

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكاملي لتقدير الطلب الزلزالي للمنشآت الإطارية العالية

ميساء محمد العرب*¹ هالة حسن²

^{1*} طالبة دكتوراه، مهندسة، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية،
الهندسة الإنشائية الزلزالية maysaa.alarab@damascusuniversity.edu.sy

² استاذ، دكتور، مهندس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية،
جامعة دمشق، سورية، ديناميك الانشاءات. hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

يُعتبر تحليل الدفع الجانبي الستاتيكي اللاخطي أحد الطرائق المستخدمة لدراسة المنشآت المعرضة لتأثير الهزات الزلزالية، وقد أُجريت الكثير من الأبحاث عبر الزمن لتحسين نتائج هذه الطريقة على المنشآت العالية. تم في هذه المقالة استعراض مجموعة من طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكاملي، ومن ثم تطبيقها على منشأتين إطاريتين من البيتون المسلح بارتفاعين مختلفين 20 و 25 طابقاً، ومقارنة الاستجابة الزلزالية (الانزياح الطائقي النسبي) مع طريقة تحليل السجل الزمني اللاخطي والتي تُعتبر الطريقة الأكثر دقة لتقدير الاستجابة الزلزالية.

بينت الدراسة أن استخدام طريقة NADP هي الأفضل بين طرائق الدفع الجانبي غير التكاملي بالنسبة للمنشآت العالية والتي يكون تأثير الأنماط العليا واضح، كما أظهرت الدراسة أن جميع طرائق الدفع الجانبي غير التكاملي قد بالغت بتقدير الاستجابة الزلزالية في الطوابق السفلية بينما قللت من تقديرها في الطوابق العلوية ولذلك لا بد من البحث عن طرائق تحليل دفع جانبي ستاتيكي لا خطي أكثر دقة تقترب نتائجها من الطريقة الديناميكية الدقيقة من أجل المنشآت البيتونية العالية.

الكلمات المفتاحية: تحليل الدفع الجانبي غير تكاملي، تحليل السجل الزمني، الانزياح الطائقي النسبي.

تاريخ الإيداع: 2023/5/31

تاريخ القبول: 2024/1/10



حقوق النشر: جامعة دمشق –

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب CC BY-NC-SA

Assessment of non-Adaptive Pushover Analysis Methods for Estimation Seismic Demand for High Frame Structures

Maysaa Mohamad AL-ARAB*¹ Hala HASAN²

*¹. PHD student of Seismic Structural Engineering, Eng. Department, Higher Institute of Earthquake Studies & Research - University of Damascus, Syria
maysaa.alarab@damascusuniversity.edu.sy

². Professor at Structural Earthquake Engineering Department -Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR) – University of Damascus, Syria.
hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

ABSTRACT:

The nonlinear static pushover analysis is one of the methods used to study structures exposed to the influence of seismic ground motions. Extensive research has been conducted over time to improve the results of this method on high structures. In this article, some of non-adaptive pushover analysis methods were reviewed, and then applied to two reinforced concrete frame structures of two different heights ,20 and 25 floors, and compared the seismic response (story drift) with the nonlinear time history analysis method, which is considered the most accurate method for estimating the seismic response .

The study showed that using the NADP method is the best among non adaptive pushover analysis methods for high structures , in which the effect of the high modes is clear .The study also showed that all non adaptive pushover analysis methods overestimated the seismic response in the lower floors while underestimated it in the upper floors. Therefore , it is necessary to search for more accurate nonlinear static pushover analysis methods so that their results close to the accurate dynamic method for high concrete structures.

Keywords: non-Adaptive Pushover Analysis, Time History Analysis, Story Drift.

Received:31/5/2023

Accepted:10/1/2024



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

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي.....

المقدمة:

يفيد تحليل الدفع الجانبي الستاتيكي اللاخطي في تقدير الاستجابة الزلزالية للمنشآت وتحديد سلوكها تحت تأثير الهزات الأرضية ، كما ويظهر نقاط الضعف وآليات الانهيار المحتملة للمنشآت بعد دخولها في المرحلة اللاخطية . اعتمد هذا التحليل في بداياته على نموذج تحميل جانبي خطي أو منتظم أو بما يتوافق مع نمط الاهتزاز المسيطر لذلك كانت نتائجه مقبولة مقارنة مع التحليل الديناميكي للمنشآت المنتظمة ذات الأدوار القصيرة فقط (ATC,1996).

جرت الكثير من الأبحاث لتطوير هذه الطريقة لتصبح صالحة للمنشآت العالية والتي يدخل فيها تأثير الأنماط العليا حيث اعتمدت بعض الطرائق على دراسة تأثير كل نمط على حدى ومن ثم تجميع تأثير الأنماط باستخدام أحد قوانين التجميع مثل SRSS (الجزر التربيعي لمجموع مربعات الاستجابة Square Root of the Sum of the Squares) أو CQC (التركيب التربيعي الكامل AComplete Quadratic Combination) وبعضها أدخل تأثير الأنماط العليا بنموذج تحميل واحد دون الحاجة لاستخدام أي قانون لتجميع الاستجابات الناتجة عن الأنماط الفعالة وباحثون آخرون ابتكروا طريقة تحليل تراكمية تأخذ بالاعتبار تأثير الأنماط الفعالة. إن الهدف من تطوير طرائق تحليل الدفع الجانبي الستاتيكي اللاخطي هو الحصول على قيم مقبولة للاستجابة الزلزالية للمنشآت العالية مقارنة بطريقة التحليل الديناميكي اللاخطي والتي تعتبر الطريقة الأكثر دقة.

