

## تحليل السلوك الديناميكي للجسور البيتونية المسبقة الإجهاد المعزولة زلزالياً باستخدام عازل الاحتكاك النواسي

\* الدكتور عصام ناصر

\*\* الدكتور ساطع بدوي

علي طوالو \*\*\*

( قبل للنشر في 2005/4/24 )

### □ الملخص □

تستمد مسألة العزل الزلزالي أهميتها من كونها إحدى الحلول الهندسية الفعالة المستخدمة في الحد من خطر الزلازل عن الأبنية والجسور وغيرها من المنشآت الهامة. يعتمد مبدأ العزل الزلزالي على جعل المنشأ خارج نطاق التأثيرات الضارة التي تنجم عن الحركات الأرضية بفعل الزلازل وذلك بتزويد المنشأ مرونة أفقية وقدرة على تبديد الطاقة من خلال أجهزة العزل المصممة خصيصاً لهذا الغرض .

حاول من خلال هذا البحث تبيان دور جهاز العزل خلال الحدث الزلزالي وتم تقديم دراسة تحليلية حول استخدام عازل الاحتكاك النواسي (FPS) لنموذجين من الجسور البيتونية المشيدة في المنطقة الساحلية بطريقة "TIME HISTORY ANALYSIS" بمساعدة برنامج SAP2000 وباستخدام السجل الزلزالي لزلزال لوما بريتا

وقد أظهرت النتائج مدى فعالية هذا العازل في تخفيض التشوهات ، القوى المتولدة والطاقة المتسربة إلى الجسر جراء قوى أو أحمال الزلازل حيث تراوحت نسب التخفيض بين % ( 61-85 ) بالنسبة لقوى القص في الركائز وما بين % ( 67-85 ) بالنسبة للعزم في الركائز وكذلك أبدت عناصر المنشأ المعزولة انتقالاً متمثالاً إلى درجة كبيرة مما يؤثر على إمكانية تفادي حدوث التشوهات في المنشأ .

**الكلمة المفتاحية :** العزل الزلزالي، الجسور البيتونية.

\* أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.  
\*\* أستاذ في قسم هندسة الطرق والمواصلات - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - دمشق - سوريا.  
\*\*\* طالب ماجستير - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

## Dynamic Behavior Analysis of Seismic Isolated Prestressed Concrete Bridges Using Friction Pendulum System

Dr. Issam Nasser \*  
Dr. Sati Badawi\*\*  
Ali Tawwalo \*\*\*

(Accepted 24/4/2005)

### □ ABSTRACT □

Seismic isolation problem which can be considered an important method in providing an effective engineering solution for the prevention of earthquake damage to buildings, bridges and other structures . Its principle is based on uncoupling the building or structure from the damaging effects of ground motion by providing additional horizontal flexibility and energy dissipation capability through using specially designed isolator.

This paper will display the effectiveness of isolator during seismic events and presents analytical study of the use of FPS isolator (Friction Pendulum System) in two module of real bridges " using **TIME HISTORY METHODES** and utilizing **SAP2000** program in the analysis by data of **LOMA PRIETA TIME HISTORY**"

The result shows the effect of isolation in reducing deformations, forces, and energy, transmitted to the bridge by earthquakes .

The reduction varies between (61-85) %for pier's shear force and between (67-85) %for pier's moment .

The isolated part of structure exhibits high similar displacement that also reverses small deformation in structure .

**Key word** : seismic isolation, concrete bridges .

---

\*Professor, Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Teshreen University,Lattakia ,Syria.

\*\*Professor, Department Of Transportations Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Damascus University , Damascus, Syria .

\*\*\*Master Student, Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Teshreen University,Lattakia ,Syria.

## مقدمة عن العزل الزلزالي والطاقة المبددة:

استندت الدراسات السابقة في مجال الهندسة الزلزالية على أن الخطر الناجم عن الزلازل يعزى وبشكل أساسي إلى تطابق غير مرغوب فيه بين دور الاهتزاز الأساسي للمنشأ مع دور الحركة الزلزالية . وتم اكتشاف انه وبالرغم من التطابق بين الخواص الديناميكية للمنشأ والزلازل فإن معظم المنشآت تكون قادرة على المقاومة نتيجة لإطالة الدور بسبب تراكم الأضرار الإنشائية التي من خلالها يتم تفريغ الطاقة وبالتالي تصمد أمام التردد العالي حيث الطاقة العظمى للزلازل .

إن تصميم المنشآت لمقاومة الزلازل تتضح من خلال معادلة الحركة:

$$MU'' + CU' + KU = F(t) \quad (1)$$

حيث تمثل :  $U, U', U''$  الانتقال، السرعة والتسارع على الترتيب.  $M, C, K$  الصلابة، التخماد والكتلة على الترتيب.

يلاحظ أنه كلما ازدادت قوى التخماد كلما قلت القوى المطلوب مقاومتها من قبل المنشأ. بالتالي فإن التخماد له دور في تبديد الطاقة مثل الاحتكاك والسلوك التخلفي، وبشكل عام يمكن القول: إن أي استجابة غير مرنة للمنشأ تعمل على تبديد الطاقة ولهذا نجد أن زيادة دور الاهتزاز والقدرة على تبديد الطاقة تعتبر طريقة فعالة في تحسين المقاومة الزلزالية للمنشأ [1].

إن هذا الاعتبار يمكن أن يكون هدفاً تصميمياً لغرض معين من ناحية أو جعل استجابة بعض أو كل عناصر المنشأ ضعيفة تجاه الأحداث الزلزالية انطلاقاً من مبدأ عزل المنشآت عن الحركات الزلزالية من ناحية أخرى .

## أسس العزل الزلزالي:

يقوم مبدأ العزل الزلزالي على جعل المنشأ خارج نطاق تأثيرات الضرر الزلزالي وذلك بتزويده بمرونة أفقية وقدرة على تبديد الطاقة من خلال إدخال أجهزة عزل مصممة بشكل مناسب لطبيعة الجملة الإنشائية للمنشأ. وسوف نبين أهمية دور جهاز العزل خلال الحدث الزلزالي من خلال مايلي:

### تغيير الدور :

لتوضيح تأثير جهاز العزل في تغيير الدور سنأخذ نموذجاً مبسطاً لجسر بدرجة حرية واحدة (SDOF) كما في الشكل (1) حيث يعبر عن كتلة المنشأ بـ  $m_0$  وعن صلابة الدعامة بـ  $K_0$  تخامد المنشأ بـ  $C_0$  .

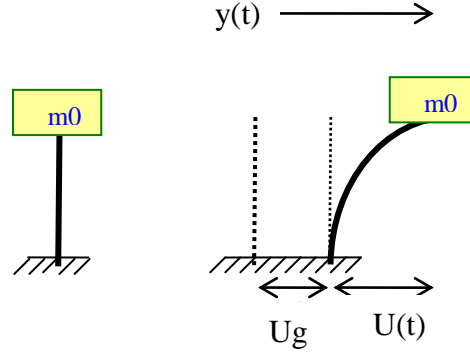
تكون معادلة الحركة لنظام SDOF عند التعرض لتسارع أرضي زلزالي كما يلي:

$$m_0 U'' + C_0 U' + KU = -m_0 U_g''(t) \quad (2)$$

حيث  $-m_0 U_g''(t)$  تمثل القوة الفعالة التي تحدث الاستجابة الديناميكية للنظام وتعرف بادراك حقيقة أن قوى العطالة تتناسب مع الحركة الكلية المطلقة للنظام بينما قوى التخماد وقوى المرونة تتناسب مع الحركة النسبية للنظام .

$$(3) \quad \sqrt{\frac{m_0}{k_0}} \quad \text{يكون دور الاهتزاز في هذه الحالة}$$

$$T_0 = 2\pi$$



الشكل (1) النموذج الديناميكي للمنشأ

يمكن تمثيل جهاز العزل المضاف لهذا النظام بنابض صلابته  $K_i$  ومعامل تخامده  $C_i$  حيث يتم وضعه فوق الركيزة تحت الكتلة  $m_0$  كما في الشكل (2).

يفرض أن الدعامة والعازل نابضين موصولين على التسلسل فإن الصلابة المكافئة لهذه الجملة هي:

$$k_{eq} = \frac{k_0 k_i}{k_0 + k_i} \quad (4)$$

وهنا يمكن إضافة كتلة جهاز العزل إلى كتلة المنشأ ويمكن إهمالها نظراً لصغرهما مقارنة مع كتلة الجسر . يصبح دور الاهتزاز :

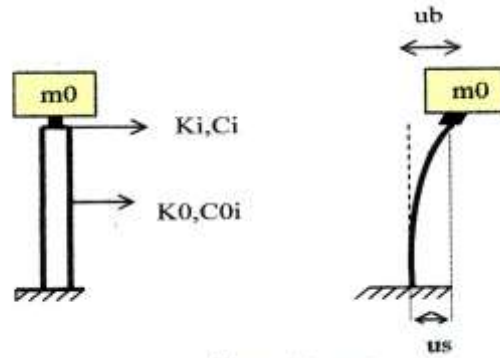
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{k_{eq}}} \quad (5)$$

يلاحظ من المعادلة (4) أن قيمة الصلابة المكافئة تتغير حسب صلابة العازل فمن الجدير بالذكر أنه وحتى يكون العازل فعال في تغيير استجابة المنشأ يجب اختيار صلابة العازل أقل من صلابة الدعامة حيث يفترض أن يكون الانتقال النسبي للدعامة أو للنقاط تحت منطقة العزل أقل بحوالي عشر مرات من الانتقال النسبي للمنشأ فوق العزل بالنسبة للقاعدة :

$$k_i u_b = k_0 u_s, \quad u_b = 10 u_s, \quad k_i = 0.1 k_0 \quad (6)$$

في هذه الحالة يكون  $T$  أكبر من  $T_0$  بحوالي 3.3 مرة .

يلاحظ مما سبق أن الدور قد تغير وازدادت قيمته أي أن المنشأ اكتسب مرونة إضافية [2].



الشكل (2) المنشأ مع جهاز العزل

### تغيير التخماد :

يتضح من خلال الدراسات والتجارب العملية أن الزيادة في التخماد اللزج مطلوبة وهامة في المنشآت وينتج عنها تخفيض هام في التسارع الطيفي والانتقالات لعناصر المنشأ .

