

Evaluate the Relationship between Seismic Demand and Some Seismic Intensity Indexes in a Model of Local Bridges

Hanan Hussein*

(Received 19 / 4 / 2022. Accepted 5 / 1 / 2023)

□ ABSTRACT □

Linking the seismic demand imposed on structures due to earthquake to a seismic intensity index is essential in the performance-based seismic engineering methodology, but it is important to choose the appropriate index, as the most suitable index for one type of structures may be less suitable for another. In this research, the relationship between seismic demand and six different seismic intensity indexes was evaluated in a model of multi-span simply supported concrete bridges, that by studying five bridges that differ from each other only in the length of the bridge. The seismic demand resulting from 60 different seismic intensities were obtained based on the nonlinear static procedures performed in the longitudinal and transverse directions of the bridges.

As a result, we found that the six studied indexes are very acceptable to use in the relationship of seismic demand for this type of bridge, but the peak ground acceleration is the least suitable, while 1.0-sec period spectral acceleration is an excellent index if we take into account the quality of suitability and ease of use.

Keywords: bridges, seismic demand, seismic intensity index, nonlinear static analysis.

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

تقييم علاقة الطلب الزلزالي بعدد من مؤشرات الشدة الزلزالية في نموذج من الجسور المحلية

حنان حسين*

(تاريخ الإيداع 19 / 4 / 2022. قُبِلَ للنشر في 5 / 1 / 2023)

□ ملخص □

يعتبر ربط الطلب الزلزالي المفروض على المنشآت جراء الهزات الأرضية بمؤشر للشدة الزلزالية أمراً أساسياً في منهجية الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء، لكن من المهم اختيار المؤشر المناسب، فقد يكون المؤشر الأكثر ملائمة من أجل صنف من المنشآت أقل ملائمة من أجل صنف آخر. تم في هذا البحث تقييم علاقة الطلب الزلزالي بستة مؤشرات مختلفة للشدة الزلزالية في نموذج من الجسور البيتونية متعددة المجازات بسيطة الاستناد وذلك من خلال دراسة خمسة جسور تختلف عن بعضها البعض فقط في طول الجسر، حيث تمت نمذجة هذه الجسور باستخدام برنامج csibridge v20، وتم إيجاد قيم الطلب الزلزالي الناتج عن 60 شدة زلزالية مختلفة وذلك بالاعتماد على الإجراءات الستاتيكية اللاخطية التي أجريت في الاتجاهين الطولي والعرضي للجسور.

خلص البحث إلى أن المؤشرات الستة المدروسة يمكن أن تستخدم على نحو مقبول جداً في علاقة الطلب الزلزالي لهذا النوع من الجسور، لكن التسارع الأرضي الأعظمي هو الأقل ملائمة، بينما مثل التسارع الطيفي عند الدور 1 ثمانية مؤشراً ممتازاً إذا ما أخذنا بالاعتبار جودة الملائمة وسهولة الاستخدام.

الكلمات المفتاحية: الجسور، الطلب الزلزالي، مؤشر الشدة الزلزالية، التحليل الستاتيكي اللاخطي.

* مشرفة على الأعمال - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

يمثل الطلب الزلزالي عنصراً أساسياً في منهجية الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء التي تتبناها الآن معظم كودات تصميم الجسور في العالم، فتقييم مستوى الأداء المتوقع من أي منشأ يتم من خلال مقارنة الطلب الزلزالي المفروض على هذا المنشأ مع الاستطاعة التي يبديها، وغالباً ما يتم هذا التقييم بالاعتماد على الطرائق التحليلية. إن الخطوة الأولى في منهجية الهندسة الزلزالية القائمة على الأداء هي تقييم واحد أو أكثر من مقاييس الشدة للحركات الأرضية التي تعكس الخطر الزلزالي، كالتسارع الأرضي الأعظمي أو السرعة الأرضية الأعظمية أو التسارع الطيفي أو غيرها من المؤشرات، ثم في الخطوة التالية يجري التحليل الإنشائي الذي يمكننا من حساب معاملات الطلب الهندسية، والتي توصف الاستجابة من خلال مؤشرات هندسية مناسبة من السهل تحصيلها والتعامل معها، كالانحراف الطائفي أو انتقال السقف مثلاً في منشآت المباني، أما في الجسور فيمكن استخدام مؤشرات مختلفة كالانتقالات الحاصلة في مكونات الجسر أو مطاوعة الركائز الوسطية أو غيرها من المؤشرات التي يراها المهندس مناسبة، وبعد إيجاد قيم مؤشر الطلب الزلزالي يتم ربطها بقيم مؤشر الشدة الزلزالية من خلال إيجاد العلاقة المناسبة بينهما، ليتم بعد ذلك تقييم مستويات الضرر الإنشائي المتوقع والخسائر المترتبة ليصار إلى اتخاذ القرارات المناسبة.

مع زيادة الاهتمام بالتقييم الاحتمالي للأداء الزلزالي للجسور زاد الاهتمام بكل من العلاقة بين الطلب والشدة الزلزالية، وكذلك باختيار المؤشر المناسب للتعبير عن هذه الشدة، فليس هناك شك في أن اختيار مؤشر مناسب للشدة الزلزالية هو أمر مهم عند إجراء تحليل احتمالي للطلب الزلزالي، فالاختيار المناسب لمؤشر الشدة يمكن أن يخفض تشتت البيانات (Bayat et al, 2017)، هذا بالإضافة إلى أنه قد لا يكون هناك مؤشر مناسب من أجل جميع الحالات، وهذا يفسر اعتماد (HAZUS, 2003) مؤشرات مختلفة ما بين المباني والجسور.

أهمية البحث وأهدافه:

يرتبط الطلب الزلزالي المفروض على مختلف المنشآت الهندسية بما فيها الجسور بالشدة الزلزالية التي تتعرض لها هذه المنشآت، ولما كان بالإمكان التعبير عن الشدة الزلزالية من خلال العديد من المؤشرات أو المقاييس فمن المهم معرفة المقاييس الأكثر ملاءمة وارتباطاً بالطلب ليتم اعتمادها في العلاقة المعيرة عن الطلب سواء في عمليات تقييم الأداء أو التحليل الاحتمالي للتضرر الزلزالي.

يهدف هذا البحث إلى دراسة العلاقة بين الطلب الزلزالي وعدد من المؤشرات الزلزالية وذلك من أجل نموذج من الجسور البيتونية المألوفة محلياً، وتقييم هذه العلاقة لاختيار المؤشر الأكثر ملائمة للتعبير عن الطلب في هذا النموذج من الجسور.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث اعتماد المنهجية التحليلية من خلال إنشاء نماذج 3D للجسور المدروسة وتحليلها باستخدام برنامج csibridge v20، ثم تم تحصيل الطلب (ممثلًا بالانتقال في جسم الجسر في الاتجاهين الطولي والعرضي) من أجل شدات زلزالية مختلفة، وتم ربط قيم الطلب بعدد من المؤشرات الزلزالية، ومن ثم تمت معالجة النتائج ومقارنتها باستخدام برنامج Excel.

