تأثير تغير التخامد مع تسارع الإستجابة على تحليل الإطارات البيتونية المسلحة متعددة الطوابق باستخدام طريقة طيف الإستجابة

الطالبة : مريم الإبراهيم [1]

المشرف العلمي : د.سليمان العامودي [2]

1 **طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية جامعة حمص**
2 **أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية في جامعة حمص**

ملخص :

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التخامد المتغير المرتبط بتسارع الاستجابة على تحليل الإطارات البيتونية المسلحة متعددة الطوابق باستخدام طريقة طيف الإستجابة .

تم تحليل نماذج إطارات بيتونية مسلحة مؤلفة من فتحة واحدة ، مع تغيير عدد الطوابق من طابق واحد وحتى خمسة عشر طابقاً ، وقد أجري التحليل مرتين :

الاولى: باستخدام أطياف إستجابة مستنتجة من شدات زلزالية مختلفة لزلزال El Centro بافتراض نسبة تخامد ثابتة وقدرها 5% .

والثانية : باستخدام أطياف إستجابة مستنتجة من نفس الشدات الزلزالية ، ولكن مع اعتماد نسبة تخامد متغيرة مرتبطة بتسارع الاستجابة في كل لحظة زمنية .

أظهرت نتائج التحليل زيادة ملحوظة في قيم الانتقالات وقوى القص القاعدية عند استخدام التخامد المتغير مقارنة باستخدام التخامد الثابت . وقد كانت هذه الزيادة متقاربة نسبياً مع اختلاف عدد الطوابق ، وتراوحت بشكل وسطي بين 31% عند الشدة الزلزالية 10% وحتى 17% عند الشدة الزلزالية 120% .

كلمات مفتاحية : تخامد متغير– طيف الاستجابة– الإطارات البيتونية المسلحة متعددة الطوابق

Abstract:

The Study aims to investigate the effect of variable damping , which is dependent on response acceleration , on the analysis of multi-story reinforced concrete frames using the response spectrum method .

Reinforced concrete frame models with a single bay and varying numbers of stories (from one to fifteen) were analyzed twice :

First , using response spectra derived from different intensity levels of El Centro earthquake , assuming a constant damping ratio of 5%.

Second, using response Spectra derived from the same seismic intensities incorporating the effect of variable damping that changes with the response acceleration of each material point at every moment in time .

The analysis results demonstrated an increase in displacements , and base shear forces when using variable damping compared to constant damping .

This increase was relatively consistent across different story heights , ranging on average from 31% at 10% intensity to 17% at 120% intensity .

Key words : Variable Damping –Response Spectrum– Multi-story Reinforced Concrete Frames

[1] مقدمة:

تعد الخصائص الديناميكية مثل نسبة التخامد ، من العوامل المؤثرة بشكل كبير على السلوك الديناميكي للمنشآت البيتونية المسلحة . وقد أثبتت الدراسات التجريبية والمشاهدات الحقلية أن هذه الخصائص ترتبط ارتباطاً وثيقاً بسعة استجابة المنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية **Chopra,A.K.(1995)[3]** .

تشير الدراسات إلى أن الخصائص الديناميكية للمنشآت الفعلية تختلف حتماً عن القيم التصميمية المفترضة مما يستوجب أخذها بعين الاعتبار بدقة عند إجراء التحليل الديناميكي للحصول على نتائج واقعية تعكس أداء المنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية .أظهرت العديد من الأبحاث تغير قيم التخامد مع تغير السعة حيث أظهرت دراسة Al **Sehnawi et al.(2014)[1]** أن التخامد في المرحلة المرنة كان بحدود 2-3% بينما ارتفع تدريجياً مع زيادة السعة واللاخطية . وجد ايضاً **Kowalsky(1994)[5]** أن نسبة التخامد للمنشآت البيتونية في بداية التحميل لا تتجاوز 3% وقد تزداد حتى 7-8% مع التشققات الكبيرة والدخول في اللاخطية . بينما أشار **Priestley et al.(2007)[6]** إلى أن استخدام نسبة ثابتة للتخامد وهي 5% في التحليل الزلزالي يبالغ في التخميد الفعلي ويؤدي إلى تقليل غير واقعي في الاستجابة الديناميكية .

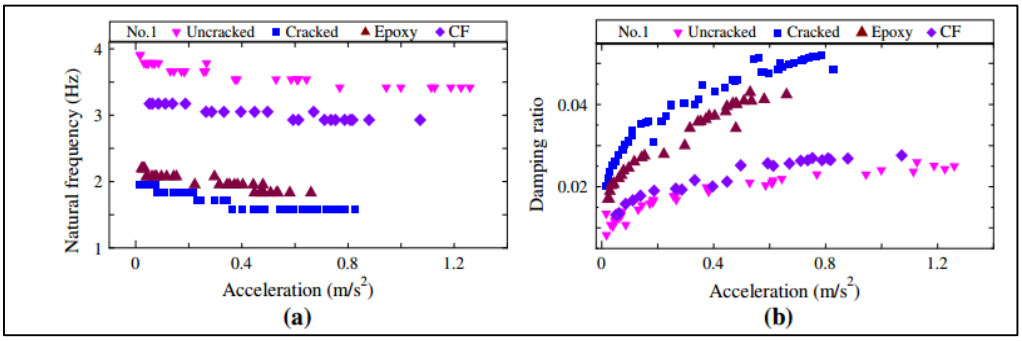
أجرى الباحثون **Chen,G.-W.,Beskhyroun,S.,& Omenzetter,P.(2016)[2]** اختبارات ديناميكية على جسر بيتوني مسبق الاجهاد ومكون من أحد عشر مجازاً ، باستخدام هزازات كتلية لتطبيق مستويات مختلفة من الإثارة . أظهرت النتائج أن الترددات الطبيعية انخفضت بشكل ملحوظ مع زيادة سعة الاستجابة ، بينما زادت نسب التخامد ، مما يؤثر على أهمية مراعاة تأثير سعة الاهتزاز عند تقييم الخصائص الديناميكية للمنشآت .

هدفت دراسة **Al Sehnawi,R.,Nakajima,A.,Takeshima,R.,&Al Sadeq,H.(2014)[1]** إلى التحقق من اعتماد الخصائص الديناميكية على سعة الاهتزاز في المراحل المرنة وغير المرنة من خلال تطبيق اختبارات الاهتزاز الحر على نماذج ركائز بيتونية مسلحة .

تم إجراء سلسلة من قياسات الاهتزاز الحر على نطاق واسع من السعات باستخدام إثارة ذات سعة صغيرة نسبياً على نماذج سليمة ، ثم تكرار هذه القياسات بعد أن تم اختبار النموذج تدريجياً حتى الانهيار على طاولة اهتزاز ، ومرة أخرى بعد إصلاحها باستخدام الايبوكسي وشرائح ألياف الكربون

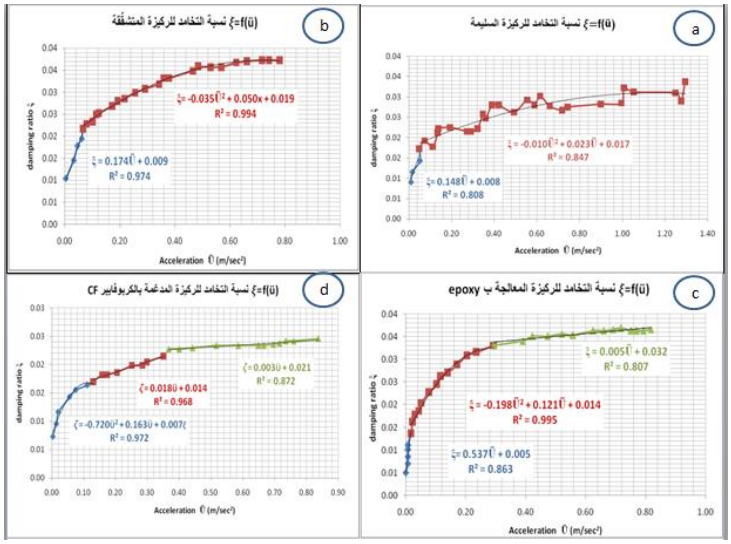
أشارت نتائج الدراسة أن التردد الطبيعي ونسبة التخامد حساسين جداً لمستوى سعة الاهتزاز .فكلما زادت سعة التسارع ، زادت نسبة التخامد بشكل ملحوظ بينما انخفض التررد الطبيعي قليلاً

يبين الشكل [1] التغيرات في نسب التخامد والتردد الطبيعي مع زيادة تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن الاهتزاز الحر للعينات المختبرة حيث بينت النتائج زيادة ملحوظة في نسبة التخامد مع زيادة التسارع بينما تنخفض قليلا قيم التردد الطبيعي .



