

The Nonlinear Behavior of RC Medium-Rise Frame Buildings Designed According to Different Lateral Force Design Patterns

Dr. Fadwa Issa*
Dr. Bassam Hwaija**
Abak Badran***

(Received 1 / 7 / 2023. Accepted 1 / 8 / 2023)

□ ABSTRACT □

Earthquakes are considered one of the most important dynamic loads that affect structures due to their destructive energy that cannot be avoided. However, damages and losses can be minimized through the design and construction of well-designed buildings.

Achieving economical designs for earthquake-resistant buildings is a challenge that requires sufficient knowledge of the factors that affect the design.

The lateral force distribution pattern (LFDP) used in the structural design phase is a very important factor in the behavior of the designed building. These distributions may lead to significant nonlinear deformations because they may not represent the actual response during exposure to severe earthquakes, causing the building to behave unexpectedly during the nonlinear phase. This research aims to study the effect of six models of lateral force distribution patterns on the nonlinear behavior of 3-D concrete frames designed according to the Syrian Arab Code. Static and dynamic nonlinear analyses were conducted using the IDARC program for the studied building models using the seismic records of El-Centro (1940), Kobe (1995), and Northridge (1994). The results showed that the distributions of the code led to good outcomes in medium-rise buildings. However, as the nonlinearity increased, some forms of lateral loads derived from the reference studies exhibited better behavior in terms of damage and the distribution of the drift ratio with height.

Keywords: Lateral design forces- seismic design- Nonlinear dynamic analysis.

Copyright



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

* Department of Structural Engineering- Faculty of Civil Engineering-Tishreen University – Latakia-Syria. E-mail: fadwa.issa650@gmail.com

**Associate Professor-Department of Structural Engineering- Faculty of Civil Engineering-Tishreen University – Latakia-Syria. E-mail: h.bassam65@yahoo.com

***Postgraduate Student (Master) -Department of Structural Engineering- Faculty of Civil Engineering-Tishreen University – Latakia-Syria. E-mail: abakbadran1997@gmail.com

السلوك اللاخطي لأبنية بيتونية إطارية متوسطة الارتفاع مصممة وفق أشكال توزيع مختلفة للقوى الجانبية التصميمية

د. فدوى عيسى*

د. بسام حويجة**

عبد بدران***

(تاريخ الإيداع 1 / 7 / 2023. قُبِلَ للنشر في 1 / 8 / 2023)

□ ملخص □

تعتبر الزلازل من أهم الحمولات الديناميكية التي تؤثر على المنشآت بسبب طاقتها التدميرية الهائلة التي لا يمكن تجنبها، لكن يمكن الحد من حجم الأضرار والخسائر الناتجة عنها من خلال تصميم وإنشاء أبنية مدروسة جيداً. يعد إنجاز التصميم الاقتصادي للأبنية المقاومة للزلازل تحدياً يتطلب معرفة كافية بالعوامل المؤثرة في التصميم. يعتبر شكل توزع القوى الجانبية المستخدم في مرحلة التصميم الإنشائي (LFDP) عاملاً مهماً جداً في سلوك المبنى المصمم، فقد تؤدي هذه التوزيعات إلى تشوهات لاخطية كبيرة لأنها قد لا تمثل الاستجابة الحقيقية أثناء التعرض للزلازل الشديدة مما يجعل المبنى يتصرف بشكل غير متوقع خلال المرحلة اللاخطية. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير ستة نماذج لأشكال توزيع القوى الجانبية التصميمية على السلوك اللاخطي لإطارات بيتونية فراغية متوسطة الارتفاع مصممة وفقاً للكود العربي السوري. تم إجراء تحليل ستاتيكي وديناميكي لاخطي باستخدام برنامج IDARC لنماذج الأبنية المدروسة باستخدام السجلات الزلزالية El-Centro (1940)، Kobe (1995)، Northridge (1994). أظهرت النتائج أن التوزيعات الكودية أدت إلى نتائج جيدة في الأبنية متوسطة الارتفاع، لكن مع ازدياد درجة اللاخطية أعطت بعض أشكال القوى الجانبية المأخوذة من الدراسات المرجعية سلوكاً أفضل من حيث الضرر وتوزع الانحرافات الطابقية النسبية مع الارتفاع.

الكلمات المفتاحية: القوى الجانبية التصميمية - التصميم الزلزالي - التحليل الديناميكي اللاخطي.

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: fadwa.issa650@gmail.com

**أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

E-mail: h.bassam65@yahoo.com

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

E-mail: abakbadran1997@gmail.com

مقدمة:

لقد وضعت الكودات الزلزالية إرشادات وطرائق تصميم للأبنية في المناطق الزلزالية المختلفة، ومن طرائق التصميم المعتمدة في الكودات الطريقة الستاتيكية المكافئة التي تعبر عن الحمل الزلزالي بقوة قص قاعدي تصميمي، ومن ثم يتم توزيع هذه القوة المكافئة على ارتفاع المبنى. يعتبر شكل القوة الجانبية المستخدم في مرحلة التصميم الإنشائي عاملاً مهماً جداً في سلوك المبنى المصمم، إذ يؤثر هذا التوزيع على تصميم العناصر الإنشائية المختلفة وعلى توزع المقاومة والصلابة عبر الارتفاع، وبالتالي على سلوك المنشأ.

مع أن إجراءات التصميم الزلزالي للأبنية قد تطورت وأصبحت أكثر صرامة خلال السنوات السابقة إلا أن التقريب المستخدم لتوزيع قوة القص القاعدي التصميمية على الطوابق لم يتغير، حيث تعتبر الكودات التأثيرات الزلزالية كقوة عطالة مرنة (تقابل أنماط اهتزاز مرنة) ويتم توزيع الصلابة والمقاومة عبر ارتفاع المنشأ على هذا الأساس [14]. لكن عند حدوث الزلازل القوية سيدخل المنشأ في المرحلة اللاخطية وبالتالي قد لا تضمن طريقة التوزيع الكودية التوزيع الأمثل للمواد الإنشائية في مرحلة السلوك اللاخطي، الأمر الذي دفع الباحثين لإجراء دراسات بهدف اقتراح نماذج توزيع للقوى الجانبية يمكنها أن تحسن أداء المبنى في المرحلة اللاخطية.

أهمية البحث وأهدافه:

إن توزيعات القوة الجانبية المعتمدة وفق كودات التصميم الزلزالية قد لا تمثل الاستجابة الفعلية للبناء في المرحلة اللاخطية، مما يجعل المنشآت تتصرف بطريقة لا يمكن التنبؤ بها، وبالتالي فإن تغيير نموذج توزيع القوى الزلزالية الجانبية المستخدم في التصميم سيؤثر على سلوك المنشأ المصمم، أي أن تحسين هذا النموذج سيؤدي إلى الحصول على أداء أفضل للمبنى في المرحلة اللاخطية. كما أن تغيير شكل توزيع القوى الزلزالية الجانبية سيؤثر على صلابة وأبعاد مقاطع العناصر الإنشائية مما ينعكس على كلفة المبنى [1].

يمكن تلخيص أهداف البحث بما يلي:

- دراسة تأثير استخدام أشكال مختلفة لتوزيع القوى الزلزالية الجانبية عند التصميم على سلوك الأبنية البيتونية المسلحة.
- مقارنة نتائج استخدام أشكال التوزيع السابقة واقتراح الشكل الأمثل.