1- النموذج الاحتمالي للطلب الزلزالي

يقوم الافتراض العام على أن الطلب الزلزالي يتبع التوزيع اللوغاريتمي (Nielson & Desroches, 2007), (Padgett et al, 2008)، وبالتالي فإن لوغاريتم الطلب سيتبع التوزيع الطبيعي كما هو موضح في الشكل (1)، وتتفق معظم الأبحاث السابقة على أن هناك علاقة خطية بين لوغاريتم الطلب ولوغاريتم الشدة الزلزالية وبالتالي يمكن أن يعطى الطلب الزلزالي كتابع للشدة الزلزالية بالعلاقة الآتية:

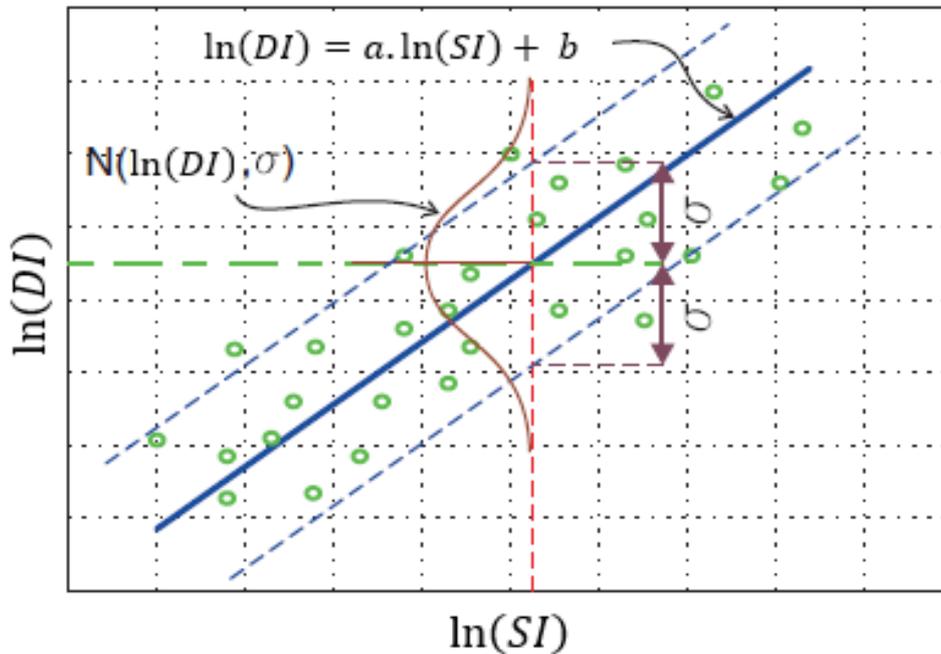
$$\ln(DI) = a \cdot \ln(SI) + b \quad (1)$$

حيث:

DI : مؤشر الطلب.

SI : مؤشر الشدة الزلزالية.

ويتم إيجاد المعاملات a, b في العلاقة (1) من خلال تحليل الانحدار (Regression analysis) بعد إيجاد قيم الطلب من أجل عدد من الشدات الزلزالية المختلفة، حيث يتم في هذا التحليل البحث عن العلاقة الأمثل التي تربط لوغاريتم الطلب بلوغاريتم الشدة الزلزالية. سيتم في هذا البحث اعتماد التحليل الستاتيكي اللاخطي من أجل إيجاد بيانات الطلب الزلزالي.



الشكل (1) يوضح توزيع لوغاريتم الطلب وعلاقته بالشدة الزلزالية (Padgett et al, 2008)

أما تقييم جودة العلاقة وبالتالي ملاءمة المؤشر الزلزالي المختار فستتم من خلال:

1- معامل الارتباط R : الذي يوضح قوة العلاقة بين كل من الطلب والشدة الزلزالية، ويعطى معامل

الارتباط بالعلاقة:

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{\frac{SS_M}{SS_T}} \quad (2)$$

حيث:

R^2 معامل التحديد

SS_T مربع الفرق بين القيم المرصودة للمتغير التابع (الطلب الزلزالي) وبين القيمة المتوسطة لهذا المتغير. أما SS_M فيحسب بالعلاقة $SS_M = SS_T - SS_R$ حيث SS_R هو مربع الفرق بين القيم المرصودة للمتغير التابع والقيم التي يعطيها نموذج الانحدار الخطي (Linear Regression) (العلاقة 1) (Field, 2009). تتراوح قيمة معامل الارتباط بين (-1,+1) حيث تدل الإشارة الموجبة على التناسب الطردي بين المتغيرين، بينما تدل الإشارة السالبة على التناسب العكسي، وكلما كانت قيمته المطلقة أكبر كان الارتباط أقوى. يبين الجدول (1) قيم معامل الارتباط ومستوى الارتباط الموافق.

الجدول (1) تقييم قوة الارتباط (Schober et al, 2018)

مستوى الارتباط	القيمة المطلقة لمعامل الارتباط
ارتباط مهمل	0.00-0.1
ارتباط ضعيف	0.1-0.39
ارتباط متوسط	0.4-0.69
ارتباط قوي	0.7-0.89
ارتباط قوي جداً	0.9-1.0

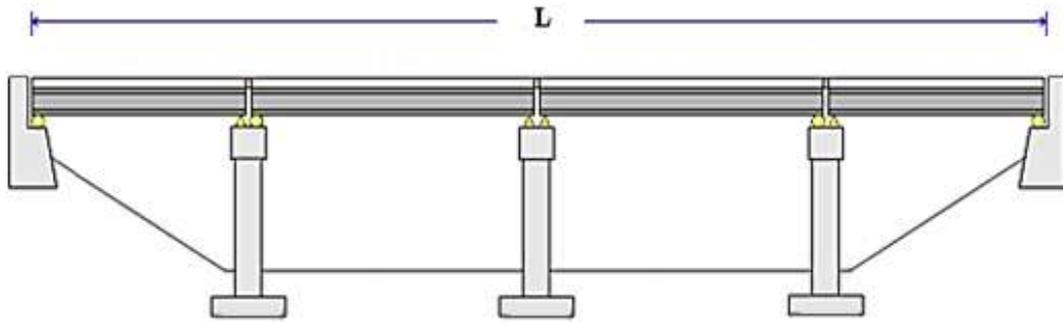
2- الخطأ المعياري في تقدير المتغير التابع SE ، وهو يمثل البعد الوسطي للبيانات المرصودة عن خط الانحدار، ويعطى بالعلاقة:

$$SE = \sqrt{\frac{SS_R}{n-2}} \quad (3)$$

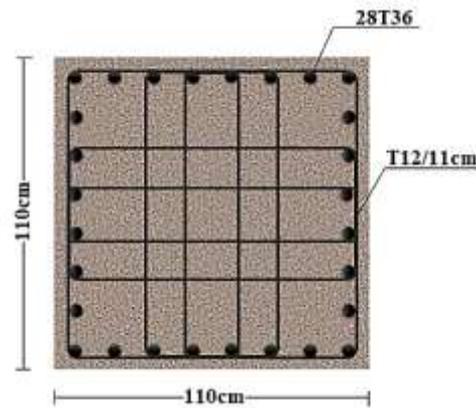
حيث n هو عدد القيم المرصودة للمتغير التابع. كلما كانت قيمة الخطأ المعياري أقل كلما كانت البيانات أقل تشتتاً وأكثر قرباً من خط الانحدار، وبالتالي كانت علاقة الانحدار أكثر دقة.