1- الدراسات المرجعية:

• تناول تقرير الـ (ATC,1996) ATC 40 طريقة تحليل الدفع الجانبي الستاتيكي اللاخطي (PUSHOVER) التقليدية حيث تم استخدام النمط الأول للاهتزاز (النمط المسيطر) كنموذج تحميل وقد وجدوا أن هذه الطريقة تعطي تقدير جيد لاستجابة التشوه الكلية في الأبنية منخفضة الارتفاع والمنتظمة حيث يسيطر النمط الأول على الاستجابة الزلزالية

العرب، حسن

بينما تكون النتائج غير مرضية للأبنية العالية ذات الأدوار الطويلة.

• طور الباحث CHOPRA وآخرون (Chopra,2001) طريقة تحليل الدفع الجانبي الستاتيكي اللاخطي التقليدية بالاعتماد على نظرية ديناميك المنشآت مع الاحتفاظ ببساطة مفهوم وحسابات الطريقة التي تعتمد على توزيع ثابت لشكل الحمل وذلك للحصول على تقييم أدق للطلب الزلزالي على المنشآت . تعتمد طريقة الدفع الجانبي النمطي (MPA) على حل المنشأ باستخدام أنماط الاهتزاز الثلاثة الأولى وتجميع آثارها بطريقة الـ SRSS. وضع الباحث خطوات تطبيق طريقة الـ MPA باستخدام نموذج تحميل جانبي $S_n^* = M\phi_n$ (Chopra,2001) و (Taghavipour et al., 2013) مع ضرورة معايرة الأنماط للمنشأ المرن بحيث تكون مساوية للواحد عند السطح.

حيث M : كتلة المنشأ الفعالة

ϕ_n : نمط الاهتزاز n

• طور الباحث Amini and etal عام 2016 طريقة تحليل الدفع الجانبي إلى طريقة الدفع الجانبي غير التكيفي بالاعتماد على الانتقال (NADP) (Amini et al., 2016)، حيث تم في هذه الطريقة حساب الطلب الزلزالي بتغلييف النتائج التي حصلنا عليها من اثنين أو ثلاث من تحاليل الدفع الجانبي المبني على الانتقال. يكمن التبسيط الأكبر في هذه الطريقة في أن تأثير الأنماط العليا يتركز في توزيع انتقال جانبي ثابت وحيد يكون كنموذج تحميل وبالتالي تحليل غير تكيفي وحيد كاف بدون الحاجة لتطبيق قانون التجميع النمطي على النتائج. تم التحليل وفق ما يلي:

- اجراء تحليل الدفع الجانبي باستخدام نموذج تحميل جانبي بالاعتماد على النمط الأول للاهتزاز (النمط المسيطر) والاستمرار بالتحليل حتى الوصول للانتقال الهدف يُرمز للاستجابة الزلزالية في هذه المرحلة بـ r_1 .

لتقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي.....

- اجراء تحليل الدفع الجانبي باستخدام نموذج تحميل مبني على الانتقال للنمط الأول والثاني كما في الشكل (1-b).

يُرمز للاستجابة الزلزالية في هذه المرحلة بـ r_2 .

- تم اجراء تحليل الدفع الجانبي للمباني التي يزيد دورها عن 2.2sec باستخدام نموذج تحميل مبني على الانتقال

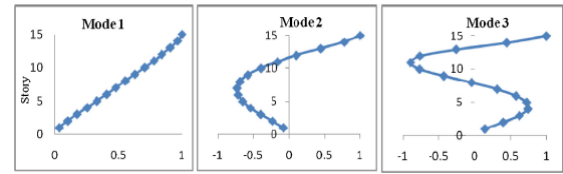
لنمط الأول والثاني والثالث كمافي الشكل (1-c). يُرمز

للاستجابة الزلزالية في هذه المرحلة بـ r_3 .

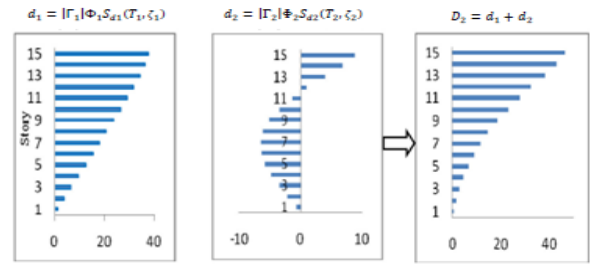
- أخذ مغلف الاستجابات وفق المعادلتين التاليتين:

$$r = \text{Max}\{r_1, r_2\}T < 2.2 \text{ Sec} \quad (1)$$

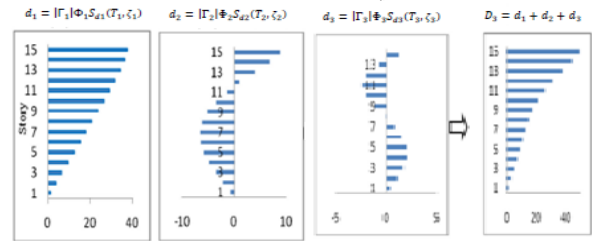
$$r = \text{Max}\{r_1, r_2, r_3\}T \geq 2.2 \text{ Sec} \quad (2)$$



(a) شكل الأنماط الثلاث الأولى



(b) نموذج التحميل الجانبي متضمن مساهمة أول نمطين



(c) نموذج التحميل الجانبي متضمن مساهمة أول ثلاث أنماط

الشكل (1) يبين خطوات حساب نموذج التحميل بطريقة الـ NADP

(Amini et al., 2016)

اقترح الباحث Mehdi Poursha وآخرون طريقة لتحليل

الدفع الجانبي النمطي المتتالي (CMP, Poursha et al.,

2017) حيث يتم التحليل وفق ما يلي:

العرب، حسن

- اجراء تحليل الدفع الجانبي باستخدام نموذج تحميل جانبي خطي للمنشآت متوسطة الارتفاع أو نموذج تحميل مستطيل للمنشآت العالية والاستمرار بالتحليل حتى الوصول للانتقال الهدف δ_t . يُرمز للاستجابة الزلزالية في هذه المرحلة بـ r_1 .

