



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الانشائية الزلزالية

نمذجة تسارعات الحركات الأرضية في مدينة دمشق ودراسة تأثيرها في الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية المسلحة

أطروحة أكاديمية تجزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الانشائية الزلزالية

إمداد

المهندس عبد المطلب أحمد الشابي

إشراف الدكتور المهندس حافظ الصادق - جامعة دمشق
المشرف المشارك الدكتور سامر باع - المركز الوطني للزلزال

دمشق 2013



الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية
قسم الهندسة الإنسانية والزلزالية

نمذجة تسارعات الحركات الأرضية في مدينة دمشق ودراسة تأثيرها في الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية المسلحة

أطروحة قدمت حجزاً من متطلباته نيل درجة الماجستير في الهندسة الإنسانية والزلزالية

المقدمة

المهندس عبد المطلب أحمد الشلي

الأستاذ المشرف المشارك

الدكتور سامر باغ

المركز الوطني للزلزال

الأستاذ المشرف

الأستاذ المساعد الدكتور حافظ الصادق

جامعة دمشق - كلية الهندسة المدنية

لجنة الحكم

كلية الهندسة المدنية
عضوًا مشرفاً

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنسانية
الاختصاص: ديناميك المنشآت

د. حافظ الصادق
جامعة دمشق

كلية العلوم
عضوًا

الأستاذ المساعد في قسم الجيولوجيا
الاختصاص: الطرائق السيسزمية

د. نضال شقير
جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية
عضوًا

المدرس في قسم الهندسة الإنسانية
الاختصاص: ديناميك المنشآت

د. هالة حسن
جامعة دمشق

فهرس المحتويات

رقم الفصل	المحتويات	رقم الصفحة
الفصل الأول	مقدمة	2
	فهرس المحتويات	2
	فهرس الأشكال	5
	فهرس الجداول	8
	كلمة شكر	
	الملخص	9
الفصل الثاني	الوضع الجيولوجي والزلزالي والتكتوني في منطقة الدراسة	10
	-1-1- الخطر الزلزالي على المنشآت الهندسية	10
	-2-1- أهمية حساب التسارعات في منطقة الدراسة وأثرها على المنشآت الهندسية	12
	-3-1- تحديد المشكلة	13
	-4-1- هدف البحث	14
	-5-1- دراسات مرجعية	14
	-6-1- محتويات الرسالة	16
الفصل الثاني	الوضع الجيولوجي والزلزالي والتكتوني في منطقة الدراسة	18
	-1-2- مقدمة	18
	-2-2- المنطقة المدرسة	18
	-3-2- الوضع الجيولوجي والتكتوني لمنطقة الدراسة	19
	-4-2- الوضع الزلزالي في منطقة الدراسة	23
	-1-4-2- الزلازل التاريخية	23
	-2-4-2- الزلزالية الحديثة	25
	-3-4-2- المصادر الزلزالية المؤثرة على منطقة الدراسة	27
	-5-2- توصيف منطقة الدراسة وفق الكود الهندسي السوري	29

	النماذج الرياضية لتسارعات الحركات الأرضية في منطقة الدراسة	الفصل الثالث
31	1-3 - مقدمة	
31	2-3 - خلفية تاريخية	
32	3-3 - إعداد قاعدة البيانات الخاصة بنموذج المدخلات (الموديل)	
32	4-3 - الأنظمة والبرمجيات المستخدمة	
33	5-3 - التقانة المعتمدة	
33	6-3 - الطريقة المستخدمة في النماذج	
35	7-3 - خطوات النماذج	
37	8-3 - تحديد طيف فورييه النموذجي للمصدر الزلزالي	
38	9-3 - بناء النموذج الخاص بمنطقة الدراسة	
40	10-3 - معاملات المصادر الزلزالية وأنواعها	
	الخطر الزلزالي في مدينة دمشق بدلالة تسارعات الأرضية	الفصل الرابع
42	1-4 - مقدمة	
42	2-4 - حساب تسارعات الأرضية الأعظمية	
44	3-4 - حساب منحنيات تساوي تسارعات الأرضية الأعظمية	
49	4-4 - مقارنة قيم تسارعات الناتجة مع تسارعات الدراسات السابقة	
	حساب سجلات التسارع الصناعية وأطياف الاستجابة	الفصل الخامس
51	1-5 - مقدمة	
51	2-5 - حساب السجلات الصناعية وأطياف الاستجابة في نقاط الدراسة.	
	دراسة الأحمال الزلزالية وفق الكود العربي السوري ومقارنتها مع نتائج الدراسة الحالية	الفصل السادس
58	1-6 - مقدمة	
58	2-6 - الطريقة الستاتيكية المكافئة الثانية	
60	3-6 - قيم التسارع الأعظمي مع إدخال تأثير التربة السطحية وفق الكود	
62	4-6 - دراسة طيف الاستجابة	
63	5-6 - المعلومات المطلوب توفرها عند استعمال طيف الاستجابة	

64	6- طيف الاستجابة التصميمية مع إضافة تأثير نوع التربة السطحية
66	7- حساب معامل القص القاعدي
70	8- مقارنة التسارعات المحسوبة مع التسارعات الواردة في جداول الكود
71	9- حساب قيم المعاملين الزلزاليين C_v و C_a وفقاً لقيم التسارعات الناتجة عن الدراسة

	الفصل السابع
72	النتائج والتوصيات
72	1- مقدمة
72	2- النتائج
74	3- التوصيات

الملاحق

76	• ملحق A- السجلات الزلزالية لنقاط الدراسة
88	• ملحق B- الأطیاف الزلزالية لنقاط الدراسة
100	• ملحق C-1- أهم الزلالز التاريخية في سوريا (سبيناتي، 2005).
101	• ملحق C-2- معاملات الصدوع المدروسة الخاصة بالنمذجة
102	• ملحق C-3- المعادلات وال العلاقات الرياضية المستخدمة في النمذجة
106	• ملحق C-4- عمق طبقة الصخر الأساس الهندسي
109	• المراجع
113	• الملخص باللغة الانكليزية

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	اسم الشكل	رقم
11	صور لبعض الأضرار نتيجة زلزال هايتي عام 2010	1-1
19	منطقة الدراسة والصدوع النشطة المدروسة	1-2
20	موقع منطقة الدراسة على خارطة دمشق الجيولوجية 1:200.000	2-2
21	الوحدات التكتونية الرئيسية في الشرق الأوسط والصفيحة العربية	3-2
22	الوحدات التكتونية الرئيسية المؤثرة في منطقة الدراسة، موقع البؤر وآلية البؤر الزلزالية	4-2
24	أهم الزلزال التاريخية المسجلة في سوريا وفق سيناتي 2005	5-2
26	الأحداث الزلزالية المسجلة لدى المركز الوطني للزلزال	6-2
28	خارطة تكتونية توضح موقع الصدوع في منطقة الدراسة (أبورومية وآخرون 2012)	7-2
29	مقطع عرضي مار من مدينة دمشق ويقطع كل من صدع سرغايا ودمشق وبسيمة (أبورومية وآخرون 2012)	8-2
30	خارطة التسارعات الأرضية المعتمدة في الكود العربي السوري 2004 مبيناً عليها منطقة الدراسة	9-2
34	النمذجة الرياضية للحركات الأرضية	1-3
36	مراحل النمذجة الرياضية للوصول للسجل الزمني الصنعي للمصدر الزلزالي	2-3
37	تسجيل زمني وظيف فوريّيه النموذجي لمصدر زلزالي لهزتين بقوة 5 و 7 درجات	3-3
38	التسارعات الأرضية الواردة في الكود العربي السوري لمنطقة الدراسة	4-3
40	معاملات المصدر الزلزالي	5-3
41	أنواع الصدوع حسب إزاحتها ونوع حركتها	6-3

43	خريطة منطقة الدراسة ومموقع نقاط الدراسة بالنسبة للصدوع المدروسة	1-4
44	خريطة تساوي التسارعات لمنطقة الدراسة الناتجة عن صدع سرغايا لزلزال بقدر 7 ريختر	2-4
45	خريطة تساوي التسارعات لمنطقة الدراسة الناتجة عن صدع دمشق لزلزال بقدر 5 ريختر	3-4
46	خريطة تساوي التسارعات لمنطقة الدراسة الناتجة عن صدع بسيمة لزلزال بقدر 7 ريختر	4-4
47	خريطة تساوي التسارعات لمنطقة الدراسة الناتجة عن الصدوع المدروسة	5-4
48	خطوط تساوي التسارعات لجزء من منطقة الدراسة الناتجة عن صدع سرغايا موضحة على خريطة غوغل	6-4
49	خطوط تساوي التسارعات لجزء من منطقة الدراسة الناتجة عن الصدوع الثلاث سرغايا دمشق موضحة على خريطة غوغل	7-4
50	مقارنة قيم التسارعات الأعظمية في الدراسة الحالية مع الخريطة العالمية GSHPAP ودراسة الحريري	8-4
52	طيف الاستجابة الناتج عن صدع سرغايا لهزة بقوة ($M=7.4$) في النقطة (10)	1-5
52	سجل تسارع صنعي على صدع سرغايا لهزة بقوة ($M=7.4$) في النقطة (10)	2-5
53	طيف الاستجابة الناتج عن صدع بسيمة لهزة بقوة ($M=7$) في النقطة (9)	3-5
53	سجل تسارع صنعي على صدع بسيمة لهزة بقوة ($M=7$) في النقطة (9)	4-5
54	طيف الاستجابة الناتج عن صدع دمشق لهزة بقوة ($M=5$) في النقطة (13)	5-5
54	سجل تسارع صنعي على صدع دمشق لهزة بقوة ($M=5$) في النقطة (13)	6-5
56	الخريطة الإدارية لمدينة دمشق والمناطق المحيطة موضحاً عليها نقاط الدراسة	7-5
57	خريطة غوغل موضحاً عليها نقاط الدراسة وبعض البلدات والمدن والطرق	8-5
62	قيم التسارعات الأرضية في منطقة الدراسة وفقاً لأنواع الترب المختلفة الواردة في الكود	1-6
64	طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_B)	2-6
65	طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من	3-6

		نوع (S_C)	
65	طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_D)	4-6	
66	طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_E)	5-6	
67	معامل القص القاعدي للنقاط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_B) وفق الكود ووفق الدراسة	6-6	
67	معامل القص القاعدي للنقاط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_C) وفق الكود ووفق الدراسة	7-6	
68	معامل القص القاعدي للنقاط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_D) وفق الكود ووفق الدراسة	8-6	
68	معامل القص القاعدي للنقاط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_E) وفق الكود ووفق الدراسة	9-6	
69	نسبة قيمة معامل القص القاعدي الواردة بالكود إلى قيمة معامل القص القاعدي الناتجة عن الدراسة لأنواع التربة المختلفة للنقاط (9, 10, 13, 14)	10-6	

فهرس الجداول

رقم الصفحة	رقم الجدول اسم الجدول
39	معاملات المصادر الزلزالية المدروسة والمؤثرة على منطقة الدراسة 1-3
43	قيم التسارعات العظمى الناتجة من النمذجة الرياضية من الصدوع الثلاث 1-4
55	أرقام أشكال سجلات التسارع الصناعي لكافة نقاط الدراسة 1-5
55	نقاط الدراسة وأقرب منطقة أو قرية 2-5
60	جدول تصنيف الترب وخصائصها الزلزالية وفق ماورد في الكود 1-6
60	النسب بين المعاملات الزلزالية Z و C_a و C_v لأنواع التربة المختلفة بالكود 2-6
61	قيم التسارعات الأرضية وفقاً لأنواع مختلفة من الترب وفق ماورد في الكود 3-6
70	قيم التسارعات الأرضية لبعض مراكز المدن والبلدات في الكود والدراسة الحالية 4-6
71	جدول المعامل الزلزالي C_a حسب نتائج الدراسة وفق ماورد في الكود 5-6
71	جدول المعامل الزلزالي C_v حسب نتائج الدراسة وفق ماورد في الكود 6-6



إلى وطن الشرفاء... وطني

إلى شعلتي في الحياة والدي

إلى من انتظر منها ابتسامة ورضا والدتي

إلى من ينظر لي بعين الأمل أهدي

لَهْمَةُ شَكَرٍ

أَوْلَاً أَشْكَرَ اللَّهَ أَنَّهُ وَقَنِيَ فِي هَذَا الْبَحْثِ

وَكُلُّ الشَّكَرِ وَالْامْتَنَانِ لِكُلِّ مَنْ سَاهَمَ فِي انجَازِ هَذِهِ الرِّسَالَةِ
بِدِعَاءً بِالدَّكْتُورِ الْمُهَندِسِ حَافِظِ الصَّادِقِ الأَسْتَاذِ المُشْرِفِ عَلَى هَذِهِ الدِّرْسَةِ
وَالدَّكْتُورِ سَامِرِ يَاغِيِّ الأَسْتَاذِ المُشْرِفِ الْمُشَارِكِ عَلَى هَذِهِ الدِّرْسَةِ
لَمَّا قَدَّمَهُ مِنْ تَوْجِيهٍ وَنَصْحٍ وَجَهْدٍ لِلْاجْنَانِ هَذَا الْبَحْثِ

وَالشَّكَرُ لِلْجَنَّةِ الْحَكِيمِ

الدَّكْتُورِ نَضَالِ شَقِيرِ وَالدَّكْتُورَةِ هَالَّةِ حَسْنِ

لَمَّا قَدَّمَهُ مِنْ مَلَاحِظَاتٍ وَتَوْجِيهَاتٍ لِإِغْنَاءِ الْبَحْثِ

وَأَتَوْجَهَ بِخَالِصِ الشَّكَرِ وَالْامْتَنَانِ إِلَى
الْمَرْكَزِ الْوَطَنِيِّ لِلْزَرْعِ لِلْأَرْضِ وَإِلَى كُلِّ الْأَفْوَجِ مِنَ الْعَالَمِينَ فِيهِ
لِلْدَعْمِ وَالْمَسَانِدِ الْعَلْمِيَّةِ الَّتِي تُمْرِنُهُمْ وَتُقْدِيمُهُمْ فِي هَذَا الْبَحْثِ

الملخص

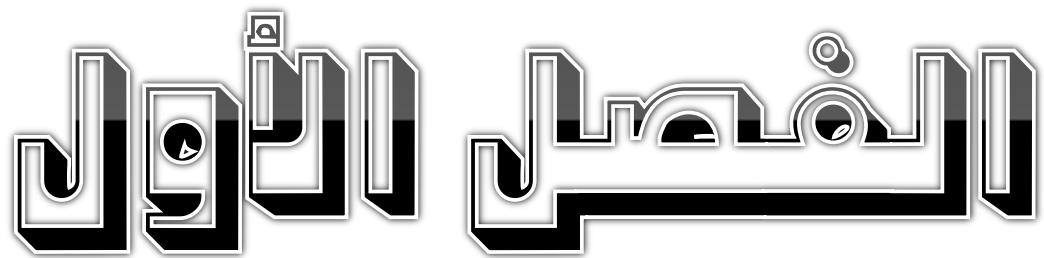
يهدف البحث الى حساب معاملات الحركات الأرضية محتملة الحدوث على الصخر الأساس في مدينة دمشق والمناطق المجاورة، وذلك عن طريق نمذجة التسارعات الأعظمية التي يمكن أن تتولد عن الصدوع النشطة المؤثرة على المنطقة، حيث تم تعريف ثلاثة مصادر زلزالية يمكن أن تؤثر على المنطقة المذكورة، وهي صدوع سرغايا وبسيمة ودمشق.

تم حساب قيم التسارع الأرضي الأقصى الناتجة عن المصادر الزلزالية على الصخر الأساس باستخدام طريقة المحاكاة العشوائية (Stochastic Simulation)، وتم تمثيل النتائج على شكل خرائط تساوي التسارعات، حيث أظهرت النتائج أن مستوى الخطر الزلزالي في المنطقة مرتفع نسبياً وخاصةً في الشمال الغربي من منطقة الدراسة ويقل باتجاه الجنوب الشرقي.

كما تم حساب السجلات الزلزالية الصناعية وأطيف الاستجابة التصميمية للنقاط المدروسة لأهداف الدراسات الزلزالية والهندسية، حيث توضح هذه الأطيف المحتوى الترددية للحركة الأرضية ومجال الأدوار المسيطرة والتي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم ودراسة المنشآت.

تم أيضاً دراسة الأحمال الزلزالية وفق الكود العربي السوري ومقارنتها مع نتائج الدراسة الحالية، بالإضافة لحساب تأثير الموقع لنقاط الدراسة باستخدام عدة أنواع من الترب حسب التصنيف الوارد في الكود العربي السوري، وتم حساب طيف الاستجابة التصميمي لنقاط الدراسة وفقاً لطريقة الكود باعتماد نتائج الدراسة الحالية وذلك لأنواع التربة المختلفة، ومقارنته مع طيف الاستجابة التصميمي الوارد في الكود، وحساب معامل القص القاعدي للجمل الإنسانية للمباني الأكثر شيوعاً في منطقة الدراسة وهي الجمل التي تعتمد على جدران القص في مقاومة الأحمال الجانبية من أجل أنواع مختلفة للتربة وذلك بناءً على نتائج الدراسة الحالية والمقارنة مع قيم معامل القص القاعدي حسب ماورد في الكود.

أخيراً تمت دراسة قيم المعاملين الزلزاليين C_v و C_a بناءً على قيم التسارعات الناتجة عن الدراسة الحالية، واقتراح جداول لحساب قيم هذين المعاملين للنقاط المدروسة مع الأخذ بعين الاعتبار أنواع مختلفة للتربة الواردة في الكود.



مقدمة

الفصل الأول

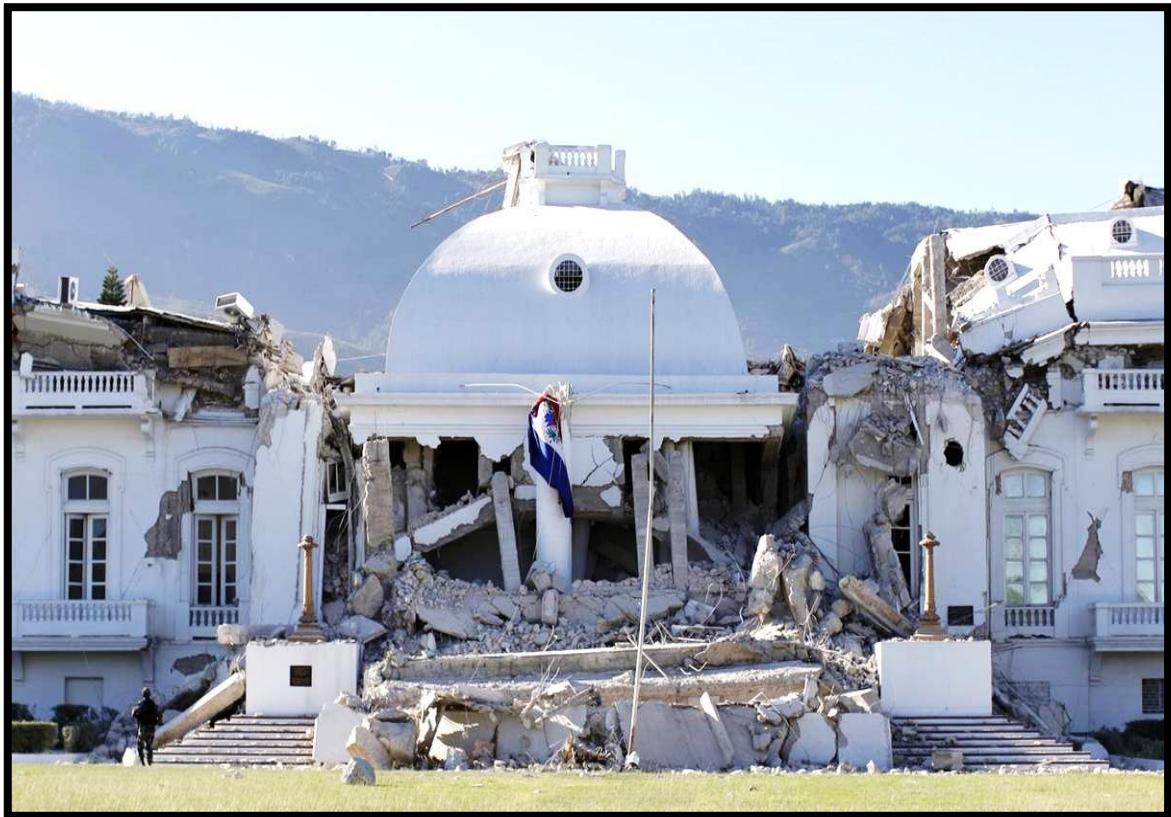
مقدمة (Introduction)

1-1- الخطر الزلزالي على المنشآت الهندسية

تعتبر الزلازل إحدى أهم الكوارث الطبيعية المهددة لأنشطة البشرية نتيجة الدمار الذي تلحقه بالأنبوبة والمنشآت بالإضافة إلى الخسائر المادية والبشرية كما هو واضح في الشكل (1-1)، مما يستدعي الحرص والحذر في تصميم المنشآت والمرافق، ويهدف التصميم المقاوم للزلزال إلى تشييد المنشآت التي تستطيع تحمل مستوى محدد من الزلازل دون حدوث ضررٍ مفرط، ويوصف هذا المستوى بواسطة معاملات الحركة الأرضية التصميمية، ويعتبر حساب هذه المعاملات من أصعب وأهم المسائل في الهندسة الزلزالية.

تركز معظم دول العالم حالياً نتيجة لعدم وجود طريقة محددة للتنبؤ بحدوث الزلزال، على موضوع التخفيف من المخاطر الزلزالية من خلال حساب خرائط الخطر الزلزالي، حيث يعتبر الوصول لهذه الخرائط واحدة من الخطوات الأساسية التي تزودنا بالأسس لمعرفة وتحليل الخطر الزلزالي المكاني الدقيق وصنع قرار تخفيف المخاطر الزلزالية من أجل الحفاظ على حياة البشر وتقليل الخسائر المادية، وقد دلت التجارب العالمية على أنه بالقدر الذي تعمق فيه حالة المعرفة هذه وتوظف في اتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة بقدر ما تتناقص آثار المخاطر الزلزالية.

تضمن دراسة الخطر الزلزالي معرفة معاملات الحركة الأرضية والتضارعات الأرضية المتوقعة ودراسة تأثيرها على المبني، حيث تؤثر طبيعة المصادر الزلزالية وخصائص تربة التأسيس على مستوى الأضرار التي تتعرض لها المبني والمنشآت جراء الزلزال، وهنا تظهر الأهمية البالغة لإجراء الدراسات الزلزالية الازمة للوصول لمنشآت تستطيع تحمل الحركات الأرضية والحفاظ على الأرواح، وما يتم في هذا البحث محاولة في هذا الاتجاه.



