

تأثير تغير التخماد مع تسارع الإستجابة على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح

إعداد: م. مريم الابراهيم

إشراف : د.م سليمان العامودي

جامعة البعث - كلية الهندسة المدنية

ملخص :

إنَّ أغلب الطرق الشائعة في التحليل والتصميم الزلزالي تدخل تأثير التخماد من خلال نسبة ثابتة تختلف حسب مادة الإنشاء (مثلاً للبيتون المسلح 5%) . أثبتت المعطيات التجريبية والحقلية أن القيم الفعلية للتخماد مختلفة حتماً عن القيم التصميمية ومرتبطة بسعة الاستجابة للمنشآت تحت تأثير الحمولات الزلزالية وبالأخص عند شدات زلزالية صغيرة نسبياً ، وبالتالي لا بدّ من البحث في أسلوب ما لإدخال قيم أكثر دقة للتخماد في التحليل والتصميم الزلزالي . يهدف هذا البحث إلى إدخال تأثير التخماد المتغير والمرتببط بتسارع الاستجابة للنقطة المادية على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح مؤلف من ثلاثة طوابق وفتحتين تم تعريضه مخبرياً لحركة أرضية زلزالية عبر طاولة اهتزاز . تم تحليل الإطار السابق باستخدام طريقة التحليل الخطي بالسجل الزمني وطريقة طيف الاستجابة المرن ، مرة بإدخال تأثير التخماد كنسبة ثابتة ومرة بإدخال التخماد كتابع لتسارع الإستجابة . أظهرت نتائج التحليل عند إدخال التخماد المتغير تقارب أكبر مع النتائج التجريبية مقارنة مع نتائج التحليل بإدخال نسبة تخامد ثابتة 5% .

كلمات مفتاحية : تخامد متغير- تحليل- الإطارات البيتونية المسلحة

The Effect of the Variable Damping Associated with the Response Acceleration on the Seismic Analysis of RC Frame

Preparation : Maryam AL-ibraheem

Supervision : Dr.Eng Soleman Alamoudi

University of Al-Baath - Faculty of Civil Engineering

Abstract:

Most of the common methods in seismic analysis and design insert the damping effect through a constant ratio that varies according to the construction material .

Experimental and field data proved that the actual damping values are inevitably different from their designated values and are related to the response amplitude of the structures under seismic loads , especially at relatively small excitations. Therefore , it is necessary to search for a method to insert more accurate values of damping into the seismic analysis and design .

The main purpose of this study is to insert the effect of the variable damping associated with the response acceleration of physical point,

on the seismic analysis of a reinforced concrete frame (3 stories-2 bays) that was subjected in the laboratory to seismic ground movement using a shaking table .

The previous frame was analyzed using the Modal Linear Time History analysis method and the Elastic Response Spectrum method, once by entering the damping effect as a fixed ratio and once by entering the damping as a function of the response acceleration.

The results of the analysis by using variable damping showed greater convergence with the experimental results compared to the results of the analysis when using a fixed damping ratio of 5%.

Key words : Variable Damping – Analysis – Reinforced Concrete Frames

[1] مقدمة:

تؤثر الخصائص الديناميكية مثل التردد الطبيعي ونسبة التخميد بشكل كبير على السلوك الديناميكي للمنشآت البيتونية المسلحة ، وقد أثبتت المعطيات الحقلية والتجريبية ارتباط هذه الخصائص بسعة الاستجابة للمنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية [2] .

وبالتالي تختلف الخصائص الديناميكية الفعلية حتماً عن قيمها التصميمية ولذلك عند إجراء التحليل الديناميكي لا بدّ من أخذ الخصائص الديناميكية الدقيقة قدر الإمكان .

درس العديد من الباحثين ارتباط الخصائص الديناميكية بسعات الاستجابة حيث بين البحث

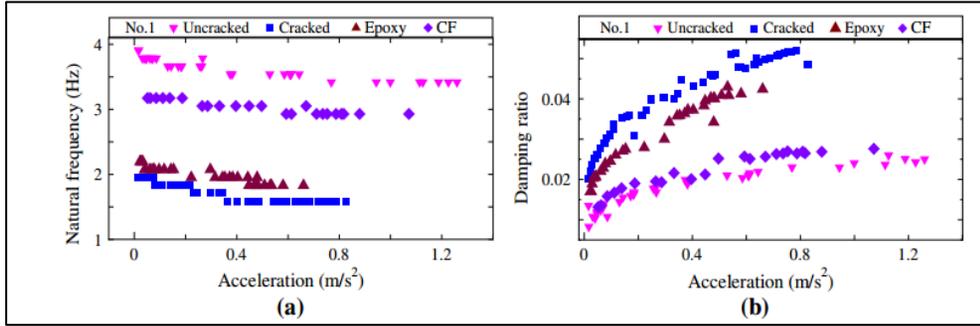
[1] اعتماد الخصائص الديناميكية على سعة استجابة نموذج ركيزة جسر للاهتزازات الحرة خلال مراحل مختلفة من عمل النموذج (المرحلة المرنة - تشكل الشقوق -اصلاح العينات بعد الضرر) .

