

The Interaction Forces Between Frame and Shear Wall Parts of Optimally Designed Seismic Resistant High-rise Dual System R/C Building

Dr. Amjad Al Helwani*

Dr. Muneer Alatrash**

Ahmad Koukash***

(Received 8 / 9 / 2023. Accepted 13 / 11 / 2023)

□ ABSTRACT □

Dual systems are of high efficiency in resisting lateral loads under seismic events for high-rise reinforced concrete buildings. As the two parts perform the dual action and both have different deformation modes, the walls are stiffer than the frames and deforms in bending mode, while the frames restrain the shear wall in upper stories because they deform in shear mode. The resulted difference in deformation gives this system the adequate rigidity to resist lateral deformation along the building's height. But this interaction forces between the two parts might induce an extra demand on the sections of both parts and likewise the cost might rise. This research puts an assumption that as long as the design of the dual system is optimized under a cost objective function, the interaction forces between the two parts would decrease, and this might give several indications and design guides to be fulfilled when designing a dual system. Upon analytically modeling the dual system of this research and performing analysis to optimally design the building of it the results showed that the assumption is correct, and indeed the optimum design of this building gave the lowest interaction forces between the two parts.

Keywords: Interaction Forces, Dual Systems, Shear Walls, Moment Resisting Frames, Optimal Design, Cost Objective Function.

Copyright



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

* Assistant Professor, Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Earthquake Studies and Research, Damascus University, Damascus, Syria. a.helwani@damascusuniversity.edu.sy

** Associate Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.. m.alatrash@damascusuniversity.edu.sy

*** PhD Studnet, Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Earthquake Studies and Research, Damascus University, Damascus, Syria.. ahmad.koukah@damascusuniversity.edu.sy

دراسة القوى المتبادلة بين الجزء الإطاري والجزء الجداري في مبنى خرساني عال مصمم أمثلياً لمقاومة الزلازل ذو جملة ثنائية

د. أمجد الحلواني *

د. منير الأطرش **

أحمد كوكش ***

(تاريخ الإيداع 8 / 9 / 2023. قُبِلَ للنشر في 13 / 11 / 2023)

□ ملخص □

الجملة الثنائية ذات كفاءة عالية في تحمل القوى الأفقية تحت تأثير أحمال الزلازل ومن أجل ارتفاعات شاهقة للأبنية الخرسانية المسلحة. باعتبار أن الجملة الثنائية تتألف من جزئين مختلفين من حيث شكل التشوه، جدار القص الذي يتشوه عزمياً بشكل ظفر موثوق من الأسفل، والإطار المقاوم للعزوم الذي يتشوه بشكل قصي مما ينتج عن هذا الإخلاف قوى متبادلة بين الجزئين. هذه القوى المتبادلة قد تؤدي بالمحصلة إلى ظهور قوى بينية بينهما تؤدي بالمحصلة إلى زيادة الطلب على مقاطع كلا الجزئين الإطاري والجداري. وهذا بدوره سيرفع من كلفة البناء. وانطلاقاً من هذه الفرضية يمكن القول بأن أمثلة تصميم البناء الخرساني العالي ذو الجملة الثنائية من ناحية الكلفة وبالتالي المقاطع المثلى يمكن أن يؤدي بالنتيجة إلى قوى متبادلة بين الجزئين الإطاري والجداري أن تصبح بعدها الأدنى ولذلك دلائل مهمة أثناء تصميم هذا النوع من المنشأ. تم في هذا البحث أمثلة تصميم بناء مفترض ذو 20 طابقاً وتم الحصول على المقاطع المثلى التي أعطت أوفر التصاميم، حيث تابع الهدف (الكلفة) أصغري مع تحقق كافة الشروط التصميمية الموضوعية. وباستنتاج القوى المتبادلة بين الجزئين للمبنى المصمم أمثلياً تبين أن الفرضية التي تم طرحها صحيحة ويمكن التوسع فيها من أجل أبنية ذات مساقط مختلفة أخرى.

الكلمات المفتاحية: القوى المتبادلة - الجملة الثنائية - جدران قص - إطارات مقاومة للعزوم - التصميم الأمثل - تابع الكلفة.

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

CC BY-NC-SA 04

* مدرس، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

a.helwani@damascusuniversity.edu.sy

** أستاذ، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

m.alatrash@damascusuniversity.edu.sy

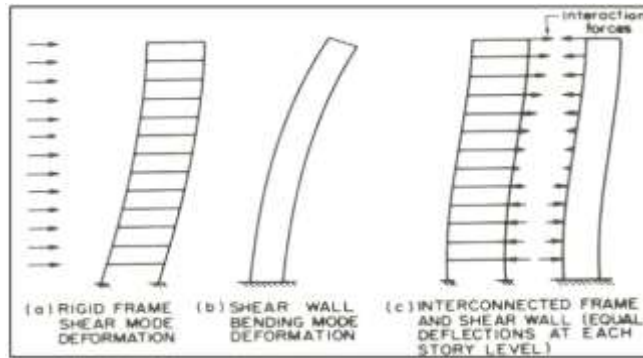
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

ahmad.koukash@damascusuniversity.edu.sy

مقدمة:

النظام الثنائي هو نظام إنشائي يعتمد بشكل أساسي على هيكل إطاري يؤمن حمل الأوزان الشاقولية للمنشأ بجميع أشكالها ، وتكون المقاومة الجانبية مؤمنة عن طريق إطار خاص مقاوم للعزوم ذو اشتراطات خاصة بالإضافة إلى جدران قص (أو إطارات مربطة جانبياً). في النظام الثنائي جدران قص - إطارات عزمية للأبنية المقاومة للزلازل يجب تحقيق المتطلبات التالية: 1- يتم دعم أحمال الجاذبية الأرضية الشاقولية بشكل أساسي عن طريق العناصر الشاقولية للإطارات (الأعمدة). 2- الحمولات الأفقية يتم مقاومتها عن طريق الفعل التبادلي بين الإطارات العزمية وجدران القص. إن مساهمة كلا الجزئين الإطاري والجداري في تحمل القوى الأفقية الناتجة عن الحمولات الزلزالية أو الرياح والعواصف يجعل نسبة توزيع المقاومة بين هذا الجزئين من العوامل المؤثرة في تصميم هذا النظام ككل. وإن قساوة كل جزء منهما إضافة إلى معامل مرونة مادته والمطاوعة التي يتمتع بها وقابلية تشكيل مفاصل لدنة، كل ذلك يساهم في تشكيل قوة القص التي تتوزع في كل جزء منهما. الإطارات المقاومة للعزوم من هذين الجزئين (الإطاري الجداري) يمكن أن تكون من مادة الفولاذ أو البيتون المسلح مبدئياً. ولكن الإطارات البيتونية المقاومة للعزوم المتوسطة (Intermediate) لا يتم استخدامها في المناطق الزلزالية 3 أو 4. الجزء الإطاري المقاوم للعزوم من الجملة الثنائية يجب أن يكون قادراً تصميمياً على مقاومة 25% كحد أدنى من القص القاعدي. والجزئين الإطاري والجداري يجب أن يتم تصميمهم بحيث يقاوموا القوى الجانبية الكلية وينسب توزع تتناسب مع قساوتهم النسبية. في الأنظمة الثنائية كلا الإطارات وجدران القص يجب أن يساهم في مقاومة الحمولات الأفقية. حيث يتألف الجزء الإطاري من مجموعة من الأعمدة والجوائز متصلة فيما بينها عن طريق عقد صلدة، وبالتالي يتشوه الإطار تحت تأثير العزم (من الحمولات الأفقية) بشكل قصي، بينما يتشوه جدار القص بشكل عزمي كظفر موثوق بالأرض. وكمحصلة للاختلاف في خصائص التشوه بين الجزئين سيؤدي تشوه الإطار إلى شد الجدار في أعلى البناء. بينما سيؤدي تشوهه إلى دفع الجدار في الجزء الأسفل. تحديداً سيساهم الإطار بمقاومة القوى الأفقية في الجزء الأعلى من البناء، مما قد يؤدي إلى كبر مقاطع الأعمدة في الجزء العلوي من الإطار أكثر من الحاجة التي تكفي لمقاومة الحمولات الشاقولية. ومن ثم سيقاوم الجزء الجداري معظم القوى الأفقية في الجزء الأسفل من البناء. بالتالي توزع القوى الأفقية في الجزء العلوي يعتمد على صلابة الجزء الإطاري. الذي سيعمل كمسند بسيط يسند الجدار في أعلاه من غير أن يمنع حركته الأفقية. وبالطرف السفلي من الجدار سيكون موثوقاً إلى الأرض. يمكن استنتاج أو قراءة الفعل المتبادل بين الجزئين الإطاري والجداري على طول الجدار وخصوصاً في أعلى الجدار لكي يتسنى لنا معرفة دور كل جزء من الجزئين في المساهمة بتحمل القوى الأفقية الناجمة عن الزلازل. جدران القص في بعض الحالات تكون أفسى بكثير من الإطارات وبالتالي تمتص معظم القوى الأفقية. وفي هذه الحالات يتم إهمال مساهمة الإطارات Mishra, R., & Dwivedi, A. K. (2016) ، ولكن نظراً لتطور البناء نحو الأعلى وسعي الإنسان للحصول على أبنية عالية أكثر من أي وقت مضى، يصبح الفعل المتبادل بين الإطارات والجدران أكثر أهمية. عندما يكون البناء عالٍ بشكل كبير، يصبح تشوه الجدران العزمي متزايداً بشكل كبير في الأجزاء العلوية وبالتالي نحن بحاجة إلى الإطارات التي تقلل من التشوهات مع هذا الارتفاع الشاهق. ولكن مع تشوه الإطارات الكبير نسبياً عند القاعدة ، وهذين الأثرين المتبادلين والمتعاكسين بين الجدار والإطار يجعل من التكامل بينهما مثالياً من أجل الحصول على أبنية عالية وذات تشوه متحكم به بنفس الوقت. الفعل المركب للمنشأ الثنائي يؤدي إلى تقييد جدران القص في الطوابق العليا، ويؤدي بجدران القص إلى أن تقوم بدورها بتقييد الإطارات في الطوابق السفلى. ومنه

يؤدي ذلك إلى تخفيف التشوه وتحسين فعالية النظام الثنائي بشكل متكامل. يبين الشكل التالي التشوه قصي الشكل للإطارات والتشوه عزمي الشكل (ظفري) لجدران القص.



الشكل (1): يوضح أنماط التشوه الخاصة بكل من الجزيئين الإطاري (تشوه قص) والجداري (تشوه عزمي ظفري) والقوى المتبادلة بينهما

Mishra, R., & Dwivedi, A. K. (2016)

القوى المتبادلة بين جدران القص والإطارات: عندما تحوي المباني العالية جدراناً تشوهية. جدران وإطارات من أجل مقاومة القوى الأفقية. فإن تشوه الجدران العزمي تحت تأثير هذه القوى الأفقية يختلف عن تشوه الإطارات القصي في نفس البناء. من وظائف هذا النظام هو زيادة القساوة الجانبية. وباعتبار أنه التشوه متساو بين جدران القص والإطارات في كل مستوى طابقي، يحصل هناك تبادل بالقوى بين الجزيئين وهو ما يسمى القوى المتبادلة جدران قص - إطارات. إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو دراسة تغير مقدار المجموع "بالقيمة المطلقة" للقوى المتبادلة بين الجزء الإطاري والجزء الجداري في الجملة الثنائية في النموذج المدروس بشكل خاص، لمعرفة ما علاقة ذلك بالتصميم الأمثل لهذا النظام الثنائي حيث يبدو من المنطقي افتراض أن القوى المتبادلة ستكون في حدها الأدنى في الجمل الأكثر اقتصادية. وهي نتيجة يمكن تعميمها على جمل ثنائية أخرى في دراسات مستقبلية.

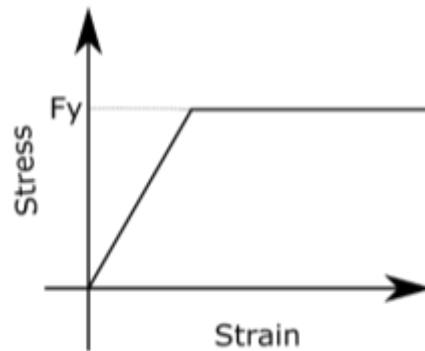
1. التصميم الأمثل للمباني ذات الجمل الثنائية:

تُعد الأبحاث والدراسات في مجال التحليل العددي والحوسبة العلمية بتطوير خوارزميات عديدة وتحليلها، وتنفيذ هذه الخوارزميات على بنى حاسوبية حديثة، واستخدام الطرائق العددية مترافقةً مع النمذجة الرياضية لحل مسائل عملية واسعة النطاق. هناك بعض الأبحاث المنشورة بخصوص التصميم الزلزالي لجدران القص البيتونية المسلحة قام بها Wallace (1995a, 1995b) حيث قدم فيها مواصفات جديدة للتصميم الزلزالي للجدران البيتونية المسلحة، أيضاً طريقة توضح كيفية التصميم المبني على الأداء تتعلق بالجدران البيتونية قام باقتراحها (Sasani 1998). وغيرهم (Boulaouad and Amour 2011) قاموا بتقديم طريقة تصميم زلزالي مبنية على الإنتقالات للمنشآت البيتونية المسلحة. قام (Kowalsky 2001) أيضاً بتقديم تصميم للجدران الإنشائية المسلحة استناداً إلى كود الـ UBC والطرق المعتمدة على الإنتقالات. هناك الكثير من الباحثين اللذين اهتموا بالتصميم الأمثل للمباني على الزلازل، إلا أنه لا يوجد الكثير من الدراسات حول التصميم الأمثل لجدران القص أو الجمل الثنائية جدران - إطارات التي تتضمن مواصفات التصميم الزلزالي الحديثة خصوصاً تحت تأثير تحليل لا خطي تأريخ زمني Nonlinear Time History Analysis. قام Saka (1991) باقتراح تصميم أمثل للمنشآت متعددة الطوابق ذات جدران القص وذلك بتقديم خوارزمية تأخذ بعين الإعتبار الإنتقالات، القوى المحورية القصوى وعزوم الإنعطاف، بالإضافة إلى حدود للأبعاد الصغرى الممكنة ومعالجة

