

التحليل динамический للجسور الصندوقية بسيطة الاسناد والمحتوية على حواجز وسطية باستخدام الشريحة المحددة ذات النسق العالي

ريfan ناهض وديع
طالبة ماجستير

أياد امجد عبد الرزاق
أستاذ مساعد

الخلاصة

تم في هذه الدراسة استخدام طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي بناءً على تقنية الخط العقدي المساعد (ANL) لتحليل الاهتزاز القسري للجسور الصندوقية بسيطة الإسناد وذات الحواجز الوسطية المستعرضة وايجاد الاستجابة الديناميكية تحت أحصار المركبات المتحركة وذلك باستخدام طريقة نيومارك التي تقع ضمن طرائق تكميل الزمن الضمني. فيما يخص مصفوفة الكتلة للمجس، فقد استخدمت مصفوفة الكتلة المتجلسة لكل من أفعال الانحناء والأفعال المستوية. كما استعملت طريقة تكثيف كويانGuyanReduction في تخفيض مصفوفات منظومة الجسر وذلك بحذف درجات الحرية التي تعود الى الخط العقدي المساعد لكل من أفعال الانحناء والأفعال المستوية. تم الالتجاء الى طريقة الليونة Flexibility Method لمعالجة حالة الحواجز المستعرضة. أما فيما يتعلق بنموذج المركبة المستخدمة في التحليل فقد استخدم نموذج الكتلة المتحركة، فقد تم تمثيل المركبة بوصفها مجموعة قوة متحركة تمثل محاور المركبة لها قيمة تساوي وزن محور المركبة.

الكلمات الدالة: جسر صندوقي، استجابة ديناميكية، شريحة محددة، حواجز وسطية، اهتزاز قسري، قوة متحركة.

Dynamic Analysis of Simply Supported Box Girder Bridges with Intermediate Diaphragm Using Higher Order Finite Strip

A.A. Abdul-Razzak
Assistant Professor

A.N. Revan
M. Sc.

Abstract

In The present work the method of Higher Order Finite Strip, based on Auxiliary Nodular Line (ANL) technique, was utilized to analyze the forced vibration of the Simply Supported Box Girder Bridges with cross intermediate diaphragms, Also to find out the dynamic response under moving vehicles loads by means of Newmark's method which falls within the Implicit Time Integration methods. The Bridge Mass Matrix and the Consistent Mass Matrix was used for both bending and in plane actions. While the Guyan Reduction method was used for reducing the Bridge System Matrix through omitting the Freedom Degrees belonging to the Auxiliary Nodular Line for both bending and in plane actions, In order to enable the Higher Order Finite Strip method for analyzing the box girder with cross intermediate diaphragms. vehicle model were used in the analysis is the Moving Force (MF) where the vehicle represents a no. of moving force with a value equal to the weight of the vehicle wheel.

قبل: 17-3-2013

استلم: 15-3-2012

1. المقدمة:

استحدثت العديد من الطرائق في التحليل الديناميكي للجسور الصندوقية، وذلك من أجل الحصول على نتائج دقيقة لمنشآت معقدة مثل الجسور الصندوقية، من أبرز طرائق التحليل طريقة الشريحة المحددة التي قدمها العالم (Cheung) عام 1968 فهي تعد طريقة كفؤة ويسيرة لتحليل هذه المنشآت فهي طريقة هجينة إذ أنها تحقق بمميزات كل من طريقة الصفائح متعلمة الخواص وطريقة العناصر المحددة.

خلال السنوات الماضية اهتم العديد من الباحثين بدراسة الاستجابة الديناميكية للجسور في عام (2002) استخدم Yuan-sheng et al. [13] ، طريقة الشريحة المحددة ذات النسق الواطئ في تحليل الاستجابة الديناميكية للصفائح تحت تأثير المركبات المتحركة. واستعمل الباحث شريحة الصفيحة-المركبة لتمثيل الشرائط الواقعة بتناسق مع المركبات. كما ان المعادلة العامة للحركة كانت غير متاظرة وحاوية على قيم وتغيرات التداخل بين الصفيحة والجسر، وتم حل هذه المعادلة بالتكامل العددي للزمن باستعمال طريقة نيومارك Newmark ومن مقارنة النتائج مع طريقة Structural Impedance Method (SIM) استنتاج الباحث كفاءة هذه الطريقة.

أجرى الباحثان Abdul – Razzak & Mohammed [2] ، في عام (2005) التحليل الديناميكي للجسور الصندوقية باستعمال طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالمي. إذ تركز البحث على إجراء التحليل الديناميكي للجسور الصندوقية والصفائح المقوات. وأظهرت الدراسة أن قيمة معامل التكبير الديناميكي (DAF) لا تعتمد على طول الفضاء فقط كما تذكر المواصفات الخاصة بتصميم الجسور، وإنما تعتمد على متغيرات عدّة مثل: سرعة المركبة وإخماد الجسر وإخماد المركبة، وأخيراً موقع التحميل غير المتمركزة. كما بينت النتائج أن قيم عامل الصدمة تكون كبيرة لحالات التحميل الغيرمتراكز مقارنة بالتحميل المركزي لطول الفضاء نفسه.

أما في عام (2009) فقد طبّقت الباحثة Al-Shumam [5] ، طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالمي مع تقنية الخط العقدي المساعد(ANL) فقد استحدثت نوعاً جديداً من الشريحة المحددة، وذلك لوصف ومحاكاة التداخل الديناميكي بين المركبة والجسر والموضحة في الشكل (3). إذ تم استخدام الشريحة التقليدية (الاعتيادية) في تمثيل الشرائط التي لا تقع بتناسق مباشر مع المركبة، في حين تم استخدام شريحة جديدة سميت شريحة الجسر-المركبة لوصف الشرائط التي تكون بتناسق مباشر مع المركبة. وقد استخدمت الباحثة طريقة القيم العشوائية الطبيعية لكاوس في تمثيل القيم العشوائية لخشونة سطح الطريق، وقد أظهرت الدراسة الحالية أن قيم DAF تتاثر وبشكل واضح بخشونة سطح الطريق، فقد تم ملاحظة أن هناك فرقاً بـ (50%) بين حالة الطريق الأملس الذي أهملت فيه خشونة السطح، وحالة الطريق الذيأخذت خشونة سطحه بنظر الاعتبار. كما لوحظ أن معامل الكبار الديناميكي يزداد بزيادة سرعة المركبة.