- اجراء التحليل الجانبي باستخدام نموذج تحميل $s_1^* = m\phi_1$ حتى يصل انتقال السطح إلى $u_{r1} = \beta_1 \delta_t$ حيث $\beta_1 = \alpha_1$ (معامل المساهمة النمطية للنمط الأول) بعدها يتم الاستمرار بالتحليل ولكن باستخدام نموذج تحميل جانبي $s_2^* = m\phi_2$ وذلك حتى يصل انتقال السطح إلى $u_{r2} = \beta_2 \delta_t$ حيث $\beta_2 = 1 - \alpha_1$. يُرمز للاستجابة الزلزالية في هذه المرحلة بـ r_2 .

- للمنشآت ذات الأدوار أكبر من 2.2 Sec، اجراء تحليل الدفع الجانبي باستخدام نموذج تحميل $s_1^* = m\phi_1$ حتى يصل انتقال السطح إلى $u_{r1} = \beta_1 \delta_t$ حيث $\beta_1 = \alpha_1$ ثم يُتابع التحليل باستخدام نموذج تحميل جانبي $s_2^* = m\phi_2$ حتى يصل انتقال السطح إلى $u_{r2} = \beta_2 \delta_t$ ، حيث:

$\beta_2 = \alpha_2$ (معامل المساهمة النمطية للنمط الثاني)، ثم يتم الاستمرار بالتحليل باستخدام نموذج تحميل جانبي $s_3^* = m\phi_3$ حتى يصل انتقال السطح إلى القيمة $u_{r3} = \beta_3 \delta_t$ حيث: $\beta_3 = 1 - \alpha_1 - \alpha_2$. يُرمز للاستجابة الزلزالية في هذه المرحلة بـ r_3 .

- أخذ مغلف الاستجابات وفق المعادلتين (1) و(2)

2- طرائق البحث:

2-1- فرضيات البحث ووصف النموذج:

تمت النمذجة باستخدام برنامج الـ Opensees

(Mazzoniet al, 2005) الذي يعتمد لغة البرمجة TCL

وفيما يلي أهم نقاط النمذجة:

تم نمذجة اطار مستوي من البيتون المسلح بارتفاع 20 طابق حيث ارتفاع الطابق الارضي 4.57m والارتفاع الطابق لباقي الطوابق 3.96m. يتألف كل اطار من ثلاث فتحات

العرب، حسن

الجدول (2) يبين مقاطع وتسليح بعض الأعمدة والجوائز في النموذج s2

	h(cm)	b(cm)	ρ %	$\dot{\rho}$	ρ_{sh}	S(c m)
C18	85	85	1.05	-	0.90	10. 00
C19	85	85	1.26	-	0.90	10. 00
B18	90	75	0.45	0.58	0.40	11. 25

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكميلي.....

عرض كل منها 6.1m ، الحمولة الحية والميتة هي 52KN/m و 15 KN/m على التوالي ، تم اعتبار الحمولة الميتة مع 20% من الحمولة الحية من أجل حساب الكتلة الزلزالية

(Jalilkhania et al.,2020). كما تم نمذجة إطار آخر من البيتون المسلح بارتفاع 25 طابق بنفس أبعاد الاطار السابق. درست النماذج بحيث تحقق متطلبات الكود ACI 318، (2014; (ACI)) علماً أنها تقع في المنطقة الزلزالية الرابعة على تربة ذات تصنيف S_D . مقاومة الضغط للبيتون $f_c = 34.5 \text{ Mpa}$ وللجوائز، و $f_c = 41.4 \text{ Mpa}$ للأعمدة و مقاومة الخضوع لحديد التسليح $f_y = 460 \text{ Mpa}$ (Jalilkhania et al.,2020).

يوضح الشكل (2) والجداول (1) و (2) و (3) النماذج المدروسة (s1,s2) ومواصفات مقاطعها حيث (h,b) أبعاد المقطع العرضي و ρ نسبة تسليح الشد للجوائز والأعمدة ، $\dot{\rho}$ نسبة تسليح الضغط للجوائز بينما ρ_{sh} نسبة تسليح القص للجوائز أو الأعمدة ، S التباعد بين أتاري التسليح العرضي

الجدول (1) يبين مقاطع وتسليح الأعمدة (Jalilkhania et al.,2020)