3- الجسر المدروس

تم في هذا البحث دراسة خمسة جسور بيتونية متشابهة من حيث الجملة الإنشائية يتألف كل منها من أربع مجازات بسيطة الاستناد كما هو مبين في الشكل (2)، وقد تم اختيار هذا النموذج من الجسور باعتباره واسع الانتشار محلياً (في الساحل السوري). تتألف البنية العلوية في هذه الجسور من 6 جوائز بيتونية مسبقة الإجهاد في الاتجاه الطولي للجسر وديافرامات طرفية ووسطية في الاتجاه العرضي سماكتها 0.3m، أما الركائز الوسطية فهي ركائز إطارية ارتفاعها 9.5m يتألف كل منها من 3 أعمدة مع جائر رابط في الأعلى ارتفاعه 1.4m وعرضه 1.1m، تتألف أجهزة الاستناد من وسادة نيوبرين تعلوها صفيحة معدنية. تمتلك الجسور المدروسة نفس المواصفات من حيث خصائص البيتون وفولاذ التسليح ($f_c=45\text{MPa}$, $F_y=420\text{MPa}$) حيث تم اعتماد خصائص لاخطية لكل من البيتون والفولاذ تتوافق مع متطلبات (AASHTO, 2011). كذلك للجسور نفس شكل مقطع أعمدة الركائز وتسليحها المبين في الشكل (3). لهذه الجسور العرض ذاته وهو 12.5m، لكنها تختلف من حيث الطول الكلي للجسر، الأمر الذي سينعكس على أدوار الاهتزاز الخاصة بها، وبالتالي أيضاً على قيمة الطلب الزلزالي المفروض عليها، ويبين الجدول (2) أطوال الجسور المدروسة.



الشكل (2) نموذج الجسور المدروسة



الشكل (3) مقطع أعمدة الركائز

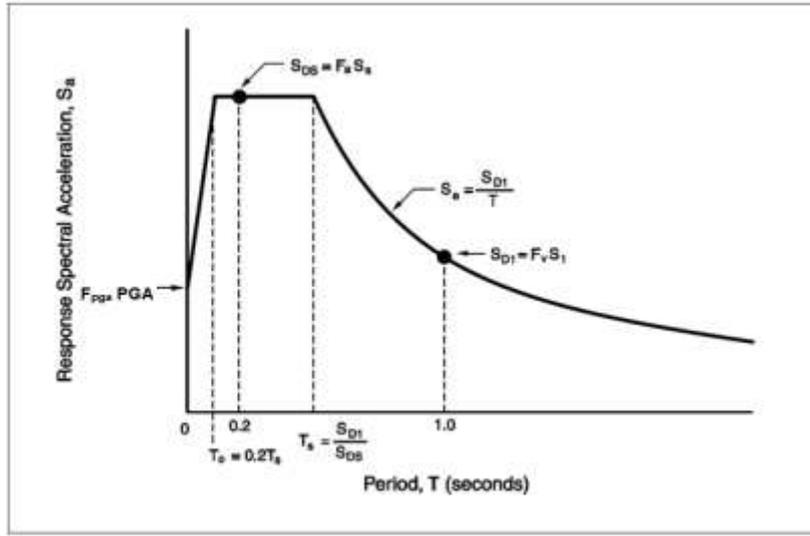
الجدول (2) أطوال الجسور المدروسة

الجسر	الطول الكلي للجسر L(m)
I	60
II	70
III	80
IV	90
V	100

تمت نمذجة هذه الجسور فراغياً باستخدام برنامج csbridge v20، حيث تمت الاستفادة من العناصر التي يتيحها البرنامج في تعريف الخصائص الخطية واللاخطية لمختلف مكونات الجسر، كما تم إسناد مفاصل لدنة من النوع P-M2-M3 وذلك في المواقع المناسبة أعلى وأسفل أعمدة الركائز.

تم تحليل الجسور تحليلاً ستاتيكيًا خطياً تحت تأثير الحمولات الميتة المختلفة (الوزن الذاتي وحمولة التغطية ووزن الحواجز الطرفية) وذلك لتحديد القوى المحورية في أعمدة الركائز كونها عامل مؤثر على منحنى العزم - التقوس الذي تمت الاستفادة منه في تحديد خصائص المقطع الفعال لهذه الأعمدة، وهذا ضروري للحصول على قيم موثوقة للدور (AASHTO, 2011). تم أيضاً تحليل القيم الذاتية لتحديد الأنماط الرئيسية للاهتزاز والأدوار الموافقة، ثم تم إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي للجسر ككل في الاتجاهين الأفقيين المتعامدين مع اعتماد توزيع القوى 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% (FEMA356, 2000). هذا

وتم اختيار 60 شدة زلزالية مختلفة تم تعريفها من خلال أطيف الاستجابة وفقاً لـ (AASHTO, 2011) أو ما يعرف بطيف النقاط الثلاث المبين في الشكل (4).



الشكل (4) طيف الاستجابة التصميمي باستخدام طريقة النقاط الثلاث (AASHTO, 2011)

تحتسب معاملات التسارع لطيف الاستجابة التصميمي من خلال ثلاث قيم (التسارع الأرضي الأعظمي (PGA)، التسارع الطيفي عند الدور 0.2s (SS)، التسارع الطيفي عند الدور 1s (S1)) بعد تعديل كل منها بالعامل المناسب حسب صنف التربة، ونشير إلى أننا اعتمدنا صنف التربة D في هذا البحث. تميزت كل شدة من الشدات الـ 60 المختارة بثلاثية مختلفة من القيم (PGA, SS, S1) لتعكس مستويات مختلفة من الخطر الزلزالي حيث تدرجت من الشدات الضعيفة إلى الشدات العالية جداً، وقد تم اختيار هذه الثلاثيات من الخارطة الزلزالية السورية ومن الخارطة الزلزالية الأمريكية (كون مجال الشدات الزلزالية محدود في الخارطة الزلزالية السورية بالإضافة إلى أنها تتعامل مع خطر زلزالي أخفض من الزلزال التصميمي الذي تفرضه كودات تصميم الجسور).

تم اختيار ستة مؤشرات للتعبير عن الشدة الزلزالية وهي:

- 1- التسارع الأرضي الأعظمي (PGA)
- 2- التسارع الطيفي عند الدور 0.2s (SS)
- 3- التسارع الطيفي عند الدور 1s (S1)
- 4- التسارع الطيفي الموافق لدور الاهتزاز الأساسي في الاتجاه الطولي (SPL)
- 5- التسارع الطيفي الموافق لدور الاهتزاز الأساسي في الاتجاه العرضي (SPT)
- 6- المتوسط الحسابي للتسارعين الطيفيين SPL و SPT (SPM)

يمكن الحصول على المؤشرات الثلاثة الأولى مباشرة من الخرائط الزلزالية للموقع (كالخارطة الزلزالية السورية على سبيل المثال) بغض النظر عن خصائص المنشأ، وبالتالي تم استخدام نفس القيم لهذه المؤشرات من أجل الجسور كافة، بينما ترتبط المؤشرات الثلاثة الأخيرة بالجسر المدروس، ونظراً لاختلاف قيم الدور بين الجسور المدروسة فقد أخذت هذه المؤشرات قيم مختلفة في كل جسر.

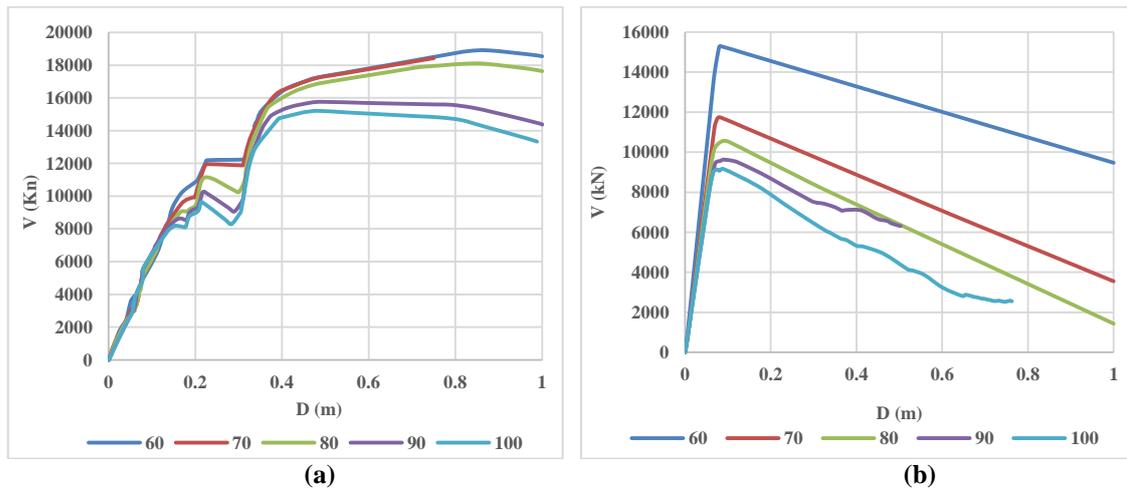
النتائج والمناقشة:

بين التحليل النمطي أنه من أجل الجسور الخمسة المدروسة كان الاهتزاز وفق الاتجاه الطولي (X) للجسر هو النمط الأول للاهتزاز، في حين كان النمط الثاني موافق للاهتزاز في الاتجاه العرضي (Y). يبين الجدول (3) قيم الدور الموافقة لأنماط الاهتزاز ونسبة مساهمة الكتلة في كل نمط. نلاحظ من هذا الجدول زيادة الدور مع زيادة طول الجسر بحيث بقيت نسبة الدور إلى طول الجسر ثابتة تقريباً سواء من أجل نمط الاهتزاز الأول أو الثاني.

الجدول (3) قيم الدور ونسب مساهمة الكتلة لأنماط الرئيسية للاهتزاز

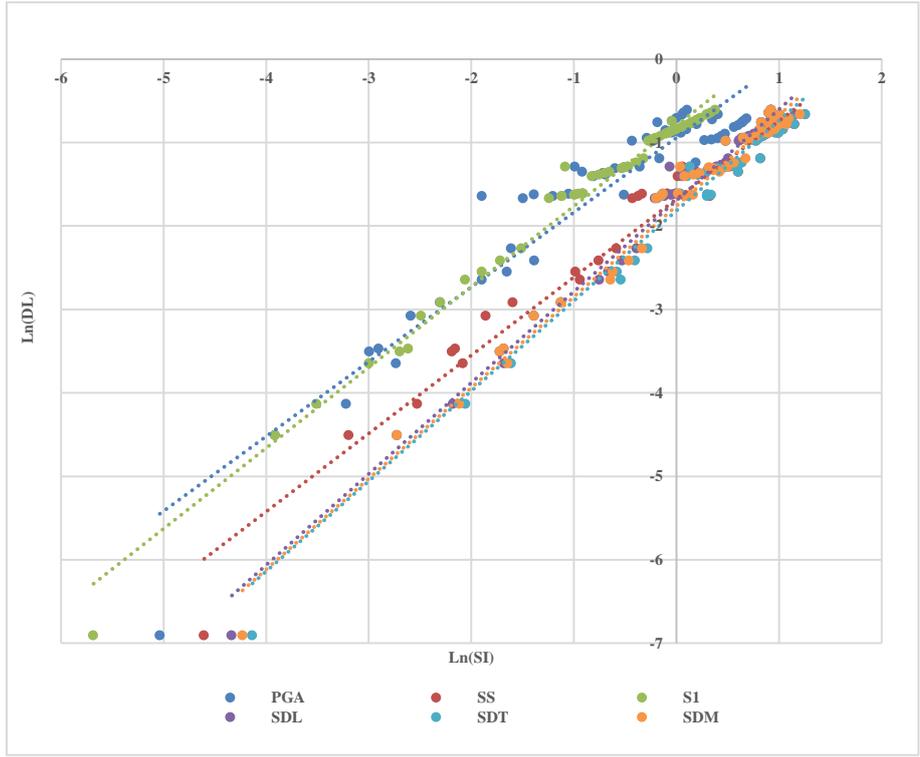
الجسر	اتجاه النمط الأول وفق النمط	قيمة الدور T1(Sec)	نسبة مساهمة الكتلة %	T1/L	اتجاه الاهتزاز وفق النمط الثاني	قيمة الدور T2(Sec)	نسبة مساهمة الكتلة %	T2/L
I	X	0.66	87	0.0110	Y	0.42	83	0.0070
II	X	0.74	88	0.0106	Y	0.49	80	0.0070
III	X	0.79	88	0.0099	Y	0.53	79	0.0066
IV	X	0.88	89	0.0098	Y	0.6	79	0.0067
V	X	0.95	89	0.0095	Y	0.65	80	0.0065

تم إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي ورسمت منحنيات الاستطاعة للجسور في الاتجاهين الطولي والعرضي، وهي مبينة في الشكل (5).

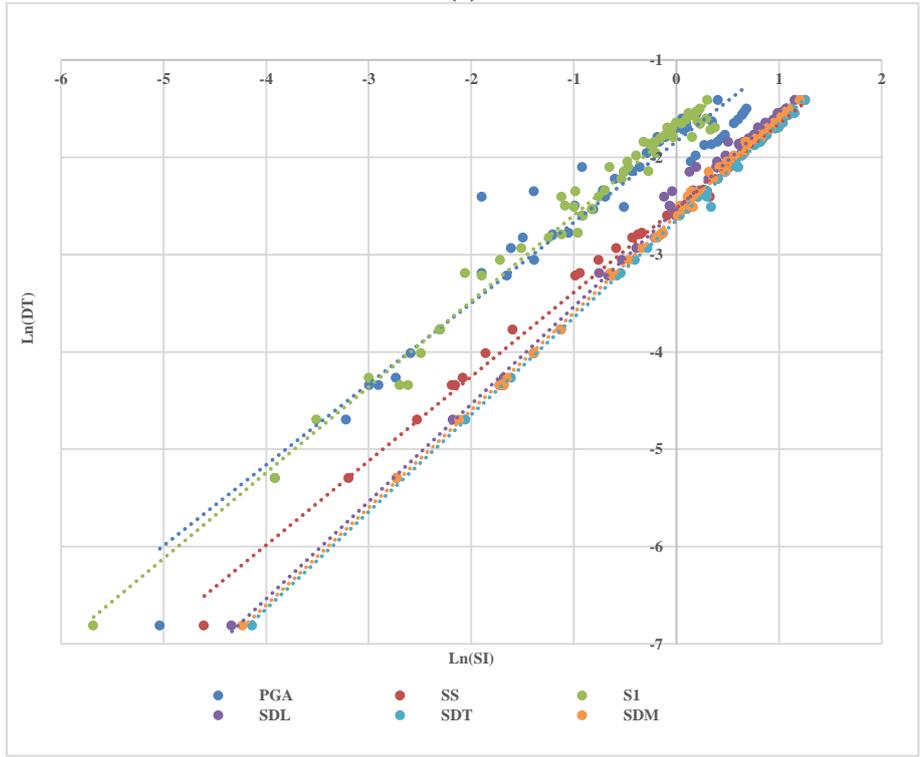


الشكل (5) منحنيات الاستطاعة للجسور المدروسة، (a) الاتجاه الطولي، (b) الاتجاه العرضي

تم الاعتماد على نقاط الأداء (التي تمثل تقاطع أطراف الاستجابة مع منحنيات الاستطاعة بعد رسم كل منها بشكل تسارع طيفي مقابل انتقال طيفي) وذلك من أجل إيجاد قيم الطلب الزلزالي في الجسور الخمسة الذي يوافق الشدات الزلزالية الـ 60 التي تم تعريفها، حيث تم التعبير عن الطلب من خلال مؤشرين هما الانتقال الحاصل في جسم الجسر في الاتجاهين الطولي DL والعرضي DT، وتم حساب لوغاريتم قيم الطلب وإجراء تحليل الانحدار لعلاقة الطلب بالمؤشرات المختارة للشدة الزلزالية (العلاقة (1))، وهذه العلاقة مبينة في الأشكال الآتية.