وفي عام (2011) أجرى الباحث Naoom [10] ، تحليلًا خطياً وغير خطياً حركيًّا للجسور الخرسانية المسلحة باستخدام طريقة العناصر المحددة ذات العناصر ثلاثية الابعاد وعشرين عقدة (Isoperimetric 20 node brick element)، مثل الباحث التشققات في الخرسانة بطريقة التشقق المنتشر، واعتمدت فرضية الترابط التام بين الخرسانة وحديد التسليح خلال مراحل تسليط الاحمال، كما تم تمثيل النقصان والتدهور التدريجي لقوى الربط بين الخرسانة وحديد التسليح باستخدام نموذج تقوية الشد واعتماد تأثير معدل التشوّهات في الخرسانة بإدخال تأثير في سطح الخرسانة في نموذج الضغط.

تم في الدراسة الحالية استعمال طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالمي مع استعمال تقنية الخط المساعد (ANL)(i.e., 6+3)، فقد تم استعمالها مع دالة إزاحة الانحناء ذات الرتبة السادسة Order^{6th}، ودالة الإزاحة المستوية ذات الرتبة الثالثة Order^{3rd}.

2. صياغة الشريحة المحددة ذات النسق العالمي:

1.2 أشتاق مصفوفة الصلابة:

يُعبر عن دالة الإزاحة للشريحة تحت أفعال الانحناء بالصيغة الآتية:[1,2,4]

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^r \left[C^b \right] \left\{ W_m^b \right\} \sin k_m y \quad \dots\dots \quad (1)$$

حيث ان

y : الاتجاه الطولي للشريحة.

$$k_m = m\pi / a$$

r : العدد التوافيقي.

a : طول الشريحة.

: $[C^b]$ مصفوفة المعاملات (من الشروط الحدودية) وهي دالة لـ x فقط، ويعبر عنها بما يلي [2]:

$$\begin{aligned} C_1 &= 1 - 39S^2 + 162S^3 - 276S^4 + 216S^5 - 64S^6 \\ C_2 &= x(1 - 8S + 25S^2 - 38S^3 + 28S^4 - 8S^5) \\ C_3 &= 48S^2 - 224S^3 + 432S^4 - 384S^5 + 128S^6 \\ C_4 &= x(-8S + 32S^2 - 40S^3 + 16S^4) \\ C_5 &= x^2(2 - 12S + 26S^2 - 24S^3 + 8S^4) \\ C_6 &= -9S^2 + 62S^3 - 156S^4 + 168S^5 - 64S^6 \\ C_7 &= x(S - 7S^2 + 18S^3 - 20S^4 + 8S^5) \end{aligned} \quad \dots\dots (2)$$

وأن، $S = x/b$ تمثل عرض الشريحة.

بالنسبة للشريحة متعددة الخواص، فإن متوجه العزم والتقوس يمكن أن تعطى بالصيغة التالية:

$$\{\phi\} = \sum_{m=1}^r [B_m^b] \{W_m^b\} \quad \dots\dots (3)$$

$$\{M\} = [D^b] \{\phi\} \quad \dots\dots (4)$$

$[D^b]$ تمثل مصفوفة المرنة لأفعال الانحناء.

أن الطاقة الكامنة الكلية للشريحة نتيجة الحمل الخارجي $(x, y) q_e$ تمثل بالمعادلة الآتية:

$$U^b = \frac{1}{2} \int_0^a \int_0^b \{M\}^T \{\phi\} dx dy - \int_0^a \int_0^b q_e(x, y) \{W\}^b dx dy \quad \dots\dots (5)$$

بتعويض المعادلتين (3) و (4) في المعادلة (5)، فإن المعادلة الناتجة ولعدد توافق معين m توضح بالصيغة التالية:

$$[S_m^b] \{W_m^b\} = \{F_m^b\} \quad \dots\dots (6)$$

حيث أن $[S_m^b]$ و $\{F_m^b\}$ تمثل كل من مصفوفة الصلابة والقوة على التوالي. وباستخدام نفس الطريقة السابقة يمكن ايجاد كل من مصفوفة الصلابة والقوة للشريحة تحت تأثير الأفعال المستوى وحسب المعادلة التالية :

$$[S_m^p] \{W_m^p\} = \{F_m^p\} \quad \dots\dots (7)$$

تستخدم مصفوفة التحويل $[R]^T$ لتحويل مصفوفة القوى $\{F_m\}$ من الإحداثيات المحلية إلى الإحداثيات الإجمالية للمنشأ $\{\bar{F}_m\}$ وكذلك ربط كل من افعال الانحناء والأفعال المستوى وبالصيغة التالية:

$$\{F_m\} = [R]^T \{\bar{F}_m\} \quad \dots\dots (8)$$

$$\{W_m\} = [R]^T \{\bar{W}_m\} \quad \dots\dots (9)$$

$$[S_m] \{W_m\} = \{F_m\} \quad \dots\dots (10)$$

بتعويض المعادلتين (8) و (9) في المعادلة (10) ينتج مایلی :

$$[\bar{S}_m] \{\bar{W}_m\} = \{\bar{F}_m\} \quad \dots\dots (11)$$

حيث أن

$$[\bar{S}_m] = [R][S_m][R]^T \quad \dots\dots (12)$$

[\bar{S}_m] تمثل مصفوفة الصلابة بالإحداثيات الإجمالية للمنشأ.

2.2 أشتاقاق مصفوفة الكتلة المتاجنسة:

يمكن التعبير عن دالة الإزاحة لأي شريحة كما يأتي [6] :

$$\{f\} = [B]\{W\} = \sum_{m=1}^r [B_m]\{W_m\} \quad \dots\dots(13)$$

حيث أن $[B_m]$ تجمع بين كلاً من المتالية ودالة الإزاحة ويمكن التعبير عنها كما يأتي :

$$[B_m] = [C]Y_m = [C]\sin k_m y \quad \dots\dots(14)$$

إن [C] تمثل مصفوفة معاملات دالة الإزاحة لأفعال الإنحناء أو الافعال المستوية . وبالتالي فإن مصفوفة الكتلة المتاجنسة لكل وحدة تعرف بالمعادلة التالية [6] :

$$[M]_{mn} = \int \rho h [B]_m^T [B]_n d(\text{area}) \quad \dots\dots(15)$$

حيث أن ρ تمثل الكتلة لكل وحدة حجم وأن h تمثل سمك الشريحة .