الدراسات المرجعية:

اقترح الباحثان Hajirasouliha and Moghaddam (2009) [1] شكلاً لتوزيع القوى الجانبية التصميمية بهدف تحسين الاستجابة الزلزالية للمنشأ اعتماداً على مفهوم الضرر المنتظم. وقد توصل الباحثان إلى أن الدور والمطووعة الهدف لهما تأثير على السلوك وعلى شكل توزيع القوى الجانبية، ومن خلال الجمع بينهما تم الحصول على العلاقة التي تعطي قيمة القوة في كل طابق. وقد أظهرت العلاقة المقترحة توافقاً كبيراً عند مقارنتها مع نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي.

اقترح Chao, Goel and Lee (2007) [2] شكلاً لتوزيع القوى الجانبية يمكنه التنبؤ بالسلوك الزلزالي غير المرن لعدد مختلف من الأنظمة الإنشائية، وقد أعطى هذا الشكل نتائج أقرب إلى نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي من نتائج

القوى الجانبية المستخدمة في الكودات الزلزالية. وقد أكد الباحثون أن توزيع القوى وفق النمط الأول للاهتزاز دون إدراك أن المبنى سيدخل مرحلة اللدونة هو السبب الرئيسي بانهيار الطوابق العليا في زلزال مكسيكو سيتي عام 1985. طور الباحثون (2020) Jiulian Bai et al [3] نموذجاً لتحسين توزيع الضرر والمطاوعة مع الارتفاع (توزيع منتظم) باستخدام نموذج بناء قص مع إدخال تأثير تفاعل تربة - منشأ (SSI). وقد لاحظوا أن هناك العديد من البارامترات التي تؤثر على نتائج التحسين وعلى شكل القوى الجانبية، كما أكدوا على أن الصيغة المقترحة لها دقة عالية وأن المنشأ المصمم وفق هذه الطريقة يحقق أداء زلزالي أفضل وتوزيع موحد للضرر مقارنة مع الطرائق التقليدية. أجرى الباحثان (2014) Sadegh Etedali, Mohammad Ali Irandegani [4] دراسة على ثلاث إطارات مستوية (4-12-20 طابق) وبالحالتين (بيتونية - فولاذية) من أجل ثلاثة أشكال توزيع للقوى الجانبية وهي شكل مقترح، وشكلين من كود FEMA. ووجدوا أن الشكل المنتظم لتوزيع القوى الجانبية وفق FEMA مناسب للتحليل المرن لكنه يصبح أقل دقة مع زيادة الارتفاع.

قدم الباحثون (2020) Lian, Mingzhou Su, Cheng [5] اقتراحاً جديداً لتوزيع القوى الجانبية بناءً على دراسات ديناميكية لاختية لإطارات فولاذية تحت تأثير حركات أرضية مختارة باستخدام طريقة التوزيع الأمثل وفق علاقة Lee (تصميم قائم على الأداء) مع تعديل قيم بعض البارامترات. أعطت نتائج توزيع القص النسبي وفق الطريقة المقترحة قيماً أقرب إلى نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي مقارنة مع الكودات التي استندت إلى التوزيع وفق النمط الأول للاهتزاز.

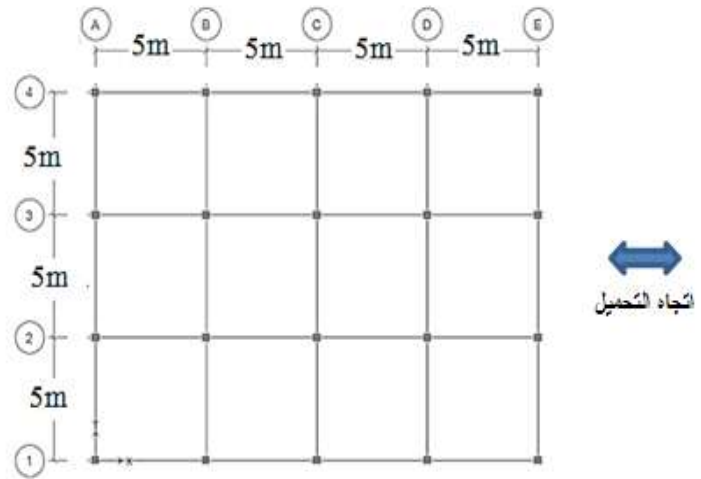
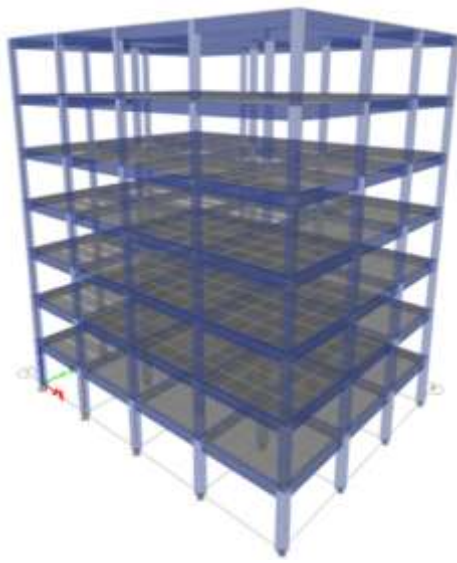
جميع الدراسات السابقة ركزت على أبنية إيطارية مستوية مصممة وفق كودات مختلفة عن الكود العربي السوري ومعظمها إطارات معدنية، كما أنها قارنت شكل توزيع مقترح مع شكلين كوديين. في هذه الدراسة تمت دراسة السلوك الستاتيكي والديناميكي اللاخطي لإطارات بيتونية فراغية مصممة وفق الكود العربي السوري 2012 [6] باستخدام ستة أشكال توزيع للقوى الجانبية، ثم تمت دراسة تأثير درجة اللاخطية على سلوك الإطارات المصممة.

طرائق البحث ومواده

تم اعتماد طريقة الدراسة التحليلية، حيث أُجري تحليل ستاتيكي وديناميكي لخطي لنماذج الأبنية المدروسة باستخدام برنامج IDARC-2D [10].

1- النماذج المدروسة

يوضح الشكل (1-a) المسقط الأفقي المستخدم، وهو لمبنى سكني مكون من سبعة طوابق بارتفاع طابقي 3m موجود في المنطقة الزلزالية 2C ($Z=0.25g$) ومقطع التربة SC. الجملة المقاومة للقوى الجانبية هي جملة إطارات بيتونية متوسطة المقاومة للعزوم. تم تصميم المبنى وفق ستة أشكال توزيع للقوى الجانبية التصميمية (أربعة أشكال توزيع مقترحة من دراسات سابقة، وشكلين كوديين) مع الحفاظ على الوزن الإنشائي ثابتاً في النماذج الست خلال عملية التصميم. يعرض الشكل (1-b) النموذج المصمم باستخدام برنامج ETABS.



(b) النمذجة والتصميم في برنامج ETABS

(a) المسقط الأفقي المستخدم

الشكل (1): نماذج الأبنية المدروسة

2- أشكال توزيع القوى الجانبية المختارة (LFDPS)

يُبين فيما يلي علاقات حساب القوى الزلزالية الجانبية التصميمية (Fi) وفق أشكال التوزيع الست المعتمدة في هذه الدراسة:

1 شكل توزيع من الكود العربي السوري 2012 [6] UBC97, [11] (P)

$$F_x = (V - F_t) \frac{w_x \cdot h_x}{\sum_i^n w_i \cdot h_i} \quad (a - 1 - 3)$$

$$F_t = 0.07 T V; \quad \text{if } T > 0.7s \quad (b - 1 - 3)$$

$$F_t = 0; \quad \text{if } T \leq 0.7s \quad (c - 1 - 3)$$

2 شكل توزيع من الكود الأمريكي (ASCE/SEI 7-10) [7] (P1)

$$F_x = \frac{W_i h_i^k}{\sum_i^n W_j h_j^k} V; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (a - 2 - 3)$$

$$k = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{if } T \leq 0.5 \\ 0.5T + 0.75 \text{ or } 2 & \text{if } 0.5 < T < 2.5 \\ 2 & \text{if } T \geq 2.5 \end{array} \right\} \quad (b - 2 - 3)$$

K: معامل يتعلق بدور المنشأ، W_i : الوزن الزلزالي عند المنسوب أ.

