

أربعون مجموعة من سجلات الحركات الأرضية القوية تغطي أطراف الاستجابة التصميمية

كافة في مدينة طرطوس السورية

د. م. سراج جديد

دكتوراه في الهندسة الإنشائية، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

مدير فرع المنطقة الساحلية في الشركة العامة للدراسات الهندسية.

serajjdyd@yahoo.com

الملخص :

تفتقر الكودات العالمية لاشتراطات واضحة فيما يخص اختيار السجلات الزمنية من أجل استخدامها في أغراض التصميم، وتركز هذه الاشتراطات في الوقت الراهن على مطابقة طيف الاستجابة التصميمي المرن، على أن تملك السجلات مواصفات سيسمولوجية (القوة الزلزالية، والمسافة، وخصائص الموقع ونوع الصدع) مشابهه للزلازل المتوقع في الموقع. بعد اختيار السجلات الحقيقية يجب معايرتها لمطابقة شدة الزلازل المحتملة في الموقع، تجرى هذه العملية عادة باستخدام التقييس (المعايرة) الموحد في مجال الزمن، لتتم مطابقة السجلات (بشكل متوسط) مع طيف الاستجابة الهدف ضمن المجال المحدد للدور. تتحدد الحركات الأرضية التصميمية في العادة بواسطة طيف استجابة مصقول، ولكن يفضل استخدام سجلات زمنية تتطابق في المتوسط مع طيف الاستجابة التصميمي الهدف، ذلك نظرا للتطور المتسارع لتقنيات الحساب، وزيادة المستمرة بقاعدة البيانات العالمية للسجلات الزلزالية. وبعد إجراء تحليل لاخطي باستخدام السجل الزمني للحركات الأرضية المختارة والمعايرة نهجا تقليدياً، يهدف لشرعنة السجلات الناتجة من خلال تقويم انحراف الاستجابة الإنشائية وتغيرها، فهذا يثبت كفاية الطرائق المستخدمة في الاختيار والمعايرة وفعاليتها. قمنا في هذا البحث بتلخيص المنهجيات الأساسية باختيار السجلات الزمنية للحركات الأرضية القوية الحقيقية ومعايرتها، وتمكنا باستخدام هذه المنهجيات من الحصول على 40 مجموعة من السجلات الزلزالية الحقيقية تغطي احتياجات مدينة طرطوس، لتشمل مجالاً واسعاً من أدوار الأبنية التقليدية، إلى جانب أنواع التربة Sa, Sb, Sc, Sd, Se ، وبالتالي أطراف الاستجابة الخمسة للمدينة، ليتمكن المهندس السوري من استخدامها بأمان في عمليات التحليل الخطي واللاخطي اللازمة لأغراض التصميم والبحث العلمي. ثم فحصنا عينة من خمس مجموعات من السجلات الزمنية الناتجة لتبيان مدى ملاءمتها للاستخدام بوصفها توابع تحريض في التحليل بالسجل الزمني لمنشآت الهندسة المدنية، من خلال التحليل باستخدام السجل الزمني لمنشآت وحيدة درجة الحرية لفحص التبثر في الاستجابة الإنشائية. وقد تم تمثيل المنشآت وحيدة درجة الحرية باستخدام نماذج ثنائية الخطية الهستيرية (الإرجاعية)، من خلال افتراض خمسة أدوار ومعامل مطاوعة $R=4.5$ ونسبة صلابة ما بعد الخضوع $\alpha=3\%$ وإجراء 350 عملية تحليل. وأخيراً تم عرض النتائج بدلالة الانتقالات اللدنة D .

كلمات مفتاحية: معايرة السجلات، اختيار السجلات، مجال الزمن، الطابع الزلزالي، طيف الاستجابة التصميمي، طيف الاستجابة الهدف.

مقدمة:

اعتمد الكود العربي السوري لتصميم المنشآت وتنفيذها بالخرسانة المسلحة في الجمهورية العربية السورية ابتداء من مطلع العام 1992، ومع تطبيق الاشتراطات الزلزالية في الكود على الأبنية والمنشآت منذ عام 1995، برزت الحاجة لعدد من نواحي التطوير والإيضاح في تلك الاشتراطات، وعليه فقد تم إصدار ثلاثة ملاحق للكود في الأعوام 1996 و 1997 و 2000، تحتوي إيضاحات وبعض التطويرات المطلوبة. وبعد أن صدرت الطبعة الأولى من الملحق رقم 2 للكود العربي السوري، وموضوعه "تصميم الأبنية والمنشآت المقاومة للزلازل" وتحقيقتها، عام 2004، وخلال تطبيق هذا الملحق للكود خلال السنوات السابقة، لوحظ وجود بعض الأمور التي تحتاج لتعديل، كما أن الكودات العالمية الحديثة أتت بمعلومات جديدة لا بد من أخذها في الحسبان. ومن أهم التطويرات التي جرى اقتراحها في الملحق رقم 2 للكود المطور 2013م، هي إلغاء الطريقة الستاتيكية المكافئة الأولى، وإضافة طريقة جديدة هي الطريقة الستاتيكية المكافئة المطورة، وجرى إعادة تسمية الطريقة الستاتيكية المكافئة الثانية، وأصبحت الطريقة الستاتيكية المكافئة والطريقة الستاتيكية المكافئة المطورة، إلى جانب طريقة التحليل بطيف الاستجابة، وطريقة التحليل بالسجل الزمني، والتي تشكل بمجموعها طرائق التحليل المعتمدة في الكود السوري.

ونظراً للزيادة المستمر لقاعدة البيانات الخاصة بالحركات الأرضية القوية، فقد أصبح تقييس (معايرة) السجلات الحقيقية واستخدامها أحد أهم الأغراض الأساسية للأبحاث المعاصرة في هذا المجال، وبقيت عملية اختيار السجلات المناسبة للحدث الزلزالي المتوقع في مكان ما وتقييسها أمراً قيد البحث والجدل بين الباحثين.

ويعتمد الكود السوري، كغيره من الكودات، قواعد ومبادئ توجيهية فقيرة Poor Guidelines في عملية اختيار السجلات الزمنية وتقييسها، إلى جانب قلة السجلات الزمنية المتوفرة للزلازل السورية؛ بسبب التأخر في إنشاء الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي حتى عام 1995م، وعدم تسجيل وقوع سجلات زمنية للزلازل قوية بعد ذلك، علماً أن المنطقة معرضة لأحداث زلزالية ضخمة، وقد شهدت عدداً كبيراً من الزلازل المدمرة كالزلازلين (1822, M=7.4)، (1872, M=7.2) الذين حدثا في الشمال الغربي السوري، وهذا ما أكده الباحث (Graham, 2001) والباحث (Hatem, 2012).

ويهدف اختيار السجلات الزلزالية الحقيقية إلى مطابقة أشكال محددة من الحركات الأرضية، ولذلك عندما يراد إجراء تحليل بالسجل الزمني، فإنه يجب اختيار سجلات تملك شكلاً طيفياً متقارباً. وبعد أن يتم اختيار السجلات الحقيقية، فإنه يجب تقييسها (معايرتها) لمطابقة شدة الزلزال المحتمل في الموقع. وهذا يتم عادة باستخدام التقييس الموحد في مجال الزمن، وهو ببساطة تقييس السجلات الزمنية بتكبيرها أو تصغيرها بشكل موحد لتتم مطابقتها (بشكل متوسط) مع طيف الاستجابة الهدف بأفضل ما يمكن، وذلك على مجال محدد للدور. واستناداً للأبحاث المستمرة في هذا المجال وضعت بعض الاشتراطات في كودات التصميم العالمية لاختيار السجلات الزمنية المناسبة وتقييسها، ولكنها تعد قواعد ومبادئ توجيهية بسيطة وغير كاملة، ويعود هذا لكون الأبحاث في هذا المجال مازالت تتطور بسرعة.

أهمية البحث و أهدافه:

تكمن أهمية البحث في أن الطريقة الستاتيكية المكافئة وطريقة طيف الاستجابة، التي تستخدم عادة للتصميم الإنشائي لمعظم أنواع المنشآت التقليدية، لم تعد من المنهجيات المفضلة في تصميم المنشآت الحديثة المعقدة التركيب والأداء، خصوصاً عند تعرضها لحمولات شديدة. ومن الناحية الأخرى أصبح التحليل الخطي واللاخطي باستخدام السجل الزمني أداة عملية ومستخدمة على نطاق واسع، يعود ذلك للمتطلبات الزلزالية الجديدة، إلى جانب التطور والأداء العالي للحواسيب، وأيضاً بسبب الازدياد المستمر في قاعدة البيانات الخاصة بالحركات الأرضية القوية، وبالتالي أصبح اختيار السجلات الحقيقية وتقييسها (معايرتها) أحد أهم الأغراض للأبحاث المعاصرة؛ لاستخدامها في عمليات التحليل الإنشائي. مع الإشارة إلى أن الغالبية العظمى من المهندسين الإنشائيين على المستوى المحلي (في سوريا) تنقصهم المعرفة والخبرة في مجال اختيار السجلات الزلزالية ومعايرتها؛ كون الموضوع قيد البحث والتطوير، ولم يتم شرحه بشكل وافٍ في الكود السوري.

ويهدف البحث إلى اختيار مجموعات من السجلات الزلزالية الحقيقية من قواعد البيانات العالمية (SIMBAD, EDS كمثال) المنسجمة مع متطلبات الكود السوري، والمتوافقة مع الأطياف التصميمية وأنواع التربة في مدينة طرطوس؛ ليتمكن المهندس السوري من استخدامها في عمليات التحليل الخطي واللاخطي اللازمة لأغراض التصميم والبحث العلمي، وذلك بعد شرعنة هذه

السجلات من خلال تقويم انحراف الاستجابة الإنشائية وتغيرها لبعض المنشآت وحيدة درجة الحرية المختارة كعينة اختبار، لإثبات كفاية السجلات المختارة وفعاليتها.

طرائق البحث و مواده:

اعتمد النهج التطبيقي والتحليلي في إنجاز البحث، بعد أن أجريت دراسة مرجعية معمقة ودقيقة لعدد كبير من الأبحاث والمراجع الحديثة المتعلقة بموضوع اختيار السجلات الزلزالية ومعايرتها؛ لتبيان الأسس العلمية المعتمدة حتى تاريخه في عملية الاختيار والمعايرة وتقييمها، ونوقشت معايير اختيار السجلات الزمنية الحقيقية ومعايرتها لإرضاء متطلبات الكود السوري، ليتم بعدها اختيار مجموعات من السجلات الزمنية لأحد المواقع في الجغرافيا السورية بما يتناسب مع اشتراطات الكود السوري، وتتكون كل مجموعة من سبعة من السجلات الزمنية الحقيقية المتوافرة (مركبتين أفقيتين لكل سجل)، ليكون الطيف المتوسط لها محققاً اشتراطات الكود السوري، ذلك على ثمانية من الأدوار الأساسية (الدور قيد الاهتمام) للمنشآت المدنية النمطية في مدينة طرطوس السورية بتزايد قدره 0.25 ثانية (2- 1.75 - 1.5 - 1.25 - 1 - 0.75 - 0.5 - 0.25)، بحيث تغطي هذه الأدوار المنشآت المذكورة كافة، والتي تتراوح ارتفاعاتها من طابق إلى 15 طابقاً.