يهدف الوصول الى المرحلة اللدنة وتشكيل الضرر في النماذج المختبرة تم تعريض النموذج حتى الانهيار الى سجل زلزالي موافق لزلزال كوشيرو (اليابان 1994) بلغ تسارعه الأرضي الأعظمي $PGA=0.7g$ مع زيادة تدريجية بالشدة من 10% حتى 160% من التسارع الأرضي الأعظمي للزلزال الفعلي .

تم إجراء تجارب الاهتزاز الحر قبل تطبيق السجل الزلزالي وبعده بهدف التحقق من تغير الخصائص الديناميكية أثناء تطور الضرر ثم مقارنة العلاقة بين الخصائص الديناميكية وشدة الاستجابة .

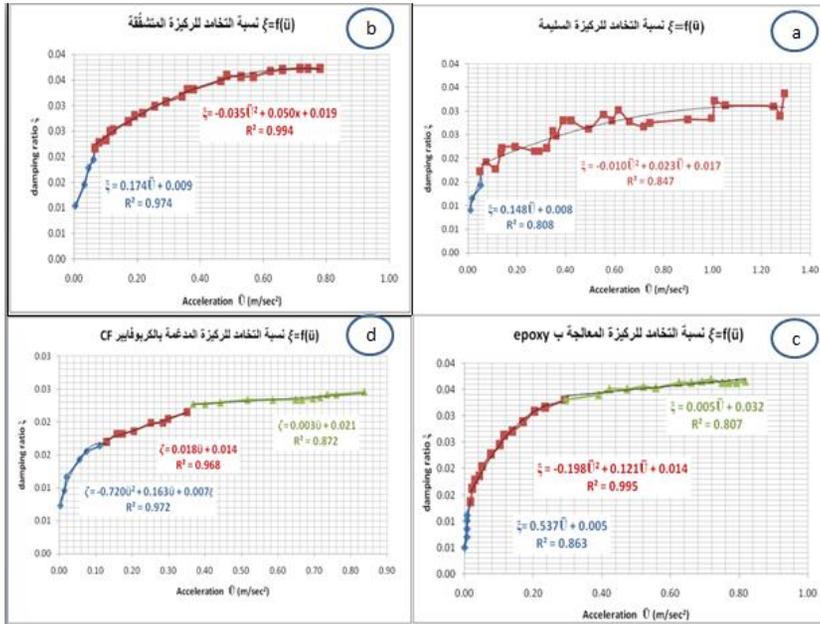
العينات المتضررة بعد التحميل الزلزالي تم إصلاحها بطريقتين الأولى عن طريق حقن وإملاء الشقوق بالإيبوكسي والثانية من خلال التطويق باستخدام شرائح ألياف الكربون ثم إعادة تعريضها للحركة الزلزالية والاهتزاز الحر بهدف بحث تغير الخصائص الديناميكية مع شدة الاستجابة بعد الإصلاح .

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



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

ركزت الدراسة [4] على معالجة النتائج التجريبية للبحث [1] بهدف الحصول على علاقات تربط بين الخصائص الديناميكية (التردد الطبيعي ونسبة التخماد) 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 التخماد مع تسارع الاستجابة للعينات السليمة (a) ، العينات المتشققة (b) ، العينات بعد إصلاحها بالايوكسي (c) ، العينات بعد إصلاحها بألياف الكربون (d) في الدراسة المرجعية [3] .

[2] نموذج الاطار المدروس :

تم في هذا البحث تحليل نموذج إطار مجرب مخبرياً على طاولة الاهتزاز في البحث المرجعي [3] .

الإطار لمدروس 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 2-1 الأبعاد الهندسية للنموذج المخبري.

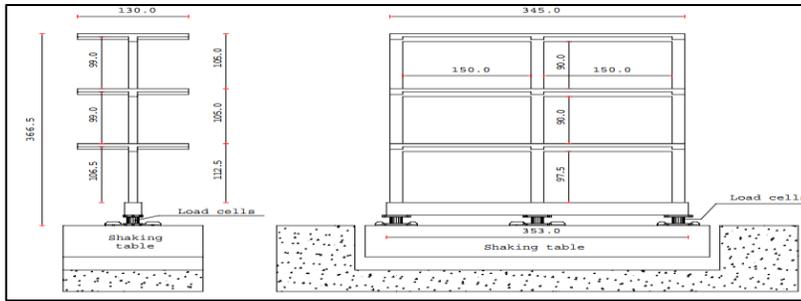
مقاطع الأعمدة كانت (الارتفاع 150 mm والعرض 105 mm) ومسلحة بتسليح طولي (3+3) قطر 4mm وتسليح عرضي قطر 4mm بتباعدات 50mm .

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

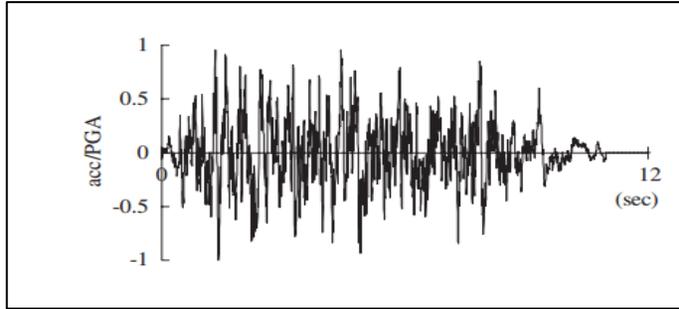
تسليح الجوائز بمنطقة العقد كان (7Top+5Bottom) بقطر 4mm كتسليح طولي ، بينما التسليح العرضي فكان بقطر 4mm وتباعدات 50mm .