الشكل 1 : تغيرات قيم التردد الطبيعي (a) ونسبة التخامد (b) مع تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن الاهتزاز الحر للنموذج المختبر في الدراسة المرجعية [1] .

ركزت الدراسة **غصون ، ميس . (2020)** [8] على معالجة النتائج التجريبية للبحث [1] بهدف الحصول على علاقات تربط بين الخصائص الديناميكية (التردد الطبيعي ونسبة التخامد) مع تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن تجربة الاهتزاز الحر وذلك خلال مراحل عمل النموذج (العينة سليمة ، العينة متشققة ، عينة تم إصلاحها عن طريق الحقن بالإيبوكسي ، عينة تم إصلاحها باستخدام شرائح ألياف الكربون) وتوضح الأشكال التالية العلاقات المقترحة لكل حالة من الحالات المدروسة :



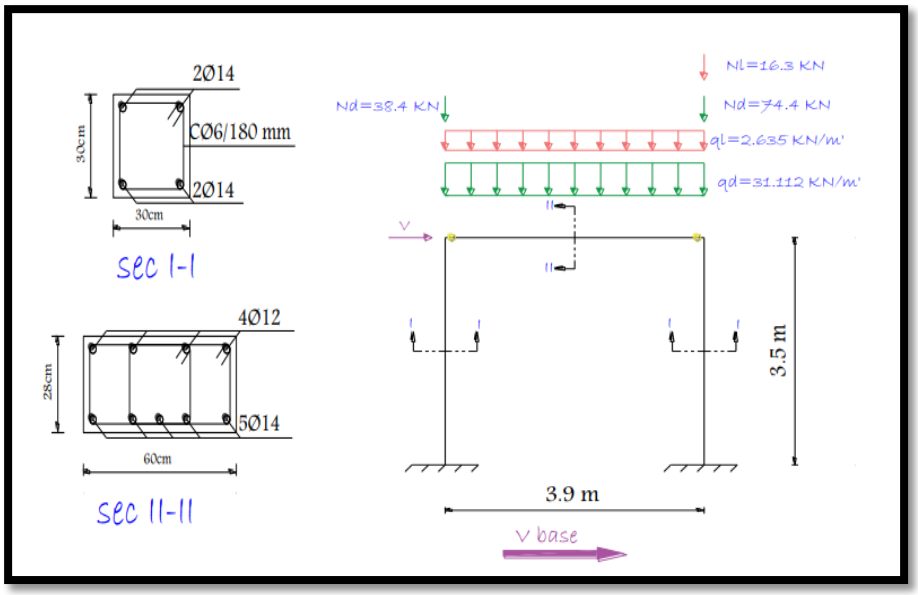
الشكل 2: العلاقات المقترحة لربط نسبة التخامد مع تسارع الاستجابة للعينات السليمة (a) ، العينات المتشققة (b) ، العينات بعد إصلاحها بالايبوكسي (c) ، العينات بعد إصلاحها بألياف الكربون (d) في الدراسة المرجعية [8] .

العلاقة المقترحة في حالة العينات السليمة (غير المتشققة) هي بالشكل التالي :

$$0.01 \leq |u''(t)| \leq 0.05 \implies \xi(t) = 0.148 \times |u''(t)| + 0.008$$
$$0.05 < |u''(t)| \leq 1.27 \implies \xi(t) = -0.01 \times |u''(t)|^2 + 0.023 \times |u''(t)| + 0.017$$
$$|u''(t)| > 1.27 \implies \xi(t) = 0.0338$$

[2] نموذج الإطارات المدروسة :

تم في هذا البحث تحليل إطارات بيتونية مسلحة مؤلفة من فتحة واحدة بعرض 3.9m وبارتفاع 3.5m لكل طابق . تم دراسة تأثير عدد الطوابق على سلوك هذه الإطارات من خلال نماذج متعددة بعدد طوابق مختلف ، وهي كما يلي : 1 –2 –3 –4 –6 –9 –12–15 طابقاً .تم تصميم المقاطع الأولية للأعمدة والجوائز بناءً على الحمولات الشاقولية ، ويوضح الشكل [3] التفاصيل الإنشائية للإطار المدروس بطابق واحد .



الشكل 3: التفاصيل الإنشائية للإطار المدروس من طابق واحد

[3]– استنتاج أطياف الإستجابة من السجل الزمني لزلزال ELCentro

تم استنتاج أطياف الاستجابة باستخدام سجل زلزالي لزلزال El Centro بلغت شدته الأعظمية PGA=0.31g عند عدة مستويات من الشدة الزلزالية وهي 10% –20% –30% –50% –100% –120% (أي مايعادل 0.031g – 0.062g –0.093g– 0.155g – 0.31g– 0.372g على التوالي).

وذلك بهدف دراسة تأثير التخامد المتغير على الاستجابة الديناميكية للإطارات المدروسة بطريقة طيف الاستجابة .تم توليد طيف الاستجابة لكل شدة زلزالية بطريقتين :

الطريقة الأولى : بافتراض نسبة تخامد ثابتة وهي 5% وهو الاجراء التقليدي المعتمد في معظم طرق التحليل الزلزالي .

الطريقة الثانية : تضمنت إدخال نموذج للتخامد المتغير بحيث تحسب نسبة التخامد بشكل لحظي خلال التحليل وبالاعتماد على طريقة الاستهداف وتكون مرتبطة بقيمة تسارع الاستجابة للنقطة المادية عبر العلاقة التحليلية المقترحة في الدراسة [7] للعينات السليمة .

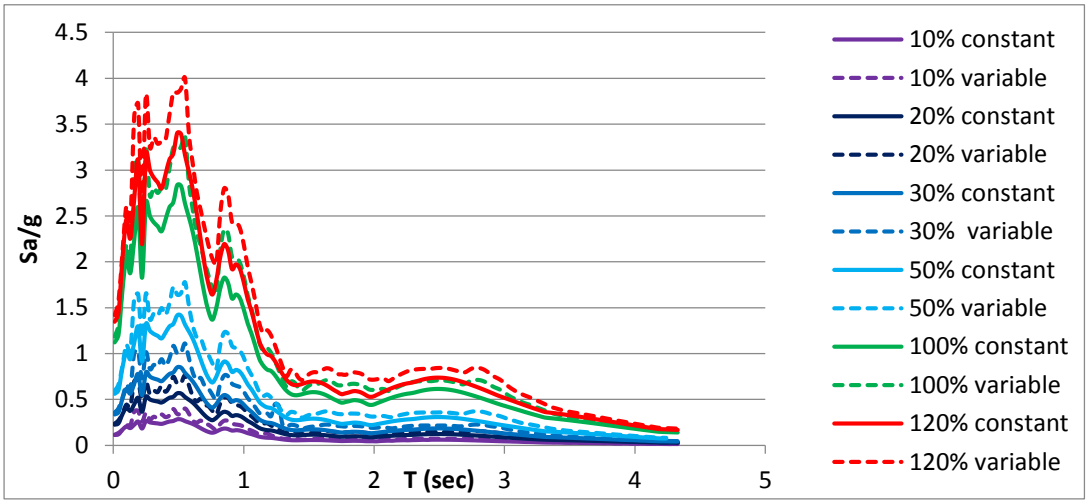
تم توليد الاطياف لكل حالة عن طريق تحليل استجابة مجموعة من الأنظمة وحيدة درجة الحرية SDOF ذات أدوار اهتزاز مختلفة وباستخدام تكامل عددي دقيق لحساب الانتقالات الأعظمية S_d الناتجة عند كل دور اهتزاز ،ثم الحصول على كل من السرعة الزائفة والتسارع الزائف حيث :

$$S_v = W_n . S_d$$

$$S_a = {W_n}^2 . S_d$$

يتم تمثيل العلاقة بين أدوار الاهتزاز المدروسة وقيم التسارع الزائف للحصول على طيف الاستجابة المطلوب ، وذلك بالاعتماد على برامج خاصة تم تصميمها في بيئة VBA Excel لهذا الهدف .

