



دراسة نظرية وعملية للاهتزاز الحر لصفحة ناتئة مغمورة جزئيا او كلياً داخل مائع

تحسين طه عثمان¹ ، عصام جندى حسن²
^{2,1} قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

الخلاصة

في الدراسة الحالية تم دراسة وتحليل خواص الاهتزاز الحر، والمتمثلة بالتردد الطبيعي، ونمط الحركة لصفائح ناتئة عندما تكون مغمورة جزئياً او كلياً داخل المائع. إذ تم اخذ لزوجة وكثافة وانضغاطية المائع بنظر الاعتبار عند التحليل النظري، وباستخدام البرنامج التحليلي الجاهز (ANSYS Package) والذي هو في الاساس يعتمد على تقنية العناصر المحددة (Finite Element Method) في التحليل، عن طريق اجراء ترابط بين الصفحة والمائع عند سطح التلامس بينهما، وتم استخدام طريقة التحليل المسماة (damping analysis) للصفحة والمائع اللذين كونا نظاماً جديداً بعد اجراء عملية الترابط بينهما، وهذا النظام الجديد يختلف في خواصه عن خواص الصفحة او المائع على انفراد. وتمت مقارنة النتائج مع خواص الصفحة في حالة كونها غير متلامسة مع مائع، والتي تم الحصول عليها من خلال استخدام نفس البرنامج التحليلي، باستخدام طريقة التحليل المسماة (modal analysis).

تم ايجاد الترددات الطبيعية وانماط الحركة لصفائح ناتئة مختلفة من ناحية نسب الابعاد ولنسب غمر مختلفة، ومن خلال النتائج تم التوصل الى تأثير نسبة الجزء المغمور ونسب الابعاد على الخواص الحركية للصفائح في الحالتين النظرية والعملية، وايجاد الفرق بين الحالتين. واطهرت النتائج أنّ غمر الصفحة الناتئة في مائع يؤدي وبشكل ملحوظ الى انخفاض في التردد الطبيعي، وان هذا الانخفاض يختلف مع اختلاف نوع المائع ونسبة الجزء المغمور واختلاف نسبة الابعاد، وان كثافة المائع هي الخاصية الاكثر تأثيراً على الخواص الحركية للصفائح.

الكلمات الدالة: اهتزاز صفحة ، ترابط بين الموائع والهياكل.

Theoretical and Experimental Study for Free Vibration for Cantilever Plate Partially or Totally Submerged in Fluid

Abstract

In this thesis the dynamic characteristics (natural frequency and mode shape) of cantilever plates was studied when they immersed partially or totally in the fluid. The viscosity, density and compressibility of the fluid were taken into account in the theoretical analysis by using the (ANSYS Package) which mainly depends on the (Finite Element Method) in the analysis; by execute interaction between fluid and plate in the interface surface. The (damping analysis) method was used to analyze the new fluid-plate system; this new system is different in its characteristics when compared with the characteristics of the fluid or plate individually. The results were compared with the dry plate characteristics, which were obtained by using the same analyses package, but in this case the (modal analyses) method was used.

The natural frequencies and mode shapes for cantilever plates with different aspect ratios immersed in different ratios in fluid were obtained. The effects of submerging ratio and aspect ratio on the plate's dynamic characteristics theoretically and experimentally were investigated. The results showed that, the submerged of cantilever plate in fluid reduce the natural frequency, and this depends on the fluid type, submerged ratio and aspect ratio, and the density is the most influential fluid property on the dynamic characteristics of the plate.

Keywords: Plate vibration, Fluid-Structure Interaction

الرموز

- L: طول الصفيحة (mm).
 L/b: نسبة الأبعاد (aspect ratio).
 b: عرض الصفيحة (mm).
 β : معامل الحجم للمائع (N/m^2).
 E: معامل المرونة (Gpa).
 s: عمق الجزء المغمور داخل المائع (mm).
 μ : لزوجة المائع ($kg/m.s$).
 ρ : الكثافة (kg/m^3).
 t: سمك الصفيحة (mm).
 ν : نسبة بويزنز (Poisson's ratio).
 ω : التردد الطبيعي (هيرتز Hz).
 s/L: نسبة الغمر (submerged depth ratio).

المصطلحات

- Bulk Modulus: معامل الحجم للموائع.
 Cantilever Plate: صفيحة ناتئة
 dry: الصفيحة غير مغمورة بمائع.
 Element: عنصر.
 FEM: Finite-Element Method.
 تقنية العناصر المحدودة
 FSI: Fluid-Structure Interaction.
 الترابط بين المائع والهيكلي.
 Interaction: الترابط بين وسطي الصفيحة والمائع.
 Interface: السطح الفاصل بين الصفيحة والمائع.
 Node: عقدة في العنصر.
 wet: الصفيحة مغمورة جزئيا او كليا في المائع.

المقدمة

إن الفهم الدقيق للترابط الحركي بين هيكل مرن ومائع مهم وضروري جدا في العديد من التطبيقات الهندسية. مثال على هذه التطبيقات هو أجزاء السفن والغواصات المتلامسة او المغمورة في مياه البحر، خزانات المياه، زعانف التوربينات، السدود وغيرها. هذا النوع من الدراسات يدخل ضمن أسلوب تحليل هندسي يطلق عليه الترابط بين الموائع والهياكل (Fluid-Structure Interaction) أو (FSI)، وهو نوع من التحليل يختص بدراسة وتحليل سلوك وسطين أو أكثر في حالة تلامسهم مع بعضهم، ودراسة تأثير سلوك كل وسط على سلوك الوسط الآخر، بشرط أن يكون هناك فرق واضح في السلوك بين الأوساط المتلامسة.

تم في هذا البحث دراسة السلوك الميكانيكي الحركي بين مائع وصفيحة في حالة تلامس. هذا النوع من الدراسات يأخذ احد اتجاهين، أما دراسة تأثير الصفيحة على المائع أو العكس. وبما أن البحث يدخل ضمن فرع الميكانيك التطبيقي، فقد تم دراسة تأثير المائع على السلوك الحركي للصفيحة، وبالتحديد تأثيره على خاصيتي التردد الطبيعي ونمط الحركة للصفيحة. هناك العديد من الباحثين السابقين تطرقوا لهذا النوع من الدراسات، معظم هذه الدراسات كانت خاصة بدراسة خزانات محتوية على مائع، بالإضافة إلى بعض البحوث الخاصة بالصفائح المغمورة داخل مائع.

بعض البحوث كانت عملية ونظرية مستخدمة طرق التحليل العددي. حيث قام (Lindholm) [1] بإجراء بحث عملي لتوضيح الاستجابة الترددية لصفيحة مثبتة من طرف واحد في الهواء ومن ثم في حالة كونها مغمورة جزئيا او كليا داخل مائع، ومن ثم قارن بين النتائج العملية مع النتائج النظرية. وقد استخدم نظرية التجزئة التقريبية لمجال المائع لغرض تحديد تأثير المائع على الخواص الحركية للصفيحة. اما (Ergin) [2] فقد قام بدراسة الخواص الحركية لصفيحة مغمورة باعماق مختلفة داخل مائع، مستخدما نموذجين من الصفائح باعماق مختلفة ولكن من نفس المعدن. وقد استخدم تقنية (Boundary Element) في التحليل. وقد اعتبر ان الضغط هو التأثير الناتج من المائع على الخواص الحركية للصفيحة. وقد اعتبر المائع مثالي وغير دوراني. وعند التحليل استخدم الباحث البرنامج الجاهز (ANSYS) للمقارنة مستخدما عدد مختلف من العناصر، وكلما زاد عدد العناصر كانت النتائج ادق واقرب للنتائج العملية. وعند اجراء التحليل في حالة الصفيحة المغمورة في المائع، استخدم الباحث مايسمى (Panels Hydrodynamic) التي توزع على طول الصفيحة، وكلما زاد عددها زادت الدقة. وقد قارن الباحث نتائج مع بحث عملي سابق، وقد وجد ان النتائج متقاربة جدا. واما (Anamika) [3] فقد قام بدراسة تأثير لزوجة وكثافة المائع على عتبة صغيرة مغمورة داخله. وقد استخدم نموذجين من العتبات، اولهما عتبة بسيطة صغيرة من الصلب المقاوم (Stainless steel) يتم غمرها عموديا داخل مائع بعمق يساوي (1/3) من طولها، والنموذج الثاني مشابه للنموذج الاول ولكن يتم تعليق ثقل من الالمنيوم في نهايته، وتوضع العتبة بشكل افقي بحيث يتم غمر الثقل فقط داخل المائع. وقد تم استخدام عدة انواع من الموائع مختلفة للزوجة والكثافة ودراسة الفرق الحاصل في التردد الطبيعي والاستجابة الترددية للنموذجين وعلاقة هذا الفرق مع خاصيتي اللزوجة والكثافة للمائع المستخدم. وقد تم مقارنة النتائج العملية مع نتائج تم الحصول عليها باستخدام البرنامج الجاهز (ANSYS).

