



كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

دراسة سعات الاهتزاز لركائز الجسور الخرسانية المسلحة باستخدام برنامج ABAQUS

ميس أديب غصون^{1*}، علي الجراش²، ريم الصحنوي³

¹ قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، حمص، سوريا، eng.mais.gh@gmail.com

² قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سوريا

³ المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية HERS، جامعة دمشق، دمشق، سوريا، reemsalman_seh@hotmail.com

المباحث الممثل: ميس اديب غصون، eng.mais.gh@gmail.com

نشر في: 30 حزيران 2021

الخلاصة – تعتبر الخصائص الديناميكية مثل نسبة التخماد و التردد الطبيعي مؤشراً هاماً لتوقع السلوك الديناميكي للجسور ولكن جرت العادة أثناء التصميم على أن يقدر المصمم الخصائص الديناميكية لإجراء التحليل الديناميكي لأنه من الصعب جداً تحديد تخامد المنشأ قبل التشييد كما يؤخذ التخامد كقيمة ثابتة محددة مسبقاً ومستقلة عن سعة الاستجابة و التردد للمنشأ في التحليل الديناميكي لتصميم المنشآت بعض الأبحاث التجريبية غُيّبت بتحديد الخصائص الإنشائية الديناميكية و علاقتها مع سعة الاستجابة تجريبياً، ولكن لم يسبق أن تؤخذ تغيرات الخصائص الديناميكية مع سعات الاهتزاز أثناء التحليل الديناميكي ، مما أوجب إجراء المزيد من المعالجات التحليلية و النمذجة الحاسوبية لدراسة مختلف الحالات اعتماداً على النتائج التجريبية المتاحة عن طريق محاكاتها بنموذج حاسوبي . فالخصائص الديناميكية ضرورية جداً للتحديد الدقيق للاستجابة الديناميكية، و من الضروري دراسة تأثير تغيرات الخصائص الديناميكية الفعلية للجسور و التي تم تحديدها من خلال قياس اهتزازها في نتائج التحليل الديناميكي و مقارنتها مع النتائج التي لا تأخذ تغيرات الخصائص الديناميكية بالاعتبار و مع النتائج المخبرية وذلك لتقييم دور مدخلات التحليل الديناميكي في محاكاة الاهتزازات بملاحظة استجاباتها . بالنتيجة تبين استقلال الخصائص الديناميكية عن شكل المؤثرات الخارجية كما تم استنتاج علاقات تعبر عن تغير الخصائص الديناميكية بدلالة سعات الاهتزاز و تؤكد التبعية المتشابهة للخصائص الديناميكية إلى سعة الاهتزاز وذلك من أجل نموذج الركيزة حيث يترافق ازدياد سعة التسارع الأعظمي، مع انخفاض في التردد الطبيعي ، و ازدياد في نسبة التخماد بشكل واضح ، أخيراً، لكي يصح اعتماد الخصائص الديناميكية لأي منشأ ، لا بد من إعطاء اهتمام خاص لسعة الاهتزاز المتوقعة قبل اختيار القيم التصميمية و يجب أخذ تغيرات الخصائص الديناميكية أثناء التحليل الديناميكي بالاعتبار للحصول على نتائج تحليلية تحاكي النتائج التجريبية و أقرب إلى الواقع .

الكلمات الرئيسية – "الخصائص الديناميكية ، سعة الاهتزاز ، الركائز الخرسانية المسلحة ، النمذجة ، نسبة التخماد"

1. المقدمة

عادةً ما يستخدم قياس الاهتزازات للمنشأ لتقدير الخصائص الديناميكية الفعلية، حيث تعد من التقنيات المفيدة لمراقبات سلامة المنشآت القائمة ، في القرن الماضي انتشرت اختبارات الاهتزاز على مختلف منشآت الجسور والتي تحتاج معدات ضخمة لتوليد الاهتزازات ، بغية التحقق من السلوك الديناميكي للمنشأ أثناء استجابته لمستويات عالية من الاهتزاز، ولكن الكلفة و الجهد الكبير الذي تتطلبه هذه الطريقة لا يشجع الباحثين على استخدامها . مما دفع إلى تطوير العديد من طرق قياس الاهتزاز للاستغناء عن أدوات الاهتزاز كمحاكاة و لاستبدال اختبارات توليد الاهتزاز بأساليب جديدة كاختبار الاهتزاز الحر و الاهتزاز المحيطي حيث استخدمت للكشف عن السلوكيات الديناميكية الإنشائية. وبالتالي الاعتماد هذه الطريقة للكشف عن تبعية الخصائص الديناميكية لسعة الاستجابة إما باستخدام اختبار الاهتزاز القسري أو باستخدام اختبار الاهتزاز الحر و الاهتزاز الطبيعي و البحث في تأثير علاقة التردد الطبيعي و نسب التخماد مع سعات الاهتزاز بالمقابل فإن الطرق التحليلية المتاحة تعتمد على بناء نماذج عددية باستخدام طرق معروفة في نمذجة الأبنية مثل طريقة العناصر المحددة والتي تستطيع أن تحاكي السلوك التجاربي الديناميكي للمنشآت فباستخدام نتائج تجارب الاهتزاز الحر و معالجتها تم إدخال تغيرات الخصائص الديناميكية مع سعات الاهتزاز في التحليل الديناميكي و تمت مقارنة النتائج مع النتائج التي لا تأخذ بعين الاعتبار تغيرات الخصائص الديناميكية مع النتائج المخبرية .