يوضح الشكل التالي أطياف الإستجابة المستنتجة عن الشدات المختلفة :



الشكل 4: أطياف الاستجابة المستنتجة عند شدات مختلفة من زلزال ELCentro

[4]– نتائج تحليل الإطارات المدروسة :

❖ الإطار المؤلف من طابق واحد :

تم إجراء تحليل للإطار المدروس المؤلف من طابق واحد باستخدام برنامج ETABS ، وذلك بالاعتماد على طريقة طيف الاستجابة (Response Spectrum) ، وقد نفذ التحليل بطريقتين الأولى باعتماد أطياف الاستجابة الناتجة عن افتراض نسبة تخامد ثابتة ، والثانية باعتماد أطياف الاستجابة المستنتجة عند نفس الشدات الزلزالية ، ولكن مع افتراض نسبة تخامد متغيرة مع الزمن ومرتبطة بتسارع الاستجابة . أجري التحليل لكلتا الحالتين عند ست شدات مختلفة لزلزال El Centro وقد تم تسجيل الانتقالات القصوى الناتجة لكل حالة ، كما تم حساب نسبة الزيادة في الانتقالات عند اعتماد التخامد المتغير مع استخدام الحالة التقليدية ذات التخامد الثابت . يبين الجدول التالي قيم الانتقالات عند كل شدة زلزالية :

الجدول (1) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بطابق واحد عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	0.008466	0.011713	1.384
20%	0.016931	0.022408	1.323
30%	0.025395	0.032784	1.291
50%	0.042328	0.052659	1.244
100%	0.084654	0.099879	1.18
120%	0.101585	0.11844	1.166

بشكل مشابه تم في الجدول (2) مقارنة قيم قوى القص القاعدي الناتجة عن التحليل عند كل شدة من الشدات الزلزالية .

الجدول(2) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بطابق واحد عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	60.978	84.365	1.384
20%	121.948	161.403	1.324
30%	182.919	236.137	1.291
50%	304.879	379.294	1.244
100%	609.749	719.413	1.18
120%	731.7	853.107	1.166

من خلال الجداول السابقة نلاحظ أن اعتماد نسبة تخامد متغيرة مع الزمن $\xi(u'')$ أدى لزيادة في قوى القص ، والانتقالات الطابقية مقارنة مع الحالة التقليدية . وقد تراوحت هذه الزيادة بين 38.4% عند الشدة 10% و16.6% عند الشدة 120% ، وهذا يعكس التأثير المهم للتخامد المتغير في التحليل الديناميكي ، وخاصة عند الشدات المنخفضة مما يستدعي النظر بجدية في قيم التخامد المعتمدة عند تحليل و تصميم المنشآت المقاومة للزلازل .

❖ **الإطار المؤلف من طابقين :**

تم تحليل الاطار المؤلف من طابقين باستخدام طريقة طيف الاستجابة وبنفس الآلية المعتمدة في تحليل الإطار من طابق واحد . تبين أن الاعتماد على طيف استجابة مستنتج من نسبة تخامد متغيرة مرتبطة بتسارع الاستجابة أدى إلى زيادة في قيم الانتقالات الطابقية وقوى القص القاعدية . وقد تراوحت هذه الزيادة بين 39.9% عند الشدة الزلزالية 10% و19% عند الشدة 120% مقارنة بالتحليل الذي اعتمد تخامد ثابت . وسوف نستعرض نتائج التحليل بشكل مفصل في الجداول التالية:

الجدول (3) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بطابقين عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m):

الشدة الزلزالية	Story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	2nd	0.024111	0.033742	1.399
	1st	0.012437	0.017404	1.399
	Base	0	0	
20%	2nd	0.048204	0.065229	1.353
	1st	0.024864	0.033645	1.353
	Base	0	0	
30%	2nd	0.072268	0.095699	1.324
	1st	0.037277	0.049361	1.324
	Base	0	0	
50%	2nd	0.120489	0.153893	1.277
	1st	0.062151	0.079379	1.277
	Base	0	0	
100%	2nd	0.240982	0.29311	1.216
	1st	0.124303	0.151197	1.216
	Base	0	0	
120%	2nd	0.289172	0.346739	1.199
	1st	0.149161	0.17886	1.199
	Base	0	0	

الجدول (4) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بطابقين عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN):

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	79.0276	110.5831	1.399
20%	157.995	213.778	1.353
30%	236.8722	313.6302	1.324
50%	394.9239	504.3839	1.277
100%	789.8572	960.7833	1.216
120%	947.8104	1136.576	1.199

❖ **الإطار المؤلف من ثلاث طوابق :**

تم دراسة الإطار المؤلف من ثلاث طوابق حيث يوضح الجدول (5) أن قيم الانتقالات الطابقية العظمى تزداد بوضوح عند استخدام نسبة تخامد متغيرة مقارنة بنسبة تخامد ثابتة . تتركز هذه الزيادة عند الشدات الزلزالية المنخفضة حيث وصلت نسبة الزيادة الى حوالي 34% عند الشدة 10% . ومع تزايد الشدة الزلزالية تنخفض نسبة الزيادة تدريجياً لتصل إلى حوالي 22% عند الشدة 120% . وهذا يعكس سلوكاً مماثلاً لما لوحظ في الإطارات ذات الطابق الواحد والطابقين ، حيث أن تأثير نسبة التخامد المتغيرة يكون أوضح في الزلازل الضعيفة ، بينما يتقلص تأثيرها تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية .

الجدول (5) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بثلاث طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	3rd	0.043786	0.058981	1.347
	2nd	0.032791	0.044169	1.347
	1st	0.015203	0.020444	1.345
	Base	0	0	
20%	3rd	0.087683	0.115026	1.312
	2nd	0.065665	0.086139	1.312

	1st	0.030444	0.039868	1.310
	Base	0	0	
30%	3rd	0.131499	0.170062	1.293
	2nd	0.098478	0.127353	1.293
	1st	0.045657	0.058941	1.291
	Base	0	0	
50%	3rd	0.219004	0.277586	1.267
	2nd	0.164009	0.207872	1.267
	1st	0.07604	0.096214	1.265
	Base	0	0	
100%	3rd	0.438228	0.539099	1.230
	2nd	0.328184	0.403709	1.230
	1st	0.152155	0.186875	1.228
	Base	0	0	
120%	3rd	0.525851	0.642281	1.221
	2nd	0.393804	0.480979	1.221
	1st	0.182579	0.222657	1.220
	Base	0	0	

كما يبين الجدول (6) أن استخدام نسبة تخامد متغيرة يؤدي على زيادة واضحة في قيم قوة القص القاعدي مقارنة بنسبة تخامد ثابتة 5% ، وذلك في جميع مستويات الشدة الزلزالية . حيث تظهر أعلى نسبة زيادة عند الشدة 10% بمقدار حوالي 34.3% بينما تقل تدريجيا مع ارتفاع الشدة لتصل إلى 21.8% عند الشدة القصوى 120% .