3- شكل توزيع مقترح من قبل Goel et al [2](P2)

$$F_i = C'_{iv} V \quad (a-3-3)$$

$$C'_{vi} = (\beta_i - \beta_{i+1}) \left(\frac{w_n \cdot h_n}{\sum_{j=1}^n w_j \cdot h_j} \right)^{\alpha T^{-0.2}} \quad (b-3-3)$$

$$i = n, \quad \beta_{n+1} = 0 \quad (c-3-3)$$

$$\beta_i = \frac{V_i}{V_n} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n w_j \cdot h_j}{w_n \cdot h_n} \right)^{\alpha T^{-0.2}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (d-3-3)$$

β_i : معامل القص القاعدي عند منسوب الطابق i ، α : معامل تم اقتراحه من قبل الباحثين Lee & Goel وقيمته 0.5

4- شكل توزيع مقترح من قبل Park & Medina [8] (P3)

$$F_i = \left(\frac{\left(1 - \frac{Ft}{Vy}\right) Wi hi^k}{\sum_{j=1}^n wj hj^k} + \delta_{in} \frac{Ft}{Vy} \right) Vy; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (a-4-3)$$

$$(b-4-3) \quad \delta_{in} = \begin{cases} 0; & \text{if } i \neq n \\ 1; & \text{if } i = n \end{cases}$$

$$(c-4-3) \quad K = 0.56 - 0.17\mu_t; \quad 1 \leq \mu_t \leq 5$$

$$\frac{Ft}{Vy} = 0.32 - 0.0016H - 0.13k; \quad 22m \leq H \leq 66m \quad (d-4-3)$$

5 شكل توزيع مقترح من قبل Moghaddam & Karami Mohammadi [9] (P4)

$$F_i = \frac{1}{n} (V - Ft) + \delta_{in} Ft; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (a-5-3)$$

$$\delta_{in} = \begin{cases} 0; & \text{if } i \neq n \\ 1; & \text{if } i = n \end{cases} \quad (b-5-3)$$

$$Ft = \alpha TV \quad (c-5-3)$$

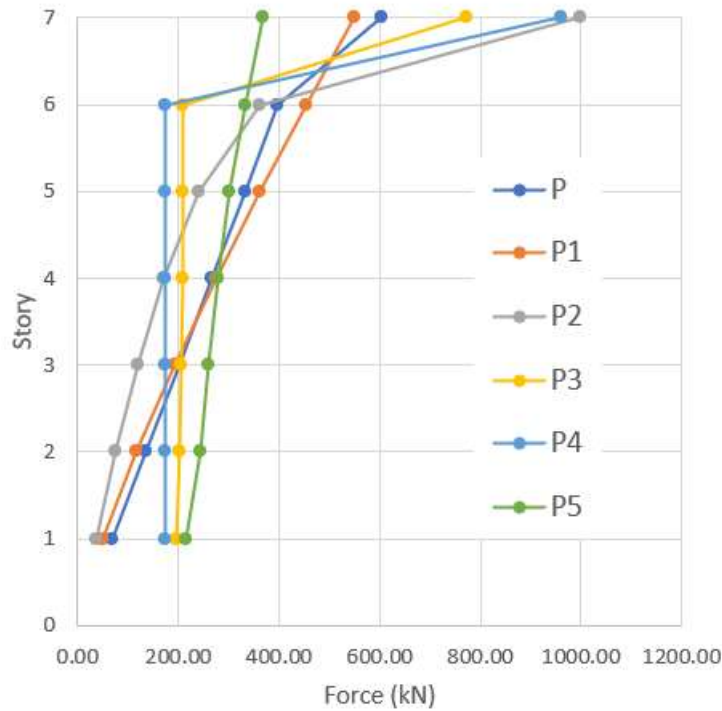
$$\alpha = (0.9 - 0.04 \mu_t) e^{-(0.6+0.03\mu_t)T} \quad (d-5-3)$$

6 شكل توزيع مقترح من قبل Hajirasouliha & Moghaddam [1] (P5)

$$F_i = \frac{w_i \cdot \theta_i}{\sum_i w_j \cdot \theta_j} V \quad (a-6-3)$$

$$\alpha = (ai T + bi) \mu^{\frac{(ciT+di)}{100}}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (b-6-3)$$

يعرض الجدول (1) قيم القوى الطابقية F_i المحسوبة من أجل كل شكل من أشكال التوزيع المذكورة أعلاه. كما يبين الشكل (2) أشكال التوزيع المستخدمة، وفيه يُلاحظ أن شكل التوزيع P2 أعطى أكبر قيمة للقوة الجانبية في الطابق الأخير مقارنة مع باقي الأشكال، كما أعطى كل من P3 و P4 توزيعاً منتظماً للقوى الطابقية في جميع الطوابق ماعدا الطابق الأخير.



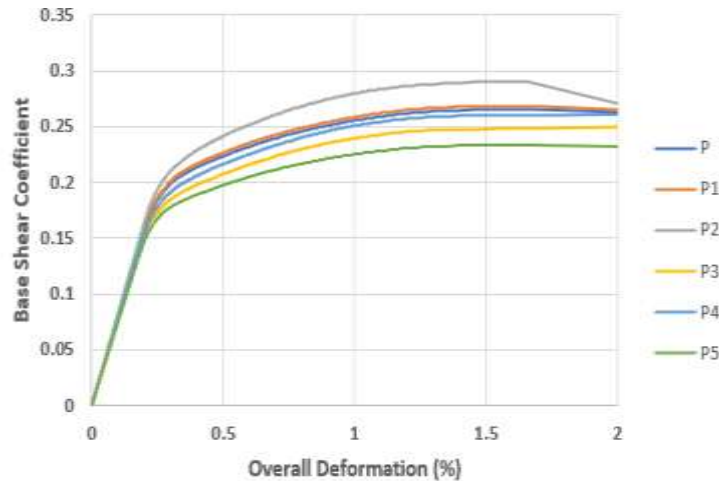
الشكل (2): أشكال التوزيع التصميمية المختارة (LFDPs)
الجدول (1): قيم القوة F_i لكل شكل من أشكال التوزيع المختارة (kN)

الطابق	P	P1	P2	P3	P4	P5
7	602.91	549.74	998.60	771.82	959.45	367.86
6	397.29	454.75	362.97	210.28	174.34	332.85
5	332.23	363.21	242.09	208.87	174.34	301.14
4	267.75	276.72	171.03	207.86	174.34	279.29
3	201.35	193.55	118.43	205.93	174.34	259.74
2	135.68	117.76	75.35	203.22	174.34	245.64
1	68.26	49.75	37.01	197.50	174.34	215.97

النتائج والمناقشة:**نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي (Pushover analysis)****1 منحنيات الاستطاعة**

تم إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي لنماذج الأبنية المدروسة واستخلاص النتائج بهدف التوصل إلى اقتراح شكل التوزيع الأكثر كفاءة في هذه الحالة. يبين الشكل (3) منحنيات الاستطاعة لنماذج الأبنية المدروسة والمصممة من أجل الأشكال الست المختارة لتوزيع القوى الجانبية التصميمية (P-P5). يُلاحظ أن لجميع منحنيات الاستطاعة الصلابة الأولية نفسها، كما يلاحظ أن شكل التوزيع P2 أعطى منحنى استطاعة أفضل مقارنةً مع بقية أشكال التوزيع الأخرى، بينما كان شكل التوزيع P5 هو الأسوأ فقد أدى إلى انخفاض في المقاومة الأعظمية لمنحني الاستطاعة بحوالي (20) % مقارنة مع منحنى الاستطاعة لشكل التوزيع P2.