بالاعتماد على المعادلة (15)، فإن مصفوفة الكتلة المتاجنسة للشريحة ذات النسق العالي تحت تأثير الإنحناء تعطى بالصيغة التالية :

$$[M^b]_n = \int_0^b [C]^T [C] \int_0^a \rho h \sin^2 k_m y dx dy \quad \dots\dots(16)$$

ويمكن أشتاقاق مصفوفة الكتلة المتاجنسة للشريحة تحت تأثير الافعال المستوية بنفس الطريقة السابقة ويمكن التعبير عن مصفوفة $[B]_m$ للفعال المستوية بالشكل التالي:

$$[B]_m = \begin{bmatrix} C_1 Y_m & 0 & C_2 Y_m & 0 & C_3 Y_m & 0 & C_4 Y_m & 0 \\ 0 & \frac{a}{m\pi} C_1 Y'_m & 0 & \frac{a}{m\pi} C_2 Y'_m & 0 & \frac{a}{m\pi} C_3 Y'_m & 0 & \frac{a}{m\pi} C_4 Y'_m \end{bmatrix} \quad \dots\dots(17)$$

إن قيمة كل من C_1, C_2, C_3, C_4 تعرف بالمعادلات التالية :

$$\begin{aligned} C_1 &= 1 - 5S + 8S^2 - 4S^3 \\ C_2 &= 4S - 4S^2 \\ C_3 &= (-2S + 6S^2 - 4S^3)b \\ C_4 &= S - 4S^2 + 4S^3 \end{aligned} \quad \dots\dots(18)$$

إذ أن ($S = x/b$) تمثل S ، و b عرض الشريحة [1,2].

3. معاملة الحاجز المستعرضة:

استخدمت الجسور الصندوقية المستمرة بشكل واسع في السنوات الأخيرة إذ تحتوي هذه الجسور على انواع مختلفة من الحاجز المستعرضة، إذ ممكن ان يكون هذا الحاجز المستعرض غير مسند من الخارج فيدعى الحاجز المرن (Flexible).

(Diaphragm) في البدء يفرض ان الحاجز المستعرض يرتبط بالمقطع الصندوقي بنقط مختارة مسبقاً تسمى بالنقاط المقيدة (Restrained Points) .

ويمكن التعبير عن القوى المقيدة سواء كانت تابعة لحاجز مستعرض او لمسند خارجي بالآتي [9,3] .

$$\{r\}_i = [H_1, V_1, T_1, H_2, V_2, T_2, \dots, H_N, V_N, T_N]^T \quad \dots\dots(19)$$

وبتبع هذه القوى فإن الأزاحات ستكون على النحو الآتي:

$$\{\delta\}_i = [u_1, w_1, \theta_1, u_2, w_2, \theta_2, \dots, u_N, w_N, \theta_N]^T \quad \dots\dots(20)$$

$$[f] \{r\} = \{\delta\}$$

Displacement Compatibility Conditions

.....(21)

والمصفوفة الآتية تمثل مصفوفة الليونة للمقطع المقيد بحاجز مستعرض أو المقطع المثبت خارجياً:

$$[f] = \begin{bmatrix} [f_{11}] & [f_{12}] & \dots & [f_{1L}] \\ [f_{21}] & [f_{22}] & \dots & [f_{2L}] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [f_{L1}] & [f_{L2}] & \dots & [f_{LL}] \end{bmatrix} \quad \dots\dots(22)$$

إذ أن $[f_{LL}]$ تمثل مصفوفة الليونة (Flexibility Matrix) للمقطع المقيد بحاجز مستعرض.

1.3 طريقة الليونة لهيكل التقوية الوسطي القابل للتشوه :

إذا افترضنا أن الحاجز الوسطي لم يكن جاسئاً، وأن هناك تشوّهات سوف تحصل فيه نتيجة تأثير القوى الخارجية، لهذا فإن مصفوفة الليونة الكلية Overall Flexibility Matrix يجب أن تغير في هذه المقاطع التي تحتوي على الحاجز المستعرض. لإدخال تأثير التشوّه الحاصل في الحاجز المستعرض على مصفوفة الليونة فإن من الضروري تطبيق المعادلة الآتية [9,3].

$$[F] = \begin{bmatrix} [f_{11}] & [f_{12}] & \dots & [f_{1L}] \\ [f_{21}] & [f_{22}] & \dots & [f_{2L}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & [f_{LL}] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [f'_{11}] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [f'_{22}] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots \\ 0 & 0 & 0 & [f'_{LL}] \end{bmatrix} \quad \dots\dots(23)$$

علمًا أن $[f'_{LL}]$ تمثل مصفوفة الليونة للحاجز المستعرض في المقطع المقيد.

4. معادلة حركة الجسر :

إن معادلة الاهتزاز القسري التي تُعرف حركة الجسر (Bridge Motion) في الاتجاه الطولي يمكن التعبير عنها بما يأتي [7, 8, 12]:

$$[M]_m \{\ddot{\delta}\}_m + [C]_m \{\dot{\delta}\}_m + [K]_m \{\delta\}_m = \{F\}_m \quad \dots\dots(24)$$

حيث أن:

$\{\delta\}_m$ تمثل درجات الحرية العقدية الشاملة (Nodal Global DOF's) للجسر، وتتضمن تأثيرات الانحناء والتآثيرات المستوىية.

القيم $[M]$ ، $[C]$ و $[K]$ تمثل على التوالي، مصفوفات الكتلة المتجانسة، والإخماد والصلابة للجسر. $\{\ddot{\delta}\}_m$ و $\{\dot{\delta}\}_m$ هي متغيرات ذروات التعجيل والسرعة العقدية على التوالي. أما $\{F\}_m$ فيمثل القوى العقدية الناتجة عن المركبات المتحركة، وقيمتها تتغير حسب حركة المركبة على الجسر.

1.4 حل معادلة حركة الجسر :

استخدمت طريقة Newmark لحل معادلة الحركة للجسر فإذا افترضنا أن $\{\Delta W\}$ تمثل الزيادة في $\{W\}$ التي تحدث خلال فترة زمنية من t إلى $t + \Delta t$ وباستخدام طريقة Newmark فان المتجه $\{W\}$ ومشتقته عند الفترة الزمنية $t + \Delta t$ يمكن التعبير عنه بالمعادلات التالية:

$$\{\ddot{W}\}_{t+\Delta t} = a_0 \{\Delta W\} - a_2 \{\dot{W}\}_t - a_3 \{\ddot{W}\}_t \quad \dots\dots(25)$$

$$\{\dot{W}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{W}\}_t + a_6 \{\ddot{W}\}_t + a_7 \{\ddot{W}\}_{t+\Delta t} \quad \dots\dots(26)$$

$$\{W\}_{t+\Delta t} = \{W\}_t + \{\Delta W\} \quad \dots\dots(27)$$

إن المعاملات المستخدمة في طريقة Newmark تعطى كما يأتي [11] :

$$a_0 = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \quad a_1 = \frac{\gamma}{\beta t} \quad a_2 = \frac{1}{\beta \Delta t} \quad a_3 = \frac{1}{2\beta} - 1 \quad a_4 = \frac{\gamma}{\beta} - 1$$

$$a_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\gamma}{\beta} - 2 \right) \quad a_6 = \Delta t(1 - \gamma) \quad a_7 = \gamma \Delta t$$