الجدول (6) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بثلاث طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	92.6736	124.4699	1.343
20%	185.5746	242.6978	1.308
30%	278.3061	358.7939	1.289
50%	463.5209	585.7012	1.264

100%	927.4867	1137.645	1.227
120%	1112.938	1355.548	1.218

❖ **الإطار المؤلف من أربع طوابق :**

تظهر النتائج في الجدولين (7) و(8) أن استخدام نسبة تخامد متغيرة في تحليل الإطارات المؤلفة من أربع طوابق بدلاً من استخدام نسبة ثابتة 5% يؤثر بشكل واضح على قيم الانتقالات الطابقية وقوى القص القاعدي ، ولكن بشكل أقل مقارنة بالاطارات ذات عدد الطوابق الأقل .

يبين الجدول (7) أن نسبة الزيادة في الانتقالات الطابقية تقل تدريجياً مع ازدياد الشدة الزلزالية ، حيث بلغت قيم الزيادة حوالي 22% عند الشدة 10% وتنخفض الى 9% عند الشدة 120% .

أما الجدول (8) فيظهر أن قوة القص القاعدي تتأثر بشكل مشابه ، حيث نلاحظ ارتفاعاً في القوة عند استخدام نسبة تخامد متغيرة ، إلا أن نسبة الزيادة تنخفض مع زيادة الشدة الزلزالية .

بالمقارنة مع الإطارات السابقة ، يمكن القول أن الاطار من أربع طوابق يظهر تأثراً أقل بنسبة التخامد المتغيرة .

الجدول (7) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بأربع طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	4th	0.03372	0.040718	1.208
	3rd	0.027984	0.033772	1.207
	2nd	0.019341	0.023411	1.210
	1st	0.008052	0.00982	1.220
	Base	0	0	
20%	4th	0.067248	0.079453	1.181
	3rd	0.055805	0.065899	1.181
	2nd	0.038579	0.045681	1.184

	1st	0.016068	0.019158	1.192
	Base	0	0	
30%	4th	0.100937	0.115969	1.149
	3rd	0.083762	0.096162	1.148
	2nd	0.057903	0.06673	1.152
	1st	0.024114	0.028035	1.163
	Base	0	0	
50%	4th	0.168186	0.187991	1.118
	3rd	0.139567	0.155859	1.117
	2nd	0.096482	0.108231	1.122
	1st	0.040183	0.045521	1.133
	Base	0	0	
100%	4th	0.33622	0.362393	1.078
	3rd	0.279008	0.300392	1.077
	2nd	0.192883	0.20878	1.082
	1st	0.080336	0.087935	1.095
	Base	0	0	
120%	4th	0.403435	0.430026	1.066
	3rd	0.334784	0.356416	1.065
	2nd	0.231444	0.247833	1.071
	1st	0.096398	0.104458	1.084
	Base	0	0	

الجدول (8) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بأربع طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	62.064	76.1945	1.228
20%	123.8768	148.6064	1.200
30%	185.9002	217.6726	1.171
50%	309.7828	353.6391	1.142
100%	619.3673	683.646	1.104
120%	743.2026	812.4279	1.093

❖ **الإطارالمؤلف من ستة طوابق :**

يبين الجدول (9) تأثير استخدام نسبة تخامد متغيرة على قيم الانتقالات الطابقية لإطارمؤلف من ستة طوابق . نلاحظ من خلال النسبة بين قيم الانتقالات الناتجة عن التخامد المتغير إلى التخامد الثابت أن تأثير التخامد المتغير على الانتقالات يكون اكبر عند الزلازل الضعيفة ، ويقل تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية . عند شدة زلزالية 10% ، تكون نسبة الزيادة في معظم الطوابق أكبر من 40% ، مما يشير إلى أن التخامد المتغير يؤدي إلى زيادة كبيرة في الانتقالات .أما عند الشدة العالية 120% ، فإن النسبة تنخفض لتصل الى 29% ، مما يعني تأثيراً أقل للتخامد المتغير .

الجدول (9) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من ستة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	6th	0.052464	0.077837	1.484
	5th	0.04644	0.069199	1.490
	4th	0.038171	0.056702	1.485
	3rd	0.028187	0.041207	1.462
	2nd	0.01674	0.024009	1.434
	1st	0.005847	0.008278	1.416
	Base	0	0	
20%	6th	0.104919	0.15497	1.477
	5th	0.092872	0.137867	1.484
	4th	0.076336	0.112914	1.479
	3rd	0.056371	0.081839	1.452
	2nd	0.033478	0.047536	1.420
	1st	0.011694	0.016355	1.399
	Base	0	0	
30%	6th	0.157348	0.228236	1.451
	5th	0.139282	0.203062	1.458
	4th	0.114482	0.166302	1.453
	3rd	0.084538	0.120497	1.425
	2nd	0.050205	0.069973	1.394

	1st	0.017537	0.024072	1.373
	Base	0	0	
50%	6th	0.262161	0.372112	1.419
	5th	0.23206	0.331109	1.427
	4th	0.190742	0.271149	1.422
	3rd	0.140851	0.196367	1.394
	2nd	0.083649	0.113977	1.363
	1st	0.029219	0.039199	1.342
	Base	0	0	
100%	6th	0.524123	0.717616	1.369
	5th	0.463937	0.638574	1.376
	4th	0.381337	0.522923	1.371
	3rd	0.281607	0.378617	1.344
	2nd	0.167251	0.219736	1.314
	1st	0.058425	0.075575	1.294
	Base	0	0	
120%	6th	0.628939	0.85308	1.356
	5th	0.556717	0.759088	1.364
	4th	0.457598	0.621631	1.358
	3rd	0.337923	0.450146	1.332
	2nd	0.200698	0.261304	1.302
	1st	0.070108	0.089887	1.282
	Base	0	0	

يبين الجدول (10) تأثير التخامد المتغير على قوة القص القاعدي ، حيث نلاحظ أن استخدام التخامد المتغير يؤدي الى زيادة ملحوظة في القص القاعدي مقارنة باستخدام نسبة تخامد ثابتة .

الجدول (10): قيم قوة القص القاعدي للإطار من ستة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	79.9503	111.5093	1.395
20%	159.9044	219.7488	1.374

30%	239.7801	323.3776	1.349
50%	399.5384	526.48	1.318
100%	798.9166	1015.258	1.271
120%	958.6821	1207.77	1.260

مما سبق نستطيع القول أن الاطار من ستة طوابق يظهر نفس الاتجاه الذي تم ملاحظته في الإطارات الأخرى : يزداد تأثير التخامد المتغير في الزلازل الضعيفة ويقل تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية ، ومع ذلك تبقى القيم أعلى مقارنة بالاطارات ذات عدد الطوابق الأقل .

الإطار المؤلف من تسعة طوابق :

يوضح الجدول (11) قيم الانتقالات الطابقية للاطار من تسعة طوابق تحت تأثير الشدات الزلزالية المختلفة ، ومقدار الزيادة الناتجة عن استخدام التخامد المتغير . يظهر من خلال الجدول زيادة في قيم الانتقالات الطابقية مع زيادة الشدة الزلزالية سواء باستخدام تخامد ثابت او متغير ، حيث تراوحت نسبة الزيادة في الانتقالات بين التخامد المتغير والثابت بين 24.9% في الطابق الأول عند الشدة المنخفضة 10%، وتناقصت تدريجياً لتصل إلى 17% في نفس الطابق عند الشدة 120% .