أن إمكانية الاستفادة من التخماد تكون ذات أهمية من أجل القيم الصغيرة للتخماد المكافئ بينما تميل الاستجابة لأن تكون أكثر انتظاما من أجل نسب التخماد العالية، حيث تعتبر نسب التخماد بحدود (20-30%) ذات أهمية في تصميم الجسور المعزولة .

$$K_0, C_0i$$

يعتبر التخماد والطاقة المبددة مفهومين متلازمان حيث يعرف معامل التخماد الحرج بأنه مقدار التخماد الذي يمنع النظام من الاستجابة الديناميكية التذبذبية الحرة [3].

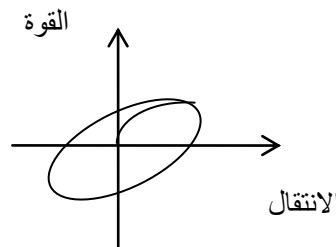
يعبر عن قيمة التخماد الحرج بالعلاقة التالية :

$$C_c = 2\sqrt{m_0 k_0} \quad (7)$$

وبهذا فان أي مقدار للتخماد يمكن إن يعبر عنه كنسبة تدعى نسبة التخماد  $\zeta$  والتي هي نسبة التخماد الحقيقي للنظام إلى التخماد الحرج.

$$\zeta = \frac{C_0}{C_c} \quad (8)$$

وبما أنه تم إدخال جهاز عزل أو (تبديد طاقة) فإنه يلعب دور العزل والتخميد حسب خواصه التي يمكن التحكم بها ، وهنا سوف يولد الجهاز قوة  $f(U, U')$  والتي تكون تابعة لانتقال أو لسرعة النظام و تعتمد على آلية تبديد الطاقة ، يوضح الشكل (3) الحلقة التخلفية لجهاز تبديد الطاقة حيث تعبر مساحة الحلقة عن مقدار الطاقة المبددة خلال دورة واحدة .



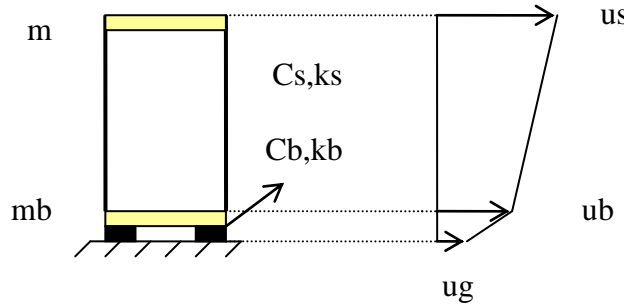
الشكل (3) الحلقة التخلفية لجهاز تبديد الطاقة الزلزالية

لهذا يمكن إعادة صياغة معادلة الحركة على الشكل التالي بعد إدخال حد التخماد الإضافي .

$$U'' + \frac{C_0}{m_0} U' + \frac{K_0}{m_0} U + \frac{f(u, u_0)}{m_0} = -u_g'' \quad (9)$$

ويمثل حل هذه المعادلة الاستجابة الديناميكية للمنشأ مع التخماد الإضافي، وينصح هنا الحل بطريقة السجل الزمني ( TIME HISTORY ANALYSIS ) بأحد الأسلوبين الخطي أو اللاخطي باعتبارها الأكثر دقة [3] الانتقالات النسبية :

كي نوضح مدى فعالية جهاز العزل الزلزالي على قيم الانتقالات النسبية سوف يؤخذ نموذجاً إنشائياً بكتلتين ومعزول عند القاعدة كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (4) نموذج لمنشأ بكتلتين معزول حركياً عند القاعدة

حيث  $m$  كتلة المنشأ ،  $mb$  كتلة القاعدة فوق نظام العزل ،  $Cs, ks$  صلابة وتخماد المنشأ ،  $Cb, kb$  صلابة وتخماد نظام العزل .

يعبر عن الانتقالات المطلقة للكتلتين بـ  $U_b, U_s$

ومن المناسب هنا استخدام الانتقالات النسبية كما يلي :

$$V_b = U_b - U_g \quad , \quad V_s = U_s - U_B \quad (10)$$

حيث أن النتيجتين الهامتين ستكونان انتقال العازل المعبر عنه بـ  $V_b$  والانتقالات النسبية للطوابق التي يرمز لها بـ  $V_s$ .

تكتب معادلة الحركة لنموذج بدرجتي حرية :

$$\begin{aligned} (m + m_b)v_b'' + mv_s'' + c_b v_b' + k_b v_b &= -(m + m_b)u_g'' \\ mv_b'' + mv_s'' + c_s v_s' + k_s v_b &= -mu_g'' \end{aligned} \quad (11)$$

بإدخال المتحولات التالية :

نسبة الكتلة:

$$\gamma = \frac{m}{(m + m_b)} \quad (12)$$

الترددات الاسمية:

$$w_b^2 = \frac{k_b}{(m + m_b)} \quad , \quad w_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (13)$$

عوامل التخماد:

$$2w_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b}, \quad 2w_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (14)$$

$$\eta = \frac{w_b^2}{w_s^2} \quad (15) \quad \text{وبافتراض أن :}$$

حيث  $\eta$  قيمة صغيرة من مرتبة  $(10^{-2})$ .

أنماط الاهتزاز الأساسية لهذا النظام المركب:  $\Phi_1, \Phi_2$

$$\Phi_i = [\Phi_{ib} \quad \Phi_{is}] : \quad i=1,2$$

تكون المعادلة المميزة للترددات :

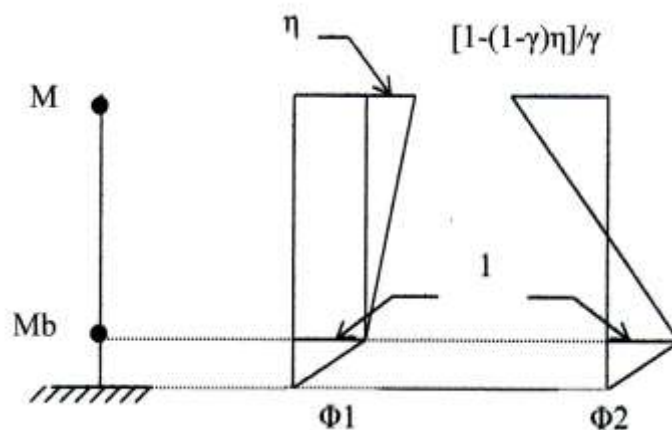
$$(1-\gamma)w^4 - (w_s^2 + w_b^2)w^2 + w_b^2w_s^2 = 0 \quad (16)$$

بعد إدخال المتحول  $\eta$  وبأخذ الدرجة الأولى منه فقط يكون الحل كما يلي:

$$w_1^2 = w_b^2(1-\gamma\eta), \quad w_2^2 = w_s^2 \frac{(1+\gamma\eta)}{(1-\gamma)} \quad (17)$$

تكون أنماط الشكل بإعطاء قيمة  $\Phi_{ib} = 1$

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \{1 \quad \eta\} \\ \Phi_2 &= \{1 \quad -[1-(1-\gamma)\eta]/\gamma\} \end{aligned} \quad (18)$$



الشكل ( 5 ) النموذج الديناميكي للمنشأ مع أنماط الاهتزاز

يتضح من النمط الأول (الشكل 5) أن المنشأ فوق نظام العزل وكأنه جسم صلب تماماً حيث الانتقالات النسبية من الدرجة  $(\eta)$  [4].

### الأسس الرئيسية لاختيار العزل الزلزالي :

تقتضي فلسفة العزل الزلزالي للجسور السماح لمقدار من القوة الزلزالية بالتسرب إلى المنشأ ضمن شروط معينة ، ويمكن التحكم بهذا المقدار من خلال إدخال أجهزة العزل والتكيف مع الواقع باختيار صلابات جانبية وشاقولية وعوامل تخامد مختبرة تجريبياً كما حصل في تصميم جسور بينسيا -مارتيز في سان فرانسيسكو لمقاومة الزلازل ، بمعنى آخر التحكم بالناقلية الزلزالية (قوى -انتقالات-تسارع.....)[8].

هناك عامل آخر يجب أخذه بعين الاعتبار وهو عامل الموقع الطبوغرافي للجسر، حيث وجود المصاطب غير النظامية أو اختلاف في ارتفاع الركائز بشكل كبير والذي سيؤثر على توزيع القوى الزلزالية بين هذه الركائز والوصلات، وفي هذه الحالة وعند حدوث الانتقالات الجانبية ستكون قيمها في نهاية الركائز الأقصر أصغر منها في نهاية الركائز الأطول وبالتالي فإن نقاط القسم العلوي من الجسر المرتبطة مع أعلى الركائز ستعاني من انتقالات مختلفة القيم وهذا بدوره سيؤدي إلى تشققات في القسم العلوي نتيجة لهذا الاختلاف أما في حال العزل الزلزالي فالعازل يعمل على ضبط هذه الانتقالات بإعطاء المرونة الأكبر للركيزة الأكثر صلابة والصلابة الأكبر للركيزة الأكثر مرونة وبالتالي تتم عملية تنظيم الاستجابة الكلية للجسر [9]. من جهة أخرى قد يؤدي زيادة دور الاهتزاز الطبيعي للمنشأ إلى بعض المساوئ وهنا يجب الأخذ بعين الاعتبار عدم استخدام العزل في الأماكن التالية:

- \* مواقع معرضة لانخفاض في مقاومة التحمل بسبب سيلان التربة وانتشارها جانباً .
- \* الجسور ذات الركائز المرنة .
- \* في المواقع التي تحوي تربة ناعمة.
- حيث أن زيادة الدور لمنشأ مرن من شأنه أن يؤدي إلى حدوث ظاهرة الطنين [2] .

### الدراسة العملية التحليلية والتطبيقية لموضوع البحث .

لتحليل آلية عمل نظام العزل سيتم تطبيق المفاهيم الواردة أعلاه على جسرين قائمين من البيتون المسبق الإجهاد

#### الوصف الهندسي للنموذج الأول :

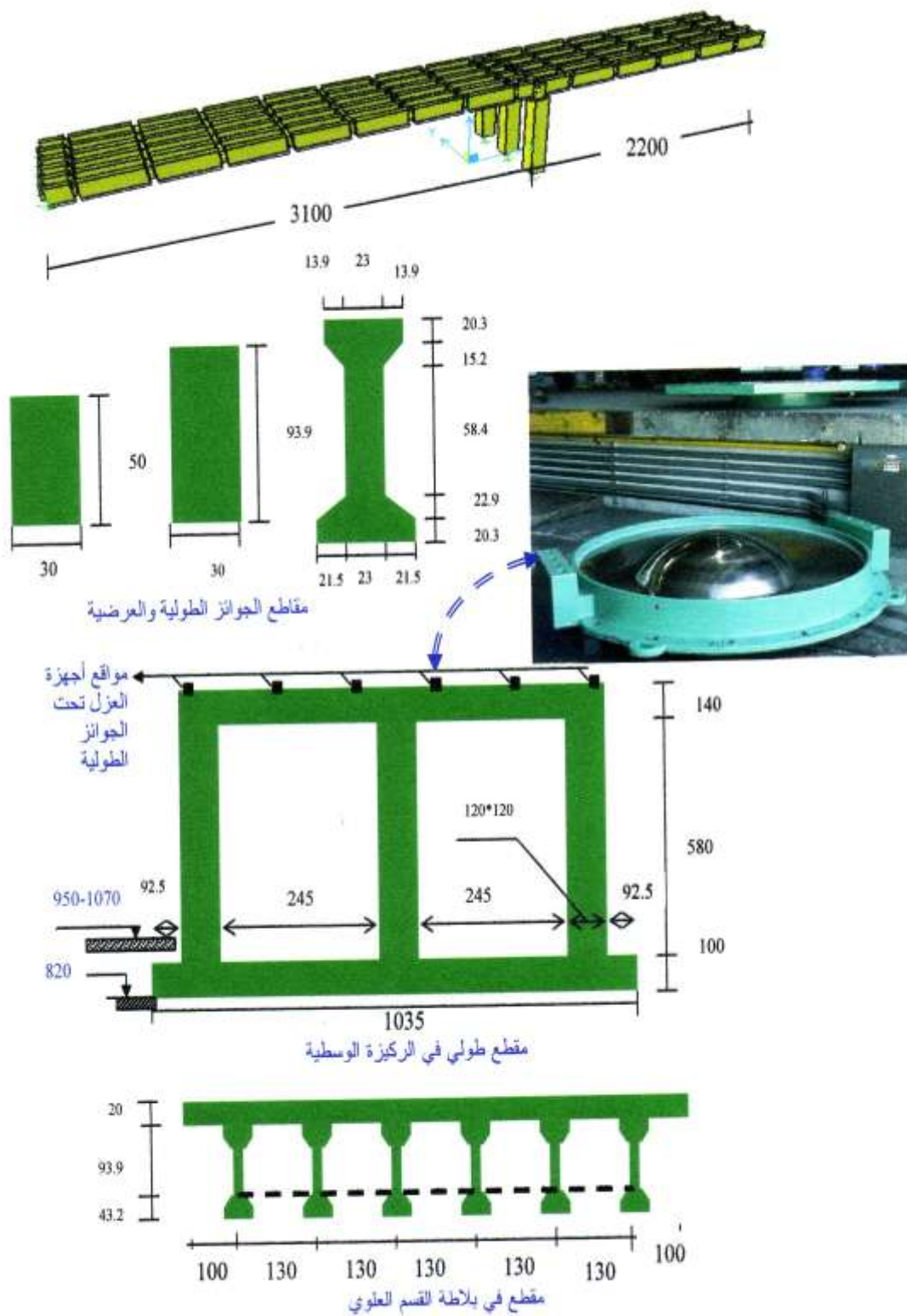
الجسر مشيد على طريق اللاذقية- حلب (عقدة المنطقة الصناعية ) يتألف من مجازين بطول (31m) للفتحة الأولى و(22m) للفتحة الثانية .

سوف تتم نمذجة القسم العلوي بشكل جوائز خطية وكذلك الركائز أما أنظمة العزل وحيث من المتوقع ظهور السلوك اللاخطي فإن النمذجة ستكون بعناصر لا خطية . يتألف القسم العلوي من (6) جوائز طولية و(8) جوائز عرضية في الفتحة الأولى و(5) جوائز طولية و(5) جوائز عرضية في الفتحة الثانية . يوضح الشكل (6) مقاطع الجوائز الطولية والعرضية والركيزة الوسطية للجسر مع منظور جانبي للجسر .

#### الوصف الهندسي للنموذج الثاني :

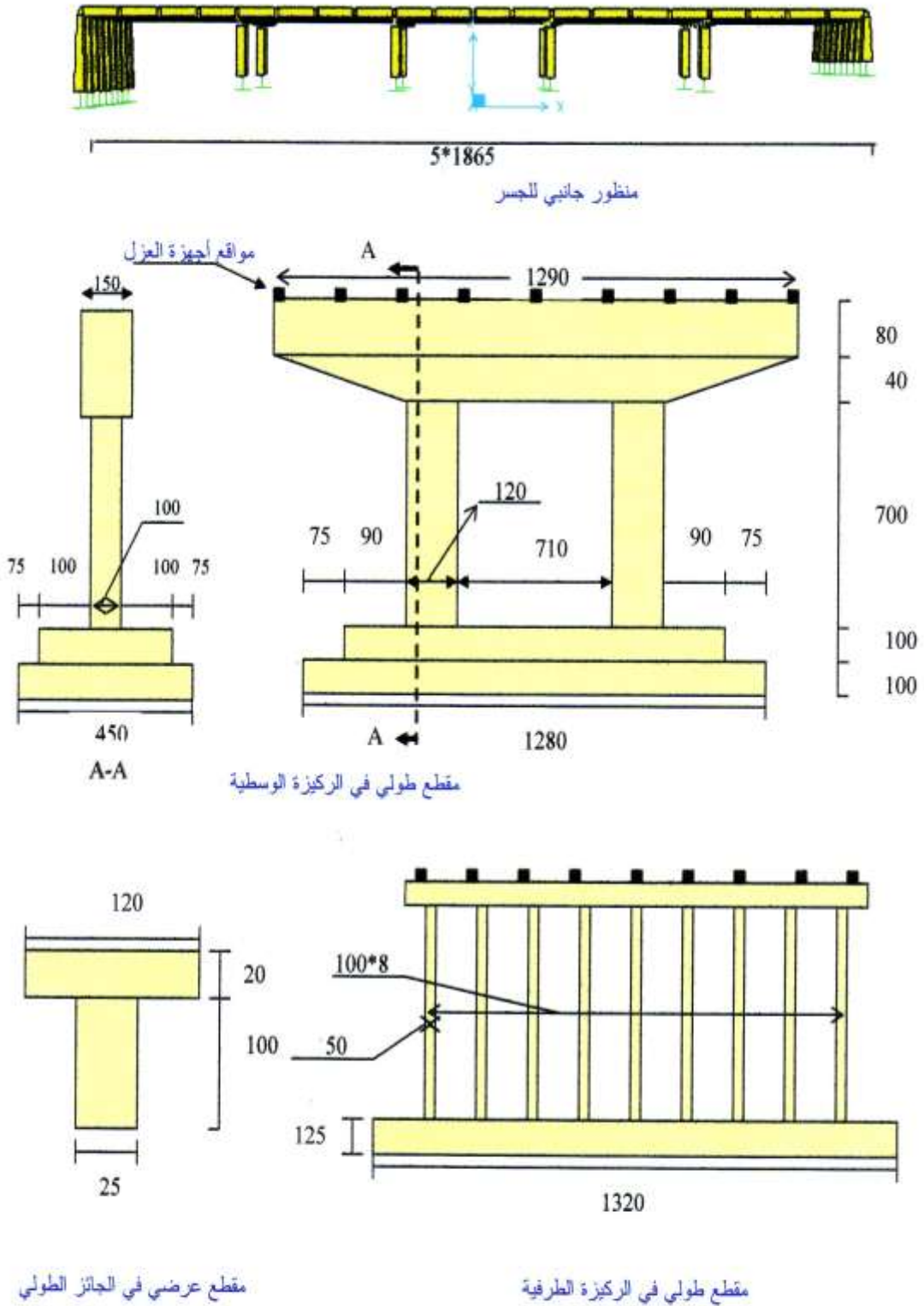
الجسر مشيد على طريق اللاذقية- كسب فوق نهر العرب، يتألف من خمس مجازات بأطوال متساوية مقدارها (18.65m) ويتألف القسم العلوي من (9) جوائز طولية بتباعد (1.5 m) ، يبين الشكل (7) المقاطع العرضية للجوائز والركائز مع منظور جانبي للجسر .





الشكل (6) الأبعاد الهندسية لجسر عقدة المنطقة الصناعية ، للنموذج الأول

ملاحظة: الأبعاد مقاسة بـ (CM)



الشكل (7) الأبعاد الهندسية لعناصر الجسر

ملاحظة: الأبعاد مقاسة بـ (CM)

### نمذجة أنظمة العزل :

تتم نمذجة أنظمة العزل في برنامج *SAP2000* من خلال عناصر الربط غير الخطية (*nllink*) ويفترض أن كل عنصر يتألف من ستة نوا بضع داخلية غير خطية تمثل الانفعالات الستة تبعاً لدرجات الحرية (محورية 1 - قص 2 - قتل 1 انعطاف 2) ويسلك هذا العنصر سلوكاً غير خطياً في مسائل تحليل المنشآت الخاضعة لحمولات متغيرة مع الزمن ويسلك سلوكاً خطياً في بقية أنواع التحليل التي يعالجها البرنامج .

سوف نستخدم في هذا المثال نموذج عزل نواس الاحتكاك (*FPS*) وموجود ضمن مجموعة *nllink* تحت اسم *isolate2*. يتألف هذا النموذج من سطح استناد كروي يمكن للجزء العلوي أن ينزلق عليه كما يبين الشكل (9) يسمح هذا النموذج ببعض الإنزلاقات في كافة المستويات التي لا تتقدم فيها قوة القص ويعتمد مقدار الانزلاق على عامل الاحتكاك ونصف قطر التقرع الذي يرتبط بدوره بالصلابة الجانبية التي تعطى بالعلاقة [10] :

$$K=W/R \quad (19)$$

حيث :  $W$  : الوزن المنقول إلى المسند ويتضمن الحمولة الميتة والحية للمنشأ وتعطى بالعلاقة التالية. [5] :

$$W=1.25*DL+1.75*LL \quad (20)$$

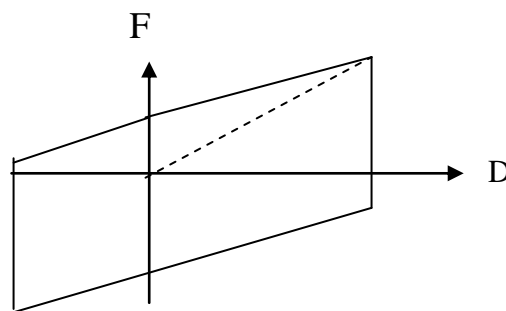
$R$  : نصف قطر التقرع ويؤخذ عادة بين  $(1.5 - 4) m$ .

وتصمم الصلابة الجانبية للعازل بشكل أولي كنسبة من صلابة الركيزة المرتبطة بها ثم يتم التحقق من مقدار الانتقال المسموح للعازل الذي يعطى بالعلاقة :

$$D_{all} \leq \frac{R}{5} \quad (21)$$

حيث:  $D_{all}$  تمثل الانتقال المسموح لجهاز العزل

يتم تحديد الصلابة الفعالة للعازل من خلال الحلقة التخلفية (قوة-انتقال) والتي تصاغ من خلال تجارب مخبرية كما هو موضح في الشكل (8) والممثلة بالخط المنقط .



الشكل (8) الحلقة التخلفية للعازل

يوجد ثلاث متحولات تحدد السلوك التخلفي للعازل:

نصف قطر التقرع :  $R$  ، معامل الاحتكاك :  $\mu$  ، رد الفعل المطبق على العازل :  $w$   
يعبر عن القوة الأفقية  $F$  من أجل أي مقدار انتقال  $D$  كما يلي [1] :

$$F = \mu W + \frac{W}{R} D \quad (22)$$

يمكننا الحصول على الصلابة الفعالة من العلاقة (22) بتقسيم القوة الأعظمية على الانتقال الأعظمي الموافق

$$K_e = \frac{\mu W}{D_{\max}} + \frac{W}{R} \quad (23)$$

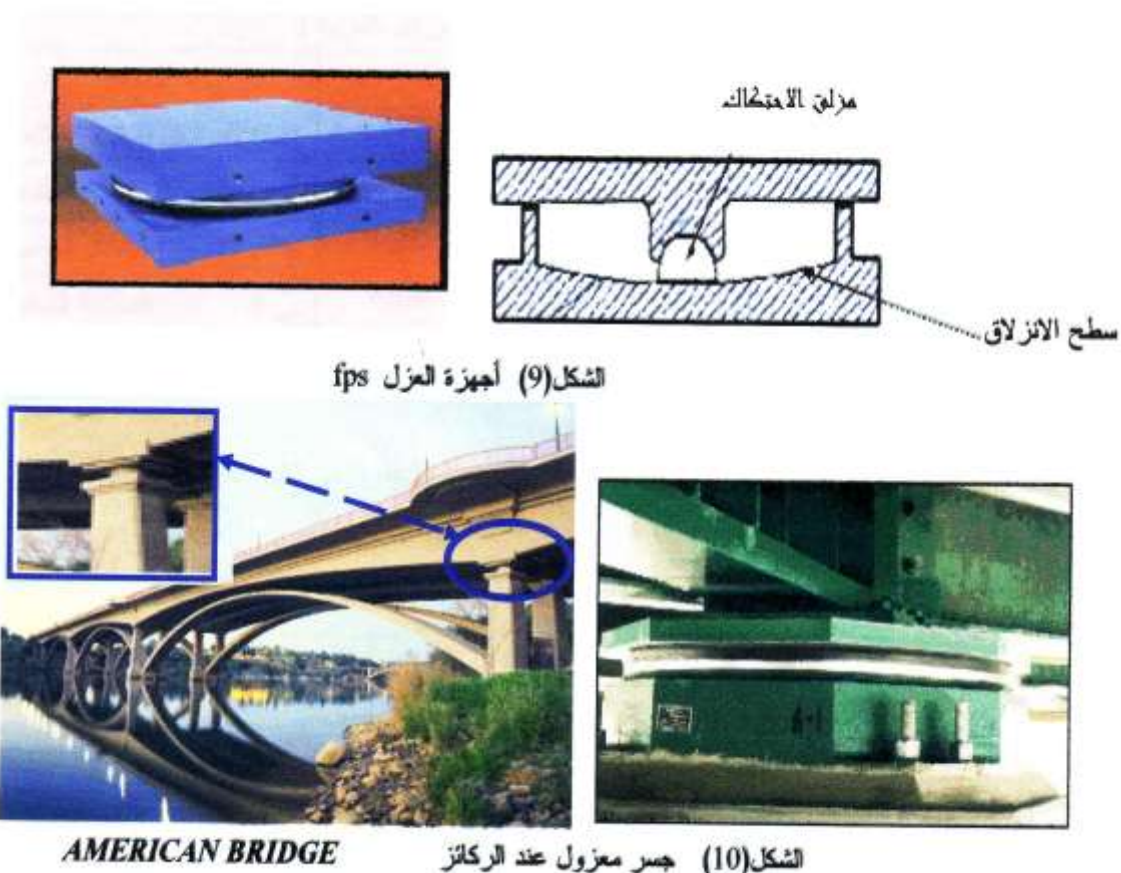
تعطى القيم النموذجية لمعامل الاحتكاك [7]:  $\mu = 18\%, 9\%, 6\%$ . وتصمم الصلابة الشاقولية للعازل بحيث تكون مساوية لعشر أضعاف الصلابة الأفقية التصميمية، ونتيجة التجارب تبين أن العازل FPS يملك قدرة تحمل شاقولية تصل إلى 130,000KN. يتم حساب التخادم الفعال للعازل كتابع للاستجابة التراجعية ومعدل اللدونة المتوقع عند الانتقال المكافئ، ففي حالة سلوك مرن -لدن تماماً يتم استخدام العلاقة [1].

$$\zeta_{de} = \frac{2(1 - \frac{1}{\psi_d})}{\pi} \quad (24)$$

باعتبار أن معدل اللدونة المطلوب  $\psi_d = 2$  (حيث أن معدل اللدونة يمكن أن يأخذ القيم بين 1.25-6.5) [11] ويتم ضرب العلاقة بالمعامل 0.7 على اعتبار أن العازل سيبدد بالتخادم 70% من الطاقة في دورة مرنة- لدنة [3].

$$\zeta_{de} = \frac{2(1 - \frac{1}{2}) * 0.7}{\pi} = 0.22$$

توضع أنظمة العزل هذه عادة في نهاية الركيزة تحت القسم العلوي للجسر الشكل (10) حيث يتوقع السلوك اللدن على الأغلب للركائز في هذه المنطقة في حال الجسور غير المعزولة أما في حال الجسور المعزولة فيتم حصر هذا السلوك ضمن أجهزة العزل.



نبين من الجدولين التاليين مواصفات أجهزة العزل المطلوبة لكل من الجسرين :

- **جسر عقدة المنطقة الصناعية-النموذج الأول**: بفرض أن نصف قطر التفرع للعازل 2m ومعامل الاحتكاك لسطوح التماس  $\mu = 0.09$ .

جدول (1) مواصفات أجهزة العزل للنموذج الأول (جسر عقدة المنطقة الصناعية)

الدليل	الركيزة الطرفية 1	الركيزة الوسطية	الركيزة الطرفية 2
الحمولة المنقولة للعازل $W(kn)$	750	720-630	640
الصلابة الفعالة $K_{eff}(kn/m)$	545	540-460	465
الانتقال المسموح $D_{all}(m)$	0.4	0.4	0.4
الصلابة الشاقولية $K_{vert}$	5450	5400-4600	4650

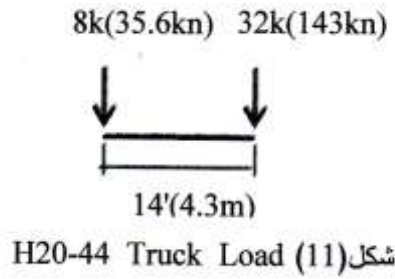
• **جسر نهر العرب -النموذج الثاني:**

بفرض أن نصف قطر التفرع للعازل (1.5,1.75)m عند الركائز الطرفية الأولى والثانية على الترتيب و 3m عند الركائز الوسطية وذلك لتأخذ بالاعتبار أن زيادة الوزن المنقول إلى المسند يجب أن يرافقه زيادة في نصف قطر التفرع للمحافظة على صلابة جانبية متقاربة لأجهزة العزل .

جدول (2) مواصفات أجهزة العزل للنموذج الثاني (جسر نهر العرب)

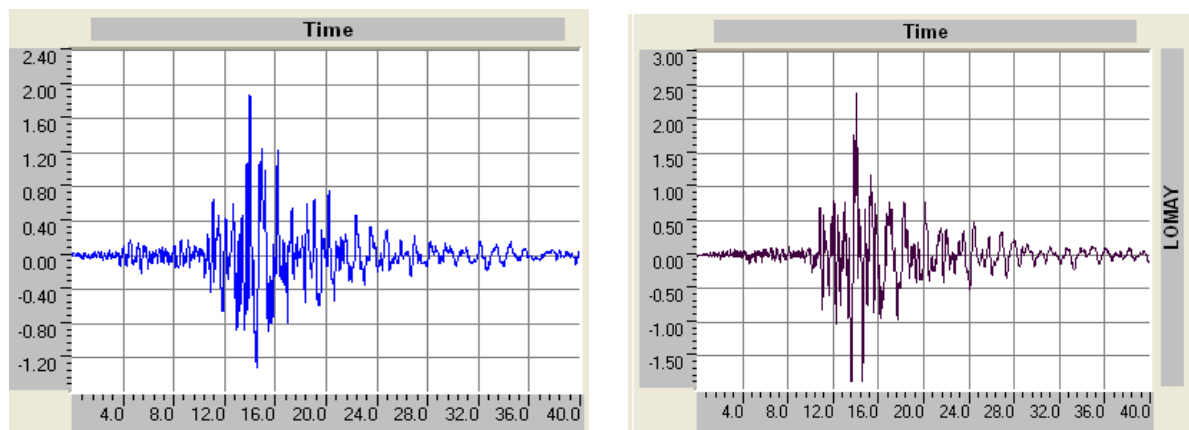
الدليل	الطرفية 1	الوسطية 1	الوسطية 2	الوسطية 3	الوسطية 4	الطرفية 2
الحمولة المنقولة للعازل $W(kn)$	750	1350	1350	1350	1350	620
الصلابة الفعالة $K_{eff} (kn/m)$	620	650	650	650	650	600
الانتقال المسموح $D_{all} (m)$	0.35	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3
الصلابة الشاقولية $K_{vert}$	6200	6500	6500	6500	6500	6000

**الحمولات :** تم إسناد حمولة حية لعربة Hn-44 وهي حمولة شاحنة قياسية H معرفة في الكود AASHTO حيث يمثل المعامل n الوزن الاسمي للعربة وفي مثالنا تكون H20-44 معرفة كما يلي :



#### وصف الزلزال التصميمي :

سوف نستخدم في هذا المثال السجل الزلزالي لزلزال لوما -بريتا LOMA-PRIETA الشكل (12) الذي حدث في سان فرانسيسكو -كاليفورنيا في 17 تشرين الأول 1989 وكانت شدته 7.1 على مقياس ريختر باعتباره أحد أهم الزلازل الخطرة التي حدثت في العالم (نورثريدج-كوبي-هيوجوكين-لوما بريتا) وألحقت أضرار كبيرة بالجسور الطرقية والذي بدأ بعدها التفكير بطرق تصميم زلزالية أكثر فعالية ومن ضمنها العزل الزلزالي في التصميم الزلزالي للمنشآت وسنطبقه على المنشأ مباشرة ابتداء من شروط ابتدائية صفرية بزمن قدره 40 ثانية وبخطوة زمنية 0.02 ثانية .



الشكل (12) السجل الزلزالي لزلزال لوما بريتا (a) الاتجاه x ، (b) الاتجاه y

### التحليل:

تم التحليل باستخدام برنامج SAP2000 بطريقة السجل الزمني "TIME HISTORY ANALYSES" من أجل حالتي الجسر غير معزول والجسر معزول باستخدام أجهزة العزل من المواصفات (FPS) :  
تحليل النموذج الأول:

نوضح من خلال الأشكال التالية نتائج التحليل للنموذج الأول في الحالتين مع إجراء مقارنة بين تلك النتائج. مقارنة بين سلوك الجسر المعزول وغير المعزول :  
نبين من خلال الجدولين التاليين أطوار الاهتزاز للجسر، وسوف نكتفي بأربعة أنماط اهتزاز للجسر .

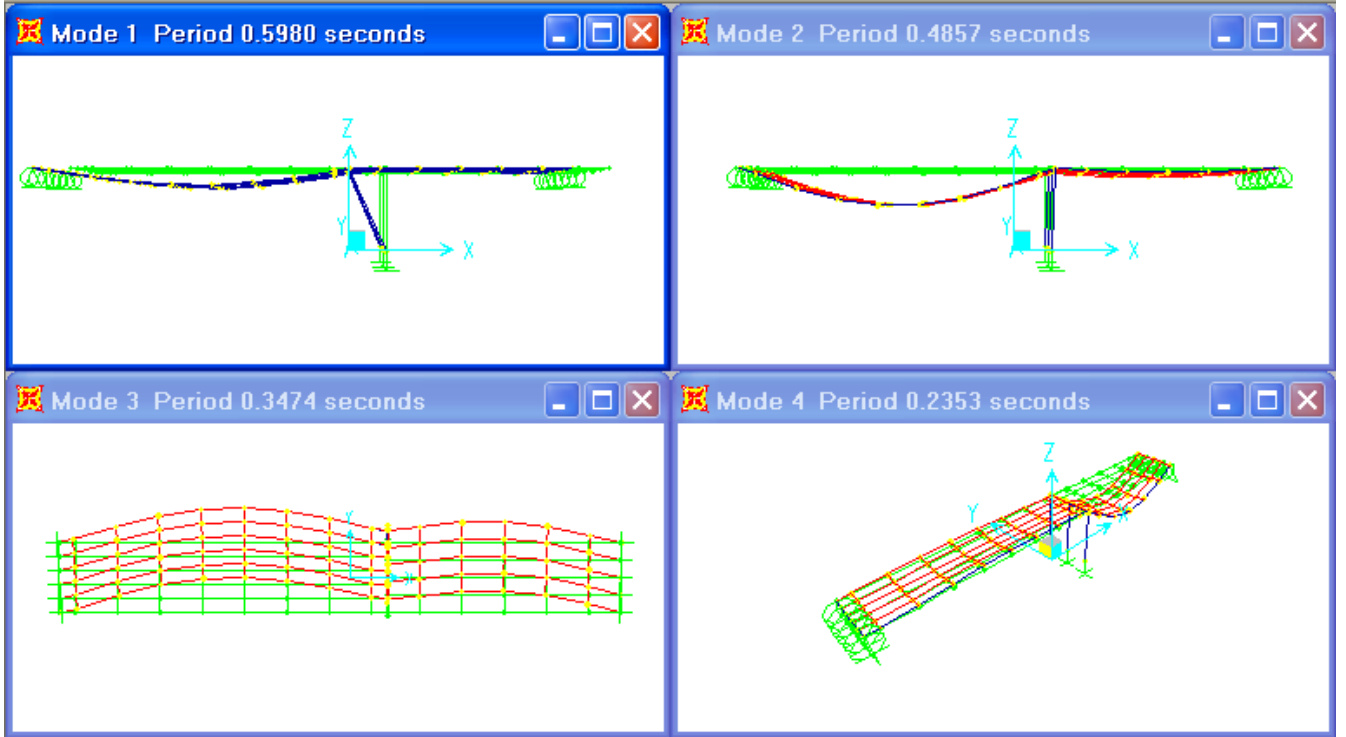
جدول (3) أنماط الاهتزاز ومساهمة الكتل للجسر في الوضع الطبيعي (بدون عزل)

نمط الاهتزاز	الدور (sec)	نسبة مساهمة الكتلة بشكل مستقل %			نسبة مساهمة الكتلة بشكل تراكمي %		
		Ux	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz
1	0.598	94.4617	0.0000	2.4092	94.4617	0.0000	2.4092
2	0.4856	5.4544	0.0000	47.868	99.9161	0.0000	50.277
3	0.3473	0.0000	84.0139	0.0000	99.9161	84.0139	50.277
4	0.2353	0.0594	0.0000	22.5579	99.9756	84.0139	72.8353

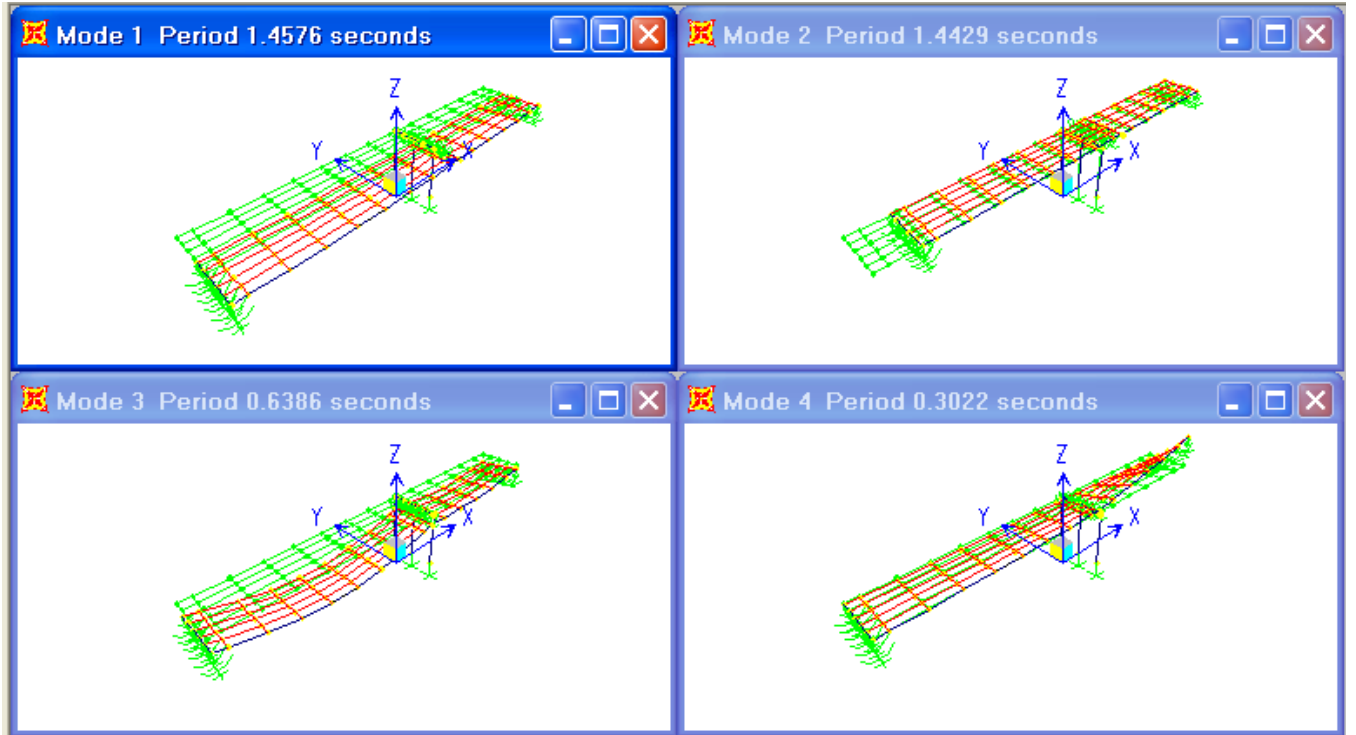
جدول (4) أنماط الاهتزاز ومساهمة الكتل للجسر في حال العزل

نمط الاهتزاز	الدور (sec)	نسبة مساهمة الكتلة بشكل مستقل %			نسبة مساهمة الكتلة بشكل تراكمي %		
		Ux	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz
1	1.4576	0.000	89.94	0.000	89.94	0.000	0.000
2	1.4429	91.5817	0.000	0.000	91.5817	0.000	0.000
3	0.6385	0.000	0.000	78.4927	91.5817	89.94	78.4927
4	0.30219	0.000	0.000	3.1399	91.5817	89.94	81.6327

حيث نلاحظ أن الدور قد ازداد تقريبا بمقدار ثلاث أضعاف وكذلك ازدادت مساهمة الكتلة بالاتجاهات الثلاثة للجسر وهذا بالطبع يؤدي إلى انتظام في الاستجابة الزلزالية للجسر ويضمن استمرارية العمل بعد الصدمة الزلزالية.



الشكل (13) أطوار الاهتزاز للجسر بالوضع الطبيعي (بدون عزل)



الشكل (14) أطوار الاهتزاز للجسر في حالة العزل

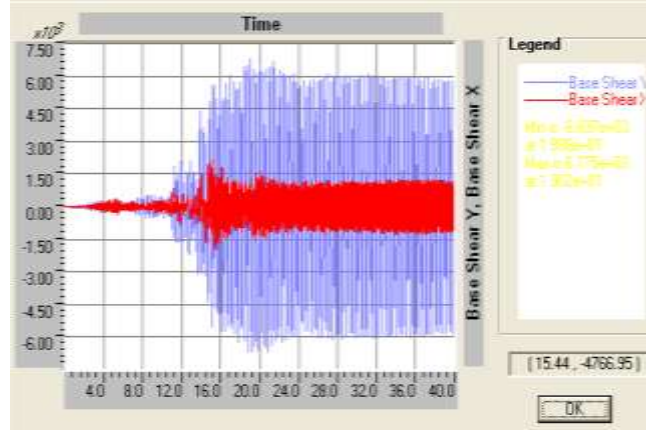
نلاحظ من الشكل (13) أن هناك عدم انتظام في استجابة القسم العلوي والتباين الواضح في انتقالات نقاطه ، الذي يؤدي بدوره إلى تشققات كبيرة قد تخرج الجسر من الاستخدام . أما في حال الجسر المعزول شكل (14)



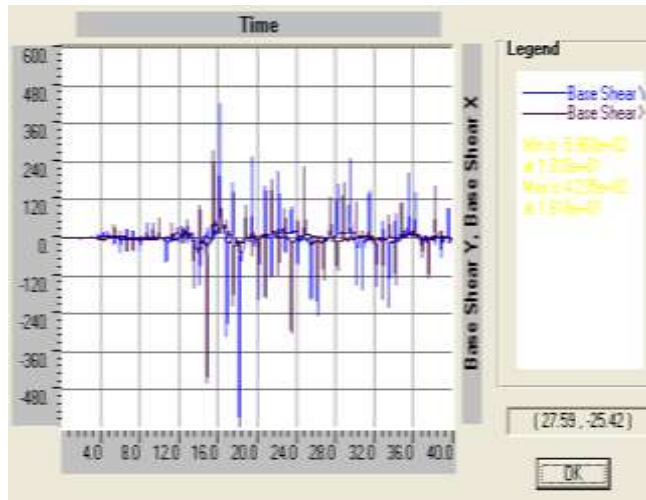
نلاحظ أن نظام العزل قد قام باستيعاب التشوّهات الحاصلة وأدى إلى انتقالات بشكل منتظم لجميع نقاط القسم العلوي.

#### تحليل الاستجابة الزلزالية:

يتجلى الهدف الرئيسي من عزل الجسر عند الركائز في تخفيض قوى القص القاعدي التي تقاوم من قبل الركائز باعتبار أن الركيّزة هي العنصر الأول الذي يتلقى الصدمة الزلزالية. يوضح الشكلين (15,16) القص القاعدي في حالة وضع المنشأ بدون عزل و في حالة العزل .



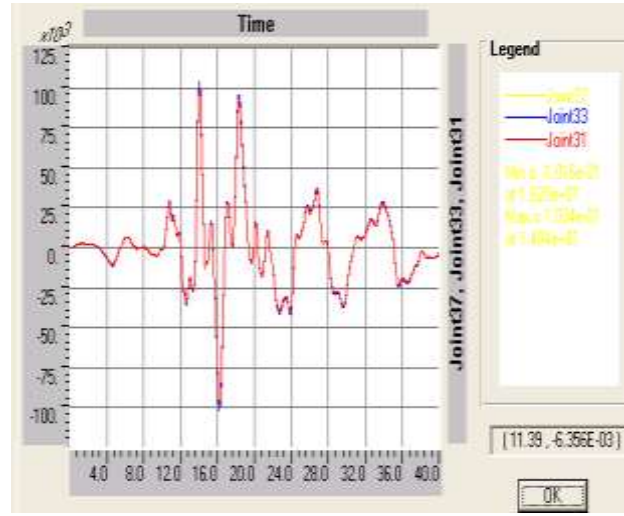
الشكل (15) مخطط القص القاعدي للجسر في الوضع التقليدي



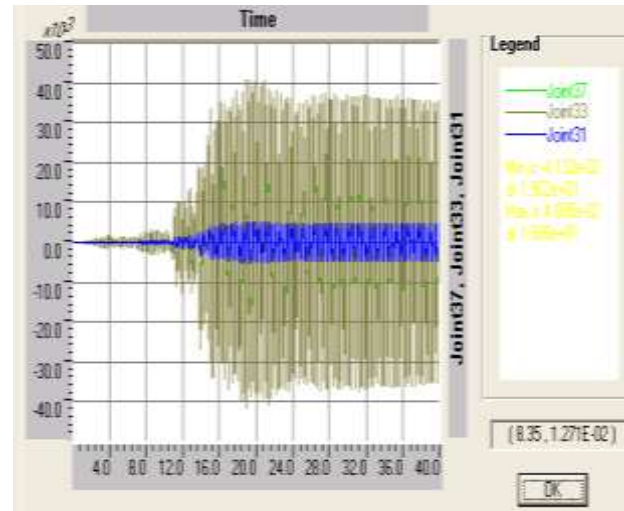
الشكل (16) مخطط القص القاعدي للجسر في وضع العزل

حيث أن القسم العلوي من الجسر يهتز خلال الزلزال بشكل مستقل عن الدعامة بفضل وجود العازل ويكون التفاعل الداخلي بين الدعامات والقسم العلوي في حدوده الدنيا. وكذلك نلاحظ أن تناوب إجهادات القص يكون سريعاً وخلال فترات زمنية قصيرة جداً وبسعات كبيرة في العناصر الإنشائية غير المعزولة أما بوجود جهاز العزل يصبح التجاوب الديناميكي بطيئاً ويتم امتصاص القوى الديناميكية خلال فترات زمنية أطول مما يساهم في تخفيف خطر انهيار المنشأ نتيجة إجهادات التعب .

حتى نبين تأثير جهاز العزل على التشوهات ندرج الأشكال التالية لانتقالات نقاط القسم العلوي من الجسر في الحالتين:



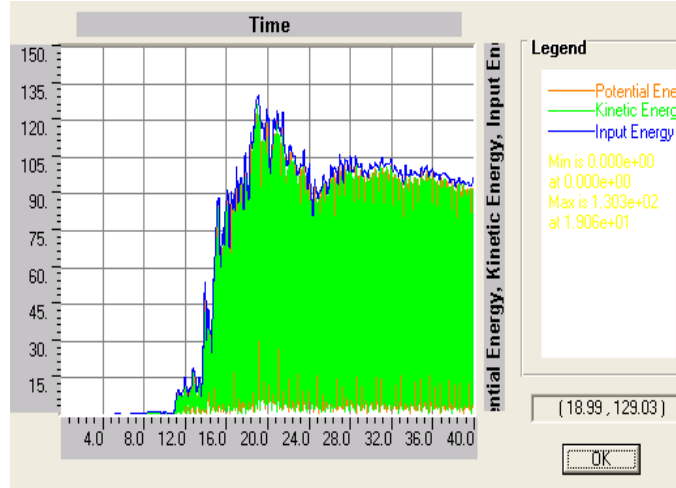
الشكل (17) انتقالات نقاط القسم العلوي في حالة العزل



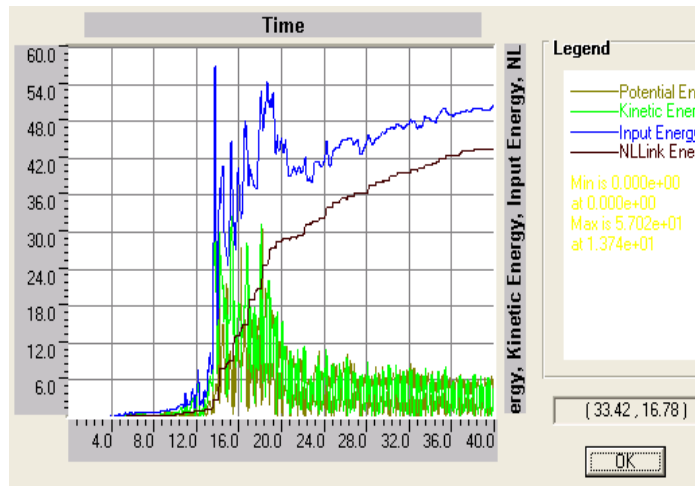
الشكل (18) انتقالات نقاط القسم العلوي في حالة الوضع التقليدي

يلاحظ أن فروقات الانتقالات بين وسط الجانز الممثل بالعقدة 31 و طرفي الجانز الممثل بالعقد 33,37 تكون صغيرة جداً في حالة العزل وهذا واضح من المنحنيات (شكل 17) التي تبدو متطابقة تماماً والذي ينعكس بدوره على التخفيف من تأثير التشوهات على جوانب القسم العلوي، أما في حالة عدم وجود العزل (شكل 18) نلاحظ أن الفروقات الكبيرة والواضحة في انتقالات النقاط والذي بدوره يزيد من التشوهات الحاصلة في المنشأ. ولتفسير هذه المخططات لا بد من الإطلاع على مخططات الطاقة، فالطاقة المتسربة إلى المنشأ هي التي تحركه فإذا وجدنا طريقة ما لتبديد هذه الطاقة فسينعكس ذلك على حركة المنشأ وخلافاً لذلك ستساهم الطاقة الداخلة إلى المنشأ في استمرار حركته وبسعات كبيرة.

يبين الشكل (19) مخططات الطاقة في حالة الجسر غير المعزول حيث نلاحظ أن الطاقة الداخلة تحولت إلى طاقة حركية وكامنة بشكل متناوب وهذا ما يفسر استمرار الاهتزازات ويسعات كبيرة . أما في حال الجسر المعزول (شكل 20) فنلاحظ أن الطاقة الداخلة قد تم تبديد معظمها بالتخامد وهذا ما يفسر انخفاض ساعات الاهتزاز بشكل كبير مع الزمن بعد المجال الذي يكون فيه الزلزال أعظم ما يمكن .



الشكل (19) مخطط الطاقة للجسر بالوضع الطبيعي



الشكل (20) مخطط الطاقة للجسر بوضع العزل

ومن الواضح أن نظام العزل (الممثل بالمنحني البني شكل 20) مرافق لمنحني الطاقة الداخلة تقريبا وهذا يدل على أن معظم الطاقة الداخلة قد تركزت في نظام العزل .  
تحليل النموذج الثاني:

تم إتباع نفس الأسلوب السابق في النمذجة والتحليل وفيما يلي النتائج .

جدول (5) أنماط الاهتزاز ومساهمة الكتل للجسر في الوضع التقليدي

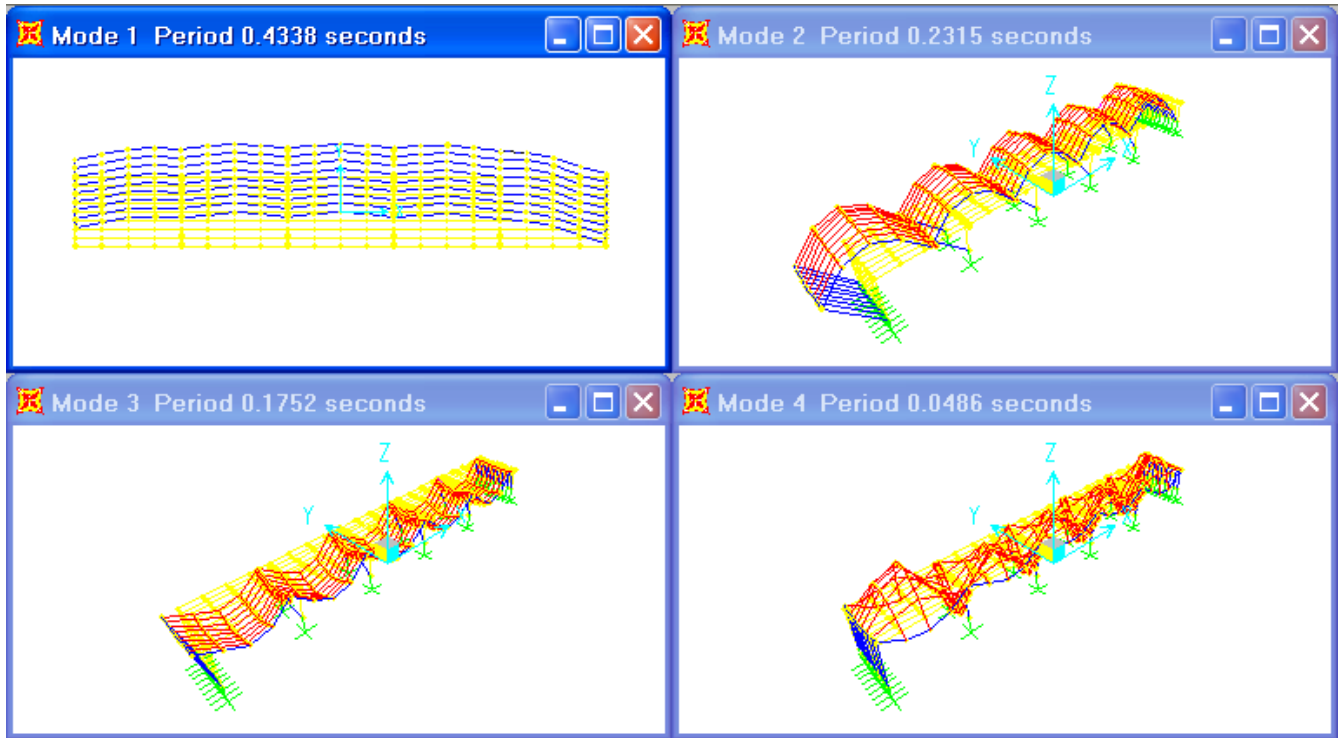
نمط الاهتزاز	الدور (sec)	نسبة مساهمة الكتلة بشكل مستقل %			نسبة مساهمة الكتلة بشكل تراكمي %		
		Uz	Uy	Ux	Uz	Uy	Ux

0.0000	91.7827	0.0000	0.0000	91.782	0.0000	0.433	1
15.739	91.7827	72.195	15.739	0.0000	72.195	0.231	2
59.3073	91.7827	98.454	43.568	0.0000	26.259	0.175	3
66.8897	91.7827	98.5015	7.582	0.0000	0.00030.0469	0.048	4

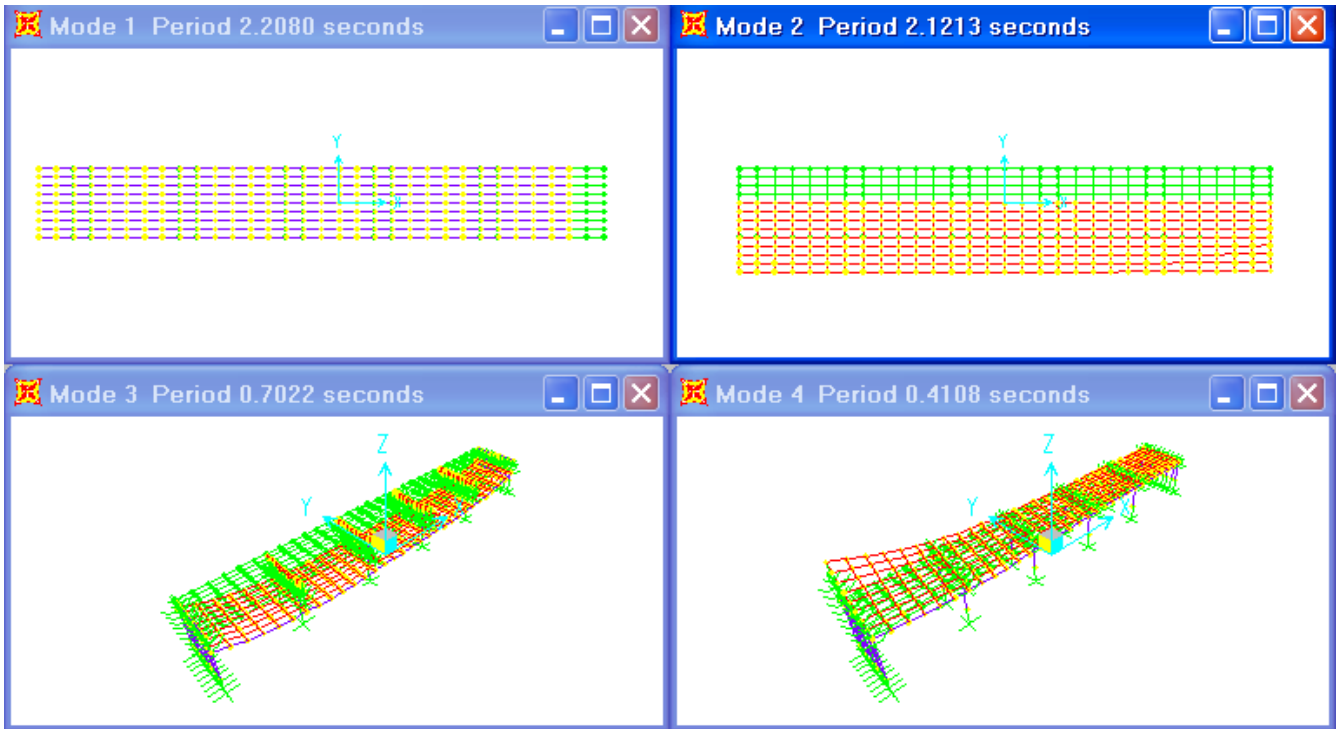
جدول (6) أنماط الاهتزاز ومساهمة الكتل للجسر في حالة العزل

نسبة مساهمة الكتلة بشكل تراكمي %			نسبة مساهمة الكتلة بشكل مستقل %			الدور (sec)	نمط الاهتزاز
Uz	Uy	Ux	Uz	Uy	Ux		
0.000	0.000	90.771	0.000	0.000	90.771	2.208	1
0.000	89.9731	90.771	0.000	89.9731	0.000	2.1213	2
85.778	89.9731	90.771	85.778	0.000	0.000	0.70224	3
86.875	89.9731	90.771	1.096	0.000	0.000	0.4108	4

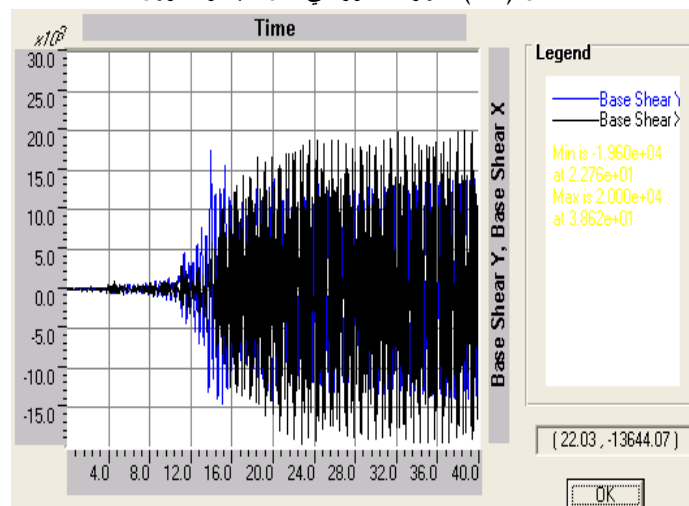
بملاحظة التغير الحاصل على دور الاهتزاز قبل وبعد العزل حيث ازداد الدور من القيمة 0.433 قبل العزل إلى القيمة 2.208 في حال العزل خلال الطور الأول للاهتزاز يدل على أن المنشأ اكتسب مرونة إضافية وهذا ما يوضحه الشكلين (21,22) حيث أن السطح أخذ شكل المنحني خلال الطور الأول للجسر غير المعزول أما في حال الجسر المعزول فينتقل السطح وكأنه جسم صلب تماماً حيث أن معظم التشوهات تركزت في أجهزة العزل وتلك ميزة هامة لأجهزة العزل الزلزالي سيما وأنها تمكن المصمم من تصميم المنشأ المعزول ضمن مرحلة المرونة الكاملة وبهذا يتم تجنب أضرار إنشائية كبيرة باختيار العزل الزلزالي عما هو في الشكل التقليدي .



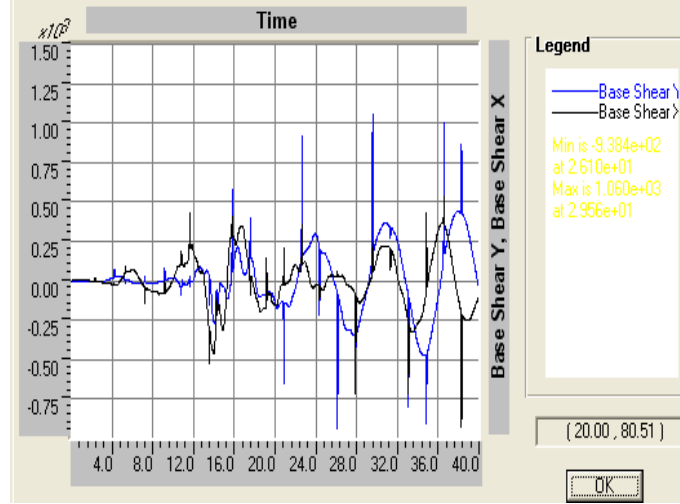
الشكل (21) أطوار الاهتزاز في حال الجسر غير معزول



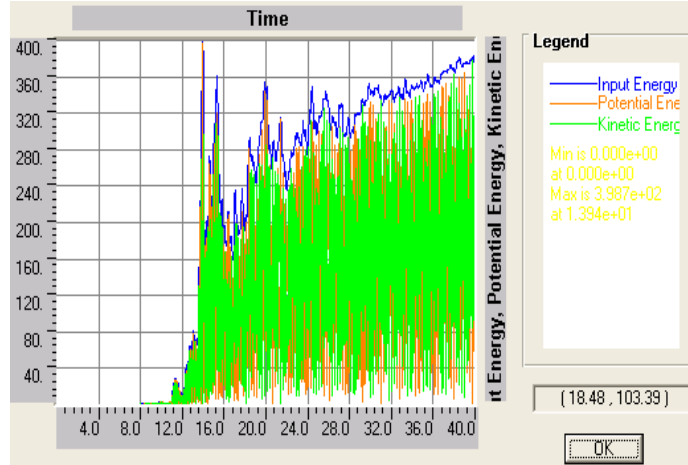
الشكل (22) أطوار الاهتزاز في حال الجسر معزول



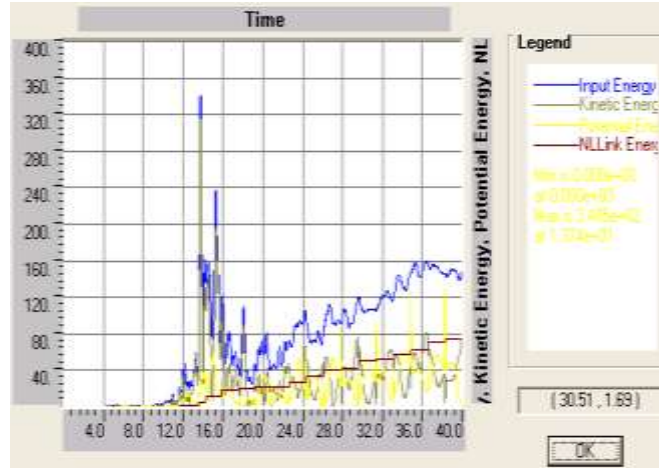
الشكل (23) القص القاعدي للجسر بالاتجاهين بالوضع التقليدي



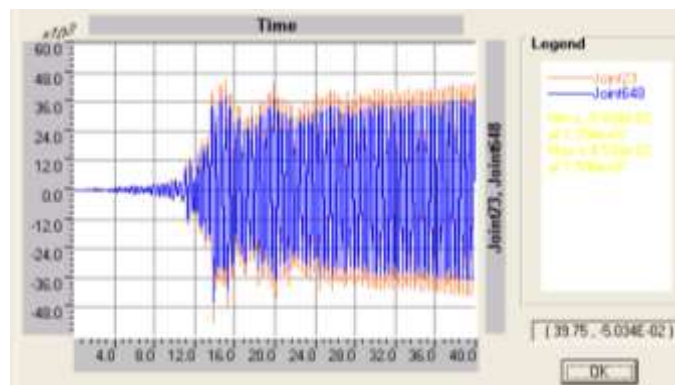
الشكل (24) القص القاعدي للجسر بالاتجاهين في حالة العزل



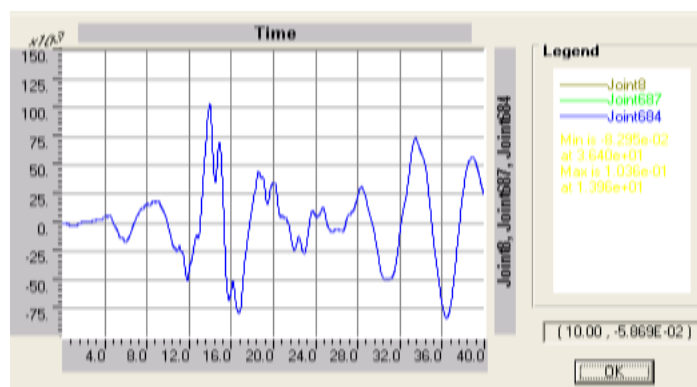
الشكل (25) مخطط الطاقة للجسر في الوضع التقليدي



الشكل (26) مخطط الطاقة للجسر في حالة العزل



الشكل (27) انتقالات نقاط القسم العلوي للجسر بالوضع التقليدي



الشكل (28) انتقالات نقاط القسم العلوي للجسر في حالة العزل

## النتائج:

- 1- يمكننا أن نرد مسألة العزل الزلزالي إلى مسألة ناقلية للطاقة فبقدر ما نستطيع اعتراض هذه الطاقة وعدم السماح لها بالانتقال إلى القسم المعزول بمقدار ما نحصل على عزل جيد .
- 2- عند وضع جهاز العزل والتخميد داخل المنشأ أو أسفل قاعدة الأساس فإنه تم إقحام درجة حرية وخواصات مدروسة أدت إلى تغيير في الاستجابة الديناميكية للمنشأ بأكمله.
- 3- إن تردد جهاز العزل صغير بينما تخامده كبير بعكس المنشأ ذي الأساس الثابت والذي يتصف بتردد كبير وتخامد صغير نسبياً، وهنا فإن عملية إضافة جهاز العزل إلى المنشأ مكنت الطور الأول للاهتزاز وهو طور العزل من فرض دور أطول على المنشأ نتيجة المرونة الإضافية التي تم اكتسابها .
- 4- قام جهاز العزل باستيعاب أكبر قدر ممكن من التشوهات وترك نسبة صغيرة جداً من التشوه للمنشأ، الأمر الذي جعل القسم العلوي للجسر يهتز وكأنه جسم صلب تقريباً.
- 5- يعود عدم حساسية المنشأ المعزول لمركبات التردد للحركات الزلزالية بسبب أن أنظمة العزل تعمل على تخفيض ونشر الطاقة الزلزالية على مجال واسع من الترددات بفضل المرونة الإضافية [12] .
- 6- إن وجود جهاز العزل يعني تخفيض للقوى الداخلية بأكملها وبالتالي تخفيض الاجهادات والتشوهات وسيوضح الجدول التالي قيم بعض الاجهادات والقوى الداخلية في بعض العناصر الإنشائية في حالتها المعزولة وبدون عزل وملاحظة نسب التخفيض الناتجة .

جسر نهر العرب- النموذج الثاني				جسر المنطقة الصناعية-النموذج الأول			
نسبة الخفيض %	تقليدي	معزول	الدليل	نسبة التخفيض %	تقليدي	معزول	الدليل
61	1430	556.2	VP (68)	85	1412	201.7	VP (176)
62	1482	556.8	VP(87)	85	1601	229.4	VP(171)
62	1473	555.2	VP(83)	85	1407	200.7	VP(175)
58	1339	551.4	VP(79)				
95	20000	930.2	VX	87	2172	275.5	VX
93	17450	1060	VY	93	6775	424.3	VY
67	1495	482.4	MP(68)	85	5329	756.5	MP(176)
68	1545	483	MP(87)	85	6363	909.6	MP(171)
68	1537	481.6	MP(83)		5298	143.6	MP(175)
66	1408	478.4	MP(79)				
14	398.7	340.5	I .EN	56	130.3	57.02	I .EN
88	10.9	1.28	Acc,x(joint634/25)	47	2.518	1.314	Acc,x(joint39/39)
78	8.674	1.895	Acc,y(joint634/25)	72	6.71	1.824	Acc,y(joint39/39)

حيث  $VP_i$  القص في الدعامة  $i$ ،  $VX$ ,  $VY$ ، القص القاعدي بالاتجاهين الأفقيين،  $MP_i$  العزم في الدعامة  $i$  حال غير المعزول .

### قائمة المصطلحات العلمية :

Acceleration	تسارع	Amplitude	سعة
Base shear	قص قاعدي	Analysis	تحليل
Bearing	مسند	Collapse	انهيار
Damping	تخامد	Critical	حرج
Dissipated energy	الطاقة المتبددة	Design	تصميم
Ductility	مطاوعة	Displacement	انتقال
Earthquake	زلزال	Elastic	مرن
Effective stiffness	الصلابة الفعالة	Fatigue	تعب



Horizontal	أفقي	Friction	احتكاك
Hysteretic	ارتدادي (تخلفي)	Intensity	شدة
Inertia	عطالة	Nonlinear	لاخطي
Isolation	عزل	Period	دور
Matrix	مصفوفة	Pier	ركيزة
Response	استجابة	Plastic	لدن
Seismic	زلزالي	Reduce	يخفض
Shift	يغير	Sliding	انزلاق
Specification	مواصفات	Span	مجاز (فتحة الجائز)
Strength	مقاومة	Spherical	كروي
Stress	إجهاد	Strain	تشوه
Vertical	شاقولي	Structural	إنشائي
Yield	خضوع	Velocity	سرعة

## المراجع:

.....

- [1]-Priestley. M.j.n,seible.F,calvi.G.M." *seismic design and retrofit of bridges*", john Wiley and sons,Inc,1996.
- [2]-Wai-Fahchen,Lianduan"*Bridge E ngering.HandBook.2000*"London New YORK. Washington. D.C.
- [3]-Clough.R.W,penzien.G." *dynamics of structures.2<sup>nd</sup> ed.,Mcgrow-hill,Newyork,1993*"
- [4]-Kelly.james."*Earthquake engineering and structural dynamics*" Dyn.28,3-20 (1999)
- [5]- AASHTO,Revision to the Guide Specifications for Seismic isolation Design,*Ballot Version,T3Committee,May,1997.* .

[ 6 ] - الحكيم، إبراهيم . المرجع العلمي والتطبيقي لتحليل وتصميم المنشآت "

- [7]- Chang,Shih,Nicos.Makris."*Earthquake engineering and structural dynamics*" . 2000,29:85-107
- [8]- Liu,D.W,Nobari,F.S.,Schamber,R.A.,and Imbsen,R.A.,Performance based seismic retrofit design of Benicia-Martinez bridge, in *Proceedings," National Seismic Conference on Bridges and Highways"*,Sacramento,CA,july 1997.
- [9]- Earthquake Protection System ,"*Friction Pendulum Seismic Isolation Bearings*", Product Technical Information, Earthquake Protection systems,Emeriville,CA,1997
- [10]- American Society Of Civil Engineers .Reston,Virginia"*Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*" November 2000.
- [11]-G.C.Andrew"A Statistical Approach To Equivalent Linearization With Application To Performance-Based Engineering"PASADENA, CALIFORNIA. APRIL2004.
- [12]-M.GHAFORY-ASHTIANY,F.NATEGHI-ALAH.I."*Seismology and Earthquake Engineering(SFE-2)*".MAY 15-17 1995 .Tehran,I,Iran.