الشكل (1-1): زلزال هايتي عام M=7 – 2010

1-2- أهمية حساب التسارات في منطقة الدراسة وأثرها على المنشآت الهندسية

إن أسوأ الكوارث الطبيعية التي شهدتها الكرة الأرضية كان سببها في الغالب الهزات الأرضية، مما جعل العلوم الهندسية تركز اهتمامها على دراسة وتحليل تلك الزلزالوصولاً إلى إيجاد معايير وكودات بناء لتصميم وتنفيذ منشآت مقاومة للحركات الأرضية القوية، وتعتمد الهندسة الزلزالية على معطيات علم الزلزال (Seismology) وعلم الهندسة الزلزالية (Earthquake engineering) في حساب قيم التسارات الأرضية المتوقعة، وتهتم بتحليل أثر هذه التسارات على العناصر الإنسانية من خلال دراسة السلوك динاميكي للمنشآت عند حدوث الزلزال والعوامل التي تساهم في استقرار المنشآت.

تشمل منطقة الدراسة مدينة دمشق والمناطق المحيطة بها والتي تتميز بأهميتها السياسية والاجتماعية والاقتصادية الصناعية، حيث يعيش فيها أكثر من 6 مليون نسمة، فهي منطقة توسيع سكاني وعمراني ملحوظ، كما تنتشر أغلب التجمعات السكانية والمنشآت الاقتصادية الهامة على حوض دمشق الروسي المكون من رسوبيات الرباعي المفكرة (Q3) على السطح وتشكلات الكريتاسي والبالوجين والنويجين المتاخمة للحوض باتجاه الشمال والشمال الشرقي، وتعتبر رسوبيات الحوض المفكرة إحدى العوامل الهامة التي تؤدي إلى تضخيم الإشارة الزلزالية حيث أنه من المعروف تأثير الجيولوجيا السطحية وظروف التربة على شدة الاهتزاز الأرضي، علاوة على قربها من مصادر زلزالية هامة، كنظام البحر الميت الصدعى وفروعه النشطة تكتونياً، والتي ولدت وفقاً للسجلات التاريخية العديد من الزلزال المدمرة، كزلزال عام 1759م الذي حدث في سهل البقاع [12]، وقد تم تقدير قوته حسب مقياس ريختر (~7.4)، حيث أوقع آلاف الضحايا بين قتلى وجراحى وتسبب بخسائر مادية فادحة وقد امتد تأثيره إلى مدينة دمشق وأجزاء من ريفها.

تقع منطقة الدراسة وفق الكود العربي السوري لتصميم المنشآت عام 2004 [3] ضمن المنطقة الزلزالية 2C من خارطة التسارات الأرضية الأعظمية، وتحتوي على العديد من المناطق والبلدان ذات الكثافة السكانية العالية، وتميز بنمو متسارع للبنية التحتية مثل المنشآت الضخمة والمشاريع التنموية الأخرى، كما أن جزءاً من المباني السكنية الواقعة في المناطق الريفية تفتقر إلى التصميم المقاوم للزلزال، أي عند حدوث أي زلزال ذو قدر زلزالي متوسط قد ينتج عنه لا سمح الله خسائر بشرية واقتصادية حيوية واستراتيجية.

1-3- تحديد المشكلة (Problem Statement)

تم وضع خريطة الكود العربي السوري 2004 والتي قسمت القطر الى عدة مناطق، وبيّنت في كل منطقة قيمة التسارعات الأرضية الأعظمية المحتملة، وفقاً للمعلومات المتوفرة في حينه، وبالاستفادة من أعمال لبرامج عالمية ومشاريع سورية وطنية، ومضى على وضع هذه الخريطة حوالي عشر سنوات، مما يستدعي الحاجة لتحديث هذه الخارطة بناءً على عدة معطيات ودراسات زلزالية حديثة في سوريا، وطرائق بحث زلزالية متقدمة، لأهمية ذلك في أمان واقتصادية المنشآت القائمة وقيد الإنشاء.

نظراً لعدم وجود شبكات رصد زلزالي دائمة ضمن الأبنية وبسبب قلة تسجيلات التسارعات الأرضية وخصوصاً القوية منها، فقد حاول الباحثون في كثير من الدراسات التغلب على هذه المشكلة من خلال استنتاج الحركات الأرضية والشدات الزلزالية باعتماد تقانات مختلفة كاستخدام النمذجة الرياضية الحاسوبية للحقول الموجية المدروسة التي قد تتولد عن المصادر الزلزالية (Seismic Sources)، وذلك بعد فهم الخصائص الفيزيائية والحركية المختلفة للمصادر الزلزالية والتأثيرات المختلفة لوسط الانتشار بين المصدر الزلزالي والموقع المدروس.

تعتبر مثل هذه الدراسات من الأهمية بمكان من أجل مدينة دمشق ذات الأهمية السياسية والاقتصادية والتاريخية والكثافة السكانية العالية، ولاسيما عند الأخذ بعين الاعتبار أهمية المصادر الزلزالية التي يمكن أن تؤثر على المدينة والمناطق المجاورة وعدم وجود دراسات تفصيلية حول تأثير هذه المصادر على خصائص ومعاملات الحركات الأرضية في المنطقة.

تعتمد عملية النمذجة الرياضية على توليد سجلات زلزالية صناعية وأطیاف استجابة تحاكي السجلات التي يمكن أن تنشأ عن المصادر الزلزالية المؤثرة على المنطقة المدروسة، تساعد هذه السجلات في حساب المعاملات المختلفة التي توصف الحركة الأرضية (Ground Motion) في الموقع المدروس وبخاصة قيم التسارعات الأرضية (Peak Groud Motion - PGA) ودراسة استجابة المبني لهذه التسارعات.

يعتبر حساب السجلات الزلزالية الصناعية وأطیاف الاستجابة التصميمية التي تحاكي الأطیاف الفعلية التي يمكن أن تنشأ عن المصادر الزلزالية ودراسة أثرها على المنشآت ذو أهمية اقتصادية، من خلال التصميم الزلزالي للأبنية المعتمد على قيم التسارع الأرضي الأعظمية المحتملة في الموقع المدروس، ويمكن أن تشكل هذه الدراسة نواة لتحديث القيم التي تستخدم في الكود العربي السوري من أجل حساب قوى القص القاعدي وغيرها من المعاملات الهندسية.

٤-٤- هدف البحث (Research Objective)

يهدف البحث الى حساب معاملات الحركات الأرضية ضمن مدينة دمشق والمناطق المحيطة بها من خلال عملية النمذجة الرياضية الحاسوبية ومقارنة القيم الناتجة مع ماورد في الكود العربي السوري تمهدأً لتطوير خارطة الخطر الزلزالي في سوريا.
وتحقيق هدف البحث من خلال الإجراءات التالية:

- حساب قيم التسارعات الأرضية الأعظمية التي يمكن أن تنشأ عن المصادر الزلزالية المؤثرة على منطقة الدراسة باستخدام النمذجة الرياضية للحركات الأرضية في بعض المناطق المختارة من مدينة دمشق والمناطق المجاورة على الصخر الأساس، وإظهارها على شكل خرائط تساوي التسارعات الأرضية الأعظمية (PGA).
- توليد سجلات زلزالية صناعية للتسارع الأرضي (Synthetic ground acceleration records)، وتطوير أطياف استجابة تصميمية (Design response spectra)، لأهداف الدراسات الزلزالية والتصميم الزلزالي للأبنية نظراً لعدم وجود قاعدة بيانات لسجلات تسارع للحركات الأرضية القوية بسبب ندرة حدوث الهزات القوية في الجزء الغربي من بلاد الشام بصورة عامة والزمن الطويل نسبياً لتكرارية حصول مثل هذه الهزات.
- دراسة الأحمال الزلزالية وفق الكود العربي السوري ووفق نتائج الدراسة الحالية، بمقارنة قيم التسارعات الأرضية الناتجة مع القيم الواردة في الكود، وذلك باستخدام عدة أنواع من الترب حسب التصنيف الوارد في الكود.

٥- الدراسات المرجعية (Reference Studies)

قام العديد من الباحثين بالاعتماد على الزلزال التاريخية والمعلومات الجيولوجية المتوافرة عن المصادر الزلزالية بعدد من الدراسات ذكر منها:

- (الحريري، 1991) أعد دراسة سيسموتكنونية لتقييم الخطر الزلزالي والمنطقة الزلزالية لسوريا باستخدام الطريقة الاحتمالية (Probabilistic Method)، وتم الحصول على العديد من النتائج الهامة، منها تحديد وتصنيف الخطر الزلزالي وحساب خرائط تساوي التسارعات في سوريا حيث بلغت قيمة التسارع الأرضي المسجلة في مدينة دمشق (0.350g) لفترة تكرارية (Return Period) خمسماة عام [22].

- (محمد، 2004) درست الأوضاع الهيدروجيولوجية في سهل دمشق وأثرها على التمنطق الزلزالي لمدينة دمشق، وقد توصلت إلى تحديد المعاملات الأرضية كالسرعة والتسرع والتضخم للزلزال على عدد من المسارات ثنائية البعد في الجزء المركزي من حوض دمشق، والتي يمكن أن تتولد من المصادرين الزلزاليين المفترضين صدع سرغايا وصدع البحر الميت باستخدام تقانة نمذجة المحاكاة الرقمية (Numerical Simulation Modeling) [7].
- (سبيباتي وأخرون، 2005) قاموا بإعداد سجل بالزلزال التاريخية (Historical earthquake catalogue) التي حصلت في سوريا والمناطق المجاورة لها خلال الفترة 1365 ق.م.- 1900 م [29].
- (الشلبي وأخرون، 2010) قاموا بدراسة تشوهات القشرة الأرضية (Crustal Deformation) في شمال غرب الصفيحة العربية من قياسات GPS في سوريا، وتم حساب معدل انزلاق (Slip rate) صدع البحر الميت والسلسلة التدميرية ، واستنتجوا نسبة انزلاق بطيئة على طول القسم الشمالي لصدع البحر الميت بلغت (2.5) م/سنة [11].
- (محمد، 2012) درست تخادم الموجات الزلزالية (Seismic wave Attenuation) المحلية والإقليمية في سوريا والمناطق المجاورة، وذلك بتطبيق تقانة المسح الزلزالي (Seismic Tomography Technique) ودراسة الطور الموجي الإقليمي (Lg)، وتم حساب معامل الجودة (Q_0) عند التردد 1 هرتز، وقد تراوحت القيم المحسوبة للمعامل Q_0 بين (60 و 400)، حيث يعتبر هذا المعامل ذو أهمية في تحديد درجة فعالية انتشار الأطوار الموجية التي تتولد من الزلزال والطاقة المرتبطة بها، والتي تعكس بشكل جيد التغيرات البنوية والتكتونية وتغيرات سماكة الرسوبيات، حيث تعبر قيم هذا المعامل بشكل غير مباشر عن الحركات الأرضية التي يمكن أن تحدث نتيجة مرور هذه الأمواج ضمن بنية القشرة الأرضية والذي يعتبر أحد مدخلات برنامج النمذجة الرياضية للحركة الأرضية [7].
- (خليل، 2012) درست تأثير الجيولوجيا السطحية على التجاوب الأرضي بالاعتماد على تقنية نكامورا في منطقة الغوطة الشرقية، وبناءً على نتائج قياسات الضجيج (Microtremors) تم وضع خارطة الأدوار المسيطرة موقعة على الخارطة الجيولوجية، ولوحظ أن الأدوار الطويلة وجدت في موقع رسوبيات الرباعي المفككة، بينما الأدوار القصيرة كانت في موقع تشكيلات الكريتاسي والبالوجين والنويجين، كما تم ضمن هذا البحث الاستفادة من قياسات الضجيج الزلزالي لحساب خصائص الاستجابة الديناميكية للترابة [1].

- (نقشبendi، 2013) درست خصائص الاستجابة الديناميكية لبعض الأبنية قليلة الارتفاع باستخدام تقنية قياسات الضجيج الزلزالي لنماذج مختارة من الأبنية الموجودة في الغوطة الشرقية، حيث أظهرت النتائج بأن الدور المقاس تجريبياً أقل من الدور الذي تعطيه علاقة الكود العربي السوري في معظم الحالات للنماذج المدروسة، وأن التخادم المقاسة تجريبياً كان أقل بنسبة تصل إلى 40% من نسبة التخادم المفروضة في الكود العربي السوري [6].
- (زيينة وأخرون، 2012) قام بدراسة لمحاكاة الحركة الأرضية لزلزال نوفمبر 1759 بقدر 7.4 على صدع سرغايا، حيث نماذج الحركة الأرضية ولاحظ بأن قيم التسارع الأرضي الناتجة في مدينة دمشق لمناطق بعيدة عن صدع سرغايا المدروس قريبة من القيم الواردة في الكود العربي السوري، بينما تكون قيم التسارع كبيرة جداً من أجل المناطق القريبة من الصدع مقارنة مع قيم الكود [23].
- (أبو رومية وأخرون، 2012) درس المؤشرات الأولية على معدلات انزلاق عالية على صدوع عكسية (Reverse Faults) نشطة في الشمال الغربي من دمشق [10]، وذلك بتقدير معدلات الحركة الأرضية الشاقولية بتأثير التكتوني النشط (Active Tectonic)، عن طريق دراسة توضيعات الرباعي (Deformed Quaternary Sediments)، حيث أظهرت النتائج وجود صدوع نشطة في المنطقة الشمالية الغربية من دمشق تمثلت في صدع بسيمة (Bassimeh fault) وصدع دمشق، واللذين تمأخذهما بعين الاعتبار في الدراسة الحالية.

1-6- محتويات الرسالة

شمل العمل في البحث سبعة فصول، تضمن الفصل الأول مقدمة عامة عن الخطر الزلزالي على المنشآت الهندسية وأهمية حساب التسارعات في مدينة دمشق وأثرها على المنشآت الهندسية، بالإضافة إلى تحديد مشكلة وهدف البحث، كما تضمن شرحاً للدراسات المرجعية التي تم الاعتماد عليها في هذا البحث، وأخيراً عرضاً لمحتويات الرسالة.

في الفصل الثاني تم عرض الوضع الجيولوجي والزلزالي في مدينة دمشق، كما تم التطرق إلى جمع المعلومات والمعلومات والأوراق والتقارير العلمية وبناء قاعدة البيانات الخاصة بالبحث، كما تم عرض الوضع الزلزالي في منطقة الدراسة التاريخي منها والحديث، بالإضافة إلى تعریف المصادر الرئيسية للخطر الزلزالي في مدينة دمشق،

ومن ثم توصيف منطقة الدراسة وفق مناطق الخطر الزلالي الواردة في الكود العربي السوري 2004.

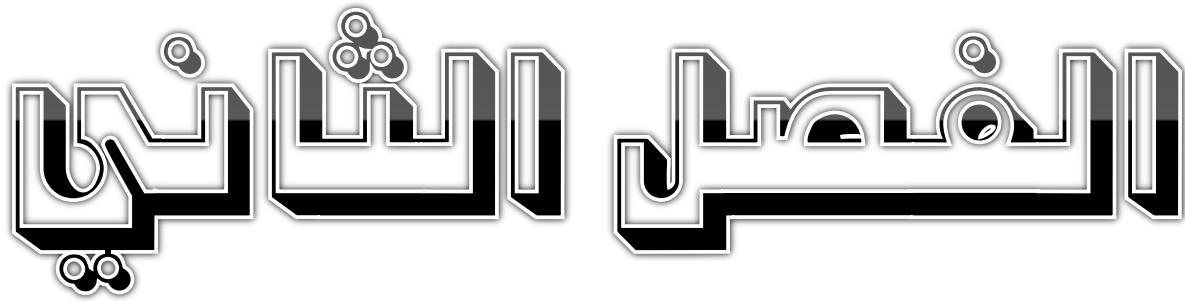
تناول الفصل الثالث النمذجة الرياضية لمصادر الخطر الزلالي في مدينة دمشق، وتتضمن مقدمة عن النمذجة الرياضية والطرق المتوفرة بشكل عام، وإعداد قاعدة البيانات الخاصة بالمدخلات وتحديد معاملات المصادر зلالية مفترضة التأثير على مدينة دمشق، إضافة إلى الأنظمة والبرمجيات المستخدمة، والتقانة المعتمدة في النمذجة الرياضية ومبدأها.

تم الحديث في الفصل الرابع عن الخطر الزلالي في مدينة دمشق بدلالة التسارعات الأرضية، حيث تم حساب قيم التسارعات الأرضية الأعظمية التي قد تتولد عن الصدوع الثلاثة المدروسة سرغايا وبسيمة ودمشق، وتمت معالجة هذه النتائج وفق نظام المعلومات الجغرافي (GIS)، وحساب خرائط تساوي التسارعات الأعظمية للمنطقة المدروسة.

في الفصل الخامس تم حساب سجلات التسارع الصناعية لمدينة دمشق والتي تحاكي السجلات зلالية التي قد تتولد عن المصادر зلالية النشطة، بالإضافة إلى حساب أطياف الاستجابة في مجموعة نقاط تغطي منطقة الدراسة.

في الفصل السادس تمت مقارنة الأحمال зلالية وفق الكود العربي السوري مع نتائج الدراسة الحالية، كما تم حساب تأثير الموقع للترابة السطحية باستخدام عدة أنواع من التربة حسب التصنيف الوارد في الكود، وتم حساب طيف الاستجابة التصميمية، بالإضافة لحساب معامل القص القاعدي للجمل الإنسانية الأكثر شيوعاً ولأنواع التربة المختلفة الواردة في الكود وفق قيم التسارعات الناتجة في الدراسة ومقارنتها مع القيم الواردة بالكود، وأخيراً دراسة قيم المعاملين злاليين C_v و C_a وفقاً لقيم التسارعات الناتجة.

في الفصل السابع تم عرض النتائج التي تم التوصل إليها والتوصيات المقترحة، ويليه بعض الملحق الهامة والخاصة بنتائج الدراسة، حيث تضمن الملحق (A) نماذج لسجلات التسارع الصناعية في كافة نقاط الدراسة، وتضمن الملحق (B) أطياف الاستجابة في كافة نقاط الدراسة، وفي الملحق (C) جدول بأهم زلازل التاريخية في سوريا والمناطق المجاورة، جدول بالمعاملات الخاصة بالصدوع المدروسة والنمذجة الرياضية، بالإضافة إلى جدول بالمعادلات والعلاقات الرياضية المستخدمة في النمذجة وأخيراً المراجع التي اعتمد عليها البحث.



الوضع

الجيولوجي والزلزالي والتكتوني
في منطقة الدراسة

الفصل الثاني

الوضع الجيولوجي والزلزالي والتكتوني في منطقة الدراسة

1- مقدمة

تضمن هذا الفصل وصفاً لمنطقة المدروسة، والمعطيات والمعلومات التي تم جمعها، كما تم شرح الوضع الجيولوجي والتكتوني والزلزالي لمنطقة الدراسة، وتحديد المصادر الزلزالية الرئيسية للخطر الزلزالي المؤثرة على مدينة دمشق والمناطق المجاورة بالإضافة إلى توصيف منطقة الدراسة وفق الكود العربي السوري.

2- المنطقة المدروسة

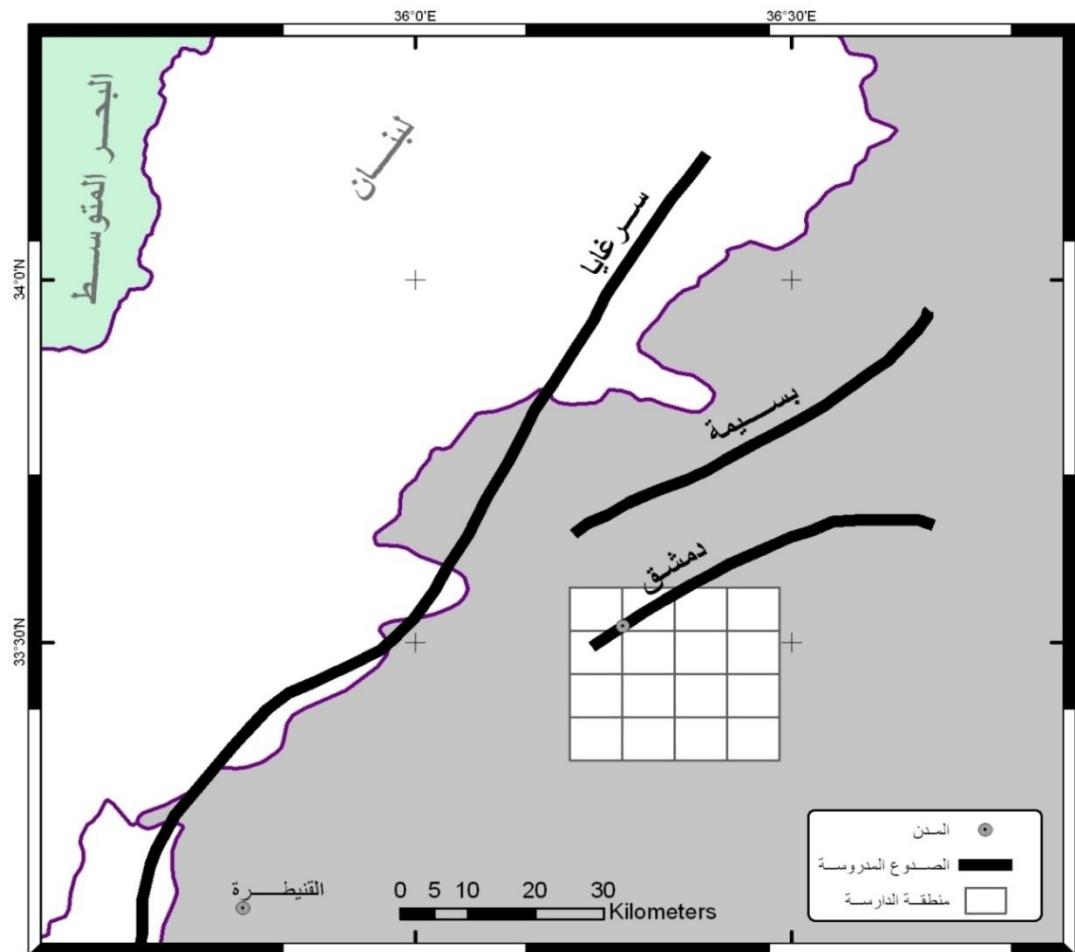
تقع منطقة الدراسة في الجزء الجنوبي الغربي من الجمهورية العربية السورية وتشمل مدينة دمشق والمناطق المحيطة بها، والتي سيرد ذكرها في هذا البحث باسم منطقة الدراسة أو مدينة دمشق هي المنطقة الموضحة في الشكل (1-2) التي تمتد بين خطى طول شمالاً : 36.48 – 36.20 وخطى عرض شرقاً : 33.57 - 33.34

وبمساحة إجمالية تقدر بحوالي 650 كيلومتر مربع، وترتفع عن مستوى سطح البحر بشكل عام من (750-1964) م، وتتميز منطقة الدراسة بوجود السلسل الجبلية قاسيون مروراً بمناطق الهضاب المتميزة بوجود تلال صغيرة إلى متوسطة الحجم بالإضافة إلى مناطق المنحدرات وأخيراً المناطق السهلية في الغوطة.

