Rehabilitation of School Models in Lattakia Using Pushover Analysis

Dr. Akram Sakkour*
Saeed Hashem Saeed**

(Received 22 / 12 / 2022. Accepted 2 / 5 / 2023)

□ ABSTRACT □

Earthquakes in many parts of the world revealed weaknesses in existing facilities in these countries. The experience gained from observations and studies conducted on this topic has led to an increase in knowledge about seismic assessment.
It is expected that structures will deform inflexibly when exposed to severe earthquakes, so the post-elastic behavior must be taken into account when evaluating the seismic performance of the structures, and therefore it is preferable to use nonlinear analysis procedures for the purpose of evaluation, because the behavior outside the elasticity field cannot be determined directly through elastic analysis. Furthermore, the inelastic seismic demand for the maximum transmission of the structure must be determined in order to make an adequate estimate of the expected seismic demand of the structure that manifests itself in the inelastic behavior.
This research aims to study the effects of earthquakes on the existing schools in the city of Lattakia through a case study using pushover analysis, and to propose different reinforcement solutions (rehabilitation) for the case and compare them to reduce the damage caused by earthquakes by conducting an applied analytical study on two 3D models of existing buildings. The results of the analysis showed that the reinforcement with the addition of shear walls gave more resistance than the reinforcement with the concrete shirt in terms of mitigating the transitions, while it led to an increase in the base shear.

Keywords: pushover, schools, rehabilitation.

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

* **Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. akramalisakkour@tishreen.edu.sy**
** **Postgraduate Student (Master), Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

إعادة تأهيل نماذج مدارس في مدينة اللاذقية باستخدام تحليل الدفع المتتالي

د. أكرم صقور *

سعيد هاشم سعيد **

(تاريخ الإيداع 22 / 12 / 2022. قُبِل للنشر في 2/ 5 / 2023)

□ ملخّص □

كشفت الزلازل التي شهدتها مناطق كثيرة من العالم عن جوانب الضعف الموجودة في المنشآت القائمة في هذه البلدان. حيث قادت الخبرة المكتسبة من المشاهدات ومن الدراسات التي أجريت حول هذا الموضوع إلى زيادة المعرفة حول التقييم الزلزالي.

من المتوقع أن تتشوه المنشآت بشكل لامرن عندما تتعرض لزلازل شديدة، لذلك يجب أن يؤخذ مثل هذا السلوك بعين الاعتبار عند تقييم الأداء الزلزالي للمنشآت، وبالتالي يفضل استخدام إجراءات التحليل اللاخطية بهدف إجراء التقييم المثالي. بل أكثر من ذلك، يجب أن يتم تحديد الطلب الزلزالي اللامرن للانتقال الأعظمي للمنشأ، وذلك للقيام بتقدير كاف لهذا الطلب المتوقع للمنشأ الذي ينتج عن سلوكه اللامرن.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثيرات الزلازل على نماذج من المدارس القائمة في مدينة اللاذقية باستخدام التحليل الستاتيكي للاخطي، واقتراح حلول تدعيمية مختلفة (إعادة تأهيل) للحالة المدروسة، والمقارنة بينها لتخفيف الاضرار الناجمة عن الزلازل، وذلك بإجراء دراسة تحليلية تطبيقية على نموذجين فراغيين (3D) لبنائين قائمين.

لقد بينت نتائج التحليل أن التدعيم باستخدام جدران قص أعطى مقاومة زلزالية أفضل من التدعيم بالقميص البيتوني من حيث التخفيف من قيم الانتقالات الحاصلة، بينما أدى الى زيادة قوى القص القاعدي على الجملة.

الكلمات المفتاحية: الدفع المتتالي، المدارس، التدعيم

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

* **أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.akramalisakkour@tishreen.edu.sy**

** **طالب ماجستير – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

مقدمة:

يؤثر الحدث الزلزالي تأثيراً مباشراً على المنشآت باختلاف أنواعها نظراً لما يسببه من قوى هامة مضافة إلى القوى النمطية التصميمية للمنشأة، سواء الناتجة عن الثقالة الأرضية كفعل مباشر، أو المحرضة بمنبعٍ ديناميكي ميكانيكي ما، إلا أن تأخر الاهتمام بتوفير بنك المعلومات الكافي عن خرائط النشاط الزلزالي الموزع على جغرافية العالم إلى ما بعد النصف الثاني من القرن العشرين، وعدم الاكتراث الفعلي بالقدر الكافي بأهمية هذا التأثير الزلزالي الخطر على المنشآت وطبيعته، والذي تجلى بضعف حضور مستلزماته غالباً في أنظمة البناء للكثير من البلدان حتى مراحل متأخرة من القرن الماضي، ومن بينها بلدنا سورية، ربما لكون مثل هذا التأثير الزلزالي الفعال يمكن وصفه بالمهادن لفترات زمنية طويلة.

رغم صدور الكود العربي السوري عام 1995 المتضمن أساسيات التصميم الزلزالي للمنشآت، فإن الاهتمام بمثل هذا التصميم قد دخل بشكلٍ جدي أكثر في بدايات القرن الحادي والعشرين، والذي ترافق مع النشاط العلمي الأكاديمي على هذا الصعيد، والتي كانت بعض تجلياته في الأبحاث التي جرت، وتجري لدراسة التأثير الزلزالي على المنشآت لتطوير نظم الكود، والوقوف على سبل معالجة ضعف المنشآت القائمة سابقاً وتقويتها لمقاومة الأحمال الزلزالية المحتملة، وذلك بالاستفادة مما هو متوافر من طرق التحليل الزلزالي، ونتائج الأبحاث التي جرت في أماكن أخرى من العالم.

تعد طريقة التحليل الستاتيكي للاخطي (الدفع المتتالي) من إحدى الطرق الهامة المستخدمة في دراسة السلوك الزلزالي للمنشآت من خلال ما تقدمه من نتائج مهمة في دراسة هذا السلوك في المجال اللاخطي للمنشأ لتقييم الأداء الزلزالي المطلوب منه إثر تعرضه لشدات زلزالية معينة كأساس للتصميم.

يسعى التحليل بهذه الطريقة إلى الحصول على العلاقة البيانية للقوة بالانتقال(العزم بالدوران)، والتي يتم الحصول عليها عبر تعريض نموذج لا خطي للمنشأ إلى قوى أفقية متزايدة تدريجياً إلى أن يتم الوصول إلى انهيار المنشأ. الطريقة الأكثر شيوعاً لتمثيل منحني القوة – الانتقال هي تتبع قوة القص القاعدي والانتقال الحاكم الذي يمثل الانتقال الأعظمي الذي سيحدث في المنشأ خلال تطبيق القوى الأفقية المتزايدة.

