثابتة	19.89	15.52	10.99	9.13
K ثابتة	7.7	8.23	9.06	9.18
نسبة الزيادة %	158	88	21	0

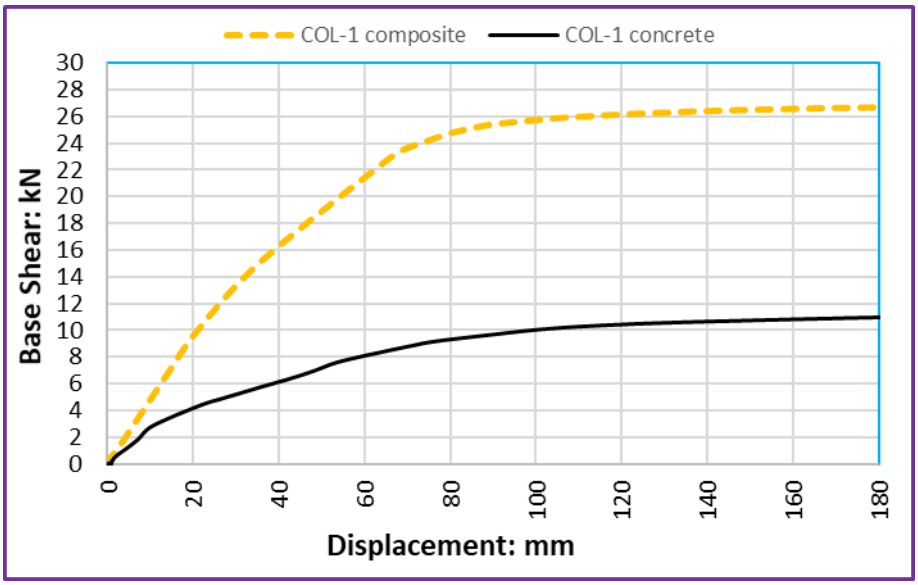
4– دراسة مقارنة بين عمود مختلط وعمود بيتوني مسلح مكافئ:

بهدف مقارنة أداء العمود المختلط مع مثيله من البيتون المسلح، فقد تم إجراء مقارنة بين نموذجين من الأعمدة المختلطة ((COL1-COL2(composite) مع نموذجين من الأعمدة البيتونية المسلحة الموافقة لكل منهما ((COL1-COL2 (concrete على الترتيب، حيث تم استبدال المقطع المعدني (التيب) بقضبان تسليح شاقولية مساحتها مكافئة لمساحة مقطع البروفيل المعدني كما هو مبين في الجدول (5).

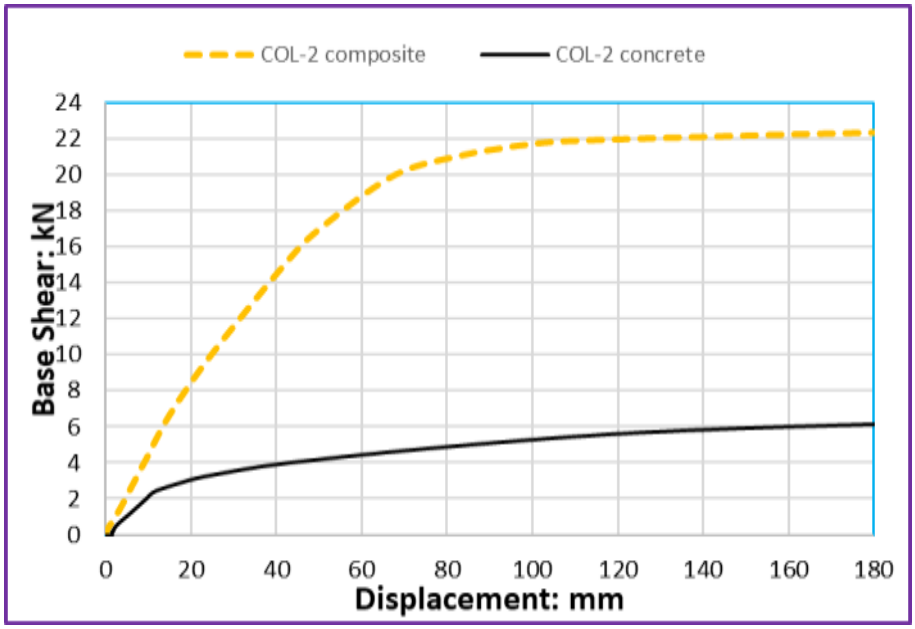
الجدول (5) مواصفات الأعمدة البيتونية المسلحة المكافئة للأعمدة المختلطة المماثلة