وقد تضمن البحث جمع العديد من المعطيات والمعلومات شملت ما يلي:

- معطيات جيولوجية وبنوية: تم الحصول عليها من الخرائط الجيولوجية [2] والتكتونية التي تبين موقع البنيات النشطة زلزاليةً والتي تتأثر بها المنطقة، حيث يقع بالقرب من منطقة الدراسة العديد من الصدوع النشطة، ويظهر الشكل (1-2) الصدوع التي تم دراستها في هذا البحث وهي صدوع سرغايا وبسيمة ودمشق.
- معطيات زلزالية وسيسموتكتونية تم الحصول عليها من الدراسات الحديثة للصدوع النشطة [21، 10، 11] ومن معلومات الزلزالية التاريخية حول الزلازل التي أثرت على مدينة دمشق تاريخياً [29] التي تشير إلى أن منطقة الدراسة قد تأثرت بشكل مباشر ببعض الزلازل التي نتج عنها أضرار كبيرة، ومن الزلازل الحديثة المسجلة في شبكات الرصد الزلزالية في

المركز الوطني للزلزال [14]، حيث تُظهر هذه المعطيات ترکز الأحداث الزلزالية على طول الصدوع النشطة وبالقرب من منطقة الدراسة.

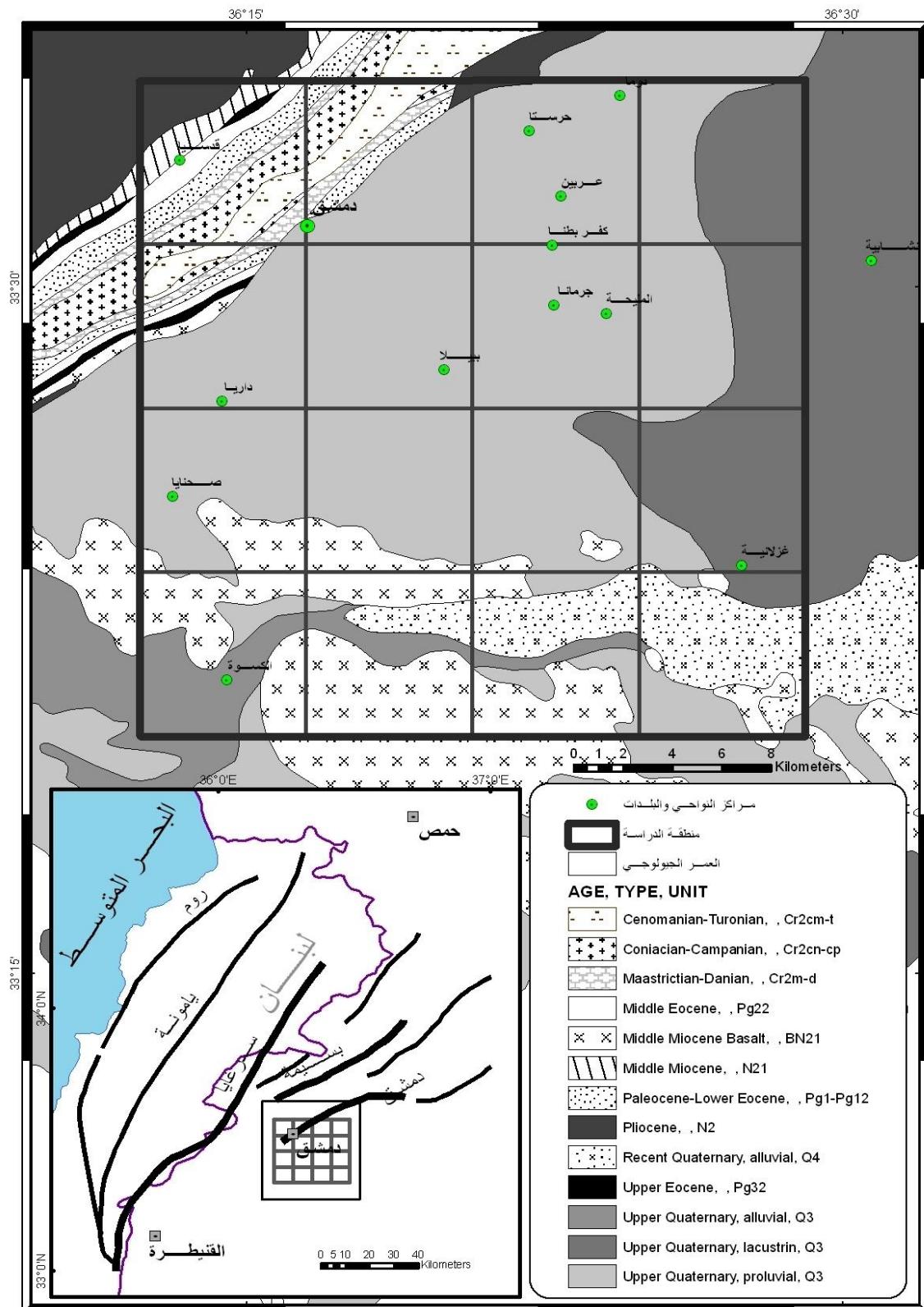


الشكل (1-2): منطقة الدراسة والصدوع النشطة المدروسة [10].

2-3- الوضع الجيولوجي والتكتوني لمنطقة الدراسة

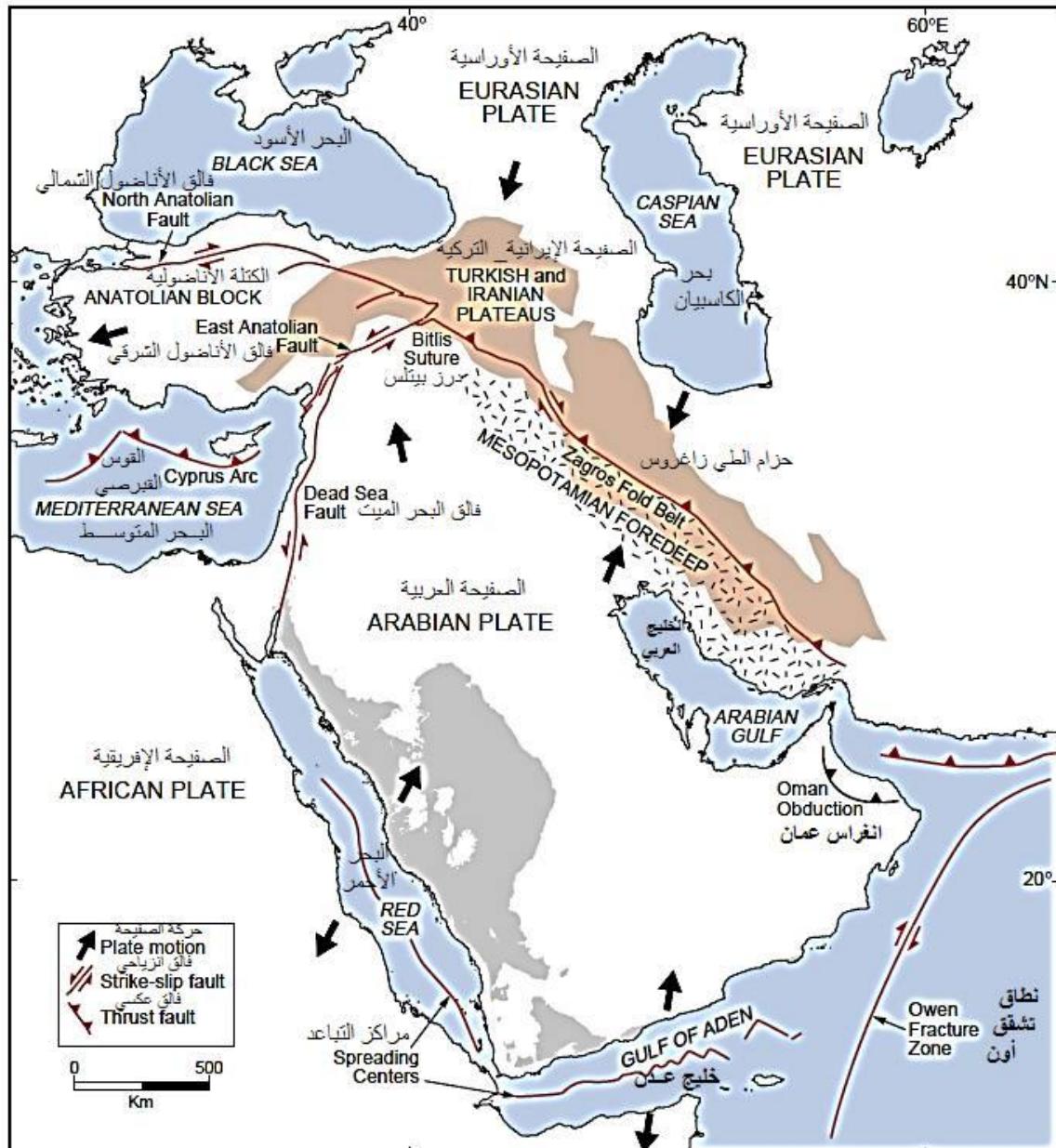
تعد منطقة الدراسة من الناحية الجيولوجية ملوبة من بنيات جيولوجية متعددة تعود أعمارها إلى كل من عصور الكريتاسي والباليوجين والنيوجين والرباعي [2] كما هو موضح في الخريطة الجيولوجية الشكل (2-2)، حيث تكشف هذه الصخور على سفوح المرتفعات المطلة على حوض دمشق الرسوبي والذي تملأه الرسوبيات الرباعية، وبشكل عام تتألف صخور الكريتاسي والباليوجين من رسوبيات بحرية وشاطئية أما صخور النيوجين فتتألف من توضعات قارية، وتتراوح أعماق الصخر الأساس في منطقة الدراسة بين (20-60)م، علمًاً بأنه تم ارفاق مجموعة من الخرائط والجدائل في الملحق (C-4)، والتي توضح عمق طبقة الصخر الأساس لبعض المناطق المدروسة وفق قياسات الضجيج الأرضي ومقارنتها مع السبور الجيولوجية

المتوفرة، وبيان قيم سرعة أمواج القص والأدوار السائدة والتضخيم في تلك المواقع كما ورد في دراسة حسام زينة وآخرون [24].



الشكل (2-2): موقع منطقة الدراسة على خارطة دمشق الجيولوجية 1:200,000 [2].

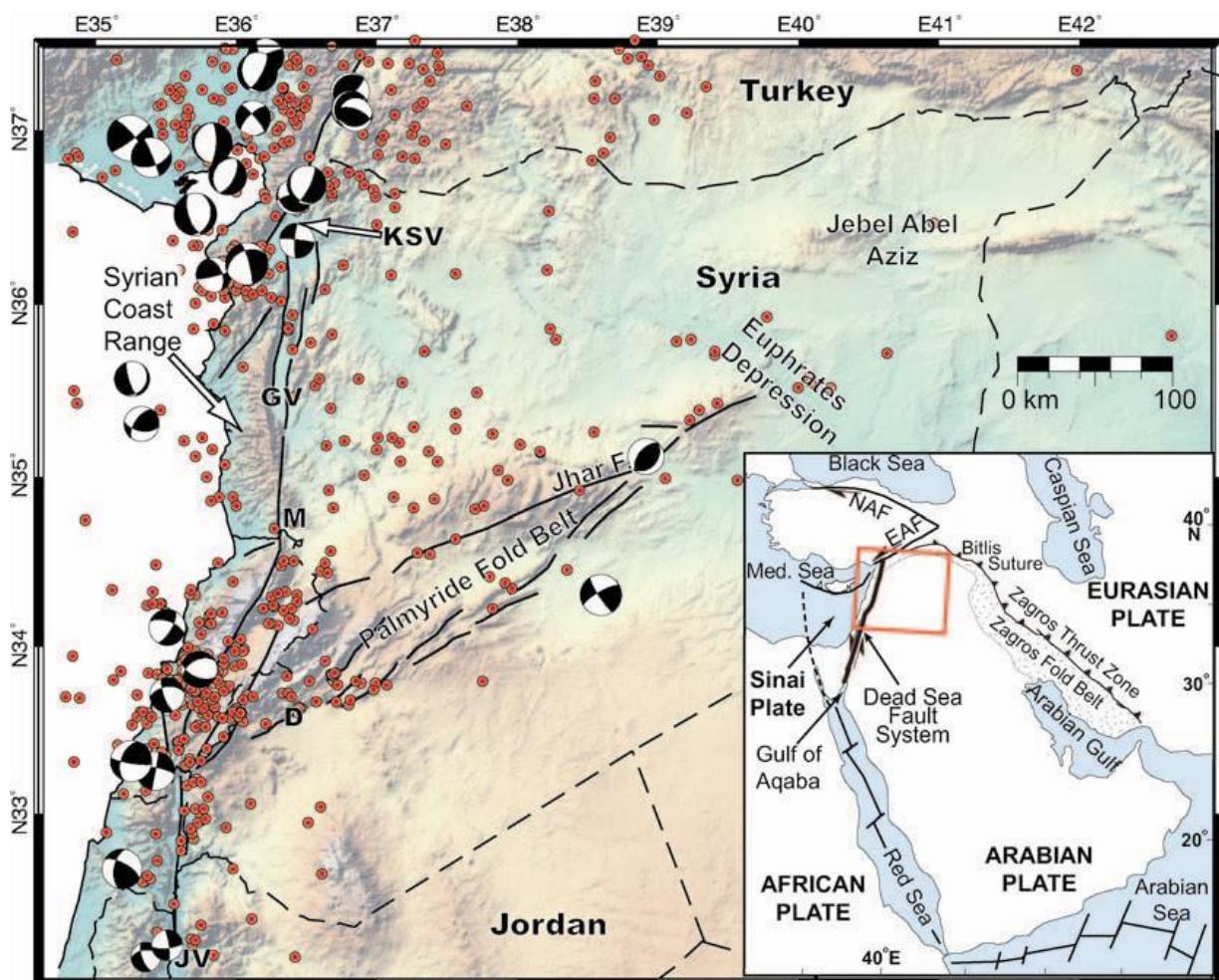
ومن الناحية التكتونية فإن سوريا يقع في شكل عام في الجزء الشمالي الغربي من الصفيحة العربية بين الصفيحتين الرئيسيتين الأوراسية والأفريقية، والمحاطة بمجموعة من البنيات التكتونية الرئيسية النشطة [19]، كما هو موضح في الشكل (2-3)، وهي ذات نشاط عالي من الناحية الزلزالية والتكتونية، حيث تقترب الصفيحة العربية من الصفيحة الأوراسية بمعدل 2 ± 18 م/سنة تقريباً باتجاه شمال-شمال شرق [26].



الشكل (2-3): الوحدات التكتونية الرئيسية في الشرق الأوسط والصفيحة العربية ، (Dogan وأخرون، 2000).

فيما يحد منطقة الدراسة من الغرب منظومة صدوع البحر الميت (Dead Sea Faults System) وهو المعلم التكتوني الرئيسي في منطقة الشرق الأوسط، ويعتبر

من أطول أنظمة الصدوع المحولة (Transform) في العالم حيث يبلغ طوله حوالي 1000 كم، منها حوالي 500 كم ضمن الأراضي السورية، وقدر معدل الازاحة على هذا الجزء من الصدع بحوالي 2.5 مم/سنة [11]، ويتفرع عن الصدع الرئيس صدع سرغايا والذى يعتبر واحد من أهم الفروع النشطة المشكلة لنظام البحر الميت الصدعي [21]، أما شماليًّاً فيحـدـ منطقة الـدرـاسـةـ الأـجزـاءـ الجنـوبـيـةـ الغـرـبـيـةـ منـ نـاطـقـ الطـيـ التـدـمـريـ (Palmyride Fold Belt) حيث يمتد عبر وسط سوريا وفق اتجاه عام شمال شرق – جنوب غرب، بطول حوالي 400 كم وعرض حوالي 100 كم، ويقدر معدل انزلاقه الشاقولي (Slip rate) بحوالي 0.3 مم/سنة، كما يقدر معدل تقصير القشرة الكلي عبر هذا النطاق الصدعي في منطقة دمشق بحوالي 2مم/سنة [9]، ويعتبر كل من صدعى بسيمة ودمشق من أهم الصدوع النشطة على امتداد الجزء الجنوبي الغربي للسلسلة التدمرية والتي قد تؤثر على منطقة الدراسة، ويُظهر الشكل (4-2) الوحدات التكتونية الرئيسية المؤثرة على منطقة الدراسة والبؤر الزلزالية للهـزـاتـ المسـجـلـةـ فيـ المـرـكـزـ الـوطـنـيـ لـلـلـزاـلـ وـالـتيـ يـزـيدـ قـدـرـهاـ عـنـ 2.5ـ درـجـةـ عـلـىـ مـقـيـاسـ رـيـخـترـ لـغاـيـةـ 2006ـ،ـ بـإـضـافـةـ لـآلـيـةـ الـبـؤـرـ الـزلـزـالـيـةـ [11].



الشكل رقم (4-2): الوحدات التكتونية الرئيسية المؤثرة على منطقة الدراسة بالإضافة إلى موقع البؤر الزلزالية وأآلية البؤر الزلزالية [alchalbi وأخرون، 2009]

والجدير بالذكر أن معظم الدراسات الزلزالية التاريخية تشير إلى أن جميع هذه الصدوع قادرة على توليد زلزال كبيرة تشكل خطراً زلزاًياً مهماً، ويعد زلزال 1759 الأحدث من بين الزلزال الكبيرة التي حدثت على امتداد الجزء الشمالي من هذه المنظومة وكان قدر ذلك الزلزال 7.4 على مقاييس ريختر [12].

كما يعتبر زلزال العقبة 1995 من أكبر الزلالز المسجلة في القرن العشرين وكان قدره 7.3 ريختر، وقد تبع هذا الزلزال نشاط زلزاًلي إلى الشمال بحوالي 500 كم وقد حدد مكان ازدياد هذا النشاط على صدع سرغايا وراسيا، ويتراوح قدر هذه الزلزال بين الصغيرة والمتوسطة [25].

2-4- الوضع الزلزاًلي في منطقة الدراسة

2-4-1- الزلزال التاريخية (Historical earthquake)

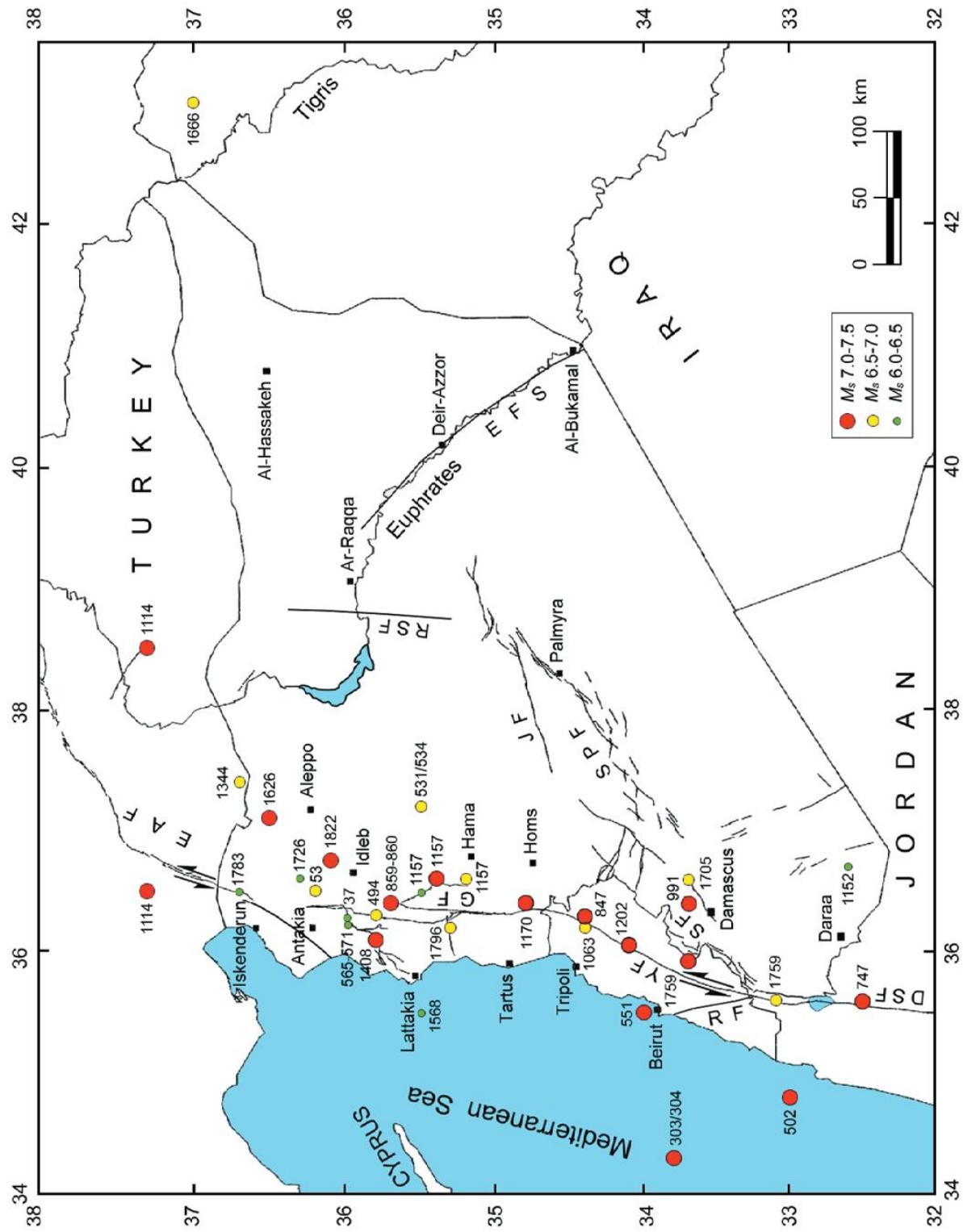
تعرف الزلالز التاريخية بأنها الأحداث الزلزاًلية التي وقعت قبل عام 1900 م، وبالتالي لم تسجل بواسطة محطات الرصد الزلزاًلي، بل اعتمد في تحديدها على الوثائق التاريخية المعاصرة لها والتي وصفت الآثار التدميري والظواهر المرافقة لها، كالمد البحري وتسمع التربة والانزلاق الصخري وغيرها، وإن لدراسة النشاط الزلزاًلي التاريخي دور هام في مجالات دراسة الخطير الزلزاًلي، حيث أنها تعكس الخواص الزلزاًلية لفترة زمنية كبيرة تتجاوز الألف عام.