الجدول (11) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من تسعة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	9th	0.133324	0.159551	1.197
	8th	0.124035	0.147999	1.193
	7th	0.110301	0.131357	1.191
	6th	0.094564	0.112916	1.194
	5th	0.076214	0.0918	1.205
	4th	0.058325	0.071032	1.218
	3rd	0.040488	0.049824	1.231
	2nd	0.022651	0.028113	1.241
	1st	0.00737	0.009206	1.249
	Base	0	0	
20%	9th	0.267682	0.317659	1.187

	8th	0.249041	0.294803	1.184
	7th	0.22147	0.26173	1.182
	6th	0.189866	0.22489	1.184
	5th	0.153006	0.182584	1.193
	4th	0.117074	0.141032	1.205
	3rd	0.081258	0.098754	1.215
	2nd	0.045451	0.055636	1.224
	1st	0.014787	0.018195	1.230
	Base	0	0	
30%	9th	0.401699	0.474729	1.182
	8th	0.373728	0.440722	1.179
	7th	0.332354	0.391363	1.178
	6th	0.284925	0.336173	1.180
	5th	0.229607	0.272666	1.188
	4th	0.175682	0.210351	1.197
	3rd	0.121932	0.147115	1.207
	2nd	0.068201	0.082796	1.214
	1st	0.022188	0.027056	1.219
	Base	0	0	
50%	9th	0.670424	0.784922	1.171
	8th	0.623751	0.728962	1.169
	7th	0.554703	0.647464	1.167
	6th	0.475536	0.555976	1.169
	5th	0.383193	0.450482	1.176
	4th	0.29318	0.347063	1.184
	3rd	0.203468	0.24241	1.191
	2nd	0.113799	0.136272	1.197
	1st	0.037021	0.044492	1.202
	Base	0	0	
100%	9th	1.341392	1.546832	1.153
	8th	1.248015	1.437212	1.152
	7th	1.109865	1.276898	1.150
	6th	0.951461	1.096017	1.152
	5th	0.76669	0.886879	1.157

	4th	0.586582	0.682108	1.163
	3rd	0.407082	0.475639	1.168
	2nd	0.227675	0.267011	1.173
	1st	0.074066	0.087086	1.176
	Base	0	0	
120%	9th	1.609665	1.848849	1.149
	8th	1.497613	1.717944	1.147
	7th	1.331832	1.526381	1.146
	6th	1.141749	1.310077	1.147
	5th	0.920025	1.059885	1.152
	4th	0.703896	0.814957	1.158
	3rd	0.488496	0.568132	1.163
	2nd	0.273209	0.318865	1.167
	1st	0.088879	0.103981	1.170
	Base	0	0	

يظهر الجدول (12) قيم قوة القص القاعدي للاطار عند الشدات الزلزالية المختلفة . ونلاحظ من الجدول أن استخدام التخامد المتغير يؤدي إلى زيادة في قوة القص القاعدي بنسبة تراوحت بين 26% عند الشدة 120% ، وتنخفض تدريجياً إلى 17.5% عند الشدة 120%.

الجدول (12) : قيم قوة القص القاعدي للإطار من تسعة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	131.513	166.1573	1.263
20%	263.7735	327.6129	1.242
30%	395.7749	486.3919	1.229
50%	660.2661	798.5052	1.209
100%	1320.917	1559.882	1.181
120%	1585.094	1861.927	1.175

❖ **الإطار المؤلف من إثنا عشر طابقاً :**

تم دراسة الإطار المؤلف من إثنا عشر طابقاً و يوضح الجدول (13) قيم الانتقالات الطابقية الاعظمية عند الشدات الزلزالية المختلفة . نلاحظ من خلال الجدول السابق أن التحليل باستخدام طيف استجابة ناتج عن تخامد متغير يعطي زيادة في الانتقالات عن التحليل باستخدام نسبة تخامد ثابتة 5% ، حيث تراوحت نسبة الزيادة في الطابق الأخير بين 30% عند الشدة 10% ، وانخفضت لتصل إلى 18.9% عند الشدة 120% .

الجدول (13) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من اثنا عشر طابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	12th	0.116763	0.151742	1.300
	11th	0.110585	0.143591	1.298
	10th	0.102166	0.132476	1.297
	9th	0.091865	0.119023	1.296
	8th	0.080867	0.104915	1.297
	7th	0.07002	0.091138	1.302
	6th	0.059149	0.077295	1.307
	5th	0.047957	0.062892	1.311
	4th	0.036559	0.048045	1.314
	3rd	0.025039	0.03292	1.315
	2nd	0.013872	0.018229	1.314
	1st	0.004387	0.005762	1.313
	Base	0	0	
20%	12th	0.234316	0.297531	1.270
	11th	0.221924	0.281671	1.269
	10th	0.205031	0.259991	1.268
	9th	0.184357	0.233614	1.267
	8th	0.162283	0.205817	1.268
	7th	0.140511	0.178611	1.271
	6th	0.118691	0.151277	1.275
	5th	0.096224	0.122892	1.277

	4th	0.073345	0.093733	1.278
	3rd	0.050226	0.064139	1.277
	2nd	0.02782	0.035477	1.275
	1st	0.008797	0.011204	1.274
	Base	0	0	
30%	12th	0.351792	0.439082	1.248
	11th	0.333191	0.415757	1.248
	10th	0.307829	0.383855	1.247
	9th	0.276788	0.34495	1.246
	8th	0.243646	0.303826	1.247
	7th	0.210957	0.263511	1.249
	6th	0.178196	0.223019	1.252
	5th	0.144462	0.181037	1.253
	4th	0.110109	0.138	1.253
	3rd	0.075397	0.094395	1.252
	2nd	0.041759	0.052201	1.250
	1st	0.013204	0.016483	1.248
	Base	0	0	
50%	12th	0.584008	0.719183	1.231
	11th	0.553102	0.68115	1.232
	10th	0.510982	0.629078	1.231
	9th	0.459456	0.565386	1.231
	8th	0.40446	0.497822	1.231
	7th	0.350225	0.43146	1.232
	6th	0.295871	0.36483	1.233
	5th	0.239899	0.295869	1.233
	4th	0.182889	0.225344	1.232
	3rd	0.125262	0.154045	1.230
	2nd	0.069394	0.085151	1.227
	1st	0.021946	0.026879	1.225
	Base	0	0	
100%	12th	1.16759	1.400316	1.199
	11th	1.105795	1.326397	1.199
	10th	1.021584	1.225171	1.199
	9th	0.918571	1.101204	1.199
	8th	0.808622	0.96947	1.199

	7th	0.700195	0.839954	1.200
	6th	0.59153	0.709943	1.200
	5th	0.479632	0.575517	1.200
	4th	0.365656	0.438199	1.198
	3rd	0.250445	0.299502	1.196
	2nd	0.138747	0.165539	1.193
	1st	0.04388	0.05225	1.191
	Base	0	0	
120%	12th	1.401357	1.666017	1.189
	11th	1.327193	1.578079	1.189
	10th	1.226123	1.457681	1.189
	9th	1.102484	1.310221	1.188
	8th	0.97052	1.15346	1.188
	7th	0.840382	0.999301	1.189
	6th	0.709959	0.844569	1.190
	5th	0.575656	0.684626	1.189
	4th	0.438858	0.521287	1.188
	3rd	0.300579	0.356321	1.185
	2nd	0.166519	0.196967	1.183
	1st	0.052663	0.062177	1.181
	Base	0	0	

بينما يوضح الجدول (14) مقارنة لقيم قوة القص القاعدي ، حيث انخفضت نسبة الزيادة الناتجة عن استخدام التخامد المتغير من 31% عند الشدة 10% حتى 17.5% عند الشدة 120% .

الجدول (14) : قيم قوة القص القاعدي للإطار من اثنا عشرطابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	95.7791	125.5636	1.311
20%	191.9695	243.724	1.270
30%	288.1104	358.4539	1.244
50%	479.1129	584.1143	1.219

100%	958.0082	1135.25	1.185
120%	1149.733	1351.305	1.175

❖ **الإطار المؤلف من خمسة عشر طابقاً :**

بشكل مشابه لما سبق تم دراسة الإطار المؤلف من خمسة عشر طابقاً ، حيث يعرض الجدول (15) قيم الانتقالات الطابقية للاطار عند الشدات المختلفة مع مقارنة بين التخامد الثابت والمتغير .

نلاحظ من خلال الجدول السابق أن نسبة الزيادة في قيم الانتقالات تتناقص تدريجياً عند الشدة الزلزالية 10% من 13% عند الطابق الأول حتى 4.7% عند الطابق الخامس عشر ، مما يؤكد تناقص أثر التخامد المتغير على ارتفاع الطوابق . أيضاً نلاحظ تناقص في نسبة الزيادة مع انخفاض الشدة الزلزالية حيث وصلت نسبة الزيادة إلى 10% في الطابق الأول عند الشدة 120% .