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 .

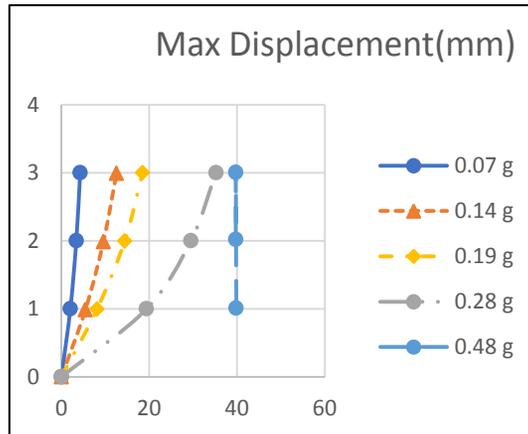


الشكل 3 : الأبعاد الهندسية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [3] .

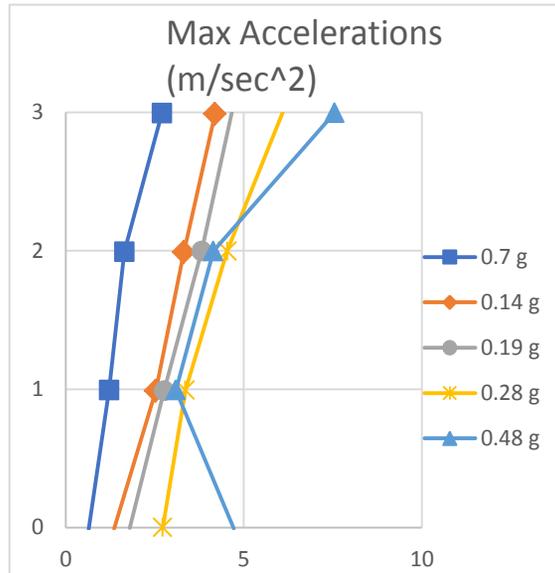


الشكل 4 : سجل الحركة لطاولة الاهتزاز في الدراسة المرجعية [3] .

تبين الأشكال التالية قيم الانتقالات والمتسارعات الاعظمية في كل سوية طابقية تحت تأثير الشدات الزلزالية المختلفة :



الشكل 5 : الانتقالات الأعظمية في كل سوية طابقية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [3] .



الشكل 6 : التسارعات الأعظمية في كل سوية طابقية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [3] .

3 - تحليل الاطار المدروس باستخدام طريقة السجل الزمني الخطي النمطي Linear

Modal Time History

يهدف هذا الفصل إلى تحليل الاطار المدروس باستخدام طريقة السجل الزمني الخطي النمطي مع إدخال تأثير التخماد كتابع لتسارع الاستجابة للنقطة المادية عن طريق العلاقات التي تم الحصول عليها في الدراسة المرجعية [4].

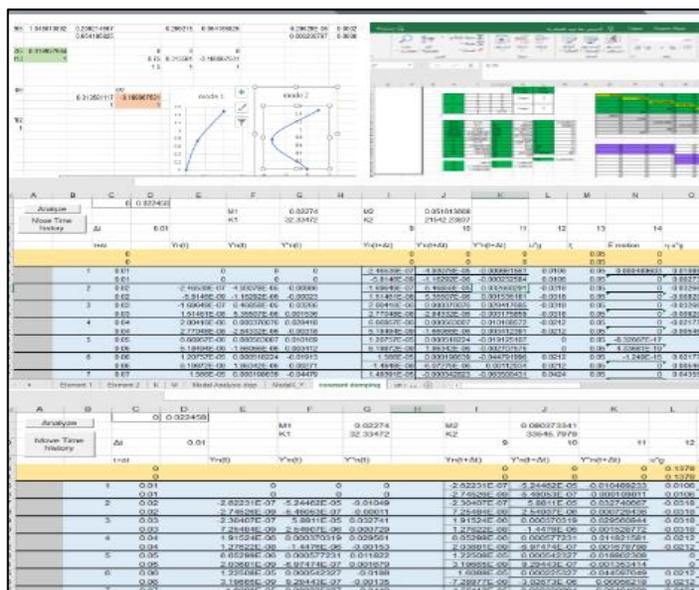
تتيح برامج التحليل والتصميم المتوفرة مثل برنامج ETABS إمكانية إجراء التحليل الخطي النمطي بالسجل الزمني مع إدخال تأثير التخماد بأحد الأشكال التالية :

1- إدخال التخماد كنسبة ثابتة حيث تؤخذ هذه النسبة 5% عند تحليل منشآت البيتون المسلح .

2- ربط نسبة التخماد بدور الاهتزاز (تردد الاهتزاز) لكل نمط ، بحيث يمكن إدخال قيمة ثابتة لنسبة التخماد خاصة بكل نمط اهتزاز .

3- إدخال التخماد من خلال تخامد ريلي حيث يتم التعبير عن مصفوفة التخماد كمصفوفة مكافئة لمصفوفتي الكتل والصلابة .