2. الدراسات السابقة

بحثت الدراسات السابقة عن آليات لتقدير الخصائص الديناميكية للمنشآت. مثل جمع بيانات تجريبية تحت تأثير أنواع مختلفة من الحركات الاهتزازية . تناولت بعض هذه الدراسات اعتماد الخصائص الديناميكية على سعة الاستجابة لأنواع مختلفة من المنشآت و قد تبين أن استخدام بيانات الاهتزاز المحيطي سيؤمّن بديلاً جيداً يوفر الكلفة و الجهد الذي تتطلبه معدات الاهتزاز القسري الضخمة كما يسمح بالكشف عن السلوكيات الديناميكية الإنشائية ، حيث أن ترددات الحركة الزلزالية تتراوح بمعدل :70% إلى 80% من القيم المقابلة في تسجيلات الاهتزاز المحيطي و هذه الترددات الزلزالية مفيدة لوضع توقعات التخماد التي تعتمد على اختبارات الاهتزاز القسري حيث يكون التداخل بين التربة و المنشأ عامل هام في تقدير التخماد الكلي وذلك في دراسة أجريت على الخصائص الديناميكية لخمس أبنية أثناء الحركات القوية و السعات المنخفضة [1]، كذلك وجد فوكوا بأن الخصائص الديناميكية تعتمد بشكل كبير على سعة الاستجابة للعناصر غير الإنشائية على كامل نطاق المباني المعدنية مسبقاً الصنع [5]. (تامورا و ساغوناما 1996) بحثوا في تقييم تبعية السعة فيما يتعلق بالتردد الطبيعي و نسبة التخماد لثلاثة أبراج تحت تأثير رياح قوي [11]. وهناك من أخذ معامل التضخيم الديناميكي كمستشعر هام في مراقبة الجسور وربطته بعوامل عديدة (المجاز الأعظمي،

مستطيل بأبعاد 100×150 mm. الارتفاع الصافي للعمود 1500 mm. المخذة ذات مقطع مستطيل بأبعاد مساوية ل 300×350 mm وارتفاع 100 mm. بالإضافة لذلك، القاعدة والكتلة الخرسانية الإضافية ذات مقطع عرضي مربع بطول 600 mm وارتفاع 200 mm. طبقة التغطية مساوية ل 15 mm في جميع المقاطع العرضية المأخوذة. النموذج يحتوي على أربع قضبان من التسليح الطولي بقطر 10 mm، بنسبة تسليح مساوية ل 2.08% . قطر الأتاري المستخدمة 6 mm بنباعد 100 mm وذلك على مسافة 300 mm من أسفل و أعلى العمود، وبتباعد 200 mm في الجزء النصف من العمود. تم إضافة أربع قضبان من حديد التسليح في منطقة الاتصال بين العمود والقاعدة ومنطقة الاتصال بين العمود والمخذة بطول 100 mm اعتباراً من منطقة الاتصال وذلك لمنع حدوث تشققات عند سطح الاتصال. خصائص الخرسانة و فولاذ التسليح المستخدم للركيزة المختبرية الخرسانية المسلحة مبينة في الجدول (1)

الجدول 1 : الخصائص الإسطوانية للخرسانة وفولاذ التسليح

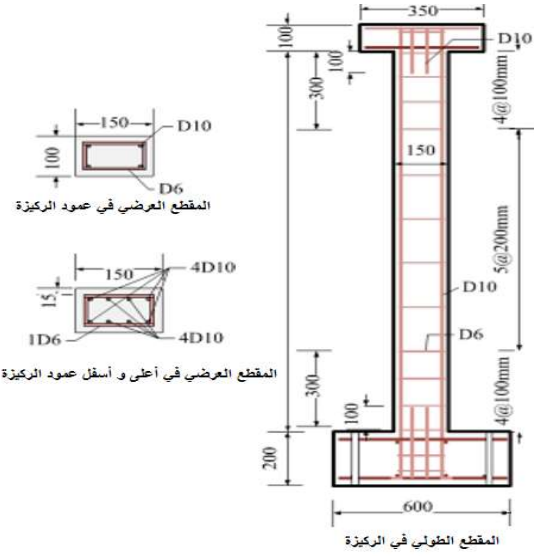
مقاومة الضغط	مقاومة الشد	معامل بواسون ν	معامل المرونة E	الخاصة
MPa	MPa	-	MPa	الواحدة
32.5	2.68	0.18	29100	خرسانة
-	401	0.3	210000	فولاذ التسليح

برنامج (ABAQUS 2017) Abaqus وهو برنامج نمذجة عددية باستخدام العناصر المحددة متعدد المهام قادر على محاكاة معظم الظواهر الفيزيائية الميكانيكية و الحرارية و الكهربائية General Purpose Multi Physics والتي يمكن إدراجها ضمن النموذج عندما تقتضي الحاجة ، بما في ذلك لا خطية المواد، و اللاخطية الهندسية في النموذج تحت تأثير الأحمال (P- Δ effect) ويحتوي البرنامج أيضاً على مكتبة واسعة من العناصر وسلوك المواد سريعة الانهيار والمطاوعة [2] و لقد أجريت العديد من الدراسات التحليلية والتجريبية على ركائز الجسور الخرسانية المسلحة ، كما تم تناول موضوع تغيير ساعات الاهتزاز و تأثيره على تغيير الخصائص الديناميكية لركائز الجسور الخرسانية المسلحة ومع تطور برامج النمذجة كان لا بد من اقتراح نماذج تسمح بإجراء دراسات حاسوبية واسعة توفر بعد إثبات فعاليتها الكثير من الوقت والكلفة المادية مقارنة مع التجارب المختبرية عدا عن الدقة الكبيرة في النتائج ، مما يمكننا من دراسة المتحولات التي تؤثر على السلوك الديناميكي الإنشائي و من تغيير في خصائص ونسب المواد الداخلة في تركيب ركائز الجسور.