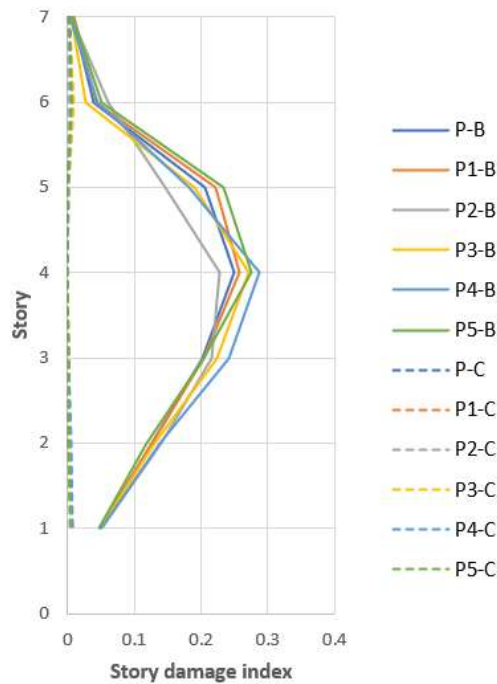
تم إيجاد نقطة التلدن لكل منحنى استطاعة ومن ثم تم حساب معامل مطاوعة الانتقال (μ). أعطى شكل التوزيع P2 أعلى قيمة لمطاوعة الانتقال (4.5) كما أعطى شكل التوزيع P5 أقل قيم (3.8).



الشكل (3): منحنيات الاستطاعة لنماذج الأبنية المدروسة.

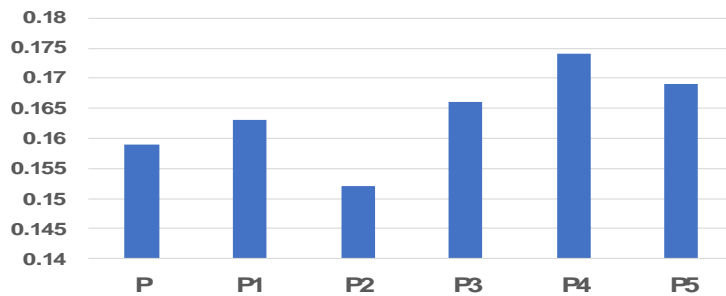
2 مؤشر الضرر الطابقي (Story damage index)

يستخدم برنامج IDARC-2D مؤشر ضرر Park and Ang (1984) لحساب قيمة مؤشر الضرر لكل عنصر إنشائي (عمود، جوائز..)، ثم يتم تجميع مؤشرات الضرر العنصرية في كل طابق لإيجاد مؤشر الضرر الطابقي، ومن ثم تجمّع مؤشرات الضرر الطابقي لحساب مؤشر الضرر العام أو الكلي.



الشكل (5): قيم مؤشر الضرر الطابقي مع الارتفاع للنماذج المدروسة

يظهر الشكل (4) تغير مؤشر الضرر الطابقي عبر ارتفاع المنشأ، وهو يبين أن ضرر الأعمدة (الخط المتقطع) كان مهماً وأن ضرر الجوائز (الخط المستمر) تركز في الطوابق الوسطية، حيث أعطى شكل التوزيع P4 أكبر قيمة لمؤشر الضرر في الطابق الرابع وهي (0.288)، بينما نتجت أصغر قيمة للضرر الطابقي عن P2. وقد كانت قيم الضرر في الطوابق العلوية والسفلية متقاربة وأصغرها نتج عن P3 في الطابق السادس (0.028)

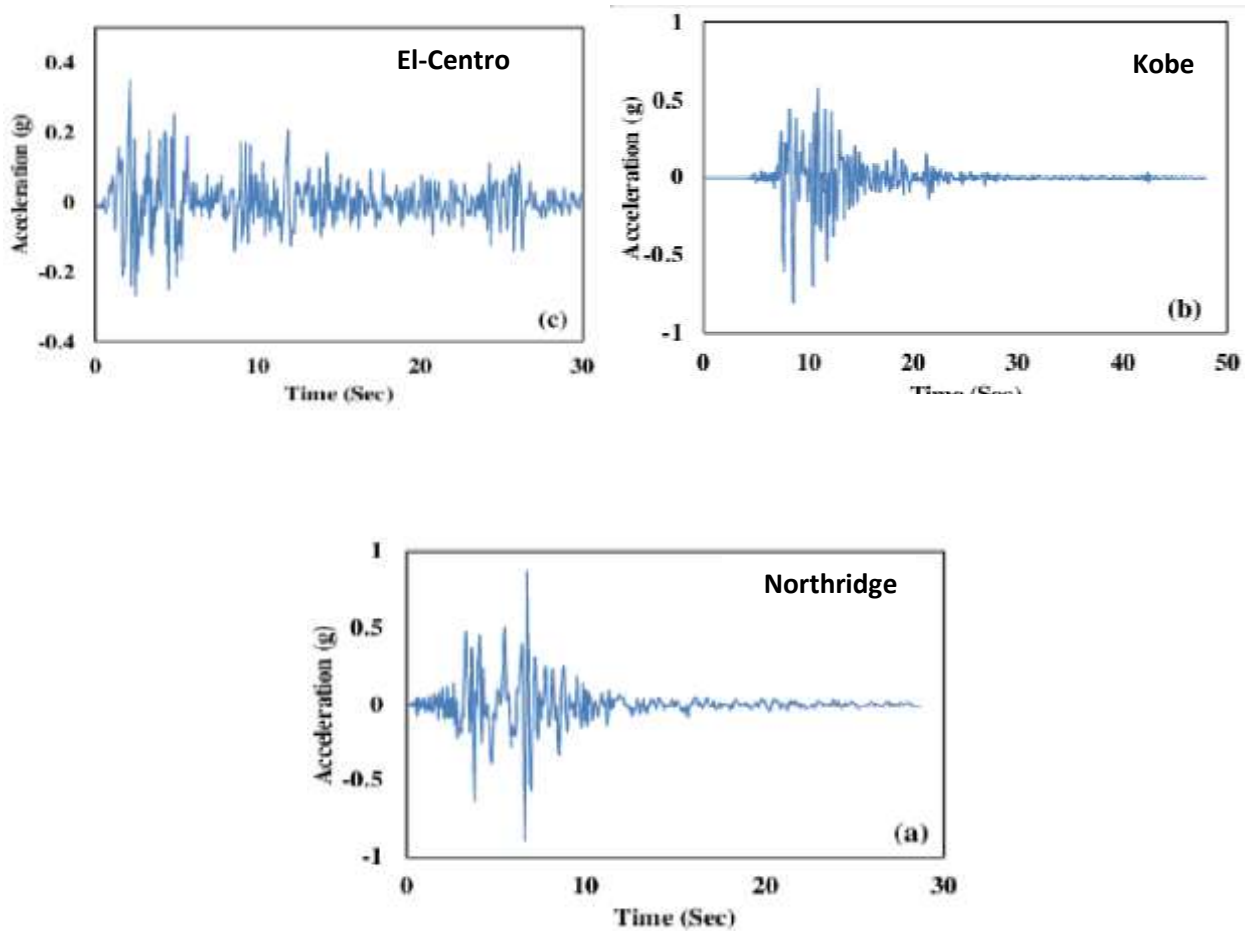


الشكل (6): قيم مؤشر الضرر العام للنماذج المدروسة

كما يلاحظ من الشكل (6) أن شكل التوزيع P2 أنتج أقل قيمة لمؤشر الضرر العام وهي (0.152)، بينما أعطى P4 أكبر قيمة للضرر وهي (0.174). جميع قيم الضرر كانت ضمن المجال (0.1-0.3) وبالتالي تعتبر الأضرار والتشققات الإنشائية قليلة حسب القيم المرجعية التي حددها Park & Ang [10].

