

دراسة الخصائص الديناميكية لمبنى بيتوني باستخدام النمذجة الرقمية وقياس الضجيج المحيط

م زينب أسعد*

د م إبراهيم حمود***

د م محمد درويش**

الملخص

تعتبر الطرق التجريبية اللبنة الأساسية في معرفة السلوك الفعلي للمنشآت تحت تأثير القوى الزلزالية أثناء الهزة الأرضية لأنها تقودنا إلى تصميم مناسب لمنشآت تكون مقاومة للزلازل أو إلى التحقق من هذا التصميم، إلا أنه يمكن اعتبارها غير مجدية بسبب التكلفة العالية لهذه التجارب على منشآت واقعية أو نماذج مصغرة عنها، وكذلك صعوبة إجرائها، لذلك أصبحت طرق النمذجة الرقمية لمنشآت تحاكي المنشآت الفعلية كطريقة العناصر المحدودة، مهمة للغاية. إلا أنه يجب التأكد من صحة هذا النموذج للوصول إلى نتائج تحليلية صحيحة وذلك عن طريق مقارنتها مع نتائج تجريبية ناتجة عن المنشأ واقعياً تظهر الخصائص الديناميكية الفعلية له. يتضمن هذا البحث دراسة تحقق لمقارنة نتائج المحاكاة الرقمية التي تمت باستخدام برنامج أباكوس بالنتائج التجريبية والتي تمت باستخدام طريقة الضجيج الطبيعي وأعطت المقارنة نتائج قريبة ومرضية.

الكلمات المفتاحية: الخصائص الديناميكية، التحليل النمطي، العناصر المحدودة، قياس الضجيج المحيط، النسبة الطيفية، تحويلات فورييه.

* كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق (طالبة دكتوراة).

** كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

*** كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

Study of Dynamic Properties of R/C Building using Numerical FEM Modeling Simulation and Experimental Ambient noise Measurements

Eng. Zainab Asaad*

Dr. Eng. Mohamad Darwesh**

Dr. Eng. Ibrahim Hammuod***

Abstract:

Experimental studies are the basis for knowing the actual response of structures under seismic forces during earthquakes, this is very important to design an earthquake resistant structures. But, the high cost of such experiments on actual structures or scaled models makes it unfeasible. Therefore, numerical modeling of structures that simulate the actual ones using numerical simulation methods such as finite element method became very important. However obtaining a numerical model of a structure needs to be validated against incorrect analysis results. In this research a validation study to compare the numerical simulation results with experimental results are needed. These experiments should be cost-effective to obtaining the desired results. Ambient noise measurements. And thereby comparing the experimental results with the numerical simulation results validated the accuracy of the numerical model as it demonstrated the model to be accurate. The ambient noise measurements which were performed in this research; and the numerical model which was developed gave satisfactorily close results when they were compared.

Key Words: Dynamic Properties, Eigenvalue problem, Frequency analysis, Finite element modeling, Time-history nonlinear analysis, Modal testing, Ambient Vibration measurements, Spectral Ratios.

* Faculty of Civil Engineering - Damascus University

*** Faculty of Civil Engineering - Damascus University.

* Faculty of Civil Engineering - Damascus University

المقدمة:

له حيث تم اختيار هذا المبنى لأنه نفذ في ستينيات القرن الماضي قبل أن يتم تطوير الكود العربي السوري زلزالياً وبالتالي لم تتم دراسته على الأحمال الزلزالية.

2- المنهج التجريبي:

لقد تم تطوير العديد من الطرق التجريبية التي تعتمد على قياس اهتزاز المبنى واستخدم فيها عدة مصادر لإثارة الإهتزاز في المبنى مثل الزلازل الطبيعية (القوية والخفيفة)، إجراء التفجيرات الاختبارية، الاهتزاز القسري، والضجيج الطبيعي المعروف باسم الضجيج المحيط، حيث تتباين هذه الطرق فيما بينها من حيث الجودة وإمكانية التطبيق والأعباء والتكاليف. ففي البلدان الهادئة زلزالياً من الصعب تنفيذ تسجيلات لاهتزاز الأبنية تحت تأثير الحركة الزلزالية القوية، كذلك لا يمكن إجراء تفجيرات اختبارية في المدن أو الأماكن المأهولة بالسكان، كما يحتاج الاهتزاز القسري لتوفر آليات خاصة غير متاحة، لذلك تعتبر طريقة تسجيل الضجيج الطبيعي والمسماة طريقة ناكامورا (Nakamura, 1989) [1] طريقة سهلة وسريعة التطبيق واقتصادية وذات كفاءة، لأنه لا حاجة لتكشف صخر الأساس ولا تحتاج لتفجير ويمكن تطبيقها في أي وقت ضمن الأماكن السكنية المأهولة علماً بأن هذه الطريقة استخدمت أصلاً لتقدير الاستجابة الزلزالية في المواقع خصوصاً في الترب الرسوبية المفككة والهشة حيث تقوم هذه الطبقات بتضخيم سعة الاهتزاز الزلزالي عند بعض الأدوار وتطيل دور الاهتزاز [2] (Aki, 1993; Bard, 1999)، وتم استخدامها لاحقاً في تقدير الاستجابة الزلزالية في الأبنية والمنشآت الأخرى [3] من قبل عدد من الباحثين منهم (Oliveira, 1997; Navarro et al., 2002; Brownjohn, 2003; Teves-Costa et al., 2007).

إن تقدير الاستجابة الزلزالية بالاعتماد على الطرائق التحليلية قد يقودنا إلى تقدير خاطئ لسلوك المبنى أثناء تعرضه للهزات الأرضية لأسباب عديدة منها عدم مطابقة مواصفات المبنى بعد تنفيذه للتصميم الهندسي الخاص به، أو بسبب إجراء تعديلات لاحقة في المبنى، وكذلك استخدام علاقات تحليلية وضعت لأنماط محددة من الأبنية دون مراعاة خصوصية المبنى المدروس.

إلا أن معرفة السلوك الفعلي والاستطاعة الزلزالية الحقيقية لمرحلة تتعدى السلوك المرن لمواد وعناصر المبنى أو تنفيذ نماذج مصغرة في المخبر، أو إجراء تجارب تحميل حقلية، سيكون مكلفاً جداً من جهة، ومستحيلاً عملياً من جهة أخرى إلا في نطاق ضيق.

لذلك نلجأ إلى نمذجة رقمية بحيث يتم محاكاة الواقع تحليلياً باعتماد إحدى الطرق المطورة مثل طريقة العناصر المحدودة والتي تتميز بتجزئة المنشأ إلى عدد من العناصر ترتبط فيما بينها بعقد، والتي أصبحت حالياً تعطي نتائج بالغة الدقة على مختلف الجمل الإنشائية وذلك بسبب التطور السريع لهذه الطريقة، ويمكن أن تتم معايرة وضبط هذا النموذج التحليلي ليعطي نتائج أكثر قرباً للواقع الفيزيائي الفعلي بالاعتماد على إحدى الطرق التجريبية التي تمكن من تحديد الخصائص الديناميكية الفعلية للمنشأ.

1- هدف البحث:

يهدف البحث إلى تقدير وثوقية النموذج الرقمي لمبنى من خلال معايرته تجريبياً باستخدام طريقة الضجيج الطبيعي لتحديد الخصائص الديناميكية الفعلية للمبنى المدروس (الوحدة السكنية الأولى في المدينة الجامعية بمنطقة المزة بدمشق) ليصار إلى دراسة الاستجابة الزلزالية

مماثلة بالجودة للتسجيلات المنفذة في الأبنية وبالتالي يمكن استخدامها في تحديد الدور الطبيعي للمباني. أيضاً تم إجراء مقارنة بين الطرق التجريبية والطرق التحليلية من قبل كلاً من (Oliveira Navarro 2009) المبنى من الإسمنت المسلح والمعزول زلزالياً [9] ووجد أن طريقة ناكامورا ك تقنية للقياس الموضوعي للضجيج تعطي طريقة فعالة في حساب الدور الطبيعي ومعامل التخمد للمبنى وفق محوريه الطولي والعرضي.