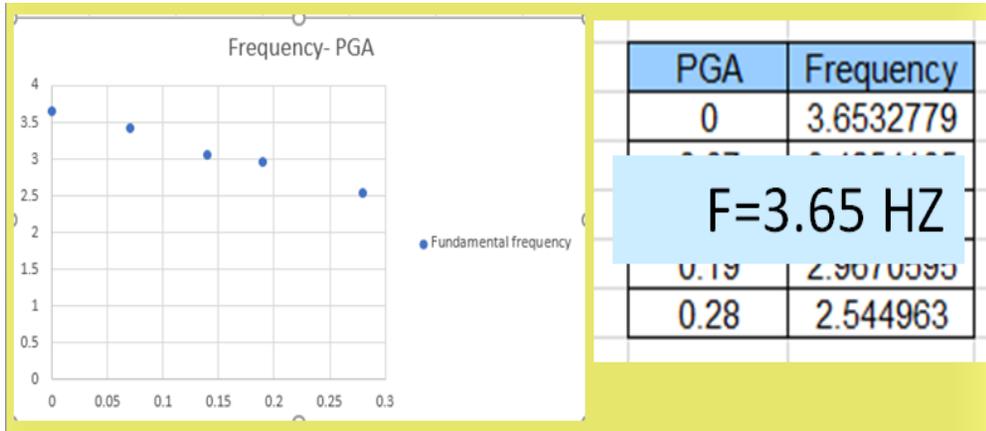
إن الطرق السابقة لا تتيح إمكانية إدخال التخماد كتابع لتسارع الاستجابة كما تم توصيفها بالعلاقات المذكورة سابقاً وبالتالي لتحقيق الهدف تم تصميم برنامج في بيئة VBA Excel لتحليل الإطار المدروس مرة بإدخال نسبة ثابتة للتخماد ومرة بإدخال نسبة تخامد متغيرة ومرتبطة بتسارع الاستجابة ويوضح الشكل 7 واجهة البرنامج المذكور .



الشكل 7: واجهة البرنامج المقترح لإجراء تحليل Linear Modal Time History.

تم تحليل الإطار المدروس باستخدام برنامج ETABS باعتماد طريقة Linear Modal Time History Analysis مع إدخال نسبة ثابتة للتخماد وهي 5% .

بعد نمذجة الإطار كانت قيمة دور الاهتزاز الأول Sec 0.273 وقيمة التردد $F=3.65\text{HZ}$ وهي مطابقة لقيمة التردد المشار إليه في التجربة.



الشكل 8 : قيم الترددات المحسوبة للإطار المدروس عند كل شدة زلزالية

أيضاً تم إعادة تحليل الإطار المدروس باستخدام البرنامج المقترح مرة باعتماد نسبة ثابتة للتخماد 5% ومرة بإدخال تأثير التخماد كتابع لتسارع الاستجابة .

يبين الجدول التالي قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام الطرق المذكورة سابقاً ومقارنتها مع القيم التجريبية .

الجدول 1: قيم الانتقالات التحليلية ونسبتها من القيم التجريبية (mm)

story	Exp	FNA 5% (ETABS)		Program 5%		Program Variable Damping		Var/5%
	u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	
1st	2.3	1.507	0.655	1.517	0.659	1.771	0.769	1.167
2nd	3.706	3.104	0.837	3.12	0.841	3.664	0.988	1.174
3rd	4.728	4.065	0.859	4.085	0.863	4.812	1.017	1.177

Exp : قيم الانتقالات التجريبية.

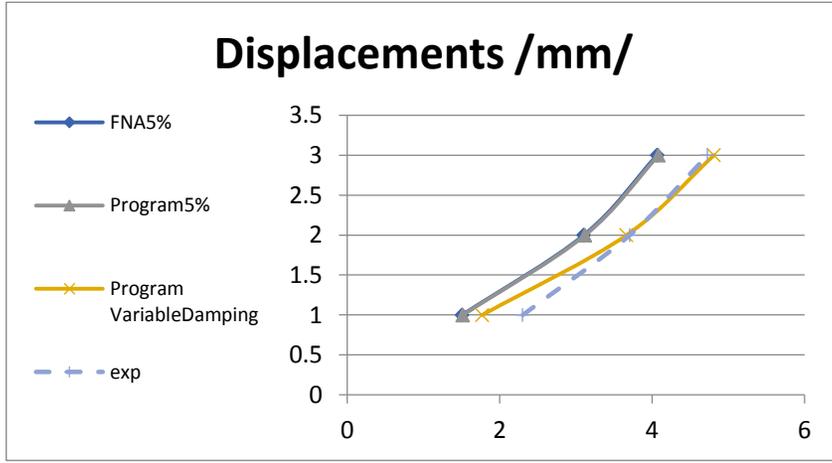
FNA 5% (ETABS): قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج الايتابس مع ادخال نسبة ثابتة للتخامد .

Program 5% : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة ثابتة للتخامد.

Program Variable Damping : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة التخامد كتابع لتسارع الاستجابة.

Var/5% : نسبة الانتقالات التحليلية الناتجة عن ادخال التخامد المتغير الى نسبة الانتقالات التحليلية الناتجة عن ادخال نسبة التخامد الثابتة.