وكانت هناك بحوث تحتوي على جانب نظري فقط باستخدام الطرق العددية للتحليل. حيث قام (HUNT) [4] باستخدام نوع جديد من العناصر المستخدمة مع الهياكل لغرض تحقيق شريحة مثالية لمائع غير انضغاطي واستخدامها مع تقنية العناصر المحدودة (FEM). ومن خلال استخدام هذا النوع من العناصر للموائع مع العناصر القياسية المستخدمة للأجسام الصلبة اصبح بالإمكان تحليل القذائف والعبوات المانعة المستخدمة في القذائف من خلال هيكل مركب واحد يحتوي على عدة عناصر مميزة. والعناصر المعنية تكون ذات شكل مكعب مركب من مجموعة أوجه مشدودة مقاومة للانضغاط، وهذه العناصر تكون مناسبة للمائع المحتوي داخل خزان مستطيل المقطع. وأما (Kiefling) [5] فقد قام بتطوير وتحسين تحليل الموائع باستخدام تقنية العناصر المحدودة متضمنا الطاقة الكامنة الناتجة من الانضغاطية مع إهمال التغير في الكثافة. وقام بصياغة الطاقة الحركية والكامنة بدلالة الإزاحات العقدية. وقد تطرق الباحث إلى نوعين من العناصر المستعملة

الحركي لصفحة مرنة تفصل بين خزانين مملوءين بمائع بارتفاعين مختلفين، على اعتبار أن الصفحة مثبتة من الأسفل ومن الجوانب فقط. حيث قام بدراسة تأثير الضغط الهيدروستاتيكي للمائع على التردد الطبيعي للصفحة، وتأثير أبعاد الخزان على التردد الطبيعي ونمط حركة الصفحة، وتأثير عمق المائع على التردد الطبيعي، وتأثير موج السطح الحر للمائع على التردد الطبيعي للصفحة. وقد استخدم الباحث للتحليل تطوير لطريقة (Rayleigh-Ritz method). وقد وجد أن انخفاض التردد الطبيعي لا يكون بشكل خطي مع عمق المائع وأبعاد الخزان وأبعاد الصفحة

جميع البحوث السابقة توصلت إلى أن تلامس أو غمر الأجسام داخل المائع يؤدي إلى انخفاض واضح في التردد الطبيعي لتلك الأجسام، بالإضافة إلى أن المائع الانضغاطي يكون تأثيره أكثر من المائع غير الانضغاطي.

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل تأثير خواص موائع مختلفة على ثلاثة صفائح مختلفة نسبة الأبعاد بثبوت سمكها وطولها يتم غمرها بنسب مختلفة داخل المائع. تمت عملية التحليل باستخدام البرنامج الجاهز (ANSYS) ومن خلال فرض أن المائع لسج وانضغاطي وساكن.

معادلات ربط سلوك الصفحة والمائع

السلوك الحركي للصفحة والمائع كل على حدة له معادلاته الحاكمة والتي تم اشتقاقها وصياغتها بالشكل العددي وباستخدام تقنية العناصر المحددة. فمعادلة سلوك الصفحة (جسم صلب) تكون بالشكل الآتي:-

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + K\tilde{u} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

حيث أن (M، C، K) تمثل مصفوفات الكتل والتخميد والجبساء لعناصر الصفحة. و (u) يمثل متجه الإزاحة. أما معادلة سلوك المائع فتكون بالشكل الآتي:-

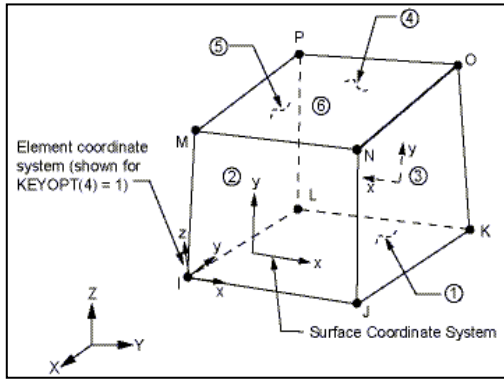
$$S\ddot{p} + \tilde{C}\dot{p} + H\tilde{p} = 0 \quad \dots\dots(2)$$

حيث أن (S، C، H) تمثل مصفوفات مناهرة لمصفوفات الصفحة ولكن تختلف من ناحية الخواص التي تتشكل منها، و (p) يمثل متجه الضغط داخل المائع. ولكن عندما تكون الصفحة في حالة تلامس مع المائع فإن المعادلتين (1 و 2) يطرأ عليهما تغيير بسبب دخول تأثير ضغط المائع على سلوك الصفحة ودخول تأثير إزاحة الصفحة على سلوك المائع، وتتكون مصفوفة جديدة ضمن المعادلتين يطلق عليه مصفوفة الربط (Q) بين مجال الصفحة والمائع، وتصبح المعادلتين السابقتين بالشكل الآتي:-

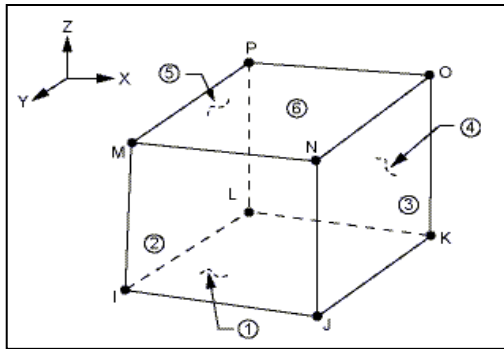
$$M\ddot{u} + C\dot{u} + K\tilde{u} - Q\tilde{p} = 0 \quad \dots\dots(3)$$

$$S\ddot{p} + \tilde{C}\dot{p} + H\tilde{p} + \rho_o Q^T \ddot{u} = 0 \quad \dots\dots(4)$$

لتحليل الموائع، العنصر الرباعي الأسطح (tetrahedron)، والعنصر السداسي الأسطح (hexahedron)، وتطرق إلى مميزات كل نوع. وقام بتطبيق الطريقة على ماء داخل خزان اسطوانى الشكل، وتوصل إلى نمط التموج ونمط الانضغاطية للمائع، ونمط الاهتزاز المحوري للخزان ذو الجدران المرنة. أما (Daniel) [6] فقد قام بتحليل الأنظمة الكبيرة من نوع (FSI) مستخدماً نظرية السطح الفاصل الثابت (fixed-model interface) وتطبيقها على ثلاثة حالات، حالة الاهتزاز المباشر للمائع، وحالة المائع المحتوى داخل جسم، وحالة تحويل ونمذجة مائع غير انضغاطي متلامس مع سطح. وبسبب الأنظمة الكبيرة التي تطرق لها ولغرض تبسيط عدم التناظر المتكون في مصفوفة الربط بين الواسطين اقترح الباحث ثلاثة تقنيات لتبسيط التحليل والتخلص من المعوقات. وفي هذا البحث اعتبر الباحث الإزاحات العقدية كمتغيرات في عناصر الجسم الصلب، بينما اعتبر الضغط في العقد كمتغيرات في عناصر المائع. وقام الباحث بوضع معادلة الحركة للجسم الصلب المتكونة كالمعتاد من مصفوفتي الجساءة والكتل، ومعادلة الحركة للمائع والمتكونة من مصفوفة مناهرة لمصفوفة الجساءة تعتمد على القصور الذاتي للمائع، ومصفوفة مناهرة لمصفوفة الكتل تعتمد على السلوك الانضغاطي للمائع. ومصفوفة الربط بين المعادلتين تكون رباعية وغير متناظرة. وقد قام (Cristoph) [7] بدراسة الطريقة التقريبية لتحليل الترابط ما بين هيكل صلب ومائع يتصرف تصرفاً خطياً وغير انضغاطي. وهذه الطريقة تعتمد على حقيقة كون التردد الطبيعي للجسم غير المتلامس مع مائع يكون أعلى من التردد المرافق في حالة كون الجسم في حالة تلامس مع مائع غير انضغاطي، وكذلك يكون التردد الطبيعي في حالة المائع الانضغاطي اقل من حالة المائع غير الانضغاطي. أما (BALENDRA) [8] فقد قام بدراسة وتحليل السلوك الاهتزازي لخزانات الموائع الاسطوانية مستخدماً نظرية القشور والتي تعتمد على اعتبار إن هذه الخزانات تكون مثبتة إلى قاعدتها التي تكون على شكل لوح دائري. وقد استخدم الباحث تقنية العناصر المحدودة لكل من المائع وجدار الخزان المتلامس معه، معتبراً جدار الخزان على شكل غشاء رقيق (thin shell). وأما (Bathe) [9] فقد قام بصياغة المعادلة المتناظرة باستخدام تقنية العناصر المحدودة لتحليل الأنظمة من نوع (FSI) مستخدماً عنصر مربع ذو ثمانية عقد (8-node element) لكل من المائع والسطح، وبذلك تكون العقد المشتركة بين السطح والمائع ثلاثة. على اعتبار أن الجهد الناتج من السرعة والضغط الهيدروستاتيكي تمثل المتغيرات العقدية في المائع، والإزاحات العقدية تمثل المتغيرات العقدية للسطح. أما (Guminiak) [10] فقد قام بدراسة وتحليل السلوك الحركي لصفحة في حالة كونها محاطة بالكامل بمائع، وقد استخدم الباحث تقنية (boundary element method) في التحليل. وقد اعتبر المائع غير لسج وانضغاطي. وقد استخدم معادلة (integral equation) لوصف حركة الصفحة والضغط الهيدروديناميكي للمائع المحيط بالصفحة. أما (Khorshidi) [11] فقد قام بدراسة وتحليل السلوك



شكل (1) شريحة من نوع (SOLID45) ثلاثية الأبعاد



شكل (2) شريحة مانع من نوع (FLUID80) ثلاثية الأبعاد

إنشاء النظام الترابطي ثلاثي الأبعاد

بعد تحديد نوع العنصر المناسب لكل مجال، يتم إنشاء النظام المتكون من الصفيحة والمانع المحيط بها سواءً بشكل كلي أو جزئي، ويتم إجراء عملية ربط شبكي (mesh) بين المجالين، مجال الصفيحة ومجال المانع، لغرض ربط سلوك المجالين مع بعضهما بحيث ينتقل تأثير أحدهما إلى الآخر. وتمت هذه العملية من خلال استخدام البرنامج الجاهز (ANSYS-Metaphysics-ver.11.0). والهدف من هذا الإجراء هو التوصل إلى تأثير المانع على الخواص الحركية للصفيحة.