وأجريت عملية الاختيار باستخدام برنامج REXEL (Iervolino, 2009)، الذي يمكّن من اختيار مجموعات السجلات الزمنية لتتطابق في المتوسط مع طيف الاستجابة الهدف كما نصت الكودات، ويستخدم قاعدة البيانات الأوربية European Strong-motion Database (ESD) والتي تحتوي على 1383 سجلاً زلزالياً (السجل مكون من مركبتين أفقيتين) ليتم اختيار السجلات منها، وقاعدة البيانات الإيطالية SIMBAD التي تحتوي على 467 سجلاً زلزالياً:

Selected Input Motions for Displacement-Based Assessment and Design

والمرفوران على الموقعين:

1. http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm/.
2. <http://www.reluis.it/>.

وتم العمل على فحص السجلات الزمنية الناتجة ومقارنتها لتبيان مدى ملاءمتها للاستخدام بوصفها توابع تحريض في التحليل بالسجل الزمني لمنشآت الهندسة المدنية، من خلال التحليل اللاخطي باستخدام السجل الزمني لمنشآت وحيدة درجة الحرية، بهدف

إيجاد الاستجابات للنظم وحيدة درجة الحرية المستخدمة، والتحقق من التبعر في الاستجابة الإنشائية. وقد تم تمثيل المنشآت وحيدة درجة الحرية باستخدام نماذج ثنائية الخطية الهستيرية (الإرجاعية) ذات صلابة ما بعد الخضوع، نسبتها 3%.

وفيما يلي عرض موجز لبعض الأدبيات في الاختيار والمعايرة والتحليل باستخدام نماذج وحيدة درجة الحرية:

أنواع السجلات Types Of Accelerograms:

يجرى التحليل باستخدام السجلات الزمنية الزلزالية من أجل الحصول على الاستجابة الحقيقية للمنشآت المعرضة لتحرير زلزالي، وخصوصاً المنشآت غير المتناظرة، وتلك التي تسلك سلوكاً لدناً، والتي تملك أنماط اهتزاز مرتفعة التردد. ويستخدم لهذا الغرض ثلاثة أنواع من السجلات، وهي السجلات الحقيقية والمحاكاة والصناعية المعرفة أدناه (Fahjan, 2007).

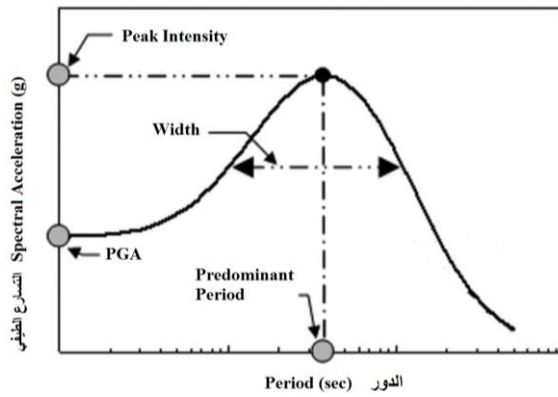
1- سجلات التسارع الحقيقية Real Accelerograms: تحتوي سجلات الحركات الأرضية القوية عديداً من المعلومات عن طبيعة الحركة الاهتزازية للأرض، وتتضمن جميع خصائص الحركة الأرضية (المطالات الطيفية Spectral Ordinate وتعني قيم التسارعات المقابلة لقيم الأدوار على طيف الاستجابة، ومحتوى الطاقة، والمحتوى الترددي، والمدة وخصائص زوايا الأطوار)، وتعكس كل العوامل التي تؤثر في السجل بوصفها خصائص المصدر والطريق والسلوك والموقع (Bommer, 2003). وينبثق عن هذا النوع ما يعرف بالسجلات المعدلة Synthetic Accelerograms والتي تنتج عن تقييس السجلات الحقيقية عن طريق تقييس المطالات الطيفية Spectral Ordinate في مجال التردد Frequency Domain، أو بإضافة أمواج صغيرة Wavelets في مجال الزمن وتعديل الشكل الطيفي لمطابقة الطيف الهدف.

2- أما بالنسبة لسجلات التسارع الصناعية Artificial Accelerograms فيتم توليد السجلات الصناعية لتطابق طيف الاستجابة التصميمي الهدف، وذلك عن طريق الحصول على تابع الكثافة الطيفية للطاقة Power Spectral Density Function من طيف الاستجابة المصقول، ومن ثم توليد إشارة جيبيية لها زوايا أطوار ومطالات عشوائية.

3- وأخيراً سجلات التسارع المحاكاة Simulated Accelerograms والتي يتم توليد هذا النوع من السجلات بمحاكاة موديلات للمصادر السيسمولوجية Simulating Seismological Source Models وذلك مع الأخذ بالحسبان تأثير ميكانيزمات (آليات) الطريق السلوك والموقع المدروس Source and Travel Path Mechanisms، وفي العموم هناك صعوبة في تحديد بارامترات المحاكاة. (Bommer, 2003).

3-2- اختيار السجلات الحقيقية Real Accelerograms Selection:

يهدف اختيار السجلات الزلزالية الحقيقية إلى مطابقة أشكال محددة من الحركات الأرضية، ويعتمد هذا الاختيار على شكل طيف الاستجابة التصميمي المرن، بمراعاة عدد من المتغيرات Parameters ممثلة بالقوة والمسافة ومواصفات الموقع كما تطالب كودات التصميم، ليحدد شكل طيف الاستجابة خصائص الزلازل المطلوبة. ولذلك عندما يراد إجراء تحليل بالسجل الزمني يجب اختيار سجلات تملك شكلاً طيفياً متقارباً. ويمكن وصف طيف الاستجابة بواسطة ثلاثة متغيرات مميزة موضحة في الشكل (1) هي الشدة العظمى Peak Intensity، والدور المسيطر Predominant Period والعرض Width (العرض الطيفي وهو المساحة المحصورة تحت طيف الاستجابة) أو ما يعرف بعرض النطاق الترددي Band width. (Graizer, 2009).



الشكل (1): بارامترات الشكل Shape Parameters المميزة لطيف الاستجابة (Graizer, 2009).

وبحسب الباحث (Graizer, 2009) فإن المتغيرات Parameters التي يجب أخذها بعين الاعتبار في تعريف سيناريو محتمل للزلزال، هي تلك التي لها الأثر الأكبر في شكل طيف الاستجابة للزلزال: مجال قوة الزلزال Magnitude Range للحدث المتوقع، ومجال المسافة Distance Range من الموقع إلى الصدع المسبب للزلزال، ومواصفات الموقع Site Conditions (جيولوجية الموقع).

3-3- إجراءات اختيار السجلات الزلزالية وفقاً لمتطلبات الكودات العالمية:

Record Selection Procedures Proposed by National Standards

تعتمد بعض الكودات العالمية ومنها: الأوربي، والنيوزلندي، والأمريكي، والإيراني والسوري، في عملية اختيار سجلات الحركات الأرضية من أجل التحليل بالسجل الزمني، معياراً يتمحور حول التشابه بين الطابع السيسمولوجي للزلازل المستخدمة في التحليل وبين تلك المتوقعة الحدوث في الموقع المدروس، ولكنها تتبع منهجيات مختلفة. ويشترط الكود النيوزلندي أن يطابق طيف

الاستجابة لكل سجل مختار طيف الاستجابة التصميمي ضمن مجال محدد من الأدوار مرتبط بالدور الأساسي للمنشأ قيد التحقيق، ويجب أن تزيد الطاقة لطيف أحد هذه السجلات على الأقل طاقة طيف الاستجابة التصميمي. بينما يشترط الكود الأوربي أن يزيد الطيف المتوسط لجميع السجلات المختارة عن 90% من طيف التصميم في مجال الدور المحدد، ويجب أن تكون قيمة طيف الاستجابة المتوسط عند قيمة الدور المساوية للصفر أكبر من القيمة الموافقة لها على طيف الاستجابة التصميمي. وينصح الكود الأمريكي، كذلك الإيراني والسوري؛ أن يكون الطيف المتوسط للسجلات المختارة أكبر بـ 40% من طيف التصميم ضمن مجال محدد للدور (Jdyd, 2015).

وتركز توصيات الكودات العالمية في الوقت الراهن على مطابقة طيف الاستجابة التصميمي المرن في عملية اختيار السجلات، وعملت على تحديد متطلبات عامة تنص على أن تكون السجلات الزمنية لها قوة زلزالية للهزات M ومسافات عن الصدع الجيولوجي R وميكانيزمات مصادر زلزالية Sources Mechanisms، تتسجم بشكل معقول مع تلك التي تحكم الهزة الأساسية التصميمية. وعلى أن تملك السجلات خصائص سيسمولوجية وتكتونية مشابهة للحدث المتوقع في المكان المدروس.

وينص الكود الأمريكي (ASCE 7-05) على أنه يجب استخدام ثلاثة مجموعات Data Sets من السجلات الزمنية للحركات الأرضية على الأقل (تتكون المجموعة من مركبتين أفقيتين، أو مركبتين أفقيتين ومركبة شاقولية في حال وجوب اعتبار الحركة الشاقولية) عند إجراء التحليل باستخدام السجل الزمني، والتي يجب اختيارها وتقييمها من ثلاثة أحداث مسجلة على الأقل. كما يجب أن تكون السجلات الزمنية لها قوة زلزالية للهزات والمسافات عن الصدع وميكانيزمات مصادر زلزالية تتسجم مع تلك التي تحكم الهزة الأساسية التصميمية (أو الزلزال الأعظمي التصميمي).