بينت نتائج تحليل الإطار عند الشدة الزلزالية $0.07g$ مع إدخال نسبة تخامد متغيرة مرتبطة بتسارع الاستجابة زيادة في الانتقالات الأعظمية بكل طابق عن النتائج مع إدخال نسبة تخامد ثابت وهي 5% حيث وصلت نسبة الزيادة حتى 17.79% ، وقد كانت قيم الانتقالات الأعظمية في كل سوية طابقية بإدخال نسبة تخامد متغيرة أقرب الى النتائج التجريبية من التحليل باعتماد نسبة تخامد ثابتة حيث وصلت نسبة الانتقالات التحليلية بإدخال نسبة التخامد المتغيرة إلى الانتقالات التجريبية حتى 101% مقارنة مع نسبة التخامد الثابتة حيث كانت النسبة 86.39% في الطابق الثالث.



الشكل 9 : مقارنة الانتقالات التحليلية في كل سوية طابقية مع الانتقالات التجريبية

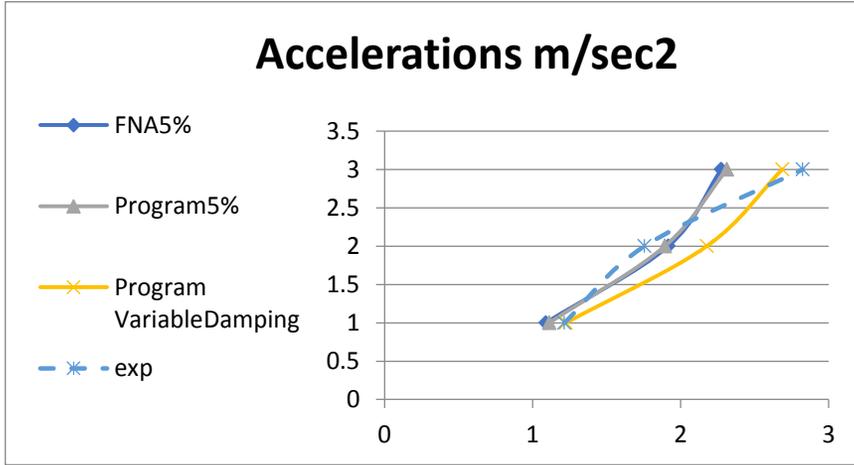
من خلال أساليب التحليل السابقة تم الحصول على قيم التسارعات الأعظمية في كل طابق ومقارنتها مع التسارعات الأعظمية التجريبية ، ويبين الجدول مقارنة بين قيم التسارعات التجريبية والتحليلية :

الجدول 2 : مقارنة قيم التسارعات الأعظمية التحليلية مع التجريبية (m/sec^2)

story	exp	FNA5%		Program5%		Program Variable Damping		var/5%
	u''_{Exp}	u''	u''/u''_{Exp}	u''	u''/u''_{Exp}	u''	u''/u''_{Exp}	
1st	1.215	1.089	0.89	1.113	0.916	1.226	1.00	1.101
2nd	1.757	1.917	1.09	1.894	1.077	2.177	1.239	1.149
3rd	2.823	2.275	0.805	2.313	0.819	2.686	0.951	1.161

Exp : قيم التسارعات التجريبية .
 FNA 5% (ETABS) : قيم التسارعات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج الايتابس مع ادخال نسبة ثابتة للتخماد .
 Program 5% : قيم التسارعات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة ثابتة للتخماد .
 Program Variable Damping : قيم التسارعات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال نسبة التخماد كتابع لتسارع الاستجابة .
 Var/5% : نسبة التسارعات التحليلية الناتجة عن ادخال التخماد المتغير الى نسبة الانتقالات التحليلية الناتجة عن ادخال نسبة التخماد الثابتة .

من خلال الجدول السابق نلاحظ أن التحليل بإدخال نسبة تخامد متغيرة متعلقة بتسارع الاستجابة أعطى تقارب بقيمة التسارع الأعظمي في الطابق الأخير بنسبة 95.1% من التسارع التجريبي.



الشكل 10: مقارنة التسارعات الأعظمية التحليلية مع التسارعات الأعظمية التجريبية

4- تحليل الاطار المدروس باستخدام طريقة طيف الاستجابة Response Spectrum Analysis :

كما ذكرنا سابقاً فإن إمكانية إدخال تأثير التخماد بوصفه تابعاً لتسارع الاستجابة هو أمر غير ممكن ضمن برامج التحليل والتصميم الإنشائي المتوفرة مثل برنامج ETABS ، ومن هنا كان التفكير بإدخال هذا الأثر من خلال استنتاج طيف استجابة مرن بالاعتماد على التخماد المتغير كبديل عن طيف الاستجابة الذي يتم الحصول عليه عند نسبة ثابتة للتخماد وهي عادة 5% ، ثم الاستفادة من هذا الطيف بإجراء تحليل طيف الاستجابة بالاعتماد على برنامج ETABS ومقارنة نتائج التحليل بهذا الأسلوب مع النتائج التجريبية ومع نتائج التحليل باعتماد طيف الاستجابة عند نسبة تخامد 5% .