التردد الطبيعي، سرعة المركبات، الوزن، الخصائص الديناميكية، الحالة الإنشائية، ضعف الطرق المعبدة، الوصلات التمددية، نوع مساند الجسر، تفاعل التربة- المنشأ) [4] ونظراً لأهمية التردد الطبيعي في تقييم سلامة المنشآت بعض الدراسات عملت على إجراء تقييم مراقبة الاهتزاز بأخذ التردد الطبيعي كمعيار حاكم في البارامترات الإنشائية. مثل العمل على تحليل قياسات الترددات والتي هي مؤشرات حساسة على السلامة الإنشائية كما يمكن الحصول عليها بكلفة منخفضة [11]، وهناك من عمل على مراقبة التخماد الإشعاعي في الاستجابات الزلزالية للأبنية وتحدث عن علاقة التخماد الإشعاعي مع الخصائص الهندسية للمنشأ [8] فلا يقتصر التخماد في الجمل الإنشائية على كونه لزجاً (Viscous) فهو ينتج أساساً عن الميكانيزمات الداخلية مثل التلدن الجزئي الناتج عن الإجهادات الدورية والمتولدة عن الاهتزاز وينتج أيضاً عن التراخي في الوصلات وعند نقط الارتباط. وسلوك هذه الميكانيزمات ليس معروفاً بشكل جيد إنما واعتماداً على النتائج النظرية والتجريبية يمكن تقريب هذه الميكانيزمات من خلال اعتماد التخماد اللزج بدون أن يؤثر ذلك بشكل سلبي على النتائج [14] ، كما قدمت بعض الدراسات تحقيقاً عديداً حول مقاومة الصدم لركيزة بيتونية مسلحة. حيث تم تحديد مقاومة الصدم من خلال محاكاة تأثير الصدم على الركيزة أثناء الفيضان بتغيير قيمة السرعة الحرجة مع تغيير صلابة الركيزة مما يعطي مؤشرًا للتنبؤ بسرعة النبضة التي تعبر عن قوة الصدم [15] وهناك من قدم مخططاً منهجياً لحساب متغيرات الحلقات الهستيرية للعناصر المتعرضة لاهتزازات ذات ساعات مختلفة والمدعمة بالكربو فايبر و تغيير الخصائص الديناميكية أثناء هذه الحركات الاهتزازية [6] ومع ذلك فإن اعتماد الخصائص الديناميكية للمنشآت الخرسانية المسلحة على السعة وادخاله في التحليل الديناميكي لم يوضح بالتفصيل .

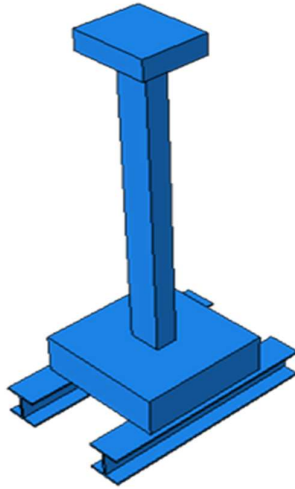
3. منهجية البحث

إن إجراء تجارب التحميل (وبشكل خاص الأحمال الزلزالية) على مبنى قائم أوتحتي نموذج مصغر عنه غير مجدي اقتصادياً ، وغير ممكن من الناحية العملية إلا في حالات خاصة وقليلة علاوة على كلفته الكبيرة جداً وحاجته لاستخدام طاوله اهتزازمضخمة وذلك بهدف فهم السلوك الزلزالي في المرحلة المرنة و اللدنة لمواد وعناصر هذه المنشأة. والاعتماد على الطرق التجريبية لتصور السلوك الزلزالي للأبنية ينطوي على صعوبة بالغة بسبب الأوزان الهائلة لهذه المباني وبالتالي الحاجة إلى طاقة كبيرة لتحريكها فضلاً عن التجهيزات الضخمة والقوية التي تتحمل تسارعات تشابه تلك التي تحدث في الواقع لذلك لايعتمد على هذه التجارب إلا في حالات نادرة وتكون كلفتها باهظة لا تستطيعها إلا الدول الغنية التي هي أكثر عرضة لزلزال مدمرة بشكل متكرر مثل اليابان [13] التي تم فيها بناء أكبر طاوله اهتزاز في العالم و التي سميت E-Defence بعد الزلزال المدمر الذي ضرب مدينة Kobe في العام 1995 و أودى بحياة حوالي 6000 إنسان [2]من أجل ذلك عمل المهندسون منذ سبعينيات القرن المنصرم على محاكاة الواقع تحليلياً عن طريق نمذجة عددية باستخدام طريقة العناصر المحددة FEM وهي طريقة صممت لحل المعادلات التفاضلية الجزئية التي تمثل حلولها توابع الحالة للمنشآت كالقوى والانتقالات و الإجهادات والتشوهات و سواها من المتغيرات المهمة في تصميم المنشآت. تتميز هذه الطريقة بتجزئة المنشأ إلى عدد محدد من العناصر ترتبط فيما بينها بعقد لتشكل شبكة تعبر عن هندسية المنشأة وتتوافق فيها الانتقالات عند العقد وتعتبر من خلالها مسارات القوى المماثلة لمسارات القوى في المنشأ الأصلي المراد محاكاته [3]. تم تطوير هذه الطريقة بشكل متسارع حتى أصبحت النمذجة العددية تعطي نتائج دقيقة جداً . تم إجراء الدراسة العددية على نموذج مخبري سبق تجربته في جامعة أستوناميا في اليابان [10]، و هو عبارة عن ركيزة ظرفية مؤلفة من عمود واحد ومخذة وقاعدة. وذلك بأخذ حالتين لها مع وبدون الكتلة الخرسانية التي تمثل بلاطة الجسر لرصد سلوك الركيزة بشكل مستقل عن وجود كتلة بلاطة الجسر ، الخصائص الفيزيائية مقاطع نموذج الركيزة و أبعادها وتفاصيل التسليح موضحة في الشكل (1) ، مقطع الركيزة عبارة عن