وينص الكود السوري في الفقرة 5-6-1 (Syrian Code, 2012) على أن "يتم تنفيذ التحليل باستعمال السجل الزمني، لأزواج من المركبات المناسبة للسجل الزمني لحركة الأرض الأفقية التي يتم انتقاؤها وضبطها بما لا يقل عن ثلاثة أحداث زلزالية مسجلة. وتكون السجلات الزمنية الملائمة لهذا التحليل، لها مقادير للهزات والمسافات عن الصدع الجيولوجي ميكانيزمات مصادر زلزالية، تتسجم مع تلك التي تحكم الهزة الأساسية التصميمية أو الزلزال الأعظمي التصميمي. وفي حال عدم توافر أزواج السجلات الزمنية الثلاثة المناسبة لحركة الأرض والمسجلة زلزالياً، فيمكن استعمال أزواج نمذجة (ممثلة صناعياً)، ومناسبة للسجلات الزمنية لحركة الأرض. ولكل زوج من مركبات الحركة الأفقية للأرض، يتم إنشاء العلاقة الممثلة للجزر التريبيعي لمجموع المربعات (SRSS) المقابلة

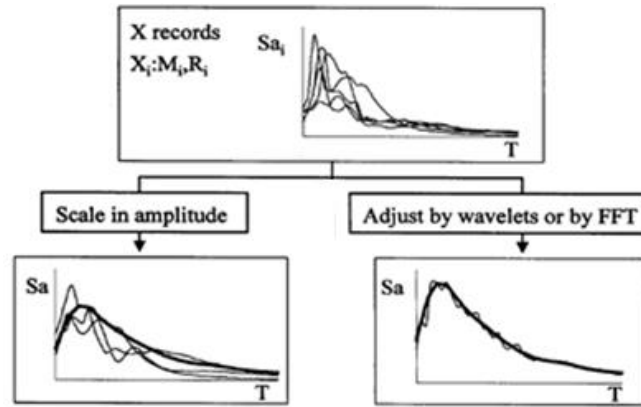
للطيف الذاتي للموقع المطور لتخامد (5%) ، وذلك للمركبات الأفقية المعاييرة. ويجب أن تعابر الحركات بحيث لا تقل القيمة الوسطية لطيف الجذر التربيعي لمجموع المربعات (SRSS) عن (1.4) مرة من الطيف المطور بتخامد (5%) للزلزال الأساسي التصميمي، وذلك للأدوار التي تتراوح بين $0.2T$ و $1.5T$.

3-4- تقييس السجلات الزلزالية لملاءمة طيف الاستجابة التصميمي:

:Scaling of Seismic Records to Fit the Design Spectra

بذلت جهود جبارة للتمكن من استخدام سجلات زلزالية تمثل حقيقة الزلزال المستقبلي المتوقع، وتعد عملية المعاييرة للسجلات الزلزالية المتوفرة واحدة من أهم الأدوات لتحقيق هذا الغرض (Daniel, 2020).

عموماً هناك ثلاثة خيارات لتقييس السجلات الزمنية الحقيقية لتطابق طيف الاستجابة التصميمي: أولاً: تقييس المطالات الطيفية Spectral Ordinate من دون المساس بالشكل الطيفي Spectral Shape، ثانياً: تقييس المطالات الطيفية في مجال التردد Frequency Domain، ثالثاً: إضافة أمواج صغيرة Wavelets في مجال الزمن وتعديل الشكل الطيفي لمطابقة الطيف الهدف كما يظهر الشكل (2-1).



الشكل (2): تقييس المطالات الطيفية من دون المساس بالشكل الطيفي، وتقييسها في مجال التردد أو بإضافة أمواج صغيرة في مجال الزمن وتعديل الشكل الطيفي لمطابقة الطيف الهدف (Bommer, 2003).

نظرياً عند إجراء التحليل اللاخطي فمن المفضل استخدام السجلات الزمنية الحقيقية المعايير من دون المساس بالشكل الطيفي (Luco, 2007)، ذلك كون الانتقالات اللاخطية حساسة للتفاصيل الموجودة في الحركات الأرضية التي تحتوي قماً وودياناً متتابعة إلى جانب النبضات طويلة المدة. وهنا لا نقصد الحالة التي يستخدم فيها السجلات الصناعية أو المزيفة، علماً أنها استخدمت على نطاق واسع (Hines, 2011).

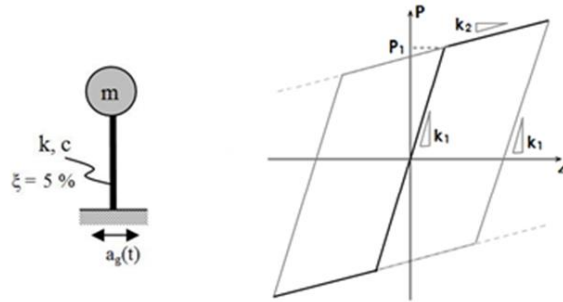
وبغية التمييز بين أكثر طرائق المعايير جودة، فإنه يتم تقويم الطبيعة الحقيقية للسجل الزمني المقيس، من خلال الخصائص المتغيرة للتسارع والسرعة والانتقال، والمتغيرات Parameters التي توصف السجل الزمني بهدف تصغير الاضطرابات والضرر المحتمل Potential Damage في خصائص تلك السجلات في أثناء عملية المعايرة، وتفضل طريقة المعايرة الموحدة في مجال الزمن من دون المساس بالشكل الطيفي (Kramer, S.L. 1996). ويعد تقييس السجل الزمني بتكبيره أو تصغيره بشكل موحد باستخدام معامل ضرب لتتم مطابقتها مع طيف الاستجابة الهدف (وهو الطيف التصميمي مضروب بمعامل التصعيد) من دون حصول أي تغيير في المحتوى الترددي - أمراً مرغوباً وهو الخيار الأفضل؛ أي من دون المساس بالشكل الطيفي. وفي العموم، فإن معامل التقييس المفضل هو القريب من الواحد، وعديد من خبراء الحركات الأرضية يفرضون حدوداً على معاملات التقييس، وتتراوح هذه الحدود من 2 إلى 4 (Boomer, 2004). وتعتمد هذه الحدود على مستوى الارتياح للمهندسين أكثر منه على القياسات الكمية لتلك المعاملات. وبحسب الباحث (Wenqi, 2019) فإن حدود معاملات المعايرة للاستخدام العام هو من 3 إلى 5، ذلك عند اختيار السجلات من قاعدة البيانات الأمريكية NGA-West2، كون المعاملات القريبة من 1 تجعل عملية تطابق متوسط أطراف السجلات مع الطيف الهدف صعبة التحقيق.

3-5- الأنظمة وحيدة درجة الحرية المكافئة The equivalent SDOF systems:

يتم التعبير عن السلوك اللاخطي الإنشائي باستخدام نظم وحيدة درجة الحرية تملك سلوك ثنائي الخطية لها دور T ؛ حيث $T=2\pi/w$ ؛ ولها كتلة m وصلابة $k=k_1$ وصلابة ما بعد الخضوع $k=k_2$. حيث α نسبة الصلابة و ξ نسبة تخامد، ولها نسبة قص قاعدي SR Shear Ratio، حيث $SR= P1/W$ أي أن W هو وزن النظام ($W = m.g$) و $P1$ قوة القص القاعدي وفق الطريقة الستاتيكية المكافئة في الكود السوري كما هو موضح في الشكل (3).

وتعتمد في العادة النظم وحيدة درجة الحرية من أجل عملية الشرعنة، ذلك لاستبعاد التنوع والتقلب Variability في النتائج، والذي يمكن أن ينشأ نتيجة مبدأ الشك في النمذجة للمنشآت والأبنية Structural Modeling Uncertainties، إلى جانب بساطة النموذج وسرعة النمذجة والحسابات.

واستخدم عديد من الباحثين (Ruiz, 2002) ; (Song, 2000) النظم وحيدة درجة الحرية في أبحاثهم. ومؤخراً قام (Chopra, 2003) بتوسيع بحثه باستخدام 260 حركة أرضية قوية على مثل هذه الأنظمة، وتوصل إلى أن هناك حدوداً للقيم العددية لنسبة التشوه المرن، وذلك عند الأدوار القصيرة جداً والطويلة جداً. ويمكن التعبير عنها بوصفها توابع بدلالة α , R ، حيث R معامل المطاوعة و α نسبة الصلابة. وتوصل إلى معادلة يمكن من خلالها التنبؤ باستجابة المنشآت ثنائية الخطية بالاعتماد على معامل مطاوعة معروف من خلال معرفة استجابة النظام SDOF الموافق.



Parameters	Description	Equation
T	Period (sec)	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1}}$
SR	Shear ratio on P_1	$SR = \frac{P_1}{mg}$
α	Post-to-pre yield stiffness ratio	$\alpha = \frac{k_2}{k_1}$

الشكل (3): نظم وحيدة درجة الحرية تملك سلوك ثنائي الخطية (Chopra, 2003).

3-6- الحالة المدروسة Case Study:

تقع منطقة الدراسة في مدينة طرطوس (Long: 35.89; Lat: 34.90) غرب سورية ضمن الجزء الشمالي الغربي للصفحة العربية، جنوب شرق منطقة الالتقاء للصفائح التكتونية الثلاث: الإفريقية والعربية والأناضولية، والمعروفة باسم (Maras Triple Junction) (Dubertret, 1970). ولتحديد آليات المصادر الزلزالية، فقد تم الرجوع إلى عدة دراسات مرجعية أهمها الدراسة

التي قدمها الباحث (Graham, 2001) والتي أفادت أن مدينة طرطوس تتأثر بعدد من الصدعات بالشكل (4) والتي يمكن تصنيفها بين تصدعات مقلوبة وتصدعات انزياح جانبي وتصدعات عمودية. كما أورد الباحث (Hatem, 2012) عند إعادة تقويم الخطر الزلزالي في سوريا، المصادر الزلزالية التي تؤثر في الساحل السوري:

1- (Mediterranean Fault): تصدع تداخل Thrust بين صفيحتين قاريتين.

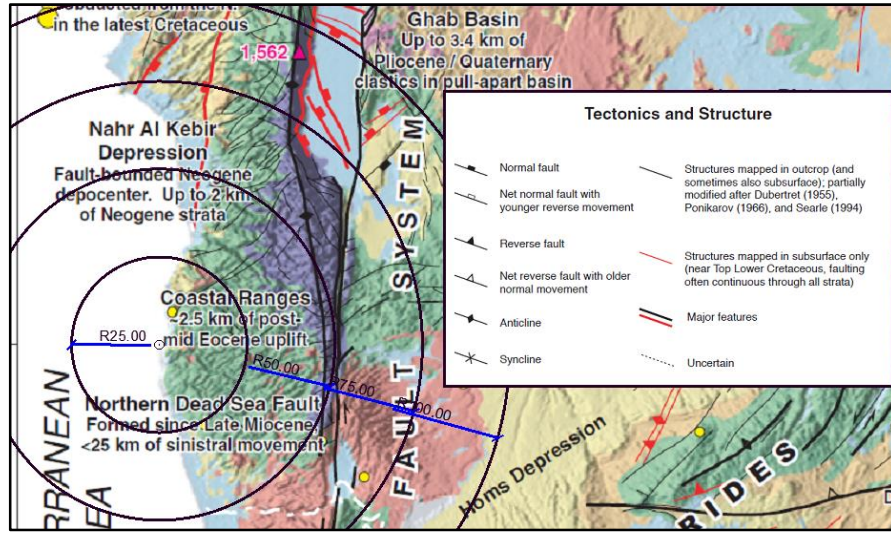
2- (Yamona Fault) عبارة عن تصدعين: تصدع انزياح جانبي وتصدع عمودي.

3- (Al-Ghab Fault): تصدع انزياح جانبي يساري.

4- (Alepo Fault System): تصدع عمودي.