بعد حساب القيمة الابتدائية لمتجه التعجيل عند الزمن $t = 0$ حسب المعادلة التالية:

$$\{\ddot{W}\}_0 = [M_B]^{-1} (\{F(0)\} - [C_B]\{\dot{W}\}_0 - [S_B]\{W\}_0) \quad \dots\dots(28)$$

وصياغة مصفوفة الصلابة المؤثرة : $[\hat{S}_B]$

$$[\hat{S}_B] = [S_B] + a_0[M_B] + a_1[C_B] \quad \dots\dots(29)$$

أصبح بالإمكان لكل خطوة زمنية حساب الاستجابة الديناميكية بالخطوات التالية :

1. حساب متجه القوة المؤثرة عند الزمن $t + \Delta t$ كما يأتي :

$$\begin{aligned} \{\hat{F}_B\}_{t+\Delta t} &= \{F_B\}_{t+\Delta t} + [M_B](a_0\{W\}_t + a_2\{\dot{W}\}_t + a_3\{\ddot{W}\}_t) + \\ &[C_B](a_1\{W\}_t + a_4\{\dot{W}\}_t + a_5\{\ddot{W}\}_t) \end{aligned} \quad \dots\dots(30)$$

2. يتم إيجاد قيم الإزاحات عند الزمن $t + \Delta t$ كما يأتي:

$$[\hat{S}_B] \{W\}_{t+\Delta t} = \{\hat{F}_B\}_{t+\Delta t} \quad \dots\dots(31)$$

$$\{W\}_{t+\Delta t} = [\hat{S}_B]^{-1} \{\hat{F}_B\}_{t+\Delta t} \quad \dots\dots(32)$$

3. حساب متجهات التعجيل والسرعة كما يأتي :

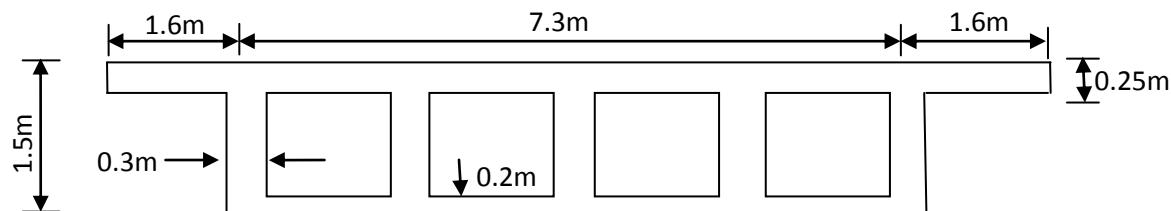
$$\{\ddot{W}\}_{t+\Delta t} = a_0\{\Delta W\} - a_2\{\dot{W}\}_t - a_3\{\ddot{W}\}_t \quad \dots\dots(33)$$

$$\{\dot{W}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{W}\}_t + a_6\{\ddot{W}\}_t + a_7\{\ddot{W}\}_{t+\Delta t} \quad \dots\dots(34)$$

5. الامثلة العددية:

المثال الاول:

يتضمن هذا المثال تحليل جسر صندوقي بسيط الإسناد يحتوي على عدد مختلف من الحاجز الوسطي المستعرضة، إذ يبين الشكل (1) الأبعاد والخصائص المادية للجسر، ولتمثيل مقطع الجسر بالشريحة المحددة، فقد تم قطع الجسر إلى ممرتين إلى 23 شريحة ذات نسق عالي. أما بالنسبة لبرنامج SAP2000 فقد تم التحليل باستخدام طريقة العناصر المحددة من نوع (Shell Element) وكل عقدة ست درجات حرية، تحت تأثير مركبة متراكبة من نوع HS20-44 حسب مواصفات AASHTO ، ولتمثيل حمل المركبة بشكل واقعي تم تسلیط حمل المركبة بست مراحل كل مرحلة تمثل تأثير محور مركبة، ومن ثم جمع تأثير هذه المحاور .

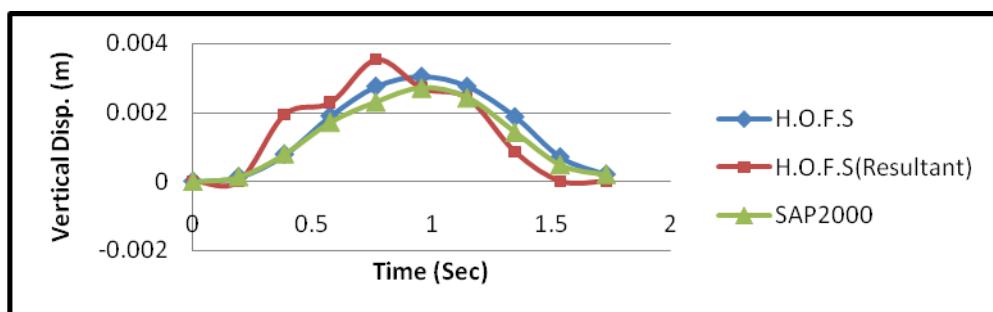


الشكل (1): يوضح المقطع وأبعاد الجسر في المثال الاول

الجدول (1): يوضح الخصائص المادية للجسر

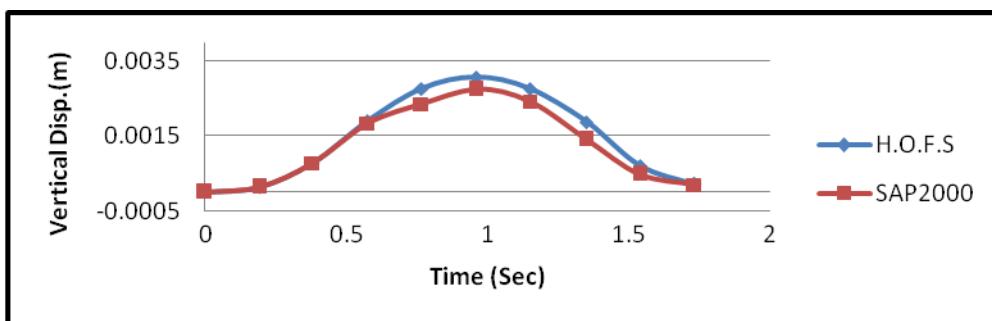
Modulus of Elasticity	Density	Poisson's Ratio	Span	Velocity
$E = 3.34 \times 10^4 \text{ MPa}$	$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$	$\nu = 0.15$	30m	$v = 80 \text{ km/hr}$

الشكل (2) يوضح نتائج تحليل الجسر صندوقي الذي يحتوي على حاجز وسطي في منتصف الفضاء في حافة الشريحة الثامنة وبحالتي تحمل، إذ يمثل المنحني باللون الأحمر مركبة منفردة أحادية المحور (المحصلة للمركبة) أما المنحنيان الآخرين فيتمثلان حالة التحميل للمركبة متعددة المحاور التي ذكرت سابقاً .