3- تقنية تنفيذ التسجيلات:

تعتمد طريقة الضجيج الطبيعي كما معظم الطرق التجريبية على قياس الحركة الإهتزازية للمبنى باستخدام لاقط زلزالي ذو حساسية عالية يمكن أن يلتقط الحركة التي يهتز المبنى وفقها ويمكن حساب الدور الطبيعي من خلال تسجيلات هذا اللاقط وأسط تقنية لهذا هو استخدام تحويلات فورييه [8] عبر حساب الأطياف السعوية من التسجيلات المنفذة [10] حيث ستظهر ذروة واضحة تتركز حول الدور الطبيعي للمبنى وتصبح أقل وضوحاً في حالة الأدوار الأطول وذلك في المباني العالية ويقل وضوح هذه الذروة في المباني المنخفضة وحسب ناكامورا فإن النسبة الطيفية بين طيف فورييه للمركبة الأفقية وطيف فورييه للمركبة الشاقولية تسمح بتقدير التردد الطبيعي للمبنى.

3-1- الأجهزة المستخدمة: جهاز التسجيل من

الطراز (aladin 24 bit) ومجموعة من اللواقط حيث يسمح الجهاز باستخدام ست لواقط للتسجيل تردها الذاتي 1 هرتز أحد هذه اللواقط الستة شاقولي والباقي أفقية.

حيث يعتبر الضجيج الطبيعي في هذه الحالة إشارة دخل للمبنى الذي يقوم بتضخيمها عند بعض الأدوار حسب الخصائص الديناميكية له حيث أن المركبة الشاقولية للضجيج تنتقل عبر المبنى وتصل الذروة دون أي تضخيم عملياً [4] وذلك بسبب استناد المبنى بالأرض وبالتالي تقييد حركته الشاقولية وتمثل هذه المركبة الإشارة الداخلة للمبنى، في حين أن المركبات الأفقية ستخضع للتضخيم لأن المبنى حر الحركة أفقياً ولا يوجد تقييد لحركته الأفقية سوى القساوة الجانبية للمبنى وتمثل هاتان المركبتان الإشارة الخارجة من المبنى [5] وبالتالي فإن النسبة بين طيفي فورييه لكل من المركبتين الأفقيتين والمركبة الشاقولية لتسجيل الضجيج الطبيعي، تسمح بتقدير تردد الاستجابة الزلزالية ومقدار التضخيم الحاصل لها.

لقد تم تأكيد موثوقية هذه الفرضية وكفاءتها بعد تطبيقها حقيقياً لمدة عشر سنوات (Mucciarelli, 1998) واستخدمت في تحديد الدور الطبيعي لسدين في إيطاليا [6] (Castro et al., 1998) والدور الطبيعي لسد في المكسيك (Castro et al., 2000) وتحديد الدور الطبيعي ومعامل التخمد لعدد من الأبنية في إيطاليا (Gallipoli 2008) (et al.,) وكذلك تم استخدامها لتقدير الدور الطبيعي للأبنية في البرتغال [7] وتم مقارنتها بالطرق التحليلية (Oliveira, Navarro, 2009)، كذلك قارن (Gallipoli et al., 2004- 2011) نتائج تسجيلات الضجيج المحيط مع تسجيلات الحركات القوية فوجد تطابقاً جيداً بالأدوار المحسوبة كذلك فقد وجد (Mucciarelli, 2004-2006) أن طريقة النسبة الطيفية (بين المركبة الشاقولية والمركبات الأفقية) والتي أعطت نتائج جيدة في تحديد دور التربة يمكن أن تعطي نتائج

بالدورة تم في هذا البحث تطبيق طريقة منحني طيف

$$\xi = \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}$$

الاستجابة بالعلاقة

حيث أن:

- معامل التخمين.

- f_1, f_2 الترددان الموافقان لسعة تعادل 70% من سعة

تردد الطنين ومجاوران مباشرة لهذا التردد.

ومن ثم تتم المعالجة باستخدام البرنامج

[13](BuldRes.exe).

3-2 تنفيذ ونتائج التحريات الحقلية:

يتألف المبنى قيد الدراسة في هذا البحث من 10 طوابق متكررة بارتفاع طابقي 3.2 م، وطابق أرضي وقبو على كامل مساحة المبنى وقبو في ثلث المبنى الوسطي كلاً منها بارتفاع 4 م.