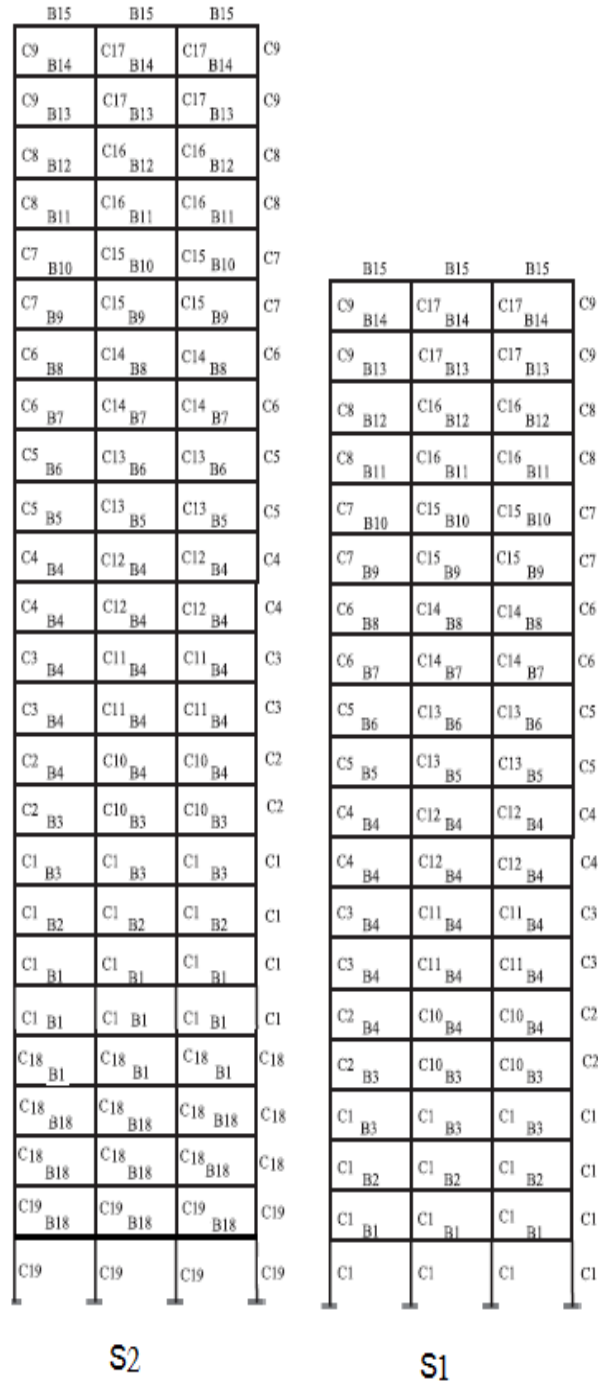
العمود	h (cm)	b (cm)	ρ (%)	ρ_{sh}	S (cm)
C1	75	75	1.00	0.65	10.00
C2	65	65	1.30	0.63	11.25
C3	65	65	1.38	0.63	11.25
C4	65	65	1.40	0.63	11.25
C5	65	65	1.35	0.63	11.25
C6	65	65	1.33	0.63	11.25
C7	55	55	2.13	0.70	12.50
C8	55	55	1.95	0.70	12.50
C9	55	55	1.80	0.70	12.50
C10	65	65	1.20	0.63	11.25
C11	65	65	1.48	0.63	11.25
C12	65	65	1.68	0.63	11.25
C13	65	65	1.55	0.63	11.25
C14	65	65	1.65	0.63	11.25
C15	55	55	2.73	0.70	12.50
C16	55	55	2.55	0.70	12.50
C17	55	55	2.38	0.70	12.50

الجدول (3) يبين مقاطع وتسليح الجوائز (Jalilkhania et al.,2020)

الجائز	h (cm)	b (cm)	ρ %	$\dot{\rho}$	ρ_{sh}	S (cm)
B1	85	75	0.38	0.53	0.38	12.50
B2	85	75	0.35	0.55	0.38	12.50
B3	85	75	0.33	0.58	0.38	12.50
B4	85	65	0.38	0.70	0.44	12.50
B5	85	65	0.38	0.73	0.38	12.50
B6	75	65	0.45	0.83	0.47	15.00
B7	75	65	0.45	0.80	0.47	15.00
B8	75	65	0.43	0.80	0.46	15.00
B9	75	65	0.38	0.75	0.40	12.50
B10	75	55	0.40	0.80	0.40	12.50
B11	75	55	0.37	0.75	0.47	13.75
B12	75	55	0.35	0.68	0.45	13.75
B13	75	55	0.32	0.58	0.26	16.25
B14	75	55	0.32	0.53	0.26	16.25
B15	75	55	0.32	0.32	0.26	16.25
B16	55	55	0.41	0.83	0.37	11.25
B17	55	55	0.37	0.53	0.37	11.25

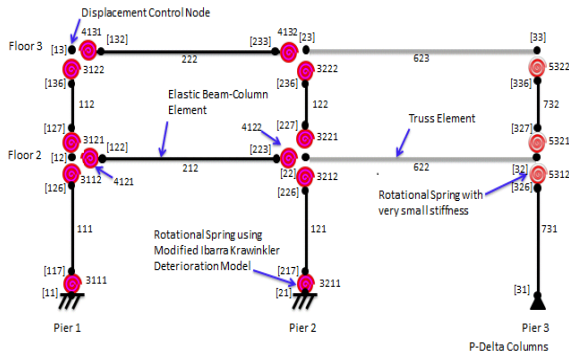
تمت النمذجة باستخدام برنامج الـ Opensees، (Mazzoniet al,2005) حيث اعتمدت طريقة اللدونة المركزة (concentrated plasticity) عند نهايات الجوائز والأعمدة باستخدام عناصر لا خطية صفيرية الطول على شكل نوابض