كما حددنا مجال القوة والمسافة للزلازل التي سيتم اختيارها انطلاقاً من الدراسة نفسها (Hatem, 2012) وفقاً لما يلي: M

[4,8] and R [0 km, 100 km]



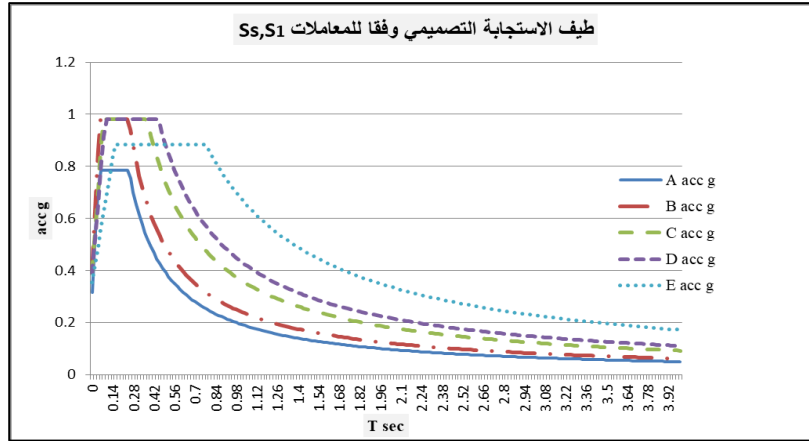
الشكل (4): الخارطة التكتونية لسوريا (Graham, 2001) توضح الصدوع القريبة من مدينة طرطوس.

إن الأدوار التي يجب أخذها بعين الاعتبار من أجل تغطية كل المدى الزمني في الطيف التصميمي، هي (2 sec - 1.75 - 1.5 - 1.25 - 1 - 0.75 - 0.5 - 0.25)؛ أي أن الأبنية السكنية التقليدية في طرطوس تنحصر أدوارها في هذا المجال كما ذكرنا سابقاً. وقد تم حساب مجال الدور قيد الاهتمام لكل منها من 0.2T إلى 1.5T.

وتم حساب الأطياف التصميمية لمدينة طرطوس الموضحة بالشكل (5) باحتمالية 10% خلال فترة تعرض 50 عاماً، أي فترة تكرار زمنية 475 سنة حسب ملحق الكود السوري للزلازل (Syrian Code, 2012) من أجل كل أنواع التربة، وفقاً للمعاملات الزلزالية S_s , S_1 التي تحسب من خلال معاملات الموقع F_a , F_v والدور الطويل الانتقالي T_L الموضحة في الجدول (1)، وقد تمت نمذجة المعادلة الممثلة لطيف الاستجابة التصميمي وفقاً للمعاملات الزلزالية ومعاملات الموقع المذكورة سابقاً، والواردة في ملحق الكود السوري (Syrian Code, 2012) على برنامج Excel لأنواع التربة كافة SA, SB, SC, SD, SE الواردة في الكود السوري ووضعت في الشكل (5).

جدول (1): المعاملات الزلزالية لطيف الاستجابة التصميمي في طرطوس وفقاً لأنواع التربة الخمسة.

Soil	A	B	C	D	E
$S_s =$	1.471	1.471	1.471	1.471	1.471
$S_1 =$	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367
$F_a =$	0.8	1	1	1	0.9
$F_v =$	0.8	1	1.5	1.8	2.8
$I_1 =$	8	8	8	8	8



الشكل (5): أطياف الاستجابة التصميمية لمدينة طرطوس وفقاً لمتطلبات الكود المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة SA, SB, SC, SD, SE (Syrian Code, 2012).

النتائج ومناقشتها Results and Discussion:

نتائج السجلات الزمنية المختارة Resulting Records:

انسجاماً مع اشتراطات الكود السوري وبما يتناسب مع ما أوصى به الباحثون، فقد قمنا باختيار 40 مجموعة من السجلات الزلزالية، تعود لأحداث زلزالية مختلفة بما يحقق اشتراطات الكود، وذلك كما يلي:

* تم اختيار خمسة مجموعات من السجلات لكل دور قيد الاهتمام من الأدوار المختارة والتي بلغ عددها 8 أدوار تغطي أدوار الأبنية السكنية التقليدية كما سلف ذكره، بحيث تغطي المجموعات الخمس لكل دور أنواع التربة كافة، وبالتالي أطيف الاستجابة الخمسة لمدينة طرطوس، ليكون العدد الإجمالي لكل المجموعات المختارة 40 مجموعة.

* اعتمد اختيار المجموعة الواحدة على أن يكون للسجلات الزمنية فيها قوة زلزالية للهزات ومسافات عن الصدع وميكانيزمات مصادر زلزالية تتسجم مع تلك التي تحكم الهزة الأساسية التصميمية (أو الزلزال الأعظمي التصميمي)، وبحيث تحتوي كل مجموعة سجلات من ثلاثة أحداث زلزالية مختلفة على الأقل كما اشترط الكود. وتتكون المجموعة الواحدة من سبعة سجلات زلزالية (مركبتين أفقيتين لكل سجل x, y)، وبحيث تم حساب طيف الاستجابة SRSS (الجذر التربيعي لمجموع المربعات) ذي التخماد 5% لكل زوج من المركبات الأفقية، وأيضاً بأن يكون المتوسط Average لكل أطيف SRSS الخاصة بها لا يقل عن الطيف التصميمي الهدف، وذلك في مجال للدور بين $0.2T$ و $1.5T$ ، حيث إن T هو الدور قيد الاهتمام.

* تم ترتيب النتائج ضمن الجداول (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) لكل دور قيد الاهتمام (متضمن أنواع التربة الخمسة)، والتي تبين بالترتيب رقم الإشارة الزلزالية في قاعدة البيانات المستخدمة، ورقم السجل الزلزالي، ورقم المحطة التي سجل فيها، واسم الحدث الزلزالي، إلى جانب معلومات أخرى كالتاريخ والقوة ونوع الميكانيزم والمسافة السطحية عن بؤرة الزلزال. كما عرضت بعض النتائج في الأشكال (6 و 7) لكل دور قيد الاهتمام، وتم تمثيل السجلات الزلزالية بواسطة الأطيف الخاصة بكل سجل، كما تبين الأشكال أيضاً مجال الدور قيد الاهتمام، موضحاً عليها أن الطيف المتوسط أكبر من الطيف الهدف في مجال الدور قيد الاهتمام. ومن الجدير بالذكر أن تحقيق شرط الكود عند استخدام السجلات في عملية التصميم يكون بمعايرتها بمعامل التقييس (المعايرة) 1.4، الذي يعد ضمن المجال المفضل والقريب من 1 كما يفضل عديد من الباحثين من خبراء الحركات الأرضية، والذين يفرضون حدوداً على معاملات التقييس، وتتراوح هذه الحدود من 2 إلى 4 كما ذكرنا سابقاً في الفقرة 3-4.

التحليل اللاخطي للنماذج وحيدة درجة الحرية ثنائية الخطية:

Nonlinear Dynamic Analysis of Bilinear SDOF Systems:

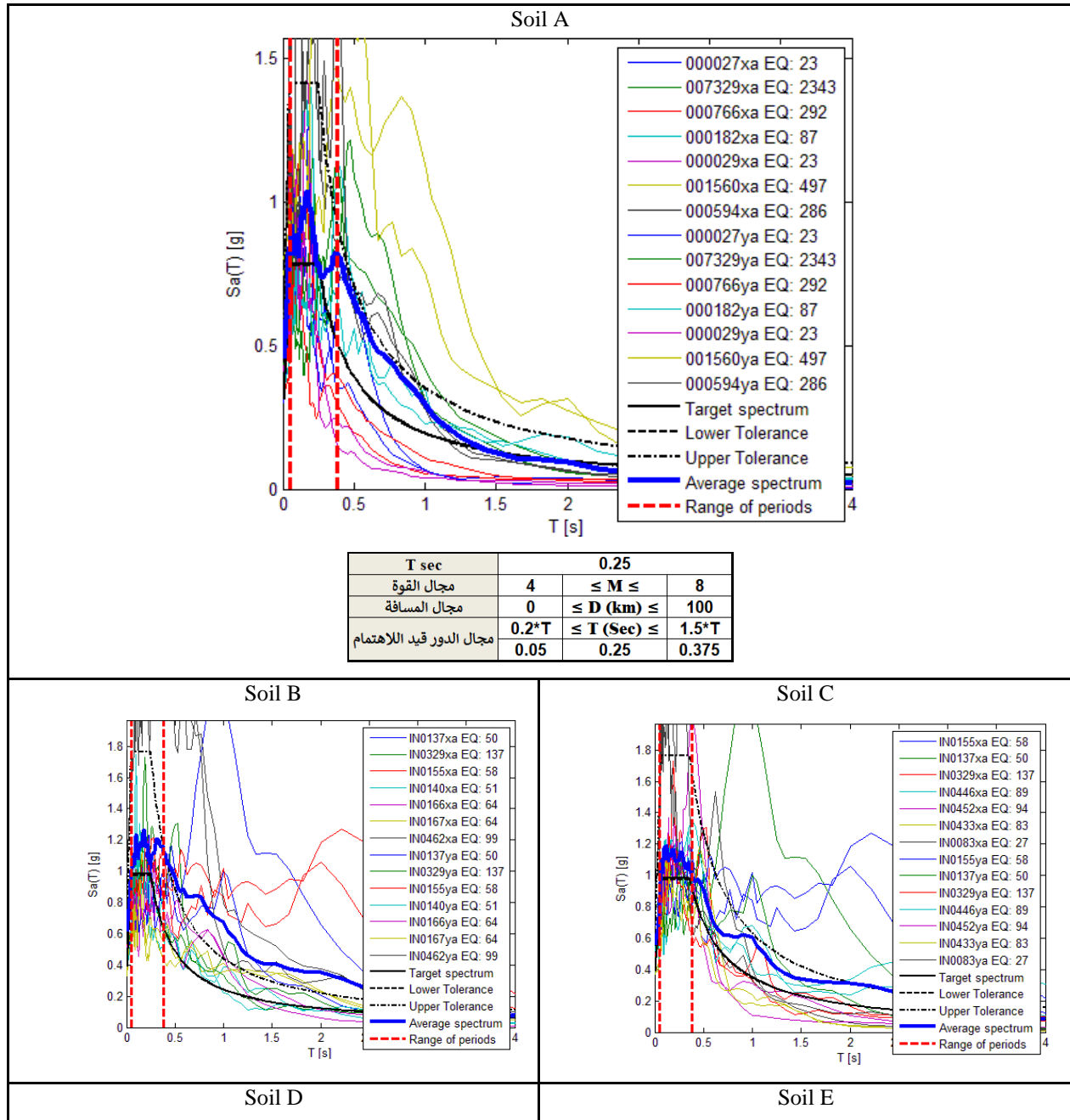
معظم الأبنية السكنية في الساحل السوري تعتمد على جملة جدران قص في مقاومة القوى الزلزالية، لذلك سوف نعتمد في هذه الدراسة معامل مطاوعة $R=4.5$ حسب الكود السوري لكل النظم المفروضة. وتم اختيار عينة من الأدوار لأخذها بعين الاعتبار