عناصر الصفيحة والمانع ضمن السطح الفاصل تشترك بنفس العقد. ومجال المانع بالقرب من سطح الصفيحة يتم تقسيمه وربطه ربطاً شبكياً من خلال عناصر صغيرة ودقيقة لكي تتمكن من التقاط تفاصيل حركة المانع خلال اهتزاز الصفيحة. ويتم هذا الإجراء بعد رسم المجالين وكما موضح في الشكل (3)، إذ يتم تقسيم الخط ضمن السطح الفاصل إلى مجموعة من التقسيمات التي تمثل الخط الأساس الذي يتم الانطلاق منه خلال تقسيم كلا المجالين وتمثل الحد الفاصل بين نوعين مختلفين من التقسيم الشبكي لكل مجال، وكلما زاد عدد التقسيمات زاد عدد العناصر المترابطة بين المجالين وبالتالي زادت الدقة، وبالتالي يكون هذا السطح هو السطح الفاصل المشترك بين مجالي الصفيحة والمانع. وبما إن التأثير

ومن خلال إهمال التخمين في المعادلتين وإعادة كتابتهما على شكل مصفوفة تصبح بالشكل الآتي:-

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ \rho_o Q^T & S \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{p} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K & -Q \\ 0 & H \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{p} \end{Bmatrix} = 0 \quad \dots (5)$$

وبسبب عدم التناظر الذي تمتاز به هذه المعادلة، فيتم إجراء بعض المعالجات والتعديلات عليها وتحويلها إلى شكل متناظر قابل للحل. وهناك عدة طرق مستخدمة لهذا الغرض، ومن أكثرها استخداماً طريقة (Ohayon)^[12]، ومن خلال استخدام هذه الطريقة تصبح المعادلة بالشكل الآتي:-

$$\begin{bmatrix} K & 0 & 0 \\ 0 & 1/\rho_o S & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} M & 0 & Q \\ 0 & 0 & 1/\rho_o S \\ Q^T & 1/\rho_o S^T & -1/\rho_o H \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{Bmatrix} = 0 \quad \dots (6)$$

هذه العلاقات يمكن أن يتم تطبيقها من خلال استخدام البرامج الجاهزة، وبالأخص البرامج التي تعتمد على تقنية العناصر المحددة. ومن خلال فهم هذه العلاقات يمكن معرفة المدخلات لهذه البرامج بالشكل الذي يؤدي إلى الحصول على نتائج تحليل ينسب خطأ قليلة وبدقة مناسبة.

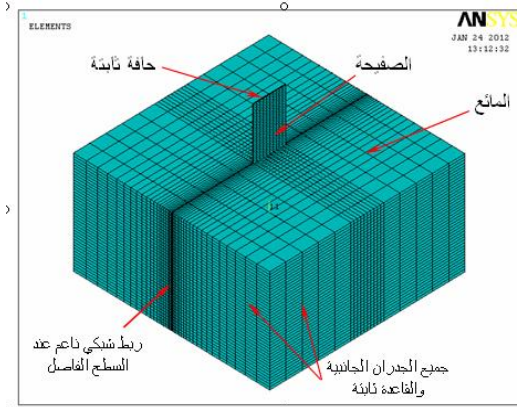
الجانب النظري (تحليل العناصر المحددة)

اختيار نوع العناصر لوسطى الصفيحة والمانع

لغرض إنشاء نموذج يمثل الصفيحة في برنامج (ANSYS) تم اختيار العنصر من نوع (SOLID45) ثلاثي الأبعاد، شكل (1)، الذي يستخدم لإنشاء الأجسام الصلبة، هذا النوع من العناصر يمتاز بان له ثمانية عقد (8-nodes) وهناك ثلاثة درجات حرية في كل عقدة باتجاه (x, y, and z). هذا النوع من العناصر يمتاز بالطواعية والقدرة على الزحف والتضخم ومقاومة الاجهادات والانحراف الكبير والقدرة العالية على الانفعال، لهذا فهو مناسب في حالة المعادن ذات المرونة العالية نسبياً.

أما بالنسبة للمائع فقد تم اختيار عنصر من نوع (FLUID80) ثلاثي الأبعاد شكل (2)، وهو عنصر مطور من العنصر الصلب (SOLID45). هذا العنصر مكون من ثمانية عقد في كل عقدة ثلاثة درجات حرية مشابهة لعقد العنصر الصلب. هذا العنصر تم اختياره بسبب ملائمته لإنشاء شرائح المائع في حالة كونه محتوى داخل حاوية من غير وجود جريان، وملائمته لحالة الترابط بين المائع والأجسام الصلبة (FSI).

كل مجال للحصول على نظام ثلاثي الأبعاد، ومن ثم تطبيق الشروط الحدودية عليه كما في الشكل (5).

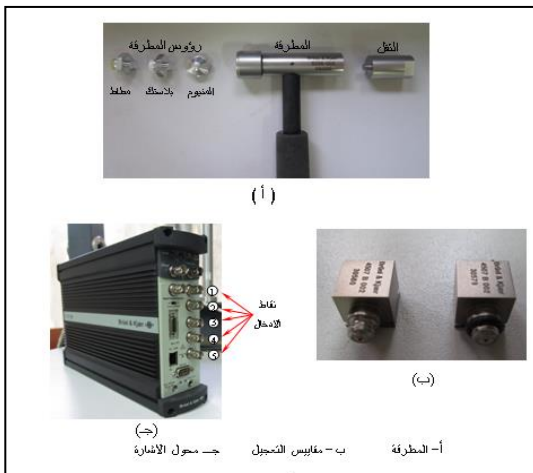


شكل (5) مخطط نهائي لمجال الصفحة والمائع ثلاثي الأبعاد

الجانب العملي

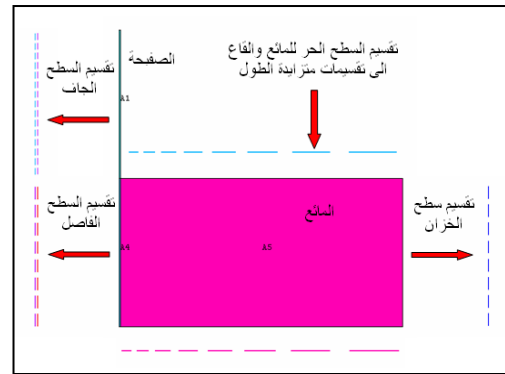
في الجانب العملي تم الاعتماد على التحليل النمطي (Modal Analysis) من خلال إيجاد العلاقة ما بين التأثير والاستجابة، أو ما يطلق عليه دالة الاستجابة الترددية (FRF). ومن خلال مخططات العلاقة ما بين الـ (FRF) والتردد يمكن التوصل إلى الخواص الحركية للصفحة، فالتردد الطبيعي يكون عند الذروات (Peaks)، ونسبة التخميد يمكن أن يتم التوصل إليها من خلال استخدام طريقة (half power point) عند كل ذروة، أما نمط الحركة فيمكن تحديده إما باستخدام طريقة الجزء الخيالي أو طريقة زاوية الطور.

لغرض إيجاد العلاقة ما بين التأثير والاستجابة أثناء الجانب العملي تم استخدام المطرقة (Impulse Hammer) كمسبب للتأثير ومقاييس التعجيل (Accelerometers) كمحدد للاستجابة. بالإضافة إلى محول الإشارة الذي يقوم الذي يستلم الإشارة من المطرقة ومقاييس التعجيل ويحولها إلى البرنامج التحليلي داخل الحاسوب لكي يقوم بتحليلها ورسم العلاقات الضرورية بينها. والشكل (6) يوضح هذه الأجهزة.