الجدول (15) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من خمسة عشر طابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	15th	0.100166	0.104834	1.047
	14th	0.095468	0.09968	1.044
	13th	0.08962	0.093451	1.043
	12th	0.082842	0.086342	1.042
	11th	0.075704	0.078887	1.042
	10th	0.068692	0.071684	1.044
	9th	0.061677	0.064579	1.047
	8th	0.05442	0.057235	1.052
	7th	0.046967	0.049622	1.057
	6th	0.039399	0.041842	1.062
	5th	0.031822	0.034067	1.071
	4th	0.024102	0.026119	1.084
	3rd	0.016307	0.017934	1.100

	2nd	0.008802	0.009828	1.117
	1st	0.002698	0.003052	1.131
	Base	0	0	
20%	15th	0.189798	0.207972	1.096
	14th	0.180742	0.197766	1.094
	13th	0.169558	0.185397	1.093
	12th	0.156709	0.171295	1.093
	11th	0.143234	0.15652	1.093
	10th	0.130044	0.142226	1.094
	9th	0.116878	0.128109	1.096
	8th	0.10327	0.113518	1.099
	7th	0.089293	0.098411	1.102
	6th	0.075093	0.082986	1.105
	5th	0.060862	0.067562	1.110
	4th	0.046295	0.051767	1.118
	3rd	0.03146	0.035498	1.128
	2nd	0.01705	0.01942	1.139
	1st	0.005242	0.006021	1.149
	Base	0	0	
30%	15th	0.283212	0.312552	1.104
	14th	0.269673	0.29729	1.102
	13th	0.252968	0.278735	1.102
	12th	0.233792	0.257547	1.102
	11th	0.213694	0.235339	1.101
	10th	0.194028	0.213813	1.102
	9th	0.174404	0.19252	1.104
	8th	0.154123	0.170512	1.106
	7th	0.133292	0.14775	1.108
	6th	0.112125	0.124525	1.111
	5th	0.090908	0.101296	1.114
	4th	0.069181	0.077519	1.121
	3rd	0.047033	0.053079	1.129
	2nd	0.0255	0.028996	1.137
	1st	0.007842	0.008978	1.145

	Base	0	0	
50%	15th	0.472527	0.515952	1.092
	14th	0.449948	0.490847	1.091
	13th	0.422084	0.460275	1.090
	12th	0.390091	0.425336	1.090
	11th	0.356556	0.388682	1.090
	10th	0.323737	0.353077	1.091
	9th	0.290984	0.317795	1.092
	8th	0.257137	0.281324	1.094
	7th	0.22237	0.243657	1.096
	6th	0.187046	0.205277	1.097
	5th	0.151639	0.166906	1.101
	4th	0.115387	0.127643	1.106
	3rd	0.07844	0.08733	1.113
	2nd	0.042524	0.047666	1.121
	1st	0.013077	0.014747	1.128
	Base	0	0	
100%	15th	0.941663	1.018647	1.082
	14th	0.896611	0.969329	1.081
	13th	0.841044	0.90915	1.081
	12th	0.777282	0.840293	1.081
	11th	0.710471	0.767938	1.081
	10th	0.645105	0.697427	1.081
	9th	0.579884	0.627389	1.082
	8th	0.512487	0.554983	1.083
	7th	0.443256	0.480337	1.084
	6th	0.372912	0.404431	1.085
	5th	0.302397	0.328615	1.087
	4th	0.230172	0.251092	1.091
	3rd	0.156517	0.171614	1.096
	2nd	0.084874	0.093568	1.102
	1st	0.026106	0.02892	1.108
	Base	0	0	
120%	15th	1.128759	1.217709	1.079
	14th	1.074737	1.158831	1.078
	13th	1.008117	1.086961	1.078

	12th	0.931685	1.004692	1.078
	11th	0.851606	0.918194	1.078
	10th	0.773265	0.83383	1.078
	9th	0.695101	0.749983	1.079
	8th	0.614331	0.663296	1.080
	7th	0.531363	0.573965	1.080
	6th	0.447059	0.483173	1.081
	5th	0.362549	0.392522	1.083
	4th	0.275981	0.299864	1.087
	3rd	0.187685	0.20491	1.092
	2nd	0.101783	0.1117	1.097
	1st	0.031309	0.034519	1.103
	Base	0	0	

يعرض الجدول (16) قيم قوة القص القاعدي للاطار من خمسة عشر طابقاً مع اختلاف الشدة الزلزالية . ونلاحظ من خلال الجدول السابق أن نسبة الزيادة تنخفض من 17.6% حتى 11.8% مع زيادة الشدة الزلزالية من 10% حتى 120% .

الجدول (16) : قيم قوة القص القاعدي للإطار من خمسة عشر طابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	80.3117	94.4229	1.176
20%	157.446	185.3745	1.177
30%	235.7438	275.4018	1.168
50%	393.0469	451.3087	1.148
100%	785.1062	882.3935	1.124
120%	941.7489	1052.679	1.118

من خلال ماسبق يمكن تلخيص النتائج كما يلي :

1- يعطي استخدام أطياف إستجابة مستنتجة مع افتراض نموذج التخامد المتغير $\xi(u'')$ زيادة في قيم الانتقالات وقوى القص القاعدي ، مقارنة مع القيم المحسوبة بالاعتماد على أطياف الاستجابة المستنتجة مع افتراض نسبة تخامد ثابتة $\xi = 5\%$.

يتناقص هذا الفرق تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية ، مما يعني أن تأثير التخامد المتغير يكون اكثر وضوحاً في الزلازل الضعيفة حيث تكون الاستجابات غير الخطية محدودة ، أما في الزلازل القوية يصبح السلوك اللاخطي هو المسيطر مما يقلل من تأثير التخامد المتغير .

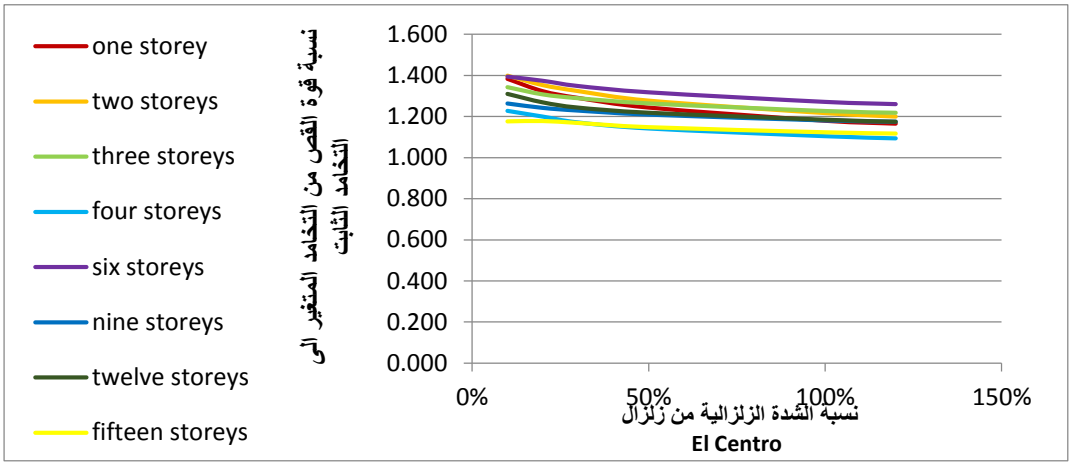
2- نلاحظ أن الأبنية القليلة الارتفاع (عدد الطوابق من 1 الى 4) تتأثر بشكل أكبر بتغيير نسبة التخامد حيث وصلت نسبة الزيادة في قوة القص الى 38.4% عند الشدة 10% .