المجموعة	العمود	D (mm)	As (mm^2)	Fy (MPa)	F'c (MPa)	K	P (kN)
COL-V	COL 1	200	3136	345	20	0.25	428
	COL 2	200	3136	345	20	0.3	513

أُجريت النمذجة الحاسوبية والتحليل الدفعي وتم رسم مخطط القص القاعدي– الانتقال لكلا النموذجين كما هو مبين في الشكلين (18) و(19).



الشكل (18) القص القاعدي–الانتقال للنموذجين col1-composite وcol1-concrete



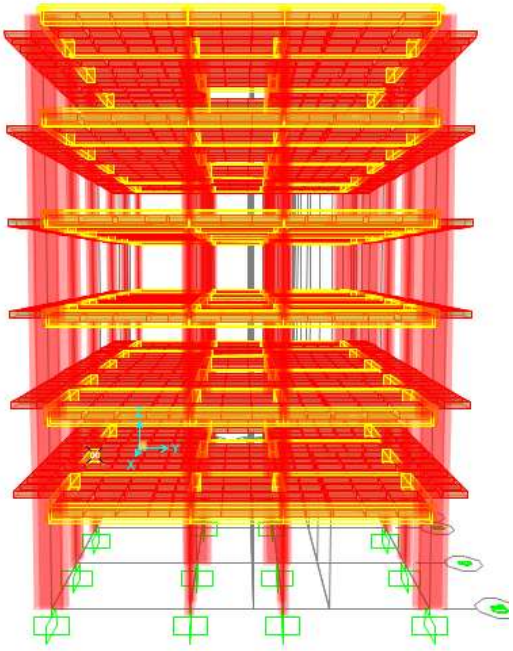
الشكل (19) القص القاعدي–الانتقال للنموذجين col2-composite وcol2-concrete

تبين النتائج الموضحة في الشكل (18) والخاصة بالعمود COL-1 (K=0.25) أن مقاومة وصلابة العمود البيتوني المسلح بالقضبان الفولاذية أقل بشكل واضح من حالة العمود المختلط، إذ كانت المقاومة القصوى للعمود المختلط 26.76 kN، بينما بلغت قيمتها في العمود البيتوني المسلح 11 kN فقط أي انخفضت بمقدار 59% تقريباً. كذلك نجد من الشكل (19) الخاص بالعمود COL-2 (K=0.3) أن المقاومة والصلابة قد انخفضت في العمود البيتوني المسلح عما كانت عليه في العمود المختلط حيث كانت المقاومة القصوى 22.32 kN في المختلط مقابل 6.129 kN في العمود البيتوني المسلح، أي أن نسبة الانخفاض كانت حوالي 72.5%.

5- دراسة مقارنة للاستجابة الزلزالية:

أجريت الدراسة لبناء نموذجي مكون من ستة طوابق أبعاد مسقطه الافقي (1845× 1170cm) وارتفاع الطابق 3m مكون من مجموعة من الاعمدة والبلاطات الأفقية من أجل حالتين 1- الاعمدة مختلطة ، 2- الاعمدة بيتونية مسلحة. يظهر الشكل (20) منظور للمبنى المدروس (مبنى سكني منفذ في مدينة اللاذقية)، الجملة الإنشائية المقاومة للحمولات الجانبية في النموذج هي جملة إطارات (أعمدة مع جوائز متدلية).

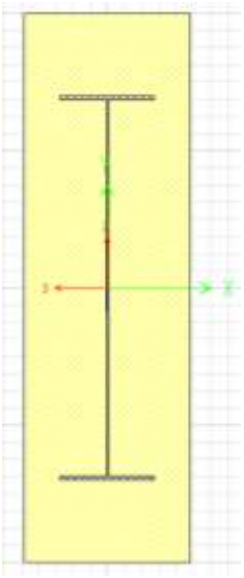
قمنا بالنمذجة الحاسوبية بمساعدة برنامج التحليل الانشائي SAP2000 وأُستخدمت العناصر الإطارية الخطية (Frame Element) بعقدتين من أجل تمثيل الأعمدة والجوائز، أما البلاطات فقد تم نمذجتها باستخدام عناصر (Shell Element) التي تجمع في سلوكها ما بين السلوك الانعطافي (bending behavior) والسلوك الغشائي (membrane behavior). اما مقطع العمود المختلط قتم تعريفه من خلال Section Designer. كما يبين الشكل (21) حيث صُمم المقطع المختلط بمقطع بيتوني مكافئ للمقطع البيتوني في المبنى البيتوني وصمم البروفيل المعدني بمساحة مساوية لمساحة التسليح الشاقولي الناتج من تصميم المبني البيتوني المسلح.



الشكل (20) منظور المبنى المدروس

Shape Properties - I/Wide Flange	
Name	ISection1
Material	A400
Color	
X Center	0
Y Center	0
Height	0.7
Top Width	0.17
Top Thick	8.000E-03
Web Thick	4.000E-03
Bot Width	0.17
Bot Thick	8.000E-03
Rotation	0

Shape Properties - Solid	
Name	Rectangle1
Material	C20/25
Color	
X Center	0
Y Center	0
Height	1
Width	0.3
Rotation	0
Reinforcing	No
Conc. Model	Mander-Unconfined

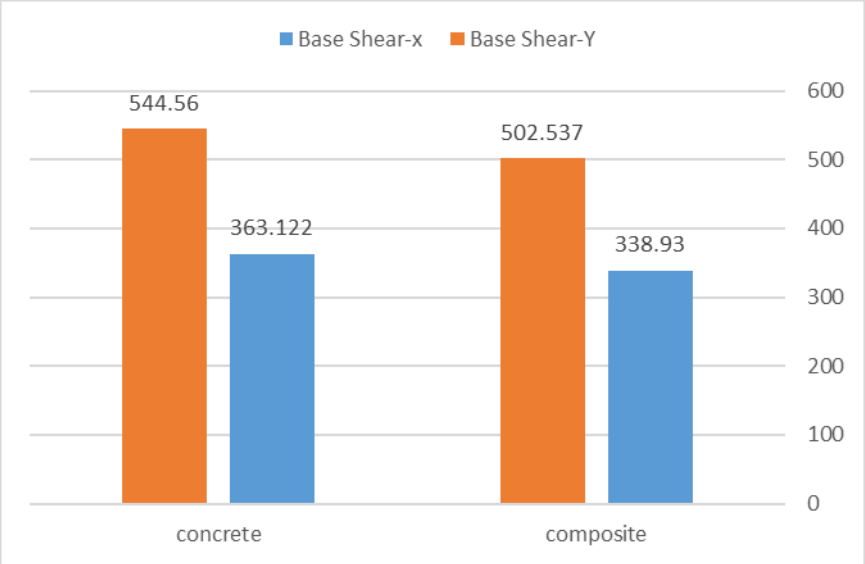


الشكل (21) مقطع العمود المختلط مع الخواص الهندسية (الأبعاد بـ m)

تمت عملية التحليل بحالتين: التحليل الستاتيكي المكافئ والتحليل باستخدام سجلين زلزاليين المتضمنين في برنامج التحليل المعتمد SAP2000 V20.

من أجل عملية المقارنة بين النموذجين تم اعتبار بعض المتحولات الناتجة مثل القص القاعدي، التسارع في أعلى المبنى والانتقالات الاعظمية.

القص القاعدي:



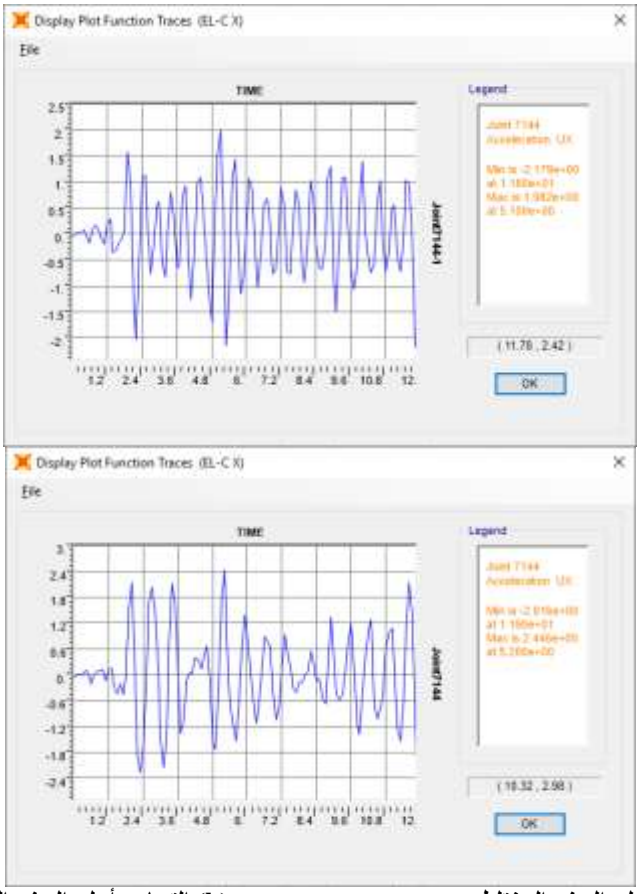
الشكل (22) القص القاعدي بتأثير زلزال السنترو بالاتجاهين

يبين الشكل (22) القص القاعدي للمبنى بالاتجاهين الأفقيين (x,y)، حيث نلاحظ أن الانخفاض في القص القاعدي قد بلغ 33% ، 32% في الاتجاهين x و y على الترتيب.

التسارع أعلى المبنى:

يحدد التسارع أو معدل التغير في السرعة النسبة المئوية من كتلة البناء أو الوزن الذي يجب التعامل معه كقوة أفقية ويرافق زيادة التسارع في المبنى زيادة في القوى الزلزالية المحدثة في مستوى الطوابق والتي يتم نقلها إلى الأساس عن طريق الأعمدة والجدران مسببة بقوى كبيرة في هذه العناصر بالإضافة إلى الحاجة لتصميم وصلات الأعمدة أو الجدران مع العناصر الأفقية بشكل جيد لتكون قادرة على نقل هذه القوى بشكل آمن، وهذا بدوره ينعكس على أداء المبنى الزلزالي.

حيث نلاحظ ازدياد التسارع الأعظمي في أعلى المبنى الذي يحوي في جملته الإنشائية على أعمدة بيتونية عما هو عليه للمبنى الذي يحوي اعمدة مختلطة، حيث بلغت قيمة الزيادة 33% للمبنى البيتوني مقارنة مع المبنى المختلط أجل زلزال El-centro كما يوضح لنا الشكلين (23 a,b).