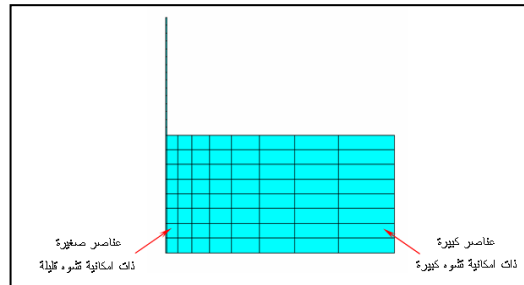
شكل (6) الأجهزة المستخدمة

المتبادل بين المائع والصفحة يقل كلما تم الابتعاد عن السطح الفاصل فيتم تقسيم سطحي المائع العلوي والسفلي إلى تقسيمات ممتدة متزايدة العرض تدريجياً لغرض تحقيق هذا الشرط، ومن ثم يتم تقسيم مجال المائع اعتماداً على هذه التقسيمات لكي يكون مجال المائع بالقرب من السطح الفاصل مقسماً إلى عناصر صغيرة تزداد أبعادها كلما تم الابتعاد عن ذلك السطح. هذا الإجراء ضروري جداً لمحاكاة سلوك المائع أثناء اهتزاز الصفحة داخله، إذ أن مجال المائع قرب الصفحة يكون تأثيره أكبر على سلوكها من المجال البعيد، وإن العناصر كلما صغر قياسها قل مقدار التشوه الحاصل فيها، وبالتالي فإن العناصر القريبة من السطح الفاصل عند تحريك الصفحة أثناء الاهتزاز تصل إلى مرحلة أقصى تشوه وتتوقف وتقاوم تلك الحركة فينتقل التشوه إلى العنصر الأبعد فالأبعد إلى أن يكون مجموع التشوهات مساوياً لمقدار الإزاحة التي تحتاجها الصفحة.



شكل (3) مجال الصفحة والمائع عند تقسيم السطح الفاصلة

بعد إجراء هذه العملية يتم الحصول على مجال الصفحة والمائع على شكل شبكة مترابطة، وكما هو موضح في الشكل (4)، وقد حصل الترابط بين الصفحة والمائع عند السطح الفاصل، وحسب عدد القنوات التي تم اختيارها، فضلاً عن حصول الترابط بين المائع والجدران.



شكل (4) مجال الصفحة والمائع بعد الربط الشبكي

بعد هذا الإجراء يمكن الحصول على الشكل النهائي للنظام من خلال إجراء انعكاس للمجالين المرتبطين ومن ثم إنشاء امتداد لكل المساحات مع مواصفاتها وحسب أبعاد

النتائج والمناقشة

تم إيجاد الترددات الثلاثة الأولى للصفائح عندما لا تكون مغمورة داخل المائع وعندما تكون مغمورة في المائع بثلاثة نسب مختلفة نظرياً وعملياً. بصورة عامة كانت النتائج في عدة حالات قريبة أو متطابقة وتعطي صورة واضحة لنمط التغير في الترددات. وظهرت هناك نسبة خطأ تراوحت ما بين (3 - 7.5%) إلا في حالتين فقط وصلت هذه النسبة إلى (11%). وهذا الفرق نتج من عدة أسباب، من هذه الأسباب إن تطبيق هذه التقنية على الترابط بين المائع والصفحة وباستخدام برنامج (ANSYS) له نسبة خطأ. السبب الآخر أن استخدام المطرقة في القياس يعد اقل كفاءة من الجهاز مولد الاهتزاز (Shaker) بسبب عدم القدرة على التحكم في مقدار واتجاه القوة المسلطة. وكذلك فإن تطبيق الشروط الحدودية عملياً لا يمكن تحقيقها بما يجعلها متطابقة مع الحالة النظرية.

لدراسة تأثير المائع على الترددات الطبيعية للصفائح تم رسم العلاقة ما بين نسبة التغطيس (s/L) والتردد الطبيعي، الأشكال (9-11). ومن خلال هذه المخططات يمكن ملاحظة أن الانخفاض في التردد قد حدث بمعدل أكبر عند بداية التغطيس ومن ثم بدء هذا المعدل بالانخفاض واقترب في أكثر الحالات من الاستقرار عند قيمة معينة، فعلى سبيل المثال من خلال الشكل (9-9) كان التردد الأول للصفحة الأولى عندما لا تكون مغطسة في المائع (25.33 هرتز) وعندما تم تغطيسها في الماء كان الانخفاض الأكبر في قيمة التردد عند نسبة التغطيس (0.25) فقد أصبح التردد (18 هرتز)، ثم عند تغطيسها بنسب تغطيس (0.5 و 0.75) أصبح التردد (16 و 15 هرتز) على التوالي، ونلاحظ نفس الأمر في الحالات الأخرى. أما نمط الحركة فلم يتأثر بالتغطيس وبقي بنفس النوع. كما ويمكن ملاحظة إن التغطيس داخل الماء أدى إلى انخفاض التردد الطبيعي بشكل أكبر من الانخفاض الحاصل عند التغطيس داخل زيت الغاز، وهذا يدل على أن مقدار الانخفاض في التردد الطبيعي للصفحة يعتمد بشكل مباشر على نوع المائع المستخدم، أي أنه يعتمد على خواص المائع. فعلى سبيل المثال في الشكل (9-9) و (9-d) عند تغطيس الصفحة الأولى في الماء وزيت الغاز بنسبة تغطيس (0.25) للحالتين انخفض التردد الأول من (25.33) إلى (18 و 20 هرتز) على التوالي، أي أن الماء كان له تأثير أكبر من زيت الغاز. وهذا يعني أن اختلاف خواص الموائع يؤدي إلى اختلاف مقدار التأثير على تردد الصفحة، وبما أن للمائعين ثلاث خواص رئيسية هي الكثافة واللزوجة ومعامل الحجم، وهذه الخواص تختلف بين المائعين، فبالتالي فإن كل خاصية من هذه الخواص لها نسبة تأثير معينة على الانخفاض في التردد، وسوف يتم التطرق لهذا الأمر في فقرة لاحقة. يمكن ملاحظة أن نمط الانخفاض في الترددات في حالتها استخدام الماء أو زيت الغاز كان متشابهاً إذ يمكن ملاحظة أن شكل المنحنيات كان متشابهاً إلى حد كبير. وهذا يعني إن نوع المائع لا يؤثر على نمط الانخفاض في الترددات.

ولكن عند أخذ هذا الانخفاض بشكل نسبي فإن الأمر يختلف. فعند رسم العلاقة ما بين نسبة التغطيس ونسبة

وصف شكل وأبعاد وخواص النظام

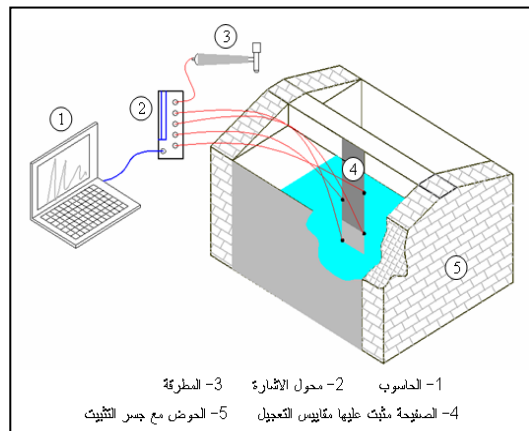
في هذه الدراسة تم اختيار ثلاثة صفائح، شكل (7)، ثابتة الطول ($L = 0.3 \text{ m}$) والسك ($t = 3 \text{ mm}$) مختلفة العرض (b) حسب خمسة نسب أبعاد (طول/عرض) (aspect ratio) (L/b)، حيث كانت هذه النسب كالتالي (0.3, 0.4, 0.5).



شكل (7) الصفائح مع نقاط تثبيت مقاييس التجهيل

تم اختيار أربعة نسب غمر (عمق/طول) (s/L) ابتداء من حالة عدم الغمر، فكانت هذه النسب كالتالي (0.75, 0.5, 0.25, 0.0) على التوالي. تم اختيار معدن الصفحة ليكون من الفولاذ المطاوع (Mild Steel). وتم اختيار مائعين لتغطيس الصفائح فيها هما الماء وزيت الغاز.

تم تثبيت مقاييس التجهيل على الصفائح بالشكل الذي يمكن من خلاله الحصول على الترددات الثلاثة الأولى بالإضافة إلى نمط الحركة بشكل واضح وذلك عن طريق عدم تثبيت هذه المقاييس في العقد (نقاط الإزاحة الصفرية). الأجهزة والأدوات المستخدمة لقياس الخواص الحركية للصفحة أثناء غمرها في المائع وطريقة ربطها موضحة في المخطط الموضح في الشكل (8).



شكل (8) مخطط الأجهزة والأدوات المستخدمة

التردد، ففي الصفحة الثالثة بالرغم من نسبة أبعادها الأكبر إلا أن نسبة انخفاض ترددها كان أقل. الأشكال (13-15) توضح أنماط الحركة للصفائح الثلاث.

الاستنتاجات

تم دراسة تأثير التغطية الجزئي أو الكلي لصفحة ناتئة داخل مانع على الخواص الحركية نظرياً وعملياً. ومن خلال النتائج وجد إن تغطية الصفائح في الموانع يؤدي إلى حصول انخفاض ملحوظ في الترددات الطبيعية للصفائح، وهذا الانخفاض ازداد مع زيادة نسبة التغطية. وجد إن نسبة الانخفاض في التردد لها علاقة بنسبة الأبعاد، فكلما زادت نسبة الأبعاد زادت نسبة الانخفاض في التردد.

ووجد إن نسبة الانخفاض في التردد لها علاقة بنمط الحركة، فإن نمط الحركة الإلتوائي يكون أقل تأثراً من نمط الحركة الانحنائي.

كما وجد إن نسبة الانخفاض في التردد الطبيعي لها علاقة بنوع المائع (خواص المائع)

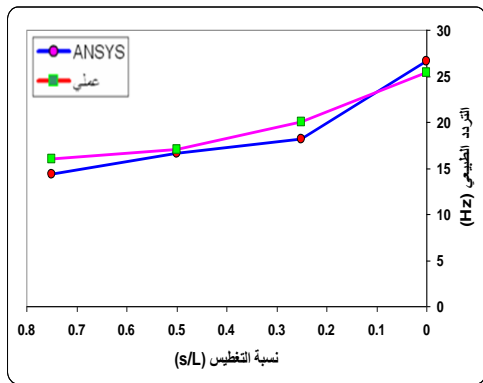
المصادر

- 1-Lindholm, U.S, Kana, D.D., Chu, W.-H., Abramson, H.N, 1965, "Elastic Vibration Characteristics of Cantilever Plates in Water", Journal of Ship Research, 9, 11-22.
- 2-Ergin, A., Uğurlu, B., 2003, "Linear Vibration Analysis of Cantilever Plates Partially Submerged in Fluid", Journal of Fluids and Structures, 17, 927-939.
- 3-Anamika Sharmin Mishty, 2010, "Dynamic Response on Mini Cantilever Beams in Viscous Media", Montana State University, Bozeman, Montana.
- 4- David, A. Hunt, 1970, "Discrete Element Idealization of an Incompressible Liquid for Vibration Analysis", Aiaa Journal, Vol. 8, No. 6.
- 5- Kieffling, L., Feng, G. C., 1976, "Fluid-Structure Finite Element Vibrational Analysis", Aiaa Journal, Vol. 14, No. 2.
- 6- Danial, W. J. T., 1980, "Modal Methods in Finite Element Fluid-Structure Eigenvalue Problems", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 15, 1161-1175.
- 7- Cristoph, W. Müller, 1981, "Simplified Analysis of Linear Fluid-Structure Interaction", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 17, 113-121.
- 8- Balendra, T., Ang, K. K., Paramasivam, P. and Lee, S. L., 1982, "Free Vibration Analysis of Cylindrical Liquid Storage Tanks", Int. J. Mech. Sci. Vol. 24, No. 1, pp, 47-59.

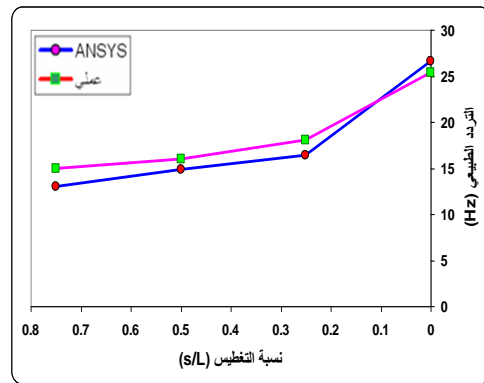
الانخفاض في التردد للصفائح الثلاث عملياً لحالتي الماء وزيت الغاز (الشكل (12)) يمكن ملاحظة إن نسبة الانخفاض في التردد الأول كانت هي الأعلى مقارنة مع التردد الثاني والثالث، بينما كانت نسبة الانخفاض في التردد الثالث هي الأقل، فعلى سبيل المثال عند أخذ نسبة الانخفاض في التردد الأول للصفائح الثلاث عند تغطيتها في زيت الغاز عند نسبة تغطية (0.25) (مخطط 12-d) ونلاحظ إن نسبة انخفاض التردد الأول للصفحة الأولى كانت (21.04%) بينما كانت نسبة الانخفاض في التردد الثاني والثالث (5.42 و 12.96%) على التوالي. ومن خلال ذلك يمكن أن نستنتج إن تغطية الصفحة داخل المانع يؤدي إلى انخفاض قيمة الترددات الواطنة بشكل أقل من الترددات العالية، ولكن وفي نفس الوقت عند أخذ هذا الانخفاض على شكل نسبة فيكون التأثير أكبر على الترددات الواطنة.

ومن خلال نفس المخططات يمكن ملاحظة إن نسبة الأبعاد كان لها تأثيرها الواضح. فكلما انخفضت نسبة الأبعاد كانت نسبة الانخفاض في التردد أقل، فعلى سبيل المثال، من خلال الشكل (12-e) الذي يمثل نسبة الانخفاض في التردد الثاني مع نسبة التغطية للصفائح الثلاث عند تغطيتها في زيت الغاز. فنلاحظ أن الصفحة الأولى كانت أقل تأثراً وتراوحت نسبة الانخفاض في التردد الثاني لهذه الصفحة ما بين (5.42-29.55%)، بينما تراوح الانخفاض في التردد الثاني للصفحة الثانية والثالثة ما بين (6.67-32.7%) و (14.47-34.21%) على التوالي. ولكن نلاحظ إن هذا الأمر صحيح في حالة أنماط الحركة المتشابهة للصفائح الثلاث، ولكن عندما تكون أنماط الحركة مختلفة فإن الأمر يختلف، إذ يظهر من الشكلين (12-c و f) إن نسبة الانخفاض في التردد للصفحة الثالثة كان الأقل مع العلم أنها ذات نسبة أبعاد أكبر، فقد تراوحت نسبة الانخفاض في التردد الثالث للصفائح الثلاث عند تغطيتها في الماء ما بين (15.55-36.2%) و (16.16-30%) و (10.95-29.26%) على التوالي، وقد ظهر أن نمط حركة الصفحة الثالثة كان مختلفاً عن الصفيحتين الأولى والثانية، فإن نمط حركة الصفحة الثالثة عند التردد الثالث كان التوائياً، في حين إن الصفيحتين الأولى والثانية كان نمط حركتهما عند التردد الثالث انحنائياً، وهذا يعني أن تأثير المانع على التردد يكون أقل في حالة نمط الحركة الانحنائي. ويمكن ملاحظة هذا الأمر في الترددات الأولى والثانية للصفائح، ففي التردد الأول كان نمط الحركة انحنائياً للصفائح الثلاث، فكان تأثير نسبة الأبعاد هو الحاكم لنسبة الانخفاض، وفي التردد الثاني وبالرغم من اختلاف نمط حركة الصفحة الثالثة بالمقارنة مع نمط حركة الصفيحتين الأولى والثانية، فقد كان نمط حركة الصفحة الأولى والثانية انحنائياً بينما نمط حركة الصفحة الثالثة كان التوائياً، فكان تأثير نسبة الأبعاد ونمط الحركة الانحنائي مجتمعاً في الصفيحتين الأولى والثانية، وعلى سبيل المثال، عند ملاحظة الشكل (12-b) نجد إن نسبة الانخفاض في التردد الثاني للصفائح الثلاث عند تغطيتها في الماء يتراوح ما بين (8.67-34.77%) و (8.32-36.51%) و (15-38.34%) على التوالي. من هذا نستنتج أن نمط الحركة له تأثير أكبر من نسبة الأبعاد على نسبة الانخفاض في

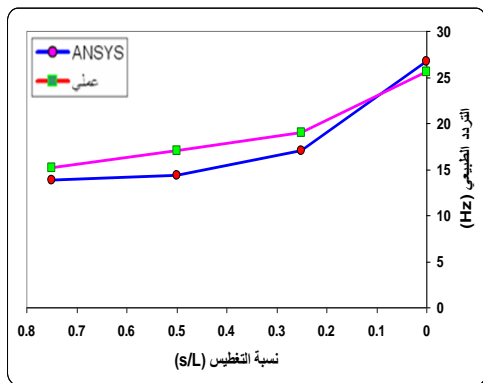
- 11- Khorshidi, K., 2010, "Effect of Hydrostatic Pressure on Vibrating Rectangular Plates Coupled with Fluid", Transaction A: Civil Engineering. Vol. 17, No. 6, pp. 415-429. Sharif University of Technology.
- 12- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R. L. and Zhu, J. Z., "The Finite Element Method", ELSEVIER, 2005.
- 9- Lorraine G. Olson and Klaus-Jürgen Bathe, 1985, "Analysis of Fluid-Structure Interactions", A Direct Symmetric Coupled Formulation Based on the Fluid Velocity Potential. Computers & Structures Vol.21, No. 1/2, pp. 21-32.
- 10- Michal Guminiak, Ryszard Sygulski, 2001, "Vibrations of Plates Immersed in Compressible Fluid by the BEM", Institute of Structural Engineering, Poznan University of Technology, Piotrowo 5, 60-965 Poznan.



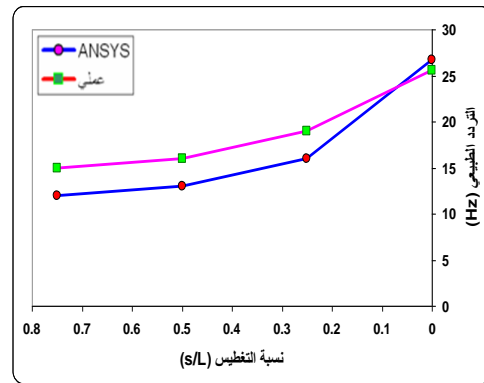
(d) الصفحة الأولى - في زيت الغاز



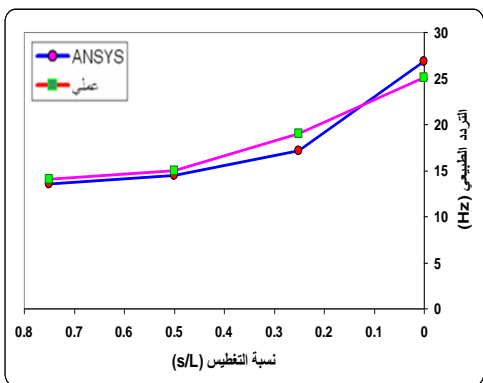
(a) الصفحة الأولى - في الماء



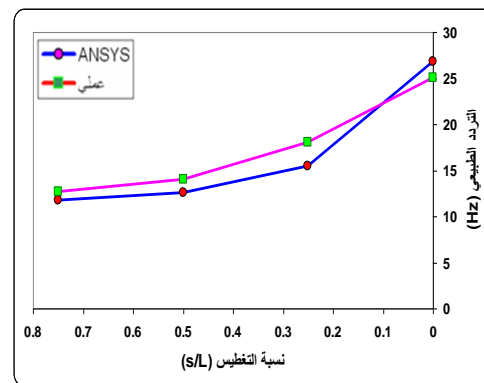
(e) الصفحة الثانية - في زيت الغاز



(b) الصفحة الثانية - في الماء

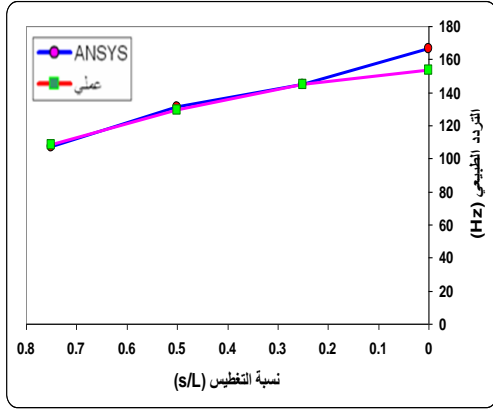


(f) الصفحة الثالثة - في زيت الغاز

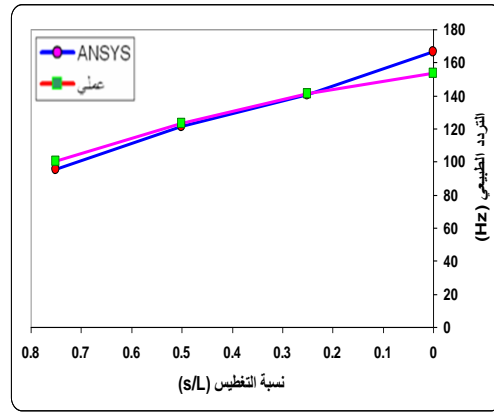


(c) الصفحة الثالثة - في الماء

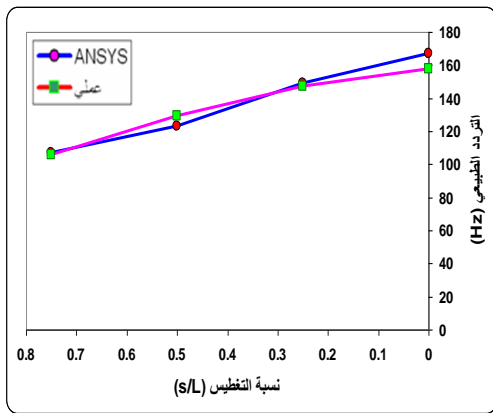
شكل (9) الانخفاض في التردد الأول مع نسبة التغطيس للصفائح الثلاثة في الماء وزيت الغاز



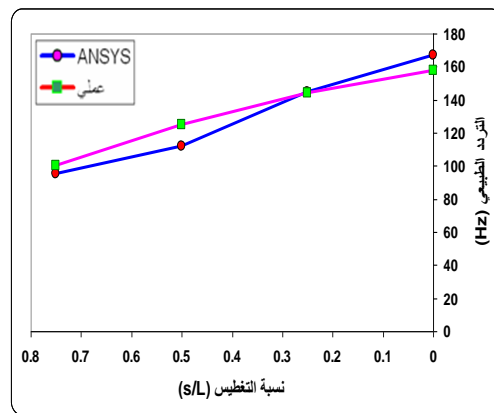
(d) الصفحة الأولى - في زيت الغاز



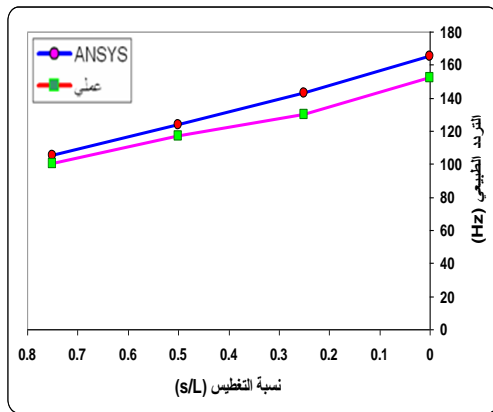
(a) الصفحة الأولى - في الماء



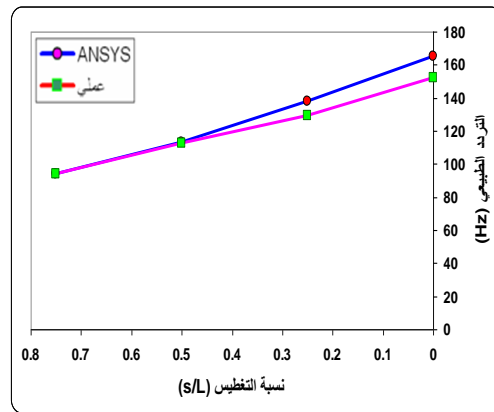
(e) الصفحة الثانية - في زيت الغاز



(b) الصفحة الثانية - في الماء

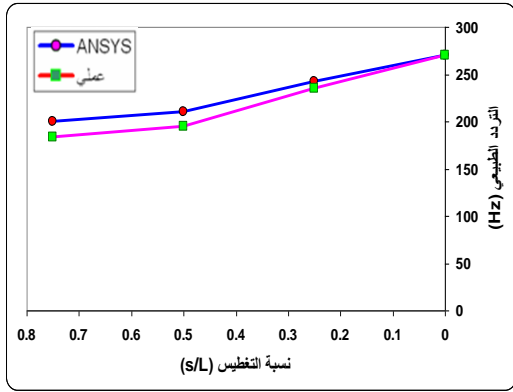


(f) الصفحة الثالثة - في زيت الغاز

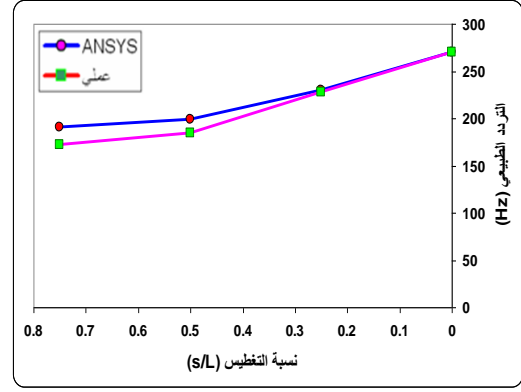


(c) الصفحة الثالثة - في الماء

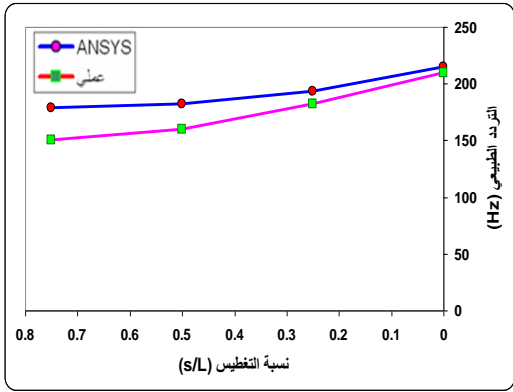
شكل (10) الانخفاض في التردد الثاني مع نسبة التغطيس للصفائح الثلاثة في الماء وزيت الغاز



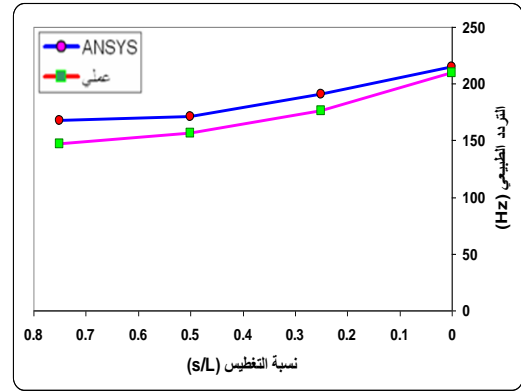
(d) الصفحة الأولى - في زيت الغاز



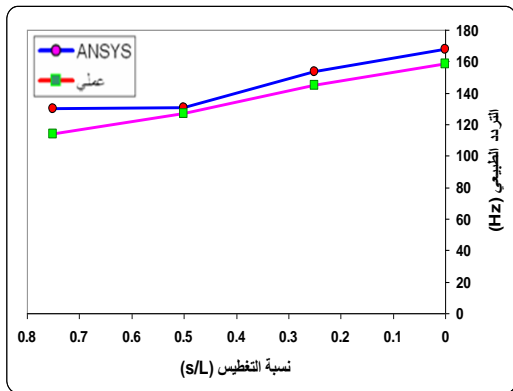
(a) الصفحة الأولى - في الماء



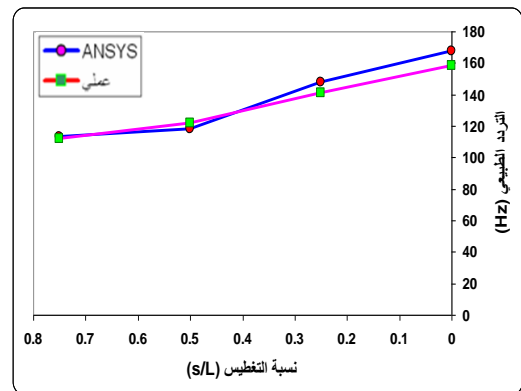
(e) الصفحة الثانية - في زيت الغاز



(b) الصفحة الثانية - في الماء

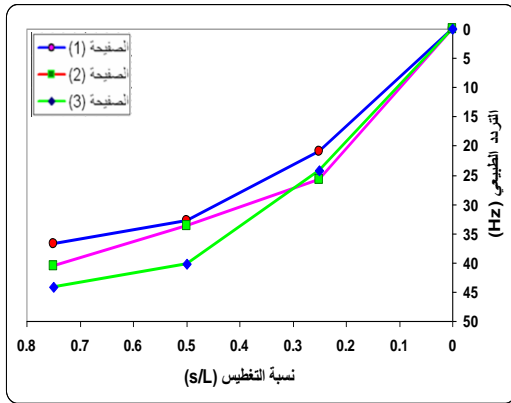


(f) الصفحة الثالثة - في زيت الغاز

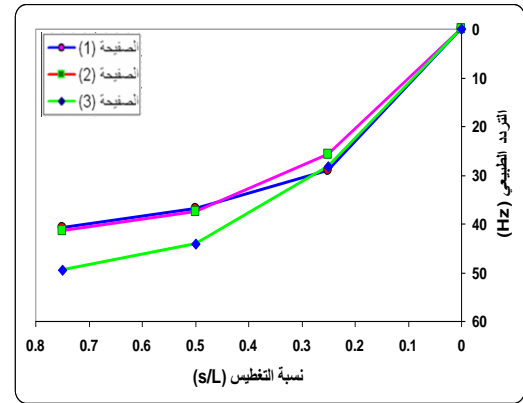


(c) الصفحة الثالثة - في الماء

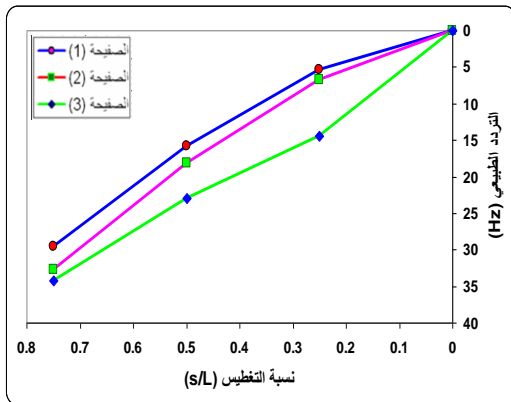
شكل (11) الانخفاض في التردد الثالث مع نسبة التغطية للصفائح الثلاثة في الماء وزيت الغاز