قام العديد من الباحثين بجمع الوثائق المتوفرة في السجلات المحفوظة في المكتبات الأوروبية والعربية والسويسرية المركزية، حيث ورد فيها ذكر أكثر من 181 زلزال، حدثت بين عامي 1365 قبل الميلاد و1900 م في سوريا والمناطق المجاورة لها، وقد تم توثيق هذه الزلالز باللغة العربية واللاتينية والبيزنطية والسريانية، كما تبين من خلال دراسة هذه الوثائق وتحليلها أن بعض هذه الزلالز كان كبيراً وكان قدرها أكبر من سبع درجات على مقاييس ريختر مما سبب دماراً هائلاً في سوريا عموماً ومدينة دمشق خصوصاً [29, 12]، وقد أدرجت أهم الزلالز التاريخية المسجلة في سوريا مع شدتها ومكان حدوثها بالإضافة إلى الآثار الناتجة عنها في الجدول (C-1) ضمن ملحق البحث.

وتشير المراجع السابقة إلى أن منطقة الدراسة كانت قد تأثرت بشكل مباشر ببعض الزلالز التي وقعت في الجزء الجنوبي الغربي من سوريا في الأعوام (ميلادي): 991، 859، 847، 747، 1157، 1170، 1202، 1705، 1759، 1837.

يبين الشكل (5-2) أهم الزلالز التاريخية في سوريا والتي حدثت بالقرب من منطقة الدراسة [29].

(الشكل 5-2): أهم الزلازل التاريخية التي حدثت في سوريا (سبعينات وأخرون، 2005)



2-4-2- الزلزالية الحديثة (Instrumental Seismicity)

بدأ تسجيل الزلازل آلياً منذ عام 1900م وذلك بواسطة الشبكات العالمية للرصد الزلزالي، حيث سُجلت العديد من الأحداث الزلزالية في سوريا بالقرب من منطقة الدراسة على طول منظومة صدع البحر الميت وحزام الطي الانضغاطي التدمري وفق النشرات الزلزالية الصادرة عن هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS).

تم إنشاء شبكة المركز الوطني للزلازل في سورية عام 1995م حيث تم تركيب وتشغيل سنت وعشرون محطة حقلية أحادية المركبة قصيرة الدور، وعشرون محطة لرصد الحركات الأرضية القوية ثلاثة المركبات، وهي موزعة في جميع أنحاء القطر بحيث تغطي المناطق الهامة التي تعرضت لزلازل تاريخية مدمرة غرب سورية على طول الجزء الرئيسي من نظام البحر الميت الصدعي الممتد من الجنوب إلى الشمال، وذلك بهدف تخفيف الخطر الزلزالي في سورية.

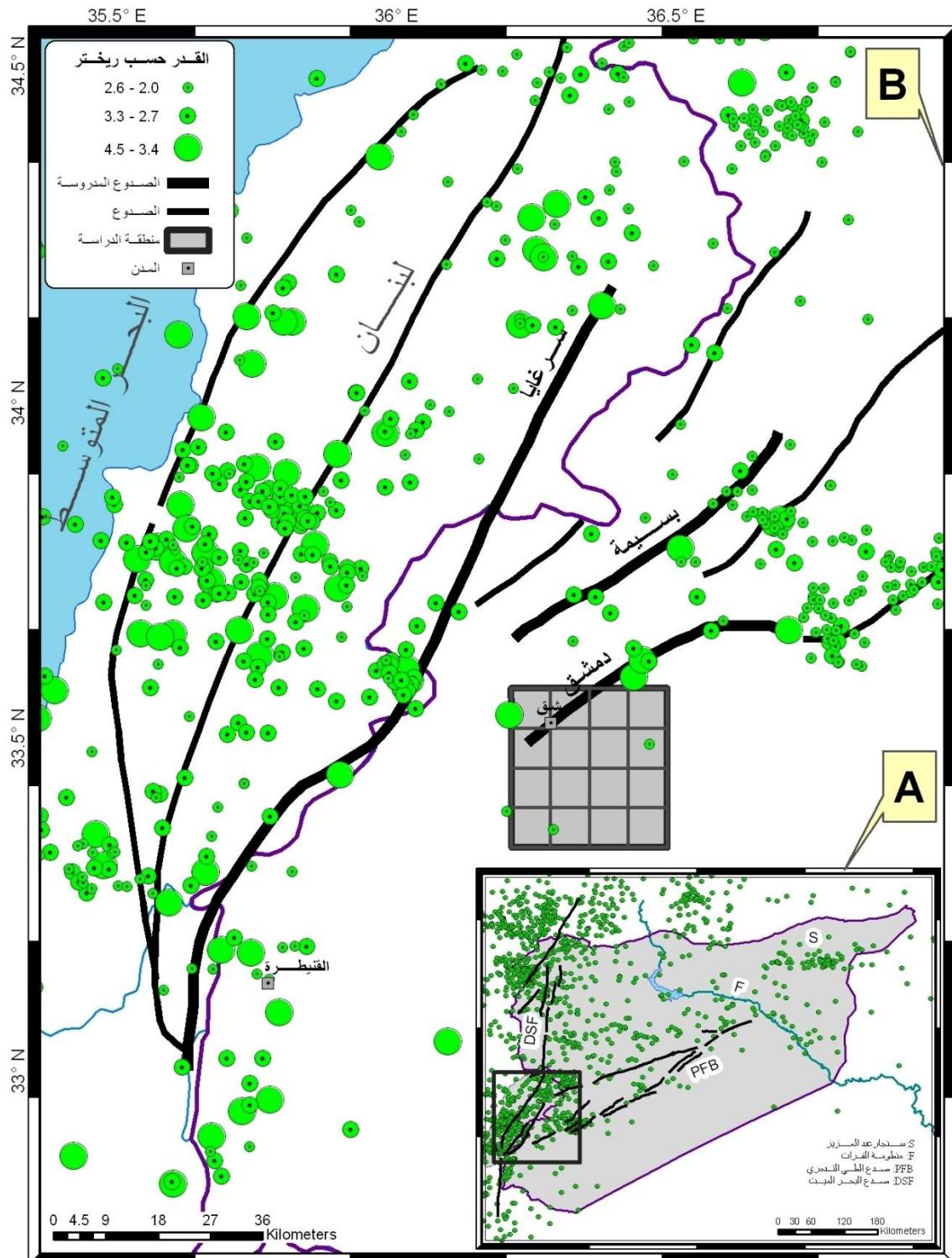
تم توسيع شبكة المركز الوطني للزلازل في بداية عام 2003م بتركيب وتشغيل سبع محطات في القسم الشمالي الشرقي من سورية، وتركيب وتشغيل شبكة رصد زلزالي رقمية متطرفة في عام 2007م، مؤلفة من أربع وعشرون محطة رصد زلزالي للحركات الخفيفة وعشرون محطة للحركات القوية وثلاث محطات واسعة الطيف.

تبث هذه المحطات الحقلية إشاراتها بشكل آني لحظي إلى محطة التسجيل المركزية في دمشق، ليتم تسجيلها وتحليلها ومعالجتها مباشرة ومعرفة موقع وقوة هذه الهزات وكافة الخصائص المتعلقة بهذه الأحداث الزلزالية.

سجلت محطات الرصد الزلزالي الآف الأحداث الزلزالية منذ بداية عملها حتى الآن [14]، ويظهر الشكل (6-2) (A) موقع الأحداث الزلزالية منذ عام 1995م وحتى بداية عام 2010م في سورية والمناطق المجاورة بقدر ($M > 2.0$)، حيث يلاحظ تركز الأحداث الزلزالية على طول منظومة صدع البحر الميت وحزام الطي الانضغاطي التدمري وبالقرب من منطقة الدراسة مع تمركز بكثافة أقل على امتداد منطقة وادي الفرات، كما يلاحظ تركز النشاط الزلزالي على طول بنية سنجار - عبد العزيز شمال شرق سورية، ويبين الشكل (6-2) (B) موقع الأحداث الزلزالية المسجلة في المركز الوطني للزلازل خلال نفس الفترة، كما يبين الشكل الصدوع المؤثرة على منطقة الدراسة، ونلاحظ تركز النشاط الزلزالي على الصدوع المدروسة والأقرب لمنطقة الدراسة والتي أشارت الدراسات الحديثة إلى نشاطها الزلزالي كما هو موضح في الشكل المذكور.

يفيد تحليل هذه التسجيلات الزلزالية ومعرفة موقع البؤر الزلزالية وآلية البؤرة الزلزالية في تحديد المصادر الزلزالية النشطة وخصائصها ومعرفة أعماقها، ونوعية واتجاه الحركة، إضافة إلى

الأدوار السائدة ومقدار السعات المسجلة، حيث كانت المعلومات المستنيرة من هذه التسجيلات واحدة من الأسس التي تم الاعتماد عليها في عملية النمذجة الرياضية لتحديد معاملات الصدوع المدروسة والمؤثرة على مدينة دمشق كمدخلات للبرنامج.



الشكل (2-6)(A): الأحداث الزلزالية المسجلة في المركز الوطني للزلزال بقدر $M > 2.0$ بين عامي 1995-2010، (B) الأحداث الزلزالية المسجلة مع الصدوع المدروسة في منطقة الدراسة

2-5- المصادر الزلزالية المؤثرة على منطقة الدراسة

تم في هذا البحث دراسة كل من الصدوع التالية سرغايا وبسيمة ودمشق كأحد أهم المصادر الزلزالية المؤثرة على مدينة دمشق والمناطق المجاورة، وذلك بناءً على الوضع الجيولوجي والزلزالي والتكتوني في سوريا، الذي أظهر وجود بنيتين رئيسيتين في المنطقة الجنوبية الغربية من سوريا، وهما بنية نظام صدع البحر الميت (DSFS) ذو الاتجاه العام شمال-جنوب والانزياح اليساري، وبنية سلسلة الطي التدمرية (PFB) ذات الاتجاه شمال شرق-جنوب غرب.

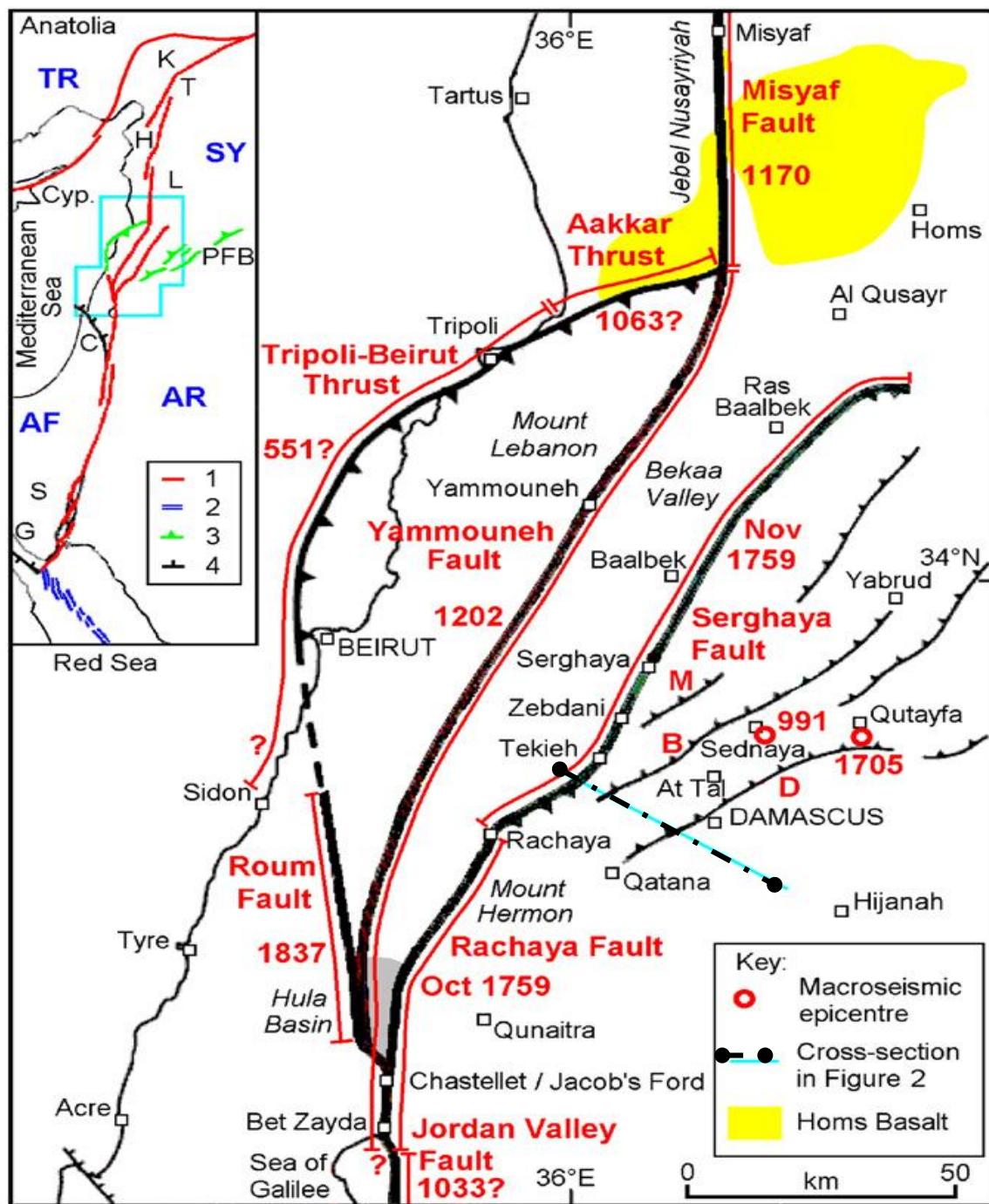
تعتبر الدراسات المرجعية صدع سرغايا واحداً من أهم الفروع النشطة المشكلة لنظام البحر الميت الصدعي ويعتبر الصدع الأقرب إلى منطقة الدراسة، وهو ذو اتجاه عام شمال شرق -جنوب غرب والحركة عليه هي من نمط الإزاحة الجانبية اليسارية ويمتد لمسافة 120 كم، وتشير الدراسات الزلزالية على أنه قادر على توليد هزة قد يفوق قدرها 7 درجات على مقياس ريختر، كما قدّر معدل الانزلاق على سطح الصدع بحوالي 1.4 مم/سنة مع إزاحة وسطية مقدارها حوالي 2 م من أجل كل حدث زلزالي [21].

تبين الدراسات الحديثة كدراسة أبو رومية وأخرون عام 2012 [10] وجود مؤشرات على معدلات انزلاق عالية على صدوع عكسية نشطة في الشمال الغربي من دمشق، وذلك من خلال تقدير معدلات الحركة الأرضية الشاقولية بتأثير التكتونيك النشط، عن طريق دراسة توزيعات الرباعي على المصاطب النهرية القديمة (Rivers Terraces) لنهر بردى، وإجراء قياس دقيق لارتفاع هذه المصاطب باستخدام تقنية نظام تحديد المواقع (DGPS)، ومن ثم تأريخ عمر هذه المصاطب. أظهرت هذه النتائج الحديثة وجود صدوع نشطة في المنطقة الشمالية الغربية من دمشق تمثلت في صدعي بسيمة ودمشق.

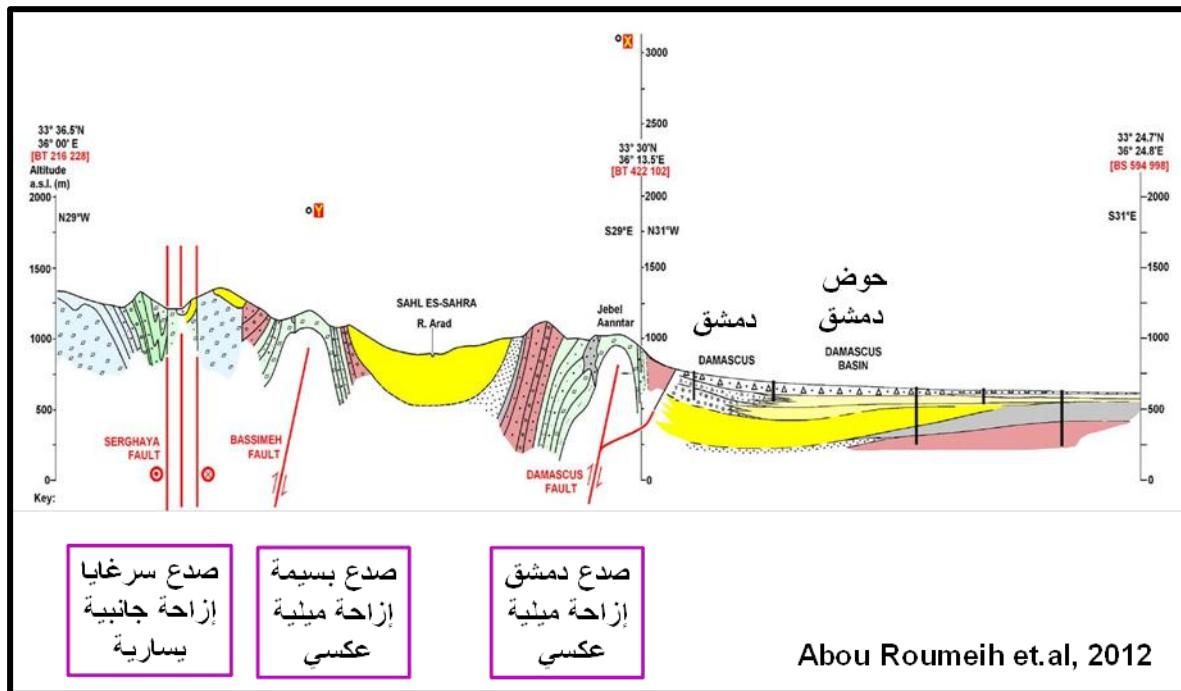
يبين الشكل (7-2) موقع الصدوع التي يمكن أن تشكل خطر زلزالياً على مدينة دمشق، ويظهر الشكل أيضاً موقع الأثر السطحي لمقطع عرضي يبدأ بالقرب من التكية ويستمر ليصل إلى منطقة الهيجانة قاطعاً مدينة دمشق، ويوضح الشكل (8-2) مقطع جيولوجي عرضي مار من مدينة دمشق بالإضافة للصدوع الثلاث سرغايا وبسيمة ودمشق، مبيناً عمق هذه الصدوع تحت الأرض أو مكتشفة وظاهرة على السطح.

يمتد صدع بسيمة بطول 60 كم تقربياً ويشكل أحد أهم صدوع الجزء الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية، وتقدر رمية الصدع حوالي 1000 م و معدل انزلاقه الشاقولي حوالي 1.1 ملم/سنة، ويمتد

صدع دمشق بطول حوالي 40 كم، محاذياً للسطح الجنوبي الشرقي لجبل قاسيون، وتقدير رمية الصدع حوالي 2500 م و معدل انزلاقه الشاقولي حوالي 2.8 ملم/سنة [10].



الشكل رقم (7-2): خارطة تكتونية توضح موقع الصدوع القريبة من منطقة الدراسة كصدع دمشق وبسمة وسرغايا وبباقي فروع البحر الميت (أيورومية وأخرون 2012).



الشكل (8-2): مقطع جيولوجي عرضي مار من مدينة دمشق ويقطع صدع سرغايا ودمشق وبسيمة [10].

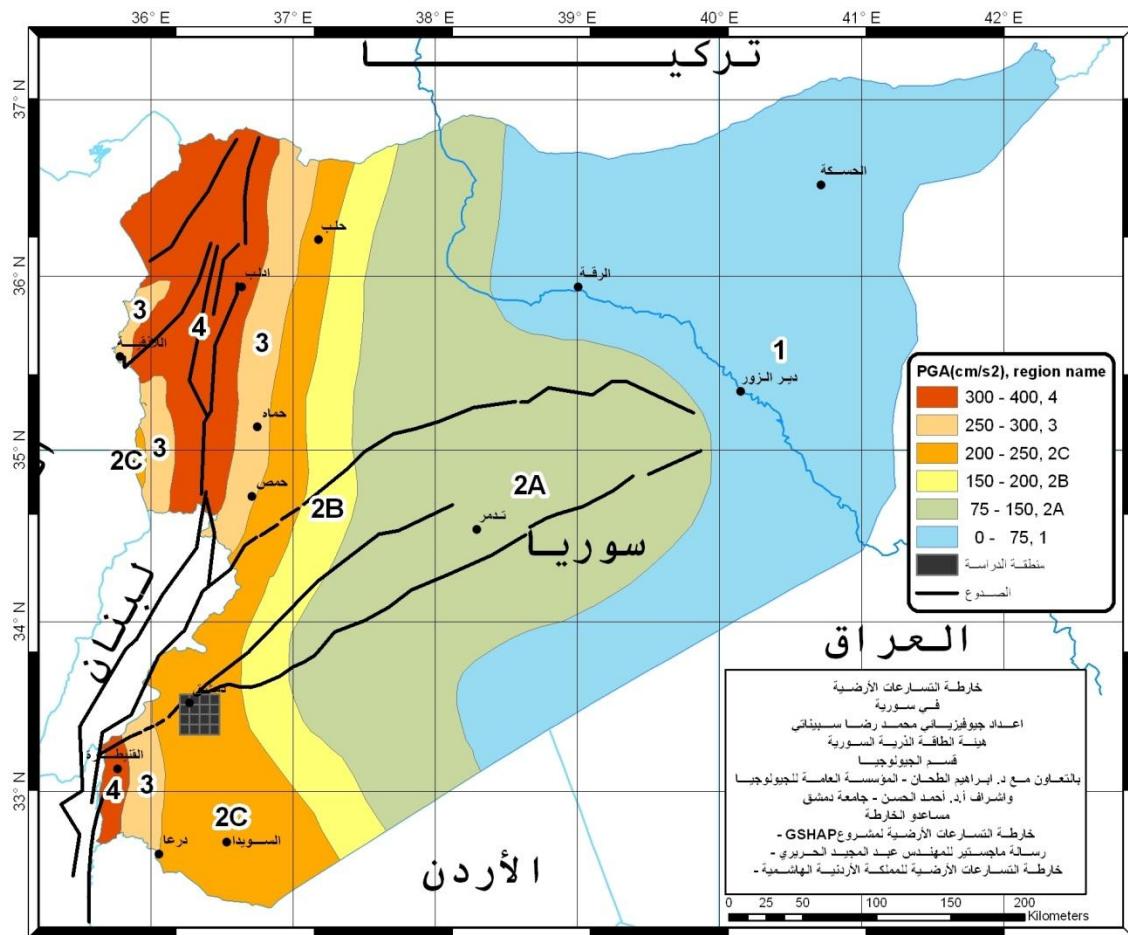
2-6- توصيف منطقة الدراسة وفق الكود العربي السوري:

وفقاً لملحق الكود العربي السوري الخاص بالزلزال [4] تم تقسيم سوريا إلى عدد من المناطق الزلزالية لا يتعدي الستة، اعتماداً على احتمال تعرضها للأخطار الزلزالية كما يلي:

- المنطقة (0): لا تُعد معرضة لزلزال تذكر (حتى درجة V). (MM V)
- المنطقة (1): لا تُعد معرضة لزلزال قوية مضرة (حتى درجة VI) أو لتسارع مقداره .0.075g
- المنطقة (2A): معرضة لزلزال متوسطة التسارع، تحدث تهدمات قريبة من المتوسطة (حتى أقل من درجة VII بقليل) أو لتسارع مقداره g 0.15
- المنطقة (2B): معرضة لزلزال متوسطة التسارع، تحدث تهدمات متوسطة (حتى درجة MM 4) أو لتسارع مقداره g 0.20
- المنطقة (2C): معرضة لزلزال متوسطة التسارع، تحدث تهدمات أكثر من المتوسطة (حتى أكبر من درجة VII بقليل) أو لتسارع مقداره g 0.25
- المنطقة (3): تكثر فيها الزلزال، وتُعد معرضة لزلزال عالية التسارع تحدث تهدمات ملحوظة (حتى درجة VIII) أو لتسارع مقداره g 0.30 أو أكبر بقليل.
- المنطقة (4): تكثر فيها الزلزال، وتُعد معرضة لزلزال عالية التسارع تحدث تهدمات فتاكة (أكبر من درجة VIII) أو لتسارع مقداره g 0.40 أو أكثر.

