

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

ريفان 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 وإيجاد الاستجابة الديناميكية تحت أحمال المركبات المتحركة وذلك باستخدام طريقة نيومارك التي تقع ضمن طرائق تكامل الزمن الضمني. فيما يخص مصفوفة الكتلة للجسر، فقد استخدمت مصفوفة الكتلة المتجانسة لكل من أفعال الانحناء والأفعال المستوية. كما استعملت طريقة تكثيف كويان Guyan Reduction في تخفيض مصفوفات منظومة الجسر وذلك بحذف درجات الحرية التي تعود إلى الخط العقدي المساعد لكل من أفعال الانحناء والأفعال المستوية. تم الالتجاء إلى 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، حولجز 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.

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 كفوءة وبسيطة لتحليل هذه المنشآت فهي طريقة هجينة إذ أنها تحتفظ بمميزات كل من طريقة الصفائح متعامدة الخواص وطريقة العناصر المحددة.

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

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

أما في عام (2009) فقد طبقت الباحثة Al-Shumam [5]، طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي مع تقنية الخط العنقدي 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 الشرائح التي لا تقع بتماس مباشر مع المركبة، في حين تم استحداث شريحة جديدة سميت شريحة الجسر-المركبة لوصف الشرائح التي تكون بتماس 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 تتأثر وبشكل واضح بخشونة سطح الطريق، فقد تم ملاحظة أن هنالك فرقاً بـ (50%) بين حالة الطريق الأملس الذي أهملت فيه خشونة السطح، وحالة الطريق الذي أخذت خشونة سطحه بنظر الاعتبار. كما لوحظ أن معامل التكبير الديناميكي يزداد بزيادة سرعة المركبة.

وفي عام (2011) أجرى الباحث Naoom [10]، تحليلاً خطياً وغير خطياً حركي للجسور الخرسانية المسلحة باستخدام طريقة العناصر المحددة ذات العناصر ثلاثية الأبعاد 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 التشوهات في الخرسانة بإدخال تأثير في سطح الخضوع في نموذج الضغط.

تم في الدراسة الحالية استعمال طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي 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 العالي: 1.2 اشتقاق مصفوفة الصلابة:

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

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

حيث ان

$$k_m = m\pi / a \quad \text{الاتجاه الطولي للشريحة.}$$

$$a \quad \text{طول الشريحة.}$$

$$r \quad \text{العدد التوافقي.}$$

$[C^b]$ 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، $S = x/b$ و b تمثل عرض الشريحة.

بالنسبة للشريحة متعامدة الخواص، فإن متجه العزم والتقوس يمكن ان 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 المرونة لأفعال الانحناء

أن الطاقة الكامنة الكلية للشريحة نتيجة الحمل الخارجي $q_e(x, y)$ 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 توافقي 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 المستوية 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 الى الإحداثيات الاجمالية للمنشأ $\{\bar{F}_m\}$ وكذلك ربط كل من افعال الانحناء والافعال المستوية 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 مايلي :

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

حيث أن

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

$[S_m]$ تمثل مصفوفة الصلابة بالإحداثيات الإجمالية للمنشأ.

2.2 اشتقاق مصفوفة الكتلة المتجانسة:

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 المتتالية 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 الأفعال المستوية. وبالتالي فإن مصفوفة الكتلة المتجانسة لكل وحدة تعرف بالمعادلة التالية [6]:

$$[M]_{mm} = \int \rho h [B_m]^T [B_m] d(\text{area}) \quad \dots\dots(15)$$

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

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

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

ويمكن اشتقاق مصفوفة الكتلة المتجانسة للشريحة تحت تأثير الأفعال المستوية بنفس الطريقة السابقة ويمكن التعبير عن مصفوفة $[B]_m$ للأفعال 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:

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

$$C_3 = (-2S + 6S^2 - 4S^3) b$$

$$C_4 = S - 4S^2 + 4S^3$$

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

3. معاملة الحواجز المستعرضة:

استخدمت الجسور الصندوقية المستمرة بشكل واسع في السنوات الأخيرة إذ تحتوي هذه الجسور على أنواع مختلفة من الحواجز المستعرضة، إذ يمكن أن يكون هذا الحاجز المستعرض غير مسند من الخارج فيدعى الحاجز المرن (Flexible Diaphragm).

في البدء يفرض أن الحاجز المستعرض يرتبط بالمقطع الصندوقي بنقاط مختارة مسبقاً تسمى بالنقاط المقيدة (Restrained Points) [9,3].

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

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

وتبعاً لهذه القوى فان الازاحات ستكون على النحو الآتي:

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

وبتطبيق الشروط التوافقية للتشوه Displacement Compatibility Conditions

$$[f] \{r\} = \{\delta\} \quad \dots\dots(21)$$

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

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

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 جاسماً، وأن هناك تشوهات سوف تحصل فيه نتيجة تأثير القوى الخارجية، لهذا فإن مصفوفة الليونة الكلية Overall Flexibility Matrix يجب ان تغير في هذه المقاطع التي تحتوي على الحواجز المستعرضة. لإدخال تأثير التشوه الحاصل في الحاجز المستعرض على مصفوفة الليونة فإن من الضروري تطبيق المعادلة الآتية [9,3] .

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

علماً أن

$[f'_{ii}]$: تمثل مصفوفة الليونة للحاجز المستعرض في المقطع المقيد i.

4. معادلة حركة الجسر :

إن معادلة الاهتزاز القسري التي تُعرف حركة الجسر (BridgeMotion) 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 والتأثيرات المستوية.

القيم $[M]$ ، $[C]$ و $[K]$ تمثل على التوالي، مصفوفات الكتلة المتجانسة، والإخماد والصلابة للجسر. $\{\dot{\delta}\}_m$ و $\{\ddot{\delta}\}_m$ هي متجهات 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 فإن المتجه $\{W\}$ ومشتقاته عند الفترة الزمنية $t + \Delta t$ يمكن التعبير عنه بالمعادلات التالية:

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

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

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

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:

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

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

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

أصبح بالإمكان لكل خطوة زمنية حساب الاستجابة الديناميكية بالخطوات التالية :

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

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

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

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

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

3. حساب متجهات التعجيل والسرعة كما يأتي :

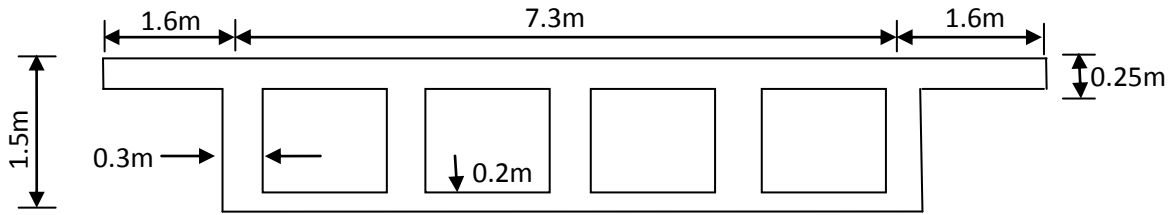
$$\{\ddot{W}\}_{t+\Delta t} = a_0 \{\Delta W\} - a_2 \{\dot{W}\}_t - a_3 \{\ddot{W}\}_t \quad \text{.....(33)}$$

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

5. الامثلة العددية:

1.5 المثال الاول:

يتضمن هذا المثال تحليل جسر صندوقي بسيط الإسناد يحتوي على عدد مختلف من الحواجز الوسطية المستعرضة، إذ يبين الشكل (1) الأبعاد والخصائص المادية للجسر، ولتمثيل مقطع الجسر بالشريحة المحددة، فقد قسم مقطع الجسر الى ممرين والى 23 شريحة ذات نسق عالي. أما بالنسبة لبرنامج SAP2000 فقد تم التحليل باستخدام طريقة العناصر المحددة من نوع (Shell Element) ولكل عقدة ست درجات للحرية، تحت تأثير مركبة متحركة من نوع HS20-44 حسب مواصفات الـ AASHTO ، ولتمثيل حمل المركبة بشكل واقعي تم تسليط حمل المركبة بست مراحل كل مرحلة تمثل تأثير محور مركبة، ومن ثم جمع تأثير هذه المحاور .

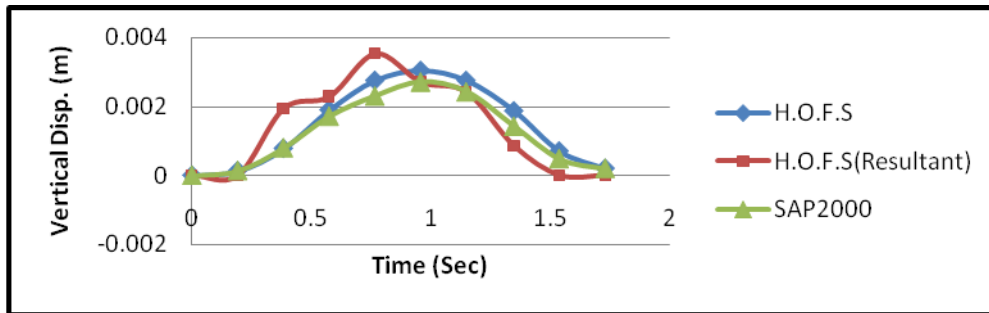


الشكل (1): يوضح المقطع وأبعاد الجسر في المثال الاول

الجدول (1): يوضح الخصائص المادية للجسر

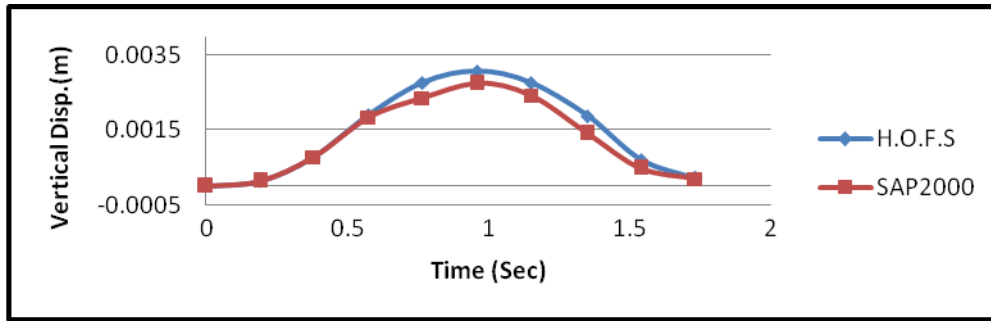
Modulus of Elasticity	Density	Poisson's Ratio	Span	Velocity
$E = 3.34 * 10^4 \text{ MPa}$	$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$	$\nu = 0.15$	30m	$v = 80 \text{ km/hr}$

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



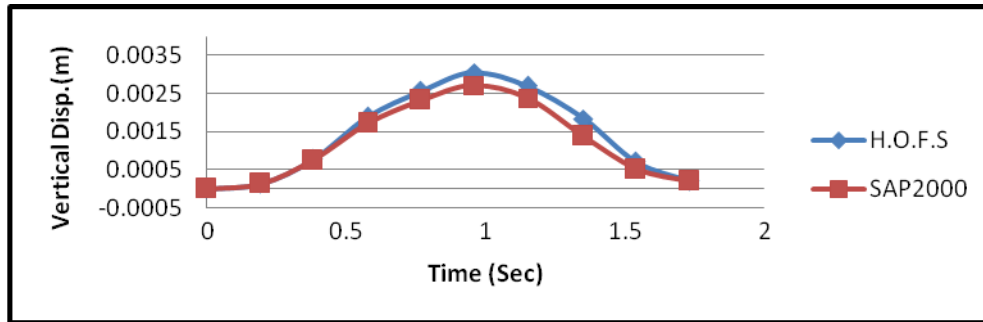
الشكل (2): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء

أما الشكل (3) فيوضح استجابة الجسر صندوقي في حافة الشريحة الثامنة، الذي يحتوي على حاجز وسطي في ربع فضاء الجسر وآخر 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 الأولى: في ربع الفضاء والثاني في منتصف الفضاء والآخر في ثلاثة أرباع الفضاء.

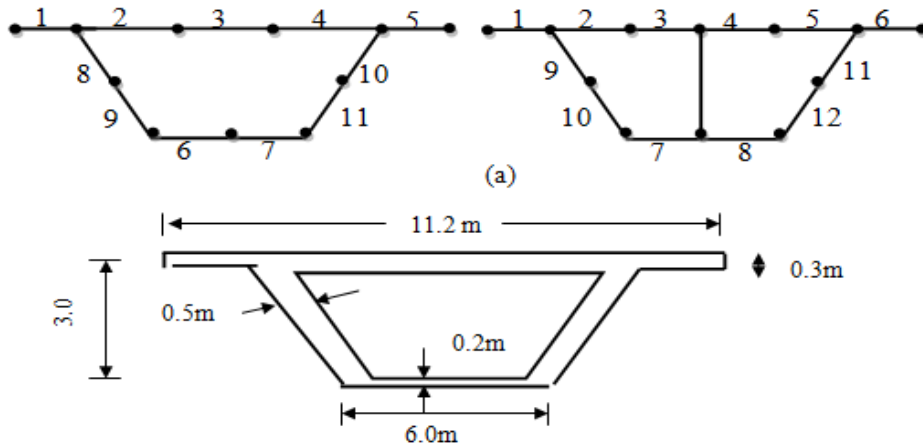


الشكل (4): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

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 إزاحة في حالة تحميل المركبة بشكل مركبة منفردة أحادية المحور تحدث عند الزمن 0.76Sec، في حين إن اعظم إزاحة في حالة تحميل المركبة بشكل مركبة متعددة المحاور تحدث عند الزمن 0.96Sec أي أن حالة تحميل المركبة أحادية المحور تعطي أكبر إزاحة 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 :

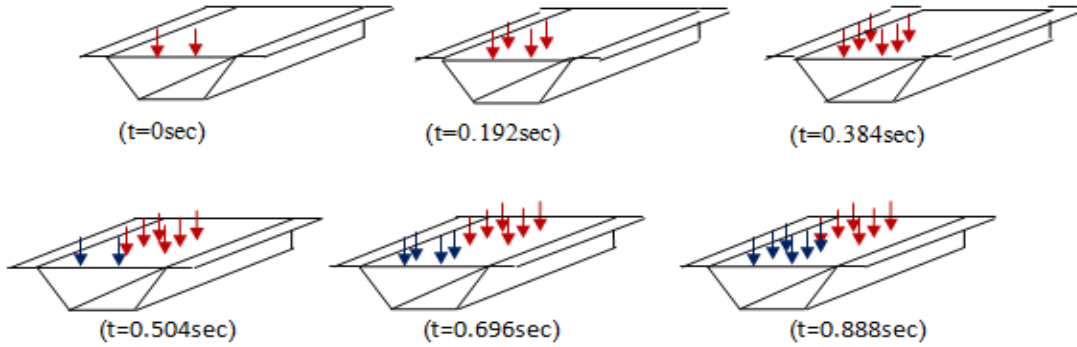
تضمن المثال الحالي تحليل جسر صندوقي يحتوي على حاجز مستعرض في منتصف الفضاء بحالتين الأولى: مكون من خلية واحدة، وقد قسم إلى 11 شريحة محددة ذات نسق عالي لتحليله باستخدام طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي، والثانية: مكون من خليتين من أجل دراسة تأثير عدد الخلايا على الاستجابة الديناميكية للجسر، ومكونة من 12 شريحة ذات نسق عالي ومقطع الجسر المكون من خلية واحدة وخليتين كما هو موضح في الشكل (6a) ، لتمثيل المركبات المتحركة بصورة اقرب للواقع تم تسليط 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 الأول عند التحليل بطريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي.



الجدول (2): يوضح الخصائص المادية للجسر

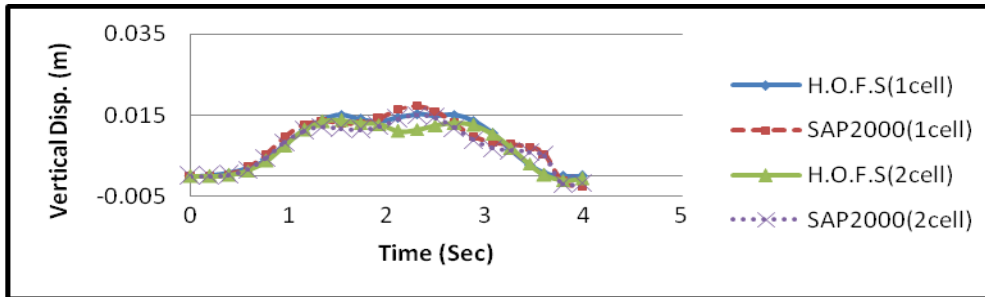
Modulus of Elasticity	Density	Poisson's Ratio	Span	Velocity
$E = 2.1 * 10^4 \text{MPa}$	$\rho = 2400 \text{kg/m}^3$	$\nu = 0.15$	80m	$v = 80 \text{km/hr}$

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



الشكل (7): يوضح كيفية تحميل الجسر بالمركبتين

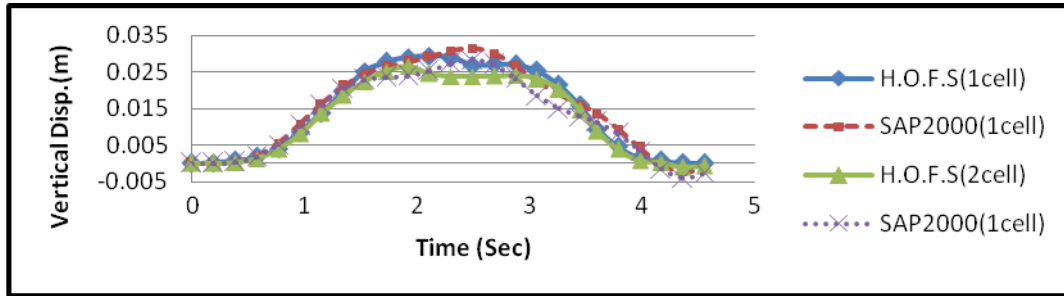
الشكل (8) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقي المكون من خلية واحدة وخليتين في منتصف الشفة العليا نتيجة مرور مركبة واحدة بسرعة 40km/hr.



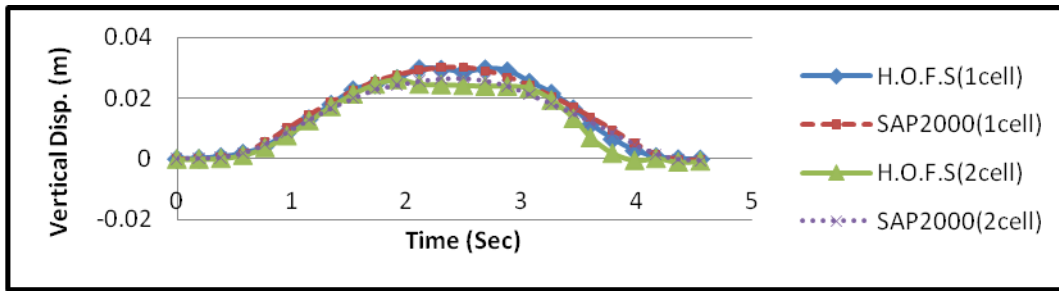
الشكل (8): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

الشكل (9) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقي 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 الصندوقي 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 الكلي لعبور المركبتين على الجسر.

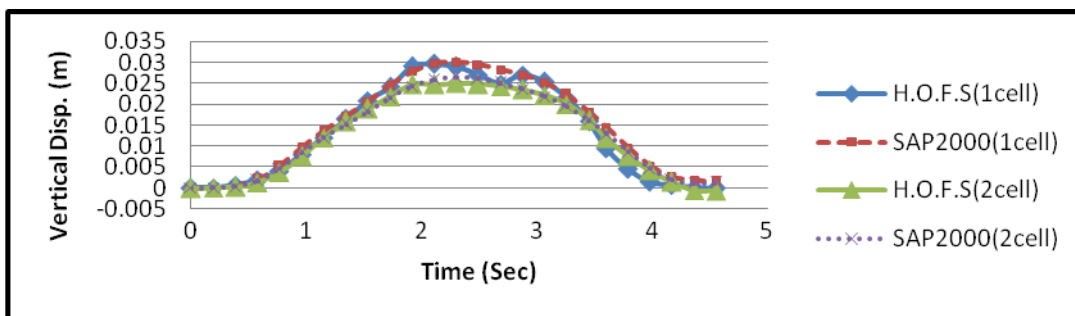


الشكل (9): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر



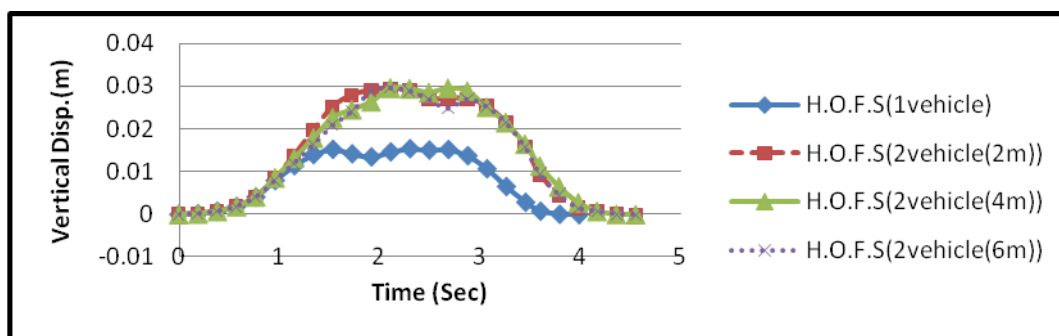
الشكل (10): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

الشكل (11) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقي 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 الصندوقي المكون من خلية واحدة في منتصف الشفة العليا نتيجة مرور مركبة و مركبتين متتاليتين بمسافات مختلفة وبسرعة 40km/hr.

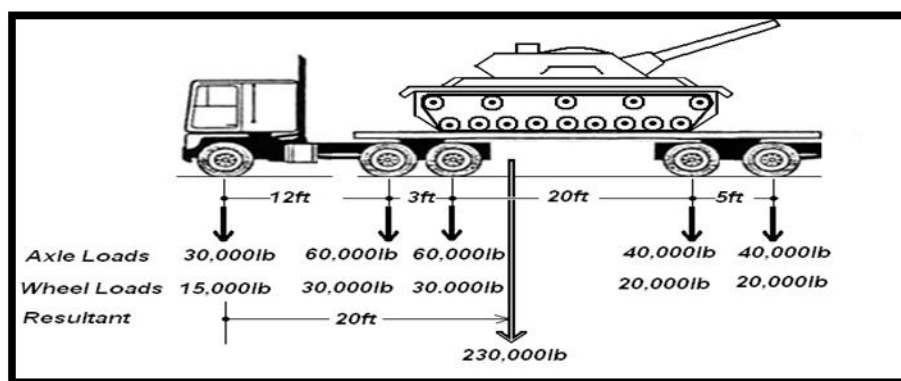


الشكل (12): يوضح الاستجابة الديناميكية في منتصف فضاء الجسر

توضح الأشكال من (8) الى (12) أن مقدار الاستجابة الديناميكية للجسر الصندوقي المكون من خليتين أقل من مقدار الإزاحة 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)، ونلاحظ أيضاً من الأشكال السابقة أن شكل منحنى الاستجابة يكون منتظماً في حالة مرور مركبتين أكثر من مرور مركبة واحدة وأنه كلما زادت المسافة بين المركبات نلاحظ أن منحنى الاستجابة يصبح منتظماً أكثر و أيضاً نلاحظ التوافق الجيد لنتائج الشريحة المحددة مع النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج (SAP2000).

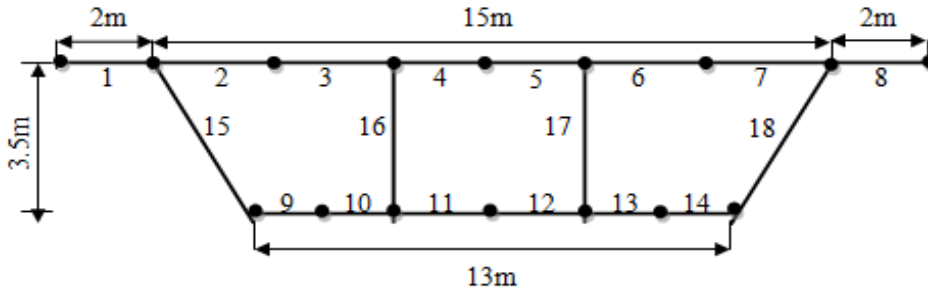
3-5 المثال الثالث :

من الواضح أن التحليل السابق للجسور كان تحت تأثير الشاحنة القياسية من نوع HS20-44 حسب مواصفات الـ AASHTO، والتي تجعل الجسر قادراً على تحمل مرور الأحمال الاعتيادية بصورة أمينة واقتصادية. إلا أن هناك حالات يكون الجسر فيها معرضاً لمرور 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 حمل 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 المحتوي على حاجز مستعرض في وسط الفضاء الى 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 و الخصائص المادية للجسر

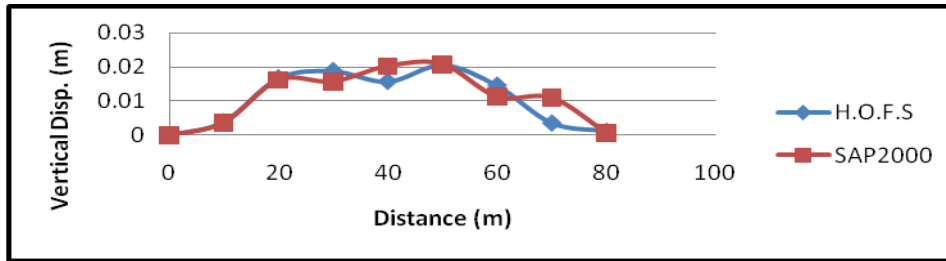
Modulus of Elasticity	Density	Poisson's Ratio	Span	Velocity
$E = 2.28 \cdot 10^4 \text{MPa}$	$\rho = 2400 \text{kg/m}^3$	$\nu = 0.18$	80m	$v = 100 \text{km/hr}$

(a)

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

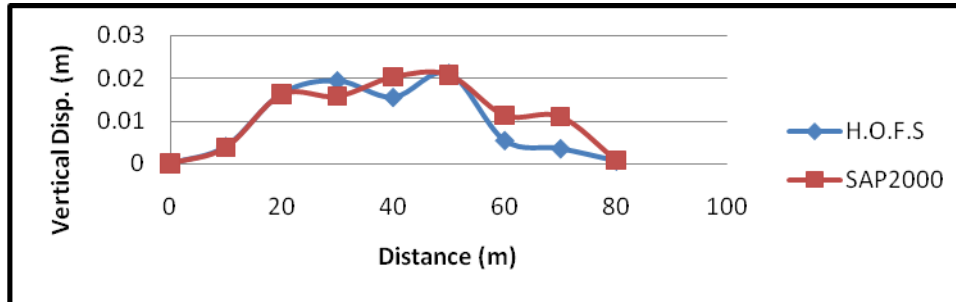
(b)

الشكل (15) يوضح الاستجابة الديناميكية للجسر في حافة الشريحة السابعة وفي منتصف فضاء الجسر نتيجة مرور 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 مركبتين متعاكستين 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 المركبتان باتجاه واحد أقل من الاستجابة الديناميكية للجسر في حالة التحميل الثانية عندما تكون المركبتان متعاكستين بالاتجاه، كما نلاحظ التوافق الجيد للنتائج بين طريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي، وطريقة العناصر المحددة لبرنامج SAP2000.

6.الاستنتاجات:

من خلال إجراء التحليل الديناميكي بطريقة الشريحة المحددة ذات النسق العالي 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 مما يعني تقليل الاستجابة للجسر . كما تم التوصل الى ان زيادة عدد الحواجز المستعرضة ليس له تأثير واضح في الاستجابة الديناميكية للجسر . ووجد أيضاً أنّ 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 متجاورتين وباتجاه واحد أقل من الاستجابة الديناميكية للجسر عند مرور مركبتين متعاكستين بالاتجاه . 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.

:References

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 Naom, 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.