

دراسة أثر التقييد العرضي لمساند البنى الفوقية لنماذج جسور السكك الحديدية على السلوك الديناميكي لركائزها تحت تأثير الحمولات الزلزالية

الدكتور زكائي طريفي*

الدكتور نزيه منصور**

محمد خضور***

(قبل للنشر في 2006/9/10)

□ الملخص □

أنجزت هذه الدراسة على نموذجين من الجسور البيتونية للسكك الحديدية، الأول منقذ في المنطقة الداخلية السورية على بعد 13.6 Km من محطة دير الزور على محور سكة حديد دير الزور- الطابية، أما الثاني فقد شُيد في المنطقة الساحلية فوق نهر البدواي على محور سكة حديد العكاري - طرابلس. نفذت مساند البنية الفوقية للنموذج الأول من النيوبرين بحيث تسمح بحركتها المحدودة في كافة الاتجاهات عند خضوعها لتأثير الهزات الزلزالية الأمر الذي سيزيد القوى الجانبية، وعزوم الانعطاف القاعدية لركائزها، أما مساند النموذج الثاني، فكانت معدنية أسطوانية مما يُنقص القوى والعزوم المذكورة على ركائز هذا النموذج. أظهرت نتائج هذا البحث أنه من الممكن تخفيض القوى والعزوم المذكورة بإنقاص كتلة البنية الفوقية للجسر المساهمة في اهتزاز ركائزها عرضياً لدى خضوعه للزلازل وذلك بتقييد حركة مساندها بهذا الاتجاه.

الكلمات المفتاحية:

السلوك الديناميكي لركائز الجسور - التقييد العرضي لمساند البنى الفوقية للجسور - جسور السكك الحديدية
ركائز - زلازل - جسور - سكك حديدية

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

** مدرس في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

*** طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - اللاذقية - سوريا.

Studying the Lateral Constraint Impact of Superstructures Bearings of Railway Bridge Types on the Dynamic Behavior of its Piers under the Influence of Seismic Loads

Dr. Zakai Tarifi *
Dr. Nazih Mansour **
Mohamad Kattour ***

(Accepted 10/9/2006)

□ ABSTRACT □

This study was conducted on two concrete railway bridge types; the first was structured in the Syrian internal zone 13.6 Ks off Deir Alzor station on Deir Alzor – Tabieh railway axis, while the second was structured in the coastal zone over Baddawi river on Akkari – Tripoli railway axis.

Superstructure bearings of the first type were made of neoprene which allows them to have a restricted movement in all directions when exposed to seismic effects, which will increase the basic lateral force and moments of the piers, while bearings of the second were made of cylindrical metal, and that will decrease the forces and moments of this type of piers.

Results of this study show that the aforementioned force and moments may reduce by decreasing bridge Superstructure mass contributing to the vibration of its piers laterally upon exposure to earthquakes by constraining movement of its bearings in this direction.

Key words: Seismic behavior of bridge piers – the lateral constraint of bridge superstructure bearings- railway bridges – piers – earthquakes – bridges – railway

* Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Postgraduate Student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إنّ تعرّض جسور السكك الحديدية لتأثير الزلازل مترامنة مع إحدى حالات التوضّع الآتية لقوافل القطارات المارة فوقها أمر وارد، وقد بيّنت الدراسات تباين الأداء الزلزالي لتلك الجسور عن شبيبتها الطرقية، إذ كان سلوكها أفضل، لأن الوزن الذاتي لجسور السكك الحديدية أقلّ منه لجسور الطرق ذات المجازات المتماثلة. [1]

أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى ما يأتي:

- 1- دراسة سلوك الأداء الزلزالي لركائز الجسور تحت تأثير التحريضات الزلزالية المطبّقة فيه بالاتجاه العرضي.
- 2- دراسة تأثير التقييد العرضي لمساند البنى الفوقية للجسور في الخصائص الديناميكية للهزّاز لاهتزاز ركائزها عرضياً تحت تأثير الحمولات الزلزالية.
- 3- البحث عن أفضل وضعيات الاستناد للبنى الفوقية للجسور المشيّدة، أو التي سنشأ في المناطق عالية الشدة زلزالية من حيث كفاءتها في تحقيق السلوك الديناميكي الأفضل للأنظمة المُمثّلة لاهتزاز ركائزها عرضياً عند تعرضها للزلازل بهذا الاتجاه.

طريقة البحث:

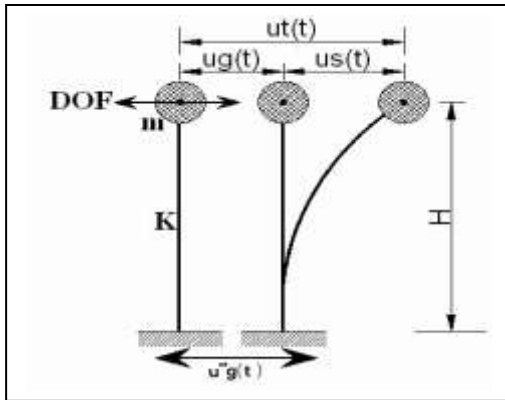
تضمنت طريقة البحث اتباع المنهجية الآتية:

- الدراسة المرجعية للبحث.
- اقتراح وضعيات الاستناد المدروسة للبنى الفوقية لنموذجين من جسور السكك الحديدية على الخطوط السورية.
- التحليل الديناميكي للركيزة الوسطية للنموذجين المدروسين باعتبارها تعمل كإطار مستوي بالاتجاه العرضي.
- التحليل الديناميكي للركيزة الوسطية للنموذجين المدروسين مع الأخذ بالحسبان العمل الفراغي للجسر.
- المقارنة بين نتائج التحليل الناتجة عن وضعيات الاستناد المقترحة باعتماد بعض المتغيرات.
- مناقشة نتائج الدراسة وصياغة استنتاجات وتوصيات البحث.

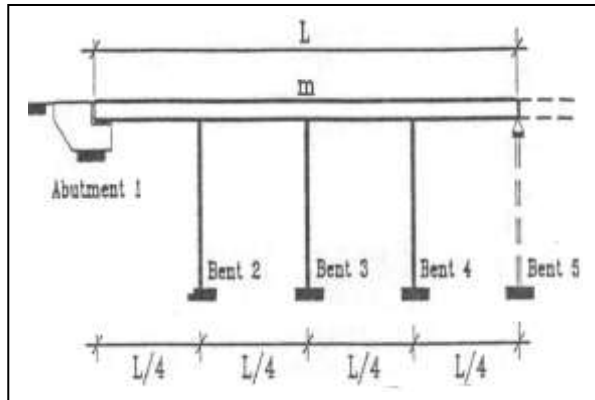
الدراسة المرجعية للبحث:

يمكن دراسة التقييد العرضي لمساند البنى الفوقية للجسور على السلوك الديناميكي لركائزها بالاستعانة بالشكل (1) والذي يمثّل مقطعاً طولياً لجسر نموذجي.

توصف الحركة الجانبية عرضياً لركائز هذا الجسر تحت تأثير الهزّات الزلزالية كما هو موضّح بالشكل (2).



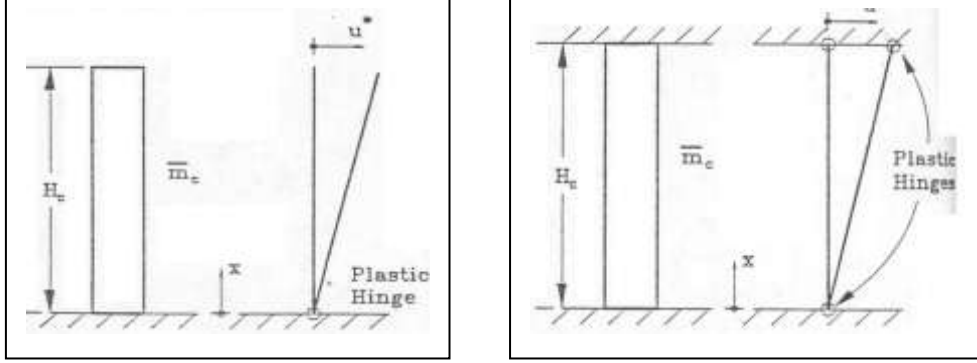
الشكل (2): النموذج الديناميكي للنظام المعتمد في تحليل السلوك الديناميكي لركائز الجسر بتأثير الهزّات الزلزالية



الشكل (1): مقطع طولى للجسر النموذجي [2]

تعطى معادلة الحركة النازمة لسلوك هذا النموذج بالعلاقة: $m_i \ddot{u}_s(t) + C \dot{u}(t) + K_c u(t) = -m_i \ddot{u}_g(t)$

مايهما في هذا الموضوع هو كيفية تحديد الكتل (m_t, m_{cc}, m_{cs}) حيث m_{cs} : كتلة البنية الفوقية المشاركة بالاهتزاز، m_{cc} : كتلة ركائز الجسر المشاركة في الاهتزاز، $m_t = m_{cc} + m_{cs}$: الكتلة الاجمالية للنموذج المدروس. [2]
- تحديد الكتلة m_{cc} : يمثّل الشكل (3) تشوه الركيزة المدروسة.

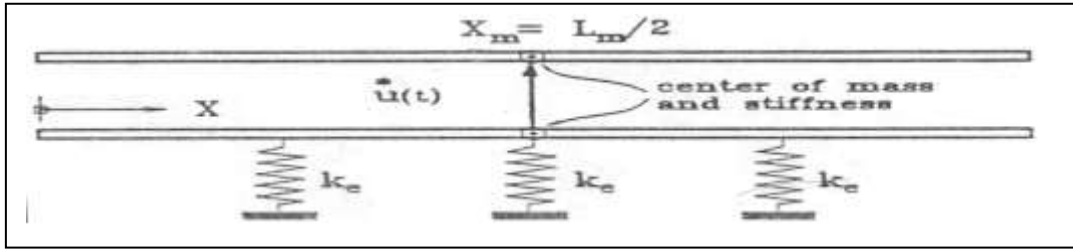


الشكل (3): تشوه الركيزة المدروسة للجسر في الحالتين (الركيزة: موثوقة - موثوقة، الركيزة: موثوقة - حرة) على التوالي [2]

تعطى m_{cc} بالعلاقة: $m_{cc} = m_c/3$ [2] حيث m_c : كتلة الركيزة الوسطية المدروسة والمجمعة في مركز ثقلها.

- تحديد الكتلة m_{cs} : سنحدّد هذه الكتلة ضمن الحالتين التاليتين:

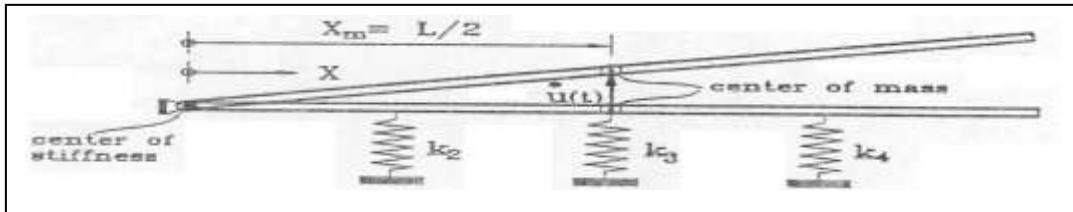
أولاً- البنية الفوقية غير مقيدة عرضياً" في نقاط استنادها: يمثّل الشكل (4) استناد البنية الفوقية في هذه الحالة.



الشكل (4): الاستناد غير المقيد للبنية الفوقية للجسر عرضياً" عند نقاط استنادها [2]

تعطى m_{cs} في هذه الحالة بالعلاقة: $m_{cs} = m_s$ [2] حيث m_s : كتلة البنية الفوقية والمجمعة في مركز ثقلها.

ثانياً- البنية الفوقية مقيدة عرضياً" في احدى نقطتي استنادها: يمثّل الشكل (5) استناد البنية الفوقية في هذه الحالة.



الشكل (5): الاستناد المقيد للبنية الفوقية للجسر عرضياً" عند احدى نقطتي استنادها الطرفيتين [2]

تعطى الكتلة m_{cs} في هذه الحالة بالعلاقة: $m_{cs} = (4/3) * m_s$ [2].

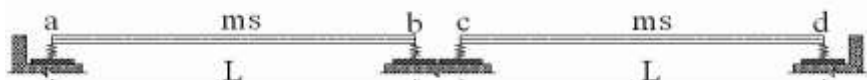
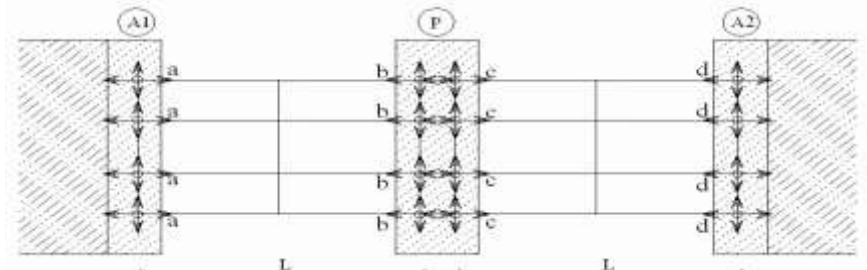
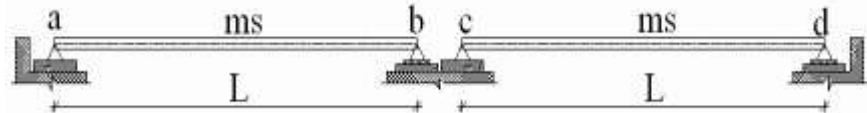
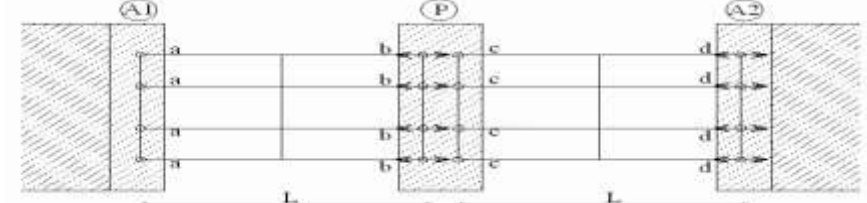
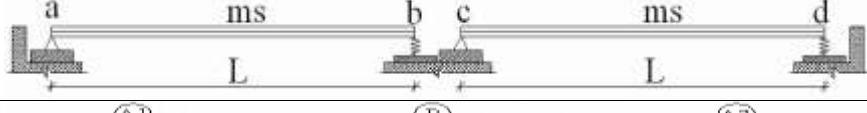
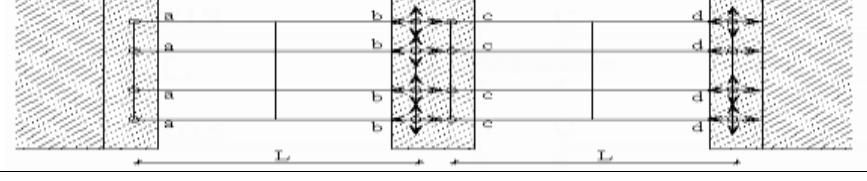
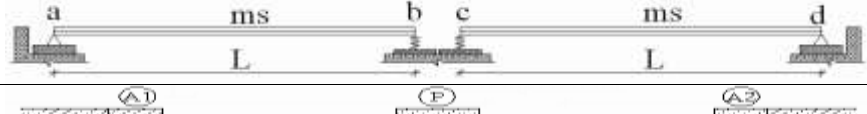
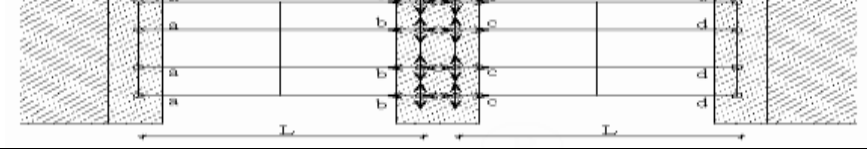
سندرس تأثير التقييد العرضي لمساند البنى الفوقية للنموذجين المدروسين على المواصفات الديناميكية للأنظمة

المعيرة عن اهتزاز ركائزها الوسطية عرضياً" عند تعرضه للهزات الزلزالية بهذا الاتجاه، وذلك في وضعيات الاستناد

الموضحة بالجدول (1)، وهنا لا بد من التنويه إلى أنّه يمكن تقييد حركة استناد البنية الفوقية عرضياً" باستخدام

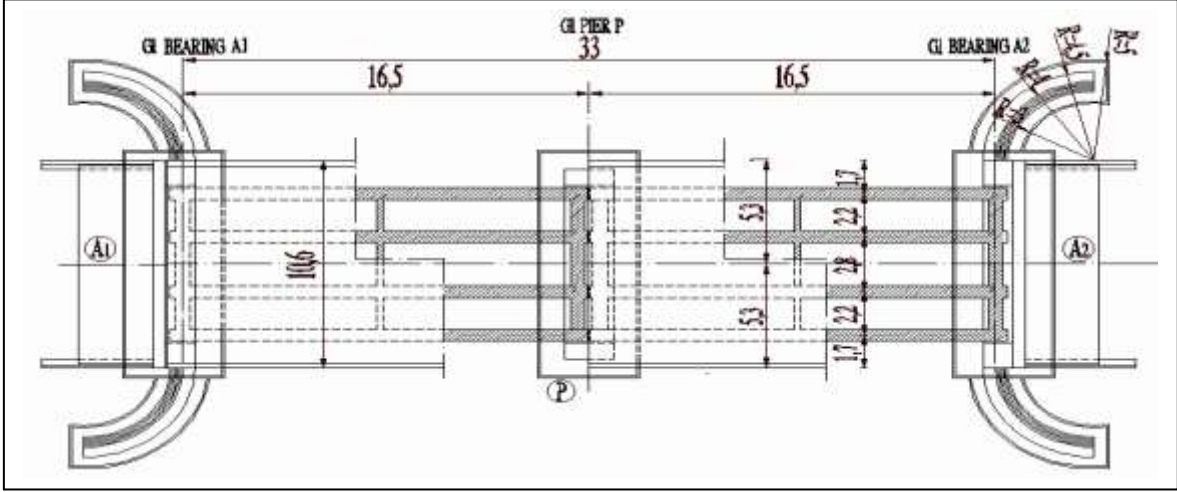
مساند معدنية (أسطوانية أو كروية)، أو مساند نيوبرين مقيدة عرضياً" بإدخال نواة فولاذية بداخلها.

الجدول (1): وضعيات الاستناد المدروسة للبنية الفوقية للجسر

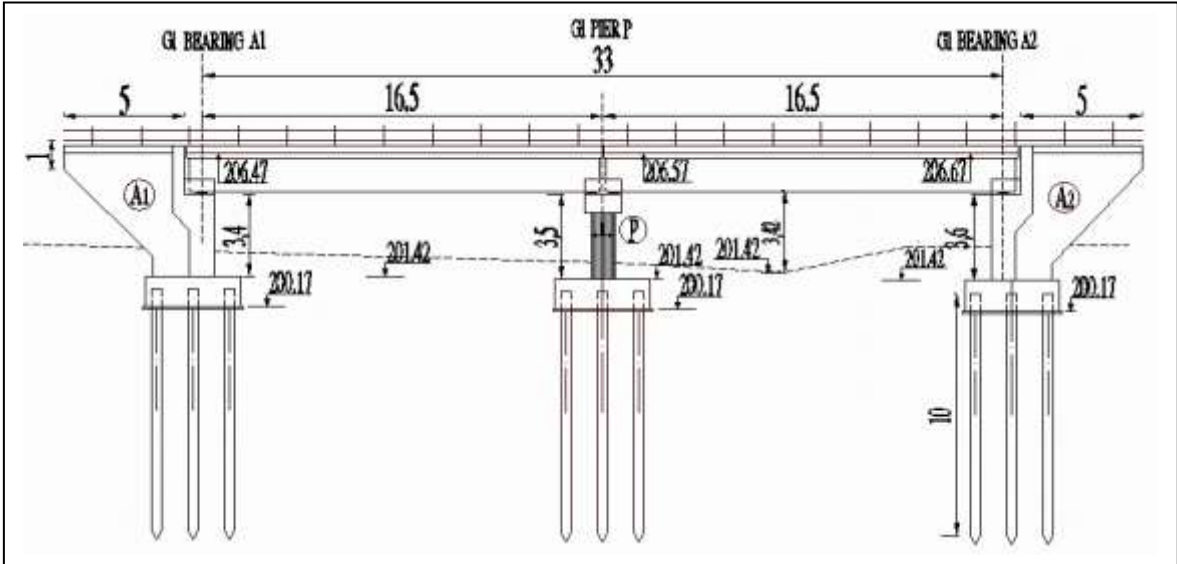
	<p>المقطع الطولي للبنية الفوقية</p>	<p>وضعية الاستناد الأولى (A)</p>
	<p>المسقط الأفقي للبنية الفوقية للجسر</p>	
<p>طوليا" وعرضيا": غير مقيدة الحركة عند جميع نقاط الاستناد (a,b,c,d) للبنية الفوقية للجسر على ركائز الطرفية والوسطية</p>		
	<p>المقطع الطولي للبنية الفوقية</p>	<p>وضعية الاستناد الثانية (B)</p>
	<p>المسقط الأفقي للبنية الفوقية للجسر</p>	
<p>- طوليا": غير مقيدة الحركة عند المسندين (b,d) ومقيدة كلياً عند المسندين (a,c). - عرضيا": مقيدة كلياً عند جميع نقاط الاستناد (a,b,c,d).</p>		
	<p>المقطع الطولي للبنية الفوقية</p>	<p>وضعية الاستناد الثالثة (C)</p>
	<p>المسقط الأفقي للبنية الفوقية للجسر</p>	
<p>طوليا" وعرضيا": غير مقيدة الحركة عند المسندين (b,d) ومقيدة كلياً عند (a,c).</p>		
	<p>المقطع الطولي للبنية الفوقية</p>	<p>وضعية الاستناد الرابعة (D)</p>
	<p>المسقط الأفقي للبنية الفوقية للجسر</p>	
<p>طوليا" وعرضيا": غير مقيدة الحركة عند المسندين (b,c) ومقيدة كلياً عند (a,d).</p>		

الوصف العام للنموذج الأول:

نقّد هذا الجسر على سكة حديد (دير الزور. البوكمال) بمسلكين للذهاب والإياب وبفتحتين بطول إجمالي $(L = 16.5 + 16.5 = 33 \text{ m})$ ، وبميل طولي مقداره (0.6%) وارتفاع الركائز $(3.4 \text{ m}, 3.5 \text{ m}, 3.6 \text{ m})$ على التوالي لركائز الجسر (A_1, P_1, A_2) وذلك اعتباراً من منسوب اتصالها بالأساسات حتى أجهزة الاستناد، ويمثّل الشكلان (6)، (7) على التوالي مسقطاً أفقياً للجسر المدروس ومقطعاً طولياً فيه.



الشكل (6): مسقط أفقي للجسر [3]

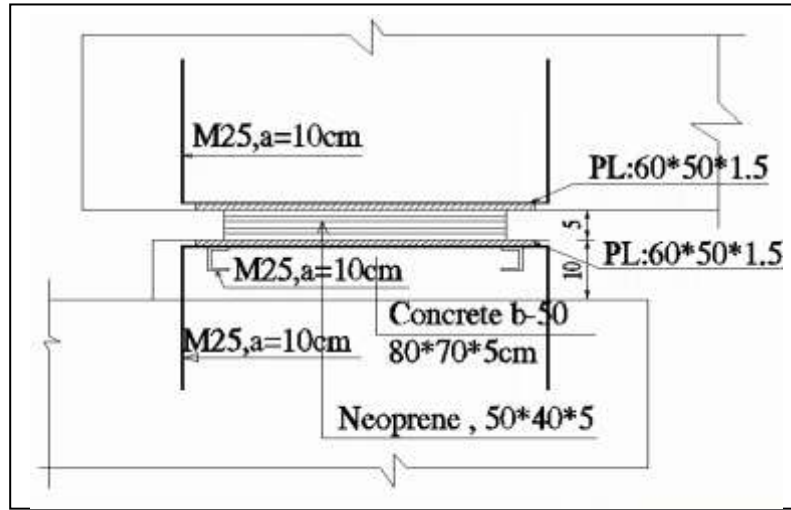


الشكل (7): مقطع طولى في الجسر [3]

- 1-5- وصف مسالك سكة الجسر: الجسر مؤلف من مسارين للذهاب والإياب، وقد اعتمد في الحساب 0.44 t/m^2 كحمولة للوزن الميت على سطح البنية الفوقية (وتشمل وزن قضبان السكة وعوارضها البيتونية وطبقة البلاست).
 2-5- وصف البنية الفوقية للجسر: البنية الفوقية عبارة عن بلاطة بيتونية مصبوبة فوق شبكة جيزان متصالبة مؤلفة من أربعة جيزان رئيسية وثلاثة عرضية.

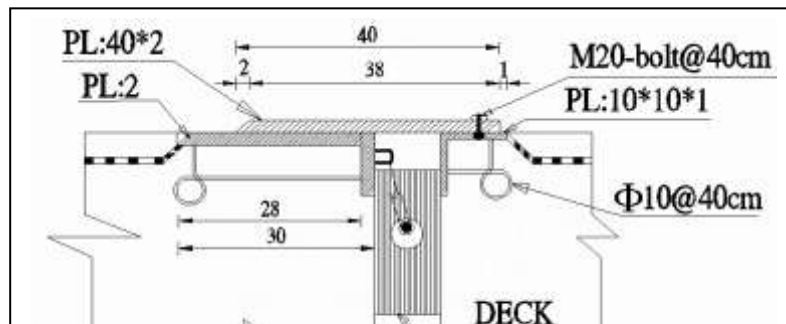
- البلاطة البيتونية: نفذت بسماكة 25cm وبميل عرضي قدره (1.5 %) باتجاه فتحات التصريف المطرية البالغة (8) مصارف مطرية في الفتحة الواحدة، كما جهزت تلك البلاطة بأنظمة عزل خاصة.
- جيزان البنية الفوقية: بيتونية، أبعاد مقطعها العرضي $(1.3 \times 0.6)m$ للجيزان الطولية والعرضية الطرفية و $(1.3 \times 0.3)m$ للجيزان العرضية الوسطية (لاحظ الشكل (10))، أما التباعدات بين الجيزان الرئيسية - (2.8 - 2.2) m وبين الجيزان الثانوية (8.05m).

3-5- وصف أجهزة الاستناد: عبارة عن مساند من النيوبرين بأبعاد $(500 \times 400 \times 50)mm$ متوضعة بين صفيحتين فولاذيتين أبعاد كل منهما $(600 \times 500 \times 15)mm$ مثبتتين على السطحين المتقابلين للجيزان والركائز بوساطة قضبان فولاذية على شكل الحرف (L) قطرها (30 mm) وطولها (450 mm) أي (M30, L = 450mm)، ويمثل الشكل (8) تفصيلة لجهاز الاستناد المستخدم للجسر.



الشكل (8): تفصيلة جهاز استناد جيزان البنية الفوقية (3)

4-5- وصف فاصل التمدد للبنية الفوقية للجسر عند ركائزه الطرفية: يمثل الشكل (9) تفصيلة لهذا الفاصل باستخدام صفائح (Absorber) بسماكة (10 cm) متوضعة بين الطرفين المتقابلين للجيزان والركائز ومحصورة بين زاويتين معدنيتين الأولى بأبعاد $(L_{100 \times 100 \times 10})mm$ والثانية بسماكة (20 mm) باستخدام مثبتات فولاذية ($\Phi 10$ at 40 cm) تعلوهما الصفيحة $(PL_{400 \times 20})mm$ ومثبتة عليهما باستخدام القضبان $(M20$ at 40 cm).



الشكل (9): تفصيلة فاصل تمدد للبنى الفوقية للجسر [3]

5-5- وصف ركائز الجسر:

- الركائز الطرفية: نفذت جدارية بسماكة (0.9m) لأجزائها السفلية (عند اتصالها بالأساسات) وبسماكة متغيرة تتراوح ما بين (0.9-1.7)m لأجزائها الوسطية (مناطق الاستناد) و ب (0.5m) لأجزائها العلوية (فوق مناطق الاستناد)، أما جدرانها الراجعة فكانت بسماكة (0.5 m) في حين نفذت بلاطات الاقتراب بسماكة (0.6m).
- الركيزة الوسطية: نفذت تلك الركيزة اطارية مؤلفة من أربعة أعمدة دائرية المقطع قطر كل منها (1 m) ترتبط مع بعضها بوساطة تاج مشترك أبعاد مقطعه (h=0.8m, b=1.5m).

5-6- وصف أساسات الجسر: استخدمت أساسات وتدّية ذات قيعات سماكاتها (1.27 m, 1.3 m, 1.25 m) لركائز الجسر (A₁, P₁, A₂) (لاحظ الشكلين (6)،(7)) على التوالي وباستعمال (24) وتد أبعاد مقطعه (35*35) cm وبطول (10 m) لكل أساس موزعة بانتظام على ثلاثة صفوف وفق المحور الطولي للجسر وثمانية صفوف وفق الاتجاه الآخر ويتباعد (150 cm) بين محاورها المتجاورة في كلا الاتجاهين المذكورين.

6- الدراسة التحليلية للركيزة الوسطية للجسر تحت تأثير الحمولات الزلزالية وفقا "لوضعيات الاستناد المدروسة:

6-1- التحليل الديناميكي للركيزة الوسطية للجسر باعتبارها تعمل كإطار مستوي بالاتجاه العرضي:

سندرس في هذه الفقرة تأثير كتلة الركيزة المشاركة في اهتزاز النظام المُمثل للسلوك الديناميكي لركائز الجسر على خصائصه الديناميكية، وذلك في جميع حالات الاستناد المدروسة، ومقارنة تلك الخصائص الناتجة عن وضعيات الاستناد (B,C,D) مع مقابلاتها الناتجة مع حالة الاستناد A.

6-1-1- دراسة تأثير الكتلة m_c على الخصائص الديناميكية للنظام: لنعرّف بدايةً المصطلحات الآتية:

- mc, ms: الكتلة الإجمالية لكل من البنية الفوقية (لفتحة واحدة) والركيزة الوسطية للجسر على التوالي.
- $T_n = 2\pi * [m_t / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$: دور اهتزاز النظام، حيث $\zeta = C / (2 * m_t * W_n)$ نسبة التخماد وتتراوح قيمها العملية في المنشآت الهندسية ما بين $0.02 < \zeta < 0.2$ ، وغالبا ما تؤخذ $\zeta = 0.05$ ، وعندما يكون $\zeta < 0.02$ يمكن إهمال تأثير التخماد فتؤول الجملة المتخامدة إلى أخرى غير متخامدة أي $T_n = 2\pi * [m_t / K_e]^{1/2}$ [4].
- K_{Tn} , K_{mt} : النسب المئوية لانخفاض كل من الكتلة الاجمالية للنظام الديناميكي المذكور m_t ودور اهتزازه T_n على التوالي عند إهمال تأثير الكتلة m_c عن مقابلاتها عند أخذها بالحسبان.

• a: نسبة الكتلتين m_c, m_s أي $(a = m_c/m_s)$.

سنحدّد دور الاهتزاز T_n في إحدى وضعيات الاستناد (الوضعية C مثلاً) في الحالة العامة وذلك باعتبار

إنّ حساب T_n لأجل الوضعيات الأخرى سيكون بذات الأسلوب، وهنا نميّر الحالتين التاليتين:

m_{cc} : $m_t = m_{cc} + m_{cs} = 0 + m_s/3 = m_s/3$ - بإهمال تأثير الكتلة

$T_n = 2\pi * [m_t / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2} = 2\pi * [(m_s/3) / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$

m_{cc} : $m_t = m_{cc} + m_{cs} = m_c/3 + m_s/3 = ((a+1) * m_s) / 3$: $a = m_c/m_s$ - مع الأخذ بالحسبان تأثير الكتلة

$T_n = 2\pi * [m_t / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2} = 2\pi * [((a+1) * m_s) / 3 / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$

لتحديد m_c نميّر الحالتين التاليتين:

- عندما يقيّد التاج اهتزاز أعمدة إطار الركيزة بالاتجاه العرضي [5] فيكون $m_t = m_{cs} \leftarrow m_{cc} = 0$

- عندما لا يقيّد التاج اهتزاز أعمدة الإطار بالاتجاه العرضي [5] فيكون $m_t = m_{cs} + m_c/3 \leftarrow m_{cc} = m_c/3$

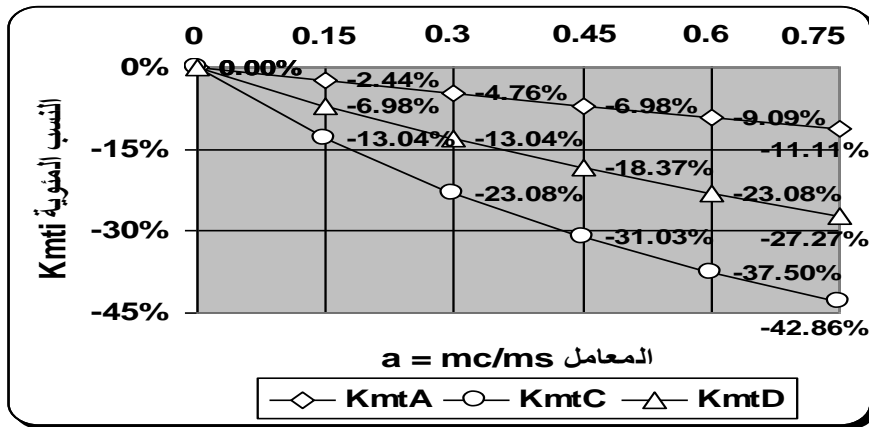
يمثّل الجدول (2) كتلة m_t النموذج المدروس ودور اهتزاز T_n في مجمل حالات الاستناد المدروسة وضمن

الحالتين (مع الأخذ بالحسبان تأثير m_{cc} ، إهمال تأثير m_{cc}) فضلاً عن النسب المئوية (K_{Tn}, K_{mt}) .

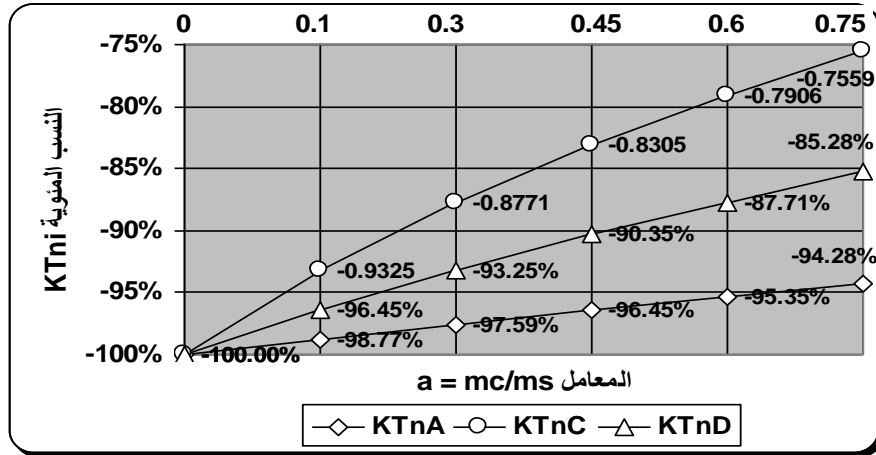
الجدول (2): قيم $(m_t, T_n, K_{mt}, K_{Tn})$ تبعاً للمعامل a

وضعية الاستناد D	وضعية الاستناد C	وضعية الاستناد B	وضعية الاستناد A		
$[(a+2)/3] * m_s$	$[(a+1)/3] * m_s$	$[(a)/3] * m_s$	$[(a+6)/3] * m_s$	m_t	باعتبار m_c
$2\pi * [((a+2)/3) m_s / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	$2\pi * [((a+1)/3) m_s / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	$2\pi * [(a/3) m_s / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	$2\pi * [((a+6)/3) m_s / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	T	
$(2/3) * m_s$	$m_s/3$	0	$2 * m_s$	m_t	بإهمال m_c
$2\pi * [((2/3) m_s) / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	$2\pi * [(m_s/3) / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	0	$2\pi * [(2m_s) / ((1-\zeta^2) * K_e)]^{1/2}$	T	
$-[(a)/(a+2)] * 100$	$-[(a)/(a+1)] * 100$	-100 %	$-[(a)/(a+6)] * 100$	K_{mt}	النسب المئوية
$-[[(2)/(a+2)]^{1/2} - 1] * 100$	$-[[(1)/(a+1)]^{1/2} - 1] * 100$	-100 %	$-[[(6)/(a+6)]^{1/2} - 1] * 100$	K_{Tn}	

يمثّل الشكلان (10)، (11) النسبتين المئويتين (K_{Tn}, K_{mt}) تبعاً لقيم تتراوح ما بين [0-0.75] للمعامل a.



الشكل (10): النسب المئوية K_{mt} تبعاً للمعامل a



الشكل (11): النسب المئوية K_{Tn} تبعاً للمعامل a

2-1-6- مقارنة الخصائص الديناميكية للنظام في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها في حالة

الاستناد (A):

لنعرف بدايةً المعاملين:

• $M_i = m_{ti}/m_s$: نسبة الكتلة المجمعة للنظام m_{ti} في وضعية الاستناد i إلى كتلة البنية

الفوقية للجسر m_s .

• $T_i = T_{ni}/T_s$: نسبة دور اهتزاز T_{ni} في وضعية الاستناد i إلى القيمة $T_s =$

$$2\pi * [m_s / [(1-\zeta^2) * K_e]]^{1/2}$$

نوجد المعاملين M , T المعرفين في المقالة في إحدى وضعيات الاستناد (الوضعية C مثلاً).

$$M_C = m_{tc}/m_s = [(a+1)/3] * m_s/m_s = (a+1)/3$$

$$T_C = T_{nc}/T_s = 2\pi * [(((a+1) * m_s)/3) / [(1-\zeta^2) * K_e]]^{1/2} / 2\pi * [m_s / [(1-\zeta^2) * K_e]]^{1/2} = [(a+1)/3]^{1/2}$$

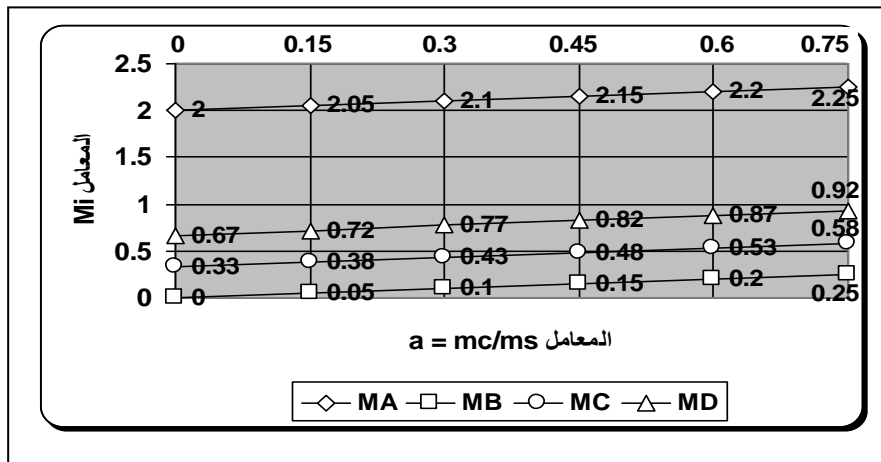
يعطي الجدول (3) قيم M_i , T_i الناتجة عن جميع وضعيات الاستناد (A,B,C,D) تبعاً لقيم منطقية

للمعامل a .

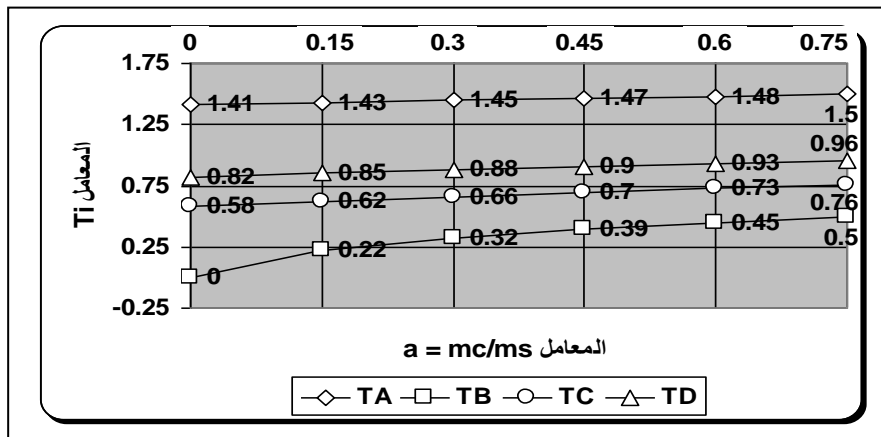
الجدول (3): قيم (M_i, T_i) تبعاً للمعامل a

المعامل a							
0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00		
2.25	2.20	2.15	2.10	2.05	2.00	$M_A = (a+6)/(3)$	وضعية الاستناد A
1.50	1.48	1.47	1.45	1.43	1.41	$T_A = [(a+6)/(3)]^{1/2}$	
0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.00	$M_B = (a)/(3)$	وضعية الاستناد B
0.50	0.45	0.39	0.32	0.22	0.00	$T_B = [(a)/(3)]^{1/2}$	
0.58	0.53	0.48	0.43	0.38	0.33	$M_C = (a+1)/(3)$	وضعية الاستناد C
0.76	0.73	0.70	0.66	0.62	0.58	$T_C = [(a+1)/(3)]^{1/2}$	
0.92	0.87	0.82	0.77	0.72	0.67	$M_D = (a+2)/(3)$	وضعية الاستناد D
0.96	0.93	0.90	0.88	0.85	0.82	$T_D = [(a+2)/(3)]^{1/2}$	

يوضح الشكلان (12) و(13) المنحنيات المُمثلة للعلاقة بين (M_i, a) و (T_i, a) على التوالي للموديل الديناميكي المعبر عن اهتزاز الركيزة الوسطية عرضياً" بفعل التأثير الزلزالي وذلك في جميع وضعيات الاستناد المدروسة.



الشكل (12): العلاقة بين المعاملين (M_i, a)



الشكل (13): العلاقة بين المعاملين (T_i, a)

باعتبار P_{Tn} , P_{mt} : النسب المئوية لانخفاض كل من الكتلة المجمعة للنظام المدروس ودور اهتزازة عرضياً"

في حالات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن وضعية الاستناد (A).

نوجد النسبتين P_{Tn} , P_M المعرفتين أعلاه في إحدى وضعيات الاستناد (الوضعية C مثلاً).

$$P_{Mc} = 100 * [M_C - M_A] / M_A = 100 * [(a+1)/3 - (a+6)/3] / [(a+6)/3] = [-5/(a+2)] * 100 \quad (\%)$$

$$P_{Tnc} = 100 * [T_C - T_A] / T_A = 100 * [((a+1)/3)^{1/2} - ((a+6)/3)^{1/2}] / ((a+6)/3)^{1/2} = [((a+1)/(a+6))^{1/2} - 1] * 100 \quad (\%)$$

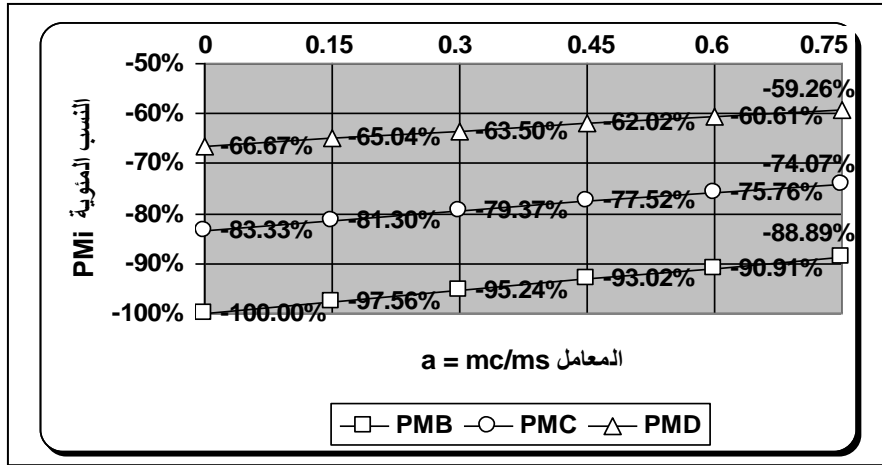
يعطي الجدول (4) النسبتين المئويةتين P_{Tni} , P_{Mi} تبعاً لقيم تتراوح ما بين [0-0.75] للمعامل a.

الجدول (4): قيم (P_{Mi}, P_{Tni}) تبعاً للمعامل $a = [0-0.75]$ للنظام الديناميكي لاظهار الركيزة الوسطية للجسر

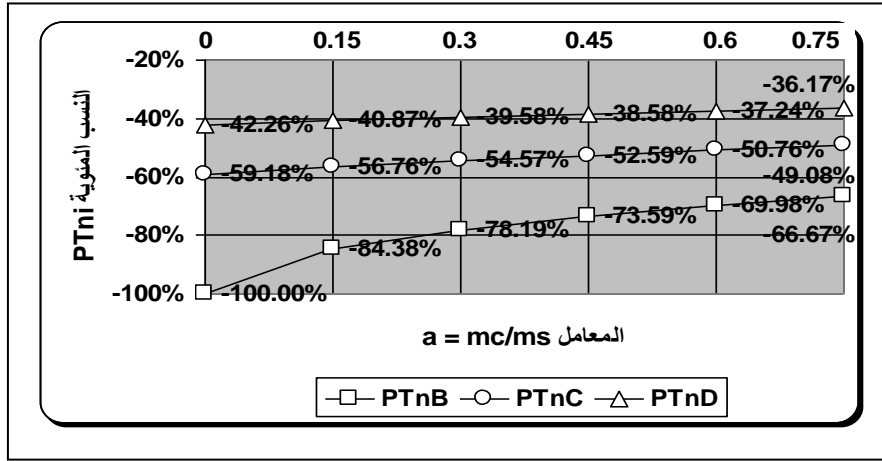
0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00	المعامل a	
-88.89	-90.91	-93.02	-95.24	-97.56	-100.0	$P_{MB} = -[(6)/(a+6)] * 100 \quad (\%)$	P_{Mi}
-74.07	-75.76	-77.52	-79.37	-81.30	-83.33	$P_{MC} = -[(5)/(a+6)] * 100 \quad (\%)$	

-59.26	-60.61	-62.02	-63.50	-65.04	-66.67	$P_{MD} = -[(4)/(a+6)]*100$ (%)	P_{Tni}
-66.67	-69.98	-73.59	-78.19	-84.38	-100.0	$P_{TB} = [[(a)/(a+6)]^{1/2} - 1]*100$ (%)	
-49.08	-50.76	-52.59	-54.57	-56.76	-59.18	$P_{TC} = [[(a+1)/(a+6)]^{1/2} - 1]*100$ (%)	
-36.17	-37.24	-38.37	-39.58	-40.87	-42.26	$P_{TD} = [[(a+2)/(a+6)]^{1/2} - 1]*100$ (%)	

يوضّح الشكلان (14) و(15) المنحنيات المُمثلة للعلاقتين (P_{Mi}, a) و (P_{Tni}, a) على التوالي.



الشكل (14): العلاقة بين المعاملين (P_{Mi}, a)



الشكل (15): العلاقة بين المعاملين (P_{Tni}, a)

2-6- التحليل الديناميكي للركيزة الوسطية للجسر مع الأخذ بالحسبان العمل الفراغي للجسر:

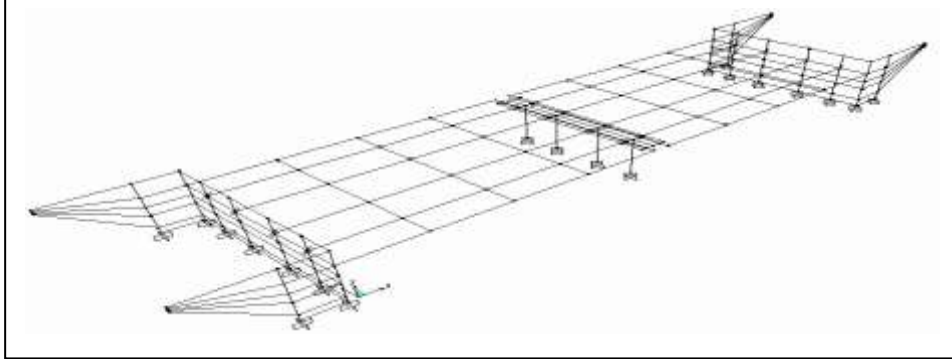
لقد تمّ اعتماد نموذجين من الجسور حيث يمثل النموذج الأول جسر بركيزة وسطية وإطارية ومساند من النيوبرين، أما الثاني فيتمثل جسر بركيزة وسطية جدارية ومساند معدنية أسطوانية.

تمّ إنجاز التحليل الديناميكي للنموذجين باستخدام طريقة أطياف الاستجابة [6] وفق المعطيات الزلزالية

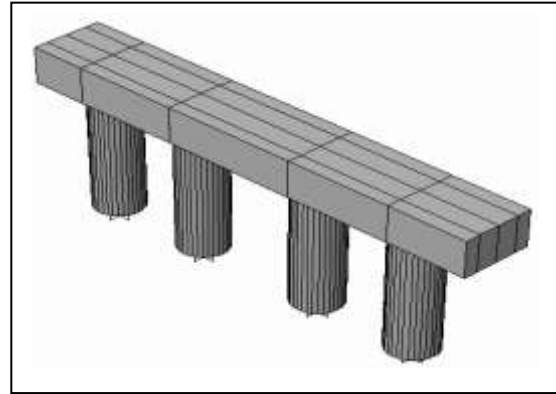
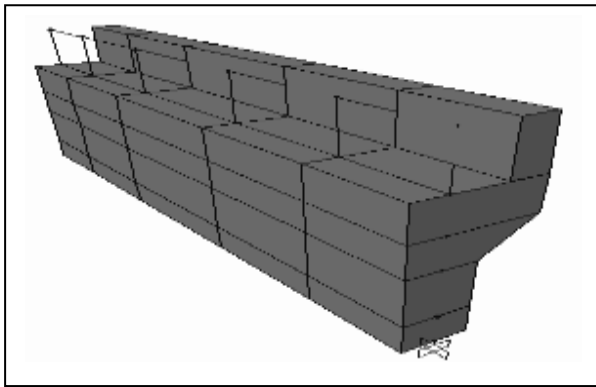
للكود العربي السوري اعتماداً على النمذجة بطريقة العناصر المنتهية [7].

أولاً - التحليل الديناميكي لنموذج الجسر الأول:

1- **النمذجة الإنشائية للجسر:** نُمدج الجسر باستخدام برنامج التحليل الإنشائي SAP 2000 –V9 وفق التفاصيل البعدية لعناصره الإنشائية المنفّذة بالواقع، ويُمثّل الشكل (16) الموديل الإنشائي للجسر في وضعية استناده الواقعية (A). (A).



الشكل (16): الموديل الحسابي للجسر في وضعية استناده الواقعية (A) باستخدام مساند نيوبرين
 نُمدجت ركيزته الوسطية إطارية (انظر للشكل (17))، أما ركائزه الطرفية فنُمدجت جدارية صندوقية (لاحظ الشكل (18))، كما نُزعت عنها بلاطات الاقتراب بعد التعويض عن وزنها الذاتي بكتل بالاتجاهات الثلاثة وذلك للحصول على الاستجابة الزلزالية الأمثل للركائز باعتبار أنّ اتصالها مع تلك البلاطات غير صلب. أما مساند النيوبرين فقد تمّت نمذجتها (Rubber Isolator) بعد تحديد خصائصها. نلاحظ بالتدقيق في المخططات الإنشائية للجسر بأنه تمّ استخدام مساند نيوبرين بأبعاد (500x400x50)mm. وبالتالي سيكون: $T = 5 \text{ cm}$: السماكة الكلية للمسند، $A = 2000 \text{ cm}^2$: مساحة مسقطه الأفقي.



الشكل (18): النموذج الإنشائي لإطار الركيزة الطرفية

الشكل (17): النموذج الإنشائي لإطار الركيزة الوسطية

ووفقاً للتقرير الفني حول اختبار أجهزة استناد الجسر المذكور والمقدّم من قبل وحدة الأعمال والاستشارات الهندسية التابعة لكلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق تبين: $E = 57.9 \text{ Kg/cm}^2$ ، $G = 11.4 \text{ Kg/cm}^2$ [8].
 $K_V = (E \cdot A) / T = (57.9 \cdot 2000) / 5 = 23160 \text{ Kg/cm} = 2316 \text{ t/m}$ الصلابة الشاقولية للمسند [9].

. [9]: الصلابة الأفقية للمسند $K_h = (G \cdot A) / T = (11.4 \cdot 2000) / 5 = 4560 \text{ Kg/cm} = 456 \text{ t/m}$

أما بالنسبة لصلابة المسند على الفتل فتعطى كما يلي: النسبة $a/b = 1.25$ ← المعامل: $\beta = 0.171$

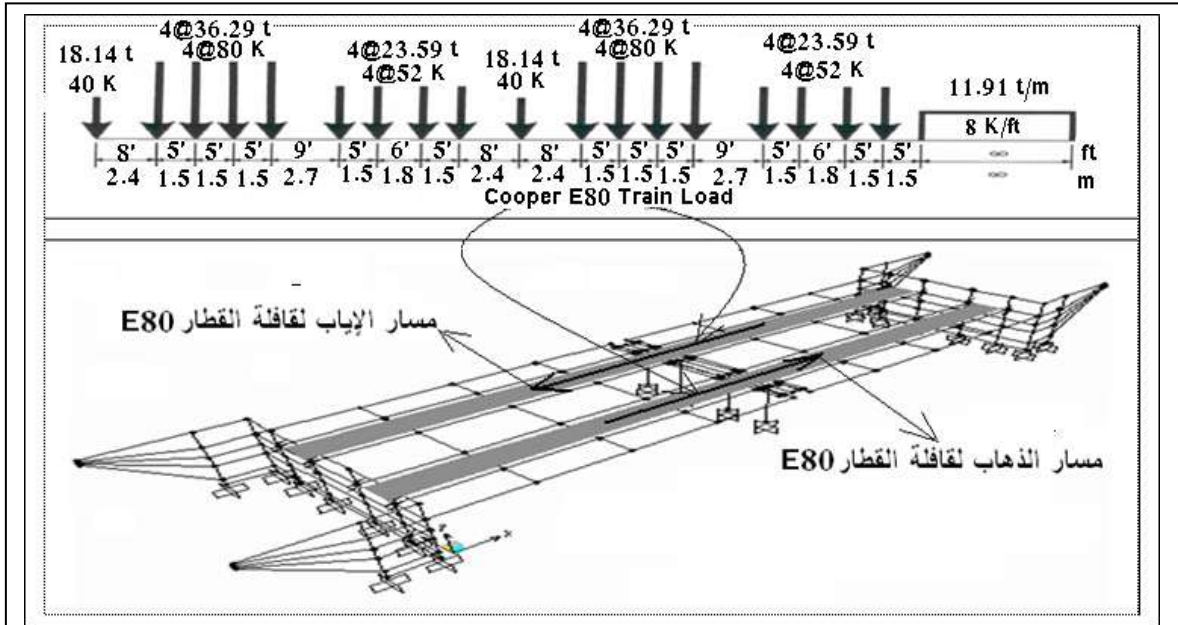
عزم عطالة المسند على الفتل: $I_x = \beta \cdot a \cdot b^3 = 0.171 \cdot 50 \cdot 40^3 = 547200 \text{ cm}^4$

صلابة المسند على الفتل: $K_t = (11.4 \cdot 547200) / 5 = 1247616 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 12.48 \text{ t} \cdot \text{m}$

أما نسبة التخماد فتؤخذ: $\xi = 0.1$ [10].

2- الأحمال الخارجية المطبقة على الجسر: وتشمل الحمولات الآتية:

- 1- حمولة الوزن الذاتي (DC) لكافة العناصر الإنشائية للجسر.
- 2- الحمولة الميتة (DW) الناتجة عن أوزان طبقة البالاست والعوارض البيتونية وقضبان السكة، وقد حُدِّت تلك الحمولة كحمولة موزعة انتظام على بلاطة الجسر فكانت شدتها $DW = 0.44 \text{ t/m}^2$ [3].
- 3- الحمولة الحية (LL) الناتجة عن قافلة القطار الأمريكي Cooper E80 Load [1] (انظر للشكل (19)).



الشكل (19): مساري القافلة (Cooper E80 Load) فوق البنية الفوقية للجسر

- 4 - حمولة الدفع الجانبي الأفقي الفعال للتربة المحجوزة خلف الركائز الطرفية للجسر، مُثَّلت تلك الحمولة بحمولات مثلثية $(4.34, 4.52) \text{ t/m}^2$ عند أسفل الركيزتين الطرفيتين اليمينية واليسارية على التوالي وذلك مع الأخذ بالحسبان تأثير الزلازل في تلك الحمولة. [9]
- 5- حمولة زلزالية ممثلة بطيف الاستجابة وفق معطيات الكود السوري ومطبَّق بالاتجاه العرضي (Y) للجسر.

3- تحديد طيف الاستجابة المطبق على الجسر:

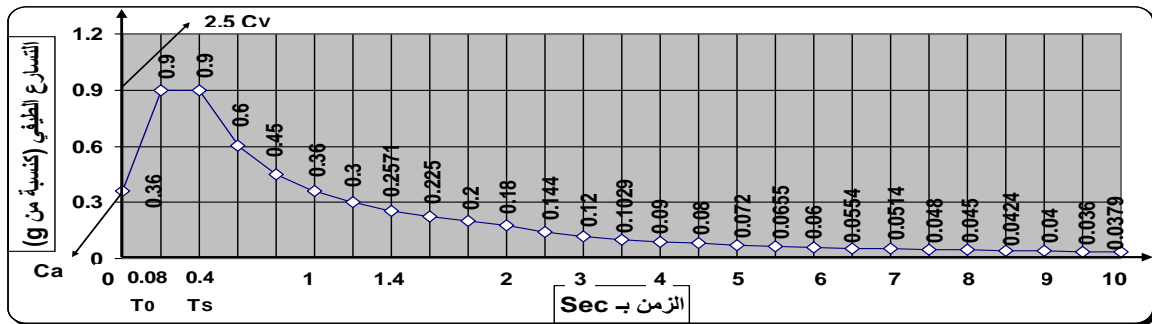
- **تحديد نموذج المقطع الشاقولي لترية الموقع:** بالتدقيق في بعض مخططات المقطع الشاقولي المتوفرة في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية لترية خط سكة الجسر والمنجزة من قبل شركة ماترا (Matra) الهندسية الإيرانية تبين وجود اختلاف في نوعية التربة من موقع لآخر. [11]

تبعاً للمعلومات المتوفرة حول نوعية تربة الموقع يمكن اعتبار أوتاد الأساسات أوتاد احتكاك وهذا مايمكننا من القول بأن المقطع الشاقولي للتربة يأخذ نموذجاً بين النموذجين (S_A) و (S_B) وذلك وفق معطيات الكود السوري [12]

- **تحديد المعاملين (C_a) و (C_v):** سنقيم السلوك الديناميكي لاهتزاز إطار الركيزة الوسطية لهذا النموذج في جميع حالات الاستناد المدروسة في منطقة عالية الشدة الزلزالية ولذلك سنعتبر معامل زلزالية المنطقة ($Z = 0.4$) وبالتالي سنجد وبمساعدة الجداول الواردة في الكود العربي السوري بان [12]. $C_v = 0.36$, $C_a = 0.36$.

- **تحديد مواصفات طيف الاستجابة:** $2.5 * C_a = 0.9, T_s = C_v / (2.5 * C_a) = 0.4 \text{ Sec}, T_0 = 0.2 * T_s = 0.08$ [12] Sec

ويمثل الشكل (20) طيف الاستجابة المطبق على الجسر.



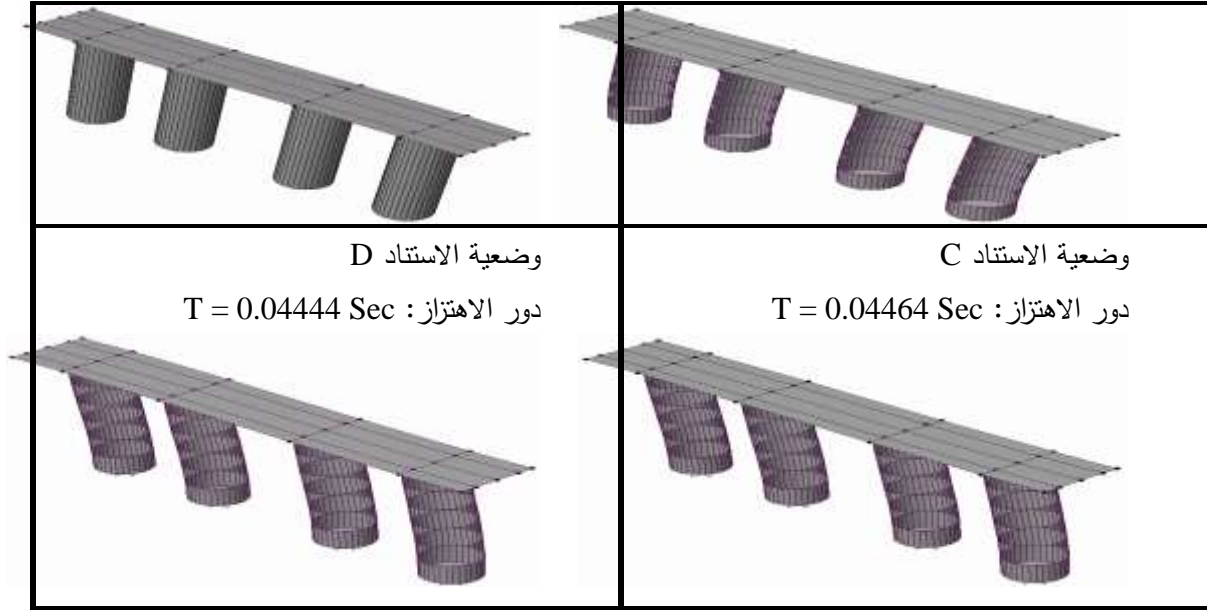
الشكل (20): طيف الاستجابة المطبق على الجسر

4- نتائج التحليل الديناميكي للجسر: أخضع الجسر بعد نمذجته وتطبيق الكتل الناجمة عن الأحمال المطبقة لتأثير هزة زلزالية مُمثلاً بتطبيق الطيف الوارد أعلاه بالاتجاه العرضي فاستحصل على العديد من النتائج كان من بينها:

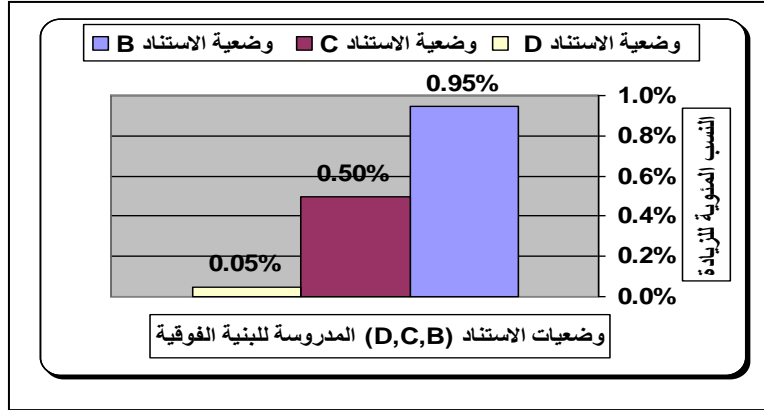
أ- **معاينة أنماط الاهتزازات الجانبية للركيزة الوسطية:** سنقتصر في هذه الفقرة على مقارنة قيم أدوار اهتزازات إطار الركيزة الوسطية باتجاه محوره العرضي عند تعرضه لتأثير زلزال بهذا الاتجاه وذلك في جميع حالات الاستناد المدروسة لبنيته الفوقية، حُددت تلك الأدوار من نتائج التحليل الديناميكي وذلك بالبحث عن نمط الاهتزاز المسيطر لاهتزاز الركائز الوسطية عرضياً عند تعرضها لفعال الزلازل، وتمثل الأشكال الواردة بالجدول (4) تلك الأنماط.

الجدول (4): أنماط الاهتزازات الزلزالية لإطار الركيزة الوسطية عرضياً عند تعرضه لتأثير هزة زلزالية EQY

وضعية الاستناد B دور الاهتزاز: $T = 0.04484 \text{ Sec}$	وضعية الاستناد A دور الاهتزاز: $T = 0.04442 \text{ Sec}$
---	---



يوضّح الشكل (21) النسب المئوية لزيادة أدوار اهتزازات الإطار المدروس بالاتجاه العرضي في وضعيات الاستناد (D,C,B) مع مقابلاتها الناتجة في الوضعية (A).



الشكل (21): النسب المئوية لزيادة أدوار اهتزازات المذكورة في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن الوضعية (A)

ب- معاينة قوة القص القاعدية وعزم الانعطاف القاعدي بالاتجاه العرضي لإطار الركيزة الوسطية للجسر:

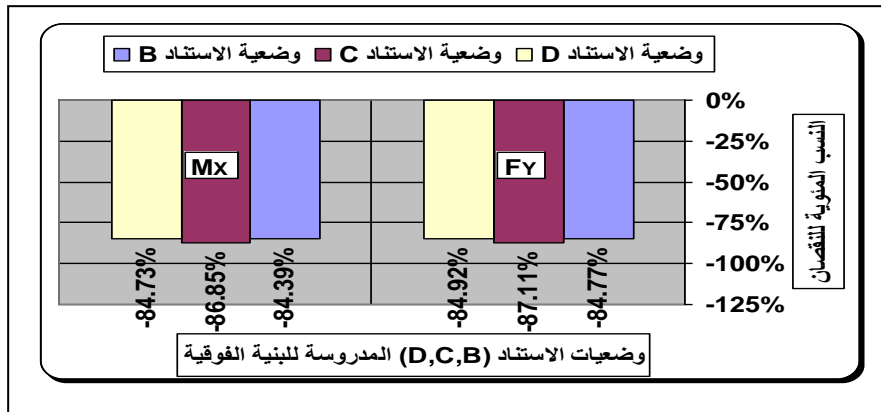
تم الكشف عن محصلة كل من قوة القص (F_Y) وعزم لانعطاف (M_X) عند أعمدة إطار الركيزة الوسطية وذلك في حالة التحميل الناتجة عن خضوعه لهزة زلزالية (EQY) وهو محمّل بالأحمال (LL, DW, DC) ولأجل جميع حالات الاستناد المدروسة لبنيته الفوقية، فكانت تلك القوى والعزوم المُستحصل عليها معطاة بالجدول (5).

الجدول (5): محصلة القوى (F_Y) والعزوم (M_X) لإطار الركيزة الوسطية عند خضوعه لهزة زلزالية EQY

وضعية الاستناد (D)	وضعية الاستناد (C)	وضعية الاستناد (B)	وضعية الاستناد (A)	قوة القص $t = F_Y$
71.45	61.10	72.18	473.94	

251.67	216.82	257.32	1648.52	عزم الانعطاف M_x $t \cdot m$
--------	--------	--------	---------	--------------------------------------

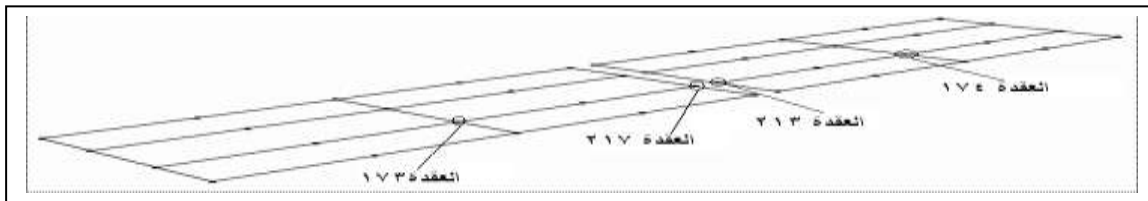
يمثل الشكل (22) النسب المئوية لانخفاض قيمتي (F_y, M_y) الناتجتين عن تحليل الجسر في وضعيات الموافقة الاستناد المدروسة (D,C,B) لبنيته الفوقية عن مقابلاتها الناتجة عن الوضعية (A).



الشكل (22): النسب المئوية لانخفاض (F_y, M_y) في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن الوضعية (A)

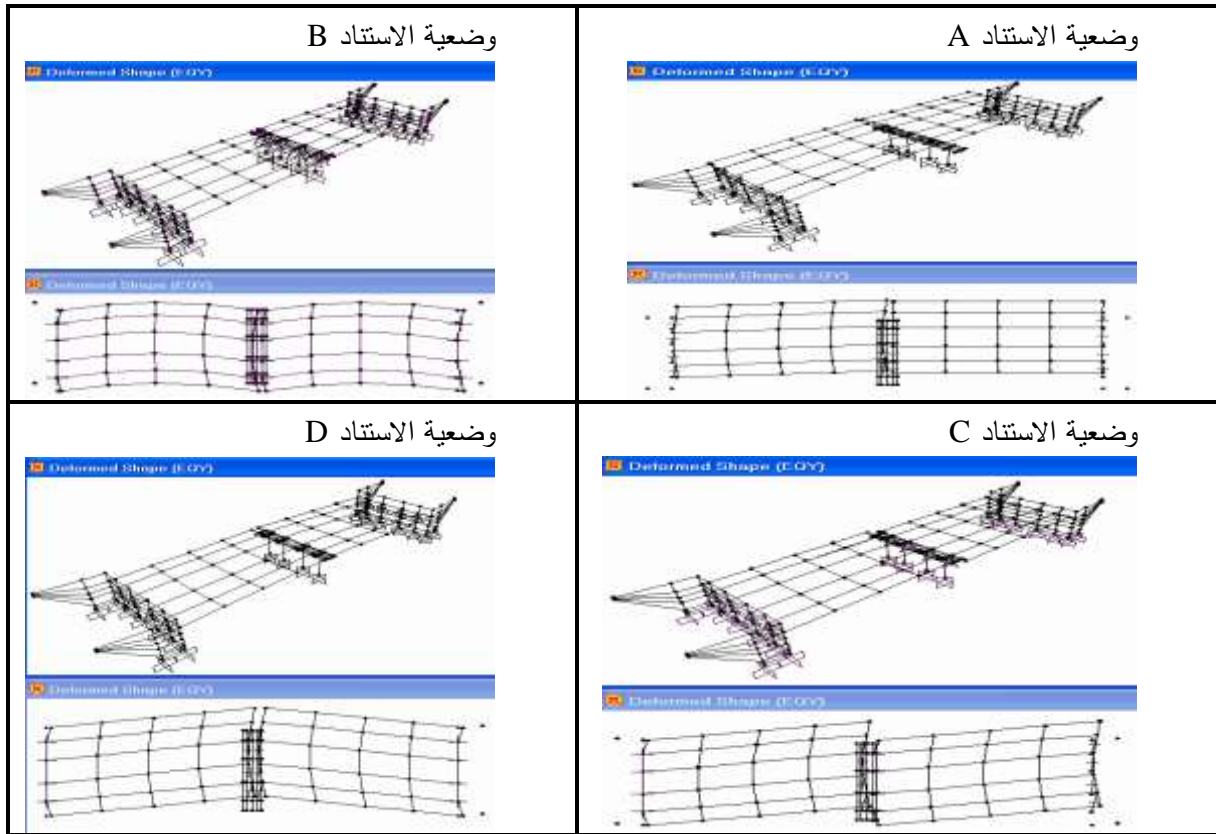
ج- معاينة الانتقالات الجانبية بالاتجاه العرضي لعقد البنية الفوقية للجسر:

تمت معاينة قيم الانتقالات الجانبية (U_y) لبعض عقد البنية الفوقية وذلك في حالة التحميل الناتجة عن تعرضه للحمولة (EQY) وهو محمل بالحمولات المذكورة أعلاه، ويمثل الشكل (23) العقد (173-217-213-174) المرصودة من البنية الفوقية للجسر المستخدمة لإنجاز المعاينة المذكورة، ويمثل الجدول (6) أشكال الانزياحات الجانبية للبنية الفوقية في حالات استنادها (D,C,B,A) بالتوالي عند خضوعه لتلك الحمولة.



الشكل (23): مواقع العقد (174-213-217-173) من البنية الفوقية للجسر

الجدول (6): أشكال الانزياحات الجانبية لعقد البنية الفوقية للجسر عند تعرضه لتأثير هزة زلزالية EQY

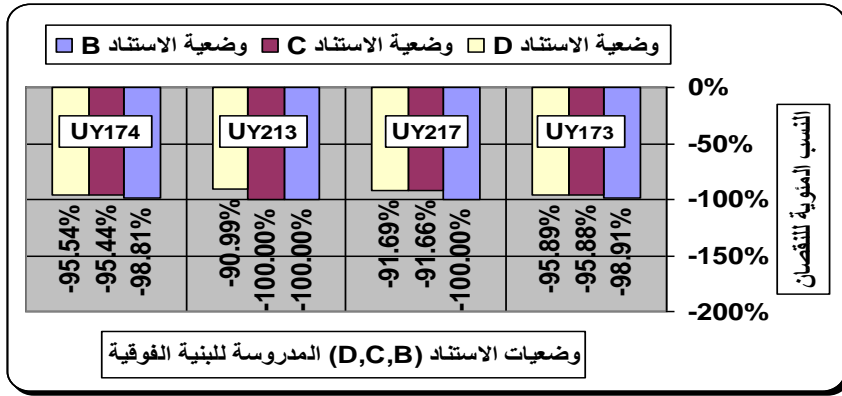


يعطي الجدول (7) الانتقالات الجانبية بالاتجاه العرضي للعقد المذكورة والناجمة عن حالة التحميل (EQY).

الجدول (7): الانتقالات الجانبية للعقد المدروسة والناجمة عن تأثير الحمولة (EQY)

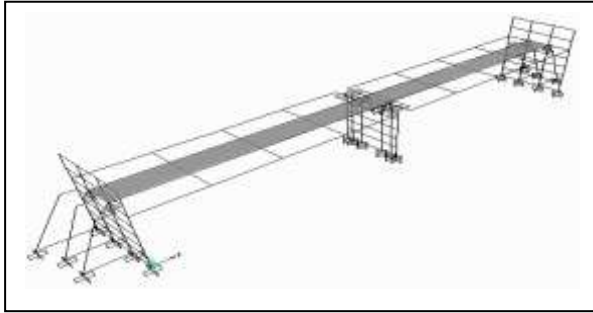
وضعية الاستناد (D)	وضعية الاستناد (C)	وضعية الاستناد (B)	وضعية الاستناد (A)	
0.642	0.644	0.170	15.629	$U_{Y(173)}$ (cm)
1.291	1.295	0.000	15.530	$U_{Y(217)}$ (cm)
1.291	0.000	0.000	14.316	$U_{Y(213)}$ (cm)
0.642	0.657	0.171	14.394	$U_{Y(174)}$ (cm)

يمثل الشكل (24) النسب المئوية لنقصان قيم (U_Y) للعقد المذكورة الناتجة عن تحليل الجسر في الحالات الموافقة لوضعيات الاستناد (D,C,B) المدروسة لبنيته الفوقية عن مقابلاتها الناتجة عن حالة الاستناد (A).

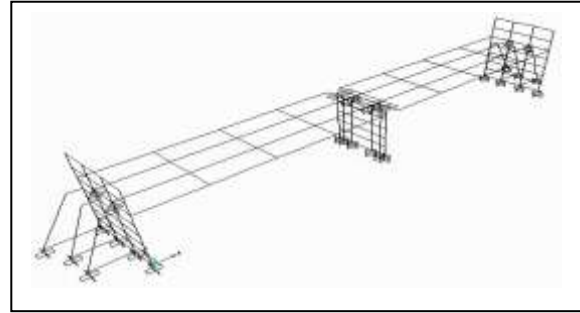


الشكل (24): النسب المئوية لانخفاض قيم (U_Y) للعقد المدروسة في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن الوضعية (A)

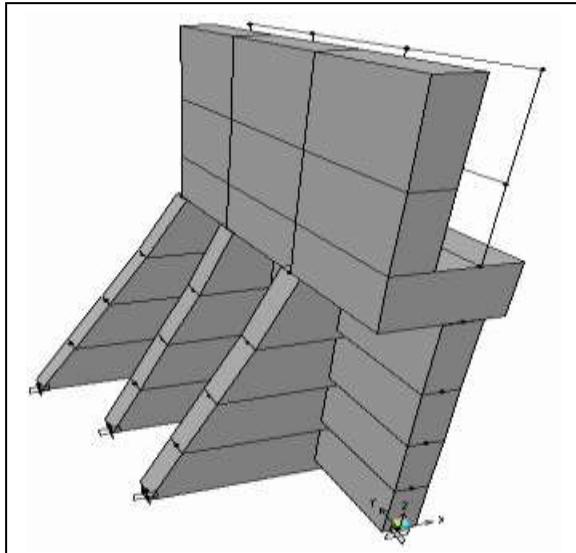
ثانياً - التحليل الديناميكي لنموذج الجسر الثاني:



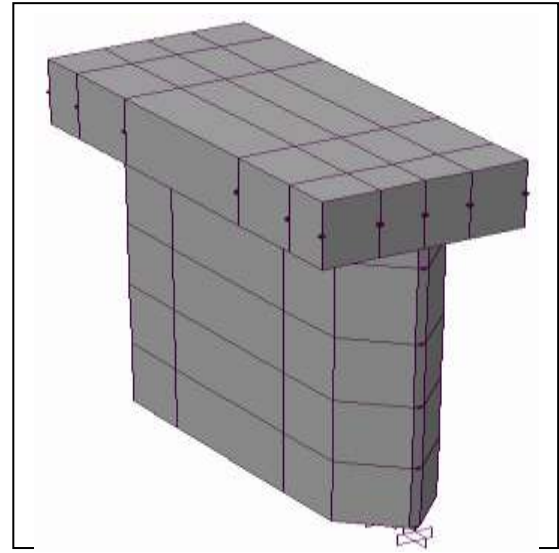
الشكل (26): مسار الحمل المتحرك لقافلة القطار الأمريكي (Cooper E80 Load) فوق البنية الفوقية للجسر



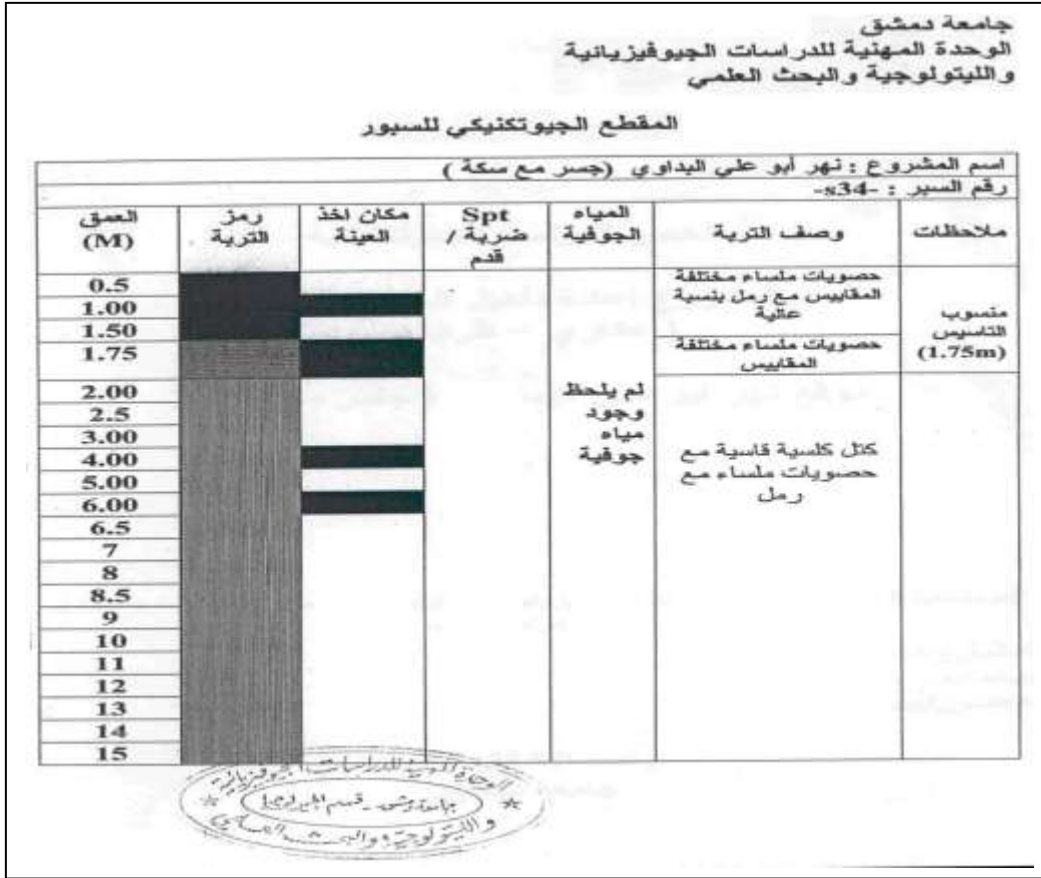
الشكل (25): النموذج الإنشائي النمذج للجسر في وضعية استناده الواقعية (B) باستخدام مساند معدنية اسطوانية



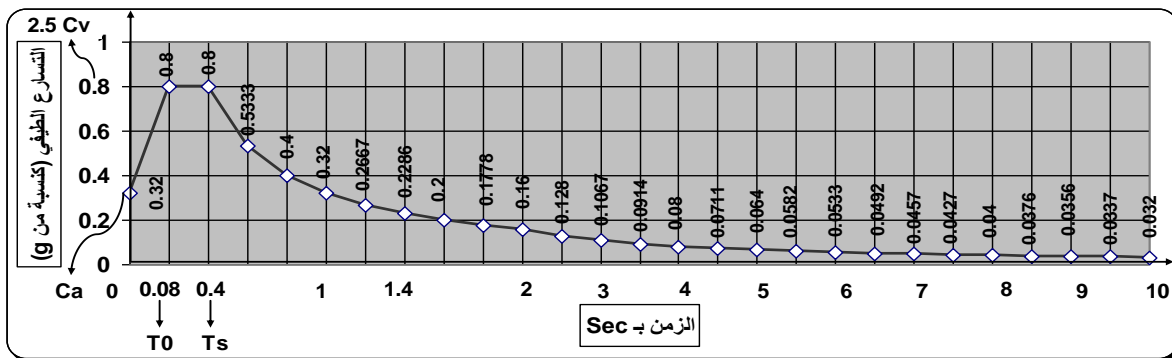
الشكل (28): النموذج الإنشائي للركيزة الطرفية للجسر



الشكل (27): النموذج الإنشائي للركيزة الوسطية للجسر

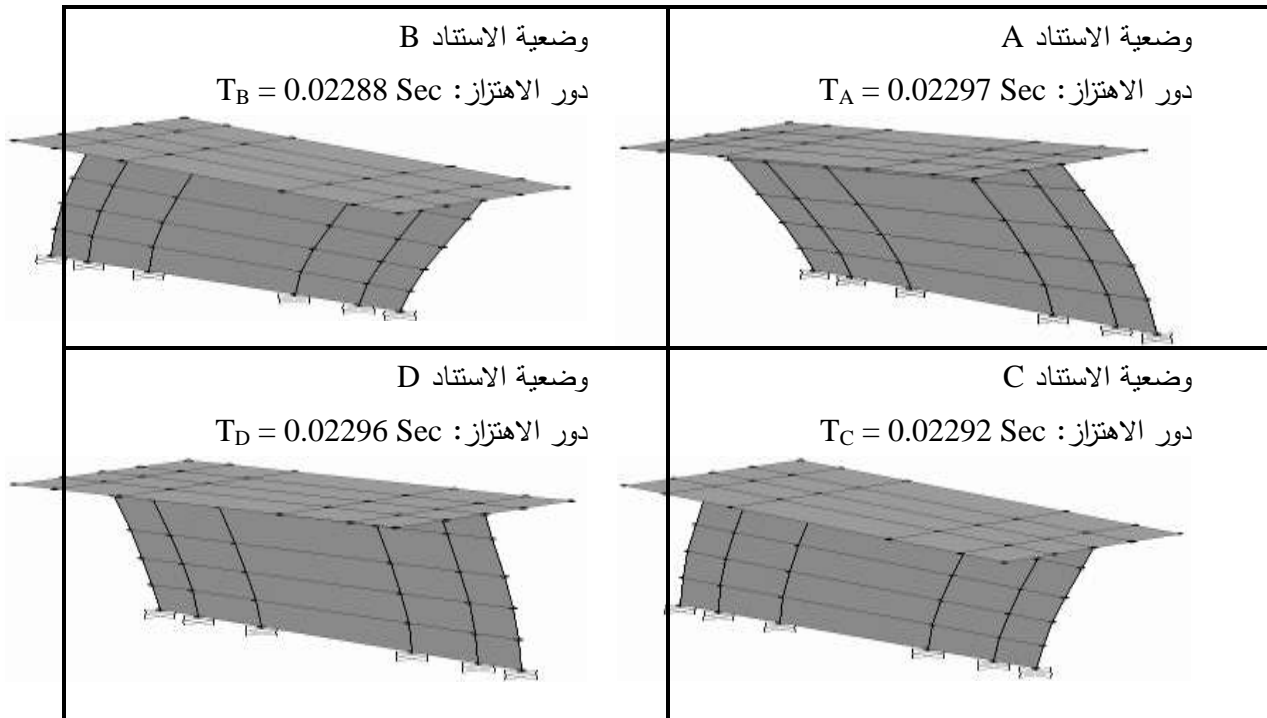


الشكل (29): المقطع الجيوتكنيكي للسبر المنفذ في تربة الموقع [13]



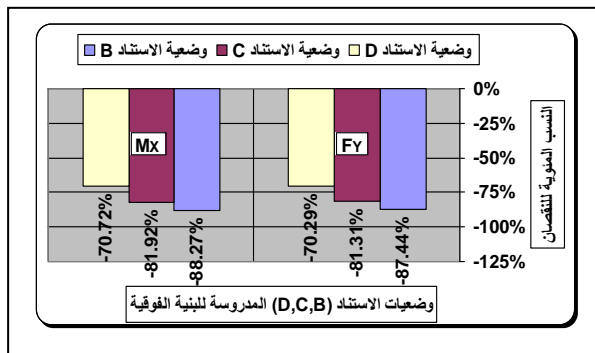
الشكل (30): طيف الاستجابة المطبق على الجسر

الجدول (8): أنماط الاهتزازات الزلزالية للركيزة الوسطية للجسر عرضيا" عند خضوعه لتأثير هزة زلزالية EQY

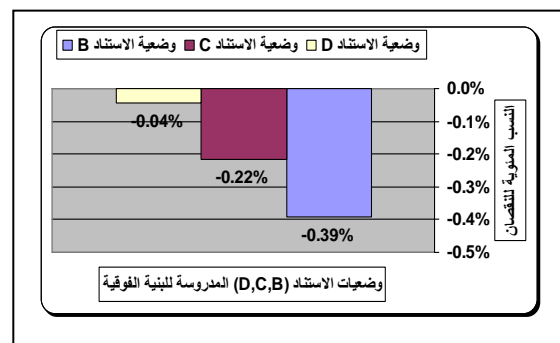


الجدول (9): محصلة القوى (F_Y) والعزوم (M_X) لاطار الركيزة الوسطية عند خضوعه لهزة زلزالية EQY

وضعية الاستناد (D)	وضعية الاستناد (C)	وضعية الاستناد (B)	وضعية الاستناد (A)	
98.95	62.23	41.83	333.04	قوة القص F_Y بـ
483.87	298.76	193.91	1652.45	عزم الانعطاف M_X بـ t*m



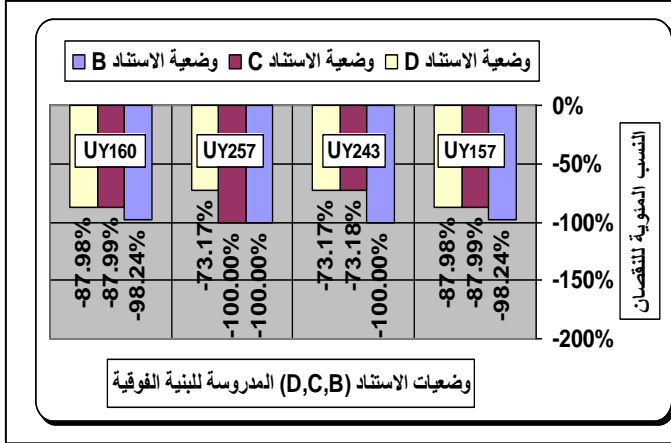
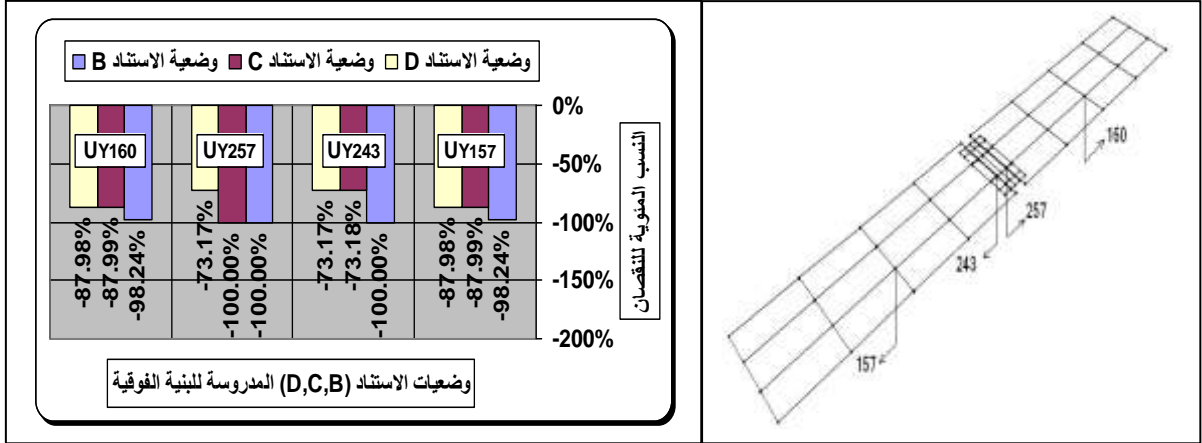
الشكل (32): النسب المئوية لانخفاض (M_Y , F_Y) المدروسة في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن (A)



الشكل (31): النسب المئوية لانخفاض أدوار اهتزاز الركيزة في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن نظيراتها الناتجة عن (A)

الجدول (10): الانتقالات الجانبية العرضية لعقد البنية الفوقية للجسر المدروسة والنتيجة عن حالة تعرّضه للحمولة (EQY)

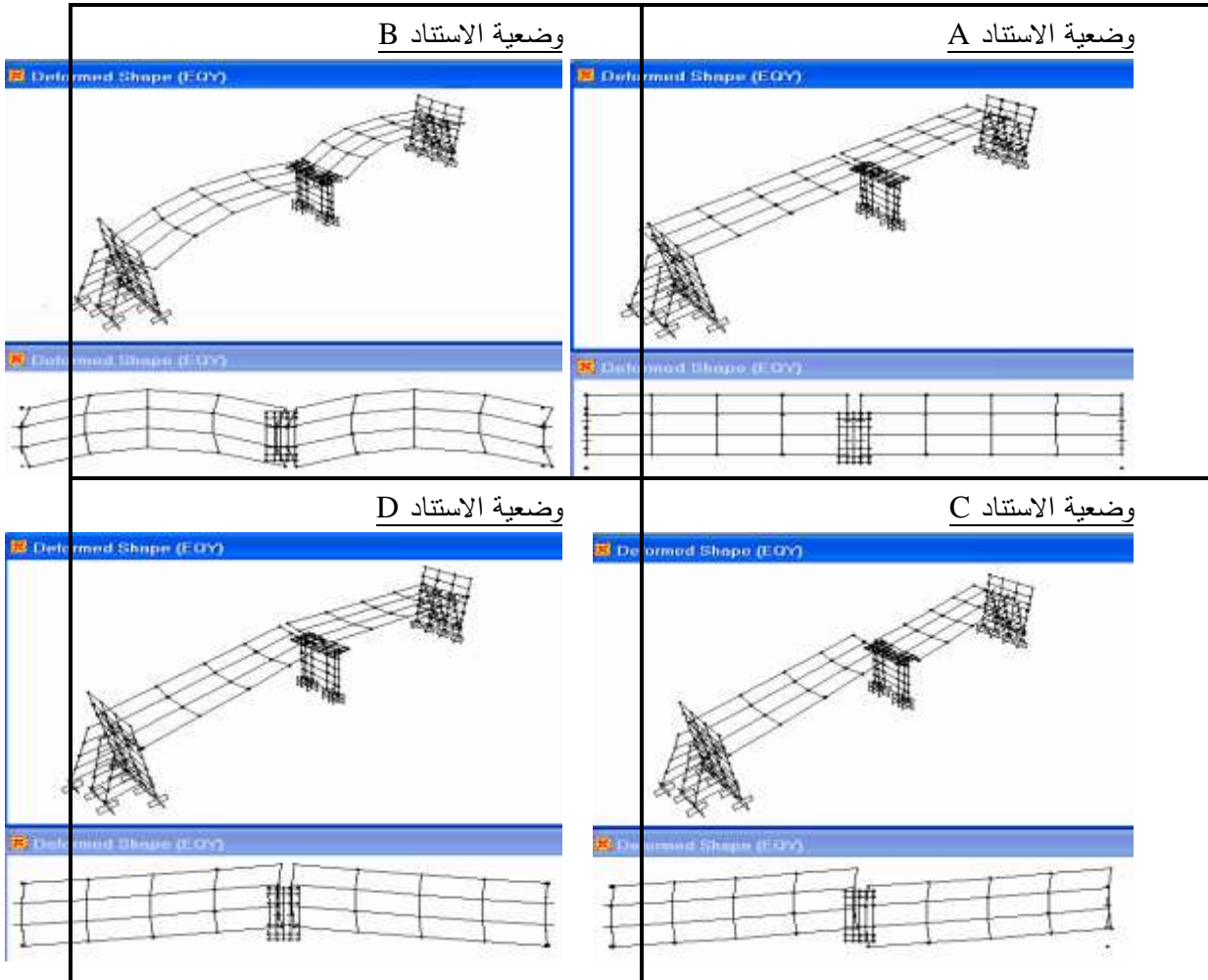
وضعية الاستناد (D)	وضعية الاستناد (C)	وضعية الاستناد (B)	وضعية الاستناد (A)	
2.206	2.205	0.324	18.36	$U_{Y(157)}$ (cm)
4.872	4.870	0.000	18.16	$U_{Y(243)}$ (cm)
4.872	0.000	0.000	18.16	$U_{Y(257)}$ (cm)
2.206	2.205	0.324	18.36	$U_{Y(160)}$ (cm)



الشكل (34): النسب المئوية لنقصان قيم (U_y) للعقد المدروسة الناتجة عن وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها في الوضعية (A)

الشكل (33): مواقع العقد (157-243-257-160) من البنية الفوقية للجسر

الجدول (11): أشكال الانزياحات الجانبية لعقد البنية الفوقية للجسر عند خضوعه لهزة زلزالية (EQY)



نتائج البحث:

- 1- يُنقص تنفيذ استناد البنية الفوقية للجسر وفق وضعيات الاستناد (D,C,B) من كتلتها المشاركة في اهتزاز النظام المُمثّل للسلوك الديناميكي لركيزته الوسطية عرضياً عند خضوعه لتأثير هزة زلزالية بالاتجاه العرضي بالنسب المئوية (100 % , 83.33 % , 66.67 %) على التوالي عن مقابلاتها الناتجة عن حالة الاستناد (A).
- 2- يُسبب إهمال تأثير مشاركة كتلة الركيزة الوسطية للجسر في أثناء اهتزاز نموذجها الديناميكي عرضياً بتأثير الفعل الزلزالي تغيير مواصفاته الديناميكية عن مقابلاتها الناتجة عند الأخذ بالحسبان هذا التأثير، وذلك من خلال تخفيض كتلته الإجمالية ودور اهتزازها بالنسب المئوية الواردة بالشكلين (10) و(11) في الفقرة (1-1-6).

- 3-تساهم تقانة تنفيذ مساند البنية الفوقية للجسر وفق احدى وضعيات الاستناد (D,C,B) بتغيير الخصائص الديناميكية لاهتزاز نموذج ركيزته الوسطية عرضيا" بتأثير الزلازل عن مقابلاتها الناتجة عن وضعية (A)، وذلك بتخفيض كتلته الإجمالية ودور اهتزازها بالنسب المئوية الواردة بالشكلين (14) و(15) في الفقرة (2-1-6).
- 4-تزداد قيم أدوار الاهتزازات للركيزة الوسطية بالاتجاه العرضي في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن الوضعية (A) في الجسر الأول وذلك بالنسب المئوية الملحوظة في الشكل (21) وتتقص في الجسر الثاني وفق النسب المئوية المبينة في الشكل (31).
- 5-انخفاض قيم محصلة قوى القص القاعدية وعزوم الانعطاف للركيزة الوسطية للجسر الناتجة عن تحليله ديناميكيا" في وضعيات الاستناد (D,C,B) لبنيته الفوقية تحت التأثير الزلزالي المؤثر فيه عرضيا" عن مقابلاتها الناتجة عن وضعية الاستناد (A) بالنسب المئوية الملحوظة في الشكلين (22)، (32) على التوالي لأجل نمذجي الجسرين الأول والثاني المدروسين، وبلوغ هذا التناقص قيمة الحدية القصوى في حالة الاستناد (B).
- 6-تناقص قيم الانتقالات الجانبية لعقد البنية الفوقية في وضعيات الاستناد (D,C,B) عن مقابلاتها الناتجة عن الحالة (A) بالنسب المئوية الملحوظة في الشكلين (24)، (34) على التوالي لأجل نمذجي الجسرين الأول والثاني المدروسين، وبلوغ هذا التناقص قيمة الأعظمية في حالة الاستناد (B).
- 7- الاستناد غير المقيد عرضيا" والذي تمثله صفائح النيوبرين غير مفضل في المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية كالمناطق الساحلية، بينما أبدت المساند المقيدة عرضيا" (المساند الميكانيكية) أداء أفضل.

توصيات البحث:

- 1- التركيز على تنفيذ البنى الفوقية للجسور مقيدة عرضيا" عند طرفي استنادها وخاصة تلك المشيدة أو المراد إشارتها في مناطق عالية الشدة الزلزالية ولاسيما المنطقتين (3) و(4) من بلادنا تماشيا" مع الخارطة الزلزالية الواردة في الكود العربي السوري وذلك باستخدام مساند معدنية أسطوانية أو مساند نيوبرين مقيدة عرضيا" (LRB) بادخال نواة فولاذية بداخلها إذ تسهم هذه التقانة وكما رأينا في تخفيض مشاركة كتل بناها الفوقية في اهتزاز رؤوس ركائزها وبالتالي إنفاص قوى القص وعزوم الانعطاف القاعدية لتلك الركائز لدى خضوعها لهزة زلزالية بالاتجاه العرضي.
- 2- يمكن في بعض وضعيات استناد البنى الفوقية للجسور (كحال الوضعية B) أن تتعرض المساند المستخدمة للتمزق والانهييار عند تقييدها عرضيا" عند طرفي استنادها نتيجة تعرضها لهزة زلزالية عالية الشدة بالاتجاه العرضي لذلك نقترح في هذه الحالة تنفيذ المساند بحيث تكون مقيدة الحركة بجميع الاتجاهات عند أحد طرفي استنادها ومحدودة الحركة بالاتجاهين الأفقيين عند الطرف الآخر
- 3- ضرورة الأخذ بالحسبان مشاركة كتل البنية الفوقية للجسر وكذلك ركيزته الوسطية (وعدم إهمال إياها) في اهتزاز النظام الممثل للسلوك الديناميكي لتلك الركيزة تحت تأثير الحمولات الزلزالية، وذلك عند تحليلها بهدف تصميمها، أو التحقق من مقاومتها تحت تأثير الأحمال المطبقة فيها.

المراجع:

- 1- CHEN, W.F. & DUAN, L. - *Bridge Engineering Hand Book*, London, New York, Washington, 2000.

- 2- PRESTLEY, M.J.N. & SEIBLE, F. & CALVI, G.M. - *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John wiley & sons, Inc, 1996, 686 p .
- 3- شركات هندسية متعدّدة الجنسية (روسية - إيرانية - .. الخ) - كراسات المعلومات حول منشآت جسور السكك الحديدية السورية (المخططات التنفيذية والإنشائية للجسور - منكرات فنية للجسور - .. الخ)، أرشيف المكتب الفني في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية بحلب وشركتها العامة لإنشاء الخطوط.
- 4- CLOUGH, R.W. & PENZIEN, J. - *Dynamics of Structures*, McGowan-hill, New York, 1993 .
- 5-WAGDY, G & WASSEF, P.D. & CHRISTOPHER, E.I.T. - *Comprehensive Design Example For Prestressed Concrete (PSC) Girder Superstructure Bridge With Commentary*.
National Highway Institute (HNHI-10) August 2002 – November 2003, 383P.
- 6- PMZM, J. - *international handbook of earthquake engineering*, Cbapman & Hall, New York, 1994.
- 7- BATHE, K.J. - *Finite Element Procedures 2nd*, Prentice, Hall, Englewood Cliffs, 1996.
- 8-حبوس، محمد زهري - التقرير الفني حول اختبار مساند النيوبرين لنموذج الجسر الأول (على محور سكة حديد دير الزور- البوكمال)، أرشيف المكتب الفني في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية بحلب، وحدة الأعمال والاستشارات الهندسية التابعة لكلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، 9 صفحات.
- 9 - *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, SI Units Second Edition 2005*, American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol Street, N.W., Suite 249, Washington, D.C.20001, 3461 p .
- 10 -AASHTO - *Guide Specification for Seismic Isolation Design*, Washington, D.C, 1991.
- 11- شركة ماترا (Matra) الهندسية الإيرانية - تقرير ميكانيك تربة موقع نموذج الجسر الأول (على محور سكة حديد دير الزور- البوكمال)، أرشيف المكتب الفني في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية بحلب، تموز عام 2000، 1 صفحة (مخطط لمقطع شاقولي في تربة الموقع).
- 12-الملحق الثاني للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلّحة (تصميم وتحقيق المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل)، الطبعة الثالثة، نقابة المهندسين وفروعها في كافة المحافظات السورية، الجمهورية العربية السورية، 2005، 190 صفحة.
- 13- الحمد، إبراهيم - تقرير ميكانيك تربة موقع نموذج الجسر الثاني (على محور سكة حديد العكاري- طرابلس)، أرشيف المكتب الفني في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية بحلب، الوحدة المهنية للدراسات الجيوفيزيائية والليتولوجية والبحث العلمي التابعة لجامعة دمشق، 2004، 3 صفحات.