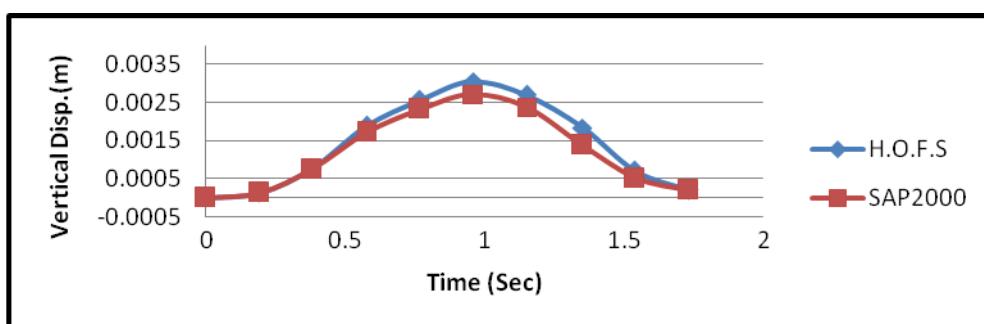
الشكل (2): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء

أما الشكل (3) فيوضح استجابة الجسر صندوقي في حافة الشريحة الثامنة، الذي يحتوي على حاجز وسطي في ربع فضاء الجسر وأخر في ثلاثة أرباع فضاء الجسر، ولحالة التحميل المتمثلة بالمركبة متعددة المحاور التي ذكرت سابقاً.



الشكل (3): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

أما الشكل (4) فيمثل الاستجابة للجسر الصندوقي في حافة الشريحة الثامنة، الذي يحتوي على ثلاثة حواجز وسطية الأول: في ربع الفضاء والثاني في منتصف الفضاء والآخر في ثلاثة أرباع الفضاء.

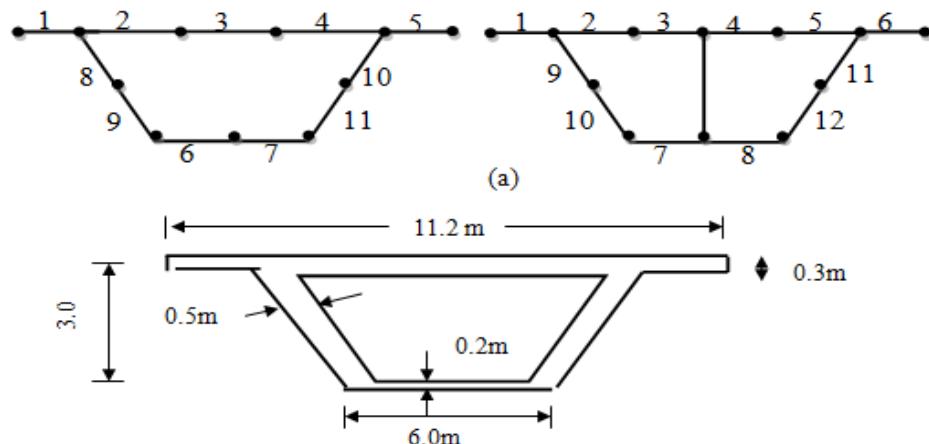


الشكل (4): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

الشكل (2) يوضح الفرق بين تحميل الجسر بشكل مركبة منفردة أحادية المحور (المحصلة للمركبة) وبشكل مركبة متعددة المحاور، لذا تم اتباع حالة التحميل للمركبة متعددة المحاور في جميع الامثلة كذلك نلاحظ من الشكل (2) أن اعظم ازاحة في حالة تحمل المركبة بشكل مركبة منفردة أحادية المحور تحدث عند الزمن 0.76Sec ، في حين ان اعظم ازاحة في حالة تحمل المركبة بشكل مركبة متعددة المحاور تحدث عند الزمن 0.96Sec اي ان حالة تحمل المركبة أحادية المحور تعطي اكبر ازاحة عند مسافة قريبة جداً من وسط الجسر المتمثل بالزمن 0.675Sec . كما نلاحظ من الأشكال السابقة التوافق الجيد للنتائج بين طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي، وطريقة العناصر المحددة (Shell Element) المستخدمة في برنامج SAP2000 وهذا يدل على دقة الطريقة المستخدمة، كما أن عدد الحواجز المستعرضة لا يؤثر بشكل كبير وملحوظ في الاستجابة الديناميكية للجسر.

2.5 المثال الثاني :

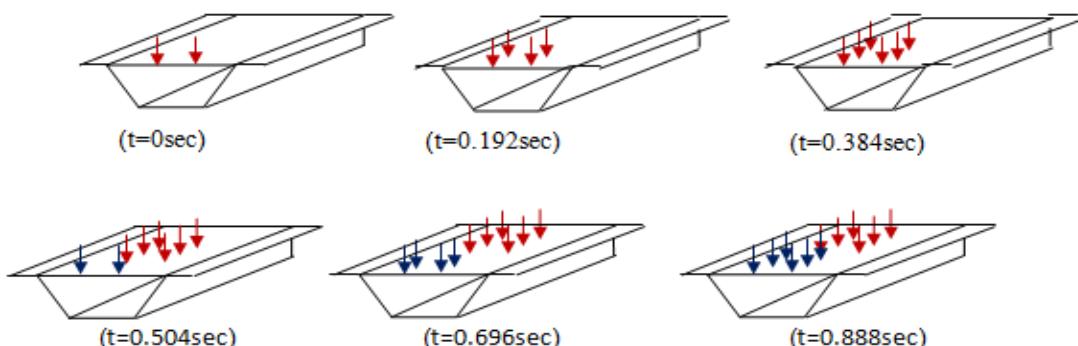
تضمن المثال الحالي تحليل جسر صندوقي يحتوي على حاجز مستعرض في منتصف الفضاء بحالتين الأولى: مكون من خلية واحدة، وقد قسم إلى 11 شريحة محددة ذات نسق عالي لتحليله باستخدام طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي، والثانية: مكون من خليتين من أجل دراسة تأثير عدد الخلايا على الاستجابة الديناميكية للجسر، ومكونة من 12 شريحة ذات نسق عالي وقطع الجسر المكون من خلية واحدة وخلعتين كما هو موضح في الشكل (6a) ، لتمثيل المركبات المتحركة بصورة اقرب للواقع تم تسلیط أكثر من مركبة متحركة من نوع HS20-44 حسب مواصفات الـ AASHTO وبمسافات مختلفة بين المركبات إذ تم تسليط الحمل بطريقة المركبة متعددة المحاور المذكورة في المثال الاول عند التحليل بطريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي.