3- التحليل الديناميكي اللاخطي

تم إجراء تحليل تاريخ زمني لاخطي باستخدام برنامج IDARC لنماذج الأبنية المدروسة باستخدام السجلات الزمنية لثلاثة زلازل: (El-Centro(1940)، Kobe(1995)، Northridge(1994)، وذلك بعد تقييسها إلى 0.25g. يظهر الشكل (7) السجلات الزمنية للزلازل المستخدمة.

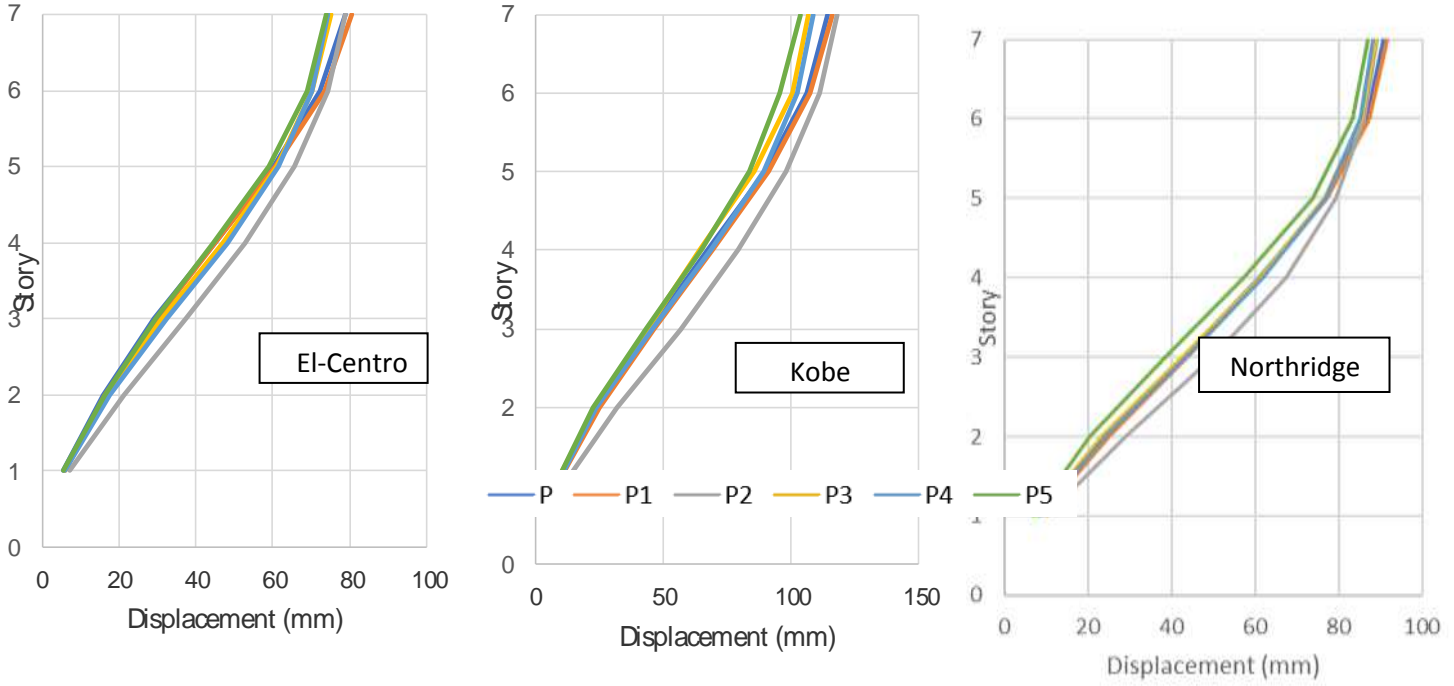


الشكل (7): الزلازل المستخدمة في الدراسة

4- تغير الانتقالات الطابقية مع الارتفاع

يظهر الشكل (8) تغير الانتقالات الطابقية مع الارتفاع في النماذج المدروسة، يمكن ملاحظة أنه في زلزال El-Centro أعطى شكل التوزيع P1 أكبر قيمة للانتقالات الطابقية في الطابق الأخير (80.3)mm، بينما نتجت أقل قيمة عن شكل التوزيع P5 بقيمة (73.8) mm. وفي زلزال Kobe، أعطى شكل التوزيع P5 أصغر قيمة للانتقال (103.5)mm وقد أعطى شكل التوزيع P2 أكبر قيمة للانتقال في الطابق الأخير (117.8) mm.

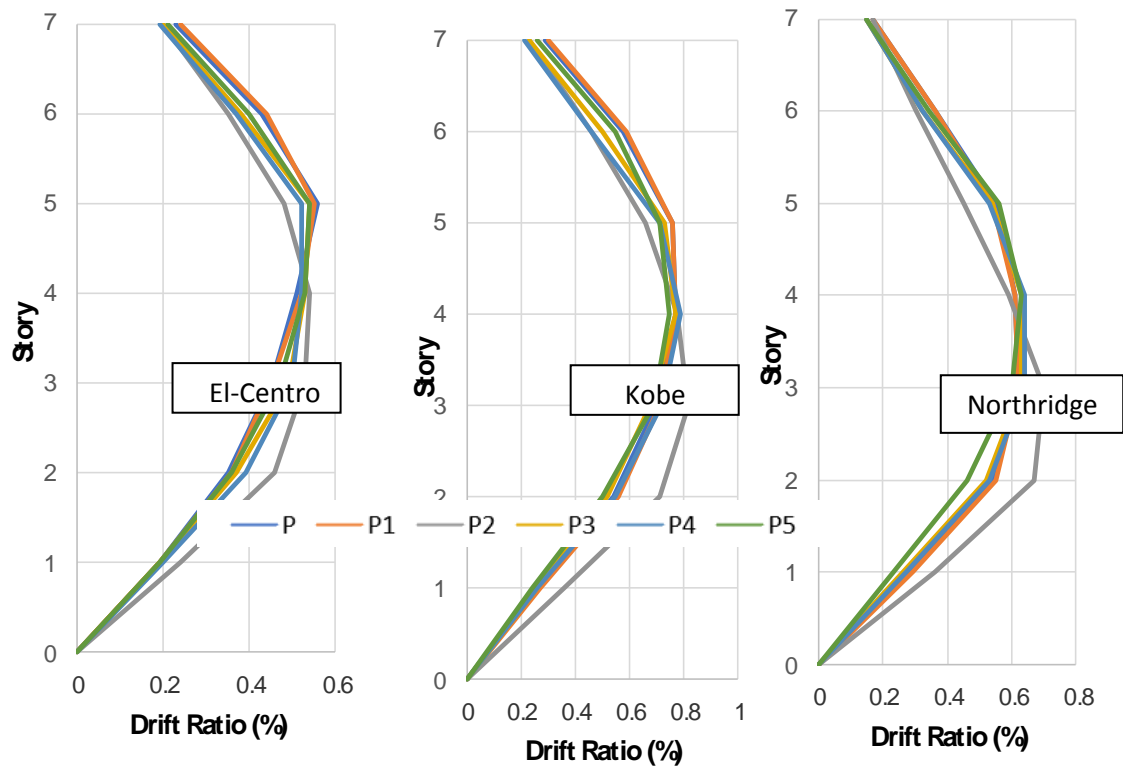
أما في زلزال Northridge أعطى شكل التوزيع P5 أقل قيمة للانتقالات الطابقية mm (87.19)،. أما أكبر قيم للانتقال فقد نتجت عن P1 بقيم mm (91.6).