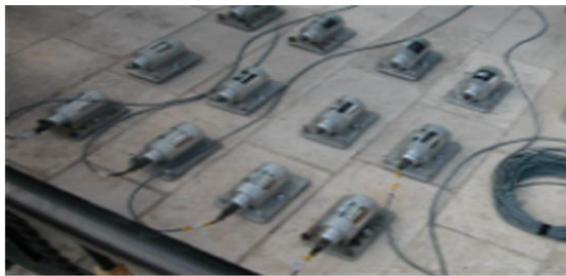
الشكل (3) مبنى الوحدة الأولى بالمدينة الجامعية بالمزة

تم تنفيذ قياسين، حيث وضع اللاقط الشاقولي في قبو المبنى ووزع خمس لواقط أفقية على سطح المبنى وفق المحور الطولي ببتباع 15م فيما بينها بحيث كان توجه اللواقط الأفقية نحو الغرب في القياس الأول أما القياس الثاني فقد كان توجه اللواقط الأفقية نحو الشمال.

حسبت الأطياف باستخدام نوافذ زمنية مدة كل منها 30 ثانية تحقيقاً للمعايير التي نصح بها المشروع الأوربي (SESAME) [12] وهذا يسمح بتحري ترددات تتراوح من



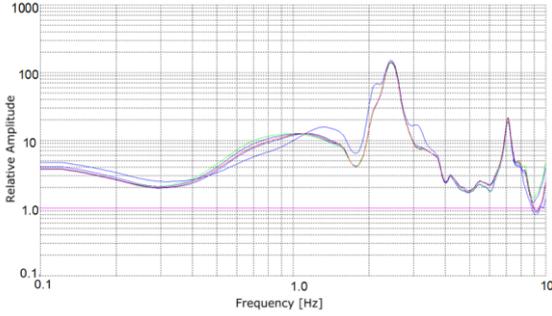
الشكل (1): صورة لجهاز التسجيل الرقمي المستخدم في تنفيذ قياسات الاهتزاز الطبيعي



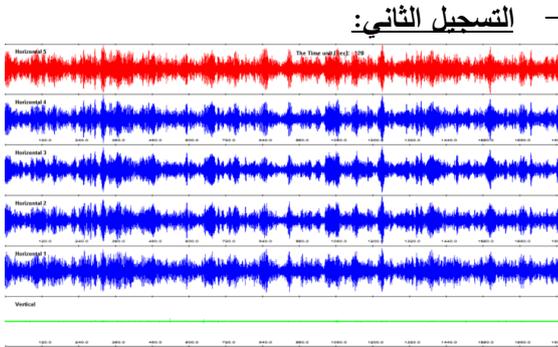
الشكل (2): اللواقط المستخدمة

يوضع اللاقط الشاقولي في القبو واللواقط الأفقية عند سطح المبنى ومن ثم يتم تنفيذ تسجيل حقل مدته من 10-30 دقيقة يمكن تكراره، بعد ذلك يجرى له بعض التصحيحات والتصفية الرقمية بهدف تحسين هذه التسجيلات ومن ثم يتم اختيار عدة نوافذ زمنية يعتمد ضبط عرضها تبعاً للتردد الأصغري المراد دراسته وبما يتوافق مع الدقة المطلوبة [10] وبالتالي حساب طيف فوربييه السعوي لمكونات التسجيل (المركبة الشاقولية والمركبتين الأفقيتين) وحساب النسبة الطيفية لكل نافذة زمنية ومن ثم يتم إيجاد المنحني الوسطي لمنحنيات النسبة الطيفية ومن ثم تحديد تردد الاهتزاز للنمط الأساسي للمبنى ومقدار التضخيم الحاصل وذلك عند تردد السعة العظمى للنسبة الطيفية، أما بالنسبة لتحديد معامل التخمين فهناك عدة طرق لإيجاده منها طريقة تلاشي الاهتزاز الحر، طريقة طيف الاستجابة الترددي وطريقة ضياع الطاقة

أظهرت النسب الطيفية المحسوبة وفق ناكامورا وجود تضخيم عند تردد 2.44 هرتز تقريباً.