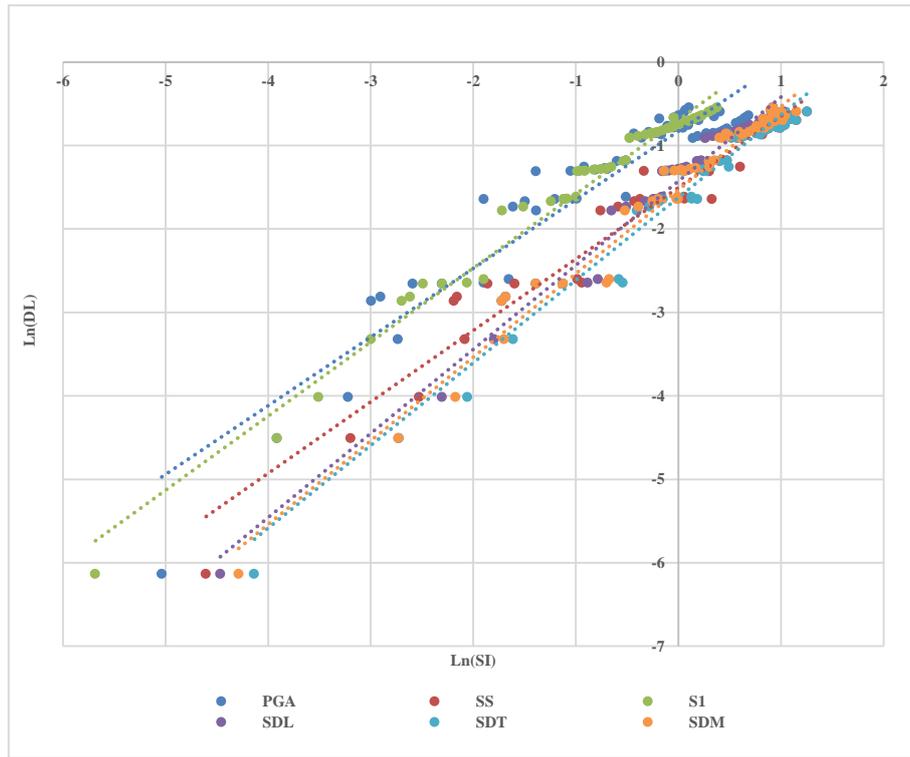


(a)

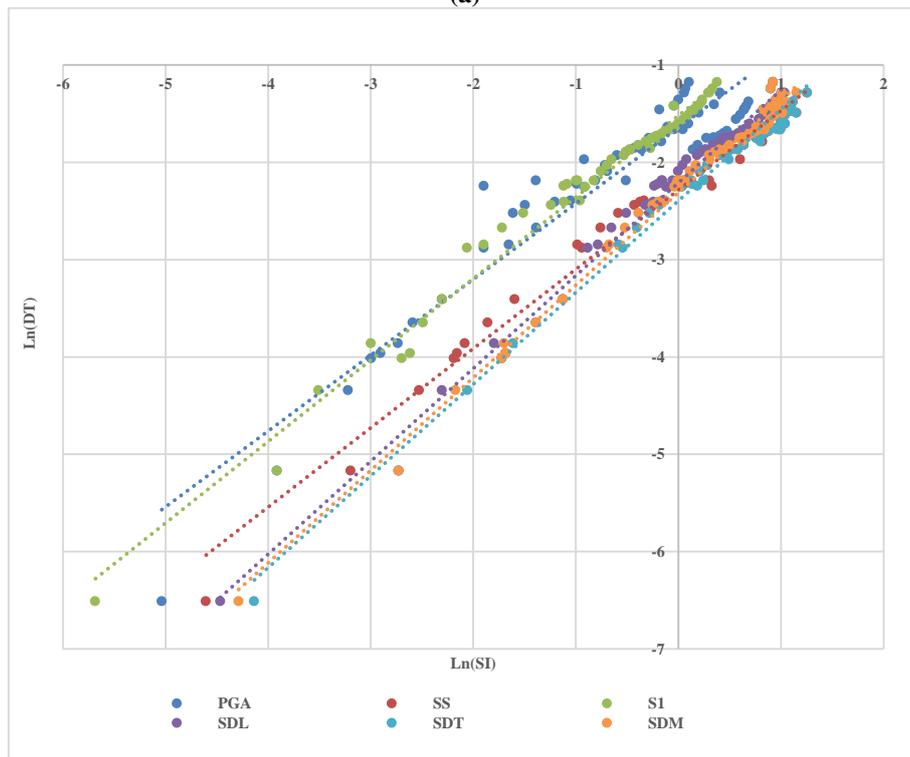


(b)

الشكل (6) العلاقة بين لوغاريتم الطلب الزلزالي ولوغاريتم مؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر I، (a) الاتجاه الطولي، (b) الاتجاه العرضي

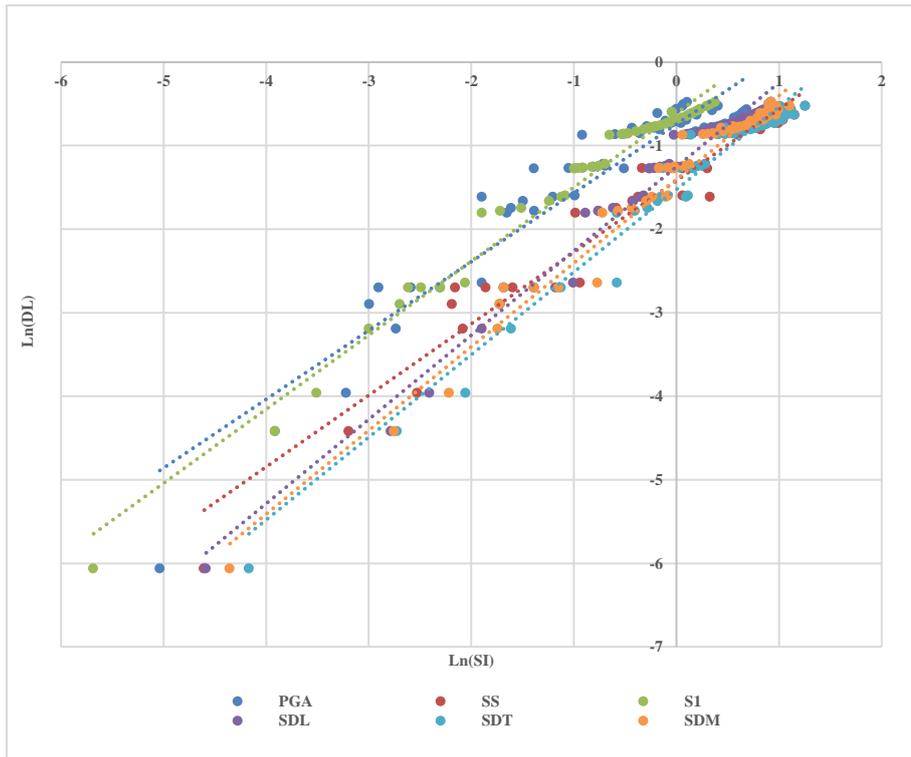


(a)

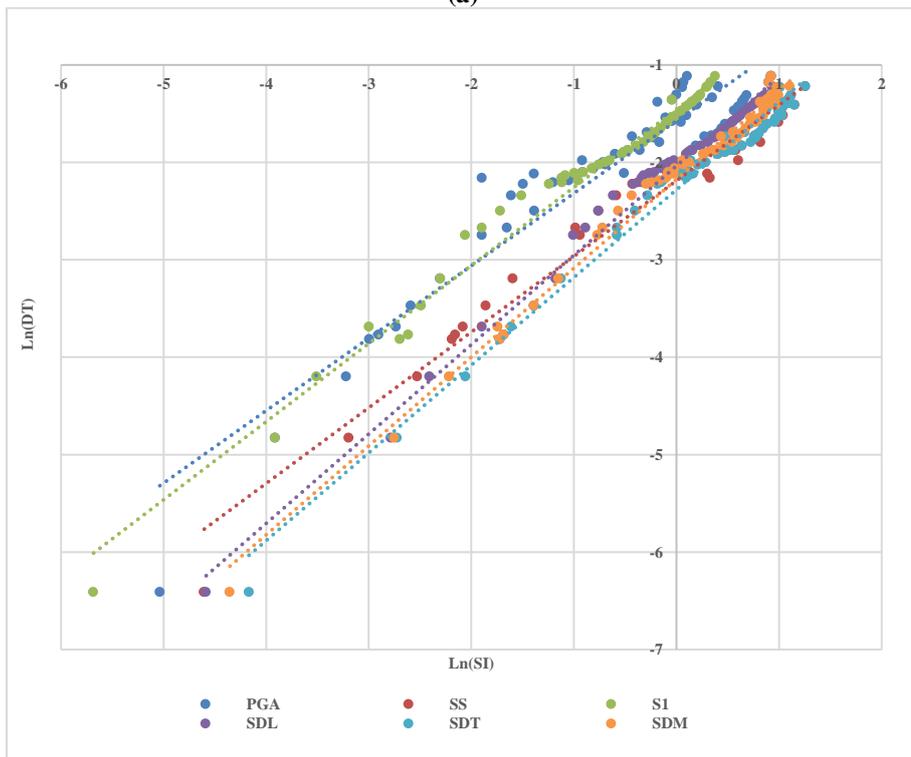


(b)

الشكل (7) العلاقة بين لوغاريتم الطلب الزلزالي ولوغاريتم مؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر II، (a) الاتجاه الطولي، (b) الاتجاه العرضي

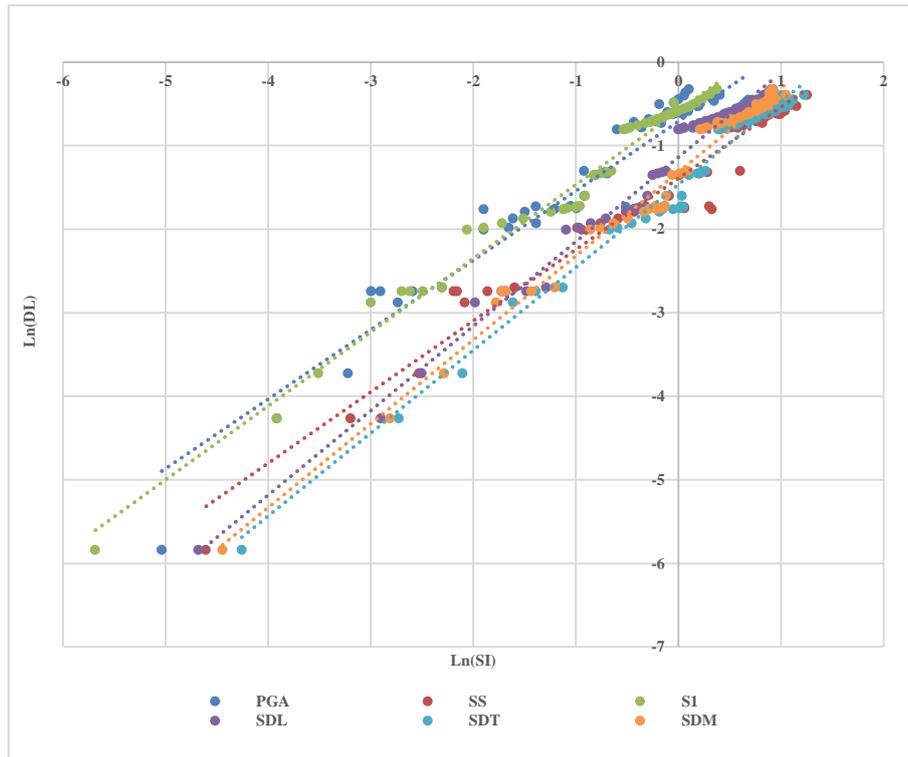


(a)

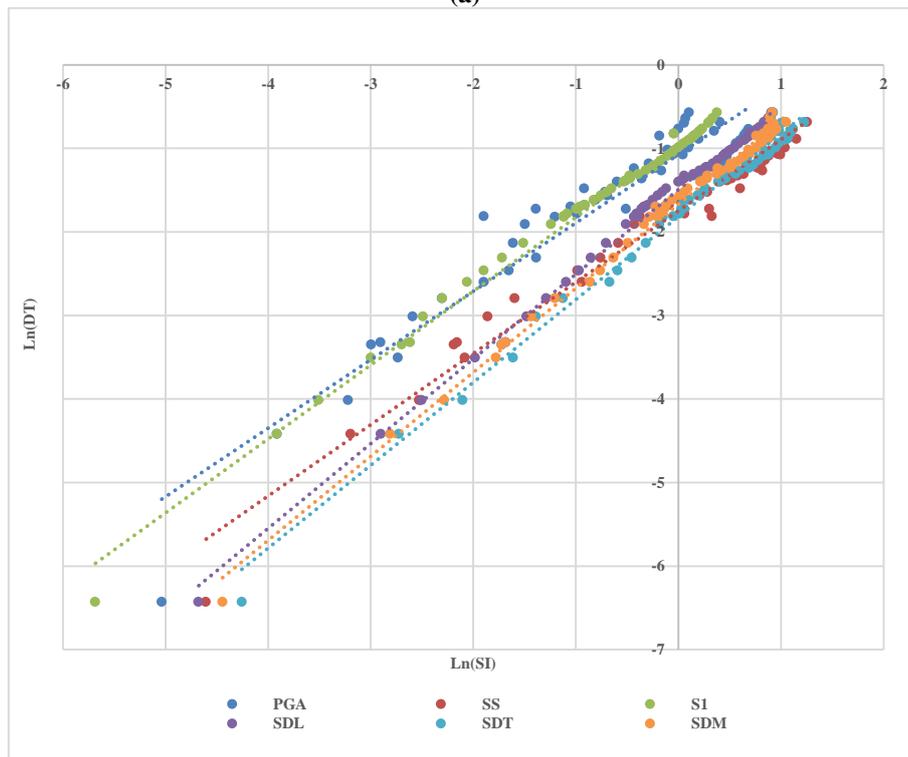


(b)

الشكل (8) العلاقة بين لوغاريتم الطلب الزلزالي ولوغاريتم مؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر III، (a) الاتجاه الطولي، (b) الاتجاه العرضي