الشكل (8): تغير الانتقالات الطابقية مع الارتفاع لنماذج الأبنية المدروسة من أجل الزلازل المستخدمة

5- تغير الانحرافات الطابقية النسبية مع الارتفاع

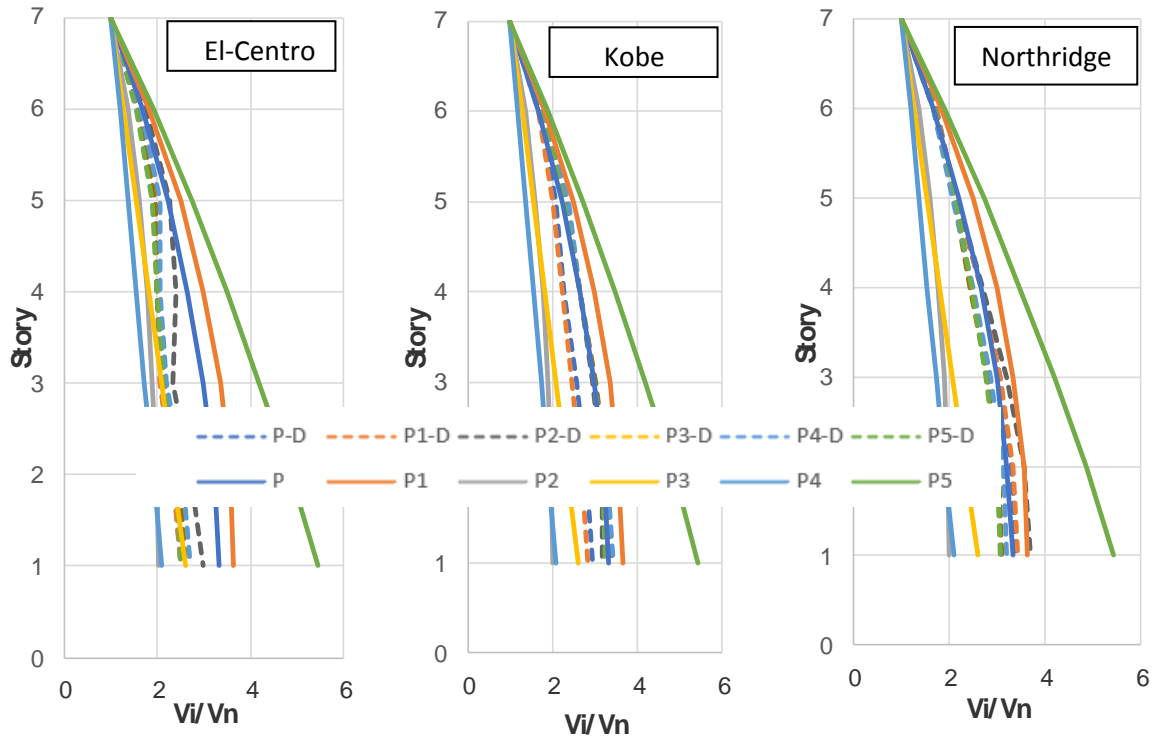
يستخدم الانحراف الطائقي على نطاق واسع لتقييم سلوك الأبنية وتقدير مستوى الضرر الذي لحق بالعناصر الإنشائية، وقد بين الكود ASCE/SEI 41-13 [12] حدود الانحرافات الطابقية بـ 0.7%، 2.5%، 5% من أجل مستوى أداء الإشغال الفوري (IO)، سلامة الحياة (LS) ومنع الانهيار (CP) على التوالي. يبين الشكل (9) تغير الانحرافات الطابقية النسبية مع الارتفاع، وفيه يُلاحظ أن جميع القيم لم تتجاوز 0.82%، كما لم يعطي أي من هذه المنحنيات توزيع منتظم تماماً للانحرافات الطابقية مع الارتفاع، لكن يمكن اعتبار أن شكل التوزيع P3 استطاع التحكم بالانحرافات الطابقية وأعطى انحرافات طابقية أكثر انتظاماً مقارنة مع باقي الأشكال، يليه P و P1.



الشكل (9): تغير الانحرافات الطابقية مع الارتفاع لنماذج الأبنية من أجل الزلازل المستخدمة

6- مقارنة القص الطابقي التصميمي مع القص الناتج عن التحليل الديناميكي

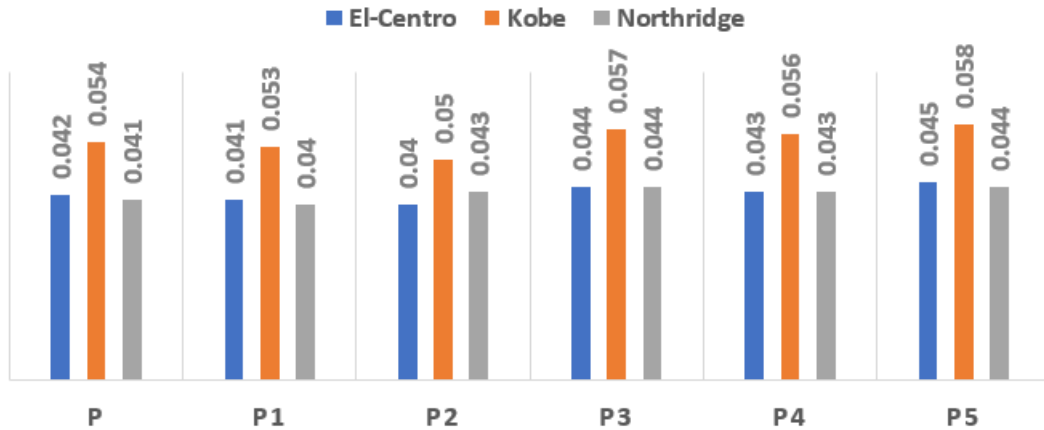
يبين الشكل (10) توزيع القص الطابقي النسبي مع الارتفاع (V_i/V_n) لكل شكل من أشكال التوزيع التصميمية (LFDPs). وفيه يُلاحظ انحراف P5 بشكل كبير عن نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي في جميع السجلات الزلزالية المستخدمة وكذلك P1 في زلزال El-Centro، حيث يظهر التحليل الديناميكي اللاخطي أن الطوابق العليا تتعرض لقوى أكبر من القوى الناتجة عن أشكال التوزيع التصميمية. كما يظهر أن أشكال التوزيع P2 و P3 كانت قريبة من نتائج التحليل الديناميكي وتمثل حداً سفلياً لها، وهذا يؤدي بشكل طبيعي لقوى تصميمية أكبر عند الطوابق العليا، مما قد ينتج تركيز تشوهات لاخطية في المناسيب الوسطية والسفلية.