خطوات الحصول على طيف الاستجابة المرن لسجل حركة زلزالية ما:

يعرف طيف الاستجابة بأنه عبارة عن منحنى يمثل القيم الأعظمية للتسارع ، الانتقال ، أو السرعة للأنظمة وحيدة درجة الحرية SDOF ذات أذوار اهتزاز مختلفة عندما تتعرض لحركة زلزالية ما .

يمكن الحصول على طيف الاستجابة المرن لحركة زلزالية ما وفق الخطوات التالية :

1-نختار مجموعة من القيم المختلفة لدور الاهتزاز الطبيعي T حيث عادة تتراوح قيم الأذوار (0.015sec-5sec) .

2- من أجل قيمة معينة لنسبة التخماد ومن أجل القيم التي تم اختيارها لدور الاهتزاز يتم استخدام أحد الطرق العددية لحل معادلة الحركة (معادلة الحركة لنظام SDOF متخامد خاضع لتسارع زلزالي) والتي يمكن وصفها بالمعادلة التالية :

$$u_t'' + 2. \xi . W_n . u_t' + W_n^2 u_t = -u_g''$$

3-من خلال حل معادلة الحركة نحصل على القيم الأعظمية للانتقال S_d (الانتقال الطيفي) والذي يعبر عن تشوه النظام تحت تأثير الحركة الزلزالية .

4- يتم حساب كل من السرعة والتسارع الزائف وفق المعادلات التالية :

- السرعة الزائفة Pseudo-Velocity وتمثل القيمة الأعظمية للطاقة التشوهية المختزنة في النظام أثناء حدوث الزلزال :

$$S_v = W_n . S_d$$

- التسارع الزائف Pseudo-Acceleration ويمثل القيمة الأعظمية لقوة القصد القاعدي (القيمة الأعظمية للقوة الستاتيكية المكافئة) :

$$S_a = W_n^2 \cdot S_d$$

حيث $W_n = \frac{2\pi}{T}$ (Rad/sec) التردد الدائري للنظام وحيد درجة الحرية .

5-نرسم العلاقة بين القيم السابقة ودور الاهتزاز للحصول على الأطياف المطلوبة ، وسوف نتعامل مع طيف استجابة التسارع لأنه المتاح إدخاله ضمن البرامج

بهدف الحصول على طيف الاستجابة مع ادخال التخماد المتغير نتبع نفس الخطوات السابقة ، مع فارق بالخطوة الثانية حيث نحل معادلة الحركة للحصول على الانتقال الطيفي بإدخال التخماد كنسبة تابعة لتسارع الاستجابة عن طريق برنامج تم تصميمه في بيئة *VBA Excel* لهذا الغرض حيث يمكن وصف معادلة الحركة بالشكل التالي :

$$u_t'' + 2 \cdot \xi(u_t'') \cdot W_n \cdot u_t' + W_n^2 u_t = -u_g''$$

حيث تم توصيف العلاقة بين نسبة التخماد وتسارع الإستجابة بالاعتماد على العلاقة المقترحة بالبحث [4] للعينات السليمة .

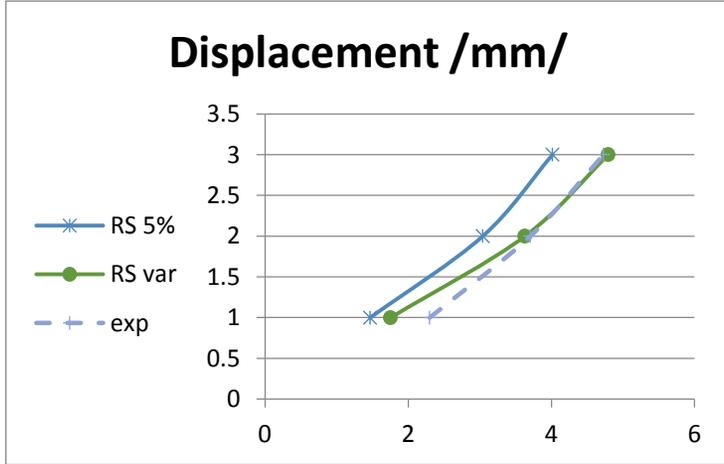
بالإعتماد على الخطوات السابقة تم الحصول على طيف الاستجابة للسجل الزلزالي المعتمد بالتجربة عند الشدة $0.07g$ مرة بافتراض نسبة تخامد ثابتة ومرة بتوصيف نسبة التخماد كمتغير مع تسارع الاستجابة والشكل التالي يوضح أطياف الإستجابة المستنتجة بكلا الحالتين:

الجدول 3 : قيم الانتقالات الطابقية الناتجة عن تحليل طيف الإستجابة المرن للإطار
المدرّوس ومارنتها مع القيم التجريبية (mm)

Story	exp	RS 5%		RS var		var/5%
	u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	
1st	2.3	1.471	0.639	1.756	0.763	1.193
2nd	3.706	3.042	0.82	3.632	0.98	1.194
3rd	4.728	4.016	0.849	4.795	1.014	1.194

Exp : قيم الانتقالات التجريبية .
RS 5% : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة ثابتة للتخامد .
RS var : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة تخامد متغيرة .
var/5% : نسبة الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام طيف التخامد المتغير الى الانتقالات الناتجة عن التحليل باعتماد نسبة ثابتة للتخامد .