تقع منطقة الدراسة وفقاً للتقسيم المذكور أعلاه وبناءً على خارطة التسارات الأرضية الأعظمية للجمهورية العربية السورية، 2004 الموضحة في الشكل (2-9) في المنطقة الزلزالية 2C وهي المنطقة المعرضة لزلزال متوسطة التسارع مقداره (0.25) g حيث يفوق الأثر التدميري الدرجة (VII) على مقاييس ميركالي المعدل.

تضمن الملحق (هـ) من الكود السوري جدول بقيم التسارات الأرضية العظمى (PGA) المحتملة على الطبقة الصخرية الصلبة خلال خمسين عاماً مع احتمالية عدم تجاوز 90% لأهم المدن والبلدات في سوريا، وبلغت قيمة التسارع الأرضية العظمى المحتملة لأغلب المناطق والبلدات الواقعة ضمن منطقة الدراسة والواردة في هذا الجدول مثل دمشق وقطنا والكسوة (250) سـم/ثـا².



الشكل (2-9): خارطة التسارات الأرضية في سوريا المعتمدة في الكود العربي السوري 2004، ومنطقة الدراسة [4]



النَّمْذَجَةُ الرِّيَاضِيَّةُ لِتَسَارِعَاتِ الْحَرْكَاتِ الْأَرْضِيَّةِ فِي مَنْطَقَةِ الْدِرَاسَةِ

الفصل الثالث

النمذجة الرياضية لتسارعات الحركات الأرضية في منطقة الدراسة

1-3- مقدمة

تم وضع العديد من الخرائط الخاصة بالتسارعات الأرضية الناتجة عن زلزال محدد في النطاقات المحيطة بالمصادر المولدة لهذه الزلزال، وذلك من تسجيل تلك الحركات الأرضية عند حدوث زلزال كبير بأجهزة الرصد الزلزالية، ومن ثم معالجتها وحساب أطياف الاستجابة التصميمية منها، إلا أن هذه الأجهزة تكون عادة غير متوفرة بالكافحة المطلوبة بسبب كلفتها العالية نسبياً، إضافة لكون الزلزال الكبيرة ظاهرة نادرة الحدوث ويحتاج تكرار حدوثها أحياناً إلى عدة مئات من السنين، وعليه فقد أصبح من الصعب عملياً خلال فترة قصيرة تحضير قاعدة بيانات سجلات زلزال قوية بعده كاف لتحديد وحساب معاملات الحركة الأرضية التي تمكنا من تقييم الخطر الزلزالي بدقة، لهذا وبغية تخطي ثغرة غياب معطيات الرصد الزلزالي طويل الأمد، كان لابد من الاعتماد على طرائق النمذجة الرياضية، التي تعتمد المعلومات النظرية لفيزياء المصادر المولدة للزلزال ولانتشار الأمواج الزلزالية من جهة، وعلى قاعدة بيانات المعطيات الجيولوجية والليتولوجية والبنيوية والهيدروجيولوجية والجيوتكنيكية والجيوفيزياية والتكتونية والسيسموتكتونية والزلزالية التاريخية المتوفرة من جهة أخرى. أفادت تلك النماذج إلى حد كبير في وضع خرائط التسارعات الأرضية وصولاً إلى وضع التصاميم الهندسية للأبنية المقاومة للزلزال بغية تخفيف الأخطار الزلزالية في المدن، وتجلت أهمية تلك النماذج في توليد السجلات الزلزالية الصناعية، التي تحاكي الحركات الأرضية المحتملة الحدوث من مصادر زلزالية محددة في مناطق لم تتعرض لزلزال كبيرة في العصر الحديث.

3-2- خلفية تاريخية

تم استخدام العديد من التقنيات الحسابية التي تعتمد على طرائق النمذجة الرياضية أحادية البعد وثنائية البعد لتقدير الحركة الأرضية وحساب السجلات الصناعية في موقع معينة [27]، ومن أهم هذه الطرائق ذكر :

- طريقة المحاكاة العشوائية (Stochastic simulation) وتعتمد النموذج الأحادي البعد، وهذه الطريقة نوعان حسب توصيف المصدر الزلزالي: المصادر الزلزالية النقطية (One Point Source) والمصادر الزلزالية محددة الأبعاد (Finite Fault Rupture Earthquakes) والتي يكون

المصدر الزلزالي فيها مؤلف من مجموعة المصادر النقاطية أو العناصر المحددة.

- نماذج المحاكاة التحديدية (Deterministic Simulation Models) وتعتمد على موديلات متعددة منها تقانة العناصر المحددة والأطياف الوهمية وتعتمد النموذج الثنائي والثلاثي الأبعاد.
 - طريقة توابع غرين التجريبية (Empirical Green's Function Method) وتعتمد على نمذجة مختلف التأثيرات الفيزيائية لمسار الانتشار بين المصدر والموقع.
 - الطريقة الهجينية (Hybrid Simulation Methods) وتشمل اسهامات كافة التقانات المستخدمة أعلاه.
- و تعد الطرائق أحادية البعد الأسهل والأكثر انتشاراً لمعالجة نوع آلية المصدر الزلزالي في الحسابات.

3-3- إعداد قاعدة البيانات الخاصة بنموذج المدخلات (الموديل)

- تم تجميع الوثائق والقارير العلمية والخرائط المتعلقة بمنطقة الدراسة وأتمتها بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافي (GIS) وبناء قاعدة المعطيات وقد تضمنت تلك المعطيات ما يلي:
- معطيات جيولوجية وجيوفيزيائية وبنوية تم الحصول عليها من الخرائط الجيولوجية والتكتونية بمختلف المقاييس، وبخاصة الخارطة الجيولوجية لمدينة دمشق مقياس 1/200,000 ، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية [2]، ومن قياسات الضجيج الزلزالي لحساب خصائص الاستجابة الديناميكية للتربة [1]، ومعطيات السبور الجيوتكنيكية حيث تم تحديد أنواع الصخور المختلفة وتتابعها الليتولوجي وسمakanتها في حوض دمشق [2].
 - معطيات زلزالية وبنوية تم الحصول عليها من المعلومات الزلزالية التاريخية حول الزلزال التي أثرت على مدينة دمشق والمناطق المجاورة تاريخياً [27]، ومن الزلزال الحديثة المسجلة في شبكات الرصد الزلزالية العالمية والمحليّة [14]، ومن الدراسات الحديثة للصدوع النشطة [10, 11, 21]، وذلك لتحديد المصادر зلزالية المحيطة بمدينة دمشق ومعاملاتها.

4-4- الأنظمة والبرمجيات المستخدمة

- تطلب تنفيذ هذه الدراسة استخدام برامج حاسوبية مختلفة تعمل على نظامي Windows و DOS من أجل بناء قاعدة المعطيات ومعالجة البيانات والنتائج وهذه البرامج هي:
- برمجيات تحليل ومعالجة الاشارات الزلزالية (Seisan, GeoDas).

- نظام المعلومات الجغرافي (GIS) لرقمنة الخرائط وعمل الشرائح المختلفة ولمعالجة البيانات وعمل تحليل مكاني للبؤر الزلزالية والمصادر الزلزالية ومعالجة النتائج ورسم خرائط منحنيات تساوي التسارات لمنطقة الدراسة.
- برامج النمذجة الرياضية لمحاكاة الحركة الأرضية بعد توصيف مجموعة من العوامل المختلفة الخاصة بالمصدر الزلزالي وتاثيرات المسار والموقع، وهي برنامج SMSIM من Boore [18]، وبرنامج EXSIM من Dariush Atkinson [17]، (2003)، (2005).

3-5- التقانة المعتمدة

- تم الاعتماد على طريقة المحاكاة العشوائية (Stochastic Simulation) في الحسابات كونها تعطي نتائج أفضل للحركات الأرضية لأدوار الاهتزاز ضمن المجالات التي تهم المهندسين الانشائيين (0.2- 25) ثانية، وقد تم استخدام مجموعة من البرمجيات بلغة الفورتران وهي:
- SMSIM : لنذجة الحركات الأرضية المتولدة عن مصادر زلزالية نقطية [17] (One Point Source).
 - EXSIM : لنذجة الحركات الأرضية المتولدة عن مصادر زلزالية محددة الأبعاد [18]. وتعتبر النمذجة بالاعتماد على المصادر الزلزالية النقطية (والمستخدمة في برنامج SMSIM) المبدأ الأساسي المعتمد في عدد من خوارزميات محاكاة الحركات الأرضية ونماذج المصادر الزلزالية محددة الأبعاد بطريقة الاحتمال العشوائي، بما في ذلك برنامج EXSIM [18].

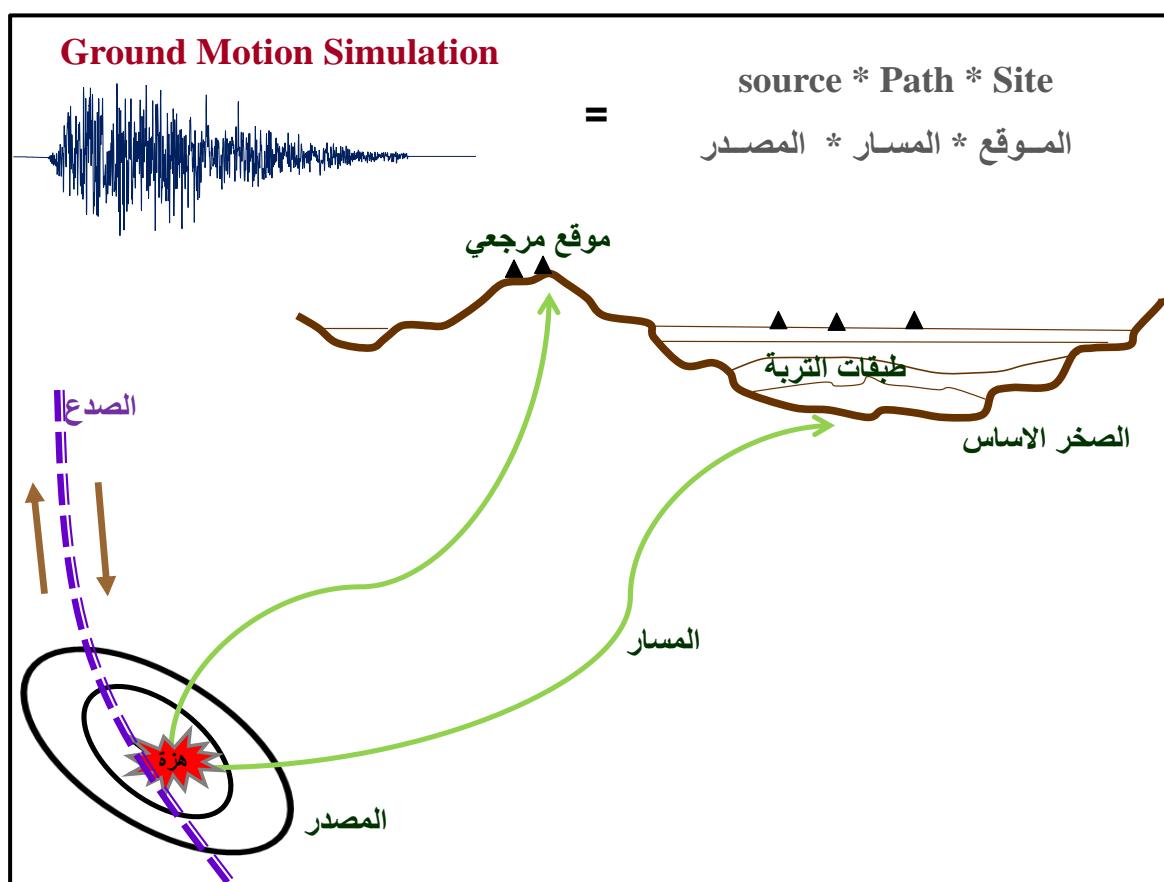
3-6- الطريقة المستخدمة في النمذجة

تقوم الدراسة الحالية على استخدام طريقة بسيطة لمحاكاة الحركة، وقد استخدمت هذه الطريقة على نطاق واسع لحساب معاملات الحركات الأرضية لمناطق عديدة في بلدان العالم التي لا تتوفر فيها تسجيلات التسارات الأرضية القوية، وقد قدمها Boore لأول مرة عام 1983 [14] وقام بتعديلها عام 2003 [17].

تعتمد فكرة الخوارزمية التي وضعها Boore على نذجة الحركة الأرضية باعتبارها ناتجة عن تأثير الخصائص الفيزيائية المختلفة لوسط الانتشار أو المسار (Path) على الإشارة المصدرية التي تمثل المصدر الزلزالي (Source) وخصائصه الفيزيائية والحركية، إضافةً إلى تأثير الخصائص الجيولوجية للموقع المدروس (Site Effect).

هذا التأثير يمكن أن يعبر عنه رياضياً من خلال عملية التثبيت (Convolution) بين هذه المركبات الثلاث (المصدر والمسار والموقع) بعد تمثيلها من خلال توابع مناسبة تحمل كافة خصائص كل مركبة من هذه المركبات، حيث يمكن بهذه الطريقة الحصول على سجل زمني للحركة الأرضية يحاكي السجل الزمني للهزة المتوقعة في الموقع، وتعتمد دقة المحاكاة على دقة الفرضيات المتعلقة بالخصائص الفيزيائية والحركية المختلفة لكل مركبة من هذه المركبات.

يعتمد مبدأ الطريقة على فكرة تحليل طيف الحركة الأرضية في الموقع إلى مساهمات ناتجة عن كل من المصدر الزلزالي (Source) والتأثيرات الفيزيائية المختلفة لوسط الانتشار أو المسار (Path) والخصائص الجيولوجية للموقع (Site Effect) كما هو موضح بالشكل (1-3).



الشكل (1-3): نمذجة الحركات الأرضية [17]

ف عند حدوث هزة على صدع ما فإن التمزق الذي يحصل على هذا الصدع تنتج عنه إزاحة، وهذه الإزاحة يمكن تمثيلها بتابع المصدر الزلزالي والذي يمثل المركبة الأولى من نمذجة الإشارة الزلزالية، هذه الهزة سوف تنتشر عبر الوسط ضمن مسار له خصائص جيوفيزيائية محددة من سرعة وتخامد وكثافات وغيرها من الخصائص، يتم تمثيل هذه المؤثرات المختلفة بتابع رياضي يسمى تابع المسار، والذي يمثل المركبة الثانية في نمذجة الإشارة الزلزالية، تتابع هذه الهزة مع

تأثيرات المسار التي أضيفت عليها انتشارها لتصل الى الموقع، لنجصل على تابع استجابة الموقع أو ديناميكية الموقع كون لكل موقع خصائص محددة كنوعية التربة وتماسكها وغيرها من الخصائص، هذا التابع يمثل المركبة الثالثة في نمذجة الاشارة الزلزالية.

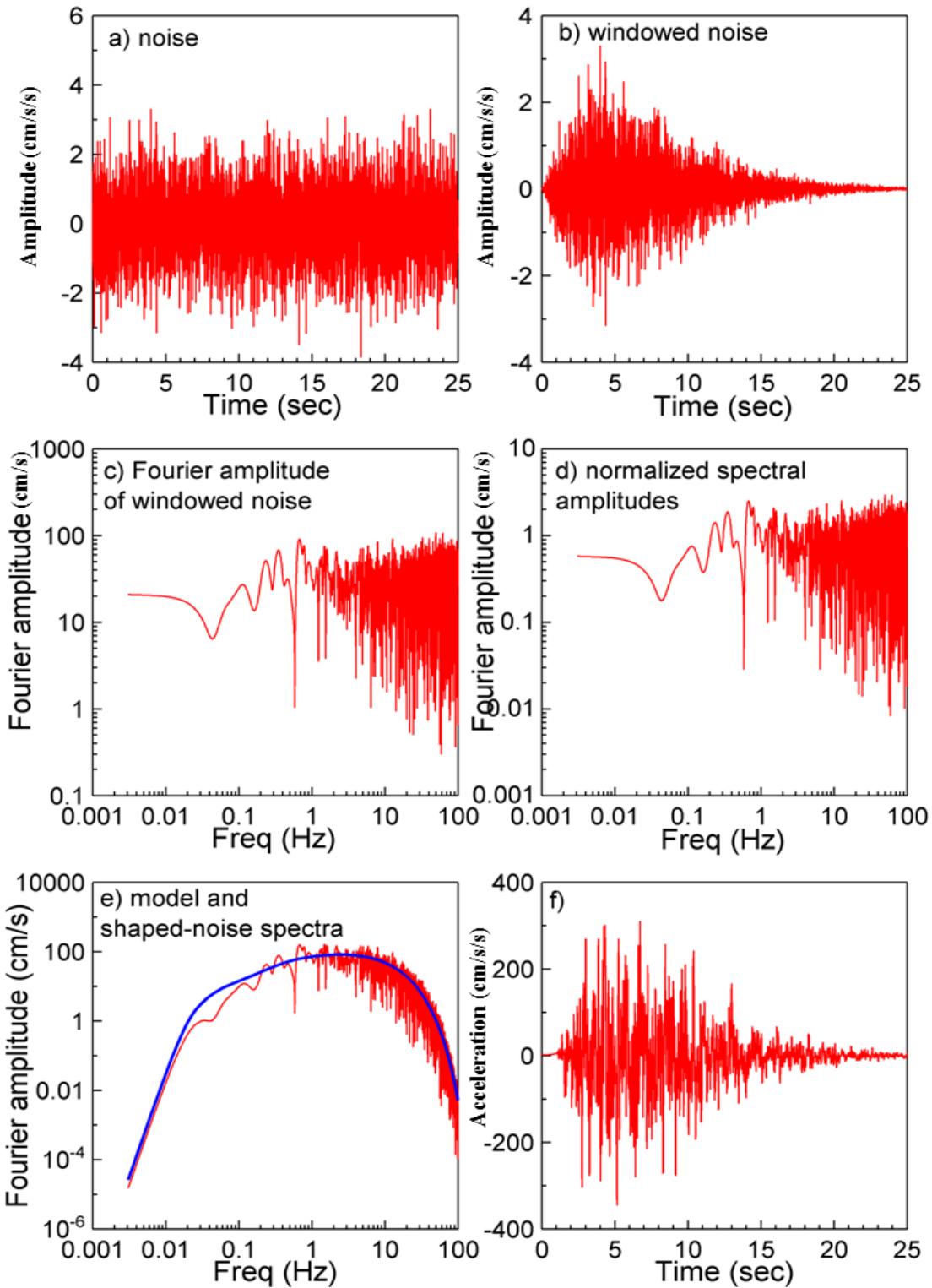
إن القطار الموجي أو الإشارة الزلزالية الصناعية نحصل عليها من خلال الثنائي الرياضي (Convolution) بين العوامل أو التوابع الرياضية الثلاث المذكورة أعلاه والمؤثرة بعملية النمذجة.

3-7- خطوات النمذجة

يعتمد مبدأ الطريقة على توليد سلسلة زمنية من الضجيج العشوائي الذي يحتوي كامل ترددات الطيف والذي يسمى بالضجيج الأبيض (White Noise) ثم يتم جداء هذه السلسلة الزمنية بتتابع له شكل مغلف إشارة زلزالية كما هو مبين في الشكل (3-2)، ومن ثم يتم حساب طيف السعة للسلسلة الزمنية الناتجة، وذلك بالاعتماد على تحويل فورييه (Fourier transform)، يتم بعدها جداء الطيف الناتج بطيف المصدر الزلزالي، وهو تابع رياضي يتم تحديده بالاعتماد على الخصائص الفيزيائية والحركية للمصدر الزلزالي، يتم بعدها العودة بالطيف الناتج إلى مجال الزمن من خلال تحويل فورييه العكسي للحصول على السلسلة الزمنية التي تحاكي السجل الزلزالي الذي يمكن أن يتولد عن المصدر الزلزالي المدروس، ويمكن تلخيص مراحل الوصول للسجل الزمني كما هو موضح بالأشكال الجزئية الستة (a, b, c, d, e, f) من الشكل (3-2) وفق مايلي:

- توليد سلسلة زمنية من الضجيج الأبيض (White Noise) يحتوي على كامل الترددات الطيفية الشكل (a-2-3).
- جداء سلسلة الضجيج الأبيض بتتابع رياضي لتأخذ السلسلة الزمنية شكل التسجيل الزلزالي الحقيقي (Windowed Noise) كما هو موضح بالشكل (b-2-3).
- حساب طيف السعة للتسجيل الناتج بالاعتماد على تحويل فورييه (Fourier Transform) والحصول على تابع بدلالة التردد وفق ما هو واضح في الشكل (c-2-3).
- نسب القيمة السعوية للطيف إلى الواحد بتقسيم طيف فورييه على أعلى قيمة مطال سعوي لطيف فورييه (Normalized Spectral Amplitude) وفق الشكل (d-2-3).
- جداء الطيف المنسوبة لقيمة الواحد بالطيف النموذجي للمصدر الزلزالي المدروس الشكل (e-2-3) حيث يتم تضخيم الترددات الخاصة بالمصدر الزلزالي، ويظهر الشكل (3-3) توابع المصدر الزلزالي (في مجال الزمن وفي مجال التردد) لـهزتين بقوة 5 و 7 درجات.

- تحويل الطيف الناتج بدلالة التردد الى مجال الزمن عن طريق تحويل فورييه العكسي للحصول على السجل الزمني الصنعي كما هو موضح في الشكل (3-2-3).