الشكل (10): توزيع القص الطابقي النسبي مع الارتفاع لنماذج الأبنية المدروسة من أجل الزلازل المستخدمة

7- مؤشر الضرر العام (Global damage index)

يلاحظ من الشكل (11) أن شكل التوزيع P2 استطاع أن يقلل الضرر العام بنسبة 7.4% مقارنة مع P. وقد كان شكل التوزيع P5 هو الأسوأ. مما يعني أن شكل التوزيع هذا قد يكون غير مناسب للأبنية البيتونية متوسطة الارتفاع ذات الجمل الإطارية متوسطة المقاومة للعزوم.



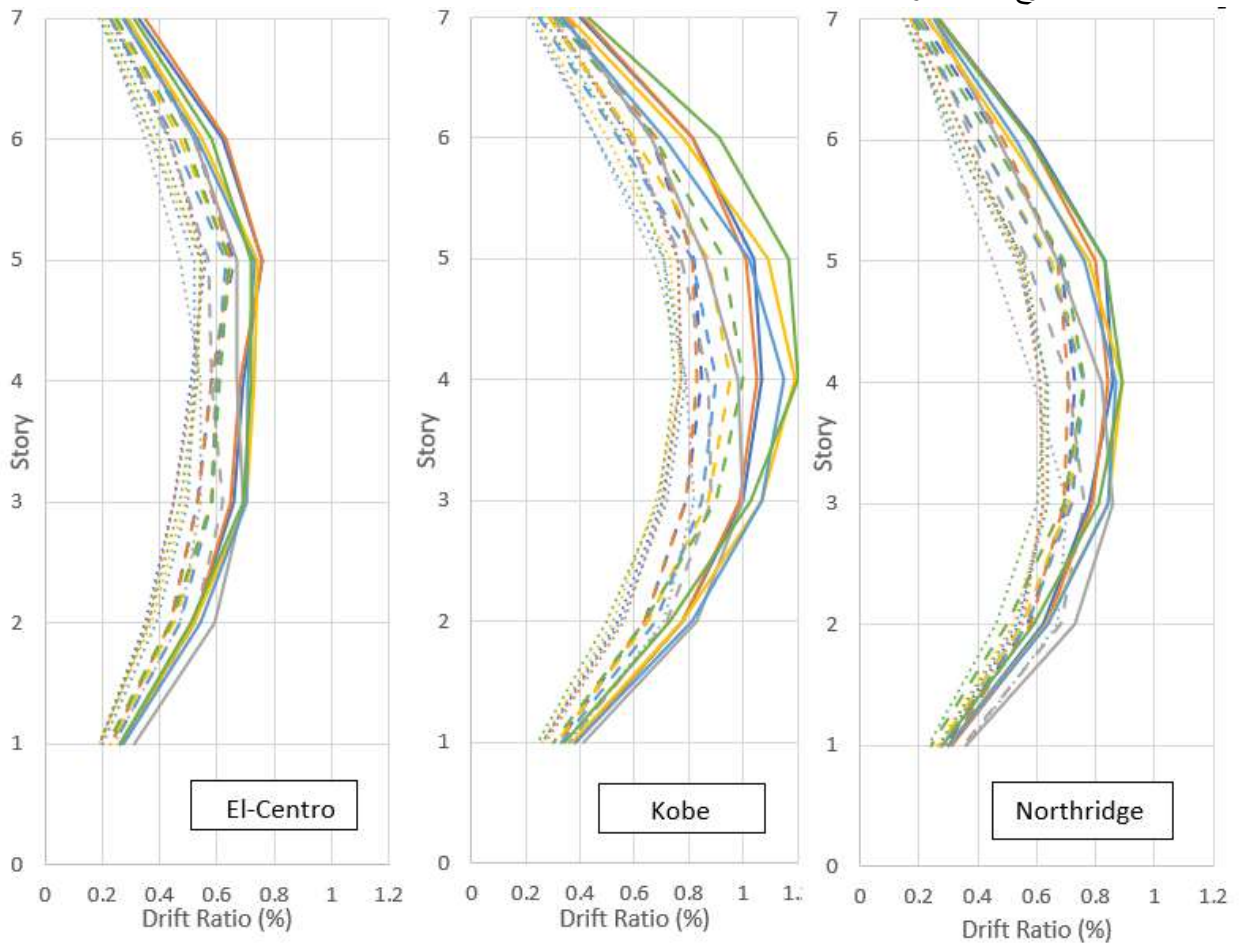
الشكل (11): مؤشر الضرر العام الارتفاع لنماذج الأبنية المدروسة من أجل الزلازل المستخدمة

8- تأثير درجة اللاخطية على كفاءة أشكال توزيع القوى الجانبية التصميمية

تتطلب إجراءات التصميم القائم على الأداء التنبؤ بالقدرة الزلزالية للمنشآت عند تعرضها لمستويات مختلفة من الشدة الزلزالية. عند تعرض الأبنية لزلزال قوية تتولد تشوهات لاخطية ويزداد دور المبنى كما تزداد مساهمة الأنماط العليا وبالتالي قد تصبح بعض أشكال توزيع القوى التصميمية أقل كفاءة عند تعرض البناء لزلزال ذات شدات عالية. تم إجراء تحليل ديناميكي لاخطي للأبنية المدروسة تحت تأثير السجلات الزلزالية المستخدمة بعد تقييسها إلى القيم (0.3g-0.35g) وذلك لدراسة تأثير درجة اللاخطية على سلوك الأبنية المدروسة.

9- تغير الانحرافات الطابقية النسبية مع الارتفاع

يبين الشكل (12) تغير الانحرافات الطابقية النسبية مع الارتفاع لنماذج الأبنية المدروسة، حيث يُلاحظ أن الانحرافات الطابقية لم تتجاوز 1.2% في جميع درجات اللاخطية المدروسة، ولكن شكل التوزيع يختلف من سجل زلزالي لآخر ومن شكل توزيع قوى لآخر.



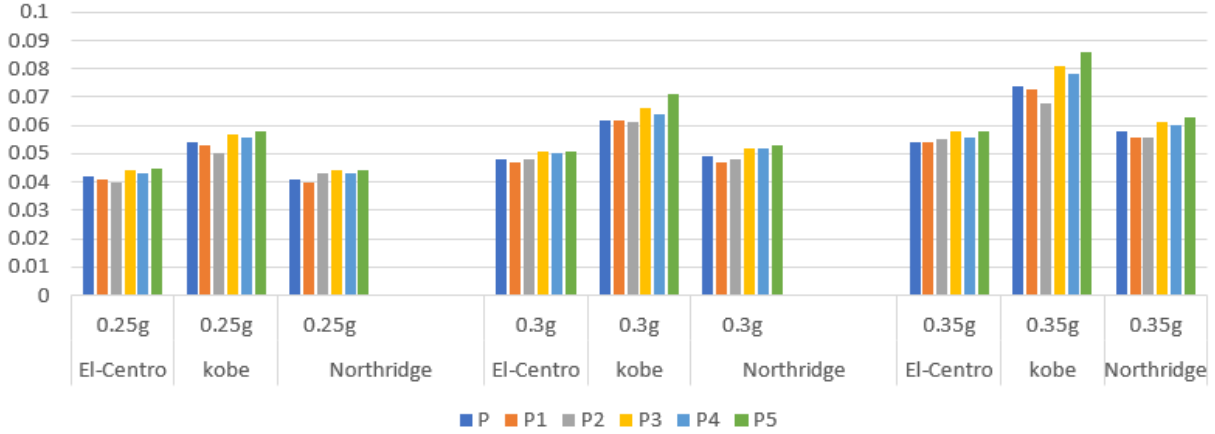
الشكل (12): تغير الانحرافات الطابقية مع الارتفاع لنماذج الأبنية المدروسة من أجل الزلازل المستخدمة