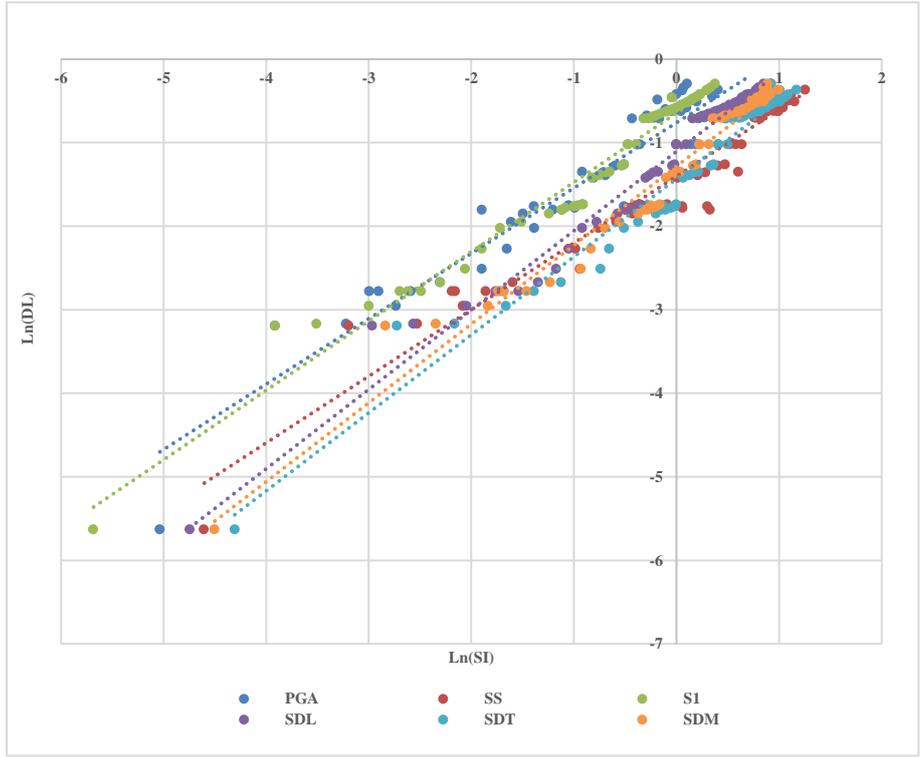


(a)

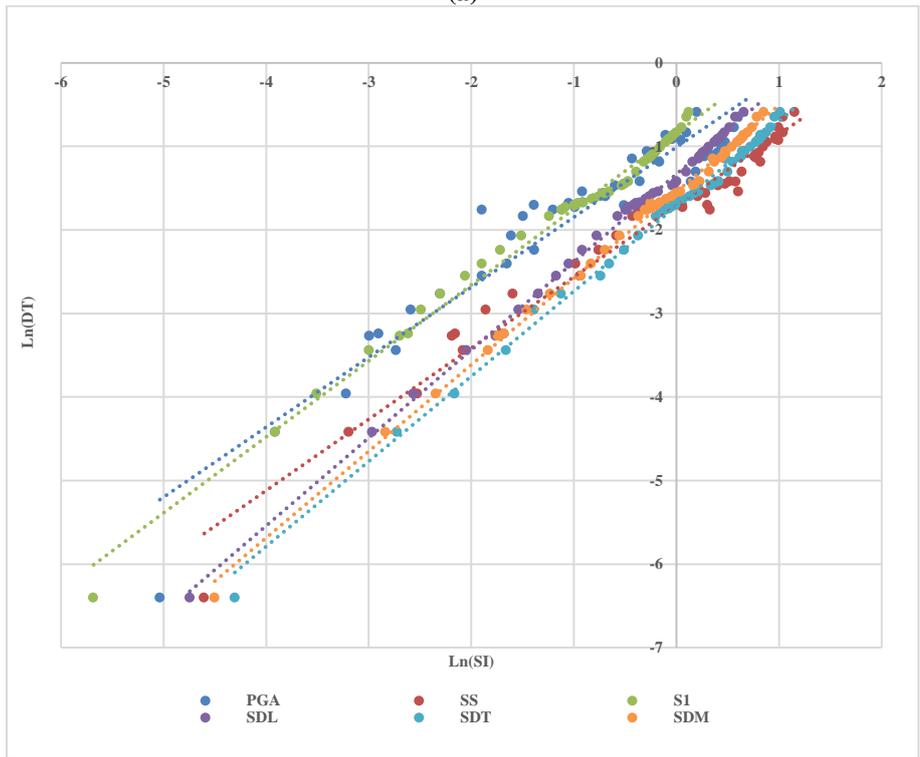


(b)

الشكل (9) العلاقة بين لوغاريتم الطلب الزلزالي ولوغاريتم مؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر IV، (a) الاتجاه الطولي، (b) الاتجاه العرضي



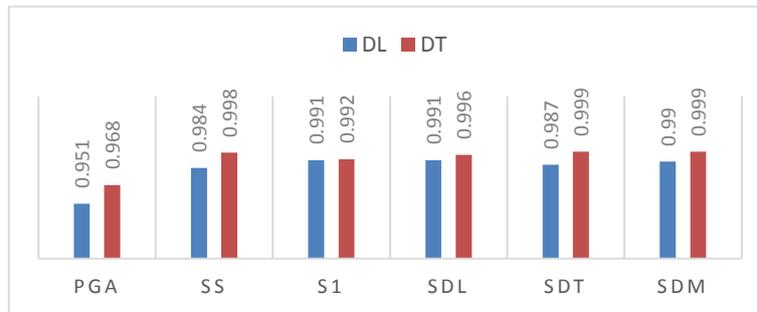
(a)



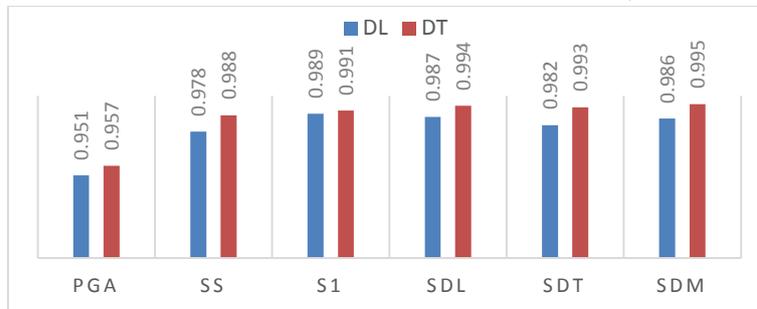
(b)

الشكل (10) العلاقة بين لوغاريتم الطلب الزلزالي ولوغاريتم مؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر V، (a) الاتجاه الطولي، (b) الاتجاه العرضي

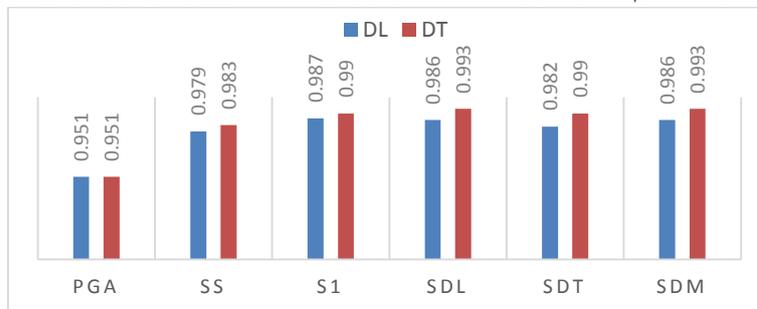
تم إيجاد قيم معامل الارتباط للحالات المختلفة وذلك بالاعتماد على العلاقة (2)، وهذه القيم مبينة في الأشكال (11) حتى (15)، حيث نلاحظ أن هذه القيم تجاوزت جميعها 0.95 وهذا يدل على العلاقة القوية جداً بين كل من لوغاريتم الطلب ولوغاريتم الشدة الزلزالية (من أجل كل المؤشرات المدروسة)، وبالتالي صحة افتراض العلاقة الخطية بينهما، ونلاحظ أيضاً من هذه الأشكال أن العلاقة كانت أقوى إجمالاً من أجل الطلب في الاتجاه العرضي للجسر أكثر منها من أجل الطلب في الاتجاه الطولي حيث قيم R في الاتجاه العرضي أكبر. إن هذه القيم الكبيرة لمعامل الارتباط تدل على أن كل المؤشرات المدروسة يمكن أن تستخدم في علاقة الطلب، لكن وكما هو مبين في هذه الأشكال نلاحظ أن PGA هو المؤشر الأقل ملائمة، في حين هناك تقارب بين بقية المؤشرات، وبأخذ القيم المتوسطة لمعاملات الارتباط ما بين الاتجاهين الطولي والعرضي ومن أجل الجسور الخمسة والمبينة في الجدول (4) نلاحظ أن S_{PM} هو المؤشر الأفضل يليه S_{PL} ف S_1 ، وهذا واضح أيضاً من قيم الأخطاء المعيارية المبينة في الجدول (5) حيث نلاحظ أن أقل قيمة للخطأ توافق S_{PM} ، فيما توافق أكبر قيمة للخطأ المؤشر PGA أي أن البيانات عندما أعطيت بدلالة PGA كانت أكثر تشتتاً وبعداً عن خط الانحدار، وبالتالي فعلاقة الانحدار في هذه الحالة أقل دقة منها في بقية الحالات.