من خلال الجدول السابق نلاحظ أن نسبة الانتقالات الطابقية في الطابق الأخير بلغت 84.9% من الانتقال التجريبي بحالة التحليل باستخدام طيف الاستجابة المستنتج عند نسبة تخامد 5% بينما كانت الانتقالات في الطابق الأخير متطابقة مع القيمة التجريبية في حال تم اعتماد الطيف المستنتج عند نسبة تخامد متغيرة ومتعلقة بتسارع الإستجابة .



الشكل 13 : مقارنة الانتقالات الناتجة عن تحليل طيف الاستجابة مع الانتقالات التجريبية

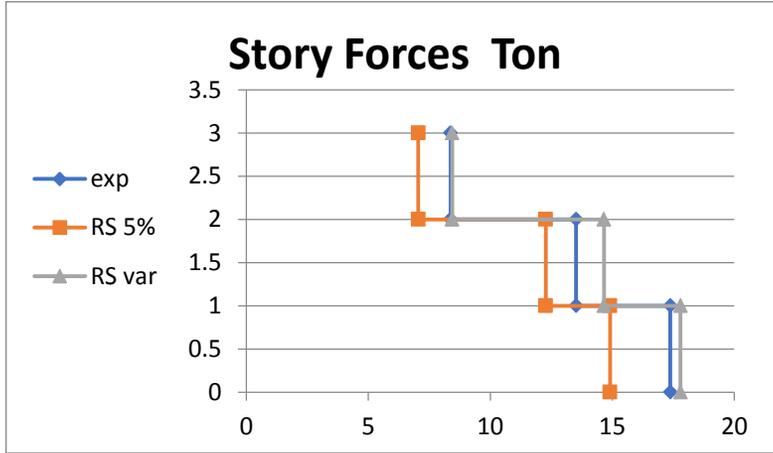
يبين الجدول التالي مقارنة قيم قوى القص الطابقي الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الإستجابة وقوى القص التجريبية :

الجدول 4 : مقارنة قوى القص الطابقي التحليلية مع التجريبية (Ton)

story	Exp	RS 5%		RS var		var/5%
	V_{Exp}	V	V/V_{Exp}	V	V/V_{Exp}	
3rd	8.37	7.048	0.842	8.439	1.008	1.197
2nd	13.52	12.275	0.907	14.661	1.084	1.194
1st	17.38	14.907	0.857	17.797	1.024	1.193

Exp : قيم قوى القص التجريبية .
 RS 5% : قيم قوى القص الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة ثابتة للتخماد .
 RS var : قيم قوى القص الناتجة عن التحليل باستخدام طيف الاستجابة الناتج عن ادخال نسبة تخامد متغيرة .
 var/5% : نسبة قوى القص الناتجة عن التحليل باستخدام طيف التخماد المتغير الى قوى القص الناتجة عن التحليل باعتماد نسبة ثابتة للتخماد .

نلاحظ من خلال الجدول السابق تطابق بقيم قوى القص الناتجة عن التحليل بإعتماد الطيف المتغير مع القيم التجريبية حيث كانت النسبة في الطابق الأرضي %102 بينما وصلت نسبة القوى من طيف التخماد الثابت الى %85.77 من القوى التجريبية .



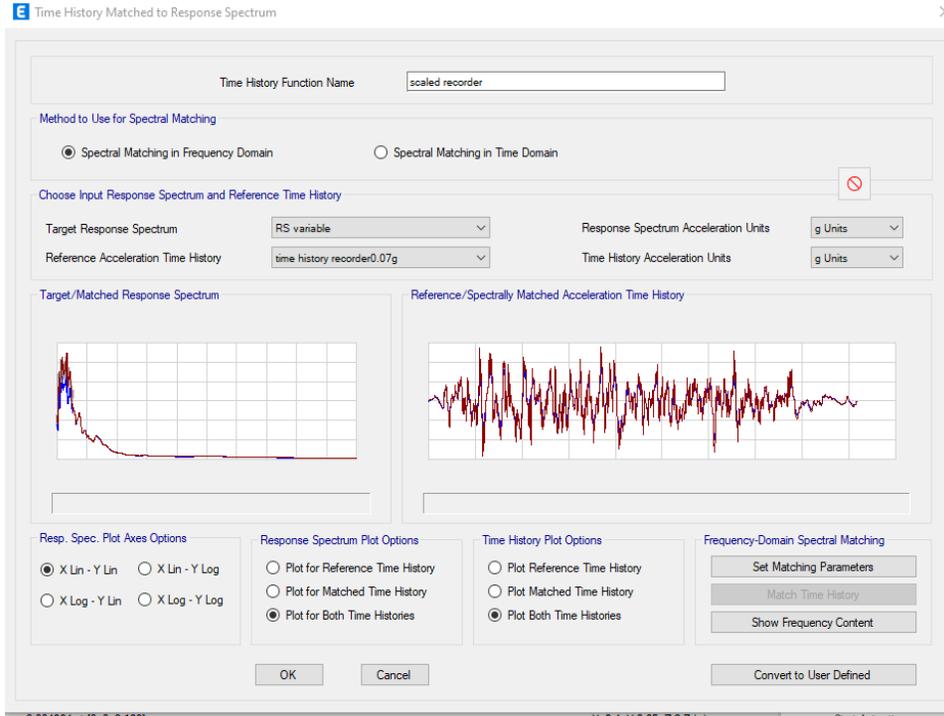
الشكل 14 : مقارنة قوى القص الطابقي مع قوى القص التجريبية

5- تحليل الإطار المدروس باستخدام طريقة السجل الزمني النمطي بعد تقيسه

بطيف الإستجابة الناتج عن إدخال التخماد المتغير .