الجدول (2): يوضح الخصائص المادية للجسر

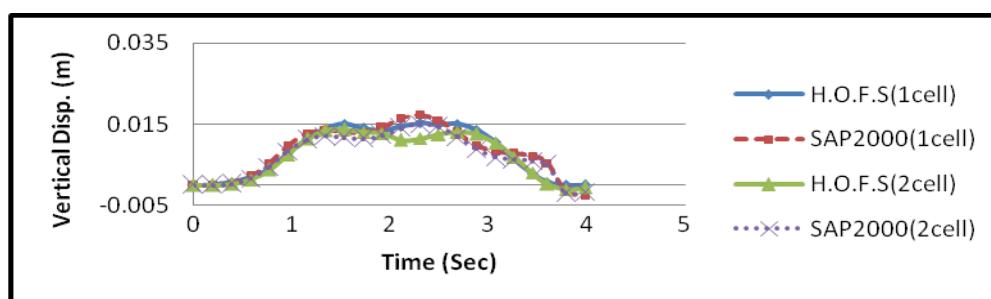
Modulus of Elasticity	Density	Poisson's Ratio	Span	Velocity
$E = 2.1 \times 10^4 \text{ MPa}$	$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$	$\nu = 0.15$	80m	$v = 80 \text{ km/hr}$

تم تحمل الجسر بالمركبتين عند تحليله باستخدام طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي وكما هو موضح في الشكل (7).



الشكل (7): يوضح كيفية تحمل الجسر بالمركبتين

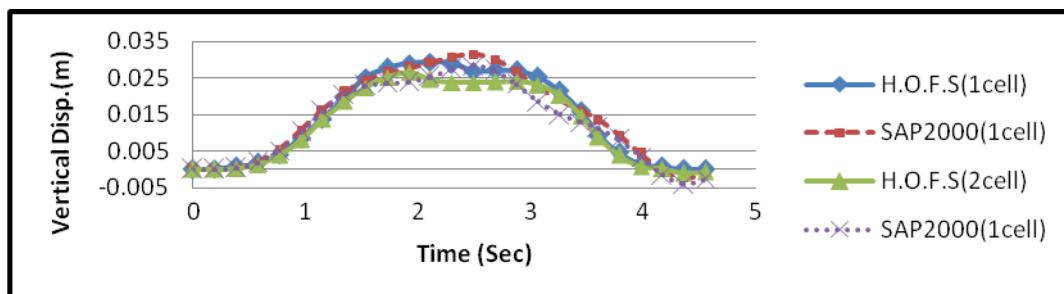
الشكل (8) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقي المكون من خلية واحدة وخلتين في منتصف الشفة العليا نتيجة مرور مركبة واحدة بسرعة .40km/hr



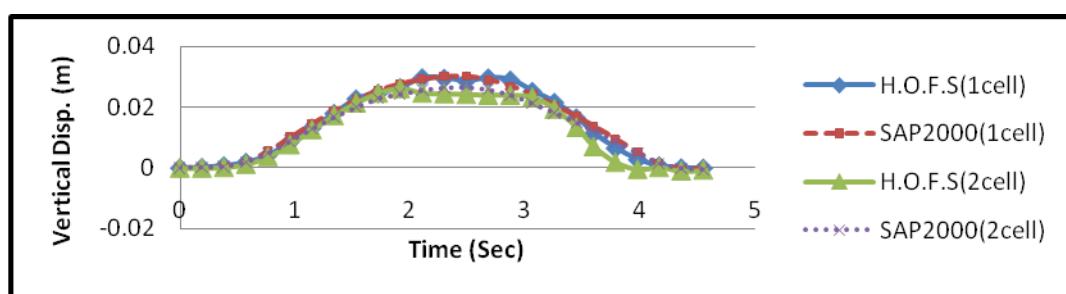
الشكل (8): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

الشكل (9) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقى المكون من خلية واحدة وخليتين في منتصف الشفة العليا، نتيجة مرور مركبتين متتاليتين المسافة بينهما 2m وبسرعة 40km/hr.

الشكل (10) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقى المكون من خلية واحدة وخليتين في منتصف الشفة العليا، نتيجة مرور مركبتين متتاليتين المسافة بينهما 4m وبسرعة 40km/hr وأن الزمن 4.56Sec يمثل الزمن الكلى لعبور المركبتين على الجسر.

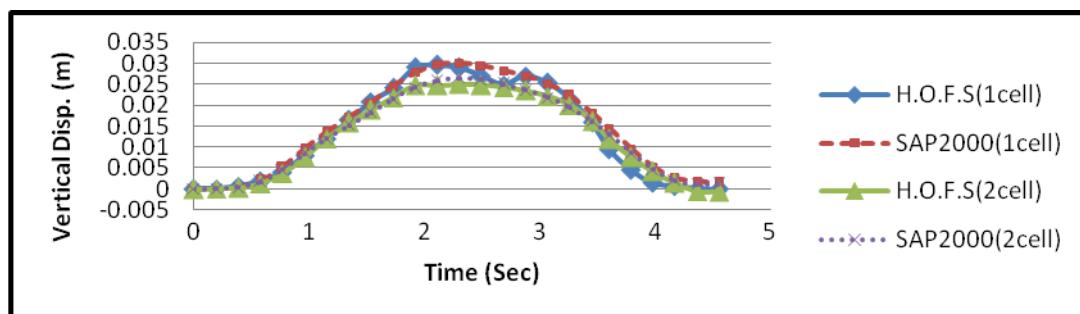


الشكل (9): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر



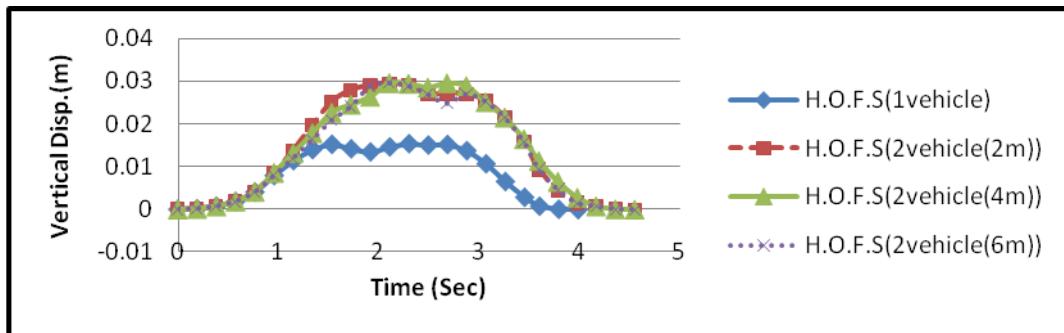
الشكل (10): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