الشكل 2: الركيعة المختبرية المرجعية بدون الكتلة الخرسانية

الشكل 1: مقاطع نموذج الركيعة الخرسانية المسلحة الأبعاد وتفاصيل التسليح



الشكل 3: النموذج العددي في Abaqus بدون كتلة خرسانية

النموذج الثاني تمت نمذجته في برنامج Abaqus مع محاكاة خصائصه الهندسية والفيزيائية والانشائية مبين في الشكل (5) وهو عبارة عن الركيعة مع وجود كتلة خرسانية لتمثيل بلاطة الجسر، مبينة في الشكل (4) الذي يظهر طريقة تثبيت قبة الركيعة مع الكتلة الخرسانية التي تمثل بلاطة الجسر بواسطة 4 براغي بقطر 20mm. التردد الطبيعي الوسطي المستنتج تجريبياً 10.0925 hz تمت معايرة النموذج العددي وكانت قيمة التردد الطبيعي للنموذج السائد في الطور الأول 10.938hz

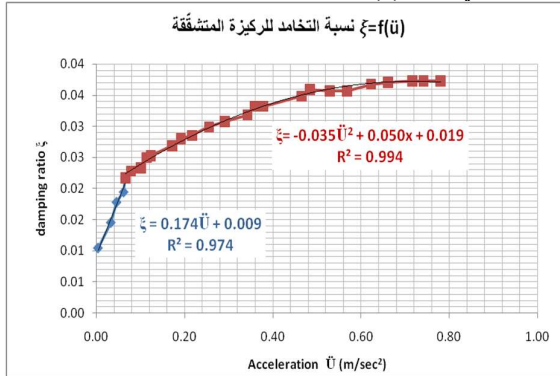
3.1. هدف البحث :

- 1- نمذجة عددية لركيعة جسر مختبرية بحالتين باستخدام برنامج Abaqus.
- 2- تحسين النموذج العددي من خلال التحقق من الدور الطبيعي.
- 3- إيجاد علاقات تغير الخصائص الديناميكية مع ساعات التسارع من خلال معالجة النتائج التجريبية.
- 4- حل النموذج من أجل تخامد ثابت و تخامد متغير.
- 5- مقارنة الاستجابات التحليلية مع التجريبية من أجل تحديد تأثير تغيرها على خصائص الإهتزاز.

3.2. الدراسة التحليلية :

العناصر الخطية ذات الأطوال الكبيرة نسبياً بالنسبة لمقاطعها والتي تشكل أعمدة وجسور وأعتاب المنشأ. استخدم في ذلك العنصر المنتهي الفراغي B31 (برمز الحرف إلى نوع العنصر Beam والرقم 3 إلى تمثيله ضمن فضاء ثلاثي البعد أما الرقم 1 فيشير إلى التابع الخطي الممثل لسلك العنصر) وهو عنصر عتبي (يتشوه بفعل القوى المحورية والقص والعزم إضافة إلى الفتل)، النموذج الأول هو عبارة عن الركيعة بدون وجود كتلة خرسانية لتمثيل بلاطة الجسر وهو مبين في الشكل (2) الذي يظهر طريقة تثبيت قاعدة الركيعة على جاذزين من المعدن ذات مقطع I بواسطة 6 براغي بقطر 20mm، وذلك لمقاومة الحركة الطولية والعرضية والدوران للنموذج. تمت نمذجته في برنامج Abaqus 2017 مع محاكاة خصائصه الهندسية والفيزيائية والانشائية وهو مبين في الشكل (3)

مجموعة نقاط تعبر عن تغير نسبة التخماد مع سعة التسارع [10] تمت معالجتها والحصول على العلاقات الموجودة على المخطط التي تعبر عن تغيرات التخماد كتابع للتسارع في مجالات تسارع للعينة المتشققة كما هو مبين في الشكل (6)



الشكل 6: علاقة التخماد مع سعة التسارع من معالجة النتائج التجريبية للعينة المتشققة (تجربة الاهتزاز الحر للعينة المتشققة)

وفيما يلي معادلات نسبة التخماد تبعاً لمجالات التسارع للعينة المتشققة:

$$\xi = 0.174 \ddot{U} + 0.009 \quad (1)$$

من أجل $0.06 \geq \ddot{U} \geq 0.003 \text{ (m/s}^2\text{)}$

$$\xi = -0.035 \ddot{U}^2 + 0.050 \ddot{U} + 0.019 \quad (2)$$

من أجل $0.8 \geq \ddot{U} > 0.06 \text{ (m/s}^2\text{)}$

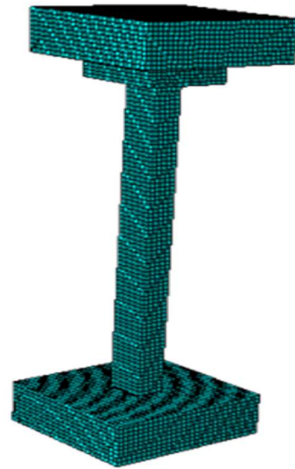
تم إجراء التحليل في برنامج Abaqus مرتين للمقارنة أولاً بأخذ تخامد ثابت $\xi = 0.05$ كما جرت العادة في منشآت الخرسانة المسلح و ثانياً باستخدام تخامد متغير عند كل خطوة زمنية حيث تم حسابه بالاعتماد على قيم ساعات الاستجابة المسجلة تجريبياً وبالتعويض في المعادلات السابقة فكانت قيمه كما هي مبينة في الجدول (2)

الجدول 2: القيم المدخلة في برنامج Abaqus تغيرات التخماد مع مقلوب الخطوة الزمنية (مجال التردد)

مقلوب الخطوة الزمنية (1 / t)	نسبة التخماد ξ
1.0352	0.019845
1.06045	0.013226
1.08696	0.021139
1.11483	0.022352
1.14416	0.020412
1.17509	0.010568
1.20773	0.02098
1.24224	0.022644
1.27877	0.02099
1.31752	0.00842
1.3587	0.020745



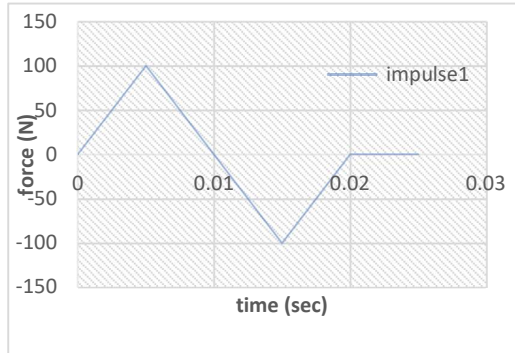
الشكل 4: الركيزة المختبرية المرجعية مع الكتلة الخرسانية



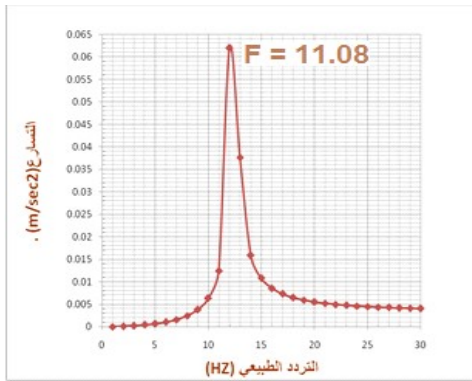
الشكل 5: النموذج العددي في Abaqus مع كتلة خرسانية

تم أخذ العلاقات التجريبية لتغير التخماد و التردد الطبيعي مع سعة الاستجابة المقاسة بمقياس التسارع الأفقي المثبت في أعلى الركيزة السليمة و تمت معالجة هذه العلاقات للحصول على علاقات تعبر عن تغير الخصائص الديناميكية مع الاستجابة ببيان الشكل (6) علاقات تغيرات نسبة التخماد في مجالات ساعات التسارع للعينة السليمة. التردد الطبيعي الوسطي المستنتج تجريبياً 3.62481 hz تمت معايرة النموذج العددي و كانت قيمة التردد الطبيعي للنموذج السائد في الطور الأول 4.321 hz . بعد إجراء تجربة الاهتزاز الحر تم تعريض الركيزة لنسب متتالية من تسجيل زلزال كوشيرو الذي وقع في اليابان عام 1994 وذلك حتى الانهيار وبعد كل تجربة لطاولة الاهتزاز تم إعادة تجربة الاهتزاز الحر و تسجيل الاستجابات و ساعات الاهتزاز و منها تم حساب الخصائص الديناميكية التردد الطبيعي و نسبة التخماد و من مجمل تجارب الاهتزاز الحر تم إيجاد مخطط يحتوي مجموعة نقاط تعبر عن تغير التردد الطبيعي مع سعة التسارع و مخطط يحتوي

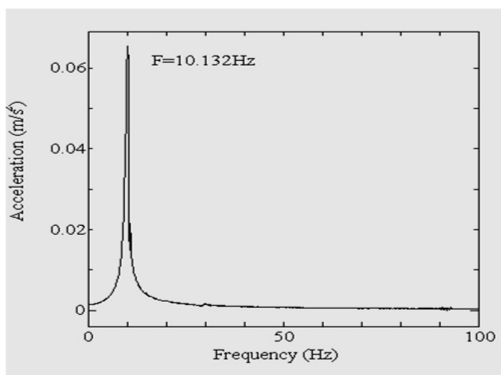
طيف فورير التجريبي في الشكل (10) و نلاحظ أن لهما نفس الشكل حيث تظهر ذروة واحدة تعبر عن طور الاهتزاز الأول.



الشكل 7: المؤثر الخارجي (النبضة) التي تعبر عن إحدى طرفات المطرقة في تجارب الاهتزاز الحر



الشكل 8: طيف فورير التحليلي من impulse1

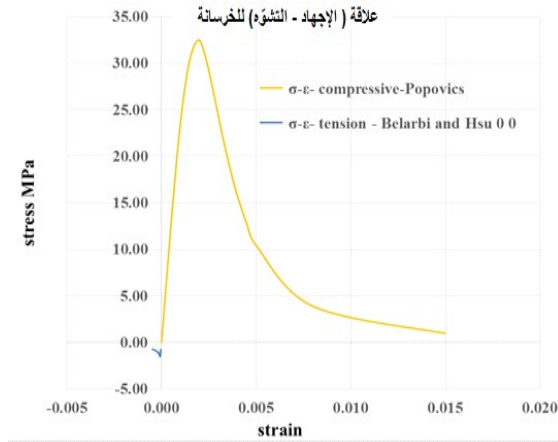


الشكل 9: طيف فورير التجريبي من impulse1

ومع تغيير أشكال النبضات لم تتغير قيمة التردد السائد التحليلية ولم يختلف شكل طيف فورير التحليلي و بقيت الاستجابة تتراوح في مجالات متقاربة وذلك عند إجراء التحليل مودال Modal مما يشير إلى استقلال الخصائص الديناميكية عن شكل المؤثر الخارجي .
ففي النموذج الأول وهو النموذج بدون الكتلة الخرسانية التي تمثل بلاطة

1.40252	0.022875
1.44928	0.021571
1.49925	0.012054
1.5528	0.020462
1.61031	0.023087
1.67224	0.022187
1.73913	0.018303
1.81159	0.020145
1.89036	0.023301
1.97628	0.022856
2.07039	0.018984
2.17391	0.019756
2.28833	0.023455
2.41546	0.023536
2.55754	0.019738
2.71739	0.019295
2.89855	0.023541
3.10559	0.024217
3.34448	0.020565
3.62319	0.01876
3.95257	0.023547
4.34783	0.0338
4.83092	0.021448
5.43478	0.018171
6.21118	0.023481
7.24638	0.0338
8.69565	0.022409
10.8696	0.011706
14.4928	0.023258
21.7391	0.0338
43.4783	0.023378

تمت محاكاة تجارب الاهتزاز الحر التي أجريت في المخبر بطرق مطرقة وفق الاتجاه الضعيف للمقطع العرضي لقبة الركيزة [10] , وذلك عن طريق تطبيق نبضات عديدة بأشكال مختلفة (مستطيلة , مثلثية , شبه منحرف ..) تعبر عن تأثير قوى كبيرة نسبياً خلال زمن قصير مثل النبضة المعبر عنها في الشكل (6) والتي تعبر عن إحدى تجارب الاهتزاز الحر و بإجراء التحليل Modal تم حساب طيف فورير التحليلي المعبر عنه في الشكل (9) يقابله



الشكل 12 : علاقة الإجهاد -التشوه في الضغط و الشد

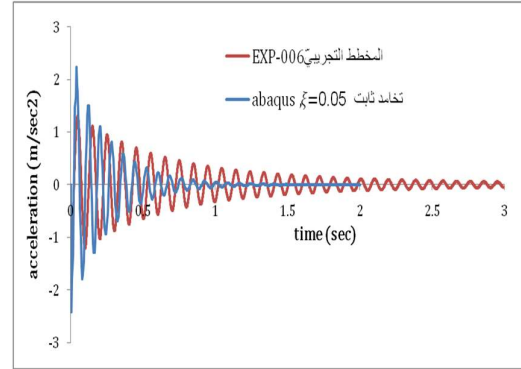
الجدول 3 : إحداثيات نقاط مخطط الإجهاد - التشوه لحالة الشد من علاقات Belarbi and Hsu

σ-ε- tension - Belarbi and Hsu		
Point	Stress MPa	Strain
1	-1.34	-0.00004
2	-2.01	-0.00006
3	-2.68	-0.00008
4	-2.45	-0.00010
5	-2.28	-0.00012
6	-2.14	-0.00014
7	-2.03	-0.00016
8	-1.94	-0.00018
9	-1.86	-0.00020
10	-1.79	-0.00022
11	-1.73	-0.00024
12	-1.41	-0.00040
13	-1.31	-0.00048

الجدول 4: إحداثيات نقاط مخطط الإجهاد - التشوه لحالة الضغط من علاقات Popovics

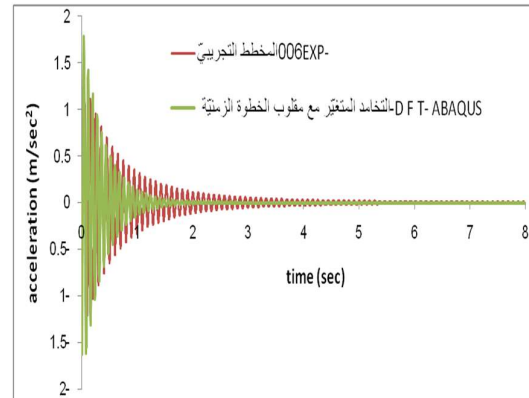
σ-ε- compressive-Popovics			
Point	Stress MPa	Strain	ϵ_c/ϵ_0
1	0.00	0.000000	0.00

الجسر و من تم إجراء التحليل الديناميكي , حيث يبين الشكل (9) مقارنة الاستجابة التجريبية مع الاستجابة في Abaqus عند إدخال تخامد ثابت $D=0.05$ وقد كانت نسبة السعة العظمى التجريبية إلى التحليلية : 0.6



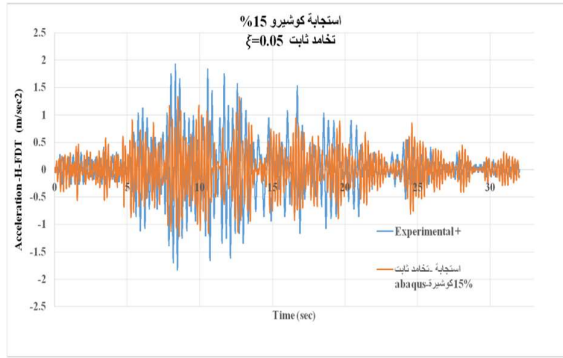
الشكل 10: مقارنة الاستجابة التجريبية مع الاستجابة في Abaqus عند إدخال تخامد ثابت $D=0.05$

تمت إعادة عملية التحليل على النموذج نفسه من أجل تخامد متغير حيث يبين الشكل (11) مقارنة الاستجابة التجريبية مع الاستجابة في Abaqus من أجل محاكاة تجربة الاهتزاز الحر و ذلك عند إدخال تغيرات التخامد مع مقلوب الخطوة الزمنية لأخذ مجال واسع من الترددات يعبر عن قيم التردد الطبيعي فتكون نسبة السعة العظمى التجريبية إلى التحليلية : 0.735