تم تحليل الإطار المدروس باستخدام برنامج ETABS باعتماد طريقة السجل الزمني النمطي الخطي Linear Modal Time History Analysis بعد تقيس السجل الزمني باستخدام طيف الإستجابة الناتج عن إدخال تأثير التخماد المتغير .

يوضح الشكل السجل الزمني للتجربة عند الشدة 0.07g بعد تقيسه باعتماد الطيف المتغير :



الشكل 15 : السجل الزمني بعد تقييسه في برنامج ETABS

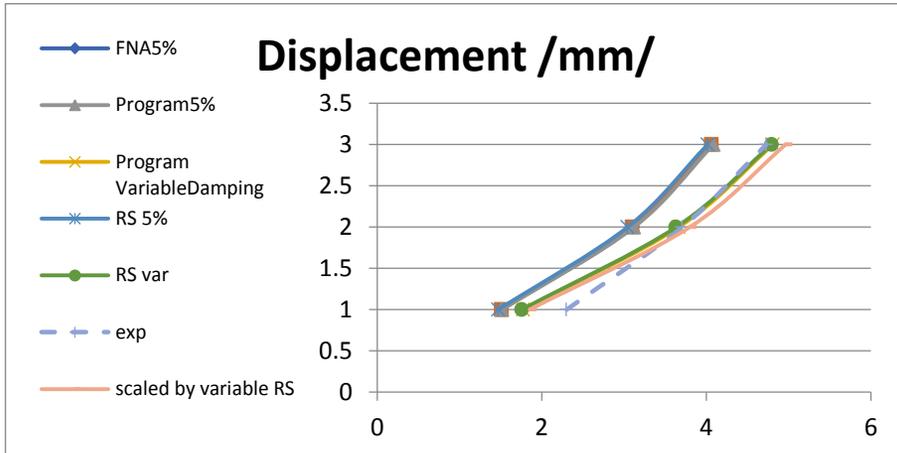
إن التحليل بالطريقة السابقة باعتماد برنامج ETABS أعطى نتائج مقارنة لقيم الانتقالات الناتجة عن التحليل بإدخال نسبة تخامد متغيرة متعلقة بتسارع الاستجابة في البرنامج المصمم وبالتالي قد يكون من الممكن الاعتماد على برنامج ETABS في التحليل بعد تقييس السجل الزمني بطيف الاستجابة المستنتج بإدخال تأثير التخماد المتغير .

الجدول 5 : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج ETABS بعد تقييس السجل بالاعتماد على الطيف المستنتج من التخامد المتغير (mm)

story	Exp	FNA5% (ETABS)		Program Variable Damping		scaled by variable Rs (ETABS)	
	u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	u	u/u_{Exp}	u	u/u_{Exp}
1st	2.3	1.507	0.655	1.771	0.769	1.851	0.804
2nd	3.706	3.104	0.837	3.664	0.988	3.798	1.024
3rd	4.728	4.065	0.859	4.812	1.017	4.963	1.049

Exp : قيم الانتقالات التجريبية .
FNA5% (ETABS) : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج اليتابس بعد تقييس السجل بطيف الاستجابة المستنتج عند نسبة تخامد ثابتة .
Program Variable Damping : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام البرنامج المقترح مع ادخال تأثير التخامد المتغير .
scaled by variable Rs (ETABS) : قيم الانتقالات الناتجة عن التحليل باستخدام برنامج اليتابس بعد تقييس السجل بطيف الاستجابة المستنتج عند نسبة التخامد المتغيرة .

يوضح الشكل 16 مقارنة بين الانتقالات التجريبية والانتقالات التحليلية الناتجة عن أساليب التحليل المختلفة المقترحة ضمن البحث ، حيث يظهر من خلال المقارنة تقارب في قيم الانتقالات الطابقية بين النتائج التجريبية ونتائج طرق التحليل التي أدخلت أثر التخامد كنسبة متغيرة متعلقة بتسارع الاستجابة مقارنة مع طرق التحليل التي اعتمدت على إدخال نسبة تخامد ثابتة وهي 5% .



الشكل 16 : مقارنة قيم الانتقالات الناتجة عن طرق التحليل المعتمدة في البحث مع القيم التجريبية

[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] Chandler, A. M. (1997). *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*: Anil K. Chopra Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (1995) ISBN 0–13–855214–2 .

[3] Dolce, Mauro, et al. "Shaking table tests on reinforced concrete frames without and with passive control systems." *Earthquake engineering & structural dynamics* 34.14 (2005): 1687–1717 .

[4] م.ميس غصون 2020 . دراسة تحليلية لتأثير تغير ساعات الاهتزاز في الخصائص الديناميكية للجسور الببتونية المسلحة . رسالة دكتوراه . جامعة البعث .