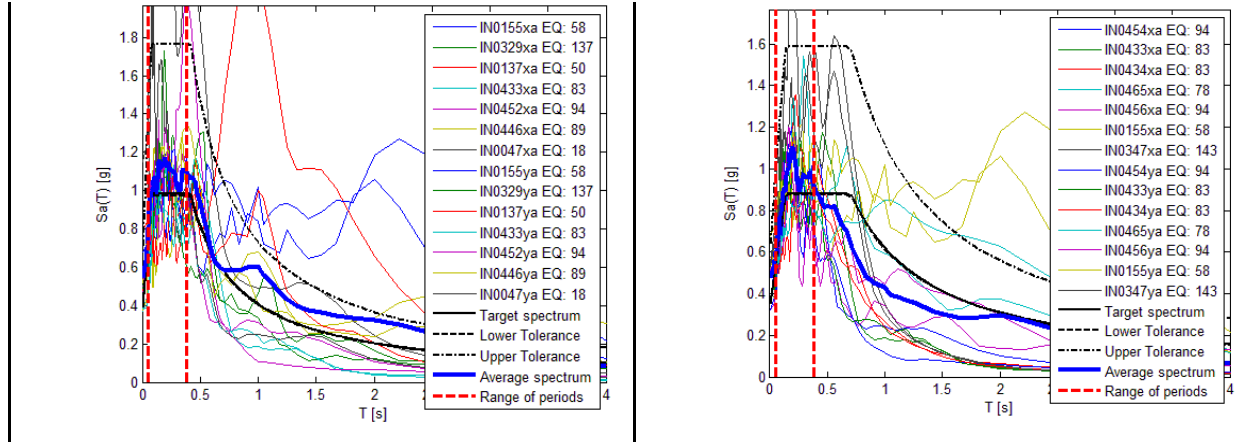
في عملية شرعنة السجلات هي (0.1 sec – 0.5 sec – 1 sec – 1.5 sec – 2 sec)، وتم اعتماد خمسة نماذج وحيدة درجة الحرية متناسبة مع تلك الأدوار. ويهدف المقارنة، فقد تم حساب الاستجابة الطيفية $D_{res} = Sa/w^2$ لكل نظام اعتمادا على قيمة الدور الخاص به T ؛ حيث $T=2\pi/w$ ؛ كما يوضح الجدول (7) في السطر الثالث، وهي قيمة الاستجابة الطيفية المحسوبة من قيمة التسارع الطيفي Sa المقابل لدور كل نظام والمأخوذ من طيف الاستجابة التصميمي المعني الموافق لنوع التربة SC الموضح في الشكل (8). وذلك ضمن المجال المسموح به للتخامد $\xi < 0.2$ حيث يسمح بالتعبير عن الاستجابة بدلالة التسارع الطيفي الوهمي عند هذه القيم الصغيرة للتخامد (Hudson, 1956). كما تم حساب نسبة القص القاعدي SR Shear Ratio لكل نظام، حيث $SR = P_1/W$: وزن النظام و P_1 قوة القص القاعدي وفقاً للطريقة الستاتيكية المكافئة في الكود السوري كما يبين الجدول (7). بعد ذلك تم حساب الاستجابة اللاخطية لكل نظام على المركبتين الأفقيتين لكل سجل زلزالي من السجلات الزمنية من خمس مجموعات من المجموعات المختارة، والتي تتوافق مع نوع التربة SC من الجداول (9, 7, 5, 3, 2)، وذلك بإجراء 350 عملية تحليل بهدف إيجاد الاستجابات للنظم وحيدة درجة الحرية المستخدمة.

نعرض منها الاستجابات D الخاصة بالنظام ذي الدور $T = 0.1 \text{ sec}$ على المركبتين X و Y في الجدول (8)، والتي هي نتيجة القيام بإجراء 70 عملية تحليل لهذا النظام باستخدام المركبات الأفقية للسجلات الزمنية المختارة.

جدول (2): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 0.25 sec للأطراف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
27	23	ST3	Ancona	6/14/1972	4.7	strike slip	8
7329	2343	ST87	Faial	7/9/1998	6.1	strike slip	11
766	292	ST266	Umbria Marche (aftershock)	10/14/1997	5.6	normal	12
182	87	ST54	Tabas	9/16/1978	7.3	oblique	12
29	23	ST6	Ancona	6/14/1972	4.7	strike slip	8
1560	497	ST541	Duzce 1	11/12/1999	7.2	oblique	39
594	286	ST60	Umbria Marche	9/26/1997	6	normal	11
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
137	50	ISK005	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	19.02
329	137	DFHS	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	9.06
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
167	64	AQK	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	5.65
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
137	50	ISK005	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	19.02
329	137	DFHS	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	9.06
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
452	94	ST_47379	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	28.57
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
83	27	KGS005	NW Kagoshima Prefecture	1997_May_13	6	strike-slip	15.7
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
329	137	DFHS	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	9.06
137	50	ISK005	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	19.02
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
452	94	ST_47379	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	28.57
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
47	18	HKD020	Rumoi	2004_December_14	5.7	reverse	8.08
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
454	94	ST_47006	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	28.83
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
465	78	ERZ	Erzincan	1992_March_13	6.6	strike-slip	8.97
456	94	ST_58065	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	27.59
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
347	143	HVSC	Christchurch	2011_February_22	5.5		4.1





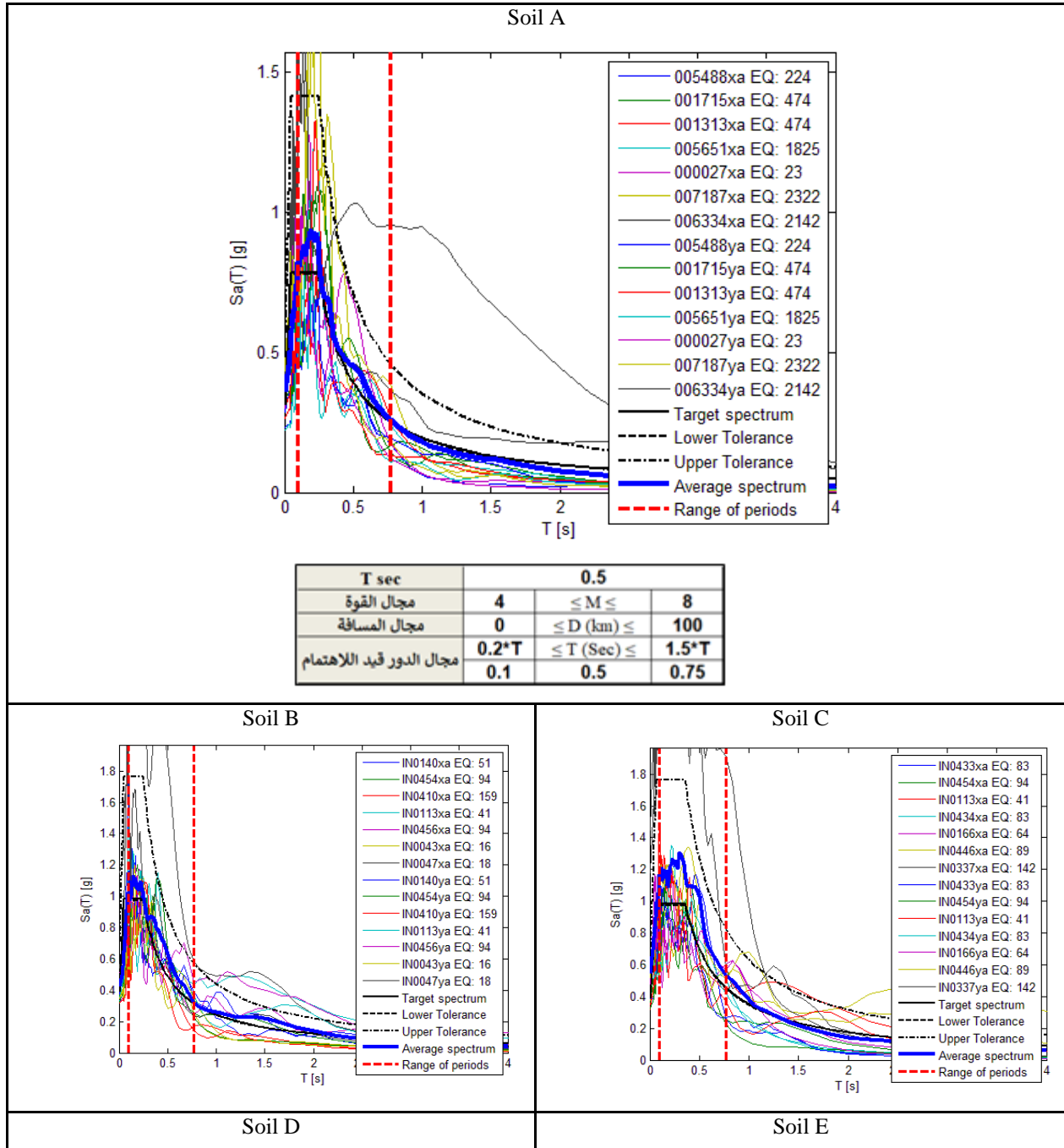
الشكل (6): مجموعات السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 0.25 sec للأطيف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة.

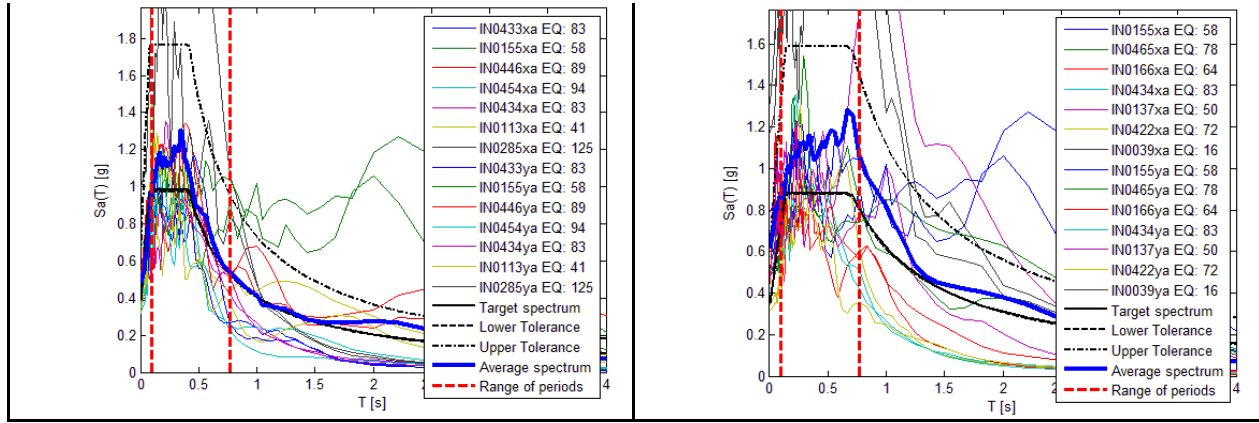
إلى جانب محصلة الاستجابة SRSS والمتوسط Average لتلك الاستجابات الخاصة بكل مجموعة من المجموعات الخمس والموضحة في الجدول (9) وفي الشكل (9).