إنّ مثل هذا التحليل يقوم على إنجاز سلسلة من التحاليل المتتابعة كل واحدة تسهم في إظهار الاستجابة اللاخطية للمنشأ، بالتالي ما إن يتم تحديد منحني القدرة ومجال الانتقال ذي التخامد المتغير بالنسبة لهزة أرضية ما، حتى نكون قادرين على تحديد نقطة الأداء، والتي تنتج عن تقاطع منحني مجال الانتقال ذي التخامد المتغير مع منحني القدرة.

هذا التحديد يبين فيما إذا كانت العناصر الإنشائية متضررة أو ضمن حدود الأداء المقبولة وذلك تحت تأثير القوى والانتقالات المتمثلة بمجال الانتقال حيث تعرف هذه الطريقة بالطريقة البيانية لتحديد نقطة الأداء.

بناءً عليه يمكن القبول بالتحليل اللاخطي الستاتيكي كأداة قوية لتحديد المقدار الحقيقي لمطاوعة المنشأ بالإضافة إلى التنبؤ بمستوى أدائه تحت تأثير تسارع أرضي معين.

يقوم التحليل الستاتيكي اللاخطي على مجموعة من المبادىء والمقاربات لعل أهمها تقدير الانتقال المستهدف لجملة متعددة درجات الحرية MDOF من خلال جملة وحيدة درجة الحرية SDOF مكافئة، واستخدام عامل تصحيح السلوك اللاخطي R الأمر الذي يجعل لأنماط التحميل الجانبية أهميتها وتأثيرها في نتائج التحليل.

لقد استخدمت هذه الطريقة من قبل الباحثين KRAWINKLER AND SEVIRATNA (1998) في دراستهما لإطارين فولاذيين: الأول مؤلف من أربعة طوابق، والثاني من طابقين تعرضا لزلزال شدته ٩ درجات على مقياس

ريختر، حيث تم في هذه الدراسة تحديد الضرر الزلزالي العام، والموضعي للإطارين عند الانتقال المستهدف كطلب زلزالي مرتبط بشدة الزلزال [2].

استنتج الباحثان أن التحليل الستاتيكي للاخطي يقدم توقعات جيدة للطلب الزلزالي للمنشأت المنخفضة الارتفاع، والتي لها سلوك لاخطي موزع على كامل الارتفاع.

درس الباحثان Mwafy and Elrashai [3] الاستجابة الزلزالية ل 12 مبنى من البيتون المسلح باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، والتحليل الديناميكي اللاخطي، قسمت المباني إلى ثلاث مجموعات هي: أربعة إطارات غير منتظمة من 8 طوابق، أربعة إطارات منتظمة من 12 طابق، وأربع جمل ثنائية (اطارات – جدران) من 8 طوابق، وفي جميع الحالات لوحظ أن الاستجابة مرتبطة بشكل نموذج الحمولات الجانبية.

لقد توصل الباحثان إلى أن التحليل باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي يعطي نتائج مرضية جداً لتقييم أداء النمطين الأول والثاني من الأبنية أكثر من تلك للمباني من النمط الثالث.

أي أن التحليل الستاتيكي اللاخطي في الجمل الاطارية منخفضة ومتوسطة الارتفاع يعطي دقة جيدة في حساب الانتقالات الطابقية، وقوى القص الطابقي لعدم تأثرها بالأطوار ذات المرتبة الأعلى.

أجرت R.Z. Taha بحثاً لتقييم السلوك الزلزالي لمنشآت قائمة متعددة الطوابق في الساحل السوري، وإعادة تأهيلها حيث استخدم فيه التحليل الستاتيكي اللاخطي لتقييم سلوك منشأت بيتونية مسلحة قائمة، ومعرفة الأداء المحتمل لهذه المنشآت ثم مقارنته مع الطلب الزلزالي المتوقع عند مستوى أداء محدد من خلال مقارنة عدة متحولات للاستجابة [5].

لقد بينت الباحثة في دراستها أن معظم المفاصل تتشكل في الجيزان مع بعض المفاصل في الأعمدة بأضرار متدرجة ضمن مستويات الأداء، وهو الأداء المفضل في الأبنية والذي يتوافق مع نظرية العمود القوي والجائز الضعيف.

لتحسين الأداء الزلزالي للمباني والمنشآت القائمة يتم اللجوء إلى تزويد جملتها الإنشائية بعناصر مساعدة لمقاومة القوى الزلزالية المحتملة، كاستخدام المخمدات الزلزالية، أو إضافة جدران القص، أو تلبيس العناصر الضعيفة بقمصان بيتونية مسلحة، أو استخدام الأربطة المعدنية ... إلخ.

سوف نقدم في هذه الورقة العلمية دراسة للتأثيرات السلبية للزلازل على نماذج من المدارس التربوية المقامة في محافظة اللاذقية من خلال التحليل الستاتيكي اللاخطي لجملتها الإنشائية، واقتراح حلول تدعيمية لها، والمفاضلة فيما بينها.

أهمية البحث وأهدافه

يتطلب غياب التصميم الزلزالي لغالبية المدارس المشادة في بلدنا منذ عقود إعادة تأهيل الهام منها على مقاومة الأحمال الزلزالية المحتملة.

يهدف هذا البحث الى دراسة أداء نموذجين من المدارس المشيدة في محافظة اللاذقية لإعادة تأهيلها والتخفيف من الضرر الزلزالي المتوقع باستخدام تحليل pushover، وذلك باستخدام نوعين من التدعيم (قميص بيتوني – جدران قص) والمفاضلة بينها.

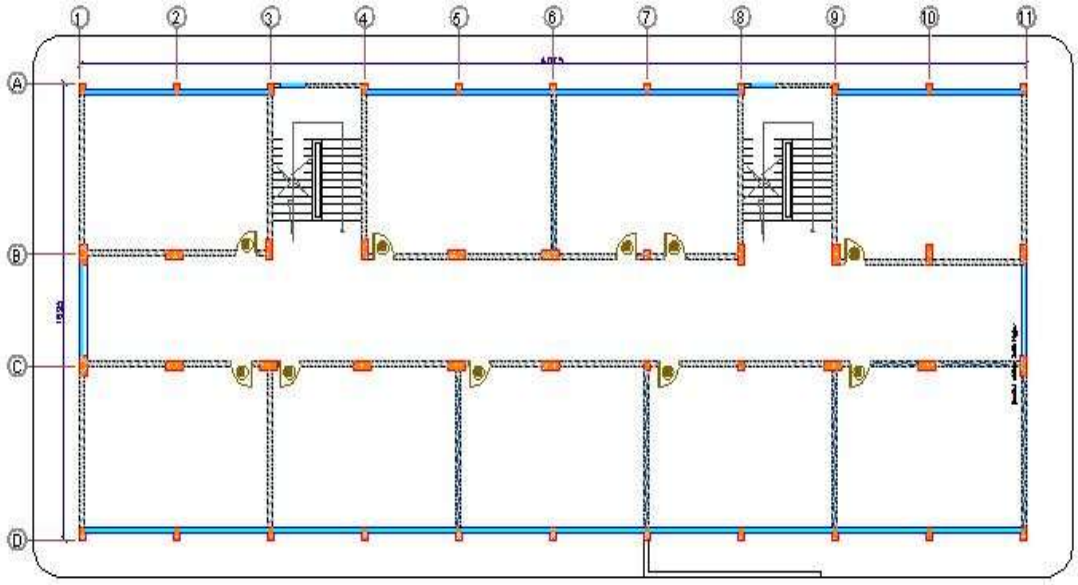
طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث المنهج النظري التحليلي باستخدام برنامج CSI ETABS2016 لدراسة السلوك الزلزالي للجملة الإنشائية لنموذجين من الأبنية المدرسية، وتقييم بارمترات التعريف الهامة بهذا السلوك، كالانتقالات الجانبية الاعظمية،