تظهر النتائج أيضاً أنه مع ازدياد درجة اللاخطية حافظ كل من الاشكال P1 و P و P3 على توزيع أكثر انتظاماً للانحرافات الطابقية مقارنةً مع بقية أشكال التوزيع في جميع السجلات المدروسة، واستطاع شكل التوزيع P3 التحكم بالانحرافات الطابقية في جميع الطوابق. كما بقي شكل التوزيع P1 يعطي أكبر قيمة للانحراف عند الطوابق العلوية في

زلزال El-Centro إذ كانت قيم الانحرافات عند الطابق الخامس (0.66%-0.76%) من أجل درجتي اللاخطية 0.3g و0.35g على التوالي. كذلك أنتج P5 في زلزالي Kobe قيم كبيرة للانحرافات من أجل جميع الشدات الزلزالية. وقد لوحظ تحسن في توزيع الانحرافات الطابقية بالنسبة لشكل التوزيع P2 في زلزال Kobe حيث أعطى أقل قيمة للانحرافات الطابقية (0.77%-0.86%) عند الطابق الخامس في كل من 0.3g و 0.35g.

10- مؤشر الضرر العام (Overall damage index)

يبين الشكل (13) أن كل من شكلي التوزيع P1 و P2 أعطى أقل قيمة لمؤشر الضرر العام في جميع الحالات. أما القيمة الأكبر لمؤشر الضرر العام فقد نتجت عن P5 وفق زلزال El-Centro وهي (0.045)، ومع ازدياد درجة اللاخطية أعطى كل من P5 و P3 القيمة الأكبر للضرر (0.051-0.058) عند 0.3g و 0.35g على التوالي. كما أنتج P5 أكبر قيمة للضرر في جميع الحالات وذلك في زلزالي Kobe و Northridge، إذ أعطى في زلزال Kobe قيم الضرر (0.058-0.071-0.086) من أجل الشدات 0.25 و 0.3 و 0.35 على التوالي، أما وفق Northridge كانت القيم (0.044-0.053-0.063).



الشكل (13): مؤشر الضرر العام الارتفاع لنماذج الأبنية المدروسة من أجل الزلازل المستخدمة

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

يعتبر شكل القوى الزلزالية الجانبية المستخدم خلال عملية تصميم الأبنية من العوامل الهامة المؤثرة على السلوك اللاخطي لهذه الأبنية. وقد بدأت بعض الدراسات باقتراح علاقات جديدة لحساب القوى الزلزالية الطابقية لكن هذه العلاقات لا يمكن اعتمادها مباشرة في التصميم العملي لأن لكل منها افتراضات معينة. تم في هذا البحث دراسة تأثير تغيير شكل توزيع القوى الجانبية التصميمية على سلوك الأبنية البيتونية ذات الجمل الإطارية متوسطة المقاومة للعزوم، حيث تم تصميم مبنى سكني مؤلف من سبعة طوابق باستخدام ستة أشكال توزيع القوى الجانبية مأخوذة من الدراسات المرجعية والكودات الزلزالية، ثم أُجري تحليل ستاتيكي وديناميكي لاخطي للأبنية الست المصممة. وتم التوصل إلى النتائج التالية:

- تولد في الأبنية المصممة وفق أشكال توزيع مختلفة للقوى الجانبية توزيعات مختلفة للانحرافات الطابقية والضرر.
- يمكن اعتبار أن شكلي التوزيع P3 المقترح من قبل Park & Medina(2007) و P2 المقترح من قبل Goel et al(2010) هما الأكثر كفاءة للأبنية البيتونية متوسطة الارتفاع ذات الجمل الإطارية متوسطة المقاومة للعزوم في حالتها التحليل الستاتيكي والديناميكي وعند زيادة درجة اللاخطية.
- يعتبر شكل التوزيع الكودي P1 (ASCE/SEI 7-10) أيضاً من أشكال التوزيع الجيدة للأبنية الإطارية متوسطة الارتفاع.
- كان شكل التوزيع P5 المقترح من قبل Hajirasouliha & Moghaddam(2012) هو الأقل كفاءة، فهو لم يستطع التحكم بالضرر والانحرافات الطابقية عند زيادة درجة اللاخطية، حيث أدى تعرض الأبنية لزلازل قوية إلى ازدياد دور المبنى ومساهمة الأنماط العليا وبالتالي تولد تشوهات لاخطية أكبر. مما يعني أنه قد يكون غير مناسب للأبنية البيتونية متوسطة الارتفاع ذات الجمل الإطارية متوسطة المقاومة للعزوم.

Reference

- [1] Hajirasouliha, I. and Moghaddam, H., "New Lateral Force Distribution for Seismic Design of Structures", JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, 2009.
- [2] Chao, Sh., Goel, C. and Lee, S.-S., "A Seismic Design Lateral Force Distribution Based on Inelastic State of Structures", The University of Michigan, College of Engineering, 2007.
- [3] Bai, J., Chen, H., et al., "New lateral load distribution pattern for seismic design of deteriorating shear buildings considering soil-structure interaction", Chongqing University, 2020.
- [4] Etedali, S. and Irandegani, M., "A proposed lateral load pattern for pushover analysis of structures subjected to earthquake excitations", Birjand University of Technology, 2014.
- [5] Zhang, H., Lian, Su, Mingzhou. and Cheng, Q., "Lateral force distribution in the inelastic state for seismic design of high-strength steel framed-tube structures with shear links", Xi'an University of Architecture and Technology, Lab of Structural Engineering and Earthquake Resistance, Ministry of Education (XAUAT), 2020.
- [6] Syrian Arab code for the design and implementation of reinforced concrete structures, 2012.
- [7] American Society of Civil Engineers (ASCE), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures: ASCE Standard ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineers, 2010.
- [8] Park, K., Medina, R.A. "Conceptual seismic design of regular frames based on the concept of uniform damage". Journal of Structural Engineering, ASCE 133:7, 945-955, 2007.
- [9] Moghaddam, H. and Karami Mohammadi, R. "More efficient seismic loading for multi-degrees of freedom structures". Journal of Structural Engineering ASCE 132(10): 1673-1677, 2006.
- [10] Valles, R.E., et al., IDARC2D version 7.0: a computer program for the inelastic damage analysis of buildings, NCEER, State Univ. of New York at Buffalo, NCEER-96-0010 (1996).
- [11] UBC (Uniform Building Code), 1997.
- [12] ASCE (2013) ASCE/SEI 41-13: Seismic rehabilitation of existing buildings. ASCE, Reston, VA, USA.
- [13] Badran A., Issa F., Hwaija B., "The effect of Lateral force distribution patterns on the behavior of RC buildings", the Second International Conference in Construction Engineering (ICCE22), Damascus university-Syria, November 28-30, 2022.
- [14] Moghaddam, H., Hajirasouliha, I., Hosseini Gelekola, S.M. "More efficient lateral load patterns for seismic design of steel moment-resisting frames", ICE Publishing, 2017.