دورانية وأعطيت سلوك ووفق (Ibarra–Krawinkler (IK لتمثل سلوك المفاصل بعد الدخول بالمرحلة اللاخطية أما باقي العنصر فتمت نمذجته على أنه مرن، من الجدير بالذكر أنه تم تعديل صلابة العنصر المرن بين المفصلين وإعطاء صلابة للمفصل اللدن بحيث تكافئ صلابة (مفصل –عنصر مرن – مفصل) صلابة العنصر الفعلي وذلك وفق ما هو موضح بالعلاقتين (3) و (4) من المرجع (Ibarra et al.,2005) يوضح الشكل (3) كيفية نمذجة سلوك المفاصل وفق (IK). تم أخذ تأثير الـ $P - \Delta$ بالاعتبار وذلك بنمذجة فتحة إضافية، الأعمدة فيها ذات صلابة عالية لتمثل التأثير الكلي لجميع أعمدة الجاذبية وفي نهايات هذه الأعمدة تم نمذجة مفاصل دورانية ذات طول صفيري وصلابة شبه

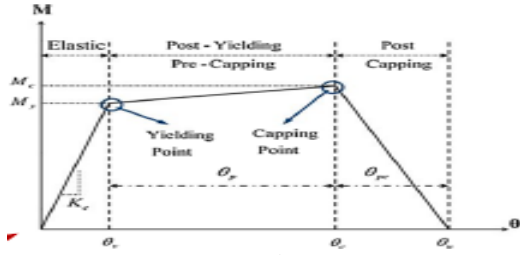


الشكل (2) يبين النماذج البيتونية المدروسة (Jalilkhania et al.,2020)

العرب، حسن



(3-a)



(3-b)

الشكل (3) (a) يبين نموذج يوضح كيفية نمذجة المفاصل وتأثير الـ $P - \Delta$. (b) يبين سلوك المفصل اللدن (Ibarra et al., 2005) و (Esmaili et al., 2012)

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي..... صفرية حتى لا يحدث في هذه الأعمدة أي عزم، أما جوائز هذه الفتحة الإضافية فهي عبارة عن عناصر شبكية ذات صلابة محورية عالية لتمثل التأثير الكلي لجميع جوائز الجاذبية مهمتها أن تصل بين الأعمدة الإضافية والإطار الأصلي و تنقل تأثير الـ $P - \Delta$. يوضح الشكل (3) كيفية نمذجة المفاصل وسلوكها وفق (IK) مع كيفية نمذجة تأثير الـ $P - \Delta$.

المفاصل في الجوائز هي مفاصل عزمية M3 بينما المفاصل في الأعمدة فسلوكها مبني على التفاعل بين القوى المحورية وعزوم الانعطاف P-M3. تم استخدام خوارزمية نيوتن رافسون من أجل التحليل اللاخطي مع نسبة تخامد 5% للنمط الأول والثالث.

بعد النمذجة والتحليل فقد تم الحصول على الخصائص المرنة للنموذجين والموضحة بالجدول (4) والذي يتضمن أدوار أول ثلاث أنماط للاهتزاز ونسب مساهمة الكتلة النمطية ومعاملات المساهمة لهذه الأنماط.

K_e : القساوة الابتدائية

M_y : عزم التلدن. M_c : العزم بعد التلدن .

تم افتراض $M_c \setminus M_y = 1.3$ (Jalilkhania et al., 2020).

θ_p دوران المفصل اللدن. تم حسابها وفق المرجع (Ibarra et al., 2005).

θ_{pc} : دوران المفصل بعد التلدن. تم افتراضها 0.1 راديان

$$K_{bc} = (n + 1)/n K_{mem} \quad (3)$$

$$K_s = (1 + n) K_{mem} \quad (4)$$

حيث K_s : الصلابة المرنة للمفصل

K_{bc} : الصلابة الدورانية للعنصر المرن بين المفصلين

K_{mem} : صلابة العنصر الفعلي.

n : عدد أكبر بكثير من الواحد وقد تم اعتباره مساو (10)

(Esmaili et al., 2012)

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي.....

الجدول (4) يبين الخصائص المرنة للنماذج المدروسة

النموذج	T1 sec	T2 sec	T3 sec
S1	1.9	0.67	0.38
S2	2.48	0.82	0.47
النموذج	α_1	α_2	α_3
S1	0.730	0.153	0.060
S2	0.67	0.21	0.07
النموذج	Γ_1	Γ_2	Γ_3
S1	1.407	0.654	0.370
S2	1.480	0.740	0.400

حيث T_n : دور الاهتزاز للنمط n ، α_n : معامل الكتلة النمطية للنمط n ، Γ_n : معامل مساهمة النمط n

3-2- الهزات الأرضية:

تمت دراسة النموذج S1 تحت تأثير الهزات العشرين ذات الخصائص الموضحة بالجدول (5) بعد أن تم معايرتها بحيث تكون قيمة متوسط التسارع الكاذب (median pseudo-acceleration) للهزات العشرين تساوي القيمة الموافقة لها من طيف الاستجابة التصميمي عند الدور الأساسي للنموذج (Esmaili et al., 2012) بينما تمت دراسة النموذج S2 على الهزات السبعة الموضح خصائصها بالجدول (5) بعد معايرتها إلى 0.25 g ، تم اختيار الهزات بحيث تكون ذات محتوى ترددي متنوع وقدر زلزالي عالي يصل إلى 7.4 وتتدفق المنشأ في المرحلة الغير مرنة.