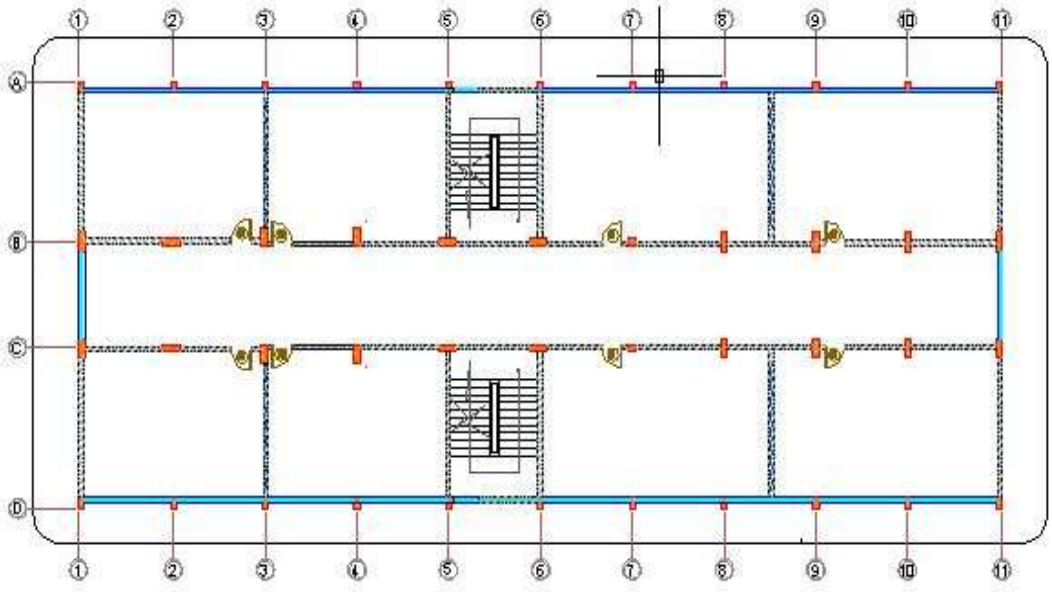
والانزياح الطابقي النسبي، والقص القاعدي لتحديد حاجتها إلى تحسين هذا السلوك من خلال تقويتها بالعناصر اللازمة من جدران قص، أو القمصان البيتونية المسلحة.

النموذجان المدروسان مكونان من ثلاثة طوابق، وبارتفاع طابقي 3.5 m، حيث تتألف جملتهما الإنشائية من حصيرة، وأعمدة موثوقة بها، وجيزان متدلية، وبلاطات هوردي عاملة باتجاه وحيد بسماكة 25 cm.

يبين الشكل (1a، 1b) مسقطي المدرستين للنموذجين المدروسين.



الشكل (1a): مسقط المدرسة الاولى



الشكل (1b): مسقط المدرسة الثانية

مواصفات مواد البناء المستخدمة في النموذجين هي:

$$Fyw=20000\ \ ton/m^2\ ،\ Fy = 40000\ ton/m^2 ،fc^/=2000\ ton/m^2$$

المقطع الشاقولي للتربة (SB)، وقدرة تحملها $3kg/cm^2$، ويقع البناءان في المنطقة الزلزالية 2C، حيث التسارع الارضي g 0.25، عامل أهمية المبنى I = 1.

الجدول (1) مقاطع الأعمدة للبناء الاول

العنصر	الابعاد		التسليح الطولي
	الطول cm	العرض cm	
C1	50	25	8T14
C2	60	30	10T14

الجدول (2) مقاطع الأعمدة للبناء الثاني

العنصر	الابعاد		التسليح الطولي
	الطول cm	العرض cm	
C1	45	30	8T14
C2	60	40	12T14

الدراسة التحليلية والتطبيقية

أجري التحليل الإنشائي الستاتيكي اللاخطي للنموذجين بالاتجاهين x، و y باستخدام برنامج CSI ETABS2016 لكلتا الجملتين الإنشائيتين القائمتين، ونتيجة عدم قدرة الجملة القائمة على تحمل القوى الزلزالية وفقاً لما أظهرته النتائج، ،فقد سعينا إلى دراسة إمكانية التدعيم لها بطريقتين.

جرى تدعيم العناصر التي تشكلت فيها مفاصل انهيار بواسطة التدعيم بالقميص اليتوني باضافة قميص بسماكة 15سم على الاعمدة المتضررة في نموذج اول.

وتم ايضاً تدعيم المبنى باضافة جدران قص في بيت الدرج بسماكة 20سم في نموذج ثاني.

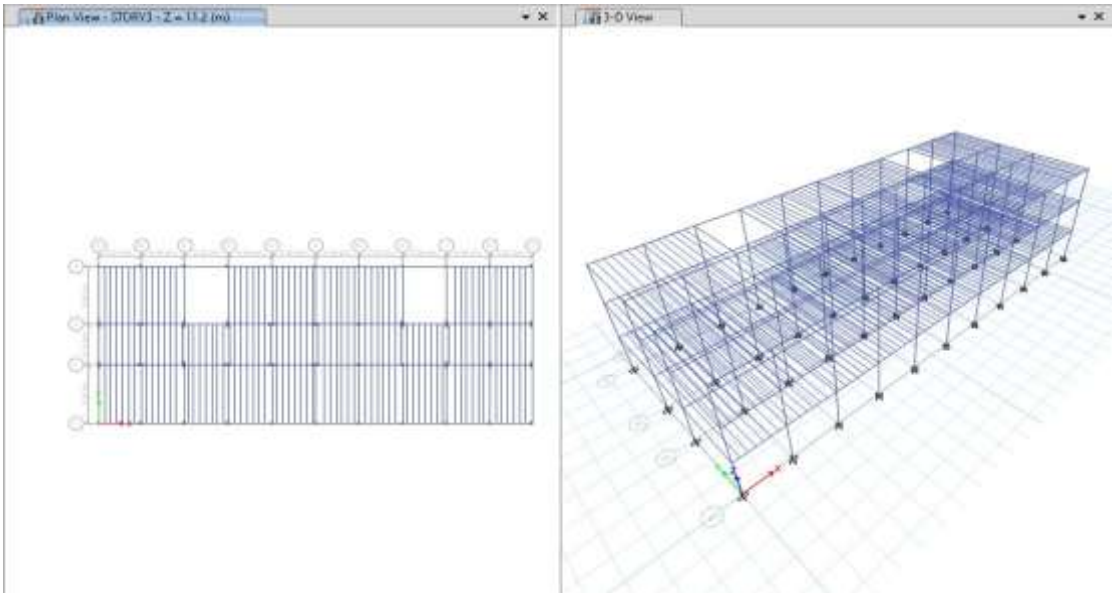
لقد جرى في الطريقة الأولى التدعيم للعناصر التي تشكلت فيها مفاصل انهيار بشكلٍ خاص، إذ جرى هذا التدعيم بإلباس قميص بيتوني مسلح بسماكة 15سم للأعمدة المتضررة في الجملة القائمة نتيجة تأثير الأحمال الزلزالية.