مثلى لتحديد الإنتقالات الجانبية. أيضاً قام (Fadaee and Grierson 1998) باستكمال تصميم أمثلي لمبنى بيتوني مسلح ثلاثي البعد يحتوي على جدران قص. قام أيضاً (Camp etal 2003) بتطوير إجراء للتصميم يستخدم خوارزمية وراثية Genetic Algorithm من أجل الأمثلة المتقطعة للإطارات البيتونية المسلحة، يقصد هنا بالمتقطعة أي التي تأخذ قيمة محددة منتهية كمتحولات تصميمية من مجال قيم محدد الطرفين. وكان الهدف هو تخفيض المواد وكلف الإنشاء إلى الحد الأدنى لمبنى عرضة للمتطلبات الأساسية الواردة في كود الـ ACI. أيضاً قام Lee and Ahn (2003) بتوظيف قواعد بيانات للجوائز والأعمدة ثم قاموا بتصميم الإطارات البيتونية المسلحة على الإنعطاف عن طريق خوارزمية وراثية. قام (Kwak and Kim 2008) بتطبيق تصميم أمثلي للإطارات ثنائية البعد البيتونية المسلحة استناداً إلى قاعدة بيانات للمقاطع حددت سلفاً. أيضاً قام (Zou and Chan 2005) بتطبيق تقنية لتعديل أبعاد أمثلي على الأبنية البيتونية وفق تصميم إزاحة ديناميكية تحت أحمال طيف الإستجابة و تحميل تاريخ زمني time history loading. قام (Kaveh and Sabzi 2011) باستكمال دراسة مقارنة بين خوارزميتين meta-heuristic وهما heuristic big bang-big crunch (HBB-BC) والأخرى heuristic particle swarm ant colony optimization (HPSACO) في تصميم أمثلي متقطع للإطارات البيتونية المسلحة بناءً على كود الـ ACI 318-08. أيضاً قام (Kaveh and Zakian 2012) بتقديم مسألة أمثلة للتصميم الأمثل الزلزالي المبني على الأداء وذلك من أجل جدران القص البيتونية المسلحة الخاصة باستخدام خوارزمية نظام البحث المشحون (Charged System Search method). تم ذلك أولاً بتوليد قاعدة بيانات لمقاطع جدران القص وذلك للأمثلة المتقطعة. إن طريقة Nelder-Mead method هي طريقة رقمية تجريبية Heuristic للبحث يطلق عليها أيضاً Downhill simplex method و أيضاً Amoeba method أو حتى Polytype method تستخدم من أجل إيجاد القيمة الأكبر أو الأصغر لتابع هدف في فضاء متعدد الأبعاد. وبالتالي هي طريقة مباشرة في البحث تبنى على مقارنة قيم التابع وغالباً ما تستخدم في مسائل الأمثلة اللاخطية والتي لا يمكن إيجاد مشتقات تابع الهدف لها.

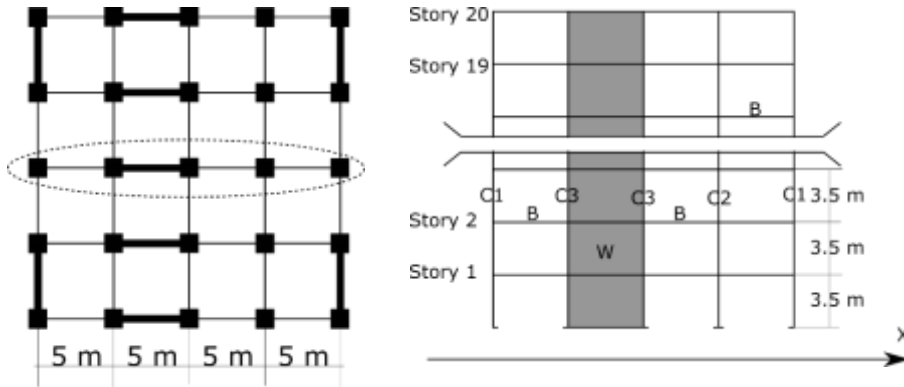
1.1. النموذج المدروس:

تم اختيار النموذج المدروس كأحد المستويات الشاقولية المتكررة من مبنى يحوي إطارات مقاومة للعزوم ترتبط مع جدار قص من أجل تحقيق العمل الثنائي في نظام مقاوم للزلازل لبناء مؤلف من 20 طابقاً الإرتفاع الطابقي فيه 3.5 m ومؤلف من 4 فتحات طول الفتحة 5. m وبحسب الطبيعة ثنائية البعد للحمولات المطبقة والسلوك الناتج فقد تم اعتبار سلوك هذه الجملة تحت تأثير التحريض الزلزالي حركة انسحابية باتجاه x مع إهمال أثر الفتل عليها. تم اعتماد متحولات التصميم لهذا المبنى بحيث تبقى أبعاد الأعمدة والجوائز وسماكة جدران القص ثابتة على كامل ارتفاع المبنى.



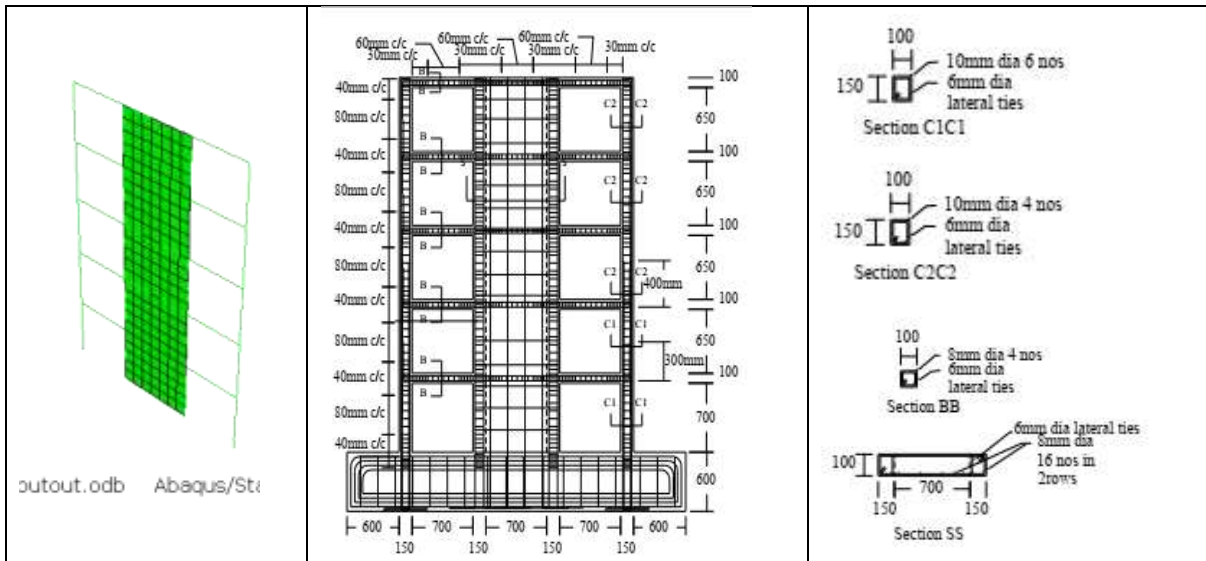
الشكل (2): سلوك مادة البيتون EPP لمادة بيتون المسلح المستخدمة في النموذج