3-3- دراسة النماذج:

تمت دراسة النماذج السابقة بعدة طرائق للدفع الجانبي غير التكيفي (الطريقة التقليدية وطريقة الدفع الجانبي النمطي MPA وطريقة الدفع الجانبي النمطي المتتالي CMP وطريقة

العرب، حسن

الدفع الجانبي غير التكيفي بالاعتماد على الانتقال (NADP) كما درست النماذج بطريقة تحليل السجل الزمني اللاخطي والتي تُعتبر الطريقة الأدق لدراسة المنشآت تحت تأثير الهزات الأرضية وذلك من أجل المقارنة وتقييم الطرائق السابقة . درست النماذج بالطريقة الأخيرة تحت تأثير كل من الهزات الواردة بالجدول (5) و الجدول (6) بعد معايرتها وقد تم تحديد الاستجابة الزلزالية الناتجة عن هذا التحليل كوسطي للاستجابات الزلزالية العظمى الناتجة عن كل من الهزات المدروسة لكل نموذج. في طريقة الدفع الجانبي التقليدية تم استخدام النمط الأول للاهتزاز كنموذج للتحميل (ATC, 1996) أما في طريقة الدفع الجانبي النمطي MPA (Chopra, 2001) فقد تم استخدام أول نمطين للاهتزاز من أجل النموذج S1 وأول ثلاثة أنماط للاهتزاز من أجل النموذج S2 بحيث لا تقل الكتلة النمطية الكلية الفعالة عن 90%. كما استُخدم قانون التجميع SRSS من أجل تجميع الاستجابات الناتجة عن الأنماط المعتبرة. تم الحصول على الاستجابة الزلزالية للنماذج في طريقة الـ CMP بأخذ المغلف للتحليل وحيد المرحلة والتحليل متعدد المراحل، حيث اعتمد التوزيع المنتظم للحمل لكل من النموذجين في التحليل وحيد المرحلة أما في التحليل متعدد المراحل فقد أُدخل تأثير أول نمطين للاهتزاز من أجل النموذج S1 والذي يقل دوره الأساسي عن 2.2 ثانية بينما تم أخذ تأثير الأنماط الثلاث الأولى من أجل النموذج S2 حيث دور الاهتزاز الأساسي أكبر من 2.2 ثانية.

الجدول (5) يبين الهزات الأرضية المستخدمة لدراسة النموذج S1 (Jalilkhania et al., 2020)

NO	Earthquake	Year	Magnitude	Station name	Component	PGV (cm/s)	PGA (g)
1	Imperial Valley	1979	6.9	Chihuahua	H-CHI282	30.1	0.25
2	Imperial Valley	1979	6.9	Chihuahua	H-CHI012	24.9	0.27
3	Northridge	1994	6.7	Hollywood Stor FF	HOL090	18.3	0.23
4	San Fernando	1971	6.6	Lake Hughes #1	L01021	17.3	0.15
5	San Fernando	1971	6.6	Hollywood Stor Lot	PEL090	18.9	0.21
6	Superstition Hills(B)	1987	6.6	Plaster City	B-PLS135	20.6	0.19
7	Superstition Hills(B)	1987	6.6	Calipatria Fire Station	B-CAL315	14.6	0.25
8	Cape Mendocino	1992	7.1	Rio Dell Overpass	RIO270	43.9	0.39
9	Cape Mendocino	1992	7.1	Rio Dell Overpass	RIO360	42.1	0.55
10	Whittier Narrows	1987	5.7	Beverly Hills	A-MUL279	10.3	0.13
11	Imperial Valley	1979	6.9	El Centro Array #12	H-E12140	17.6	0.14
12	Loma Prieta	1989	7.1	Agnews State Hospital	AGW090	17.6	0.16
13	Imperial Valley	1979	6.9	Cucapah	H-QKP085	36.3	0.31
14	Loma Prieta	1989	7.1	Sunnyvale - Colton Ave.	SVL270	37.3	0.21
15	Imperial Valley	1979	6.9	El Centro Array #13	H-E13140	14.7	0.12
16	Imperial Valley	1979	6.9	Westmorland Fire Station	F-WSM360	4.7	0.09
17	Loma Prieta	1989	7.1	Sunnyvale - Colton Ave	SVL360	36.0	0.21
18	Imperial Valley	1979	6.9	El Centro Array #13	H-E13230	13.0	0.14
19	Imperial Valley	1979	6.9	Westmorland Fire Station	F-WSM-UP	2.0	0.12
20	Tabas	1978	7.4	Boshrooyeh	BOS-L1	13.7	0.11

الجدول (6) يبين الهزات الأرضية المستخدمة لدراسة النموذج S2

NO	Earthquake	Year	Magnitude	Station name	Component	PGV (cm/s)	PGA (g)
1	Northridge	1994	6.7	LA-Baldwin Hills	90	14.85	0.24
2	Northridge	1994	6.7	Hollywood Stor FF	HOL090	18.3	0.23
3	Imperial Valley	1979	6.9	El Centro Array #13	H-E13230	13.0	0.14
4	Imperial Valley	1979	6.9	Chihuahua	H-CHI282	30.1	0.25
5	San Fernando	1971	6.6	Hollywood Stor Lot	PEL090	18.9	0.21
6	Northridge	1994	6.7	LA-Chalon Rd	70	16.6	0.23
7	Tabas	1978	7.4	Boshrooyeh	BOS-L1	13.7	0.11

وذلك بأخذ وسطي الانتقالات العظمى لكل من النموذجين تحت تأثير الهزات المدروسة حيث كانت قيمة الانتقال الهدف 24.33 cm و 32.6 cm للنموذجين S1 و S2 على الترتيب.