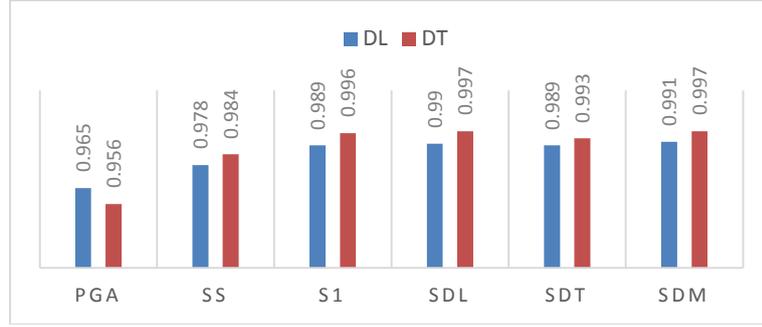
الشكل (11) قيم معامل الارتباط لعلاقة الطلب بمؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر I



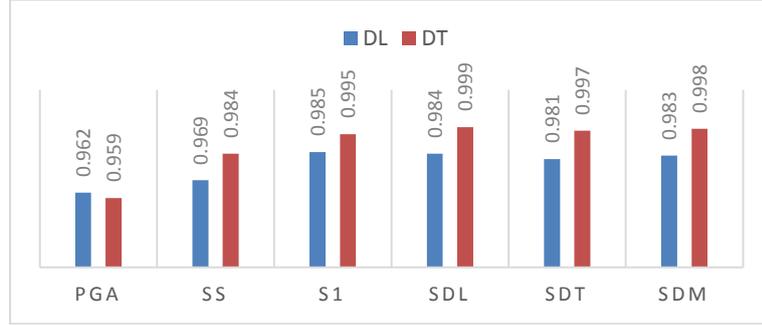
الشكل (12) قيم معامل الارتباط لعلاقة الطلب بمؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر II



الشكل (13) قيم معامل الارتباط لعلاقة الطلب بمؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر III



الشكل (14) قيم معامل الارتباط لعلاقة الطلب بمؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر IV



الشكل (15) قيم معامل الارتباط لعلاقة الطلب بمؤشرات الشدة الزلزالية من أجل الجسر V

الجدول (4) القيم الوسطية لمعامل الارتباط R

	PGA	SS	S1	SDL	SDT	SDM
Average	0.9571	0.9825	0.9905	0.9917	0.9863	0.9918

الجدول (5) قيم الخطأ المعياري SE

الجسر	مؤشر الطلب	PGA	SS	S1	SDL	SDT	SDM
I	DL	0.364	0.209	0.157	0.155	0.19	0.164
	DT	0.268	0.071	0.139	0.091	0.037	0.039
II	DL	0.337	0.227	0.16	0.172	0.204	0.18
	DT	0.3	0.155	0.133	0.114	0.124	0.103
III	DL	0.335	0.222	0.171	0.184	0.205	0.183
	DT	0.303	0.182	0.138	0.114	0.139	0.112
IV	DL	0.284	0.225	0.157	0.152	0.193	0.146
	DT	0.317	0.193	0.098	0.077	0.126	0.089
V	DL	0.28	0.253	0.178	0.18	0.2	0.185
	DT	0.322	0.204	0.111	0.059	0.091	0.066
Average		0.311	0.1941	0.1442	0.1298	0.1509	0.1267

إن اعتماد المؤشرين S_{PM} و S_{PL} على خصائص الجسر وضرورة تحليله وإيجاد أدوار الاهتزاز له يجعل من الصعب اعتماد هذين المؤشرين في حال كان المطلوب دراسة الطلب في مجموعة كبيرة من الجسور كما هو الحال عند إجراء تحليل احتمالي للتضرر الزلزالي أو تقييم الأداء والمقارنة بين أصناف مختلفة من الجسور حيث سيأخذ قيماً مختلفة في

كل جسر حتى لو كانت هذه الجسور في نفس المنطقة الزلزالية، في حين أن S_1 بالإضافة لكونه مؤشر ممتاز فهو وكونه يؤخذ من الخرائط الزلزالية يجعل منه المؤشر الأنسب في مثل هذه الحالات.

الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث بإجراء تحليل احتمالي للطلب الزلزالي في خمسة جسور بيتونية من خلال إيجاد علاقة الطلب بستة مؤشرات للشدة الزلزالية ومن خلال النتائج توصلنا إلى أن:

1- نسبة الدور إلى طول الجسر بقيت ثابتة تقريباً من أجل نمط الاهتزاز الأول والثاني، لكن تعميم هذه النتيجة يتطلب تحليل عدد أكبر من الجسور.

2- من الممكن التعبير عن الطلب الزلزالي ممثلاً بالانتقال الحاصل في جسم الجسر في هذا النوع من الجسور بشكل ممتاز بدلالة أي من المؤشرات المدروسة.

3- التسارع الأرضي الأعظمي PGA كان المؤشر الأقل ملائمة بين المؤشرات المدروسة.

4- متوسط التسارعين الطيفيين الموافقين لدوري الاهتزاز الرئيسيين في الاتجاه الطولي والعرضي للجسر S_{PM} كان المؤشر الأكثر ملائمة.

5- الفارق البسيط في جودة الملائمة في التعبير عن الطلب ما بين S_1 و S_{PM} ، مع سهولة ربط الطلب بـ S_1 مقارنة بـ S_{PM} تجعلنا نوصي باستخدام S_1 في الحالات التي يطلب فيها تقييم الطلب من أجل مجموعة كبيرة من الجسور.

References:

- 1- AASHTO *Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design*, 2nd Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2011.
 - 2- BAYAT, M., DANESHJOO, F., NISTICO, N., *The effect of different intensity measures and earthquake directions on the seismic assessment of skewed highway bridges*, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol.16, No.1, 165-179, 2017.
 - 3- FEMA356, *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, 2000.
 - 4- FIELD, ANDY, *Discovering Statistics Using SPSS*, Third Edition, SAGE Publications, 2009.
 - 5- HAZUSmr4, *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model*, Federal Emergency Management Agency, 2003.
 - 6- NIELSON, B., DESROCHES, R., *Seismic Fragility Methodology for Highway Bridges Using a Component Level Approach*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2007.
 - 7- PADGETT, J., NIELSON, B., DESROCHES, R., *Selection of optimal intensity measures in probabilistic seismic demand models of highway bridge portfolios*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2008.
 - 8- SCHOBER, P.; BOER, C., SCHWARTE, L., *Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation*. Anesthesia & Analgesia. 2018.
- <<https://www.researchgate.net/publication/323388613>>