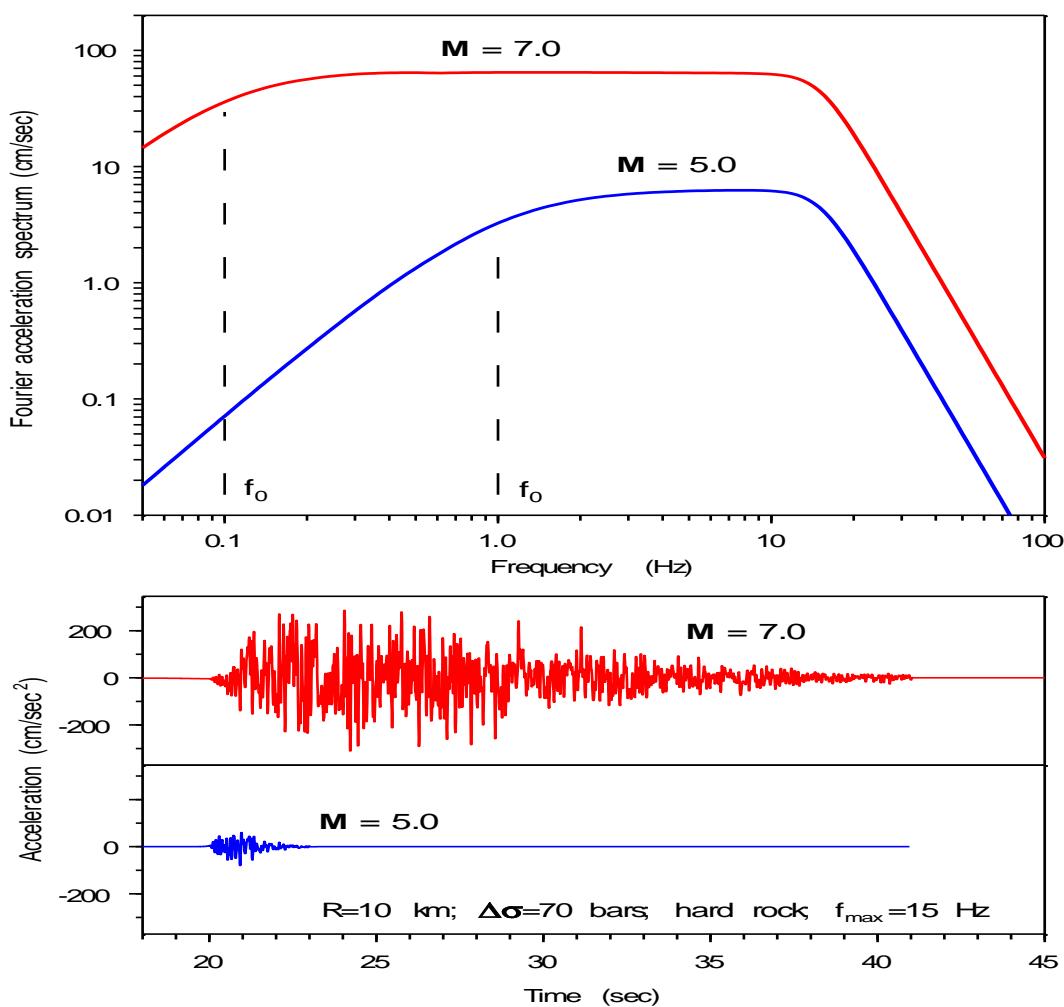


الشكل رقم (3-2): مراحل النمذجة الرياضية للوصول للسجل الزمني للمصدر الزلزالي، [16]

3-8- تحديد طيف فورييه النموذجي للمصدر الزلزالي

يعتبر تحديد طيف فورييه النموذجي للمصدر الزلزالي أحد أهم المعاملات الخاصة بالمصدر الزلزالي كتابع لقدر الزلزال، ويتم عادةً تحديد هذا الطيف وفق المستويين الاستثماري والحدى بما يتناسب مع القدر الأعظمي الذي يمكن أن ينتج عن المصدر الزلزالي المدروس (~7-5) درجات والمتعلق بالسجل الزلزالي التاريخي والمعاصر والدراسات التكتونية للمنطقة المدروسة.

يتم تحديد هذا الطيف بالاعتماد على الخصائص الفيزيائية والحركية للمصدر الزلزالي ومن التسجيلات الزلزالية الحديثة الحاصلة على المصدر المدروس، يظهر الشكل (3-3) طيف فورييه لهزتين بقدر 5 درجات (القدر الاستثماري) وبقدر 7 درجات (القدر الأعظمي - الحدى)، f_0 التردد الركني (Corner Frequency) وهو التردد الموافق لنقطة النقاء القسم الأفقي مع القسم المتخدم من الطيف، R بعد موقع التسجيل عن المصدر الزلزالي، $\Delta\sigma$ هبوط الاجهاد، f_{max} قيمة التردد الأعظمي.

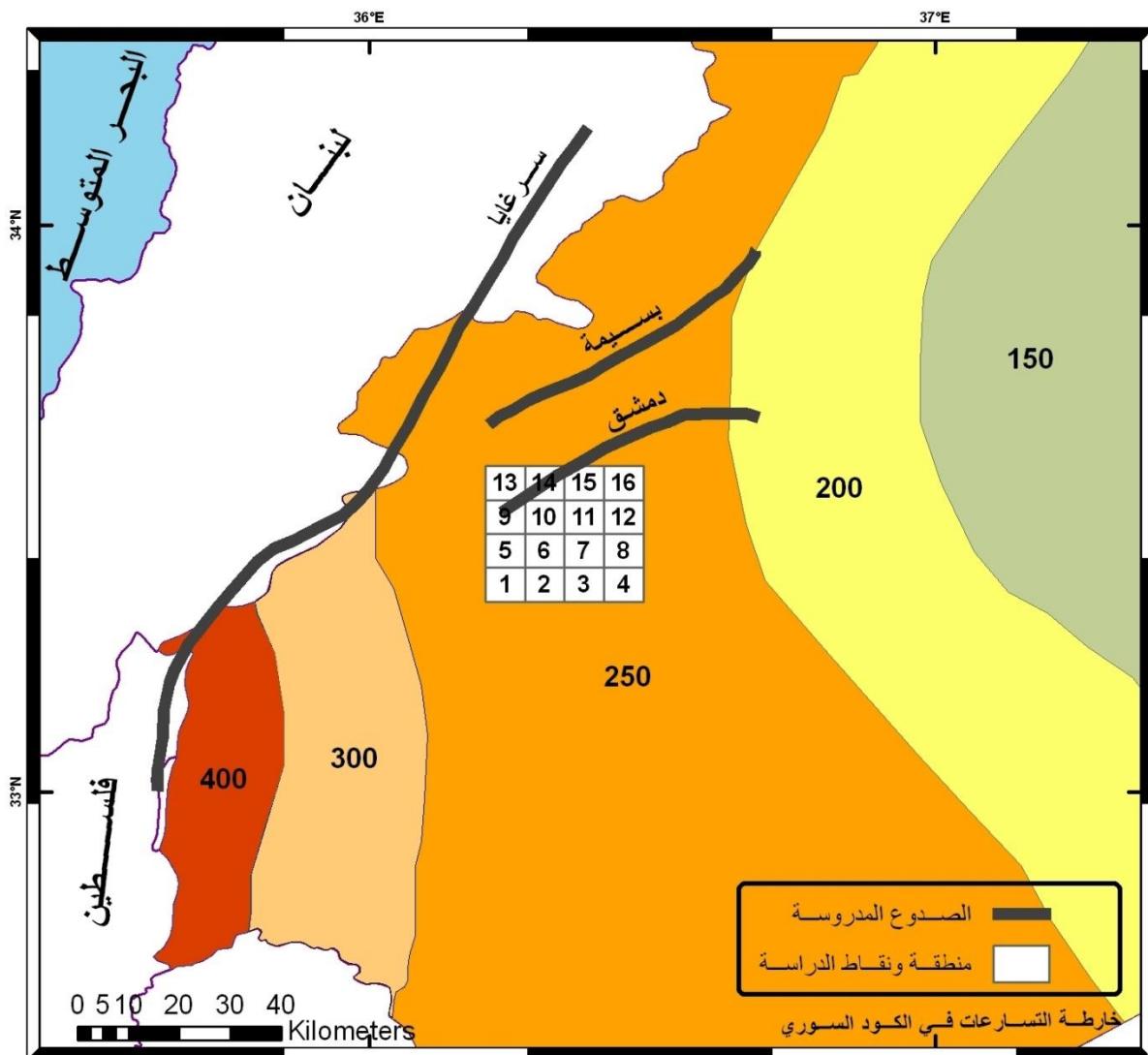


الشكل رقم (3-3): تسجيل زمني لهزتين ذات قدر زلزالي (5) و (7) ريختر ، بالإضافة إلى طيف فورييه لكلا الهزتين.

3-9- بناء نموذج المدخلات الخاص بمنطقة الدراسة

تم تطبيق نمذجة الحركة الأرضية بالاعتماد على طريقة المحاكاة العشوائية (Stochastic) في منطقة الدراسة، وذلك لمحاكاة الحركة الأرضية للزلزال بدلاًة التسارع.

تقع منطقة الدراسة في المجال بين خطى الطول: (36.20 – 36.48) وخطى العرض: - 33.34، 33.57، وتشكل مستطيل بأبعاد (26×25)كم، وقد تم تقسيم المنطقة والتي تبلغ مساحتها (650)كم² إلى 16 نطاقاً، وتبلغ مساحة كل نطاق (6.25)كم² ، ويمثل نقطة واحدة كما هو واضح في الشكل رقم (4-3).



الشكل (4-3): التساعات الأرضية الواردة في الكود العربي السوري 2004 لمنطقة الدراسة والمناطق المجاورة.

تمت نمذجة الحركات الأرضية للمصادر الزلزالية الثلاثة التالية صدع سرغايا وصدع بسيمة وصدع دمشق وهي المصادر الزلزالية ذات التأثير المباشر على منطقة الدراسة وفقاً لأحدث الدراسات الزلزالية والتكتونية كما هو موضح بالشكل (4-3).

طلبت عملية النمذجة الرياضية للحركة الأرضية المتوقعة تحديد العديد من المعاملات ذكر منها: المعاملات الخاصة بالمصدر الزلالي كتحديد خصائص المصدر، وتحديد أكبر قدر زلالي متوقع من كل مصدر زلالي (M_{max})، وهناك عدة طرائق لحسابه، ويتم غالباً اعتبار أكبر حدث زلالي وقع على الصدع المدروس، أو يتم حسابه من المعرفة الدقيقة لمعاملات المصدر الزلالي وبخاصة أبعاده ومعدل الحركة عليه، يتم ذلك من خلال حساب العزم الزلالي (M_0) والذي يعتبر أفضل المقاييس لقوة الزلزال ويعتمد حسابه على معرفة معدل الانزلاق للمصدر الزلالي ومساحة سطح التمزق الصدعي ومعامل القص، وفق علاقات رياضية معروفة، بالإضافة للعديد من العلاقات الرياضية التي تربط القدر الزلالي بالعزم الزلالي، كما تتطلب عملية النمذجة معرفة مقدار هبوط الاجهاد (Stress Drop) للمصدر المدروس قبل وبعد الهزة، بالإضافة إلى تحديد معاملات المسار وتتضمن معامل الانتشار الهندسي (Geometrical Spreading) ومعامل الجودة (Quality Factor)، وأخيراً معاملات تأثير الموقع في حال تمت دراستها.

تم تحديد هذه المعاملات بناءً على الدراسات الزلالية السابقة [29]، وعلى الخريطة الجيولوجية [2] والدراسات التكتونية الحديثة في منطقة الدراسة والمناطق المحيطة بها [10, 11, 21]، ومن الدراسات الخاصة بتأثر الأمواج الزلالية [7]، وباستخدام العديد من العلاقات الرياضية، بالإضافة إلى النشرات الزلالية للتسجيلات الزلالية في المركز الوطني للزلزال [14]، حيث تمت الاستفادة من التوزع مع العمق لبؤر الهزات المحلية المسجلة في المنطقة في تحديد المجال العميق الوسطي الفعال للمصادر الزلالية المؤثرة على منطقة الدراسة، إذ تبين أن 90% من بؤر الهزات الأرضية في المنطقة يتركز في المجال العميق (5-14)كم، وكما هو مبين في الجدول (3-1) والذي يظهر بعض أهم معاملات الصدوع المدروسة في النمذجة الرياضية لمنطقة الدراسة.

الجدول (3-1) معاملات المصادر الزلالية المدروسة المؤثرة على منطقة الدراسة.

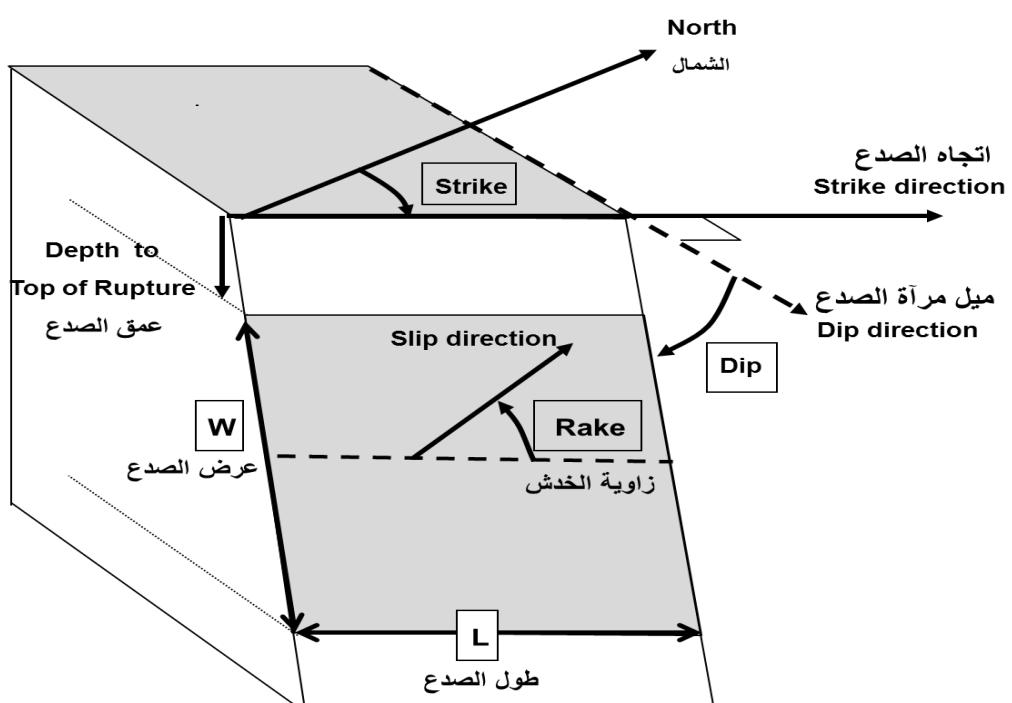
Fault name اسم الصدع	Unit الوحدة	Serghaya سرغايا	Damascus دمشق	Bassimeh بسيمه
أكبر قدر زلالي متوقع - M_{max}	-	7.4	5.0	7.0
هبوط الاجهاد - Stress drop	Bar	90	140	140
الاتجاه - Strike	degree	20	61	55
ميل مرآة الصدع - Dip	degree	70	75	75
عمق الصدع - Depth of faults	km	0	0.3	0.25
طول الصدع - Fault length	km	100	40	60
عرض الصدع - Fault width	km	14	14	14
سرعة أمواج القص - Beta	km/s ²	3.7	3.7	3.7
الكثافة (crustal density)	gm/cc	2.8	2.8	2.8
نسبة التخادم - Damping %	-	5.0	5.0	5.0
معامل الجودة - Quality factor	-	310	310	310

علمًا بأنه قد تم إدراج كافة المعاملات الخاصة بملف ادخال برنامج EXSIM والمتعلقة بالنماذج الرياضية للمصادرزلزالية الثلاثة المدروسة في الملحق (C-2)، بالإضافة إلى إدراج المعادلات وال العلاقات الرياضية المستخدمة في النماذج والمتعلقة بكافة المعاملات المستخدمة وكيفية حسابها كما هو موضح في الملحق (C-3).

3-10-3 - معاملات المصادرزلزالية وأنواعها

يمكن تعريف عملية التصدع (Faulting) بأنها عبارة عن كسر مفاجئ يحصل في صخور القشرة الأرضية بسبب تراكم الإجهاد إلى الحد الذي يفوق قدرة الصخر على تحمل هذا الإجهاد، حيث أن بعض هذه الصدوع متكتشف ويشاهد على سطح الأرض ومعظمها غير متكتشف على السطح. عملية النماذج تتطلب تحديد معاملات المصدرزلزالي بشكل دقيق، ومن أهم هذه المعاملات: نوع الصدع (عادي-عكسى - إزاحة جانبية)، سمت اتجاه الصدع (Strike)، ميل مرآة الصدع عن الأفق (Dip)، عمق الطرف العلوي للصدع، هبوط الإجهاد (Stress drop)، قدر العزم الزلزالي الأعظمي المتوقع على الصدع (Mw)، طول الصدع، عرض الصدع، وغيرها من المعاملات والخصائص الفيزيائية للمصدرزلزالي كما هو موضح في الشكل (5-3).

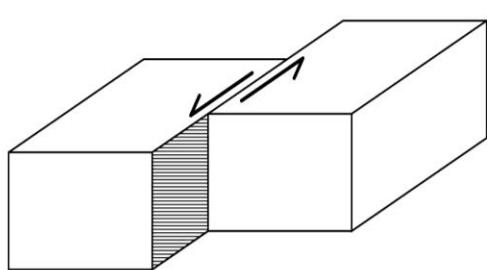
يُعرف سمت اتجاه الصدع (Strike) بأنه الزاوية السطحية بين اتجاه الشمال وخط اتجاه الصدع، ويُعرف ميل مرآة الصدع (Dip) بأنه الزاوية بين الأفق ومرآة الصدع، في حين تُعرف زاوية الخدش (Rake angle) بأنها الزاوية بين محور اتجاه الصدع المرجعي (Strike direction) واتجاه انزلاق الصدع (Slip direction) كما هو موضح بالشكل (5-3).



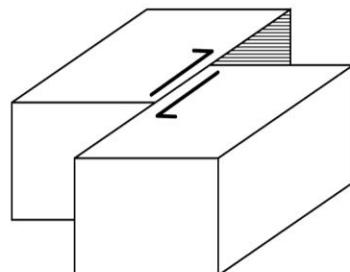
الشكل (5-3): معاملات المصادرزلزالي.

ويمكننا تمييز نوعين رئيسيين من الصدوع حسب حركتها وإزاحتها:

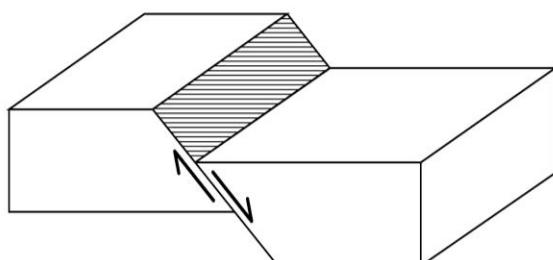
- صدوع ذات إزاحة جانبية (Lateral strike slip faults) وهي بدورها تقسم إلى نوعين: صدوع ذات إزاحة جانبية يمينية أو يسارية (Left or Right) كما هو موضح بالشكل (6-3).
- صدوع ذات إزاحة ميلية (Dip-slip faults) وهي تقسم بدورها إلى نوعين: صدوع عكسية (Reverse)، حيث يكون حقل الإجهاد على جانبي الصدع ضغطي، وصدوع عادي (Normal) حيث يكون حقل الإجهاد على جانبي الصدع شدي، وتقع معظم الزلالز في نطاق الصدوع على حدود الصفائح التكتونية (Tectonic plate) وتُعرف بالزلالز بين الصفيحة، كما تقع بعض الزلالز في داخل جسم الصفيحة التكتونية وتسمى في هذه الحال الزلالز داخل الصفيحة.



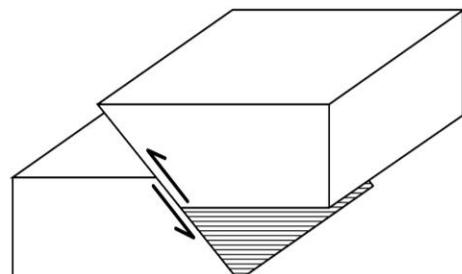
Left-lateral strike-slip fault
صدع ازاحة جانبية يسارية



Right-lateral strike-slip fault
صدع ازاحة جانبية يمينية

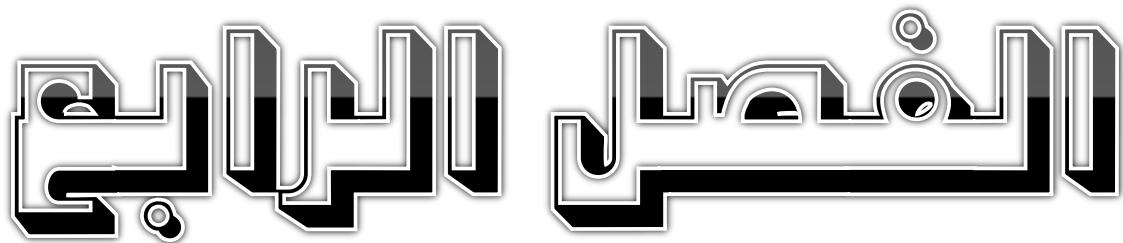


Normal dip-slip fault
صدع عادي ذو ازاحة ميلية



Reverse dip-slip fault
صدع عكسي ذو ازاحة ميلية

الشكل رقم (6-3) أنواع الصدوع حسب إزاحتها واتجاه حركتها.



الخطير الزلزال في مدينة دمشق
بدلة التسارات الأرضية

الفصل الرابع

الخطر الزلزالي في مدينة دمشق بدلالة التسارات الأرضية

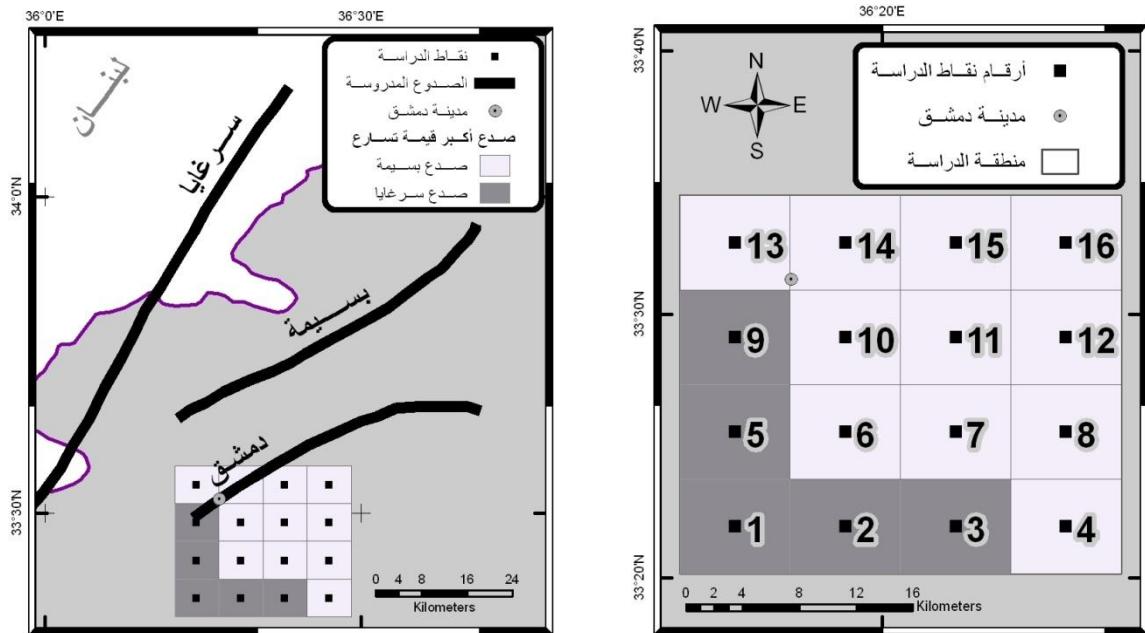
1-4 - مقدمة

تم في هذا الفصل حساب قيم التسارات الأرضية الأعظمية من خلال عملية النمذجة الرياضية للحركات الأرضية التي قد تتولد عن الصدوع الثلاثة النشطة والقريبة من منطقة الدراسة على الصخر الأساس أي تحت التربات دون إدخال تأثير الموقع المحلي، وإدخال تأثير الخصائص الفيزيائية المختلفة لوسط الانتشار، وتمثل قيم هذه التسارات المخرجات الأساسية التي يتم الحصول عليها بطريقة المحاكاة العشوائية باستخدام برنامج EXSIM، ثم تمت معالجة هذه النتائج من خلال نظام المعلومات الجغرافي وإيجاد خرائط تساوي التسارات (Acceleration contour maps) للمنطقة المدروسة وإظهارها على خريطة غوغل والخريطة الإدارية لمدينة دمشق والمناطق المجاورة.