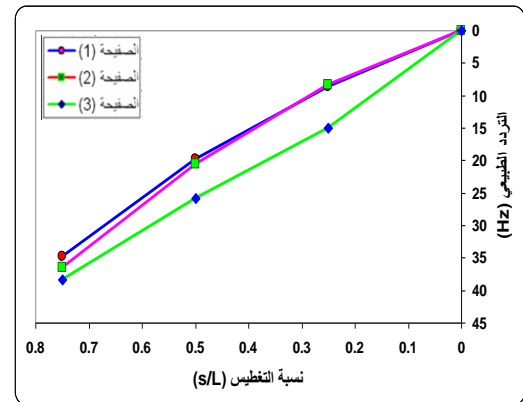
(d) الصفحة الأولى - في زيت الغاز



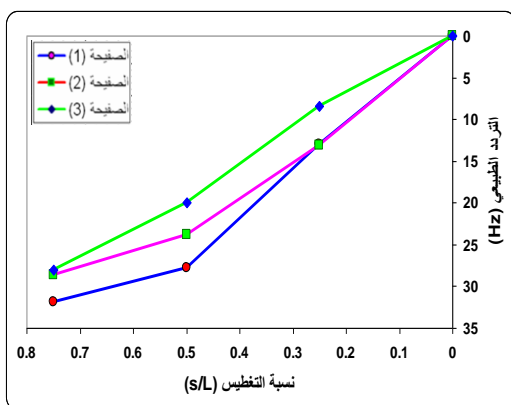
(a) الصفحة الأولى - في الماء



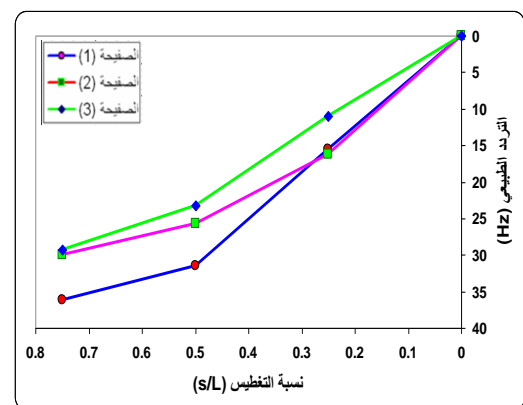
(e) الصفحة الثانية - في زيت الغاز



(b) الصفحة الثانية - في الماء

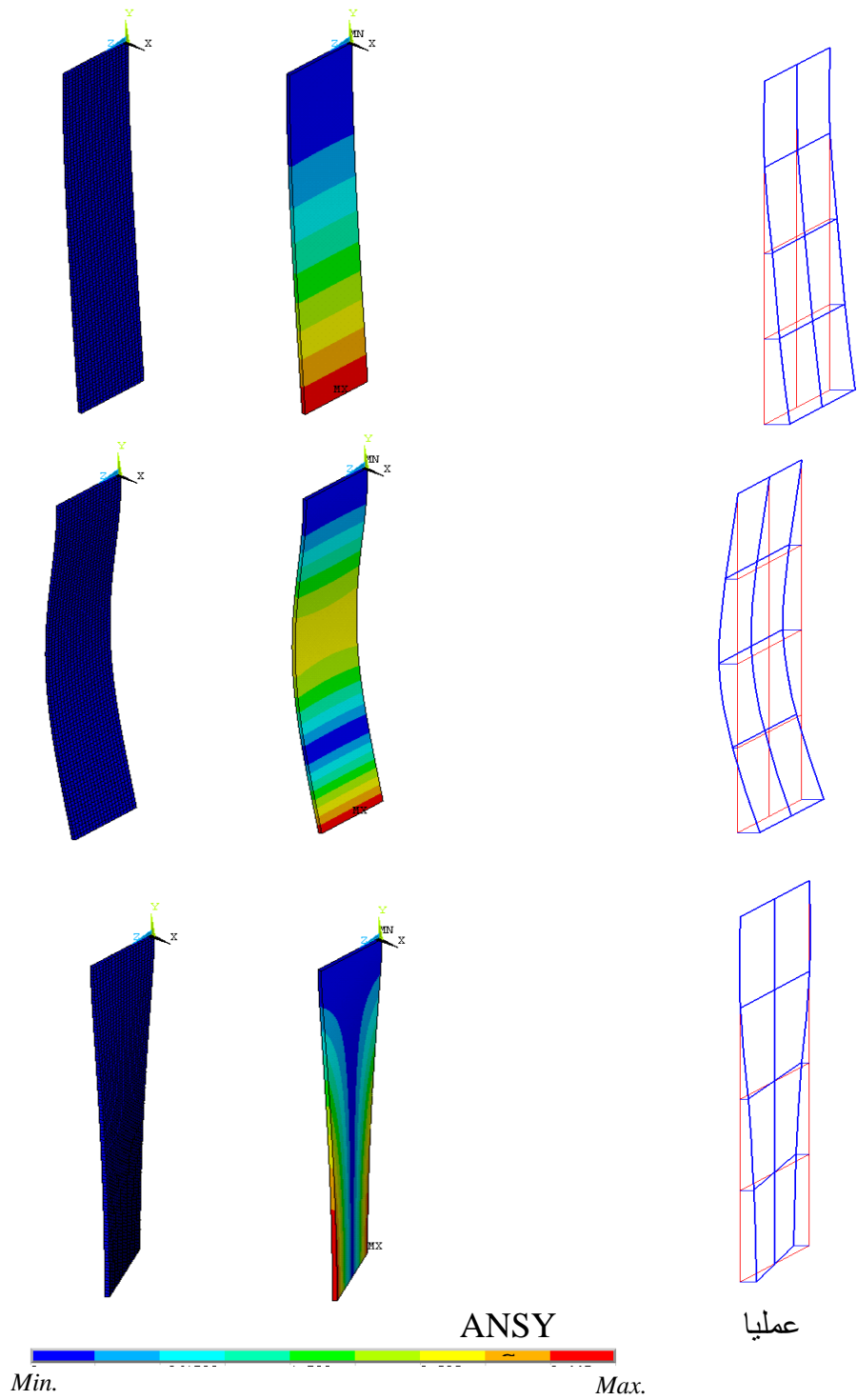


(f) الصفحة الثالثة - في زيت الغاز

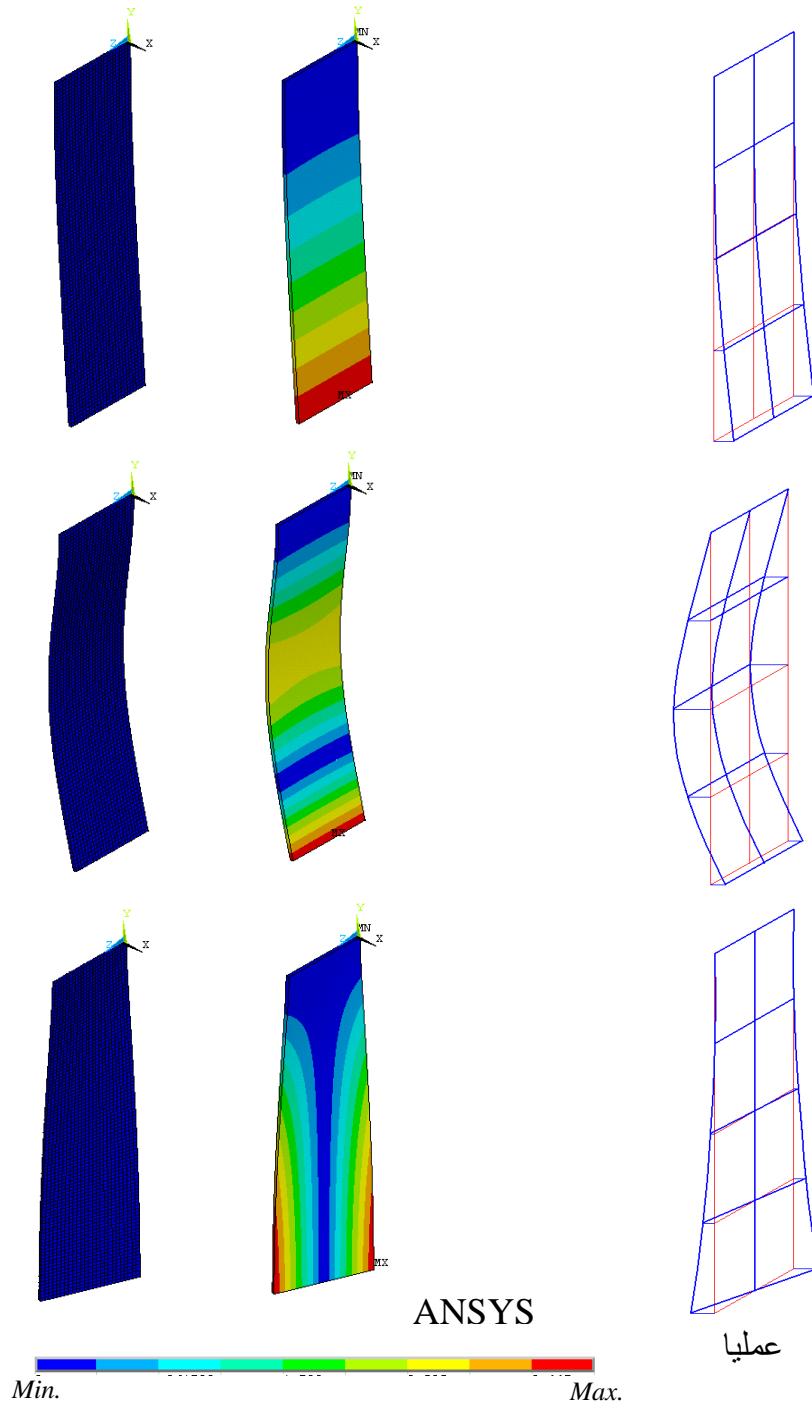


(c) الصفحة الثالثة - في الماء

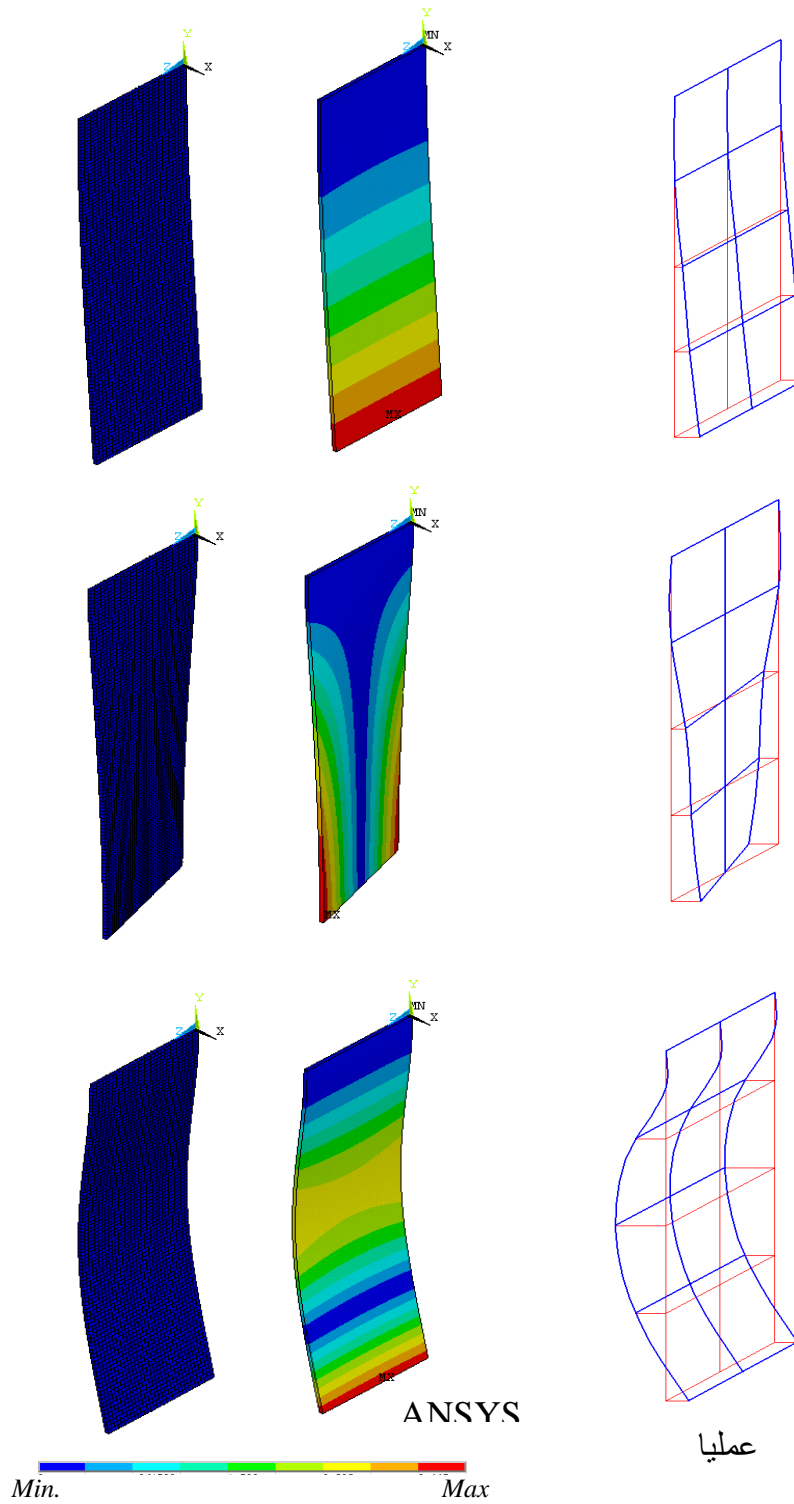
شكل (12) نسبة الانخفاض في الترددات الثلاثة الأولى مع نسبة التغطية للصفائح الثلاثة في الماء وزيت الغاز



شكل (13) أنماط الحركة الثلاثة للصفحة الأولى



شكل (14) أنماط الحركة الثلاثة للصفحة الثانية



شكل (15) أنماط الحركة الثلاثة للصفحة الثالثة