أما في الطريقة الثانية، فقد تم التدعيم للجملة القائمة من خلال إضافة جدران قص في بيت الدرج بسماكة 20 سم

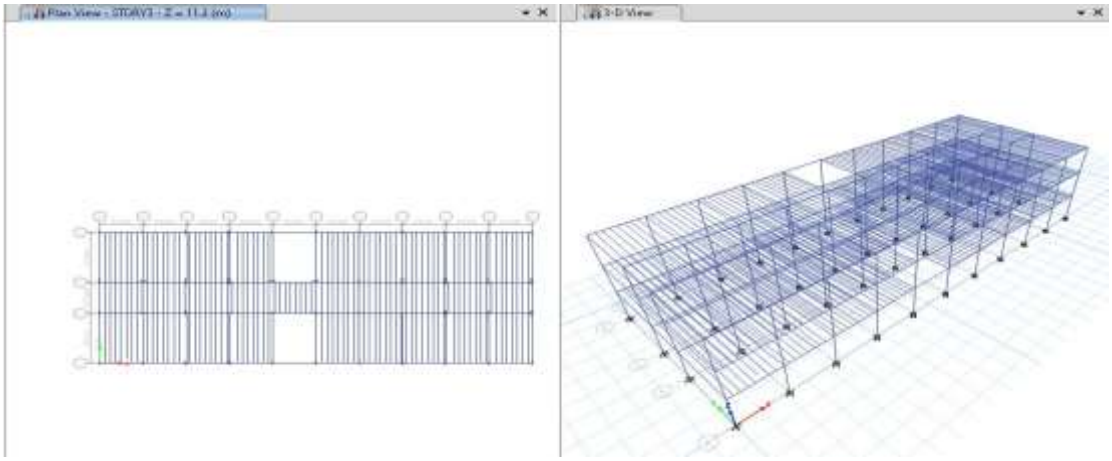
لقد أعيدت النمذجة للجملة الإنشائية في الطريقتين وجرى التحليل لها باستخدام Pushover في الاتجاهين.

حيث نمذجت فيه الاعمدة والجيزان كعناصر خطية line element، والبلاطات كعناصر سطحية element shell، والاساسات كعناصر موثوقة.

يبين الشكل (2a،2b) نمذجة كل من المدرستين.

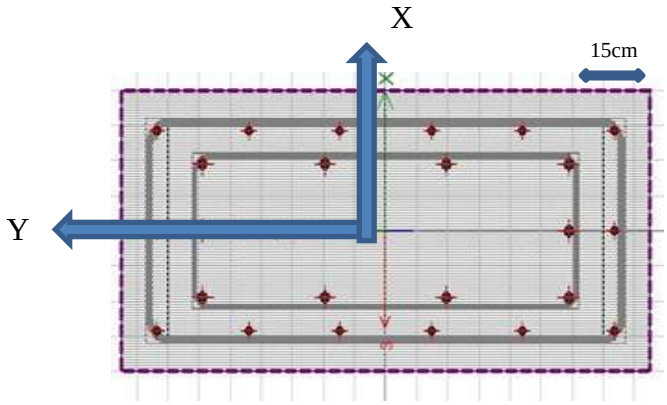


الشكل (2a): نمذجة المدرسة الاولى



الشكل (2b): نمذجة المدرسة الثاني

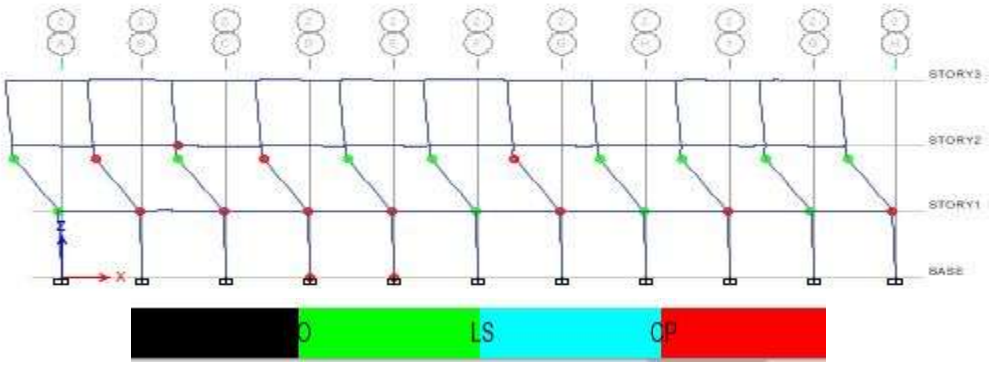
أما الشكل (2c)، فإنه يبين القميص البيتوني المستخدم لتقوية الأعمدة الضعيفة.



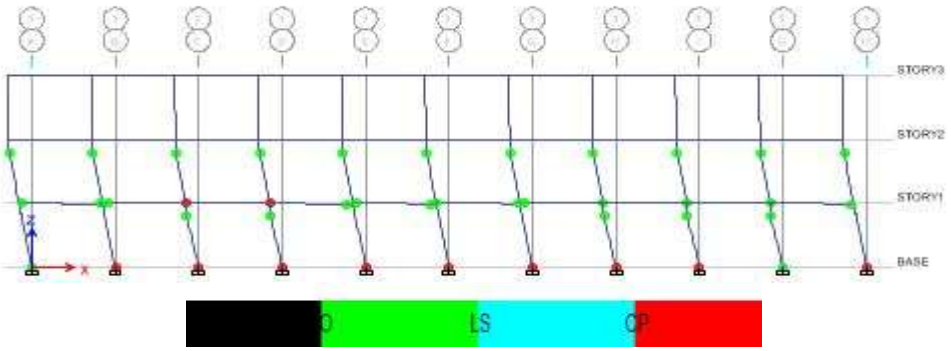
الشكل (2c) التدعيم باستخدام قميص بيتوني

النتائج والمناقشة:

تمت دراسة السلوك الزلزالي للمبنى بجملته الإنشائية القائمة باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي بالاتجاه x، وبالاتجاه Y، حيث يبين الشكلين التاليين (1)و(2) أماكن توضع المفاصل اللدنة في الجملة القائمة التي جرى التحليل الزلزالي لها باستخدام البرنامج Etabs.