4-2 - حساب التسارات الأرضية الأعظمية

تم حساب تأثير كل مصدر زلزالي على كامل منطقة الدراسة وذلك بحساب قيم التسارات الأرضية الأعظمية الناتجة من كل مصدر مكاني عند صخور الأساس، لينتج لدينا ثلاثة قيم للتسارع الأرضي عند كل نقطة من نقاط الدراسة، ومن ثم اعتماد أكبر قيمة من القيم الناتجة عن المصادر الزلزالية كقيمة قصوى للتسارع في تلك النقطة كما هو موضح في الجدول (1-4)، علماً بأن القيم العظمى للتسارع لأغلب النقاط كانت ناتجة عن صدع بسيمة كونه الأقرب إلى منطقة الدراسة، في حين كانت قيمة التسارع الأرضي في النقاط (1، 2، 3، 5، 9) ناتجة عن صدع سرغايا، وبلغت أكبر قيمة للتسارع على الصخر الأساس في النقطة رقم (14) والناتجة عن صدع بسيمة، حيث بلغت قيمة التسارع الأرضي منسوباً إلى تسارع الجاذبية الأرضية 0.222 g ، وكانت أقل قيمة للتسارع الأرضي في النقطة (4) من منطقة الدراسة وبلغت قيمة التسارع 0.046 g .

يبين الشكل (1-4) منطقة الدراسة وموقع نقاط الدراسة بالنسبة للصدوع المدروسة، ويبيّن الجدول (1-4) النقاط المدروسة - (16) وإحداثيات هذه النقاط، كما يبيّن قيم التسارات الأرضية الأعظمية (PGA) الناتجة عن عملية النمذجة الرياضية للصدوع الثلاثة المدروسة سرغايا وبسيمة ودمشق، بالإضافة لتحديد المصدر الزلزالي ذو أكبر قيمة تسارع ناتجة في كل نقطة.



الشكل (1-4) خريطة توضيحية لمنطقة الدراسة وموقع نقاط الدراسة بالنسبة للصواعق المدروسة

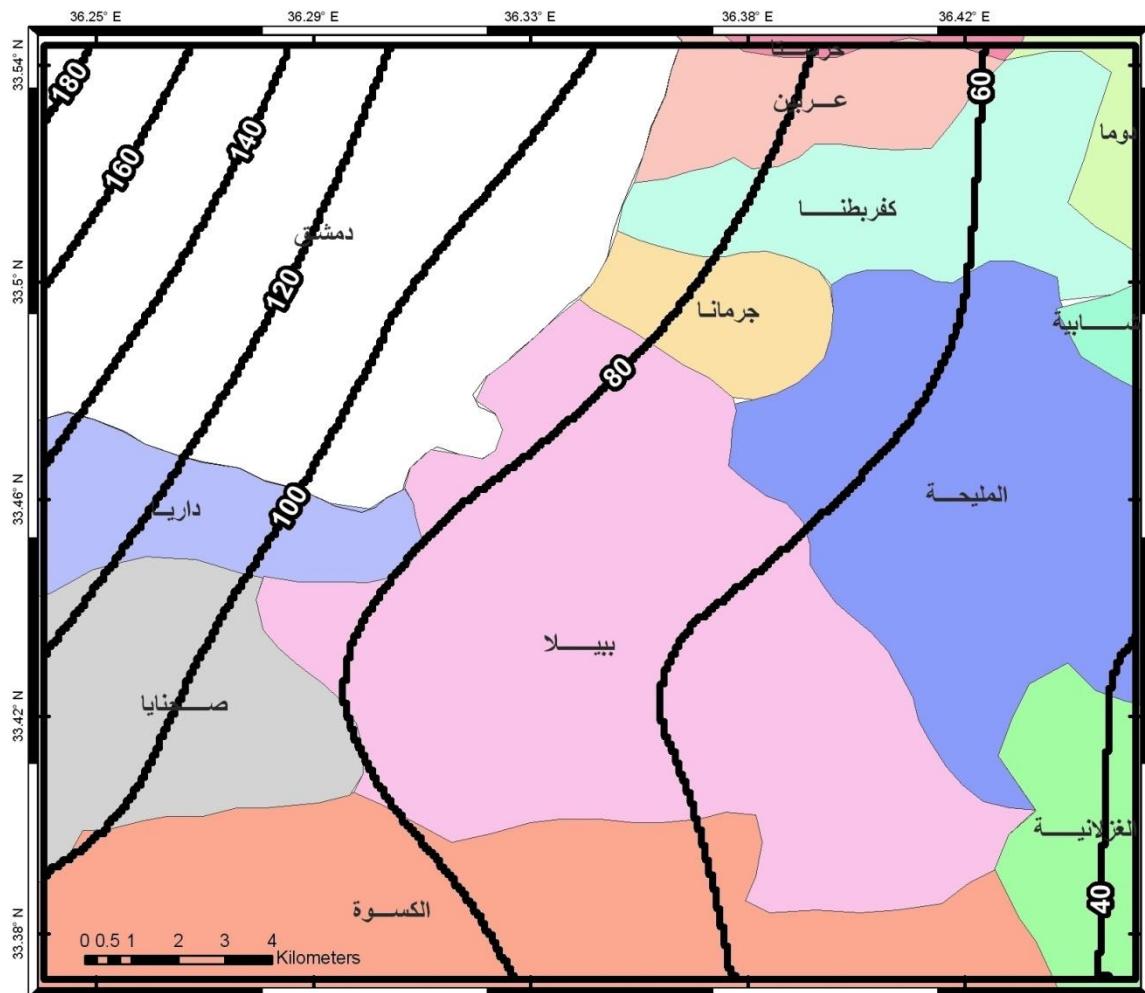
كانت أكبر قيمة تسارع ناتجة عن صدع سرغايا في منطقة الدراسة 0.190 g عند النقطة (13)، وأقل قيمة للتسارع الأرضي في النقطة (4) في حين كانت قيم التسارع الأرضي الناتجة عن صدع دمشق تتراوح بين 0.008 g و 0.140 g ، وكانت أكبر قيمة للتسارع ناتجة عن صدع دمشق في النقطة (9) وأقلها في النقطة (4) في المنطقة الجنوبية الشرقية.

جدول 1-4 : قيم التسارات العظمى الناتجة من النمذجة الرياضية عن الصواعق الثلاث سرغايا بسيمة دمشق.

site رقم الموقع	Lat_Y خط العرض	Long_X خط الطول	PGA (cm/s ²) Serghaya سرغايا	PGA (cm/s ²) Bassimeh بسيمه	PGA (cm/s ²) Damascus دمشق	PGA (cm/s ²) MAX التسارع الاقصى	PGA (g) MAX التسارع الاقصى	source المصدر
1	33.366	36.240	91.21	63.65	17.79	91.2	0.0912	سرغايا
2	33.366	36.310	90.56	63.6	14.72	90.6	0.0906	سرغايا
3	33.366	36.379	57.09	51.52	12.27	57.1	0.0571	سرغايا
4	33.366	36.449	39.09	46.07	7.96	46.1	0.0461	بسيمه
5	33.426	36.240	119.15	87.44	26.71	119.2	0.1192	سرغايا
6	33.426	36.310	70.88	80.89	21.73	80.9	0.0809	بسيمه
7	33.426	36.379	54.45	78.47	20.97	78.5	0.0785	بسيمه
8	33.426	36.449	39.94	55.32	9.88	55.3	0.0553	بسيمه
9	33.486	36.240	152.07	132.17	139.82	152.1	0.1521	سرغايا
10	33.486	36.310	95.22	123.32	47.59	123.3	0.1233	بسيمه
11	33.486	36.379	72.66	96.31	23.26	96.3	0.0963	بسيمه
12	33.486	36.449	49.55	69.56	19.31	69.6	0.0696	بسيمه
13	33.545	36.240	190.02	209.06	64.57	209.1	0.2091	بسيمه
14	33.545	36.310	116.97	222.38	138.19	222.4	0.2224	بسيمه
15	33.545	36.379	85.62	130.64	69.09	130.6	0.1306	بسيمه
16	33.545	36.449	43.05	106.21	27.22	106.2	0.1062	بسيمه

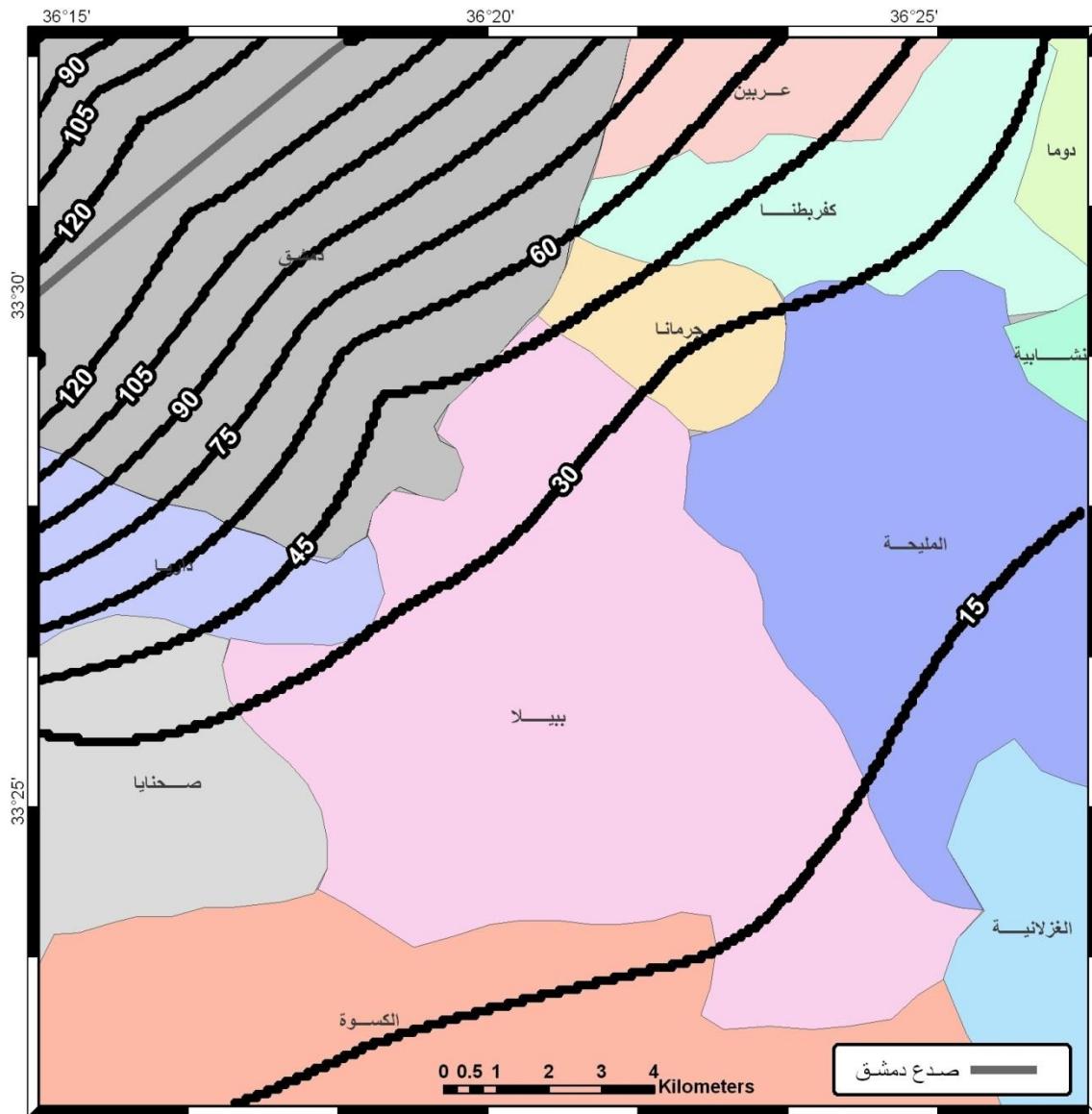
4-3- حساب منحنيات تساوي التسارعات الأعظمية لمنطقة الدراسة

تم حساب منحنيات تساوي التسارعات الأعظمية في منطقة الدراسة باستخدام برنامج ArcMap ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وذلك لكل مصدر زلزالي على حدى، ويظهر الشكل (2-4) خريطة تساوي التسارعات الأعظمية في منطقة الدراسة والناتجة عن صدع سرغيايا على الصخر الأساس لزلزال بقدر $M=7.4$ والذي يعتبر أكبر قدر متوقع على صدع سرغيايا كما تشير أغلب الدراسات المرجعية [21]، حيث بلغت أكبر قيمة للتسارع الأرضية $190 \text{ سم}/\text{ث}^2$ في المنطقة الشمالية الغربية من منطقة الدراسة، وبلغت أصغر قيمة للتسارع الأرضي $39 \text{ سم}/\text{ث}^2$.



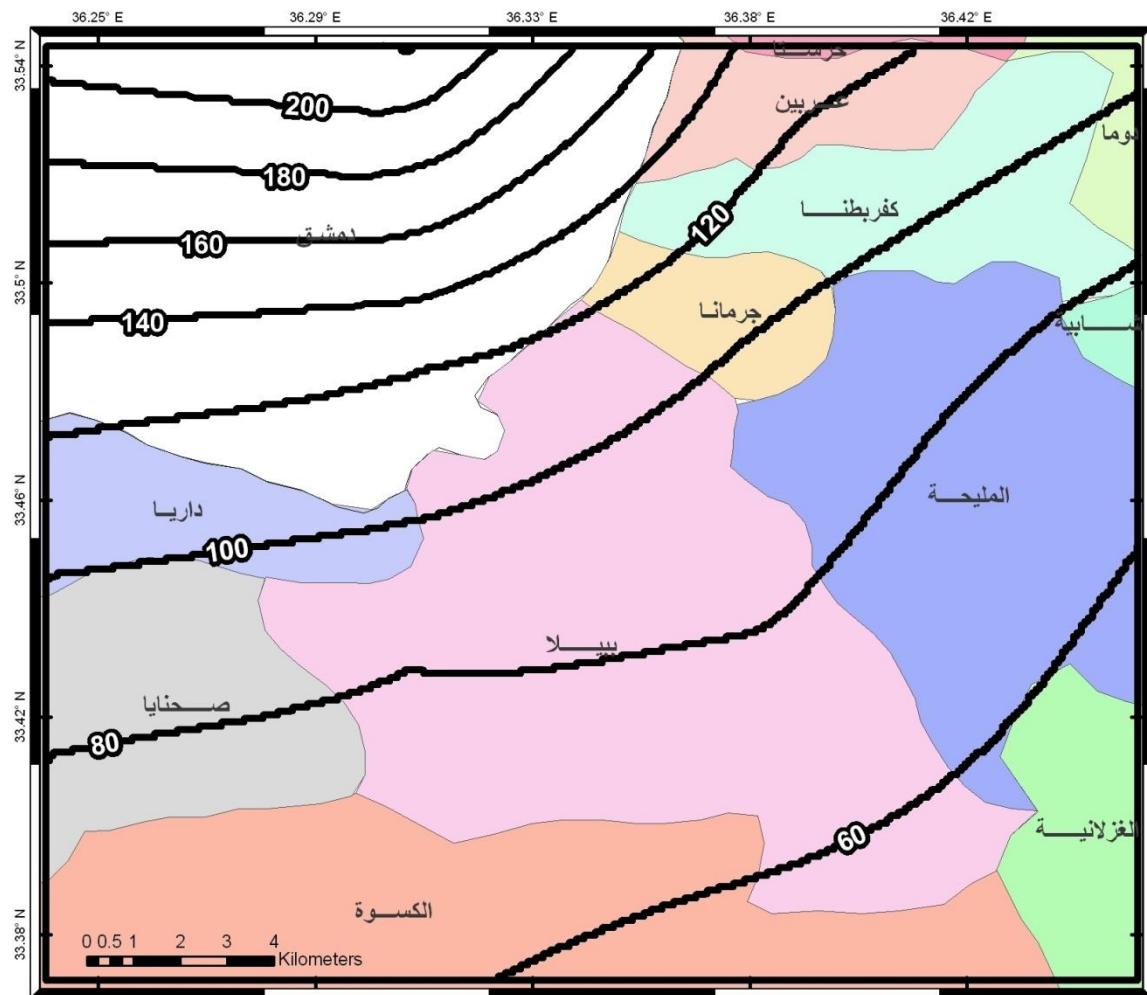
الشكل (2-4): خريطة تساوي التسارعات ($\text{سم}/\text{ث}^2$) لمنطقة الدراسة الناتجة عن صدع سرغيايا لزلزال بقدر 7.4 ريختر

ويظهر الشكل (3-4) خريطة تساوي التسارعات الأعظمية في منطقة الدراسة والناتجة عن صدع دمشق على الصخر الأساس وذلك لزلزال بقدر $M=5$ ، وتبلغ أكبر قيمة للتسارع $139 \text{ سم}/\text{ث}^2$ ، وبلغت أصغر قيمة $8 \text{ سم}/\text{ث}^2$.



الشكل (3-4): خريطة تساوي التسارعات ($\text{سم}/\text{ث}^2$) لمنطقة الدراسة الناتجة عن صدع دمشق لزلزال بقدر 5 ريختر

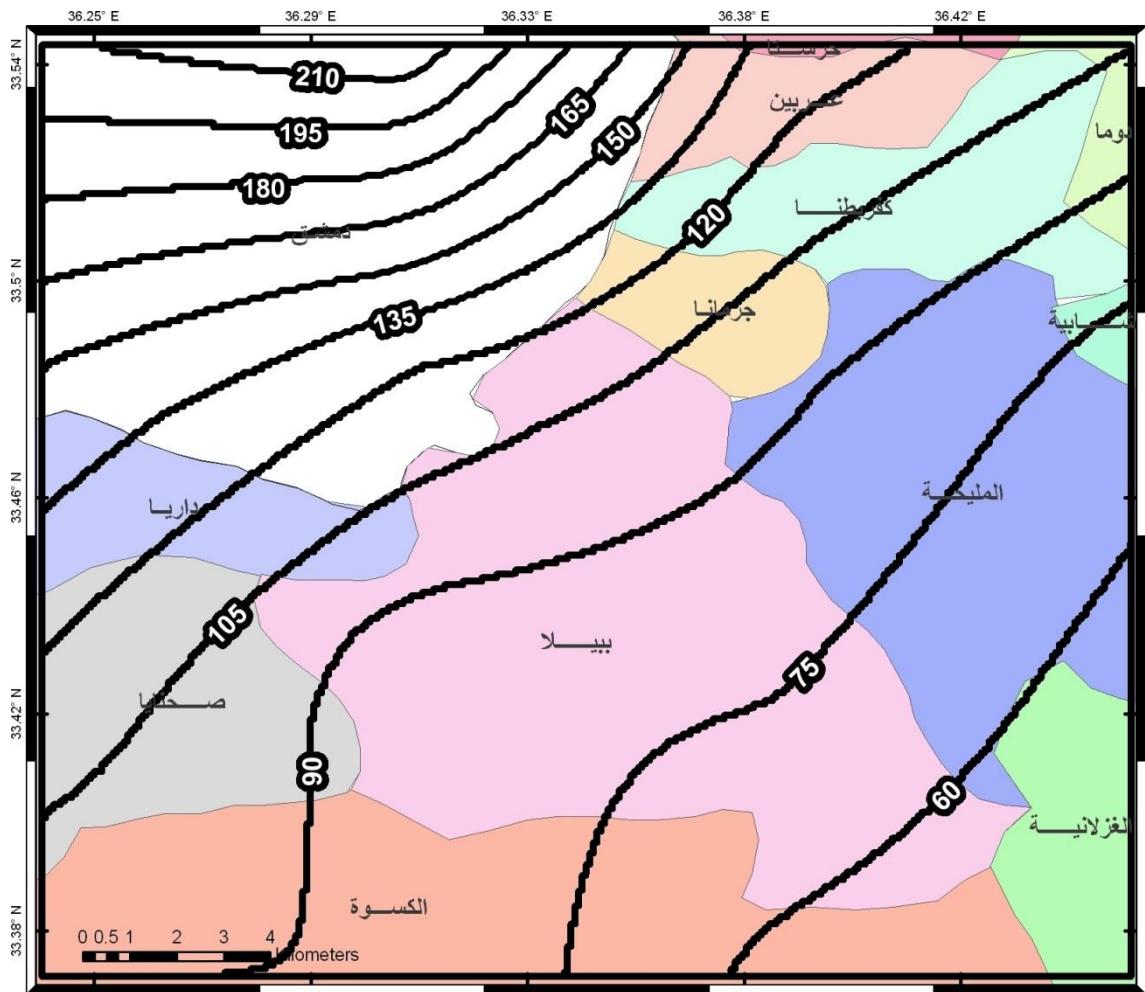
يبين الشكل (4-4) خريطة تساوي التسارعات الأعظمية في منطقة الدراسة والناتجة عن صدع بسيمة على الصخر الأساس لكل نقطة لزلزال بقدر $M=7$ ، وتبلغ أصغر قيمة للتسارع الأرضية ناتجة عن صدع بسيمة في منطقة الدراسة $46 \text{ سم}/\text{ث}^2$ في حين بلغت أكبر قيمة للتسارع $222 \text{ سم}/\text{ث}^2$ ، وتعتبر هذه القيمة هي أكبر قيمة للتسارع الأرضي ناتجة من بين الصدوع الثلاثة المدروسة، وبالتالي فإن صدع بسيمة يعتبر من أكثر الصدوع المؤثرة على مدينة دمشق وهو صدع نشط وفقاً لآخر الدراسات التكتونية الحديثة [10].