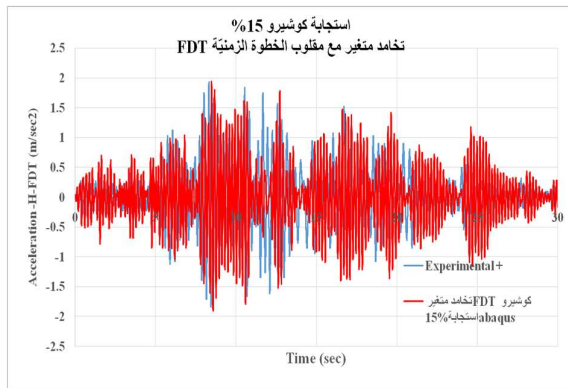
الشكل 11: مقارنة الاستجابة التجريبية مع الاستجابة في Abaqus عند إدخال تخامد متغير

تمت محاكاة تجربة طاولة الاهتزاز على النموذج الثاني و هو النموذج مع الكتلة الخرسانية التي تمثل بلاطة الجسر , ففي الدراسة التجريبية تم وضع الركيزة على طاولة الاهتزاز و تعريضها لنسب من تسجيل زلزال كوشيرو الذي حصل في اليابان عام (1994) مثل (50% , 20% , 15%) و تسجيل تسارع الاستجابة عند كل نسبة ومن ثم رصد تغيرات الخصائص الديناميكية مع سعرات الاهتزاز بتكرار تجربة الاهتزاز الحر بعد كل تجربة طاولة الاهتزاز [10], و في هذه الدراسة تمت محاكاة سلوك الخرسانة في المرحلة اللدنة حيث تم إدخال علاقة الإجهاد التشوه للخرسانة و كذلك للحديد بالاعتماد على العلاقات الأساسية لخصائص المادة [7] حيث يبين الشكل (11) علاقة الإجهاد التشوه للخرسانة التي تبين نقاطها في الجدول (3) σ-ε- tension - Belarbi and Hsu لإجهاد الشد و في الجدول (4) العلاقة σ-ε- compressive-Popovics لإجهاد الضغط



الشكل 13: مقارنة الاستجابة التجريبية مع الاستجابة في Abaqus عند إدخال تخامد ثابت و مؤثر 15% من تسجيل زلزال كوشيرو

ثانياً مع أخذ تخامد متغير أثناء التحليل فقد تم إجراء التحليل الديناميكي للنموذج في برنامج Abaqus بعد تطبيق نسبة 15% من التسجيل الزلزالي و يبين الشكل (14) مقارنة الاستجابة التحليلية في Abaqus من أجل تخامد متغير مع الاستجابة المسجلة مخبرياً عند نفس المرض , و قد كانت نسبة السعة العظمى التجريبية إلى التحليلية تخامد متغير: 0.9718



الشكل 14: مقارنة الاستجابة التجريبية مع الاستجابة في Abaqus عند إدخال تخامد متغير و مؤثر 15% من تسجيل زلزال كوشيرو

4. الاستنتاجات والتوصيات

بعد تجريب تغير التخامد المعبر عنه في المعادلات السابقة المبينة على المخطط عند إجراء التحليل الديناميكي على النموذجين السابقين و على غيرها تبين أنها تعطي استجابات تحليلية أقرب إلى الاستجابات التجريبية من استخدام تخامد ثابت كما جرت العادة وبالتالي ممكن الانطلاق منها لكتابة برنامج يعبر عن تغيرات الخصائص الديناميكية

4.1 الاستنتاجات

(1) عند التحقق من قيمة التردد الطبيعي في التحليل مودال تبين أن قيمة التردد الطبيعي لا تتعلق بشكل المؤثر الخارجي (النبضة).

2	5.14	0.000200	0.10
3	10.22	0.000400	0.20
4	12.70	0.000500	0.25
5	19.64	0.000800	0.40
6	23.64	0.001000	0.50
7	26.95	0.001200	0.60
8	29.49	0.001400	0.70
9	31.23	0.001600	0.80
10	32.20	0.001800	0.90
11	32.50	0.002000	1.00
12	31.54	0.002200	1.10
13	30.07	0.002400	1.20
14	28.29	0.002600	1.30
15	26.34	0.002800	1.40
16	24.35	0.003000	1.50
17	22.41	0.003200	1.60
18	20.56	0.003400	1.70
19	18.84	0.003600	1.80
20	17.25	0.003800	1.90
21	15.81	0.004000	2.00
22	12.77	0.004500	2.25
23	10.42	0.005000	2.50
24	3.88	0.008000	4.00
25	0.97	0.015000	7.50

تم إجراء التحليل الديناميكي للنموذج في برنامج Abaqus بعد تطبيق نسبة 15% من التسجيل الزلزالي Koshiro مرتين للمقارنة أولاً مع أخذ تخامد ثابت $D=0.05$ حيث يبين الشكل (13) مقارنة الاستجابة التحليلية في Abaqus من أجل تخامد ثابت مع الاستجابة المسجلة مخبرياً عند نفس المرض , و قد كانت نسبة السعة العظمى التجريبية إلى التحليلية : 1.4131

- [7] K.C.chang,K.,D.,P.,and M., and S. 1996. "Paper No. 795. (Quote When Citing This Article)." (795).
- [8] Mehmet Celebi , 2000. n.d. RADIATION DAMPING OBSERVED FROM SEISMIC RESPONSES OF BUILDINGS.
- [9] [9] Nobuyuki OGAWA, T and K. 2001. "Project on 3-D Full-Scale Earthquake Testing Facility (the Second Report)." 1-8.
- [10] R. Takeshima., A. , and R. , 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." Journal of Civil Structural Health Monitoring 4(4):289-301.
- [11] Shin Ya Suganuma., Y. 1996. "Evaluation of Amplitude-Dependent Damping and Natural Frequency of Buildings during Strong Winds." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 59(2-3):115-30.
- [12] Salawu, O. S. 1997. Detection through Changes a Review ELSEVIER 1995. Vol. 19.
- [13] Tomohiro Sasaki.R. and K. 2012 "(4) Seismic Performance of a Full-Size Polypropylene Fiber-Reinforced Cement Composite Bridge Column Based on E-Defense Shake Table Experiments _ Request PDF." May 2012 Journal of Earthquake Engineering 16(4):463-495
- [14] Yukio Tamura. ,k ,S,R, and N,1996. "Field Measurement of Damping and Natural Frequency of an Actual Steel-Framed Building over a Wide Range of Amplitudes." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 59(2-3):325-47.
- [15] Z Shaharudin Shah,,and O., Pier, Concrete. 2019. "Numerical Investigation on the Impact Resistance of Reinforced Numerical Investigation on the Impact Resistance of Reinforced Concrete Pier."