3-4 - المقارنات والنتائج:

الاستجابة الزلزالية الناتجة عن تطبيق طريقة الـ NADP هي مغلف الاستجابات الناتجة عن تحاليل الدفع الجانبي باستخدام الانتقالات الناتجة عن أول نمطين للاهتزاز من أجل النموذج S1 ($T_1 < 2.2 \text{ sec}$) وأنماط الاهتزاز الثلاث الأولى للنموذج S2 ($T_1 > 2.2 \text{ sec}$). تم تحديد الانتقال الهدف لطرائق الدفع الجانبي غير التكيفي بالاعتماد على تحليل السجل الزمني

العرب، حسن

Error(%)

$$= 100 * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta_{i-NLRHA} - \Delta_{i-NSP}}{\Delta_{i-NLRHA}} \right)^2 \quad (5)$$

الجدول (6) يبين قيم الخطأ المئوي لجميع الطوابق نتيجة استخدام طرائق الدفع الجانبي غير التكيفي

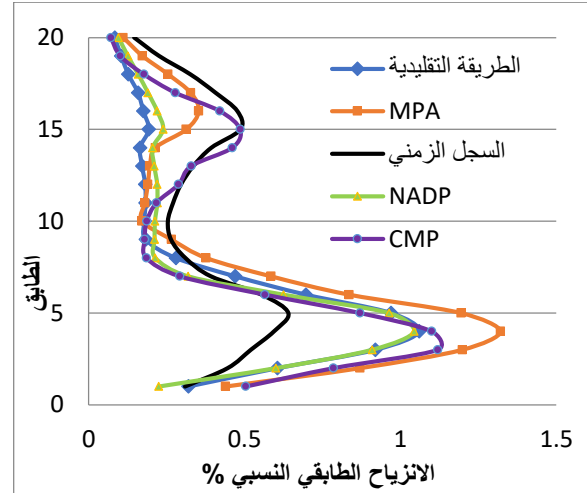
طريقة	طريقة CMP	طريقة NADP	طريقة MPA	طريقة التقليدية	النموذج
S1	%9.5	%8.5	%10	%9.8	كامل النموذج
	%16.9	%12	%20	%12.3	النصف السفلي
	%9.5	%12	%9.3	%15.6	النصف العلوي
S2	%11.3	%4.3	%7	%5.5	كامل النموذج
	%26	%11.6	%11.4	%13.6	النصف السفلي
	%12.1	%6.2	%7.8	%11.8	النصف العلوي

من الشكل (4) والجدول (6) يمكن ملاحظة مايلي:

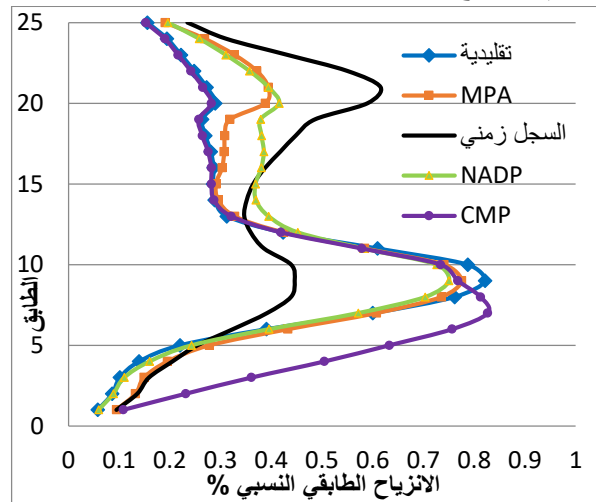
- أعطت طريقة الـ NADP استجابة في النموذج الثاني (25 طابق) أفضل من النموذج الأول وذلك مقارنة بالطريقة الديناميكية حيث ظهر تأثير الأنماط العليا بشكل أوضح في هذا النموذج S2 وذلك في الطوابق العلوية حيث كانت نسبة الخطأ من أجل جميع الطوابق لا تتجاوز 8.5% و 4.3% للنموذجين S1 و S2 على الترتيب بينما كانت 12% و 6.2% للنموذجين في الطوابق العلوية.

- أعطت الطريقة التقليدية والتي اعتمدت فقط على النمط الأول للاهتزاز في تشكيل نموذج التحميل استجابة أقل من الاستجابة التي أعطتها الطريقة الديناميكية في الطوابق العلوية

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي..... يمكن تمثيل الاستجابات الزلزالية (الانزياح الجانبي النسبي المئوي) للنماذج المدروسة بطرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي المذكورة سابقاً وطريقة السجل الزمني بالشكل (4).



(a-4) النموذج S1



(b-4) النموذج S2

الشكل (4) يبين الانزياح الطائفي النسبي % الناتج عن طرائق الدفع الجانبي غير التكيفي المدروسة وطريقة السجل الزمني

تم حساب الخطأ الوسطي المئوي الناتج من استخدام كل من طرائق الدفع الجانبي غير التكيفي بالعلاقة التالية والمأخوذة من المرجع (Amini et al., 2016) وتلخيص النتائج بالجدول (6).

العرب، حسن

- جميع طرائق الدفع الجانبي غير التكميلي خفضت من قيم الاستجابة الزلزالية في الطوابق العلوية مقارنة بالطريق الديناميكية للاخطية بينما بالغت في تقديرها في الطوابق السفلية ولكن تتفاوت هذه الطرائق بنسب التقارب من الطريقة الدقيقة.
- ضرورة البحث عن طرائق تحليل ستاتيكي لا خطي تعطي نتائج تقترب أكثر من نتائج تحليل السجل الزمني الالخطي.

قائمة المختصرات المستخدمة	
SRSS	الجزر التريبيعي لمجموع مربعات الاستجابة
CQC	التركيب التريبيعي الكامل
MPA	طريقة الدفع الجانبي النمطي
M	كتلة المنشأ الفعالة
ϕ_n	نمط الاهتزاز n
NADP	طريقة الدفع الجانبي غير التكميلي بالاعتماد على الانتقال
α_n	معامل المساهمة النمطية للنمط n
δ_t	الانتقال الهدف
CMP	طريقة لتحليل الدفع الجانبي النمطي المتتالي
M_y	عزم التلدن
M_c	العزم بعد التلدن
θ_p	دوران المفصل اللدن
θ_{pc}	دوران المفصل بعد التلدن
K_s	الصلابة المرنة للمفصل
K_{bc}	الصلابة الدورانية للعنصر المرن
K_{mem}	صلابة العنصر الفعلي بين المفصلين
T_n	دور نمط الاهتزاز n

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكميلي.....
لكلا النموذجين حيث كانت نسبة الخطأ الوسطي في الطوابق العلوية 15.6% و 11.8% للنموذج S1 و S2 على الترتيب.

- أعطت طريقة الـ CMP استجابة في النموذج الأول أفضل مما أعطته في النموذج الثاني وخاصة في الطوابق السفلية حيث كانت نسبة الخطأ 16.9% و 26% للنموذجين S1 و S2 على الترتيب حيث اعتمدت هذه الطريقة على تطبيق نماذج التحميل المتناسبة مع الأنماط بشكل متتالي مع تحديد الانتقال الهدف لكل مرحلة بما يتناسب مع مساهمة الكتلة لكل نمط.

- بالغت طريقة الـ MP (والتي اعتمدت على قانون SRSS في تجميع استجابات الأنماط) في تقدير الاستجابة الزلزالية (الانزياح الطائقي) في الطوابق السفلية حيث كانت نسبة الخطأ المؤي الوسطي 20% و 11.4% لكل من النموذجين S1 و S2 على الترتيب.

- على الرغم من تطور طرائق الدفع الجانبي غير التكميلي لتأخذ بالاعتبار تأثير الأنماط العليا في المنشآت العالية إلا أنه وكما يلاحظ في الشكل (4) فقد بالغت هذه الطرائق في تقدير الاستجابة الزلزالية في الطوابق السفلية وقللت من تقديرها في الطوابق العلوية.

4- النتائج:

يمكن مما سبق الحصول على النتائج التالية:

- أعطت طريقة الدفع الجانبي NADP تقديراً للاستجابة الزلزالية (الانزياح الجانبي) أفضل مما أعطته باقي طرائق الدفع الجانبي غير التكميلي وخاصة في النموذج الثاني حيث كان تأثير الأنماط العليا واضح.

- بالغت طريقة الـ MPA في تقدير الاستجابة الزلزالية (الانزياح الطائقي) في الطوابق السفلية بينما أعطت نتائج مقبولة في الطوابق العلوية لكلا النموذجين.

- أعطت طريقة الـ CMP انزياحات طابقية في الطوابق العلوية في النموذج الأول (20 طابق) أفضل مما أعطته في النموذج الثاني.

العرب، حسن

ing the seismic demands of RC moment-resisting frames. Engineering Structures 213 110528.

[10] Esmaili, F. Zareian, Grant Ludwig(2012). Seismic Performance of Modern Commercial Low-rise Reinforced Concrete Frame Buildings in Los Angeles County.

[11] Silvia Mazzoni, Frank McKenna, Gregory L. Fenves, et al.(2005). OpenSees Command Language Manual.

[12] ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete. American Concrete Institute (ACI); 2014.

تقييم طرائق تحليل الدفع الجانبي غير التكيفي.....

5 –References:

[1] Chopra, A.K. ,Goel,R.K., JAN.(2001), A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluationl.

[2] Amin Amini M, Poursha M. (2016), A non-adaptive displacement-based pushover procedure for the nonlinear static analysis of tall building frames. Engineering Structures 126 (2016) 586–597.

[3] Poursha M, Khoshnoudian F.AbdoReza S. Moghadam (2017) Assessment of conventional nonlinear static procedures with FEMA load Distributions and modal pushover analysis for high-rise buildings, Downloaded from ijce.iust.ac.ir at 14:23 IRST on Monday January 23rd 2017.

[4] Taghavipour. S, Majid. T.A, Lau .T.L. (2013), Assessment of Nonlinear Static (Pushover) Procedures Using Time-History Direct Integration Analysis,Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(8): 468-479, ISSN 1991-8178.

[5] Reyes JC. (2009) .Estimating seismic demands for performance-based engineering of buildings [PhD Dissertation]. University of California at Berkeley;.

[6] Ibarra L., Krawinkler H. .(2005).Global Collapse of Frame Structures Under Seismic excitations. Blume, Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University.

[7] ATC. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Report ATC-40. Redwood City (CA) : Applied Technology Council.

[8] Esmaili, F. Zareian, Grant Ludwig. Seismic Performance of Modern Commercial Low-rise Reinforced Concrete Frame Buildings in Los Angeles County.

[9] Jalilkhania Maysam, Ghasemib Seyed Hooman Danesha Masood. (2020). A multi-mode adaptive pushover analysis procedure for estimat-