الشكل (11) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقى المكون من خلية واحدة وخليتين في منتصف الشفة العليا، نتيجة مرور مركبتين متتاليتين المسافة بينهما 6m وبسرعة 40km/hr.



الشكل (11): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

الشكل (12) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقى المكون من خلية واحدة في منتصف الشفة العليا نتيجة مرور مركبة و مركبتين متتاليتين بمسافات مختلفة وبسرعة 40km/hr.

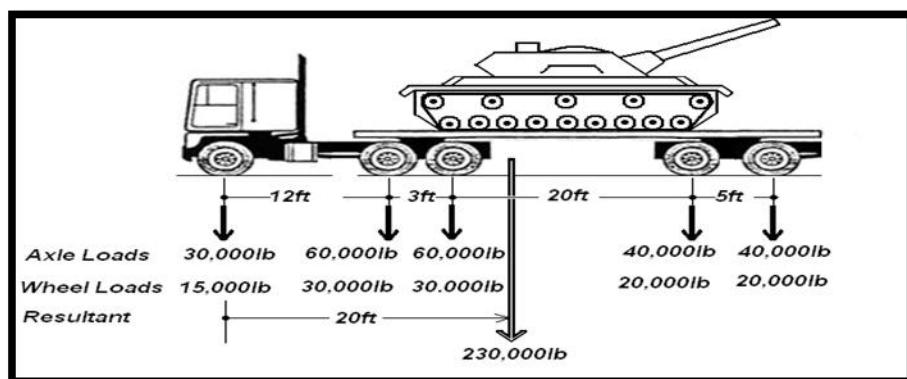


الشكل (12): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

توضيح الأشكال من (8) إلى (12) أن مقدار الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقي المكون من خلبيتين أقل من مقدار الازاحة العمودية في حالة الجسر الصندوقي المكون من خلية واحدة. كذلك فإن مقدار الإزاحة العمودية للجسر تزداد في حالة وجود أكثر من مركبة واحدة وهذا واضح في الشكل (12)، ولنلاحظ أيضاً من الأشكال السابقة أن شكل منحنى الاستجابة يكون منتظمًا في حالة مرور مركبتين أكثر من مرور مركبة واحدة وأنه كلما زادت المسافة بين المركبات نلاحظ أن منحنى الاستجابة يصبح منتظمًا أكثر وأيضاً نلاحظ التوافق الجيد لنتائج الحيد لنتائج الشريحة المحددة مع النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج (SAP2000).

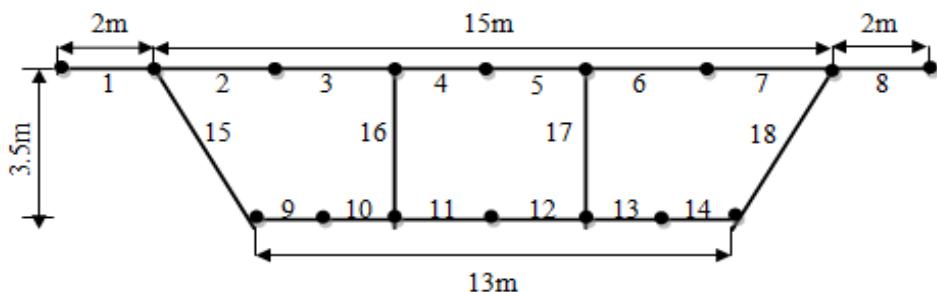
3-5 المثال الثالث :

من الواضح أن التحليل السابق للجسور كان تحت تأثير الشاحنة القياسية من نوع HS20-44 حسب مواصفات الـ AASHTO، والتي تجعل الجسر قادرًا على تحمل مرور الأحمال الاعتيادية بصورة أمينة واقتصادية. إلا أن هناك حالات يكون الجسر فيها معرضًا لمراور أحمال استثنائية ثقيلة، مثل الأحمال العسكرية التي تجعل الجسر يتعرض لإجهادات قاسية قد تؤدي لتضرره أو انهياره. لذا أوصت المواصفة القياسية العراقية للطرق والجسور باعتماد المواصفة القياسية الكندية للأحمال العسكرية الممكن مرورها على الجسور. ويوضح الشكل (13) في أدناه الأحمال والأبعاد للشاحنة العسكرية القياسية Class 100، التي سيتم تدقيق تحمل الجسر تحت تأثيرها، فقد تم التحميل بشكل مركبة منفردة أحادية المحور (المحصلة للمركبة).



الشكل (13): يوضح نموذج المركبة المستخدم

أما عن الجسر الصندوقي فتفاصيله موضحة في الشكل (14)، فقد تم تقسيم الجسر الصندوقي المحظوي على حاجز مستعرض في وسط الفضاء إلى 18 شريحة ذات نسق عالي عند تحليل الجسر باستخدام طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي.