الشكل (6): النسب الطيفية الوسطية للتسجيل الأول

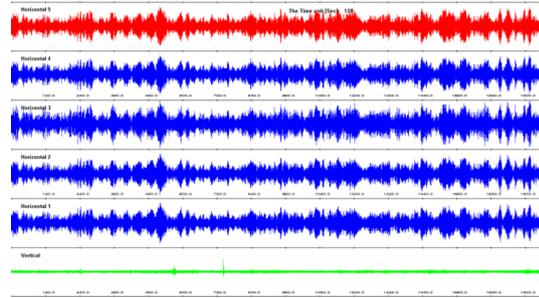


الشكل (7): تسجيلات اللواقط (التسجيل الثاني)

نلاحظ أيضاً من الشكل (8) مدى استقرار التسجيل وبالتالي يمكن أن نستخدم أطياف فورييه مباشرة لتقدير السلوك الديناميكي لمبنى الوحدة الأولى بالاتجاه الثاني. لقد سمح هذا التسجيل بحساب أطياف فورييه في 20 نافذة زمنية مدة كل منها 30 ثانية وكانت الأطياف متوافقة فيما بينها، حيث أظهرت الأطياف الوسطية لكل لاقط وجود سعة عالية توافق التردد المسيطر عند 2.13Hz في تسجيلات جميع اللواقط.

0.03 Hz إلى 50 Hz وتم اختيار النوافذ في الأجزاء المستقرة من التسجيلين واستبعاد الأجزاء الغير مستقرة وصقلت الأطياف المحسوبة بطريقة (Hanning) [11].

التسجيل الأول:

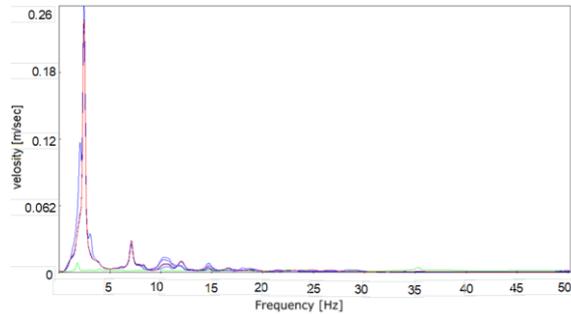


الشكل (4) تسجيلات اللواقط (التسجيل الأول)

نلاحظ من الشكل (4) الذي يظهر مركبات التسجيل مرتبة من الأسفل نحو الأعلى الشاقولي والمركبات الأفقية حسب تسلسل أرقامها (1-5)، مدى استقرار التسجيل وبالتالي يمكن أن نستخدم أطياف فورييه مباشرة لتقدير السلوك الديناميكي لمبنى الوحدة الأولى بالاتجاه الأول دون الحاجة إلى إجراء أي تصحيحات أو تصفية رقمية.

لقد سمح هذا التسجيل بحساب أطياف فورييه في 20 نافذة زمنية مدة كل منها 30 ثانية وكانت الأطياف متوافقة فيما بينها [10].

أظهرت الأطياف الوسطية لكل لاقط وجود سعة عالية توافق التردد المسيطر عند 2.46Hz في تسجيلات جميع اللواقط .



الشكل (5): وسطي الأطياف المحسوبة للتسجيل الأول

يتألف المبنى حسب النمذجة من:

- جزء إطارى يحتوي عناصر خطية تشكل أعمدة وجوائز المبنى (استخدم العنصر المنتهي الفراغي (B₃₁) يرمز الحرف إلى نوع العنصر Beam والرقم 3 إلى تمثيله ضمن فضاء ثلاثي البعد والرقم 1 يشير إلى التابع الخطي الممثل لسلوك العنصر وهو عنصر جانزي يشوه بفعل القوى المحورية والقصر والعزم والقتل، ويصلح لنمذجة الجوائز والأعمدة النحيلة والجوائز العميقة، تم تقسيم الأعمدة والجوائز إلى عناصر من هذا النوع بفرض طول العنصر 500mm بشكل وسطي في النموذج).