مع زيادة عدد الطوابق ، ينخفض هذا الأثر تدريجياً ، حيث وصلت نسبة الزيادة الى 17.6% عند نفس الشدة للإطار من خمسة عشر طابقاً .ومع ذلك نلاحظ أن تأثير زيادة عدد الطوابق كان متقارب نسبياً ، بينما الاختلاف الأكبر يكون مع تغير الشدة الزلزالية .

يلخص الجدول التالي الفرق بقيمة قوة القص القاعدي بين التخامد المتغير والثابت مع تغير كل من عدد الطوابق والشدة الزلزالية :

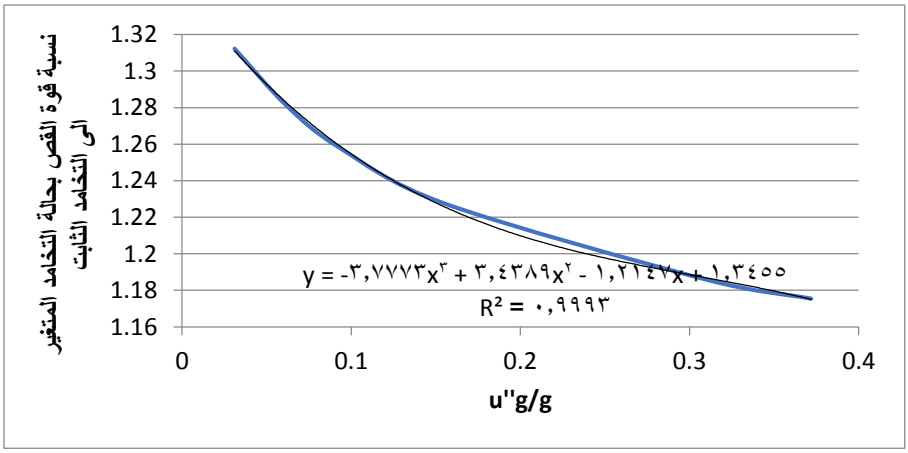
الجدول (17): الفرق بين قوى القص القاعدي بحالتي التخامد المتغير والثابت :

الشدة الزلزالية	عدد الطوابق							
	1	2	3	4	6	9	12	15
10%	1.384	1.399	1.343	1.228	1.395	1.263	1.311	1.176
20%	1.324	1.353	1.308	1.200	1.374	1.242	1.270	1.177
30%	1.291	1.324	1.289	1.171	1.349	1.229	1.244	1.168
50%	1.244	1.277	1.264	1.142	1.318	1.209	1.219	1.148
100%	1.180	1.216	1.227	1.104	1.271	1.181	1.185	1.124
120%	1.166	1.199	1.218	1.093	1.260	1.175	1.175	1.118



الشكل5: نسبة قوة القص القاعدي بحالة التخامد المتغير الى القوة بحالة التخامد الثابت مع اختلاف عدد الطوابق واختلاف الشدة الزلزالية

من خلال الشكل 5 نلاحظ أن الفروقات متقاربة بغض النظر عن عدد الطوابق وبالتالي يمكن التعبير عن هذه الفروقات بحزمة وسطية وفق الشكل التالي :



الشكل 6: متوسط الفرق بين قوة القص القاعدي بحالة التخامد المتغير الى القوة بحالة التخامد الثابت مع تغير الشدة الزلزالية

تم اقتراح علاقة رياضية تربط بين الشدة الأعظمية للسجل الزلزالي المطبق منسوبة الى تسارع الجاذبية الأرضية والمعامل m والذي يمثل مقدار الزيادة في القيم التصميمية بين التخامد المتغير والثابت وتوصف هذه العلاقة بالمعادلة التالية :

$$m = -3.7773(U_g''/g)^3 + 3.4389(U_g''/g)^2 - 1.2147(U_g''/g) + 0.3455 \dots [1]$$

وبالتالي من خلال العلاقة السابقة يمكن الحصول على نسبة تخامد مكافئة بحيث أن اعتمادها في التحليل سوف يعطي نتائج متقاربة مع النتائج في حال تم التحليل باعتماد نسبة تخامد متغيرة ومتعلقة بتسارع الاستجابة :

$$\xi_{eq} = 0.05 \times (1 - m) \dots [2]$$

بهدف التحقق من إمكانية استخدام العلاقة السابقة تم تحليل الإطار التجريبي الوارد في الدراسة المرجعية رقم [4] عند الشدات الزلزالية 0.07g و 0.014g و 0.19g .

الإطار المدروس هو عبارة عن اطار مستوي من البيتون المسلح مؤلف من فتحتين وثلاثة طوابق ((ارتفاع الطوابق 3.5m والمجازات 5m) ، تم تصغير الإطار السابق بمقياس 1/3.33 للحصول على نموذج مخبري يتناسب مع قدرة طاولة الاهتزاز المتوفرة ويظهر الشكل [7] الأبعاد الهندسية للنموذج المخبري.

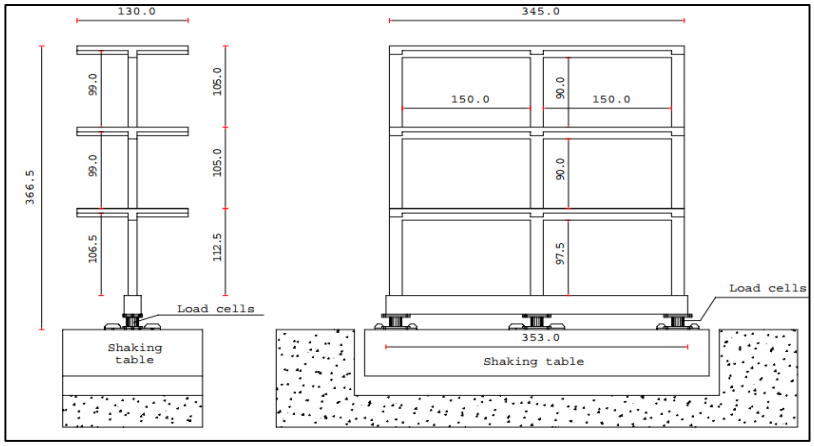
مقاطع الأعمدة كانت (الارتفاع 150 mm والعرض 105 mm) ومسلحة بتسليح طولي (3+3) قطر 4mm وتسليح عرضي قطر 4mm بتباعدات 50mm .

مقاطع كافة الجوائز كانت بشكل Tee أبعادها (60+90) ارتفاع، و (50+105+50) عرض.

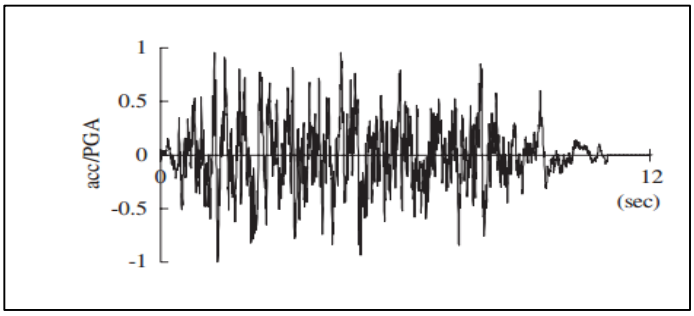
تسليح الجوائز بمنطقة العقد كان (7Top+5Bottom) بقطر 4mm كتسليح طولي ، بينما التسليح العرضي فكان بقطر 4mm وبتباعدات 50mm .

صمم الإطار وفق الكود الأوربي Ec8 مع الأخذ بعين الاعتبار تصنيف الاطارات منخفضة المطاوعة والتي تبدي آلية انهيار عمود ضعيف–جائز قوي .

تم تعريض النموذج الى سجل زلزالي متوافق مع طيف الاستجابة الخاص بالكود الأوربي مع تغيير نسبة الشدة الزلزالية بشكل تدريجي حتى الانهيار (0.07g ، 0.14g ، 0.19g ، 0.28g) حيث انهار النموذج عند شدة 0.28g .



الشكل 7 : الأبعاد الهندسية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [4] .



الشكل 8 : سجل الحركة لطاولة الاهتزاز في الدراسة المرجعية [4] .