الشكل (14): يوضح مقطع الجسر وابعاده في المثال الثالث

الجدول (3): يوضح الابعاد والخصائص المادية للجسر

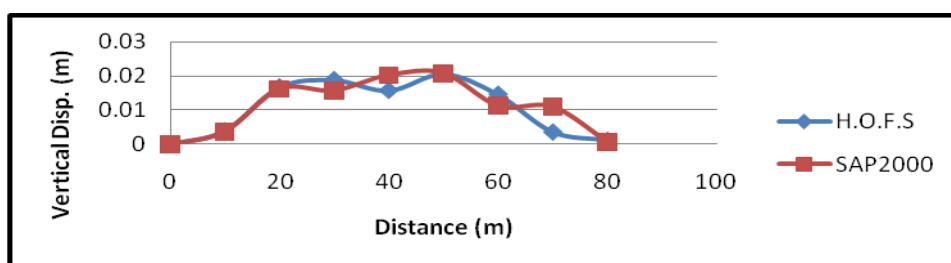
Modulus of Elasticity	Density	Poisson's Ratio	Span	Velocity
$E = 2.28 \times 10^4 \text{ MPa}$	$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$	$\nu = 0.18$	80m	$v = 100 \text{ km/hr}$

(a)

Top Slab Thickness	Bottom Slab Thickness	Girder Thickness
0.5m	0.4m	0.6m

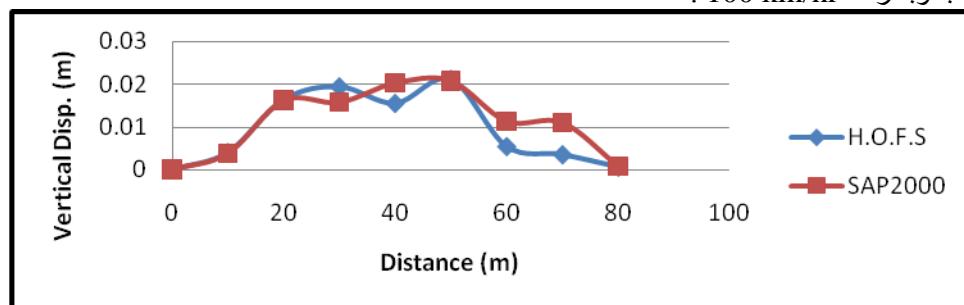
(b)

الشكل (15) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر في حافة الشريحة السابعة وفي منتصف فضاء الجسر نتيجة مرور محصلة مركبتين، الأولى في الحافة اليسرى للشريحة السابعة، والثانية في الحافة اليسرى للشريحة الثالثة، والمركبتان باتجاه الذهاب أي باتجاه واحد وبسرعة . 100 km/hr



الشكل (15): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء

الشكل (16) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر في حافة الشريحة السابعة، وفي منتصف فضاء الجسر نتيجة مرور محصلة مركبتين متلاقيتين بالاتجاه، الأولى في الحافة اليسرى للشريحة السابعة وباتجاه الذهاب، والثانية في الحافة اليسرى للشريحة الثالثة وباتجاه الإياب وبسرعة . 100 km/hr



الشكل (16): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء

نلاحظ من الاشكال السابقة أن الاستجابة الديناميكية للجسر في حالة التحميل الاولى اي عندما تكون المركبات باتجاه واحد أقل من الاستجابة الديناميكية للجسر في حالة التحميل الثانية عندما تكون المركبات متعاكستان باتجاه، كما نلاحظ التوافق الجيد للنتائج بين طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالى، وطريقة العناصر المحددة لبرنامج SAP2000.

6. الاستنتاجات:

من خلال إجراء التحليل الديناميكي بطريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالى لدراسة تأثير العديد من المتغيرات في الاستجابة الديناميكية للجسور، واعتماداً على النتائج التي تم الحصول عليها يمكن التوصل الى الاستنتاجات الآتية : لوحظ وجود تأثير لعدد الخلايا في الاستجابة الديناميكية للجسور، إذ أثبتت النتائج أنه بزيادة عدد خلايا الجسر الصندوقي تزداد صلادة الجسر ممايعنى تقليل الاستجابة للجسر . كما تم التوصل الى ان زيادة عدد الحواجز المستعرضة ليس له تأثير واضح في الاستجابة الديناميكية للجسر . ووجد أيضاً أن الإزاحة العمودية للجسر الناتجة من مرور أكثر من مركبة واحدة أكبر من الإزاحة العمودية للجسر الناتجة من مرور مركبة واحدة كذلك أن الاستجابة الديناميكية للجسر عند مرور مركبتين متجلورتين وباتجاه واحد أقل من الاستجابة الديناميكية للجسر عند مرور مركبتين متعاكستان باتجاه . وأثبتت الدراسة كفاءة برنامج SAP2000 الذي يستخدم طريقة العناصر المحددة في تحليل الجسور الصندوقية البسيطة الاسناد والمستمرة، إذ يتميز هذا البرنامج بالدقة والسهولة في الاستخدام وإظهار النتائج.

7. المصادر:

1. Abdul_Razzak, A. A. (1987). "Solution of Simply Supported and Continuous Box Girder Bridges Using Higher Order Finite Strip Method ", M.Sc. Thesis, Department of Civil Eng., University of Mosul, Iraq.
2. Abdul_Razzak, A. A. & Mohammed, A. A. (2005). "Dynamic Analysis of Box-Girder Bridges Using A Higher Order Finite Strip Formulation", Eng. & Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 601-617.
3. Abdul_Razzak, A. A. & Najem, R. M. (2002). "Solution of Curve Box-Girder Bridges With Intermediate Diaphragms", Vol 10,No.1.
4. Ali, A. H.(1999)."Dynamic Analysis of Bridges Using Finite Strip Method", Ph.D. Thesis, University of Ottawa, Ontario, Canada, pp. 1- 194.
5. AL-Shumam, B. K. A. H. (2009)."Dynamic Response of Box Girder Bridges Due to Moving Vehicles Using Finite Strip Method", M.Sc. Thesis, Department of Civil Eng., University of Mosul,Iraq.
6. Cheung, Y.K.(1969)."The Finite Strip Method in Structural Analysis", Pergamon Press, Oxford.
7. Huang, D.Z., Wang, T.L. & Shahawy, M. (1995). "Vibration of thin- walled box-girder bridges excited by vehicles", ASCE, J. Structural Engineering. 121(9).
8. Humar, J. L. & Kashif, A. M. (1993). "Dynamic Response of Bridges Under Travelling Loads", Canadian J. Civil Eng. 20:287-298.
9. Loo, Y. C. & Cusens, A. R. (1978). "The Finite Strip Method in Bridge Engineering", Eyre and Spottiswoode, London, pp.1-220.
- 10 Naoom, E. N. (2011)."Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Girder Bridges Under Moving Load", Ph.D. Thesis, Department of Civil Eng., University of Mosul, Iraq.
- 11.Tedesco, J. W., Mcddougal W. G. & Ross, C. A. (1999)."Structural Dynamics: Theory and Applications. Addison Wesley Longman,Inc., California.
- 12.Yang, Y. B. & Wu , Y.S. (2001) . "A Versatile Element For Analyzing Vehicle Bridge Interaction Response", Engineering Structural .23:452-469.
13. Yuan-sheng, C., Cheung, Y. K. & Au, F.T.K. (2002). "Dynamic Response of Plates Due to Moving Vehicles Using Finite Strip Method", Applied Mathematics and Mechanics, Vol. 23, No. 5, pp. 507–513.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل