تقييم كفاءة بعض إجراءات التدعيم في أحد نماذج الجسور المحلية بالاعتماد على منحنيات التضرر الزلزالي
(دراسة حالة جسر الرمال على طريق اللاذقية – طرطوس)

د. نايل حسن*

د. بسام حويجة**

حنان حسين***

(تاريخ الإيداع 18 / 6 / 2020. قُبِل للنشر في 26/ 8 / 2020)

□ ملخّص □

في ظل التطور الكبير في اشتراطات التصميم الزلزالي للجسور وارتباطها بالأداء المطلوب تبرز الحاجة إلى تقييم أداء الجسور القائمة للتحقق من قدرتها على مقاومة هزات زلزالية محتملة ومدى حاجتها لإعادة التأهيل. يعتبر التقييم الاحتمالي من أحدث طرائق التقييم لأنه يأخذ بالاعتبار عدم الموثوقية في كل من الطلب والاستطاعة ويتنبأ بمستوى الضرر من أجل مجال كبير من الشدات الزلزالية، وفي حال الحاجة للتدعيم يمكن أن يكون أداة مفيدة للمقارنة بين خيارات التدعيم المتاحة.

قمنا في هذا البحث بإيجاد منحنيات التضرر الزلزالي لجسر الرمال الواقع في الساحل السوري (باعتباره مشابهاً من الناحية الإنشائية لعدد كبير من الجسور المحلية)، وذلك من أجل الحالة الراهنة للجسر وأيضاً من أجل بعض الخيارات التدعيمية التي اقترحت بناء على السلوك المتوقع للجسر بهدف معرفة تأثيرها في تحسين أدائه. لتحقيق هذا الهدف قمنا بنمذجة الجسر باستخدام برنامج csibridge v20 وتحليله باستخدام الإجراءات الستاتيكية اللاخطية، كما تم تحديد حالات التضرر المختلفة لكل من الأعمدة وأجهزة الاستناد، ثم تم تحديد مستوى التضرر المتوقع فيها من أجل 50 طيفاً زلزالياً مختلفاً، ومن ثم أجريت المقارنة بين المنحنيات الناتجة.

خلص البحث إلى أن هذا النموذج من الجسور يعاني ضعفاً في منطقة الاتصال بين الجزأين العلوي والسفلي للجسر (أجهزة الاستناد)، وبينت النتائج أن تأثير الإجراءات التدعيمية على احتمالية التضرر يختلف من حالة تضرر لأخرى، كما أن التقوية المحلية لمكون في الجسر يمكن أن تؤثر سلباً على الأداء العام للجسر وتزيد من احتمالية تضرره.

الكلمات المفتاحية: منحنيات التضرر الزلزالي، تقييم الجسور، إعادة تأهيل الجسور.

*أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

**أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

***طالبة دراسات عليا (دكتوراه) – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

Evaluate the Efficiency of Some Retrofit Measures in One of Local Bridge Models Based On Seismic Fragility Curves (Case Study of Al Rimal Bridge on Lattakia -Tartous Road)

Dr. Naeel Hasan*
Dr. Bassam Hwaija**
Hanan Hussein***

(Received 18 / 6 / 2020. Accepted 26 / 8 / 2020)

□ ABSTRACT □

In view of the great development of seismic design requirements for bridges, and their association with the required performance, there is a need to evaluate the performance of the existing bridges to verify their ability to withstand possible earthquakes and their need for rehabilitation. Probabilistic evaluation is one of the latest methods because it takes into account the unreliability of both demand and capability, and predicts the level of damage for a large range of seismic intensities; also it can be a useful tool for comparing the available retrofit options.

In this paper, we developed the seismic fragility curves for Al Rimal Bridge on the Syrian coast (as it is structurally similar to a large number of local bridges), that was for the current state of the bridge and also for some of the retrofitting options proposed based on its expected behavior to determine their effect in improving its performance. The bridge was modeled using csibridge v20, and nonlinear static analysis was performed. Different damage states were identified for both columns and bearings, and the expected damage level was determined for 50 different seismic spectra, and then we compared the resulting curves.

As a result we found that this model of bridges suffers a weakness in the bearings, also the results showed that the impact of the retrofitting measures on the vulnerability differs from one damage state to another, and that the local strengthening of a component can adversely affect the overall performance of the bridge and increase the likelihood of damage.

Keywords: fragility curves, bridge evaluation, bridge rehabilitation

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

** **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:

تشهد الهندسة الزلزالية للجسور تطوراً مستمراً نتيجة أهمية وخصوصية هذه المنشآت، فالجسور وإن كانت عرضة للضرر الزلزالي كغيرها من المنشآت الهندسية، إلا أن عواقب هذا الضرر في الجسور تكتسب أهمية أكبر نظراً لما يترتب على ذلك من توقف للحركة المرورية وفقدان للتواصل بين المناطق المختلفة. وقد ترافق تحسين معايير واشتراطات تصميم الجسور مع تطوير أدوات لتقييم الجسور القائمة تتناسب مع مفهوم الأداء الذي يستند إليه التوجه الحديث في الهندسة الزلزالية، ليتم بناء على التقييم وضع خطة لإعادة تأهيل الجسور القائمة الضعيفة زلزالياً وتحسين أدائها. من طرائق التقييم الأكثر حداثة والتي بدأت تنتشر على نحو واسع طريقة منحنيات التضرر الزلزالي، والتي تقيم الأداء وتظهر احتمالية التضرر من أجل مجال واسع من الشدات الزلزالية، وهذا بدوره يمكن أن يستخدم لتقدير الخسائر، وتحديد أولويات إعادة التأهيل الزلزالي، وتقييم الخيارات المتاحة للتدعيم وتحسين الأداء.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الأضرار التي لحقت بالجسور نتيجة الأحداث الزلزالية في مختلف أنحاء العالم أدت إلى تحسين اشتراطات التصميم الزلزالي للجسور الحديثة، ودفعت في الوقت نفسه إلى البحث عن آليات تدعيم مناسبة تحسن أداء الجسور القائمة وتزيد من مقاومتها للأخطار الزلزالية. يهدف هذا البحث إلى تقديم الدراسة المرجعية والنظرية اللازمة لتقييم الأداء الزلزالي للجسور القائمة، والإضاءة على منحنيات التضرر كواحدة من أحدث الطرائق المستخدمة لهذا الغرض، بالإضافة إلى أهم إجراءات التدعيم التي يمكن أن تحسن أداء الجسور، ومن ثم دراسة حالة لنموذج جسر الرمال الذهبية الواقع على أوتوستراد اللاذقية – طرطوس، حيث سيتم رسم منحنيات التضرر الزلزالي للجسر والاستفادة منها في تقييم مستوى التضرر المتوقع، وكذلك في دراسة تأثير بعض الحلول التدعيمية على احتمالية تضرره، وبالتالي تحديد الإجراء الأكثر فاعلية.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث المنهج النظري التحليلي والتطبيقي، سيتم تقديم الدراسة المرجعية اللازمة لتقييم وإعادة تأهيل الجسور القائمة، كما سيتم إنشاء نموذج 3D للجسر المدروس باستخدام برنامج csibridge v20 وتحليله تحليلاً ستاتيكياً لاخطياً، ورسم منحنيات التضرر الخاصة به من أجل حالات التضرر المختلفة وذلك باستخدام الصيغة التقليدية لمنحنيات التضرر، ومن ثم اقتراح آليات تدعيم مناسبة ورسم منحنيات التضرر بعد التدعيم لمعرفة تأثير هذه الآليات على الأداء الزلزالي للجسر.

1- تقييم الأداء الزلزالي للجسور

إن تحديد الإستراتيجية المناسبة لتدعيم أي جسر تبدأ من نتائج تقييم هذا الجسر، والذي يبين أوجه الضعف في مكوناته المختلفة ويحدد العناصر الأكثر حرجاً، وبالتالي فالتدعيم الجيد والفعال يتطلب تقييماً جيداً يتنبأ بالسلوك المتوقع للجسر تحت تأثير الخطر الزلزالي ومدى تحقيقه للأداء المطلوب. تختلف مستويات الأداء تبعاً لأهمية الجسر ومستوى الهزة الأرضية ولهذا أصبح مفهوم الأداء أساسياً في عمليات تقييم الجسور وإعادة تأهيلها، ففي دليل إعادة التأهيل الزلزالي لمنشآت الجسور الصادر عن المركز متعدد الاختصاصات لبحوث الهندسة الزلزالية (MCEER) تم التأكيد

على أن تكون فلسفة إعادة تأهيل منشآت الجسور قائمة على الأداء (MCEER, 2006). تعتمد عمليات التقييم القائم على الأداء غالباً على وضع نماذج حاسوبية تحاكي المنشأ الفعلي، ومن ثم تحليلها بعد اختيار الشدات الزلزالية التي يطلب التقييم من أجلها، وبعدها تتم معالجة النتائج بالاستناد إلى المعايير التي ستعتمد لتقييم الأداء وتحديد مستويات التضرر، وأخيراً وفي ضوء هذه النتائج يتم تحديد آليات مناسبة لتدعيم الجسر مع مراعاة الشروط الاقتصادية التي تعتبر عاملاً بالغ الأهمية في استراتيجيات التدعيم.

1-1- النمذجة الإنشائية

إن النتائج التي يتم الحصول عليها بعد تحليل الجسر حساسة جداً لطريقة نمذجة الجسر والعناصر المختارة لتمثيل مكوناته المختلفة وشروط الاستناد وغيرها، فكلما كانت النمذجة أكثر دقة كان التقييم أكثر واقعية، ولهذا فإن نموذج الجسر يجب أن يأخذ بالاعتبار خصائص المواد الخطية واللاخطية، فهناك نوعان من السلوك اللاخطي يتم إدراجها في نموذج الجسر من أجل التمثيل الصحيح للاستجابة المتوقعة يتضمن النوع الأول السلوك اللاخطي للعناصر والمقاطع العرضية الناتج عن علاقات الإجهاد- التشوه اللاخطية للمواد، بالإضافة إلى وجود الفجوات والنوابض اللاخطية لتمثيل بعض المكونات الخاصة في الجسر، أما النوع الثاني فإنه يتضمن اللاخطية الهندسية التي تمثل المرتبة الثانية أو تأثيرات P-Δ على المنشأ، بالإضافة إلى تهديد الاستقرار تحت التشوهات الكبيرة. كما يجب تعريف خصائص المقطع الفعال في المكونات التي يمكن أن يحدث فيها تشقق وخضوع للتسليح كالأعمدة من أجل الحصول على قيم حقيقية لدور الجسر وللطلب الزلزالي، ولا بد أن يأخذ النموذج أيضاً بعين الاعتبار إمكانية حدوث الطرق وكذلك تأثير التربة عند الركائز الطرفية. نبين لاحقاً كيف تمت نمذجة الحالة المدروسة.

2-1- التحليل الإنشائي

كما أن للنمذجة تأثيراً كبيراً على النتائج المحصلة فإن لطريقة التحليل المتبعة أيضاً تأثير على النتائج، فاستخدام الإجراءات التحليلية المناسبة سيعطي تصوراً لاستجابة المنشأ عند تعرضه للزلزال، ويمكننا من تحصيل القوى والانتقالات الناتجة عنه، وبالتالي تحديد الطلب الزلزالي في مكوناته المختلفة. إن طرائق التحليل الإنشائي المختلفة الخطية واللاخطية بقسميها الستاتيكية والديناميكية يمكن أن تكون أدوات في التقييم الزلزالي للجسور، لكن الاختيار بينها يعتمد على الطبيعة الإنشائية للجسر، وعلى المستوى المقبول من الدقة والكلفة الحسابية، ومن هذه الطرائق:

- **الإجراء الستاتيكي الخطي (LSP):** وهو إجراء بسيط نسبياً مناسب من أجل المنشآت البسيطة المنتظمة المحكومة بالاستجابة وفق النمط الأول حيث يتم تقدير الاستجابة الخطية المرنة، وهنا يمكن معالجة اللدونة من خلال العامل R الذي يخفض القوى التصميمية بشكل تابع لأهمية الجسر وقدرة النظام الإنشائي على مقاومة التشوهات اللدنة، لكنه يبقى الإجراء الأضعف إذ أنه لا يبين بوضوح أداء الجسر.
- **التحليل باستخدام طيف الاستجابة (RSA):** وهو إجراء ديناميكي خطي مرن يتم فيه تحليل نمطي للمنشأ لتحديد شكل التشوه والتردد الطبيعي لكل أنماط الاهتزاز ذات التأثير الهام على الاستجابة الكلية، ويستخدم طيف الاستجابة التصميمي لتحديد قيمة الاستجابة لكل نمط بالاستناد إلى عامل المشاركة والاستجابة والتخميد لكل منها، ثم تحصل الاستجابة العظمى من خلال تراكب الأنماط. يعطي هذا الإجراء توقعاً جيداً للاستجابة الديناميكية المرنة للمنشأ، ومع أنه يمكن أن يستخدم لتحديد الاستجابة اللدنة من خلال خطية مكافئة (Ramanathan, 2012)، لكنه مع ذلك لا يستطيع توقع طلب الانتقال اللدن أو استطاعة التشوه اللدن للجملة، أو مجال القوى الداخلية في حال توقع

حدوث خضوع، ولهذا فهو مناسب فقط من أجل المنشآت التي يتوقع أن تسلك سلوكاً مرناً تحت تأثير الهزات الأرضية قيد الاهتمام.

- **التحليل الخطي باستخدام السجلات الزمنية (LTHA):** تعالج هذه الطريقة استجابة النظام الإنشائي في مجال الزمن من خلال تعريض المنشأ تحليلياً لسجل تسارع زلزالي، وهذا الإجراء مناسب أيضاً فقط في حال أن المنشأ سيبقى مرناً تحت تأثير الحركة الأرضية المختارة (NCHRP, 2013).

إن إجراءات التحليل الخطية السابقة وإن كانت مفيدة لكنها غير كافية لتحديد أداء المنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية (Hasan, 2017)، وذلك نتيجة تعاملها مع المجال المرن للمنشأ فقط، وعدم اعتبار الاستطاعة الإضافية بعد التلدن إلا بشكل تقريبي، وهذا ما يدفع إلى استخدام طرائق التحليل اللاخطية ومن أهمها:

- **التحليل اللاخطي باستخدام السجلات الزمنية (NLTHA):** وهو طريقة تحليلية أكثر شمولية لأن تأثير السلوك اللدن يدخل في تحليل الطلب، يتم أثناء التحليل تقييم استطاعة المكونات الرئيسية في الجسر كتابع للزمن بالاعتماد على السلوك اللاخطي المحدد للعناصر والمواد (Cavallari, 2011). يتطلب هذا التحليل مجموعة من السجلات الزمنية لحركات زلزالية تمثل الخطر الزلزالي وظروف الموقع (والتي قد لا تكون متوفرة)، كما أنه يستهلك الكثير من الوقت والجهد وهذا ما يدفع إلى استخدام طرائق أبسط مثل الإجراءات الستاتيكية اللاخطية (NSP).
- **الإجراءات الستاتيكية اللاخطية (NSP) أو تحليل pushover:** يتم في هذه الإجراءات تطبيق قوىً جانبية بشكل متزايد، ويستمر التحليل حتى وصول المنشأ إلى استطاعته القصوى أو إلى الانتقال الهدف المحدد مسبقاً، يوضح هذا التحليل تطور المفاصل اللدنة ويمكننا من رسم منحني الاستطاعة الذي يمثل العلاقة بين الانتقال في نقطة التحكم المختارة وبين قوة القص القاعدي، ويمكن تحديد مستوى أداء الجسر عند أي شدة زلزالية من خلال موقع نقطة الأداء على هذا المنحني، ونقطة الأداء هي نقطة تقاطع منحني الاستطاعة مع طيف الطلب بعد رسم كل منهما بشكل تسارع طيفي مقابل انتقال طيفي. يعطي هذا التحليل معلومات عن الكثير من خصائص الاستجابة التي لا يمكن الحصول عليها من التحليل الستاتيكي أو الديناميكي المرن، وبإعطاء الشروط المناسبة يمكن أن يكون هذا التحليل موثوقاً مثله مثل أكثر أنواع التحليل دقة وتعقيداً (Chen & Duan, 2003).

اعتمدنا في هذا البحث التحليل باستخدام (NSP). بعد إجراء التحليل يتم تحديد معاملات الطلب الهندسية والتي توصف الاستجابة على شكل انتقالات أو تسارعات أو قوى داخلية أو غيرها من المقادير الملائمة، لتتم مقارنتها بالاستطاعة المتاحة، وباعتبار أن أياً من الطلب الزلزالي أو استطاعة العناصر الإنشائية لا يمكن أن يحدد بدقة نتيجة عدم الموثوقية المرتبطة بتعريف الخطر الزلزالي وبالخصائص الإنشائية للجسر فإن التقييم يعتمد مبدأ الاحتمال، وهذا كان الدافع وراء ظهور وانتشار ما يعرف بمنحنيات التضرر (fragility curves).

1-3- منحنيات التضرر الزلزالي

منحنيات التضرر هي منحنيات تبين احتمالية أن يكون الطلب الإنشائي الناتج عن مستويات مختلفة من الحركة الزلزالية أكبر أو يساوي استطاعة أو قدرة المنشأ على مقاومة عتبة تضرر معطاة، ويعبر رياضياً عن هذا الاحتمال كما يلي:

$$\text{Fragility}=P[D\geq \mathbf{C}|\boldsymbol{IM}]=P[\mathbf{C}-D\leq 0.0\ |\boldsymbol{IM}] \quad (1)$$

حيث C الاستطاعة، D الطلب، و IM شدة الحركة الأرضية المطلوب تحديد احتمال التضرر عندها. ويمكن أن تستخدم عدة مؤشرات لوصف الحركة الأرضية كالتسارع الأرضي الأعظمي PGA أو السرعة الأرضية الأعظمية

PGV أو التسارع الطيفي S1 أو غيرها، وتعتبر النقطة الأساسية في اختيار مقياس الشدة المناسب أن يكون له مستوى معين من الترابط مع الضرر الزلزالي للجسر.

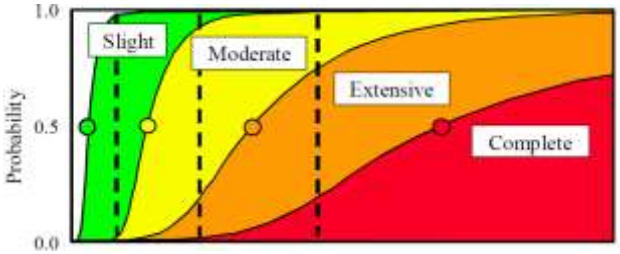
تقوم منحنيات التضرر بتوزيع التضرر بين حالات التضرر المختلفة والتي تعكس المستويات المختلفة لأداء المنشأ، وتعرف هذه الحالات غالباً من خلال عتبات مميزة ترتبط بحالة تضرر فيزيائية معينة، وتعتمد أغلب المراجع أربع حالات للتضرر (بسيط، متوسط، شديد، تام) الشكل (1)، وقد تم في برنامج تقييم الخطر الزلزالي(HAZUS, 2003) توصيف هذه الحالات من أجل المنشآت المختلفة بما فيها الجسور. لقد أصبحت منحنيات التضرر الزلزالي أداة جوهرية لتقييم قابلية التضرر الزلزالي لجسر محدد أو صنف من الجسور، فهي تقدم وسيلة لحساب احتمالية التضرر من أجل مجال من الشدات الزلزالية المحتملة، وتؤمن في ظروف إعادة التأهيل عدداً من الميزات تتضمن عرض أدوات لتقييم إجراءات التدعيم البديلة للجسور. بما أن منحنيات التضرر هي منحنيات احتمالية تعبر عن إمكانية حدوث حدث ما وهو هنا الوصول إلى عتبة تضرر معينة، فقد ارتكزت كل الأبحاث المتعلقة بالموضوع على علم الاحتمال، وتنطلق الصيغة الرياضية التقليدية لرسم منحنيات التضرر من أن كلاً من الطلب والاستطاعة يتبع توزيعاً لوغاريتمياً (حيث أنها متحولات عشوائية تتوافق بشكل تقريبي مع توزيع طبيعي أو لوغارتمي (Mander, 1999)، ويستخدم التوزيع اللوغارتمي لأن كل القيم يتوقع أن تكون موجبة)، ولهذا فإن احتمال التضرر سيتبع أيضاً توزيعاً لوغاريتمياً، وبما أنه وفق نظرية الاحتمال إذا كان X متحول عشوائي موجب ذا توزيع لوغاريتمي طبيعي فإن لوغاريتم X يكون ذا توزيع طبيعي، لذا يمكن التعبير عن احتمال وصول الجسر إلى حالة تضرر ما باستخدام دالة التوزيع التراكمي الطبيعي كما يلي:

$$\boldsymbol{P_R = \Phi(\frac{lnX-\lambda}{\zeta})} \quad (2)$$

حيث:

Φ التوزيع الطبيعي المعياري، X مؤشر الحركة الأرضية المستخدم، λ متوسط $ln\ X$، ζ الانحراف المعياري لـ $ln\ X$

تربط هذه الصيغة احتمالية التضرر بمؤشر الحركة الأرضية فقط، وهي تتطلب تحديد قيمة λ الموافقة لكل حالة تضرر وكذلك ζ والتي يمكن إعطاؤها القيمة 0.6 من أجل الجسور (Mander, 1999).



الشكل (1) حالات التضرر المختلفة (HAZUS, 2003)

1-4- مؤشرات حالات التضرر

يشكل تحديد وتعريف حالات التضرر وربطها بقيم عددية لمؤشرات هندسية مناسبة خطوة أساسية ومهمة في عملية إنشاء منحنيات التضرر، وغالباً ما يتم اختيار وتعريف هذه الحالات بالاعتماد على نتائج تجريبية أو على الحكم الهندسي أو على الخبرة المحصلة من الزلازل السابقة (Kaynia.2013)، يمكن استخدام مؤشرات مختلفة لتحديد حدود حالات التضرر حيث تختلف هذه المؤشرات باختلاف المكون المعتمد لقياس التضرر. تعتبر أعمدة الركائز الوسطية في كل الجسور من أهم المكونات التي يؤثر تضررها مباشرة على أداء الجسر لذلك كانت دائماً العنصر الأساسي (وأحياناً الوحيد) المعتبر عند تقييم التضرر الزلزالي للجسور، كما تعتبر أجهزة الاستناد أيضاً من المكونات الحرجة

وخصوصاً في الجسور بسيطة الاستناد لأن انهيارها يمكن أن يتسبب بفقدان الاستناد للبنية العلوية وبالتالي انهيار فتحة أو أكثر من بلاطة الجسر، هذا ويمكن أن تكون الركائز الطرفية والأساسات من العناصر الهامة عند دراسة التضرر.

- **الأعمدة**

يمكن أن تعطى للأعمدة معايير قبول عددية متعددة، وغالباً ما تستخدم المطاوعة للتعبير عن حالات تضرر الأعمدة فهي القياس السائد للقدرة الإنشائية على تبديد الطاقة، وأكثر ما يعبر عنها من خلال مطاوعة التقوس أو مطاوعة الانتقال. تعتمد مطاوعة التقوس (والتي تمثل السلوك الانعطافي للمقطع) على شكل المقطع وخصائص المواد وعلى مخطط العزم– التقوس، بينما ترتبط مطاوعة الانتقال (التي تبين سلوك الجملة الإنشائية أو العناصر) بكل من الترتيب الإنشائي وسلوك المقطع وتعتمد على منحني الحمولة– الانتقال (Chen &Duan, 2003).

تعطى مطاوعة التقوس ومطاوعة الانتقال كما يلي:

$$\mu_\phi = \frac{\phi}{\phi_y} \quad (3)$$

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta}{\Delta_y} \quad (4)$$

حيث: μ_ϕ مطاوعة التقوس، ϕ التقوس الموافق لحالة التضرر، ϕ_y تقوس الخضوع

μ_Δ مطاوعة الانتقال، Δ الانتقال الموافق لحالة التضرر، Δ_y انتقال الخضوع

اعتمد الباحثون قيماً مختلفة لمطاوعة التقوس أو الانتقال بناء على توصيفهم لحالة التضرر وعلى خصائص مقطع الأعمدة في الجسور المدروسة، ويمكن بشكل عام ربط هذه الحالات بقيم التشوه في البيتون والفولاذ في المقطع المدروس.

في سياق إجراءات التحليل الستاتيكي اللاخطي يكون من المناسب استخدام مطاوعة الانتقال إذ يمكن بالاستفادة من منحني الاستطاعة تحديد انتقال الخضوع والانتقال الأقصى اللذان يوافقان حالتي التضرر البسيط والتام ومن ثم يمكن تحديد الانتقالات الموافقة لحالات التضرر المتوسط والشديد بينهما، هذا ويمكن بسهولة الانتقال من مطاوعة الانتقال إلى مطاوعة التقوس وبالعكس بالاستفادة من علاقات حساب المطاوعة في aashto و Caltrans كما يلي:

$$\mu_\emptyset = 1 + \frac{\mu_\Delta - 1}{3\frac{L_P}{L}(1-0.5\frac{L_P}{L})} \quad (5)$$

حيث: L الطول بين نقطة العزم الأعظمي ونقطة تغير الانحناء، L_p طول المفصل اللدن.

- **أجهزة الاستناد**

يتم تقييم أجهزة الاستناد وفقاً لطبيعة هذه الأجهزة، فيمكن أن يكون الانتقال أو الانزلاق أو التشوه مؤشراً لقياس التضرر في أجهزة الاستناد، ففي المساند المطاطية يعتبر تشوه القص هو المؤشر الأكثر استخداماً حيث يفترض أن تشوه الخضوع والتشوه الأقصى للوسادة المطاطية هو 150% و 300% على الترتيب (Mackie et al, 2008)، ولكن هنا يجب ربط مستوى الضرر في أجهزة الاستناد بالضرر الكلي للجسر، فوصول المسند إلى استطاعة تشوهه القصوى لا يعني مباشرة حصول فقدان الاستناد لذا يمكن اعتماد التشوهات من أجل حالتي التضرر البسيط والمتوسط أما حالتي التضرر الشديد والتام فيمكن أن تحدد بناء على الانتقالات اللازمة لحصول فقدان الاستناد.

بعد إجراء التقييم الزلزالي لمكونات الجسر الحرجة وتحديد احتمالية التضرر وبالاستناد إلى مستوى الأداء المطلوب يتم اتخاذ القرار بحاجة الجسر للتدعيم من عدمه، ويتم عرض الخيارات المتاحة والتي تتوافق مع طبيعة المكونات الحرجة في الجسر.

2- إعادة التأهيل الزلزالي للجسور

تعتبر إعادة التأهيل الزلزالي للجسور القائمة تحدياً أكبر من إنشاء جسور جديدة، فقبل التدعيم يجب تحديد مستوى الأداء والأهداف المرجوة بشكل واضح والتي تختلف من جسر لآخر تبعاً لأهمية الجسر وعمر الخدمة المتوقع والخطر الزلزالي. تسمح معايير الأداء لكل من الجسور القائمة والجديدة بضرر إنشائي معقول لكن الانهيار غير مسموح، وقد يكون مقدار الضرر المسموح في الجسور القائمة أكبر مما هو عليه في الجسور الجديدة وذلك لسببين على الأقل (MCEER, 2006):

- ✓ يكون التدعيم عادة أكثر تعقيداً وأكثر كلفة من تأمين مقاومة مناسبة في جسر جديد، وفي بعض الحالات يمكن أن تكون الكلفة الإضافية لمنع الضرر مثل أو أكثر من كلفة الإصلاح في الجسر الذي لم يعاد تأهيله.
- ✓ من الممكن أن يكون عمر بقاء وخدمة الجسر قد انخفض نتيجة التضرر من الاستخدام اليومي العادي وزيادة حركة المرور، وهذا التخفيض في حياة الجسر يخفض احتمال أن يتعرض هذا المنشأ أثناء عمره لزلزال يسبب الضرر.

2-1- طرائق إعادة تأهيل الجسور

بينت الزلازل السابقة اختلاف نمط التضرر والانهيار في الجسور باختلاف نوع الجسر وبنيته، وبالتالي ستختلف طرائق التدعيم المناسبة من جسر لآخر، ويعد الاختيار المناسب لتقنية التدعيم الملائمة مسألة هامة جداً فالاختيار غير المناسب قد يؤدي إلى عواقب غير مرغوبة على الأداء الزلزالي العام لنظام الجسر. تعبر طرائق التدعيم عن فلسفة التحسين الزلزالي المعتمدة والتي يمكن أن تتضمن:

- **التقوية:** وتهدف إلى زيادة استطاعة القوة أو العزم لواحد أو أكثر من العناصر التي تعاني ضعفاً في الجسر، وهنا يجب أن نأخذ بالاعتبار أي زيادة مؤثرة في الصلابة والتي يحتمل أن تؤثر على الاستجابة الإنشائية. هناك إجراءات عديدة للتقوية سواء للركائز أو لتقوية الاتصال بين البنية العلوية والسفلية للجسر.
- **تحسين مطاوعة الانتقال:** والذي يمكن أن يتم على سبيل المثال من خلال زيادة عرض الاستناد مما يسمح بحركة نسبية أكبر دون فقدان الاستناد، وكذلك زيادة مطاوعة الأعمدة والركائز الوسطية لتكون قادرة على استيعاب انتقالات كبيرة بدون انهيار.
- **تحديد (تقييد) القوة:** يمكن تحديد القوى في المكونات الإنشائية الحرجة من خلال استخدام عناصر خضوع كصمامات إنشائية، فعلى سبيل المثال إذا صمم العمود لكي يخضع ويطور مفاصل لدنة، عندها يكون العزم الأعظمي الذي يمكن أن ينتقل من العمود إلى الأساس محدداً بعزم الخضوع في المفاصل اللدنة.
- **تعديل (تغيير) الاستجابة:** من الممكن تدعيم الجسر بحيث يتم تعديل استجابته الديناميكية، وهذا من شأنه أن يخفض طلب القوى والانتقالات. يعتبر العزل الزلزالي من أهم الإجراءات التي تغير الاستجابة حيث تتم زيادة الدور الأساسي للجسر لتخفيض طلب القوى، كما يمكن أن تستخدم مبددات الطاقة والمخمدات.

هذا ويمكن استخدام طرائق أخرى لتحسين أداء الجسور مثل **معالجة الموقع من خلال تحسين الأرض**، أو **التحكم بالضرر في مكونات محددة**، وكذلك **الاستبدال الجزئي**.

2-2- إجراءات إعادة تأهيل الجسور

تنفذ طرائق التدعيم السابقة باستخدام إجراءات متعددة، ويقصد بإجراء التدعيم التعديل المادي لمكون في الجسر بهدف تحسين الأداء الزلزالي للجسر ككل، وتختلف إجراءات التدعيم باختلاف مكونات الجسر، ومن أهم هذه الإجراءات:

- **تدعيم الأعمدة:** عادة ما ينتج تضرر الأعمدة عن النقص في المقاومة على الانعطاف والمطاوعة، أو في مقاومة القص (Itani, 2003)، ويعزى ذلك إلى تفاصيل التسليح غير الكافية الأمر الذي يحد من تشوه العمود بشكل لدن، في هذه الحالة يعتبر تلبيس (jacketing) الأعمدة طريقة التدعيم الأكثر شيوعاً، ومن ضمن الأنواع المختلفة للتلبيس فإن القميص الفولاذي هو الأكثر تنفيذاً وطور أساساً من أجل الأعمدة الدائرية والتي تلبس بصفائح فولاذية رقيقة، يمكن أن يكون القميص جزئياً حيث يطبق غالباً في منطقة المفصل اللدن لزيادة المطاوعة، أو في منطقة تراكب التسليح، كما يمكن أن ينفذ على كامل ارتفاع العمود فيحسن مقاومة القص (Padgett, 2007)، يبين الشكل (2) نوعي القمصان المعدنية الجزئية والكلية. أما من أجل الأعمدة المستطيلة تستخدم عادة قمصان بيضوية الشكل، أو ينفذ القميص بتفاصيل خاصة كأن تستخدم الزوايا المعدنية عند زوايا المقطع وتضاف صفائح معدنية عند الأطراف والتي يمكن أن تكون جزئية أو على كامل العمود. ومن الشائع أيضاً التدعيم بالقمصان البيتونية حيث يمكن إضافة تسليح طولي وعرضي ويمكن بسهولة نسبياً تحقيق تطويق أفضل من خلال وضع أساور متقاربة أو تسليح حلزوني بخطوة صغيرة إذا كان العمود دائرياً. يمكن أيضاً استخدام قمصان من مواد أخرى مثل مركبات الألياف المطورة كألياف الكربون وألياف الأراميد والألياف الزجاجية والتي طورت لتحسن المطاوعة الانعطافية ومقاومة القص ولتصحيح النقص في طول التراكب في مناطق المفاصل اللدنة، وهي تتمتع بالعديد من المزايا مقارنة بالقمصان البيتونية والفولاذية وهذا ما يجعل منها خياراً مناسباً لإعادة تأهيل الجسور (Muntasir Billah, 2011)، الشكل (3).

الشكل (2) التدعيم بالقميص المعدني (Padgett, 2007)

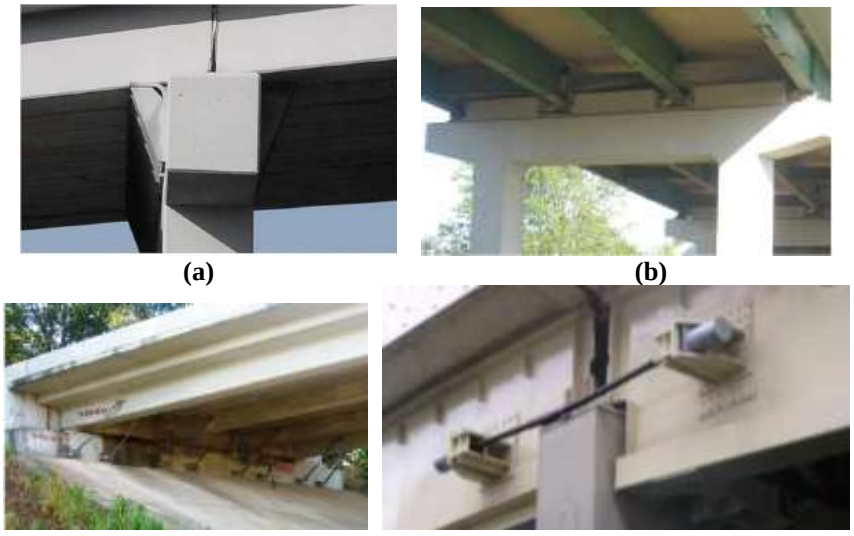
الشكل (3) التدعيم بقميص FRP (Muntasir Billah, 2011)

- **البنية العلوية للجسر**: أبدت البنية العلوية للجسور في معظم الزلازل السابقة أداءً جيداً، ومن النادر حصول تضرر مباشر فيها، لكن الضرر ينجم عن فقدان الاستناد عند الركائز الطرفية، أو عند الركائز الوسطية في الجسور ذات الاستناد البسيط، يحدث فقدان الاستناد هذا بسبب الانتقالات الكبيرة وعدم كفاية سطح الاستناد لاستيعاب هذه الانتقالات مما يؤدي إلى سقوط فتحة أو أكثر من الجسر، وهنا يمكن اللجوء إلى أكثر من إجراء للتعامل مع هذه المشكلة ومن هذه الإجراءات:

✓ زيادة عرض الاستناد: والذي يسمح باستيعاب انتقالات أكبر الشكل (4-a).

✓ استخدام المقيدات restrainers: والتي يمكن أن تساعد في تخفيض الانتقال من خلال ربط الأجزاء المختلفة للجسر معاً، وبالتالي تقلل فرصة فقدان الاستناد عندما تكون براغي التثبيت والتفاصيل المشابهة غير كافية، كما يمكن أن تستخدم لنقل قوى العطالة الطولية من الجزء العلوي للجسر إلى الجزء السفلي. هناك نوعان من المقيدات وهما الكابلات والقضبان الفولاذية والتي تعمل على الشد المباشر، ويعتبر استخدام restrainers الشكل الأول للتدعيم في كاليفورنيا (Itani, 2003). يبين الشكل (4-c) استخدام restrainers في الجسور.

✓ استخدام Shear keys: عادة ما يتم تقييد الحركة في الاتجاه العرضي عند أجهزة الاستناد باستخدام صفائح حماية أو براغي تثبيت أو غيرها من الآليات، والتي يمكن أن تكون غير كافية لمقاومة القوى العرضية الناتجة عن الزلازل وهنا تكون Shear keys خياراً مناسباً الشكل (4-b)، والتي يمكن أن توضع بين العوارض الرئيسية وخارجاً على الأطراف إذا كان هناك فراغ كافٍ.



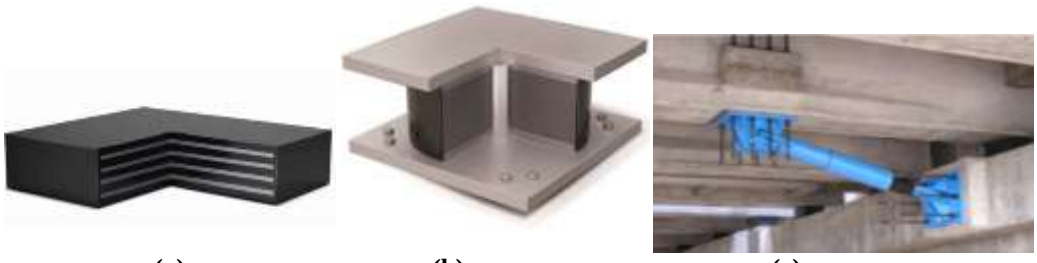
(a) **(b)** **(c)**

الشكل (4)، (a) زيادة عرض الاستناد، (b) استخدام Shear keys، (c) استخدام restrainers (Padgett, 2007)

هذا ويمكن تحسين الأداء الزلزالي للجسور باستخدام استراتيجيات العزل الزلزالي وتبديد الطاقة، حيث تعتبر منشآت الجسور مناسبة جداً لأن تطبق عليها هذه الاستراتيجيات، وفي الحقيقة أكثر من 90% من المنشآت المعزولة في العالم هي منشآت جسور (Choe, 2002)، ومن أكثر هذه الإجراءات استخداماُ:

✓ استخدام أجهزة استناد عازلة زلزالياً: والتي تزيد الدور الأساسي لاهتزاز الجسر وبالتالي تخفض الاستجابة والقوى الناتجة عن الزلزال، ومن أكثرها استخداماً المساند المطاطية، الشكل (5-a)، ومساند المطاط والرصاص، الشكل (5-b).

✓ استخدام أجهزة تبديد الطاقة والتي تزيد التخامد الفعال للجسر وبالتالي تقلل ردود الأفعال والانتقالات. تعتبر مساند المطاط والرصاص أجهزة عزل وتخميد معاً حيث يغير المطاط من الدور الطبيعي للمنشأ المعزول بينما يساهم الرصاص في تخامد الاهتزاز من خلال تبديد الطاقة، يبين الشكل (5-c) أحد أشكال المخمدات المستخدمة في الجسور.



(a) (b) (c)

الشكل (5)، (a) المساند المطاطية، (b) مساند المطاط والرصاص، (c) استخدام المخمدات في الجسور (Hamida, 2015)

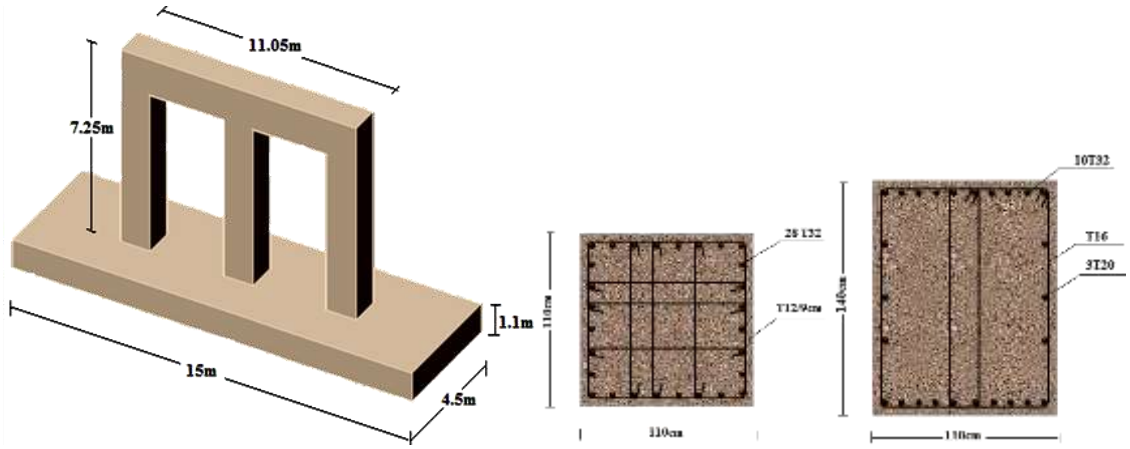
إن اختيار الإجراء المناسب من بين الإجراءات السابقة يتعلق بالحالة المدروسة فالخيار الأفضل في جسر ما قد لا يكون هو الأفضل في حالة أخرى، كما أن بعض الإجراءات السابقة تركز على مكون واحد دون أن تلحظ إمكانية تأثر الجسر ككل، لذلك عند الحاجة للتدعيم يجب دراسة الخيارات المتاحة وتأثيرها على أداء الجسر بشكل عام ومن ثم يتم الاختيار بينها بناء على قدرتها في تحسين الأداء إلى المستوى المطلوب بالتوازي مع معايير أخرى كسهولة التنفيذ والتكلفة الاقتصادية.

3- دراسة حالة لجسر الرمال الذهبية

3-1- مواصفات الجسر

جسر الرمال الذهبية هو أحد الجسور المشيدة على أوتوستراد اللاذقية- طرطوس، ويصنف من الناحية الإنشائية ضمن مجموعة الجسور ذات العوارض البيتونية مسبقة الإجهاد متعددة المجازات باستناد بسيط، وهو موضح بالشكل (6)، كما ويبين الشكل (7) مواصفات الركيزة الوسطية، ويعطي الجدول (1) المواصفات العامة لهذا الجسر.

الشكل (6) رسم توضيحي للجسر



(a) **(b)** **(c)**

الشكل (7)، (a) الركيزة الوسطية مع الأساس (b) مقطع العمود، (c) مقطع جائز الركيزة

الجدول (1) المواصفات العامة للجسر

عدد المجازات	4	عدد الجوائز في المجاز الوسطي	6 وهي من الصنف IV
طول المجازات الوسطية m	23.5	عدد الجوائز في المجاز الطرفي	5 وهي من الصنف III
طول المجازات الطرفية m	12	سماكة البلاطة فوق الجوائز m	0.24
الطول الإجمالي للجسر m	71	ارتفاع الركيزة الوسطية m	7.25
عرض الجسر m	11.05	نوع الركيزة الطرفية	ركيزة ذات كرسي استناد

6-2- نمذجة الجسر وتحليله باستخدام برنامج csibridge v20

تم وضع نموذج فراغي للجسر، وتم تعريف الخصائص اللاخطية لفولاذ التسليح والبيتون، تم استخدام Frame element بخصائص خطية لنمذجة الجوائز الرئيسية وبخصائص لاخطية من أجل الأعمدة، وتم تعريف خصائص مقطع العمود باستخدام الأداة Section Designer التي تتيح تعريف ثلاث مواد في المقطع (البيتون المطوق للنواة، البيتون غير المطوق لطبقة التغطية، وفولاذ التسليح)، واستخدمت Shell element لنمذجة البلاطات والديافرامات، ولنمذجة الأساسات استخدمت نوابض حسبت صلاباتها في الاتجاهات الستة وفق ما هو معتمد في (BDM, 2016)، وتم استخدام عنصري NL-Link متوازيين لنمذجة أجهزة الاستناد يمثل الأول النيوبرين أما العنصر الثاني فيمثل براغي التثبيت، ولنمذجة الركيزة الطرفية تم تحديد الصلابة والقوة القصوى للردميات في الاتجاه الطولي باستخدام العلاقة المقدمة من قبل (Shamsabadi, 2007) والتي تمت الإشارة إليها في كل من (AASHTO, 2011) و (Caltrans, 2013) مع أخذ الفجوة بين جسم الجسر والركيزة بعين الاعتبار، أما في الاتجاه العرضي تم إسناد منحني مرن- لدن تماماً يمثل جملة الردميات والجدران الجانبية. تم إسناد المفاصل اللدنة في أعلى وأسفل الأعمدة وهي من النوع P-M2-M3 الافتراضية المعرفة وفق Caltrans، وقمنا بتعرف 50 طيف استجابة زلزالية تمثل مجالاً واسعاً من الشدات الزلزالية تراوحت قيم المؤشرات الزلزالية فيها كما في الجدول (2).

الجدول (2) مجال المؤشرات الزلزالية في أطياف الاستجابة المستخدمة

	MIN	MAX
PGA	0.050	1.980
S1	0.067	1.394
SS	0.112	3.511

تم تحليل الجسر بحالته الراهنة تحليلاً ستاتيكياً خطياً تحت تأثير الحمولات الميتة المختلفة وتم أيضاً تحليل القيم الذاتية لتحديد الأنماط الرئيسية للاهتزاز والأدوار الموافقة، ثم تم إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي للجسر ككل في الاتجاهين الأفقيين المتعامدين وتم اعتماد توزيع للقوى الجانبية موافق لنمط الاهتزاز الأساسي (fundamental mode) في كلا الاتجاهين (النمط الأول في الاتجاه الطولي والنمط الثاني في الاتجاه العرضي) حيث يؤمن كل من هذين النمطين نسبة مساهمة كتلة أكبر من 75%.

النتائج والمناقشة:

بعد إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي تم إيجاد نقاط الأداء من أجل كل أطياف الاستجابة المعرفة وتحديد مستوى الأداء الموافق بالاستناد إلى تضرر الأعمدة وكذلك أجهزة الاستناد بعد تعريف الحالات DS1, DS2, DS3, DS4 الموافقة للتضرر البسيط والمتوسط والشديد والتام على التوالي. قمنا من خلال تحليل العزم – التقوس لمقطع العمود وباستخدام منحني العزم – التقوس المؤمثل (مرن– لدن تماماً) وفق توصيات (AASHTO, 2011) و (Caltrans, 2013) بتحديد قيم التقوس لحالات التضرر المختلفة بالاعتماد على قيم التشوه في البيتون والفولاذ المقترحة من قبل (Stefanidou & Kappos, 2017)، ثم تم تحديد مطاوعة التقوس وحساب مطاوعة الانتقال وبالتالي الانتقال الموافق لكل حالة تضرر وذلك لتحديد العلاقة بين الحالات المختلفة، بينت النتائج أن DS2=0.3 DS4, DS3=0.7 DS4. أعطى منحني الاستطاعة نفس القيمة لـ DS1 وهذا طبيعي كون برامج csibridge يحسب قوى ودوران الخضوع بالاستناد إلى مساحة المقطع والتسليح المؤمنين، وعند تعريف المفاصل اللدنة بالاستناد إلى Caltrans يتم تحديد حد الخضوع والحد الأقصى بالاستناد إلى منحني العزم – التقوس المؤمثل. هذا ويلاحظ بعض الاختلاف في قيمة DS4 ويعود ذلك إلى أن تحليل pushover أخذ بالإضافة إلى خصائص المقطع بنية الجسر ككل.

تم أيضاً حساب الانتقالات النسبية بين جزأي الجسر العلوي والسفلي بهدف تقييم التضرر في أجهزة الاستناد، تم اعتبار الانتقال الموافق لوصول براغي التثبيت إلى القوة القصوى موافقاً لـ DS1، وبما أنه بعد انهيار البراغي تصبح مقاومة القوى الأفقية معتمدة فقط على الاحتكاك بين وسادة النيوبرين والصفيحة العلوية وتزداد تشوهات القص في النيوبرين بشكل سريع تم اعتماد الانتقال الموافق لتشوه قص 300% (الأقصى) في النيوبرين من أجل لـ DS2 ، في حين تم اعتماد الانتقالات الموافقة لسقوط جهاز الاستناد عن المخدات البيتونية وعن الجائز الرابط للركيزة موافقة لـ DS3, DS4 على التوالي. يبين الجدول (3) القيم المعتمدة لحالات التضرر لكل من الأعمدة و المساند

الجدول (3) حالات التضرر للأعمدة والمساند

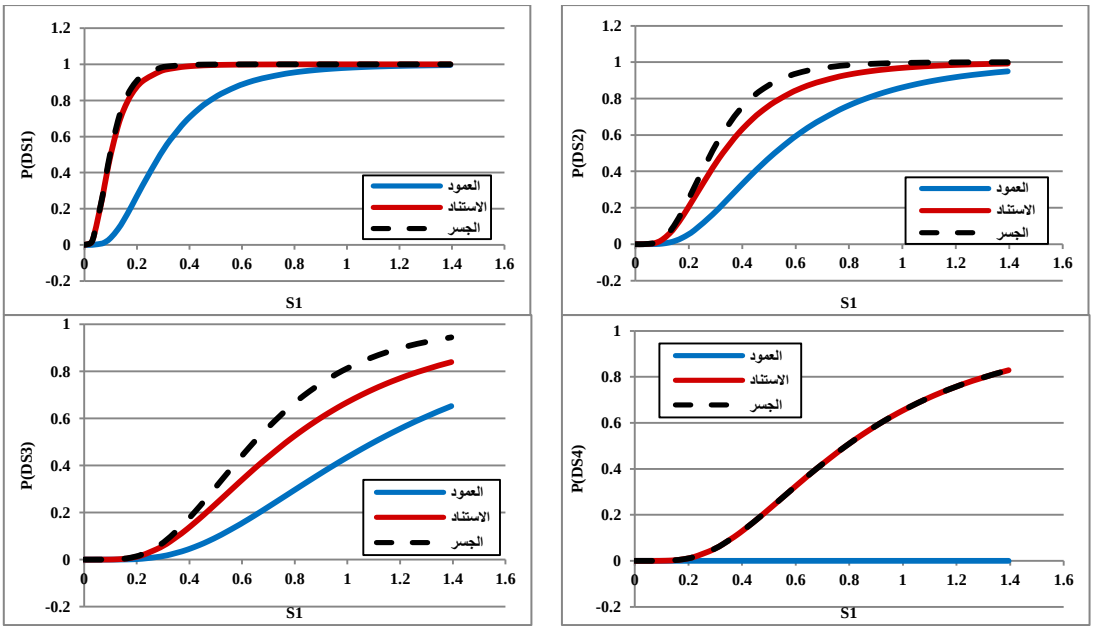
	DS1	DS2	DS3	DS4
الأعمدة في الاتجاه الطولي (μ_d)	1	1.88	4.2	6
الأعمدة في الاتجاه العرضي (μ_d)	1	2	4.6	6.6
مسند متحرك d(m)	0.043	0.096	0.25	0.35
مسند ثابت d(m)	0.013	0.057	0.25	0.35

تم اختيار التسارع الطيفي عند الدور 1sec ليكون المؤشر المعتمد في منحنيات التضرر، وتم تحديد قيمة s1 الموافقة لوصول الأعمدة والمساند إلى حالات التضرر المختلفة، وتم رسم منحنيات التضرر للأعمدة والمساند، ومن ثم تم رسم منحني التضرر للجسر ككل بالاعتماد على نظرية الموثوقية من الدرجة الأولى ويعبر عن ذلك كما يلي:

$$P(F_{sys}) = 1 - \prod_{i=1}^{m}[1 - P(F_i)] \quad (6)$$

حيث $P(F_i)$ احتمال انهيار كل مكون، و$P(F_{sys})$ احتمال انهيار كامل الجملة.

يبين الشكل (8) منحنيات التضرر للجسر بحالته الراهنة:



الشكل (8) منحنيات التضرر للجسر بحالته الراهنة

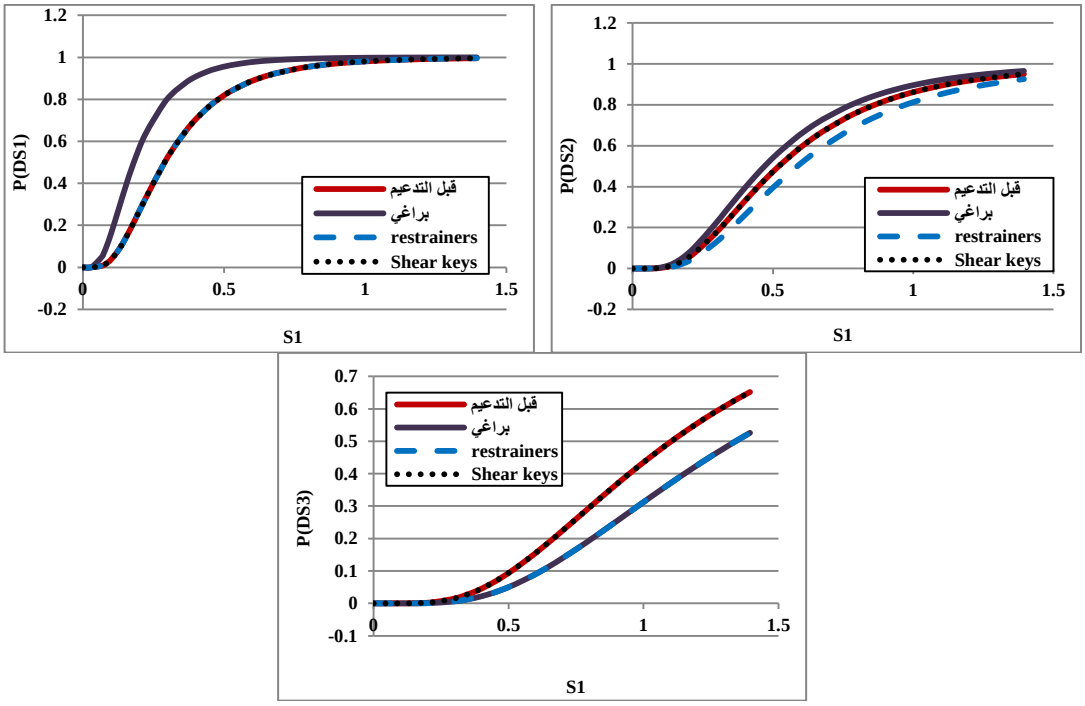
تبين منحنيات التضرر السابقة أن المكون الأكثر حرجاً كان أجهزة الاستناد، لذلك تم اقتراح عدد من آليات التدعيم التي تهدف إلى تحسين الربط بين جزأي الجسر وهي:

1- تقوية براغي التثبيت في جهاز الاستناد: والهدف من ذلك هو زيادة تحملها للقوى الأفقية، ويمكن تحقيق ذلك من خلال استخدام قطر أكبر للبراغي، أو تغيير صنف البرغي، أو زيادة عدد البراغي في جهاز الاستناد.

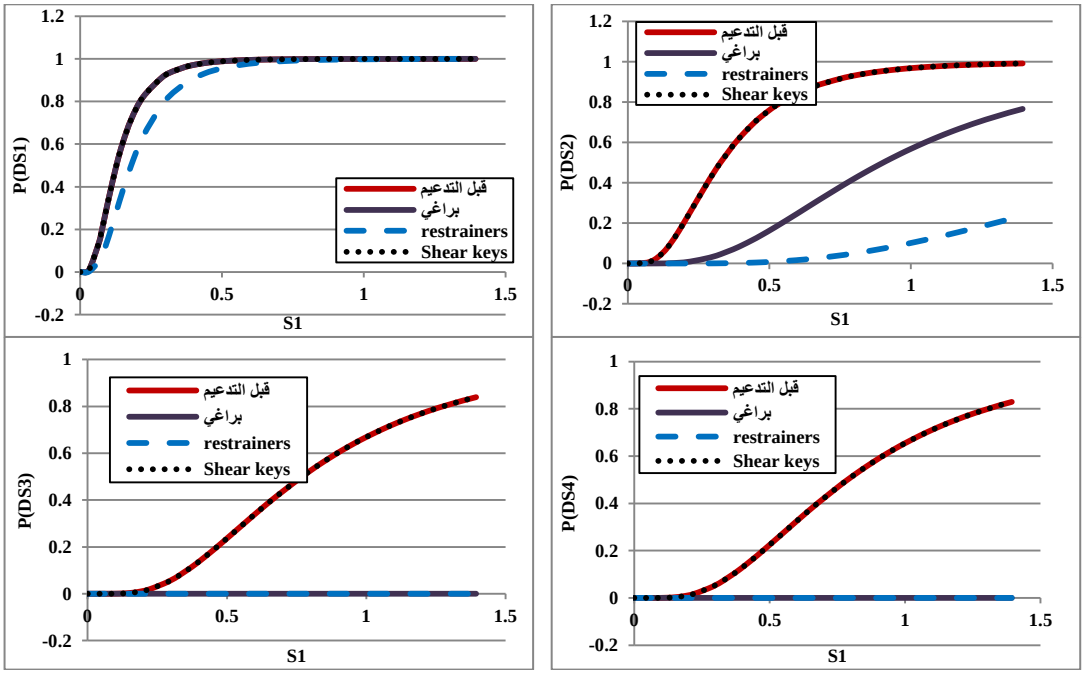
2- استخدام المقيدات الطولية restrainers: قمنا بافتراض استخدام restrainers تقليدية بعامل مرونة E=6900MPa، وقوة خضوع F_y=174kN، ومساحة مقطع A=142mm، الصلابة الأولية 6500kN/m، وتمت نمذجتها باستخدام عنصر NL-Link مع الأخذ بالاعتبار للرخاوة الأولية الموجودة فيها.

3- استخدام Shear keys لتحسين الاستناد في الاتجاه العرضي: تم افتراض استخدام Shear keys قادرة على تحمل قوة القص المطلوبة وأيضاً تمت نمذجتها باستخدام عنصر NL-Link بصلابة أولية مطلقة، مع أخذ الـ gap بالاعتبار وكذلك الانتقال الذي يمكن أن تعانيه قبل تراجع قدرة تحملها إلى الصفر. يتم عادة تصميم Shear keys لتكون قادرة على مقاومة قوى قص لا تقل عن تحمل القص الأقصى للركيزة الوسطية، أما عند الركائز الطرفية المستندة على أساس مستمر فتصمم على قوة قص مساوية لـ 30% من رد الفعل على الأحمال الميتة عند الركيزة (Shamsabadi, 2007).

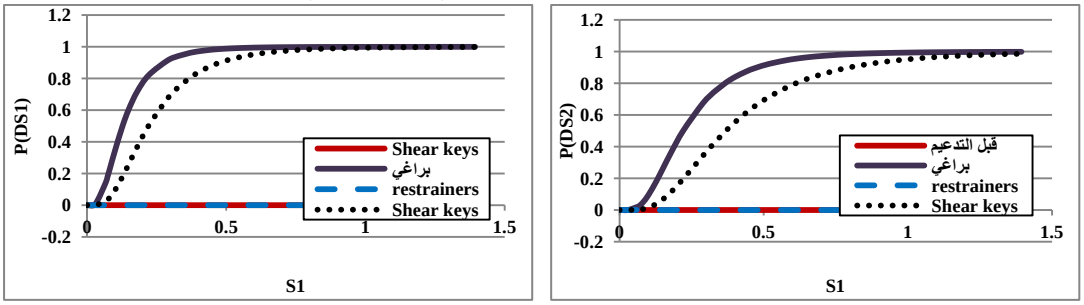
تبين الأشكال من (9) حتى (12) منحنيات التضرر لكل من الأعمدة وأجهزة الاستناد من أجل الحالات المختلفة في الاتجاهين الطولي والعرضي للجسر:

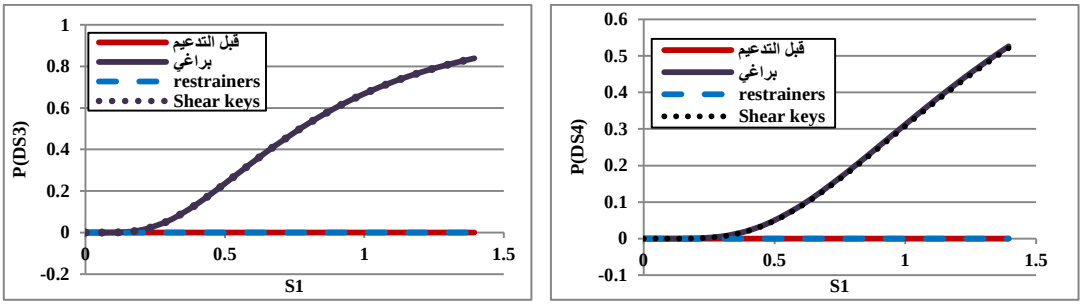


الشكل (9) منحنيات التضرر للأعمدة في الاتجاه الطولي

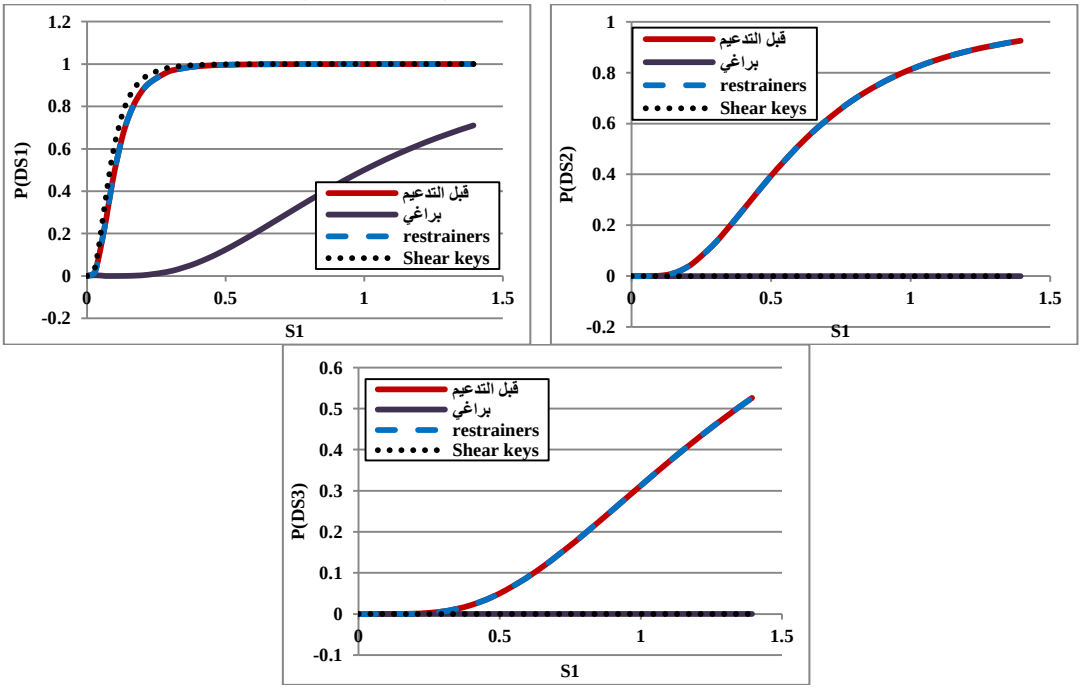


الشكل (10) منحنيات التضرر للمساند في الاتجاه الطولي





الشكل (11) منحنيات التضرر للأعمدة في الاتجاه العرضي



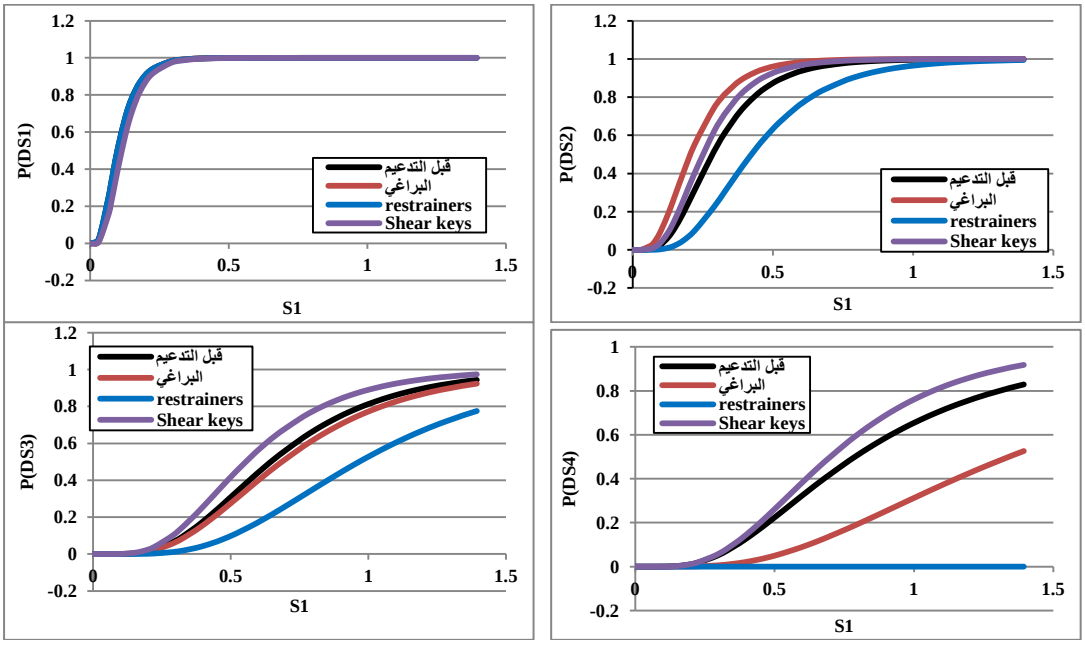
الشكل (12) منحنيات التضرر للمساند في الاتجاه العرضي

تبين الأشكال السابقة أن:

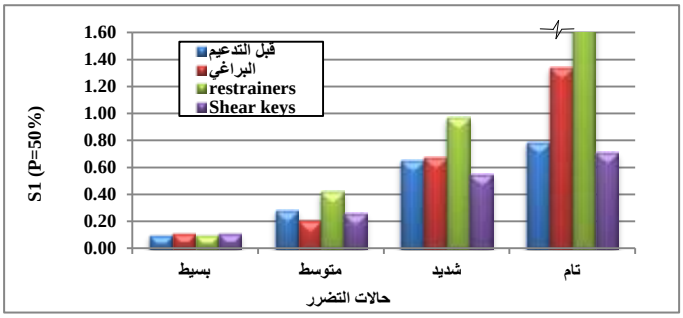
- تقوية البراغي أدت في الاتجاه الطولي إلى زيادة احتمالية التضرر البسيط والمتوسط في الأعمدة في حين أنها خفضت احتمالية التضرر الشديد، لكنها خفضت احتمالية التضرر المتوسط للمساند وألغت احتمالية التضرر الشديد والتام. أما في الاتجاه العرضي فزادت احتمالية كل حالات التضرر للأعمدة، وبالنسبة للمساند انخفضت احتمالية التضرر البسيط وألغيت احتمالية باقي الحالات.
- ليس للتدعيم باستخدام المقيدات الطولية restrainers تأثير على أداء الجسر في الاتجاه العرضي، لكنه في الاتجاه الطولي خفض احتمالية التضرر المتوسط والشديد للأعمدة، وفي المساند خفض احتمالية التضرر البسيط وبشكل كبير التضرر المتوسط وألغى احتمالية التضرر الشديد والتام.
- لم يؤثر التدعيم باستخدام Shear keys على أداء الجسر في الاتجاه الطولي، أما في الاتجاه العرضي فزاد احتمالية التضرر الشديد والتام للأعمدة بنفس النسبة كما في حال تقوية البراغي وبنسبة أقل من أجل التضرر البسيط والمتوسط، ولم يكن له تأثير يذكر على التضرر البسيط للمساند لكنه ألغى احتمالية باقي الحالات.

بما أن الهدف من البحث معرفة تأثير هذه الخيارات من التدعيم على الأداء الزلزالي للجسر ككل لذلك قمنا برسم منحنيات التضرر للجسر مع أخذ الحالة الأخطر للأعمدة والمساند في الاتجاهين الطولي والعرضي وهي موضحة في

الشكل (13). كذلك قمنا بتحديد قيمة s1 التي توافق وصول الجسر إلى حالات التضرر المختلفة باحتمال 50%، وهي القيمة الأساسية في رسم منحنيات التضرر، وكلما كانت قيمة s1 أكبر كان الإجراء أفضل وهي مبينة في الشكل (14).



الشكل (13) منحنيات التضرر للجسر من أجل الحالات المختلفة



الشكل (14) قيمة S1 الموافقة لوصول الجسر إلى حالات التضرر المختلفة باحتمال 50%

من الشكلين (13) و(14) نلاحظ أن استخدام restrainers حقق التخفيض الأكبر في احتمالية التضرر، ومن ثم تقوية البراغي، في حين زاد استخدام Shear keys احتمالية التضرر، ويبين الجدول (4) مثالاً عن نسبة تأثير هذه الإجراءات مقارنة بالحالة الحالية للجسر، وذلك من أجل واحدة من القيم الخمسين المدروسة لـ S1.

الجدول (4) تأثير إجراءات التدعيم على احتمالية التضرر من أجل S1=0.8

	بسيط	متوسط	شديد	تام
تقوية البراغي	0%	+1%	-7%	-61.5%
restrainers	0%	-8%	-47%	لا يوجد تضرر
Shear keys	0%	0%	+15%	+17%

الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث برسم منحنيات التضرر الزلزالي لأحد الجسور المحلية باستخدام الصيغة التقليدية المستندة إلى التوزيع اللوغارتمي لاحتمالية التضرر وذلك من أجل الوضع الحالي للجسر، ومن أجل ثلاثة إجراءات تدعيمية (تقوية البراغي، استخدام restrainers، استخدام Shear keys)، وتوصلنا من خلال نتائج البحث إلى ما يلي:

1- يعاني الجسر بحالته الراهنة ضعفاً زلزالياً في أجهزة الاستناد، فقد تبين أنها المكون الأكثر حرجاً ويمكن أن تتعرض لتضرر كبير في الاتجاهين الطولي والعرضي، مع احتمالية فقدان الاستناد في الاتجاه الطولي.

2- تغير إجراءات التدعيم المطبقة على بعض مكونات الجسر من سلوكه العام ومن المكونات الحرجة.

3- أسهم استخدام restrainers في تحسين أداء هذا الجسر فقد أعطى أفضل النتائج من بين الخيارات المقترحة وألغى احتمالية التضرر التام.

4- تعتبر تقوية البراغي أيضاً خياراً جيداً حيث خفضت احتمالية التضرر الشديد والتام للجسر.

5- يحسن استخدام Shear keys الاستناد في الاتجاه العرضي بشكل كبير، فقد ألغى احتمال وصول المساند حتى إلى حالة التضرر المتوسط، إلا أنه أثر سلباً على الأداء العام للجسر وزاد من احتمالية تضرره، وبالتالي فإن هذا الإجراء يجب أن يترافق مع تدعيم للأعمدة.

6- إن تعميم هذه النتائج على هذا النموذج من الجسور يحتاج إلى دراسة عدد أكبر من عينات الجسور مع مراعاة تغير بعض الخصائص الإنشائية والتي يمكن أن تؤثر على احتمالية التضرر بشكل ملحوظ.

References:

1- BUCKLE,I.; FRIEDLAND, I.; MANDER, J.; MARTIN, G.; NUTT, R.; POWER, M., *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures*: Part 1 – Bridges, MCEER-06-SP10, 2006.

2- RAMANATHAN, K. N., Next Generation Seismic Fragility Curves For California Bridges Incorporating The Evolution In Seismic Design Philosophy, Georgia Institute of Technology, 2012.

3- NCHRP SYNTHESIS 440, *Performance-Based Seismic Bridge Design*, A Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board, WASHINGTON, D.C.2013.

4- HASAN, N., *Improvement Of Seismic Performance Of Existing R/C Building Using And Comparing Different Retrofit Systems By Performance Based Analysis-Case Study*-Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, Engineering Science Series, Vol. 39, No. 4, 2017.

5- CAVALLARI, G., *Pushover Analysis Of An Existing Reinforced Concrete Bridge: The Jamboree Road Overcrossing In Irvine, California*, 2011

6- CHEN, W.; DUAN, L., *Bridge Engineering Seismic Design***,** CRC Press LLC, 2003

7- HAZUSmr4, *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model*, Federal Emergency Management Agency, 2003.

8- MANDER, J.B., *Fragility Curve Development for Assessing the Seismic Vulnerability of Highway Bridges*, MCEER Research Progress and Accomplishments, 1997-1999.

9- Kaynia, A., *Guidelines for deriving seismic fragility functions of elements at risk: Buildings, lifelines, transportation networks and critical facilities*, Joint Research Centre, 2013.

10- STEFANIDOU, S.; KAPPOS, A., *Seismic Capacity And Demand Assessment In Bridge Specific Fragility Analysis*, Eccomas Proceedia COMPDYN (2017) 595-612**.**

11- MACKIE, K.; WONG, J.; STOJADINOVIC, B., *Integrated Probabilistic Performance- Based Evaluation of Benchmark Reinforced Concrete Bridges*, PEER Report 2007/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering University of California, Berkeley, 2008.

12- ITANI,R.; LIAO, X., *Effects Of Retrofitting Applications On Reinforced concrete Bridges*, Research Project T 2696, Task 02Retrofitting Applications on Bridges, Washington State Transportation Center (TRAC), 2003.

13- PADGETT, j., *Seismic Vulnerability Assessment Of Retrofitted Bridges Using Probabilistic Methods*, Georgia Institute of Technology, 2007.

14- MUNTASIR BILLAH, A., *Seismic Performance Evaluation Of Multi Column Bridge Bent Retrofitted With Different Alternatives*, The University Of British Columbia , 2011.

15- WSDOT *Bridge Design Manual*, M 23-50.16, Washington State Department of Transportation, 2016.

16- AMIRIHORMOZAKI, E.; PEKCAN, G.; ITANI, A., *Analytical Modeling of Horizontally Curved Steel Girder Highway Bridges for Seismic Analysis*, Journal of Earthquake Engineering · 2015

17- SHAMSABADI, A., *Three-Dimensional Nonlinear Seismic Soil abutment-Foundation-Structure Interaction Analysis Of Skewed Bridges*, University Of Southern California, 2007.

18- AASHTO *Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design*, 2nd Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2011.

19- CALTRANS. *Seismic Design Criteria*, 1.7, California Department of Transportation, 2013.uct

20- HAMIDA, Y., Seismic retrofit of building, 2015.
https://www.arab-eng.org.