تم اختيار ثلاثة مقاطع مختلفة للأعمدة بحسب توأجدها ضمن المسقط (C1,C2,C3) ومقطع وحيد لجميع الجوائز (B) ومقطع وحيد للجدران (W). أيضاً تم تزويد كل عقدة جوائز عمود بكتلة مجمعة عبارة عن الأوزان الذاتية للبلاطة والتغطية بالإضافة إلى الحمل الميت المضاف (Super Imposed) تمثل الحمولات القادمة من مساحة التحميل التي يدعمها العمود عند هذه العقدة. زودت عقد الأعمدة الطرفية بكتلة مجمعة مقدارها 10 ton عن كل طابق و الأعمدة الوسطية بكتل 20 ton عن كل طابق.



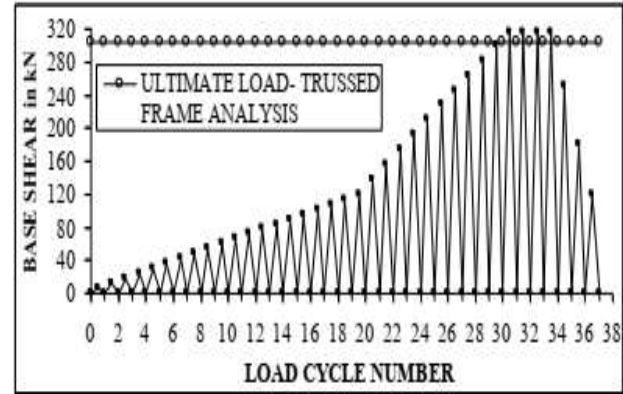
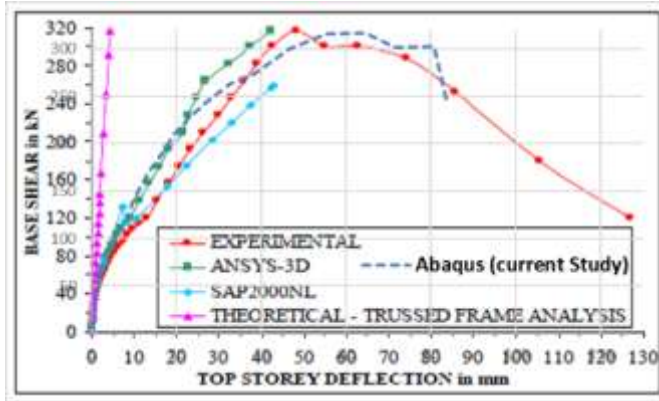
الشكل (3): يسار: المسقط الأفقي للمبنى المأخوذ منه الإطار المدروس ، يمين: مسقط واجهة للإطار المدروس مع المتحولات التصميمية للمسألة

تم تحليل النموذج بشكل ديناميكي لاخطي عبر سجل تأريخ زمني لتسارعات تحريض أسفل قاعد البناء جميعها من خلال برنامج Abaqus حيث تمت نمذجة المبنى أولاً عن طريق برنامج Abaqus بعناصر خطية Wire للعناصر ذات الطول الكبير بالنسبة لمقطعها (أعمدة وجوائز) من نوع B31 (Timoshenko Beam). واستخدمت مادة الببتون كمادة مرنة - لدنة (Elastic Perfectly Plastic) بمقاومة مميزة $f'c = 30 \text{ Mpa}$ الشكل (2) وفولاذ التسليح $f_y = 400 \text{ Mpa}$.



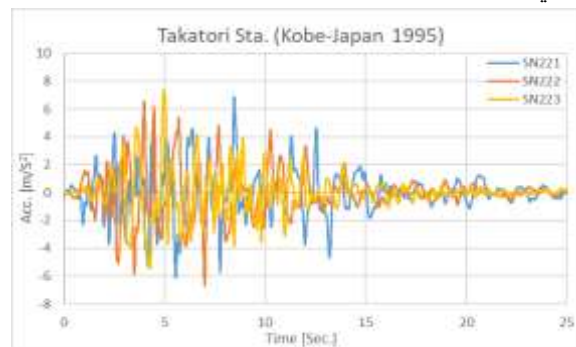
الشكل (4): يمين + وسط: التجربة المخبرية الخاصة بـ (Devi, G. N. (2013) - يسار: نمذجة التجربة عن طريق برنامج Abaqus

أما عن كثافة شبكة العناصر المحدودة للأبنية Mesh فقد قسمت الجوائز والأعمدة إلى خمسة عناصر على الأقل لكل عمود أو جائر. للتحقق من دقة النمذجة للمبنى الذي سنعمل على أمثلته لاحقاً تم أولاً عمل نموذج تحليلي يوافق التجربة المخبرية التي قام بها (Devi, G. N (2013) والمقارنة مع نتائجها لمعرفة مدى تطابق النتائج التحليلية التي هي مخرجات العمل النمذجي في هذا البحث مع مخرجات التجربة المخبرية. حيث تمت نمذجة التجربة كنموذج تحليلي وفق ما سبق شرحه.



الشكل (5): يمين: بروتوكول التحميل لتجربة (Devi, G. N (2013) - يسار: مخططات التجربة والنمذجة السابقة ومقارنتها مع النمذجة الحالية

بعد عدة محاولات تضمنت التحكم ببرامترات المواد المستخدمة ومعايرة النموذج ليتوافق مع التجربة ، نتج لدينا السلوك الأقرب للنموذج التحليلي (Abaqus current study) مقارنة مع نتائج تجربة (Devi, G. N (2013). من الشكل (5) يبدو جلياً أنه وتحت تأثير نفس الأحمال التي استخدمت في تجربة (Devi, G. N (2013) أتت نتائج النمذجة من خلال برنامج Abaqus (الخط الأزرق المتقطع) متقاربة بشكل جيد مع مخطط التجربة المخبرية (خط أحمر ذو دائرة مطموسة). ومنه نستطيع أن نبرر دقة النموذج المستخدم في هذا البحث للتحليل تحت تأثير الأحمال الجانبية المطبقة عليه. رغم ما يميز التحليل الاستاتيكي اللاخطي للأبنية من سرعة الوصول إلى النتائج التي غالباً ما تكون عالية التطابق مع النتائج التي يمكن الحصول عليها بتحليل تاريخ زمني ديناميكي لاخطي - Nonlinear Time- History Analysis, Freeman (1978) إلا أن التحليل الاستاتيكي قد لا يكون بالفائدة المرجوة في حال وجود عدم انتظام من جهة، أو ارتفاعات كبيرة للأبنية يكون بنتيجتها دور بارز لأنماط الاهتزاز العليا في تجاوب المبنى مع التحريض الزلزالي المطبق عليه. لذلك تم اعتماد التحليل الديناميكي اللاخطي التاريخ الزمني لشمولية نتائجها ودقتها. واختير التحريض الزلزالي من سجلات تسارعات زلزال Kobe الذي وقع في اليابان عام 1995 وتحديداً الهزات المسجلة في محطة Takatori وهي SN221 و SN222 و SN223.



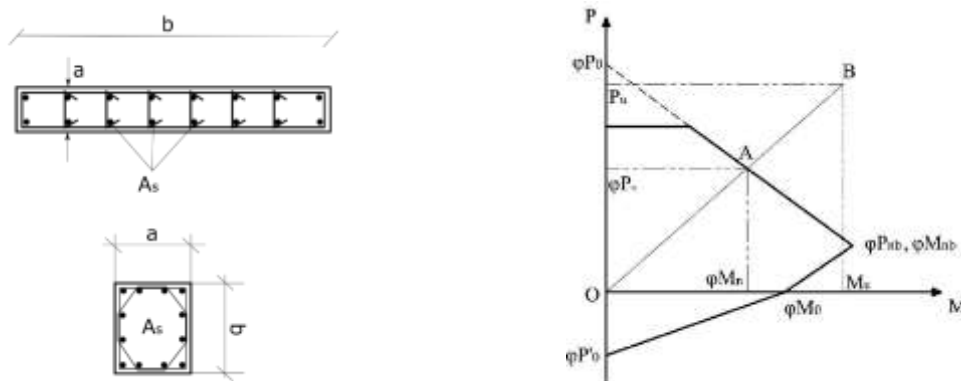
الشكل (6): السجلات الزمنية للتسارعات الزلزالية المستخدمة في التصميم الديناميكي اللاخطي

1.2. عناصر عملية الأمثلة:

تتلخص عناصر عملية الأمثلة للتصميم الإنشائي بتحديد متحولات (برامترات) التصميم المراد تعديلها بشكل دوري من ضمن عملية الأمثلة من أجل الوصول إلى النموذج الأمثل الذي يحقق جميع الشروط التصميمية مع وصول تابع الهدف (تكلفة الإنشاء) إلى قيمته الدنيا. أيضاً من ضمن عناصر الأمثلة هو تابع الهدف المنشود والذي استخدمت فيه تكلفة إنشاء الهيكل الإنشائي (جدران قص - أعمدة - جوائز) والمراد تخفيضه إلى الحد الأدنى الممكن الذي يعتبر فيه المنشأ أمثلياً (الأكثر اقتصادية مع الأمان المفروض من قبل شروط التصميم). أما العنصر الثالث فهو الاشتراطات التصميمية والتي يجب أن يتم تحقيقها لكي يتحقق مستوى الأمان والخدمة المفروضة في المنشأ وفق الكودات (الكود العربي السوري) التي تملّي هذه الشروط والتي من ضمنها تحديد حدوداً دنياً وعلياً للأبعاد ونسب التسليح والإنقال من طابق إلى آخر نحو الأعلى. الجدول التالي يوضح الاشتراطات المبنية على نتائج التحليل التي يتم التحقق منها في كل دورة أمثلة:

الجدول (1): الشروط الواجب تحققها خلال عملية الأمثلة

ملاحظات	الصيغة	الوصف	تسلسل الشرط
انظر الشكل (7)	$L_{OB}/L_{OA} < 1$	تحقيق الأعمدة لشروط مخطط الترابط	1
ACI	$Mu^+/Md < 1$	تحقيق العزم الموجب الأعظمي للجوائز	2
ACI	$Mu^-/Md < 1$	تحقيق العزم السالب الأعظمي للجوائز	3
ACI	$DR_{max}/0.02 < 1$	تحقيق نسبة الإزاحة الجانبية العظمي في أي طابق	4
California Administrative code (4.3.6) 2019	$1.2 M_{nb}/M_{nc} < 1$	تحقيق نظرية جانز ضعيف - عمود قوي	5



الشكل (7): يمين: شرط الضغط اللامركزي في الأعمدة - يسار: مقاطع العناصر الإنشائية والبرامترات المستخدمة في حساب علاقات تابع الهدف

بالتالي وبحسب مواصفات المبنى و متحولات الأمثلة التي تم توضيحها في الشكل (3) يتم حساب تابع الكلفة للمنشأ المدروس وفق المعادلات التالية لكل عنصر:
العمود مع الكوفراج:

$$ulc_{column} = \alpha_1 \cdot A_S \cdot \gamma_S \cdot UCS + a \cdot b \cdot UCC + 2(a + b) \cdot UFC_{Column} \quad (1)$$

الجائز مع الكوفراج:

$$ulc_{beam} = [2 \times \alpha_2 \cdot A_{S_{End}}^- + (1 - 2\alpha_2) \cdot A_{S_{Mid}}^+] \cdot \gamma_S \cdot UCS + a \cdot b \cdot UCC + (a + 2b) \cdot UFC_{beam} \quad (2)$$

الجار مع الكوفراج:

$$Ulc_{wall} = \alpha_3 \cdot A_{sw} \cdot \gamma_S \cdot UCS + a \cdot b \cdot UCC + 2b \cdot UFC_{wall} \quad (3)$$

في هذه العلاقات أيضاً تم الاستعانة بالعلاقات التصميمية المقترحة من قبل (Wight and Macgregor (2012) والتي توضح كيفية حساب كلفة المتر الطولي من المقطع العرضي لأي عنصر مواصفاته الهندسية واردة في العلاقة حيث a, b تدل على أبعاد المقطع As هي مساحة تسليح المقطع γ_S الوزن النوعي للفولاذ، $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ عوامل أطوال تماسك قضبان الفولاذ. تم اتخاذ كلف اعتبارية من السوق العالمية للمواد الداخلة في العلاقات السابقة وبشكل وسطي اعتماداً على الأسعار العالمية وتم تثبيت كلفة وحدات الكمية من المواد وقوالب الصب على الشكل التالي:

جدول (2) كلفة الواحدة في عناصر البناء

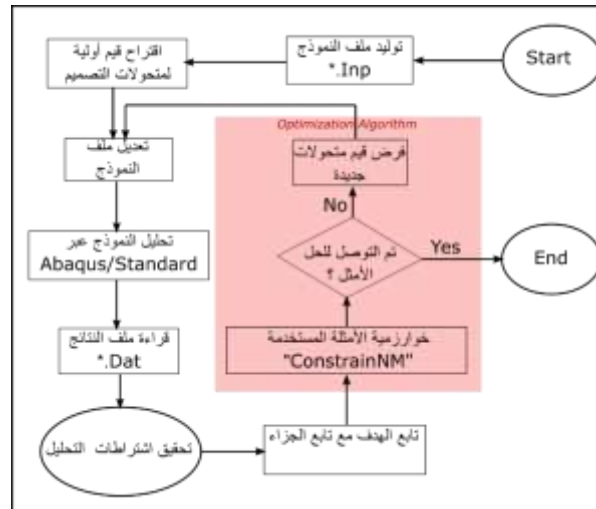
البند	رمزه	قيمة الواحدة
فولاذ	UCS	1 \$/Kg
بيتون	UCC	67 \$/m ³
كوفراج عمود	UFC_{column}	20 \$/m ²
كوفراج جدار	UFC_{wall}	20 \$/m ²
كوفراج جائز	UFC_{beam}	28 \$/m ²

ولحساب قيمة تابع الكلفة كاملة تحسب كلفة كل مقطع بحسب العلاقات الثلاثة السابقة ثم يتم ضرب كلفة كل مقطع محسوب بعدد العناصر التي لها هذا المقطع وضربها أيضاً بطول هذه العناصر بحث يتم احتساب كلفة جميع العناصر التي حسبت كلفة مقطعيها وبعد ذلك يتم تجميع هذه الكلف جميعاً بمقدار واحد سيمثل تابع الهدف لعملية أمثلة التصميم.

1.3. آلية عمل برنامج الأمثلة:

من أجل أتمتة عملية الأمثلة بحيث يتم تعديل نموذج Abaqus للبناء بشكل تلقائي وتحليله واستخراج النتائج منه ، استخدمت لغة البرمجة Python في كتابة برنامج Code يقوم بالمهام التالية:

عند البدء (Start) استدعاء ملف النموذج للمبنى - تعديل البرامترات التصميمية الخاصة بالمقاطع العرضية لجميع الأعمدة والجدران والجوائز ضمن الملف - تحليل النموذج عن طريق برنامج Abaqus - استخراج النتائج وقرانتها - التحقق من شروط التصميم من خلال معالجة مخرجات التحليل من انتقالات وقوى مقطعية وعزوم وغيره - حساب تابع الهدف الذي هو كلفة العناصر المستخدمة في النموذج إضافة إلى حساب تابع الجزء في حال تم إختراق أي من شروط مخرجات التحليل - إعادة قيمة تابع الهدف والجزء إلى خوارزمية الأمثلة - قيام الخوارزمية بتوقع قيم جديدة للبرامترات التصميمية الخاصة بالمقاطع والعودة إلى الخطوة الثانية من هذه الحلقة وهكذا وصولاً إلى النهاية (End). الشكل (8) يوضح المهام المنجزة ضمن البرنامج بشكل انسيابي.

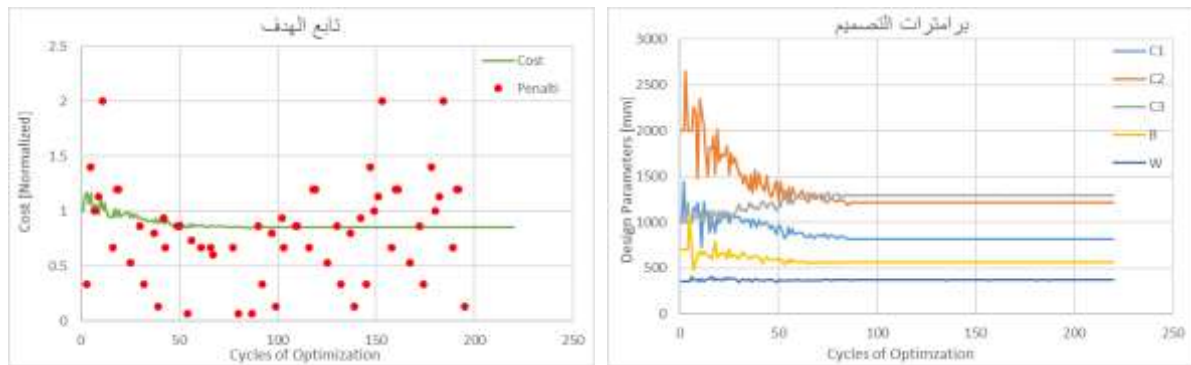


الشكل (8): مخطط عمل برنامج البايثون لربط التحليل في برنامج Abaqus مع خوارزمية الأمثلة المأخوذة من مكتبة (ConstrainNM)

النتائج والمناقشة:

2. نتائج عملية الأمثلة ومخرجاتها:

تم الوصول لنهاية عملية الأمثلة بتوقف الخوارزمية تلقائياً بعد أن عجزت عن تصغير تابع الهدف المقترح أكثر مع المحافظة على تحقيق جميع الشروط التصميمية. وبذلك يمكن القول أن الخوارزمية قد أدت مهمتها بالوصول إلى التصميم الأمثل للبناء المقترح في هذه الدراسة. الشكل (9) يبين كيفية تطور قيم برامترات التصميم وتابع الهدف مع اختراق الاشتراطات التصميمية أحياناً (النقاط الحمراء في مخطط تابع الهدف) خلال عملية الأمثلة عبر دورات التحليل المتعاقبة وصولاً إلى استقرار برامترات التصميم وتابع الهدف بقيمته الأدنى التي لم تستطع خوارزمية الأمثلة تصغيرها أكثر من ذلك.



الشكل (9): يمين: قيم متحولات التصميم خلال عملية الأمثلة - يسار: قيم تابع الهدف وحدوث اختراقات لشروط التصميم خلال عملية الأمثلة.

من أهم نتائج عملية الأمثلة هو التعرف على البرامترات التي أدت إلى التصميم الأدنى لكلفة والمحقق لجميع اشتراطات التصميم الموضوعية ومن ثم دراسة هذا التصميم الفريد وخصوصاً موضوع القوى المتبادلة بين الجزء الإطارى والجزء الجداري فيه لتحقيق غاية هذا البحث ومن ثم مقارنتها مع القيم المتعددة التي ظهرت في كل دورة أمثلة على كامل عملية الأمثلة. الجدول التالي يوضح القيم المثلى بالمقارنة مع القيم الإبتدائية.

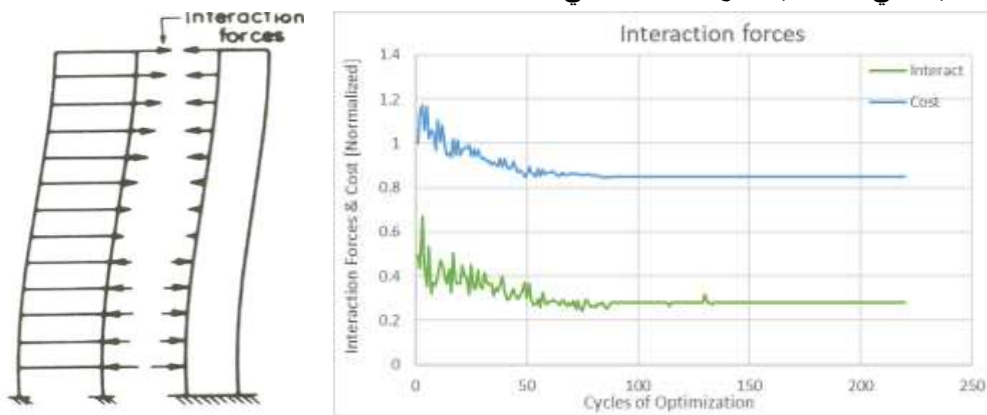
الجدول(3): قيم متحولات التصميم المؤتملة

البرامتر	القيمة الابتدائية	القيمة النهائية
C1 [mm]	1000	818.30
C2 [mm]	2000	1213.30
C3 [mm]	1000	1295.89
B [mm]	700	559.32
W [mm]	350	367.20
تابع الهدف [Normalized]	1	0.85

علماً أن القيمة النهائية تعكس البعد في المقطع العرضي الذي تم استخدامه كمتحول في عملية الأمثلة حيث أنه تم ربط البعد الآخر للمقطع بهذا المتحول بعلاقة $\frac{1}{2}$ إلى 1 أي مقاطع العناصر جميعها مستطيلة بنسبة 1 إلى 2.

2.1. القوى المتبادلة العظمى بين الإطار والجدار :Maximum Interaction Forces

إن القوى المتبادلة بين الإطار والجدار تم أخذها بين كل من الجزء الإطاري والجزء الجداري عند نقاط الترابط بينهما في مستويات الطوابق وهي ذات إشارات مختلفة قد تكون قوى ضغط أو شد على يمين ويسار الجدار نتيجة التفاعل بين الجدار والإطار. وإن تقييمها بشكل صحيح سيتم باحتساب المجموع الكلي للقوى بالقيمة المطلقة من الطابق الأول ولغاية الطابق العشرين على طرفي الجدار. وحيث أن سلوك المنشأ ديناميكي تحت تأثير تحريض زلزالي تاريخ زمني Time-History يكون لدينا قيم لمجاميع القوى هذه بعدد التقسيمات الزمنية التي مر بها تحليل النموذج خلال التحريض المفروض عليه. وبالتالي يجب المقارنة بين جميع هذه المجاميع لجميع التقسيمات الزمنية ثم اعتماد أكبرها كمثل للقوى المتبادلة العظمى ما بين الجدار والإطار في الدورة التحليلية الواحدة. الشكل التالي يوضح استجابة هذه المجاميع العظمى للقوى المتبادلة على طول فترة التحريض الزلزالي والذي يستخرج كقيمة وحيدة يتم ربطها مباشرة مع رقم دورة التحليل التي نتجت فيه عبر المخطط التالي:



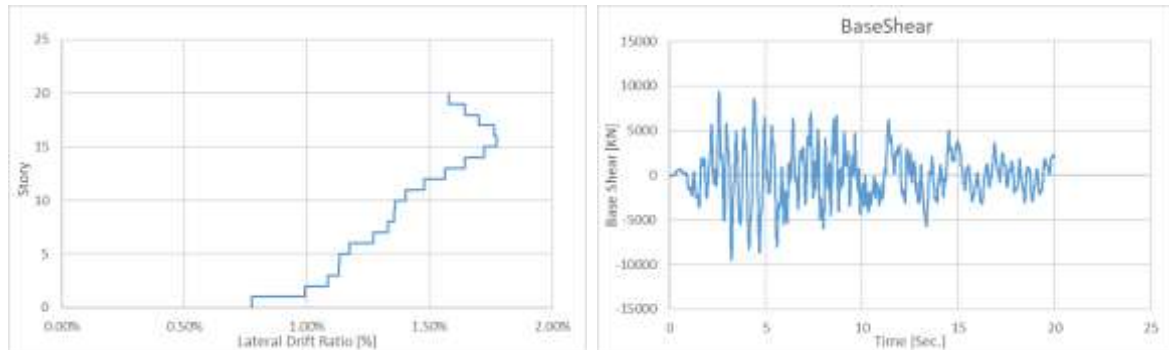
الشكل (10): قيم مجموع القوى المتبادلة العظمى بين الجزء الإطاري والجزء الجداري لكل دورة تحليلية على كامل عملية الأمثلة

تم رسم مخطط تغير القوى المتبادلة ما بين الجزء الإطاري والجداري عبر دورات تحليل المنشأ أثناء أمثله خطوة خطوة لدراسة تغير هذه القوى عبر عملية الأمثلة وصولاً إلى القيمة الأمثل. وبما أن الشكل (10) يمثل هذا المخطط مرسوماً إلى جانب تابع الهدف الذي هو كلفة المنشأ إذا من السهل ملاحظة أن الفرضية التي انطلق منها البحث وهي أن القوى المتبادلة العظمى تبلغ حدها الأدنى عندما يكون تصميم المنشأ بشكل أمثلي قد تحققت من سلوك القوى المتبادلة

المنخفض مع انخفاض تابع الهدف. إذ يبدو واضحاً من الشكل (10) أن مقدار القوى المتبادلة (المجموع الأكبر للقوى المتبادلة بين الجزئين) يتناقص بحيث يصبح 56.83% من قيمته الابتدائية بمقابل تناقص تابع الهدف ليصبح 85.06% من قيمته الابتدائية. كانت القوى المتبادلة تتخفف بشكل مستمر خلال تطور عملية الأمثلة ليرافق ذلك مع انخفاض مستمر لتابع الهدف (الكلفة Cost) مما يعكس صحة الفرضية التي دار حولها البحث وهي أن القوى المتبادلة في الجملة الثنائية بين الإطارات والجدران سيكون بحده الأدنى عندما تكون الجملة ذات مقاطع أصغرية تحقق شروط التصميم المنصوص عليها في الكودات.

2.2. التجاوب الزلزالي للجملة الثنائية ذات التصميم الأمثل:

من النتائج المستخلصة للجملة الثنائية التي تمت أمثلتها تحت تأثير التحريض الزلزالي التجاوب اللحظي لقوى القص القاعدي في المنشأ خلال زمن تطبيق التحريض الزلزالي. ومنها أيضاً الإزاحات الطابقية النسبية العظمى على كامل ارتفاع المبنى.



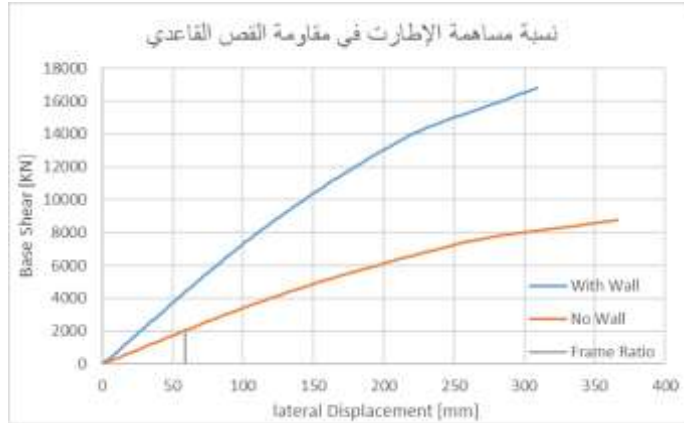
الشكل (11): نتائج التحليل للمبنى المؤتمل. يمين: استجابة القص القاعدي. يسار: نسبة الإزاحة الجانبية العظمى خلال فترة تطبيق

التحرض القاعدي

من الشكل (11) وتحديداً مخطط القص القاعدي يلاحظ أن المنشأ ذو الجملة الثنائية ينتج عنه قيم قوى قص قاعدي لحظية كبيرة نسبياً قد يصل إلى ما يقارب 40% من قيمة وزن المنشأ المدروس وهو دليل على القساوة الجانبية التي يتمتع بها البناء العالي المزود بالجملة الثنائية بشكل يفوق الأبنية المزودة بجملة جدران قص فقط. حيث وكما نرى من الشكل (11) أيضاً فإن الإطارات تقوم بالحد من حركة المبنى للإزاحة الجانبية عند الطوابق العليا للمنشأ. وبملاحظة الإزاحات الجانبية النسبية لكل طابق من طوابق المبنى العشرين في الشكل (11) نلاحظ أن أي إزاحة نسبية بين طابقين متتابعين لم تتجاوز الـ 2% المفروضة من ضمن الشروط التصميمية التي تم تحقيقها وصولاً للحل الأمثل.

2.3. نسبة مساهمة الجملة الإطارية:

أيضاً من النتائج الهامة التي يمكن استنتاجها من الجمل الثنائية وخصوصاً موضوع هذا البحث حيث خضعت لعملية تصميم أمثل، هو نسبة المساهمة في مقاومة القص القاعدي للجزء الإطاري بالنسبة لكامل الجملة الثنائية جدران قص-إطارات. وهو مقدار يمكن الحصول عليها بإجراء تحليلين، الأول للجملة الثنائية، والثاني للجملة بعد تجريدها من جدران القص وذلك تحت تأثير دفع جانبي لما بعد مرحلة تشكل المفاصل اللدنة الشكل (12) حيث وعند تشكل المفصل اللدن الأول للجملة الثنائية، عند نفس الإنزاح الجانبي يتم قراءة قوى القص المتشكلة في الجملة الإطارية فقط (بدون جدران القص) ويقسم قوى القص القاعدي المستنتجة للجملة الإطارية فقط على القص القاعدي للجملة الثنائية (مع جدران القص) لينتج لدينا نسبة المساهمة للجزء الإطاري ضمن الجملة الثنائية.



الشكل (12): استنتاج نسبة مساهمة مقاومة القص القاعدي للجزء الإطاري في الجملة الثنائية

إن النسبة التي تم استنتاجها للمنشأ المصمم بشكل أمثل قد بلغت 46.61% نسبة مساهمة الجزء الإطاري من كامل الجملة الثنائية وهي نسبة مقبولة كنسبة مساهمة الإطارات العزمية الخاصة في الجمل الثنائية والتي ينص الكود على أن لا تقل عن 25% من المقاومة الكلية للقص القاعدي في الجملة الثنائية.

الاستنتاجات والتوصيات:

- إن عملية أمثلة التصميم الإنشائي تتيح الحصول على منشأ يحقق جميع الإشتراطات التي وضعها المصمم عند بداية عملية الأمثلة وبالتالي يمكن الحصول على حالة تصميمية قد تكون متفردة وخصائصها يمكن أن تعطي دليلاً على كثير من الفرضيات أو الظواهر التي تهتم المصمم.
- انطلاقاً من فرضية هذا البحث التي تقول بأن المباني العالية ذات الجمل الثنائية تكون القوى المتبادلة فيها بين الجزئين الإطاري والجداري بعدها الأدنى عندما تكون الجملة الثنائية مصممة بشكل أمثل تم فعلاً البرهنة على ذلك من خلال المبنى الافتراضي الذي استخدم في هذا البحث حيث تراجعت القوى المتبادلة لتصبح بمقدار 56.83% عن قيمتها الابتدائية عند بدء عملية الأمثلة، وترافق ذلك مع انخفاض في تابع الهدف (الكلفة) للمبنى لتصبح الكلفة أيضاً بمقدار 85.06% عن قيمتها عند بدء عملية الأمثلة عندما كانت المتحولات التصميمية بقيمتها الابتدائية الافتراضية.
- من مراقبة سلوك تغير قيم برامترات التصميم أثناء التحليل الديناميكي اللاخطي للجملة الثنائية نجد أن قيم البرامترات استقرت بعد عدد معين من دورات الأمثلة رافق ذلك أيضاً استقرار تابع الهدف (الكلفة) أيضاً عند نفس العدد من دورات الأمثلة بعد أن كان سلوكه يظهر انحدار في قيمته على الدوام. إلا أن سلوك القوى المتبادلة كان أشد تغيراً (تذبذباً) خلال عملية الأمثلة من تابع الكلفة. إلا أن ذلك لا يمنع من استخدام تابع القوى المتبادلة كتابع هدف لعمليات أمثلة للجمل الثنائية في أبحاث مستقبلية.

References:

- Abaqus analysis user's guide.
 ACI 318-11. (2011). Building code requirements for structural concrete and commentary, American Concrete Institute (ACI).
 ASCE 7-10. (2010). Minimum design loads for building and other Structures, American Society of Civil Engineers (ASCE).

- Boulaouad, A. and Amour, A. (2011). "A displacement-based seismic design for reinforced concrete structures." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 15, No. 3, pp. 507-516.
- Camp, C. V., Pezeshk, S., & Hansson, H. (2003). Flexural design of reinforced concrete frames using a genetic algorithm. *Journal of structural engineering*, 129(1), 105-115.
- Fadaee, M. J., & Grierson, D. E. (1998). Design optimization of 3D reinforced concrete structures having shear walls. *Engineering with Computers*, 14, 139-145.
- Freeman, S. A. (1978). Prediction of response of concrete buildings to severe earthquake motion. *Special Publication*, 55, 589-606.
- Kaveh, A., & Sabzi, O. (2011). A comparative study of two meta-heuristic algorithms for optimum design of reinforced concrete frames.
- Kaveh, A., & Zakian, P. (2012). Performance based optimal seismic design of RC shear walls incorporating soil-structure interaction using CSS algorithm.
- Kowalsky, M. J. (2001). "RC structural walls designed according to UBC and displacement-based methods." *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 127, No. 5, pp. 506-516.
- Kwak, H. G., & Kim, J. (2008). Optimum design of reinforced concrete plane frames based on predetermined section database. *Computer-Aided Design*, 40(3), 396-408.
- Lee, C., & Ahn, J. (2003). Flexural design of reinforced concrete frames by genetic algorithm. *Journal of structural engineering*, 129(6), 762-774.
- Mishra, R., & Dwivedi, A. K. (2016). Shear Wall and Frame Interaction Terminology. *GRD Journal for Engineering | Volume 1 | Issue 7*.
- Saka, MP. (1991). "Optimum design of multistory structures with shear walls." *Computers and Structures*, Vol. 44, No. 4, pp. 925-936.
- Sasani, M. (1998). "A two-level-performance-based design of reinforced concrete structural walls." *Proceedings of the 6 th US*
- Wallace, J. W. (1995a). "Seismic design of RC structural walls, part I: new code format." *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 121, No. 1, pp. 75-87.
- Wallace, JW. (1995b). "Seismic design of RC structural walls, part II: Applications." *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 121, No.1, pp. 88-101.
- Wight, J., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced concrete. Mechanics and Design.*(6ed.) EEUU: Pearson.
- Zou, X. K., & Chan, C. M. (2005). Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis. *Engineering structures*, 27(8), 1289-1302.