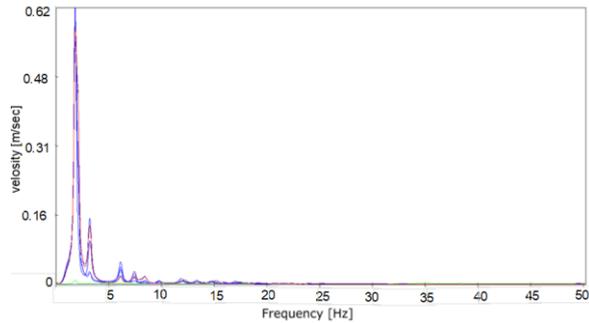
- عناصر سطحية تؤلف بلاطات المبنى وجدرانه واستخدم فيها العنصر الصفائحي الفراغي S4R وهو عنصر قشري يتحمل القوى في مستويه وخارج مستويه يرتبط مع باقي العناصر بأربعة عقد على زواياه بأبعاد 1000*1000mm.

- تم الربط بشكل كامل بين الجزء الإطارى والجزء الصفائحي عند أماكن الالتقاء بحيث ترتبط درجات الحرية في هذه النقط بشكل كامل .

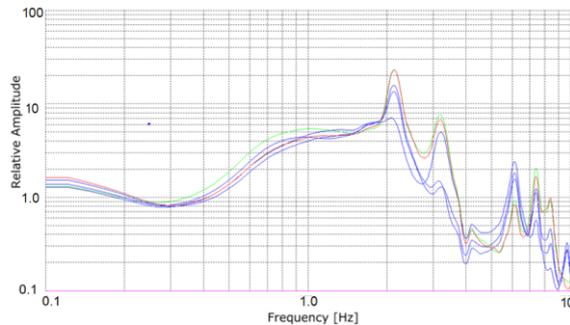
- تم اعتماد نموذج الحجاب الطابقي ذي الصلادة المحددة في نمذجة سلوك بلاطات الطوابق بحيث تؤخذ تشوهات البلاطات ضمن مستويها بعين الاعتبار عند إجراء التحليل الديناميكي تحت تأثير الهزات الزلزالية.

- تم استخدام تسليح طولي وعرضي مساو للتسليح الوارد بالمذكرة الحسابية.

سوف تتم نمذجة الأساسات والتربة بعناصر حجمية في المرحلة التالية لذلك تم حالياً افتراض وثائق تامة في الإتجاهات X,Y,Z ومنع الدورانات حول المحاور الثلاثة السابقة لعقد أسفل الأعمدة .



الشكل(8): وسطي الأطياف المحسوبة للتسجيل الثاني



الشكل(9): النسب الطيفية الوسطية للتسجيل الثاني

يبين الجدول التالي نتائج الدراسة التجريبية بالاتجاهين:

الجدول(1): نتائج معالجة أطياف فورييه وطريقة ناكامورا

الاتجاه	أطياف فورييه	النسب الطيفية	
التردد Hz	نسبة التخميد	التردد Hz	التضخيم
x	2.46	4.48	14.25
y	2.13	5.33	23.1

4- النموذج الرقمي للمبنى المدروس:

بعد الحصول على الخصائص الديناميكية للمبنى، تم بناء نموذج رقمي له يماثله في أبعاده الهندسية وخصائصه وشروط تحميله في الوضع الاستثماري، على برنامج (ABAQUS 2019) [14] وهو برنامج نمذجة رقمية باستخدام العناصر المحدودة متعدد المهام قادر على محاكاة معظم الظواهر الفيزيائية والحرارية والكيميائية والكهربائية، وكذلك لاختية المواد واللاخطية الهندسية.

الجدول(2): مقارنة التردد بين النموذج الرقمي وتجربة الضجيج

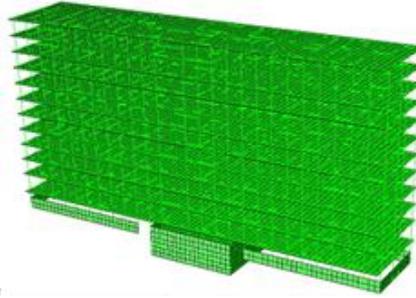
الاتجاه	التردد الطبيعي		النسبة
	تجريبياً	تحليلياً	
X	2.44	2.41	1.23%
Y	2.12	2.1	0.94%

5- النتائج:

يمكن اعتبار النموذج التحليلي الذي تم إنجازه متوافقاً مع نتائج الدراسة التجريبية وبالتالي يمكننا اعتماد النتائج التحليلية في دراسة الاستجابة الزلزالية للمبنى والتحقق من مقاومته للأحمال الزلزالية الموافقة للاشتراطات في الملحق (2) للكود العربي السوري كمرحلة ثانية في البحث.