ثم جمعنا المتوسط Average لكل من الاستجابات الخاصة بكل نظام في الجدول (10)، وتم عرض النتائج في الشكل (10). إلى جانب حساب القيم العظمى والصغرى لتلك القيم وحساب المتوسط الكلي لكل نظام وحده Total Average والانحراف المعياري والنسبة بين المتوسط الكلي وبين الانحراف المعياري، وتم عرض النتائج في الأشكال (11) و(12).

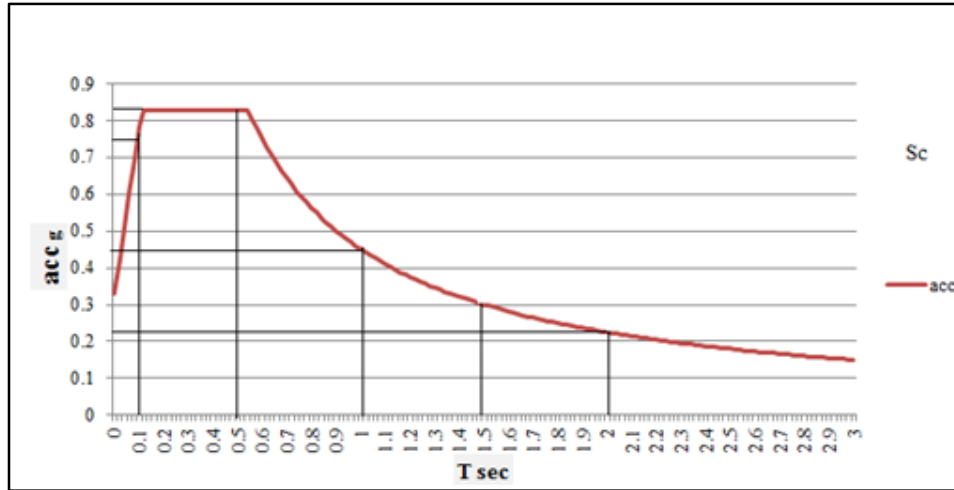
جدول (3): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 0.5 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
5488	224	ST2881	Chenoua	10/29/1989	5.9	thrust	29
1715	474	ST1259	Ano Liosia	9/7/1999	6	normal	14
1313	474	ST1100	Ano Liosia	9/7/1999	6	normal	16
5651	1825	ST2948	NE of Banja Luka	8/13/1981	5.7	oblique	7
27	23	ST3	Ancona	6/14/1972	4.7	strike slip	8
7187	2322	ST3311	Avej	6/22/2002	6.5	thrust	28
6334	2142	ST2488	South Iceland (aftershock)		6.4	strike slip	11
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
454	94	ST_47006	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	28.83
410	159	SPLB	Athens_mainshock	1999_September_07	6		13.85
113	41	ST_106	South Iceland	2000_June_17	6.5	strike-slip	5.25
456	94	ST_58065	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	27.59
43	16	NIG022	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	28.79
47	18	HKD020	Rumoi	2004_December_14	5.7	reverse	8.08
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
454	94	ST_47006	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	28.83
113	41	ST_106	South Iceland	2000_June_17	6.5	strike-slip	5.25
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
337	142	HVSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	2.25
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
454	94	ST_47006	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	28.83
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
113	41	ST_106	South Iceland	2000_June_17	6.5	strike-slip	5.25
285	125	SZO011	MT FUJI REGION	2011_March_15	5.9	strike-slip	12.8
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
465	78	ERZ	Erzincan	1992_March_13	6.6	strike-slip	8.97
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
137	50	ISK005	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	19.02
422	72	TLM1	Friuli 1st shock	1976_May_06	6.4	reverse	21.72
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

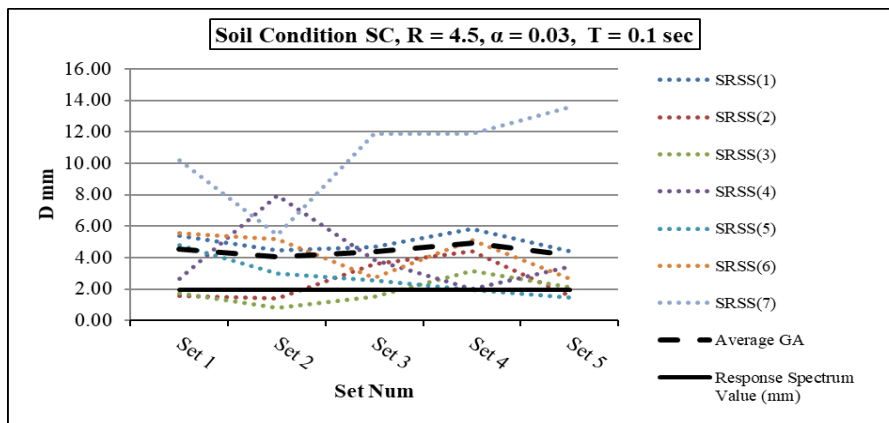




الشكل (7): مجموعات السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 0.5 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة.



الشكل (8): قيم التسارع الطيفي المقابلة لدور كل نظام على طيف الاستجابة التصميمي الموافق لنوع التربة SC.



الشكل (9): محصلة الاستجابات الخاصة بالنظام ذي الدور $T = 0.1$ sec لكل المجموعات والمتوسط Average لكل مجموعة وحدها.

جدول (4): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 0.75 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
6093	2050	ST1372	Kozani (aftershock)	5/19/1995	5.2	normal	16
5488	224	ST2881	Chenoua	10/29/1989	5.9	thrust	29
200	93	ST68	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	65
1715	474	ST1259	Ano Liosia	9/7/1999	6	normal	14
182	87	ST54	Tabas	9/16/1978	7.3	oblique	12
126	63	ST35	Friuli (aftershock)	9/15/1976	6	thrust	21
879	349	ST271	Dinar	10/1/1995	6.4	normal	8
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
464	99	ST_5108	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	14.67
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
46	17	NIG017	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.3	reverse	16.53
410	159	SPLB	Athens mainshock	1999_September_07	6		13.85
43	16	NIG022	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	28.79
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
337	142	HVSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	2.25
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
453	94	ST_47380	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	29.66
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
453	94	ST_47380	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	29.66
433	83	ST_36408	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	3.02
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
337	142	HVSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	2.25
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
465	78	ERZ	Erzincan	1992_March_13	6.6	strike-slip	8.97
453	94	ST_47380	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	29.66
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

جدول (5): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 1 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
6093	2050	ST1372	Kozani (aftershock)	5/19/1995	5.2	normal	16
200	93	ST68	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	65
1714	474	ST1258	Ano Liosia	9/7/1999	6	normal	14
1231	472	ST575	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	9
591	290	ST221	Umbria Marche	9/26/1997	5.7	normal	3
4674	1635	ST2486	South Iceland	6/17/2000	6.5	strike slip	5
7187	2322	ST3311	Avej	6/22/2002	6.5	thrust	28
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
464	99	ST_5108	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	14.67
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
46	17	NIG017	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.3	reverse	16.53
463	99	ST_24688	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	18.59
432	83	ST_36177	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	19.5
337	142	HVSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	2.25
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
217	101	ST_113	Olfus	2008_May_29	6.3	strike-slip	8.89
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
102	31	ST_3168-2	Bam	2003_December_26	6.6	strike-slip	10.16
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

جدول (6): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 1.25 sec للأطيف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
1228	472	ST561	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	47
1714	474	ST1258	Ano Liosia	9/7/1999	6	normal	14
439	213	ST173	Spitak	12/7/1988	6.7	thrust	36
4677	1635	ST2562	South Iceland	6/17/2000	6.5	strike slip	21
6328	2142	ST2484	South Iceland (aftershock)		6.4	strike slip	12
594	286	ST60	Umbria Marche	9/26/1997	6	normal	11
4674	1635	ST2486	South Iceland	6/17/2000	6.5	strike slip	5
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
464	99	ST_5108	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	14.67
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
463	99	ST_24688	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	18.59
46	17	NIG017	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.3	reverse	16.53
139	51	IWT010	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	23.08
337	142	HVSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	2.25
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
434	83	ST_36411	Parkfield	2004_September_28	6	strike-slip	12.49
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
461	99	ST_24279	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	20.25
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
311	132	MRN	EMILIA Pianura Padana	2012_May_20	6.1	reverse	13.36
113	41	ST_106	South Iceland	2000_June_17	6.5	strike-slip	5.25
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
457	98	ST_22170	Landers	1992_June_28	7.3	strike-slip	13.08
217	101	ST_113	Olfus	2008_May_29	6.3	strike-slip	8.89
102	31	ST_3168-2	Bam	2003_December_26	6.6	strike-slip	10.16
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

جدول (7): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 1.5 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
1228	472	ST561	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	47
439	213	ST173	Spitak	12/7/1988	6.7	thrust	36
1715	474	ST1259	Ano Liosia	9/7/1999	6	normal	14
476	230	ST185	Manjil	6/20/1990	7.4	oblique	97
475	230	ST184	Manjil	6/20/1990	7.4	oblique	91
7142	2309	ST539	Bingol	5/1/2003	6.3	strike slip	14
413	192	ST164	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
464	99	ST_5108	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	14.67
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
389	149	RHSC	Christchurch	2011_June_13	6	reverse	14.76
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
338	142	KPOC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	24.93
139	51	IWT010	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	23.08
461	99	ST_24279	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	20.25
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
339	142	LPCC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	1.48
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
339	142	LPCC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	1.48
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
311	132	MRN	EMILIA_Pianura_Padana	2012_May_20	6.1	reverse	13.36
166	64	AQG	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	4.39
337	142	HVSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	2.25
155	58	NIG018	Off S Niigata Prefecture	2007_July_16	6.6	reverse	21.28
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
444	89	EMO	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	19.33
457	98	ST_22170	Landers	1992_June_28	7.3	strike-slip	13.08
331	137	HORC	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	17.82
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

جدول (8): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 1.75 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
1228	472	ST561	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	47
439	213	ST173	Spitak	12/7/1988	6.7	thrust	36
5653	1825	ST2949	NE of Banja Luka	8/13/1981	5.7	oblique	7
335	158	ST121	Alkion	2/25/1981	6.3	normal	25
6277	1635	ST2558	South Iceland	6/17/2000	6.5	strike slip	15
475	230	ST184	Manjil	6/20/1990	7.4	oblique	91
413	192	ST164	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
464	99	ST_5108	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	14.67
338	142	KPOC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	24.93
459	99	ST_24389	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	20.19
139	51	IWT010	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	23.08
441	87	DAY	Tabas	1978_September_16	7.1	reverse	20.63
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
339	142	LPCC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	1.48
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
441	87	DAY	Tabas	1978_September_16	7.1	reverse	20.63
136	50	ISK006	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	6.64
304	94	LGPC	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	18.75
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
339	142	LPCC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	1.48
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
340	142	PPHS	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	14.38
311	132	MRN	EMILIA Pianura Padana	2012_May_20	6.1	reverse	13.36
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
462	99	ST_24436	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	5.39
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
465	78	ERZ	Erzincan	1992_March_13	6.6	strike-slip	8.97
447	89	EC06	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.35
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
431	77	NI_137_DI	Dinar	1995_October_01	6.4	normal	0.47
333	137	ROLC	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	16.97
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

جدول (9): السجلات الزلزالية الخاصة بالدور 2 sec للأطياف المتوافقة مع أنواع التربة الخمسة، وتتكون كل مجموعة من سبعة سجلات زمنية (بمركبتين أفقيتين) تتوافق مع مجال القوة والمسافة وميكانيزمات المصادر الزلزالية.

Soil A							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
1228	472	ST561	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	47
5653	1825	ST2949	NE of Banja Luka	8/13/1981	5.7	oblique	7
600	286	ST223	Umbria Marche	9/26/1997	6	normal	22
181	87	ST53	Tabas	9/16/1978	7.3	oblique	68
594	286	ST60	Umbria Marche	9/26/1997	6	normal	11
413	192	ST164	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10
354	171	ST133	Panisler		6.6	strike slip	33
Soil B							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
140	51	AKT023	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	18.82
388	149	PPHS	Christchurch	2011_June_13	6	reverse	13.44
464	99	ST_5108	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	14.67
389	149	RHSC	Christchurch	2011_June_13	6	reverse	14.76
139	51	IWT010	Southern Iwate Prefecture	2008_June_13	6.9	reverse	23.08
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
Soil C							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
339	142	LPCC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	1.48
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
330	137	DSLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	13.31
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
386	149	LPCC	Christchurch	2011_June_13	6	reverse	5.1
136	50	ISK006	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	6.64
304	94	LGPC	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	18.75
Soil D							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
341	142	RHSC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	13.73
339	142	LPCC	Christchurch	2011_February_21	6.2	reverse	1.48
136	50	ISK006	Off Noto Peninsula	2007_March_25	6.7	reverse	6.64
458	99	ST_24087	Northridge	1994_January_17	6.7	reverse	11.02
167	64	AQK	L'Aquila mainshock	2009_April_06	6.3	normal	5.65
466	39	AI_011_DZ	Duzce	1999_November_12	7.1	strike-slip	5.27
304	94	LGPC	Loma Prieta	1989_October_18	6.9	oblique	18.75
Soil E							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	D [km]
445	89	EC04	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.03
465	78	ERZ	Erzincan	1992_March_13	6.6	strike-slip	8.97
333	137	ROLCL	Darfield	2010_September_03	7.1	strike-slip	16.97
440	86	KAR	Gazli	1976_May_17	6.7	reverse	12.78
446	89	EC05	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	27.68
444	89	EMO	Imperial Valley	1979_October_15	6.5	strike-slip	19.33
39	16	NIG019	Mid Niigata Prefecture	2004_October_23	6.6	reverse	7.01

الجدول (7): الاستجابة الطيفية ونسبة القص القاعدي للنظم المختارة.

$D_{res} = Sa/w^2 = Sa(T)^2/4(\pi)^2$, $SR = P_1/W = Ca / (R.T)$					
(Soil Condition) SC, R = 4.5, $\alpha = 0.03$, Ca=0.3					
T (sec)	0.10	0.50	1.00	1.50	2.00
Sa (g)	0.78	0.83	0.45	0.30	0.23
D_{res} (mm)	1.95	51.30	111.93	167.90	223.87
SR= P_1/W	0.73	0.15	0.07	0.05	0.04

الجدول (8): الاستجابات الخاصة بالنظام ذي الدور $T = 0.1$ sec على المركبتين X و Y.

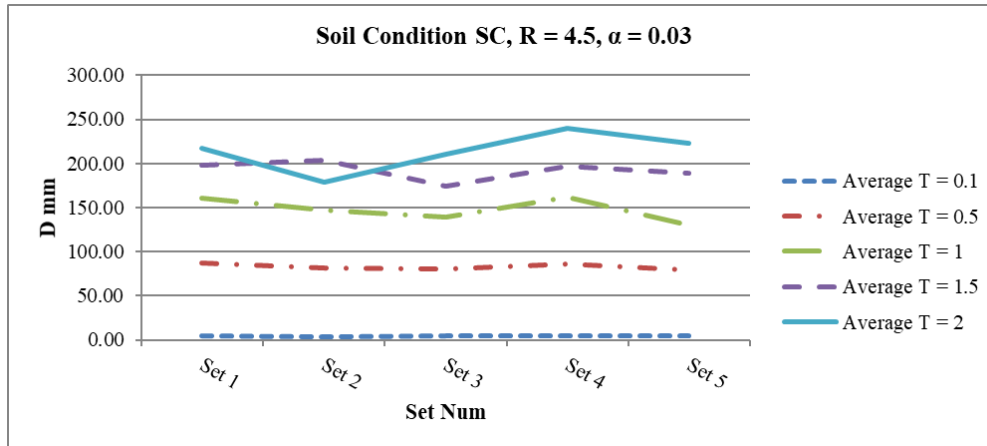
(Soil Condition) SC, R = 4.5, $\alpha = 0.03$, T = 0.1 sec							
D (mm)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
Set 1	2.80	0.76	1.25	1.55	3.60	4.49	6.98
Set 2	2.07	0.68	0.57	4.70	1.66	4.14	4.00
Set 3	2.34	1.54	1.08	1.84	1.28	1.97	7.19
Set 4	3.57	1.98	1.40	1.42	1.18	4.06	7.19
Set 5	2.00	0.77	1.26	1.91	0.92	1.45	6.99
D (mm)	y(1)	y(2)	y(3)	y(4)	y(5)	y(6)	y(7)
Set 1	4.61	1.36	1.24	2.18	3.14	3.25	7.39
Set 2	3.94	1.21	0.57	6.43	2.49	3.14	3.67
Set 3	4.07	3.26	1.08	3.39	2.20	1.88	9.47
Set 4	4.60	3.92	2.80	1.42	1.56	3.12	9.48
Set 5	3.93	1.36	1.67	2.85	1.12	2.24	11.65

الجدول (9): محصلة الاستجابات SRSS الخاصة بالنظام ذي الدور $T = 0.1 \text{ sec}$ لكل المجموعات والمتوسط Average لكل مجموعة وحدها.

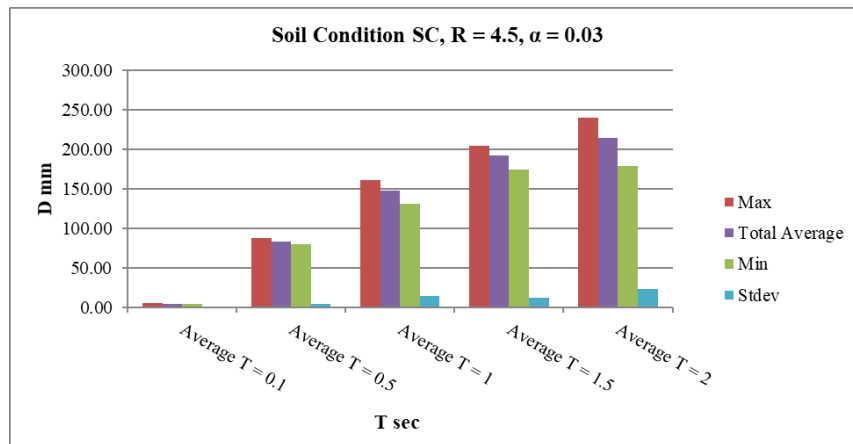
D (mm)	$\sqrt{X_1^2 + Y_1^2}$	$\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}$	$\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}$	$\sqrt{X_4^2 + Y_4^2}$	$\sqrt{X_5^2 + Y_5^2}$	$\sqrt{X_6^2 + Y_6^2}$	$\sqrt{X_7^2 + Y_7^2}$	Average
Set 1	5.39	1.56	1.76	2.67	4.78	5.54	10.17	4.55
Set 2	4.45	1.39	0.81	7.96	2.99	5.20	5.43	4.03
Set 3	4.69	3.61	1.53	3.86	2.55	2.72	11.89	4.41
Set 4	5.82	4.39	3.13	2.01	1.96	5.12	11.90	4.90
Set 5	4.41	1.56	2.09	3.43	1.45	2.67	13.59	4.17

الجدول (10): محصلة الاستجابات الخاصة بكل النظم المعتبرة للمركبتين X و Y.

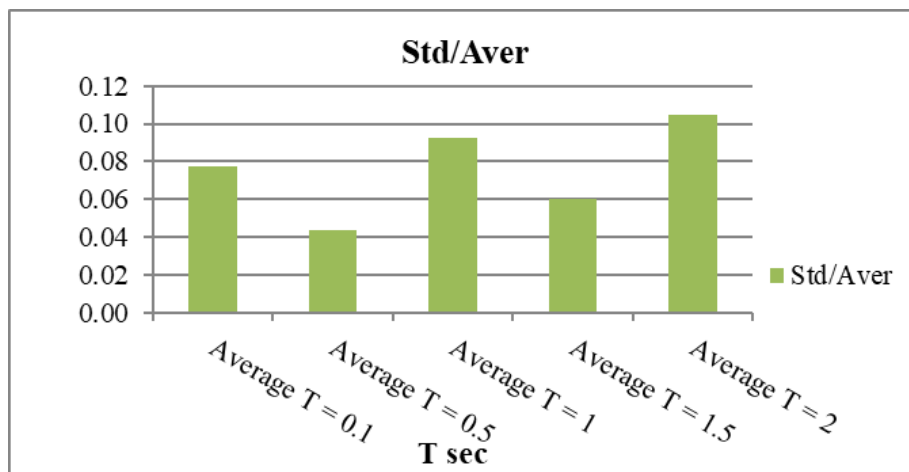
D (mm)	Average T = 0.1	Average T = 0.5	Average T = 1	Average T = 1.5	Average T = 2
Set 1	4.55	87.11	160.79	198.03	217.26
Set 2	4.03	81.42	147.09	203.75	179.00
Set 3	4.41	80.35	138.70	174.00	210.38
Set 4	4.90	86.58	161.25	197.29	239.98
Set 5	4.17	79.24	130.23	188.45	222.46
Max	4.90	87.11	161.25	203.75	239.98
Min	4.03	79.24	130.23	174.00	179.00
Total Average	4.41	82.94	147.61	192.30	213.82
Standard Deviation	0.34	3.65	13.62	11.61	22.34
Stdev /Aver	0.08	0.04	0.09	0.06	0.10



الشكل (10): محصلة الاستجابات الخاصة بكل النظم المعتبرة.