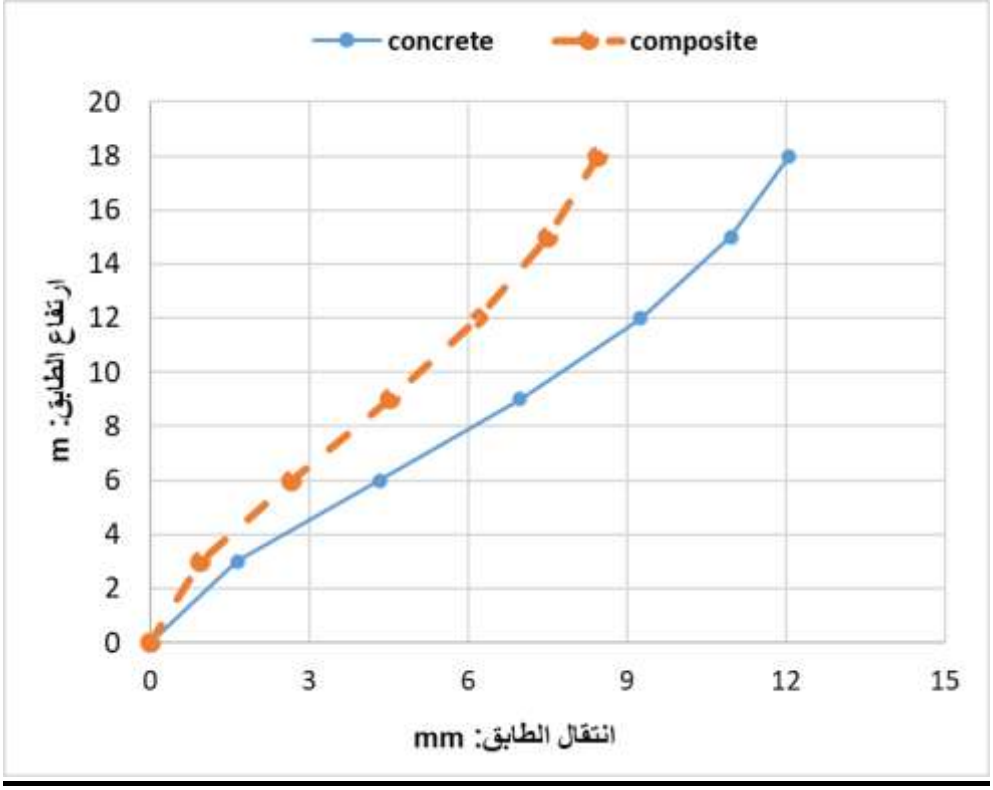


(a)التسارع أعلى المبنى المختلط **(b) التسارع أعلى المبنى البيتوني المسلح**

الشكل (23)

3-7 الانتقال الأفقي:

أما بخصوص الانتقالات الأعظمية الطابقية كما يبينه الشكل (24) فكانت نسبة الزيادة 42.8% في اعلى المبنى وبتأثير زلزال El-Centro مقارنة مع المبنى المختلط. يتضح من خلال المخطط البياني والذي يمثل انتقال العقد في الطوابق انخفاض في قيم الانتقالات على كامل الارتفاع في المبنى المختلط مقارنة مع المبنى البيتوني وهذا يدل على زيادة في صلابة عناصر المبنى المزود بأعمدة مختلطة مقارنة مثيلها من المبنى الاخر.



الشكل (24) الانتقالات الأفقية للمبنى البيتوني والمختلط

الاستنتاجات والتوصيات:

يوجد العديد من البارامترات التي تؤثر على السلوك الزلزالي للأعمدة المختلطة، وقد ركز البحث الحالي على دراسة تأثير بعض هذه البارامترات من خلال إجراء تحليل دفعي (Pushover) باستخدام برنامج ABAQUS لعشرين عموداً مختلطاً قُسمت إلى أربع مجموعات وفقاً للبارامترات المدروسة. نسبة سماكة المقطع المعدني إلى عرضه، قيمة إجهاد الخضوع للفولاذ ونسبة التحميل الشاقولي المترافق مع القوى الأفقية). فيما يلي تلخيص لأهم النتائج التي تم التوصل إليها:

- أبدت جميع الأعمدة المختلطة المدروسة سلوكاً مطاوعاً عند إجراء التحليل الدفعي لها.
- انخفضت قدرة تحمل الأعمدة المختلطة المدروسة بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة التحميل K، إذ حصل انخفاض بمقدار 68% عند زيادة النسبة K بمقدار 100%.
- أدت زيادة نسبة التحميل الشاقولي (بتأثير القوة الناظمية) إلى ظهور تلدن مبكر في الأعمدة المختلطة، حيث بدأ التلدن في فولاذ الأعمدة عند قوة قيمتها 6.85kN, 25kN والتي توافق قيم K مساوية لـ 0.25 , 0.5 على التوالي.
- ساهمت زيادة النسبة **f** (السماكة/عرض المقطع) في زيادة مقاومة الخضوع والمقاومة القصوى للعمود المختلط، حيث ازدادت المقاومة بمقدار 63% عند زيادة النسبة f بمقدار 100%.
- أدت زيادة إجهاد الخضوع للفولاذ – مع بقاء القوة الشاقولية ثابتة– إلى زيادة مقاومة الأعمدة، وقد تراوحت هذه الزيادة بين 158 % —21.

- بيَن هذا البحث أن سلوك الأعمدة المختلطة المدروسة كان أفضل من سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة المكافئة لها من حيث المقاومة العظمى والصلابة، حيث كانت مقاومة الأعمدة البيتونية المسلحة أقل بحوالي 72—59 % من مقاومة الأعمدة المختلطة الموافقة.
- أوضحت مقارنة سلوك مبنى مزود بأعمدة مختلطة مع نفس المبنى ومزود بأعمدة بيتونية مسلحة أن قيم القص القاعدي والتسارع الاعظمي وكذلك الانتقالات الجانبية قد انخفضت في المبنى المختلط بنسب 33%، 33%، 42.8% عما هي في المبنى البيتوني على الترتيب.
- نوصي في نهاية هذا البحث بالتوسع في دراسة العناصر المختلطة واستخدامها العملي كونها عناصر اقتصادية وأكثر مقاومة مقارنة مع العناصر البيتونية المسلحة.
- نوصي بدراسة التكلفة الاقتصادية للمبني المختلطة مقارنة مع المباني البيتونية المسلحة.

References:

[1]-JALAJA,M.,NANJUNDA,K.,SHYLAJA,N. Comparative Study On Seismic Behaviour Of Multi Storeyed Building With Composite And Conventional Columns, REVA, University, Karnataka, India, 2010.

[2]-VIDHYA,P., PURUSH,O. Comparative study on seismic analysis of multi-storied buildings with composite columns, IJERT, vol.6 issue India, 2017.

[3]-CHARANTIMATH. S. S., SWAPNIL.B. Comparative Study on Structural Parameter of R.C.C and Composite Building.Civil and Environmental Research, Vol.6, No.6, (Karnataka). India.2014.

[4] XILIN,LU.,WEIDONG,LU. Seismic Behavior of Concrete and Steel Composite Columns under Cyclic Loading. 12WCEE. Tongij University, China.2000.

[5] PRATHIBA,G.,SOUNDHIRARAJAN,K. Seismic Analysis of Composite Frames. Volume: 06 Issue: 05 |,(IRJET), May 2019. Page 4855.

[6]- ABAQUS, Version 6.14.2. *ABAQUS/Standard User's Manual* ABAQUS Inc., USA , 2014.

[7]- MATSUI,C., TSUDA,K., OZAKI, I. Strength of Slender Concrete Filled Steel Tubular Columns", *J. Struct. Cnstr. Eng.*, AIJ, No. 494, Japanese, 1997.

[8]- HAJJAR,J.F., GOURLEY,B.C. Representation of Concrete-Filled Steel Tube Cross-Section Strength, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.122, No.11, November 1996.

[9] EN 1994-1-1: Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures,2004.