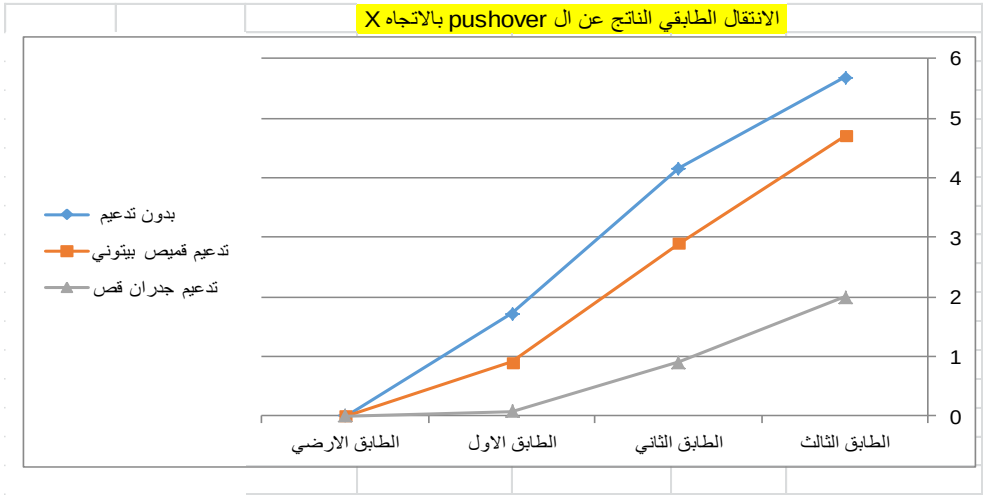
الشكل (1) أماكن توضع المفاصل اللدنة في البناء الاول[5]



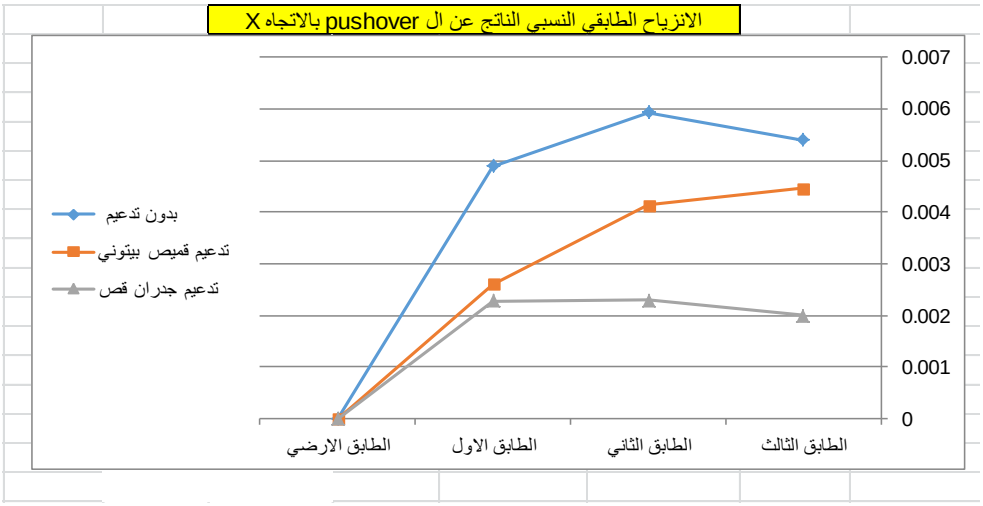
الشكل (2) أماكن توضع المفاصل اللدنة في البناء الثاني[5]

وعرضنا بيانياً نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي PUSHOVER ANALYSIS للانتقال الطابقي المطلق، والنسبي، وقوى القص القاعدي لحالات الجملة القائمة والمدعمة بطريقتي التدعيم المذكورة أعلاه لنموذج المدرسة الأولى في الاتجاه X بالشكل (3) للانتقال الطابقي والشكل(4) للانزياح الطابقي النسبي والشكل(5) لقوى القص القاعدي، وبالأشكال (6،7،8) في الاتجاه y.

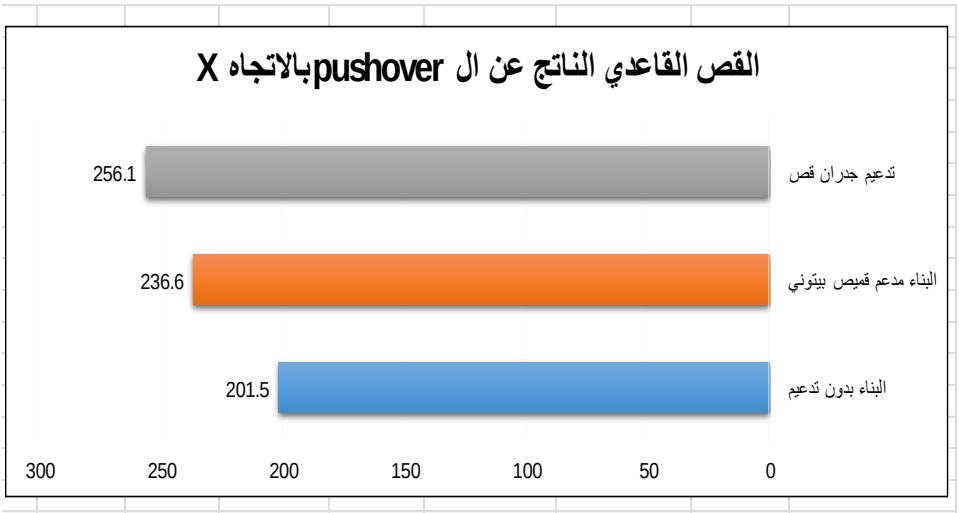
وكذلك لنموذج المدرسة الثانية في الاتجاه X بالشكل (9) للانتقال الطابقي والشكل(10) للانزياح الطابقي النسبي والشكل(12) لقوى القص القاعدي، وبالأشكال (12،13،14) في الاتجاه y.



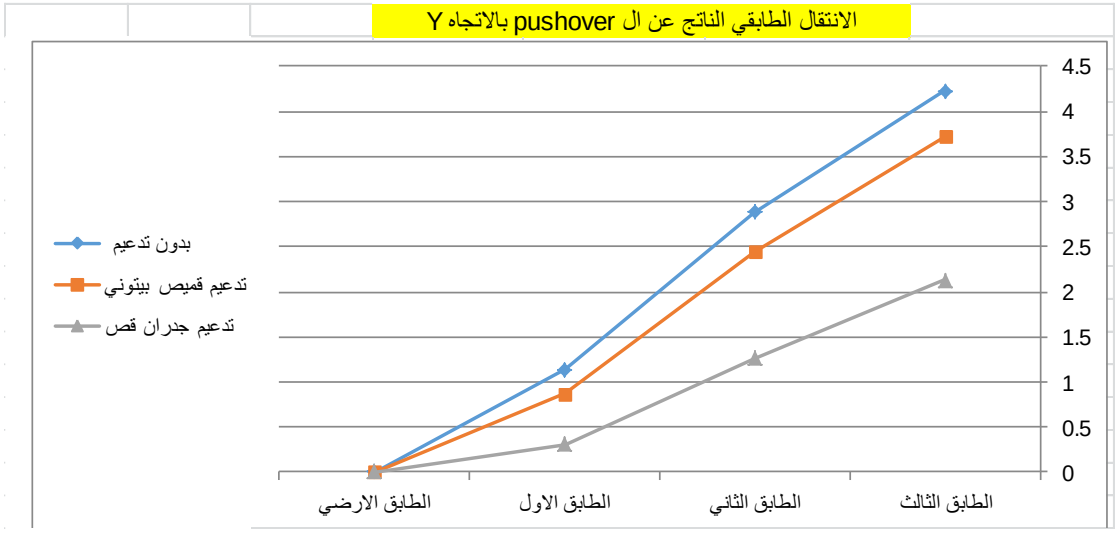
الشكل (3): الانتقال الطابقي (cm) الناتج عن ال pushover بالاتجاه X



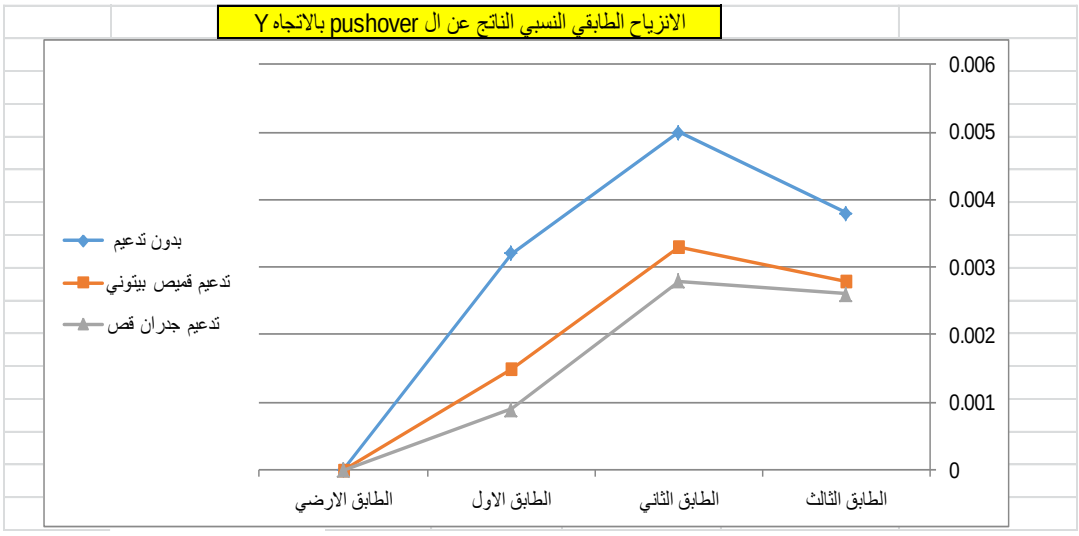
الشكل (4): الانزياح الطابقي النسبي الناتج عن ال pushover بالاتجاه X



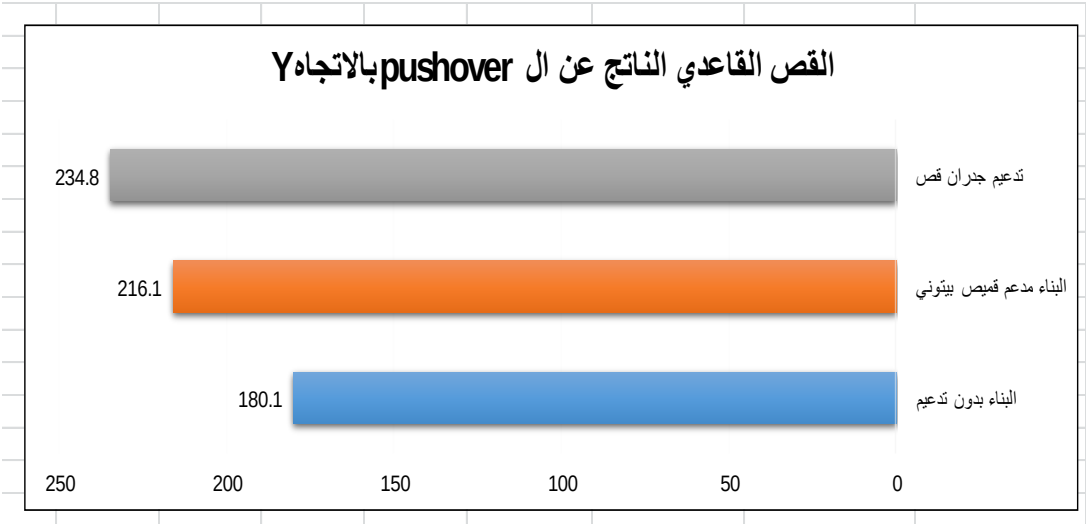
الشكل (5) القص القاعدي (ton) الناتج عن ال pushover بالاتجاه X



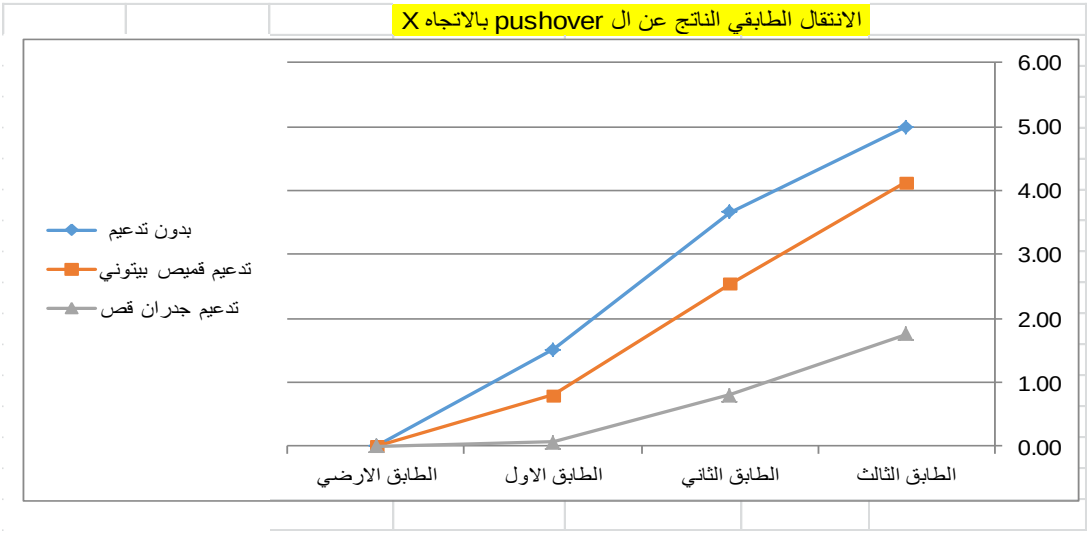
الشكل (6) الانتقال الطابقي (cm) الناتج عن ال pushover بالاتجاه Y