- تم فرض حمولات خدمية ضمن المبنى بشكل كتل بغيية إدخال أثرها العطالي في التحليل الديناميكي وتحليل التأريخ الزمني لهزات زلزالية تصميمية.
- تم استخلاص خصائص المواد من بيتون وتسليح من المذكرة الحسابية للمبنى.

Printed using Abaqus/CAE on: Sat May 08 22:16:37 Middle East Daylight Time 2021
SIMULIA



الشكل(10): النموذج الرقمي للبناء

- تم إجراء تحليل نمطي (حل مسألة القيم المميزة) لهذا المبنى باعتماد نسبة تخميد بشكل وسطي $\xi=5\%$ وأعطى النتائج التالية:

المراجع:

- [9] Navarro, N. and Oliveira M, C.S. (2006), Experimental techniques for assessment of dynamic behavior of buildings, Assessing and managing earthquake risk: Geo-Scientific and Engineering knowledge for earthquake risk mitigation: developments, tools, techniques, Geotechnical and Earthquake Engineering, Oliveira, C. S., Roca, A., Goula, X. (Eds.), Springer.
- [10] Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M., (2012), Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and time frequency analyses. Bulletin of Earthquake Engineering. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x.
- [11] Ohta, Y., Kagami, H., Goto, N., and Kudo, K. (1978): «Observation of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering. Part I. Comparison with long period accelerations at the Tokachi-Oki earthquake of 1968», Bull Seism. Soc. Am., 68, 767-779.
- [12] Atakan K., P.-Y. Bard, F. Kind, B. Moreno, P. Roquette, A. Tiento et SESAME-Team, (2004), J-SESAME: a standerized software solution for the H/V spectral ratio technique. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada. Paper 2270.
- [13] Al-koussa M., H. T. Hasan, Abdul-wahed M. K., Alarab M., Al-egy I., Experimental and analytical evaluation of the consolidation of tower 8 in the Damascus citadel, Arab J Geosci Vol. 10:37, DOI 10.1007/s12517-016-2788-9, 2017.
- [14] ABAQUS, Version 6.14 (2014), Abaqus/Standard User's Manual, DASSAULT SYSTEMES, Simulia Inc.
- [1] Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30
- [2] Aki, K. (1993), «Local site effects on weak and strong ground motion», Tectonophysics, 218, 93-111.
- [3] Navarro, M., F.J. Sánchez, M. Fetiche, F. Vidal, T. Enomoto, T. Iwatate, I. Matsuda, T. Maeda (2002) Statical estimation for dynamic characteristics of existing buildings in Granada, Spain, using microtremors. Structural Dynamics, Eurodyn2002, Vol. 1, 807-812, Balkema.
- [4] Nakamura Y., (2000), Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000.
- [5] Caselles J. O., V. Perez-gracia, R. Franklin, L. G. Pujades, M. Navarro, J. Clapes, J. A. Canas, and F. Garcia, (2010), Applying the H/V Method to Dense Cities. A Case Study of Valencia City, Journal of Earthquake Engineering, 14:192–210, 2010.
- [6] Gallipoli M. R., Mucciarelli M. and Vona M., (2008), Empirical estimate of fundamental frequencies and damping for Italian buildings, Earthquake Engng. Struct. Dyn. DOI: 10.1002/eqe.878.
- [7] Oliveira C. S. & Navarro M., (2009), Fundamental periods of vibration of RC buildings in Portugal from in-situ experimental and numerical techniques. Bulletin of Earthquake Engineering, Volume 8 Number 3 June 2010.
- [8] Anil K. Chopra (2012), Dynamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering, 4th Ed., Pearson Education Inc., Prentice Hall.

Received	2021/7/14	إيداع البحث
Accepted for Publ	2022/2/17	قبول البحث للنشر