(2) الحصول على معادلات تعبر عن تغير التخماد في مجالات التسارع للركيزة المتشققة عن طريق معالجة النتائج التجريبية في المرحلة المرنة و اللدنة.

(3) الاستجابات التحليلية الناجمة عن ادخال التخماد المتغير أقرب إلى الاستجابة التجريبية من الاستجابات التحليلية الناجمة عن التخماد الثابت بحوالي 13.5% في المرحلة المرنة , و بحوالي 44.13% في المرحلة اللدنة مما يؤكد على ضرورة أخذ تغير التخماد أثناء التحليل الديناميكي

(4) إن الاعتماد على تجارب قياسات الاهتزاز لاستنتاج الخصائص الديناميكية للمنشآت عموماً وللجسور خصوصاً أثبتت فعاليتها وجدواها الاقتصادية وخاصة عند اقترانها بدراسات تحليلية تغني التجربة وتساهم في التحقق من نتائجها

(5) كلما زادت سعة التسارع الأعظمي، ينخفض التردد الطبيعي وتزداد نسبة التخماد بشكل ملحوظ.

(6) لاعتماد الخصائص الديناميكية لأي منشأ، نحتاج لنولي اهتمام خاص لسعة الاهتزاز المتوقعة قبل اختيار القيم التصميمية.

4.2 التوصيات

كتابة برنامج لحساب تغيرات الخصائص الديناميكية مع تغير ساعات الاهتزاز انطلاقاً من المعادلات المذكورة في هذا البحث و بلغة برمجية مفتوحة المصدر مثل اللغة : python تمكن من ربطه مع برامج التحليل الديناميكي مثل برنامج Abaqus

References

- [1] Abdel Raheem, Shehata E. 2014. "Mitigation Measures for Earthquake Induced Pounding Effects on Seismic Performance of Adjacent Buildings." Bulletin of Earthquake Engineering.
- [2] Dassault Systèmes. 2012. "Getting Started with Abaqus: Interactive Edition 6.12." Getting Started with Abaqus: Interactive Edition 4.50-4.54.
- [3] Henri P. Gavin , Fall 2018 , "Numerical Integration Numerical Integration in 1D."
- [4] Jean Proulx , O.,and p. "Bridge-Dynamics-and-Dynamic-Amplification-Factors-a-Review-of-Analytical-and-Experimental-Findings." CAN.J.CIV.ENG.VOL19.1992
- [5] Kandemir-Mazanoglu, E, and K 2017. "An Optimization Study for Viscous Dampers between Adjacent Buildings." Mechanical Systems and Signal Processing.
- [6] Kihak Lee, J,D and B. 2011. "Nonlinear Seismic Assessment for the Post-Repair Response of RC Bridge Piers." Composites Part B: Engineering 42(5):1318-29.

Study On The Vibration Amplitudes Of Reinforced Concrete Bridge Piers Using ABAQUS Software

Mais Ghassoun^{1,*}, Ali Algharrash², Reem Alsehnawi³

¹Department of Structure Engineering, Faculty of Civil Engineering, Albaa'th University, Syria, eng.mais.gh@gmail.com.

² Department of Structure Engineering, Faculty of Civil Engineering , Albaa'th University, Syria

³HIERS , Damascus University, Damascus, Syria, reemsalman_seh@hotmail.com

Corresponding author: Mais Ghassoun, eng.mais.gh@gmail.com.

Published online: 30 June 2021

Abstract— The Dynamic characteristics such as damping ratio and natural frequency are an important indicator for predicting the dynamic behavior of bridges, but it is customary during the design that the designer assess the dynamic properties of the dynamic analysis because it is very difficult to determine the damping of the origin before construction and damping is taken as a predetermined constant value independent of the response amplitude and frequency of the structure. In the dynamic analysis of constructions design some experimental research has been concerned with the determination of dynamic structural properties and their relationship with the response amplitude experimentally, but the changes in dynamic properties with vibration amplitude has never been taken During dynamic analysis, further analytical treatments and computer modeling were required to study different cases based on the experimental results available by simulating them with a computer model. Dynamic characteristics are very essential to accurately determine the dynamic response, and it is necessary to study the effect of changes of the actual dynamic characteristics of bridges, which were determined by measuring their vibration in the results of dynamic analysis and comparing them with results that do not take into account the changes of dynamic properties and with laboratory results in order to assess the role of. Dynamic analysis inputs in simulating vibrations by monitoring their responses. As a result, it was found that the dynamic properties are independent of the shape of the external exactions. Also, it was concluded that relationships express the change of dynamic properties in terms of vibration amplitudes. And Similar reliance of the dynamic characteristics to the vibration amplitude is confirmed for the pier model, where the increase of the amplitude of the acceleration is accompanied by a decrease in the natural frequency, and an increase in the damping ratio is obvious. Before choosing design values when considering the dynamic characteristics of a structure, we need to give unique concentration to the predictable vibration amplitudes. Dynamic characteristics changes during dynamic analysis should be considered to produce analytical results that simulate experimental results and are closer to reality.

Keywords— "dynamic characteristics, vibration amplitude, RC pier, modeling, damping ratio".