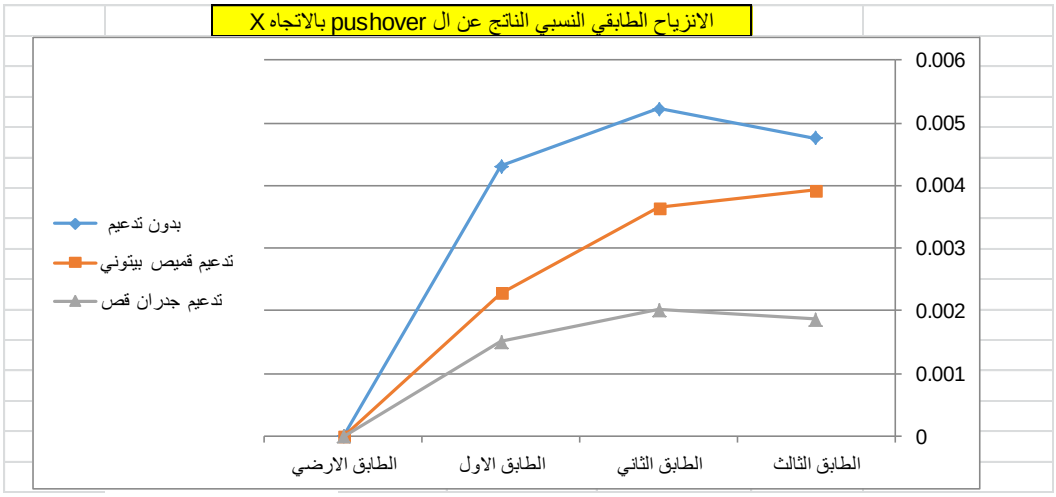
الشكل (7) الانزياح الطابقي النسبي الناتج عن ال pushover بالاتجاه Y



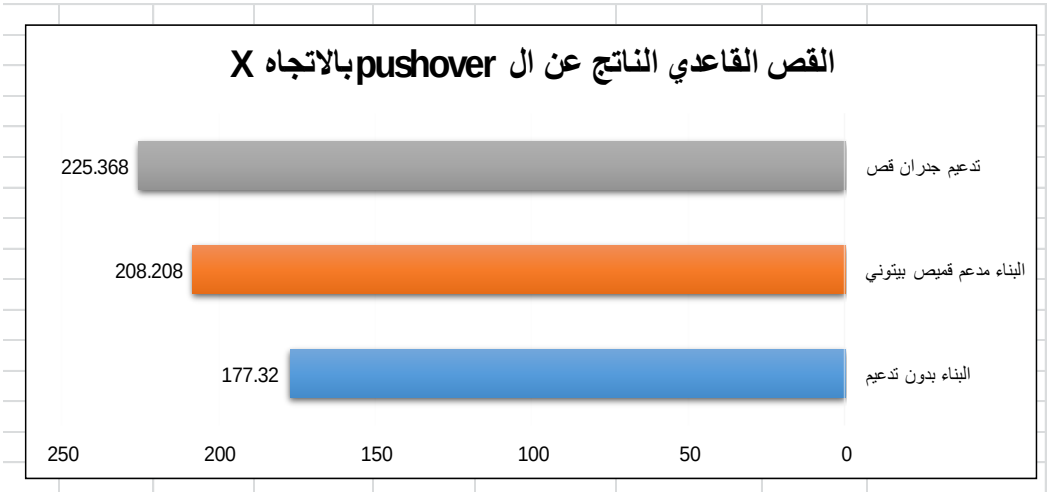
الشكل (8): القص القاعدي (ton) الناتج عن ال pushover بالاتجاه Y



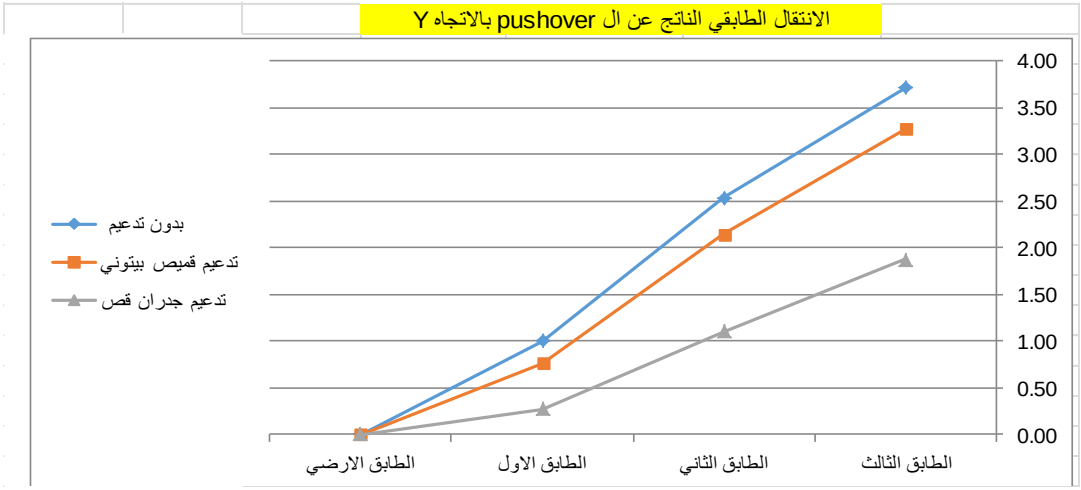
الشكل (10) الانتقال الطابقي (cm) الناتج عن ال pushover بالاتجاه X للمبنى الثاني