يوضح الجدول (18) قيم نسبة التخامد المكافئة المعتمدة في التحليل باستخدام برنامج ETABS والمحسوبة من العلاقة المقترحة اعتماداً على قيمة الشدة الزلزالية المطبقة على النموذج .

الجدول (18) : قيم نسبة التخامد المكافئة المستنتجة من العلاقة المقترحة

الشدة الأعظمية للسجل المطبق منسوبة الى تسارع الجاذبية	قيمة معامل التصحيح	*نسبة التخامد المكافئة المقترحة*
U_g''/g	m	ξ_{eq}
0.07	0.276	3.62%
0.14	0.232	3.84%
0.19g	0.213	3.9%

تم اجراء التحليل المرن للاطار التجريبي عند الشدة الزلزالية 0.07g باعتماد طريقة Modal Time History ،حيث تبين من النتائج التجريبية أن سلوك الاطار عند هذه الشدة يبقى مرناً .

تم تحليل الاطار باستخدام برنامج ETABS مرة بإدخال نسبة تخامد ثابتة 5% ومرة بإدخال نسبة التخامد المكافئة ، وتم في الجدولين (19) و (20) مقارنة الانتقالات الأعظمية الناتجة مع القيم التجريبية ومع قيم الانتقالات الناتجة عن تحليل الاطار بنفس طريقة التحليل ولكن بإدخال نموذج التخامد المتغير والمتعلق بتسارع الاستجابة عبر برامج خاصة تم تصميمها لهذا الهدف [7] .

الجدول (19): قيم الانتقالات الطابقية الناتجة عن التحليل عند الشدة الزلزالية 0.07g بواحدة (mm)

رقم الطابق	القيم التجريبية	النتائج التحليلية		
		تخامد ثابت	تخامد متغير متعلق بتسارع الاستجابة	*نسبة التخامد المكافئة*
	Exp	5%	$\xi(u'')$	ξ_{eq}
1	2.30032	1.476	1.717	1.645
2	3.70607	3.044	3.539	3.4
3	4.7284	3.988	4.646	4.455

الجدول (20) :نسبة الانتقالات التحليلية إلى التجريبية عند الشدة الزلزالية 0.07g

رقم الطابق	تخامد ثابت	تخامد متغير متعلق بتسارع الاستجابة	*نسبة التخامد المكافئة*	*نسبة التخامد المكافئة / التخامد المتغير*
	5%	$\xi(u'')$	ξ_{eq}	$\xi_f/\xi(u'')$
1	64.16%	74.64%	71.51%	95.8%
2	82.14%	95.5%	91.74%	96.06%
3	84.34%	98.26%	94.22%	95.89%

يتضح من الجدول (20) أن استخدام نسبة التخامد المكافئة المقترحة في هذا البحث أعطت نتائج متقاربة مع استخدام نموذج التخامد المتغير مع الزمن ، وهذا يؤكد أنه من الممكن استخدام هذا الأسلوب لإدخال تأثير التخامد المتغير على التحليل في برنامج ETABS .

من خلال النتائج التجريبية لاختبار الاطار السابق ، تبين انه يسلوك سلوكاً لاخطياً عند الشدات 0.14g و 0.19g وبالتالي لتحليل الاطار عند هذه الشدات تم إستخدام طريقة Nonlinear Direct Integration Time History باعتماد نموذج تخامد رايلي مرة باستخدام نسبة التخامد الثابتة 5% ومرة باستخدام نسبة التخامد الفعالة المناسبة لكل شدة بهدف حساب معاملات الكتلة والصلابة اللازمة . تم مقارنة قيم الانتقالات الاعظمية في الطابق العلوي الناتجة عن التحليل مع النتائج التجريبية ، كما هو موضح في الجداول (21) و (22) :

الجدول(21) : قيم الانتقالات الاعظمية في الطابق الثالث عند الشدة الزلزالية 0.14g و 0.19g بواحدة (mm)

الشدة الزلزالية المطبقة على النموذج	القيم التجريبية	تخامد ثابت	*نسبة التخامد المكافئة*
	Exp	$\xi = 5\%$	ξ_{eq}
0.14g	12.57	10.31	11.123
0.19g	18.515	14.612	15.585

الجدول(22) : نسبة الانتقالات التحليلية إلى التجريبية في الطابق الثالث عند الشدة الزلزالية 0.14g و 0.19g

الشدة الزلزالية	$5\%/EXP$	ξ_{eq}/EXP
0.14g	82.02%	88.45%
0.19g	78.9%	84.175%

نلاحظ من خلال الجداول السابقة أن الاعتماد على نسبة التخامد المكافئة المستنتجة من الطريقة المقترحة في حساب معاملات نموذج تخامد رايلي المستخدم في التحليل اللاخطي الزلزالي بطريقة التكامل المباشر أعطى نتائج أقرب للنتائج التجريبية من استخدام النسبة 5% .وهذا يتوافق مع التوصيات والدراسات الحديثة التي تنصح باستخدام نسب تخامد صغيرة (بين 2% و3%) عند تعريف معاملات رايللي في النماذج اللاخطية لتفادي التضخيم غير الواقعي للطاقة الممتصة (**Chopra, A. K. (2017)** . كما تؤكد توصيات NEHRP و ASCE 7-16 على ضرورة مراعاة هذا الجانب عند إجراء تحليلات استجابة ديناميكية لاخطية لتقدير دقيق لمستوى الأداء الزلزالي .

[5] النتائج :

1- تحليل سلوك المنشآت باعتماد نسبة تخامد متغيرة يعطي زيادة في قيم الانتقالات وقوة القص القاعدي وبالتالي الجهود الداخلية عن حلة استخدام التخامد الثابت .
2- تتناقص نسبة الزيادة في القوى والانتقالات بإدخال تأثير التخامد المتغير مع زيادة الشدة الزلزالية .
3- لايؤثر عدد الطوابق بشكل كبير على نسبة الفرق بين التخامد المتغير والثابت .
4- تم اقتراح قيمة لمعامل تصحيح لنسبة التخامد الثابتة m يمكن استخدامه للحصول على نسبة تخامد مكافئة ، حيث تتعلق قيمة هذا المعامل بالشدة الزلزالية المطبقة على المنشأ.

5- تحليل الإطار التجريبي باستخدام طرق التحليل الزلزالي المعتمدة في برنامج ETABS مع إدخال نسبة التخامد المكافئة المقترحة في هذا البحث أعطت نتائج أقرب إلى النتائج التجريبية من استخدام نسبة التخامد الثابتة التقليدية (وهي عادة 5%) .

[6] المراجع :

[1] Al Sehnawi, R., Nakajima, A., Takeshima, R., & Al Sadeq, H. (2014). Experimental investigation of amplitude dependency of dynamic characteristics in elastic and inelastic stages of reinforced concrete pier model. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 4(4), 289–301.

[2] Chen, G.-W., Beskhyroun, S., & Omenzetter, P. (2016). Experimental investigation into amplitude-dependent modal properties of an eleven-span motorway bridge. Engineering Structures, 107, 80–100.

[3] Chopra, A. K. (1995). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall.

[4] Dolce, M., Ponzo, F. C., Di Cesare, A., & Marino, L. (2005). Shaking table tests on reinforced concrete frames without and with passive control systems. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 34(14), 1687–1717.

[5] Kowalsky, M. J., Priestley, M. J. N., & MacRae, G. A. (1994). Displacement-based design: A methodology for seismic design applied to single degree of freedom reinforced concrete structures (Report No. SSRP-94/16). University of California, San Diego.

[6] Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). Displacement-based seismic design of structures. IUSS Press.

[7] إبراهيم،مريم.(2024) . تأثير تغير التخامد مع تسارع الإستجابة على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح . مجلة جامعة البعث ،سلسلة العلوم الهندسية،جامعة حمص ، سورية .

[8] غصون، ميس. (2020). *دراسة تحليلية لتأثير تغير سعات الاهتزاز في الخصائص الديناميكية للجسور البيتونية المسلحة (رسالة دكتوراه غير منشورة). جامعة البعث، سوريا.*