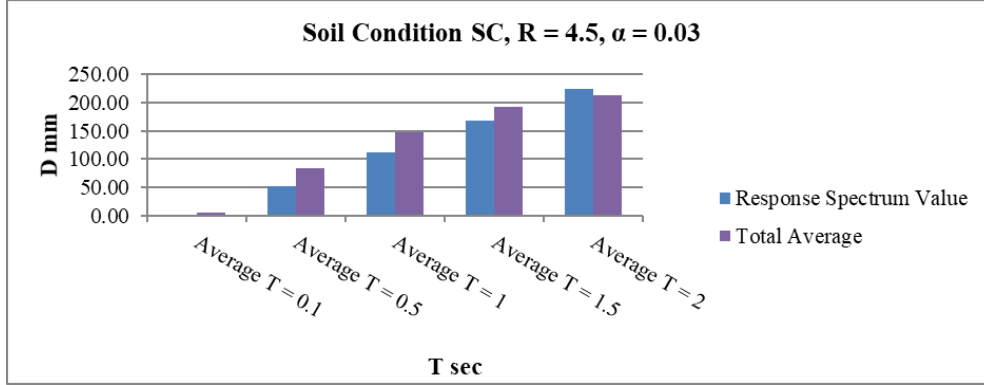


الشكل (11): متوسط محصلة الاستجابات الخاصة بكل النظم المعتبرة مع القيم العظمى والصغرى والانحراف المعياري.



الشكل (12): نسبة الانحراف المعياري لكل نظام إلى المتوسط الكلي للاستجابات الخاصة به.

وفي النهاية تم مقارنة المتوسط الكلي من الجدول (10) مع الاستجابة الطيفية من الجدول (7) لكل نظام وعرضت النتائج في الشكل (13).



الشكل (13): مقارنة متوسط محصلة الاستجابات الخاصة بكل النظم المعتبرة مع الاستجابة الطيفية لكل نظام.

ملاحظة: 1- ثبات القيم الناتجة عن حساب المتوسط لكل مجموعة مكونة من سبعة سجلات كما يظهر في الشكل (9) للنظام الأول $T = 0.1 \text{ sec}$ بالرغم من الاختلاف في الاستجابات لكل سجل وحده. مع تسجيل زيادة ملحوظة في قيمة الاستجابة لكل مجموعة عن الاستجابة الطيفية لها والمحسوبة من أجل النظام نفسه.

2- ثبات قيم المتوسط لكل مجموعة مكونة من سبعة سجلات كما يظهر في الشكل (10) لكل الأنظمة، كما أن صغر قيم الانحراف المعياري لكل نظام يدل على ذلك الثبات والذي يظهر في الشكل (11)، إلى جانب ثبات قيمة النسبة بين المتوسط الكلي والانحراف المعياري وصغرها كما يظهر في الشكل (12).

3- ازدياد ملحوظ في قيمة المتوسط الكلي للاستجابة الناتجة عن السجلات الزمنية عن تلك المحسوبة استجابة طيفية كما يظهر الشكل (13).

الاستنتاجات: Conclusions

أولاً: بعد إجراء 350 عملية تحليل لإيجاد الاستجابات للنظم المستخدمة ومقارنتها، توصلنا إلى النتائج التالية:

1. ثبات نتائج التحليل للمجموعات المختارة بشكل جيد، وانخفاض التبعثر في الاستجابة الإنشائية، ما يدل على مشروعية استخدامها في التحليل باستخدام السجل الزمني.

2. يعطي التحليل باستخدام السجل الزمني استجابات أعلى من الاستجابات الطيفية بشكل عام؛ كون الأخيرة هي طريقة تقريبية لحساب الاستجابات.

ثانياً: تمكنا من خلال هذه الورقة البحثية من الحصول على 40 مجموعة من السجلات الزلزالية الحقيقية لاستخدامها لأغراض

التصميم والبحث العلمي، تغطي احتياجات مدينة طرطوس، وذلك بالحصول على خمس مجموعات من السجلات لكل دور قيد

الاهتمام من الأدوار المختارة، والتي بلغ عددها 8 أدوار تغطي أدوار الأبنية السكنية التقليدية، شريطة أن تغطي المجموعات الخمس لكل دور أنواع التربة كافة SA, AB, SC, SD, SE الواردة في الكود السوري، وبالتالي أطيايف الاستجابة الخمسة لمدينة طرطوس السورية.

ثالثاً: يستطيع المهندس السوري استخدام السجلات الواردة في الجداول (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) بأمان في عمليات التحليل الخطي واللاخطي اللازمة لأغراض التصميم والبحث العلمي، بعد أن يقوم بمعايرتها بالمعامل 1.4، ذلك كون الغالبية العظمى من المهندسين الإنشائيين على المستوى المحلي (في سوريا) تتقصهم الخبرة في مجال اختيار السجلات الزلزالية ومعايرتها.

التوصيات Recommendations:

1. دعم التوجه للتحليل الخطي واللاخطي باستخدام طريقة السجل الزمني اعتماداً على سجلات زمنية حقيقية، وخاصة عند تصميم المنشآت المدنية الحديثة المعقدة من حيث سلوكها وجملتها الإنشائية.
2. استكمال البحث ليشمل المدن السورية كافة؛ نظراً للزيادة المستمرة في قاعدة البيانات العالمية والمتوفرة للجميع.

المراجع بالإنجليزية:

1. American Society of Civil Engineers. (2007). ASCE/SEI 41-06. Seismic rehabilitation of existing buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Va.2007.
2. Bommer, J. J., Acevedo, A. B. and Douglas, J, 2003, The Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms for Use in Seismic Design and Assessment, Proceedings of ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit, American Concrete Institute.
3. Bommer JJ, Acevedo AB. The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis. J Earthquake Eng. 2004; 8(4):1-50.
4. Chopra, A.K., Chintanapakdee, C., (2003). Inelastic Deformation Ratios for Design and Evaluation of Structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems, EERC Report, EERC-2003-09, University of California, Berkeley- USA, pp: 87.
5. Daniel D, "A New Method for Scaling of Earthquake Records Using Input Energy of Structures" Wiley, Volume29, Issue9, 25 June 2020, e1736.
6. Dubertret, L., Review of the structural geology of the Red Sea and Surrounding areas, Royal Society of London philosophical transactions, Series A 267,1970, 9-20.
7. Fahjan "procedures for real earthquake time histories scaling and application to fit Iranian design spectra" international institute of earthquake engineering and seismology (IIEES), 2007. pp8.

8. Graizer V. Kalkan E. Prediction of Response Spectral Acceleration Ordinates based on PGA Attenuation, *Earthquake Spectra*, Vol. 25, No. 1, 2009, pp. 36 – 69.
9. Graham Brew and Muawia Barazangi, *Tectonic and Geologic Evolution of Syria Geo Arabia*, Vol. 6, No. 4, 2001 Gulf Petro Link, Bahrain 573.
10. Hatem M. El Ssayed¹, Hussam E. Zaineh², Draji Dojcinovski³, Vladimir Mihailov³. Re-Evaluations of Seismic Hazard of Syria. *International Journal of Geosciences*, 2012, 3, 847-855 doi:10.4236/ijg.2012.324085 Published Online September 2012. <http://www.SciRP.org/journal/ijg/>
11. Hudson, D.E. (1956), *Response Spectrum Techniques in Engineering Seismology*, World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California.
12. Hines, E.M., Baise, L.G. and Swift, S.S. 2011. Ground-motion suite selection for Eastern North America. *ASCE Journal of structural engineering*, 137(3):358-366.
13. Iervolino I, Galasso C. REXEL 2.31 beta—tutorial, 2009, available at: <http://www.reluis.it/doc/software/>.
14. KRAMER, S, L. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. (1996).
15. Luco, N. and Bazzurro, P., 2007. Does amplitude scaling of ground motion records result in biased nonlinear structural drift responses? *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36; 1813-1835.
16. JDYD, S. HWAJIA, B. “*Record Selection Procedures Proposed by Several Countries Standards Compared with Syrian Standard*” *Tishreen University Journal*, Syria, Vol. 37, 2015.
17. Ruiz-Garcia, J.E. and Miranda, E., (2002). Influence of stiffness degradation on strength demands of structures built on soft soil sites, *Engineering Structures*, 24, 1271-1281, 2002.
18. Song, J.K. and Pincheria, J.A., (2000). Spectral displacement demands of stiffness-and strength-degrading systems, *Earthquake Spectra*, 16(4), 817-853, 2000.
19. Syrian Arab Code – Appendix 2. *Design and Check of Seismic Resistant Buildings and Constructions*. 2en Edition, Damascus, Syria, 2012, 254p.
20. Wenqi Du, C. L. Ning, and G. Wang, “The effect of amplitude scaling limits on conditional spectrum-based ground motion selection,” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 48, no. 9, pp. 1030–1044, 2019. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#).

40 Sets of Strong Ground Motion Records Convey All Design Response Spectrums Located in Tartous, Syria

Dr. Seraj Jdyd

PHD in Structural Engineering, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

Coastal Branch Manager in GCES

serajjdyd@yahoo.com.

Abstract:

Selecting seismic records in Global Standards is, until now, based on matching design response spectrum, where records should have seismological characteristics similar to the expected earthquake for the considered site (magnitude, distance, fault mechanism and soil conditions). Then it is necessary to scale these records to match the intensity of the earthquake expected for the site. Generally, scaling can be made by ground motions uniform scaling in time domain to best match (in average) the target spectrum within a period range of interest. Design ground motions are typically prescribed by smooth response spectra. But it is preferred to use a set of time histories that are representative of the design target spectrum in an ensemble average due to the increase of available strong ground motion database and improving computing power.

When testing the selected and scaled ground motions, it's a standard procedure to use the nonlinear time history analysis to validate the results in terms of structural responses and their variation. This proves the efficiency of the presented procedure. In this study, basic methodologies for selecting and scaling strong ground motion time histories are summarized and utilized to obtain 40 sets of real seismic records that are sufficient to Tartous city's needs. These sites are conveying a wide range of classic buildings periods, and all soil types Sa, Sb, Sc, Sd and Se, which means the city's five design spectra. Thus the Syrian engineer can safely use these records in linear and nonlinear analyses recommended for design and research purposes. Then a sample of five resulting time histories are investigated and compared in terms of suitability as input to time history analysis of civil engineering structures, by means of time history analyses of SDOF systems, which are conducted to examine the scatter in the structural response. The nonlinear response of SDOF systems is represented by bilinear hysteretic model. Assuming 5 different Periods, yield strength reduction factor, $R=4.5$, $\alpha=3\%$ post-yield stiffness, a number of 350 runs of analysis are conducted. The results are described for elastic displacement D.

Keywords: Record Scaling, Record Selecting, Time domain, Seismological Signature, Design Response spectrum, Target Response Spectrum.