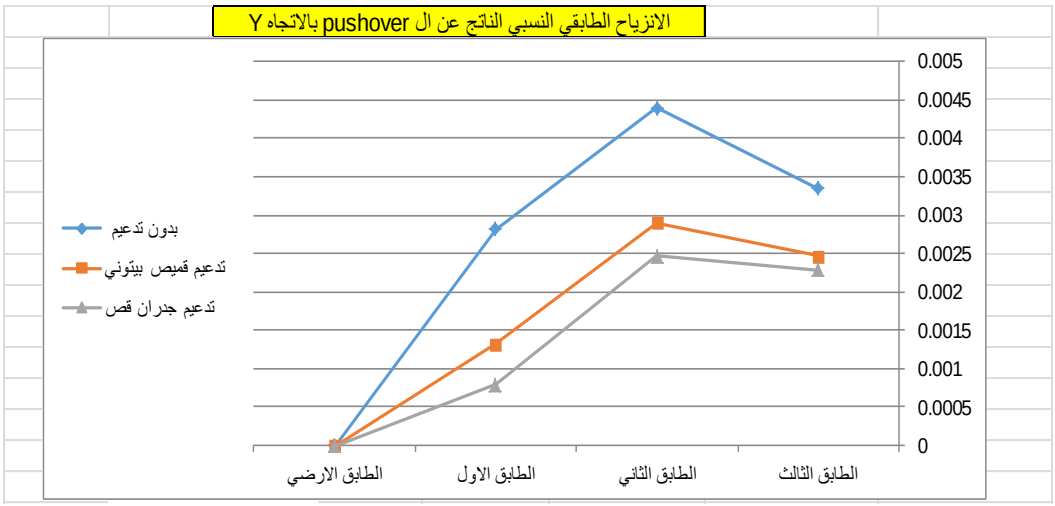
الشكل (11) الانزياح الطابقي النسبي الناتج عن ال pushover بالاتجاه X للمبنى الثاني



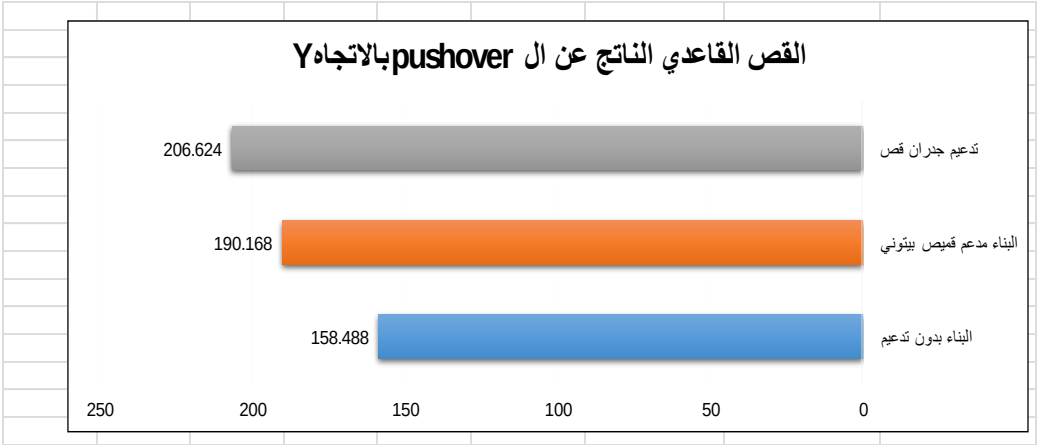
الشكل (12) القص القاعدي (ton) الناتج عن ال pushover بالاتجاه X للمبنى الثاني



الشكل (13) الانتقال الطابقي (cm) الناتج عن ال pushover بالاتجاه Y للمبنى الثاني



الشكل (14) الانزياح الطابقي النسبي الناتج عن ال pushover بالاتجاه Y للمبنى الثاني



الشكل (15) القص القاعدي (ton) الناتج عن ال pushover بالاتجاه Y للمبنى الثاني

يستنتج من المخططات البيانية بوضوح الدور الذي لعبه التدعيم بنوعيه في تخفيض قيم الانتقالات الطابقية المطلقة والنسبية، بينما نتج عن استخدام جدران القص زيادة في قيم قوى القص القاعدي عما الحال عليه من استخدام القمصان البيتونية المسلحة.

الاستنتاجات والتوصيات:

ساهم التدعيم بنوعيه في زيادة المقاومة بكفاءة عالية للنموذجين مع تباين قدرتهما على التخفيف من الانتقالات والانزياحات الطابقية النسبية وزيادة عطالة جملة المبنى.

أ- التدعيم بإضافة جدران قص خفض الانتقالات مقارنة مع المبنى القائم بدون تدعيم بنسبة 64%، والانزياحات الطابقية النسبية بنسبة 31% في الطوابق.

ب- التدعيم باستخدام القميص البيتوني خفض الانتقالات للمبنى القائم بدون تدعيم بنسبة 17%، بينما بلغ تخفيضه للانزياحات الطابقية النسبية 26%.

ت- أدى التدعيم باستخدام جدران القص إلى ازدياد القص القاعدي بنسبة 30% عما الحال عليه للمبنى القائم بدون تدعيم، بينما التدعيم باستخدام القميص البيتوني زاد القص القاعدي بنسبة 30% مقارنة مع المبنى القائم.

ث- للشكل المعماري وتناظر البناء دور مهم في فعالية التدعيم واختيار نوعه.

ج- يوصى بإمكانية استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي في تقييم حال نماذج أخرى من الابنية المدرسية وسواها، واختيار التدعيم الزلزالي المناسب لها من عناصر البيتون المسلحة، أو الأربطة المعدنية المختلفة.

ح- يفضل أن يعاد النظر في المدارس التربوية غير المدروسة على الزلازل لإعادة تأهيلها بإحدى طرق التقوية الزلزالية.

References:

[1] ATC – 40, (APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, ATC), 1996.

[2] KRAWINKLER, H; SENEVIRATNA, G.D.P.K. *Pros and Cons of Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation*. Engineering Structures Journal, No.20.Nos 4-6, Pp.452-464, 1998.

[3] Mwafy A.M, Elnashai A.S, *Static Pushover versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings*, Journal of Engineering Structures, Vol. 23, 407-424, 2000 .

[4] Miao Z, Ye L, Guan H, Lu X, *Evaluation of Modal and Traditional Pushover Analyses in Frame-Shear-Wall Structures*, dvances in Structural Engineering Vol. 14 815-836,2009.

[5] Taha,R. *A Case Study to Evaluate Performance of Multistory Existing Buildings Located At Syrian Coast To Seismic Effect and Rehabilitation*, Master's thesis, Faculty of Civil Engineering, 2013, Tishreen University.

[6] Bush, T. D., Jones, E. A., Jirsa, J. O..: Behavior of RC Frame Strengthened Using Structural Steel Bracing.- In: Journal of Structural Engineering, Volume 117, Issue 4, PP 1115 – 1126, 1991

[7] Wang, D. P., Lin Yu, A. : Shear Failure Behavior of Y-Eccentrically Brace in RCFrame Structures under Earthquake Action .- In: Advanced Materials Research, Volumes 639 - 640, PP. 866–869, 2013

[8] Z. Traifi,2014-"Effect of the Shape of Bracing for R/c Tall Building Frames on the Internal Forces in the Frame Elements", journal of Tishreen university, vol. 36.