الشكل (4-4): خريطة تساوي التسارعات ($\text{سم}/\text{ث}^2$) لمنطقة الدراسة الناتجة عن صدوع بسيمة لزلزال بقدر 7 ريختر

وكمحصلة عامة لنتائج النمذجة الرياضية لكافة الصدوع المدروسة تم تحديد القيمة القصوى المؤثرة في كل نقطة من نقاط الدراسة بأخذ القيمة الأكبر للتسارع ثم حساب خريطة تساوي التسارعات القصوى في منطقة الدراسة على الصخر الأساس كما هو موضح في الشكل (5-4).

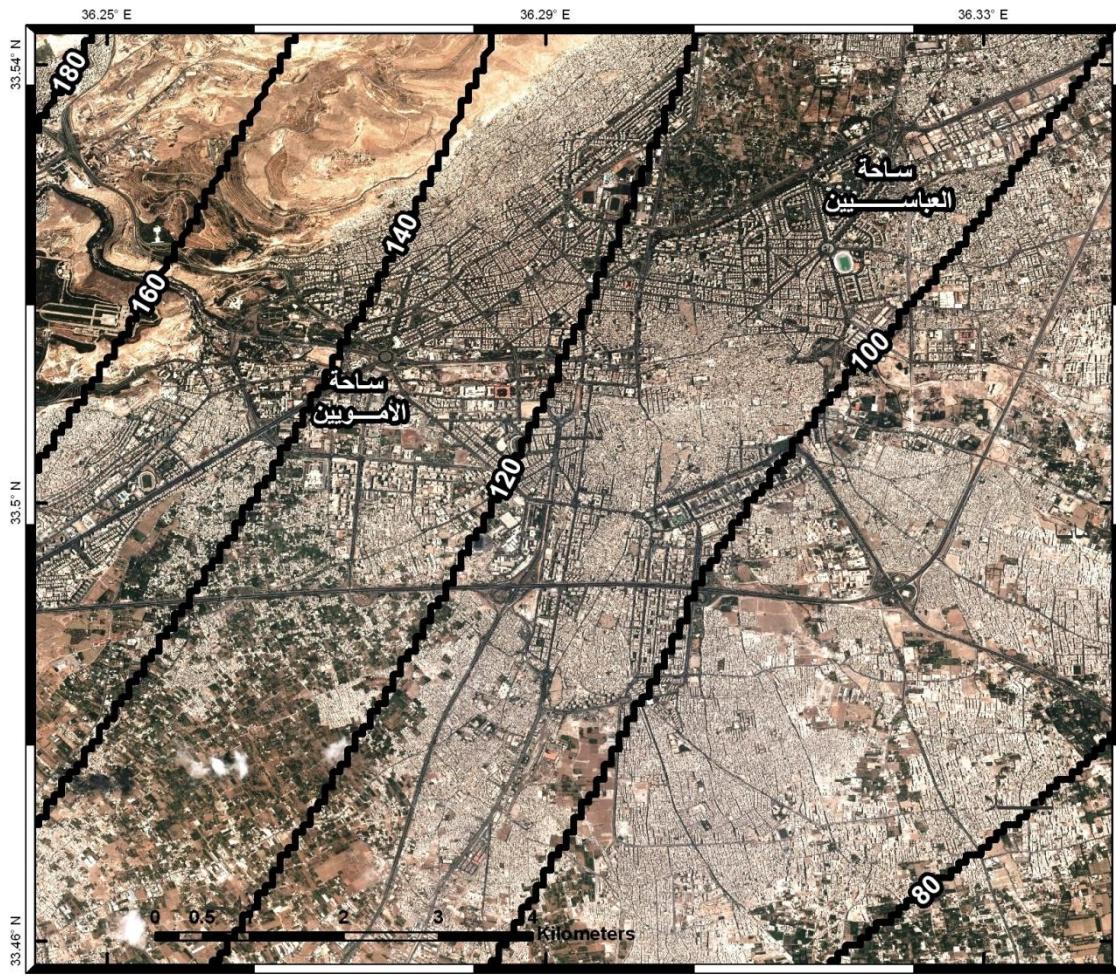
حيث بلغت أصغر قيمة للتسارع الأرضية ناتجة عن كافة الصدوع في منطقة الدراسة $46 \text{ سم}/\text{ث}^2$ في حين بلغت أكبر قيمة للتسارع $222 \text{ سم}/\text{ث}^2$ وذلك في النقطة رقم (14) من نقاط الدراسة وتقع في القسم الشمالي الغربي من منطقة الدراسة، وتعتبر هذه القيمة هي الأكبر من بين قيم التسارع الأرضي المحسوبة من أجل الصدوع الثلاثة المدروسة، وتتفاقص قيم التسارع الأرضي باتجاه الجنوب الشرقي لمنطقة الدراسة لتكون أقل قيمة للتسارع في النقطة رقم (4).



الشكل (4-5): خريطة منحنيات تساوي التسارات القصوى ($\text{سم}/\text{ثا}^2$) لمنطقة الدراسة نتيجة الصدوع الثلاثة المدروسة.

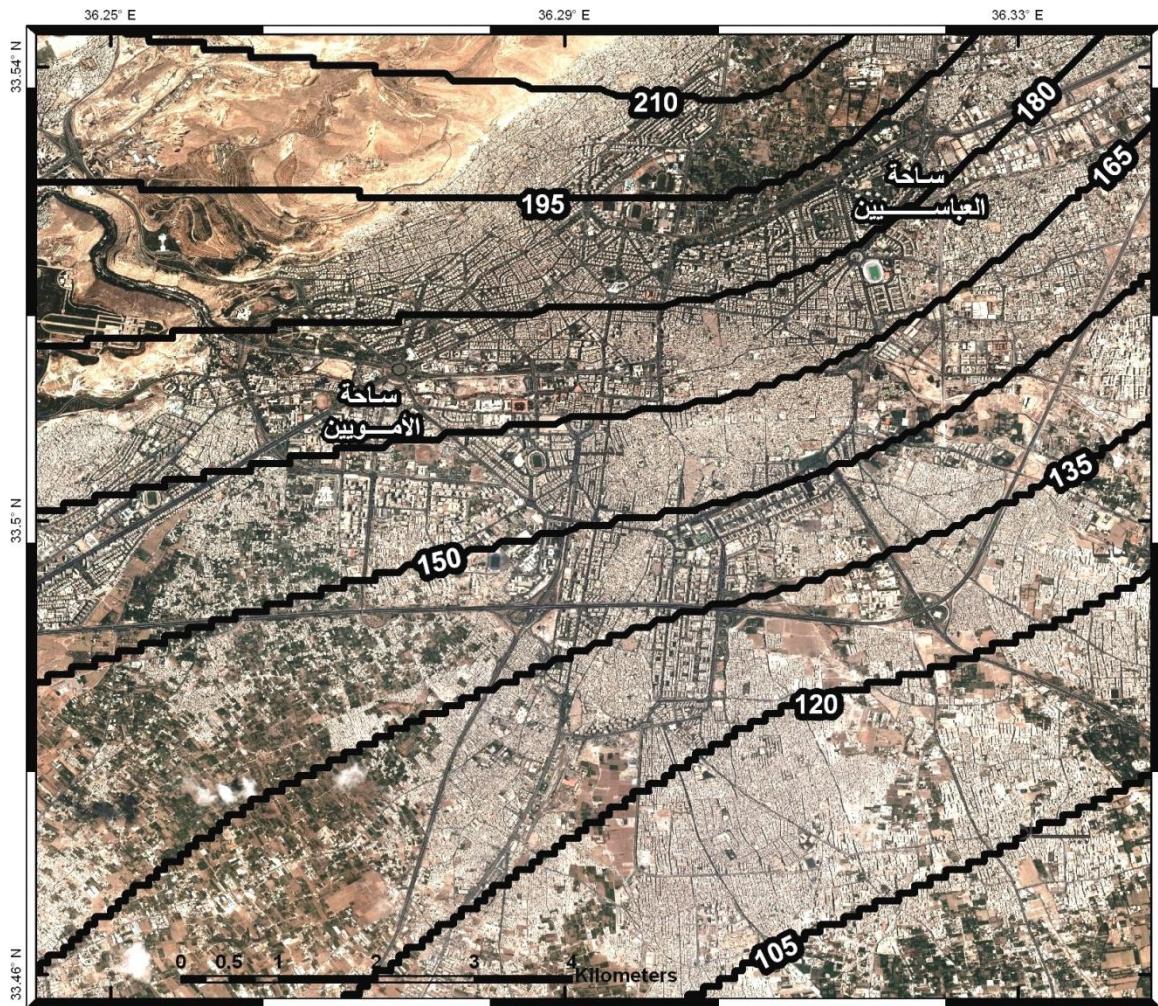
تظهر النتائج والأشكال السابقة التغيرات المكانية لقيم التسارات الأرضية الأعظمية في منطقة الدراسة بشكل تفصيلي مقارنة مع القيم الواردة في خريطة الكود السوري لعام 2004، حيث مثلت مدينة دمشق بقيمة واحدة للتسارع $250 \text{ سم}/\text{ثا}^2$.

يبين الشكل (4-6) خطوط تساوي التسارات الأرضية الأعظمية لجزء من منطقة الدراسة وبالقرب من مركز مدينة دمشق وتظهر قيم التسارات الأرضية الناتجة عن صدع سرغايا على الصخر الأساس لزلزال بقدر $M=7.4$ موقعة على خريطة غوغل، ويظهر على الخريطة كل من ساحة العباسين والأمويين علمًا بأن قيم التسارات في مركز المدينة تتراوح بين $(100-180) \text{ سم}/\text{ثا}^2$.



الشكل (6-4): خطوط تساوي التسارعات ($\text{سم}/\text{ث}^2$) الناتجة عن صدع سرغايا على الصخر الأساس موضحة على خريطة غوغل

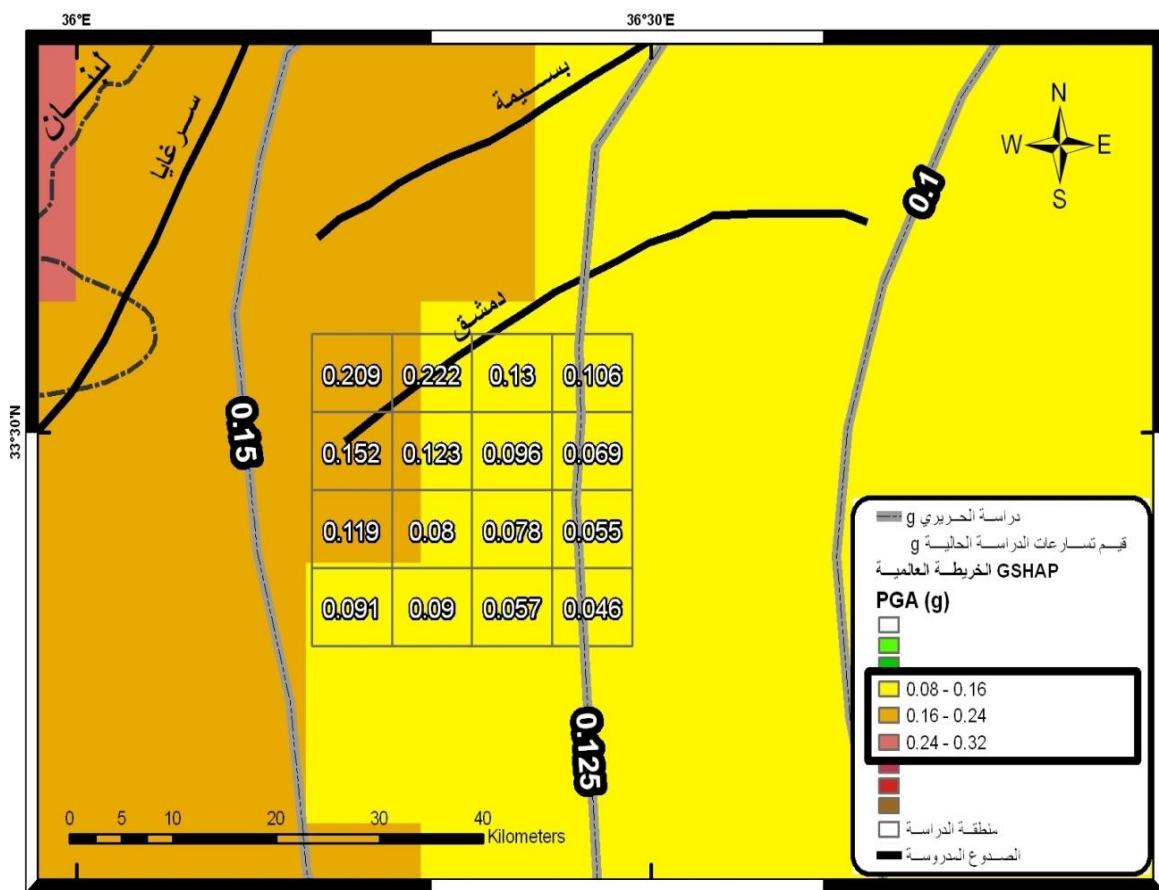
كما بين الشكل (7-4) خطوط تساوي التسارعات الأرضية الأعظمية لجزء من منطقة الدراسة بالقرب من مركز مدينة دمشق وتظهر قيم التسارعات الأرضية الناتجة عن كافة الصدوع المدروسة سرغايا وبسيمة ودمشق على الصخر الأساس موقعة على خريطة غوغل ونبين على الخريطة كل من ساحة العباسين والأمويين علماً بأن قيم التسارعات في مركز المدينة تتراوح بين ($220 - 120$) $\text{سم}/\text{ث}^2$



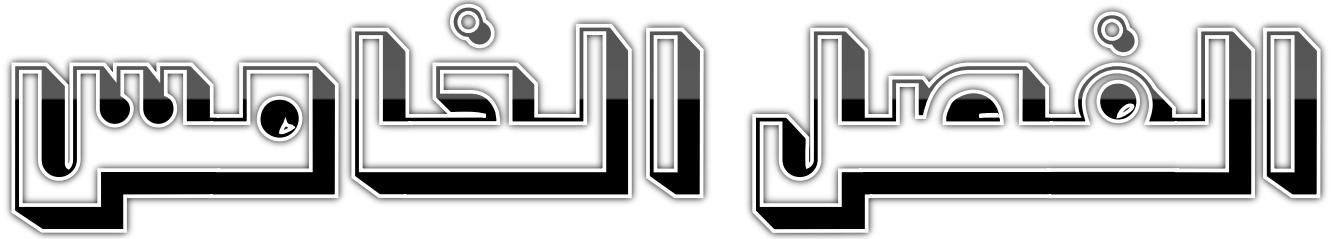
الشكل (4-7): خطوط تساوي التسارعات القصوى ($\text{سم}/\text{ث}^2$) الناتجة عن الصدوع الثلاث المدروسة على الصخر الأساس موضحة على خريطة غوغل.

4-4- مقارنة قيم التسارعات الناتجة مع التسارعات الواردة في الدراسات السابقة

أظهرت الدراسة الحالية قيم تسارع أعظمية تراوحت بين $(0.050 - 0.220)\text{g}$ ، وهي ناتجة عن الصدوع الثلاث المدروسة وهي صدع سرغايا وصدع بسيمة وصدع دمشق. تمت مقارنة هذه النتائج مع نتائج دراسة الحريري [3]، ومع الخريطة العالمية للتسارعات الأرضية نتائج مشروع GSHAP [20]، حيث أن قيم التسارعات للمنطقة المدروسة وفق دراسة الحريري ضمن المجال $(0.100 - 0.150)\text{g}$ ، وتراوحت قيم التسارعات للمنطقة المدروسة في الخريطة العالمية GSHAP ضمن المجال $(0.080 - 0.240)\text{g}$ ، نلاحظ وجود تقارب عام، مع وجود بعض الفروقات، حيث أن القيم الناتجة في هذه الدراسة أدنى من القيم الواردة في كل من دراسة الحريري والخريطة العالمية في المناطق الجنوبية الشرقية، وأن القيم الناتجة في الدراسة في المناطق الشمالية الغربية أعلى من القيم الواردة في دراسة الحريري، وهذه القيم قريبة من القيم الواردة في الخريطة العالمية لنفس المناطق،



الشكل (4-8): مقارنة قيم التسارعات الأعظمية في الدراسة الحالية مع الخريطة العالمية GSHAP [20] ودراسة الحريري [22]



حساب سجلات التسارع الصناعية
وأطیاف الاستجابة

الفصل الخامس

حساب سجلات التسارع الصناعية وأطيف الاستجابة

1-5 - مقدمة

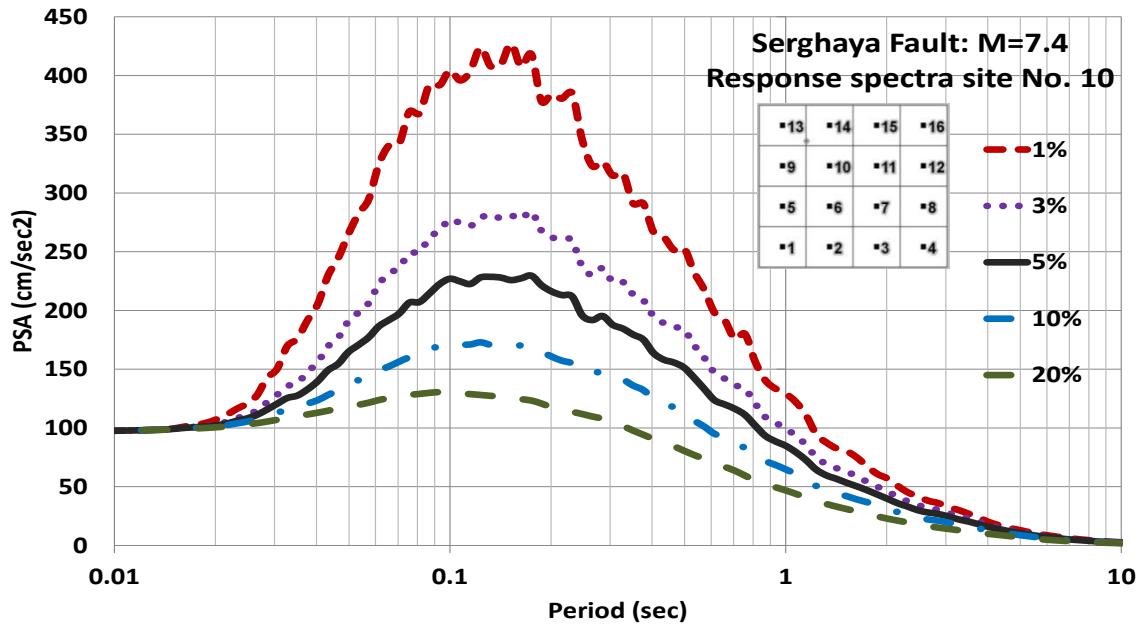
تم حساب سجلات التسارع الصناعية بناءً على النمذجة الرياضية للمصادر الزلزالية للصدىع النشطة لنقاط الدراسة وعدها 16 نقطة بالإضافة إلى حساب أطيف الاستجابة عند كل موقع وذلك بتأثير كل صدع من الصدوع المدرستة.

5-2- أطيف الاستجابة و سجلات التسارع الصناعية

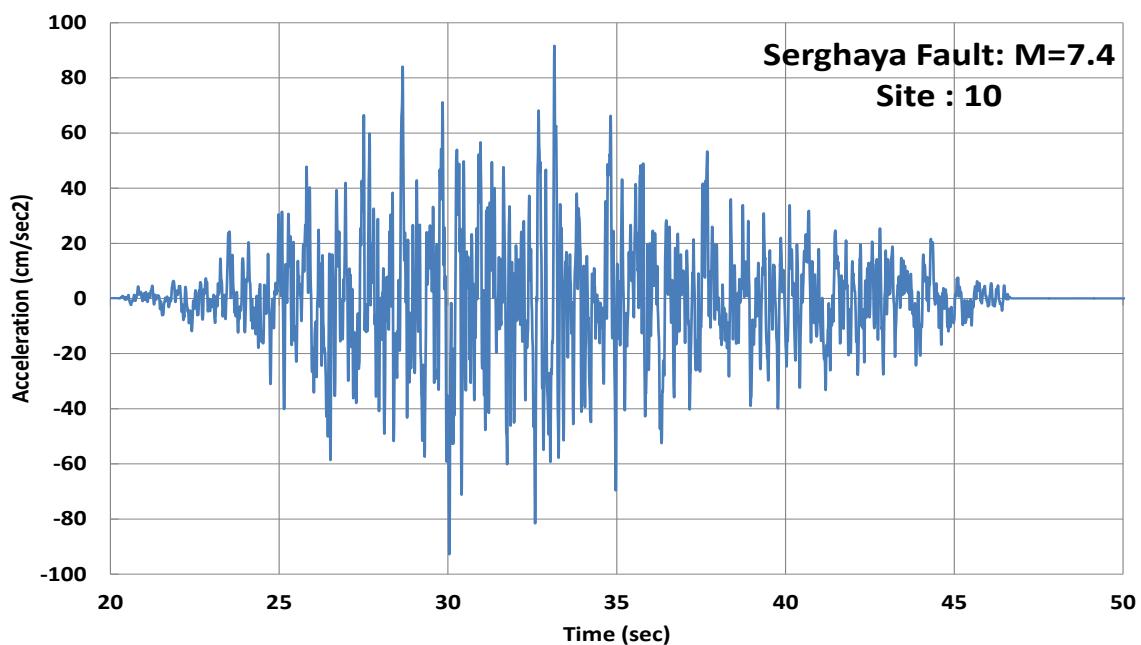
يعتبر طيف الاستجابة (Response Spectra) من أهم خصائص الحركة الأرضية في الهندسة الزلزالية وعلم الزلزال الهندسي، ويشكل الأساس لمعظم التصاميم الهندسية الخاصة بالأنبياء، والذي يبين أقصى استجابة تحدث لمنظومة وحيدة درجة الحرية (SDOF) عندما تتعرض لحركة أرضية ممثلة بقيمة التسارع، ويعكس طيف الاستجابة خصائص الزلزال التي تولد عنها الحركة الأرضية وطبيعة موقع التسجيل.

يبين الشكل (1-5) طيف الاستجابة عند الموقع رقم (10) من منطقة الدراسة وذلك بتأثير صدع سرغايا ولهزة بقدر زلزالي $M=7.4$ ، وذلك لنسب تخادم متعددة (20-10-5-3-1)، ويظهر الشكل أن قيم التسارع الطيفي بحدود $(230\text{ سم}/\text{s}^2)$ من أجل نسبة تخادم (5%) ضمن مجال الأدوار (0.1-0.2) ثانية.

كما يظهر الشكل (5-2) سجل تسارع صناعي على مصدر صدع سرغايا الزلزالي بتأثير هزة بقدر $M=7.4$ ، حيث بلغت القيم العظمى للتقارب عند النقطة رقم (10) على الصخر الأساس في مدينة دمشق بما يقارب $(100\text{ سم}/\text{s}^2)$.

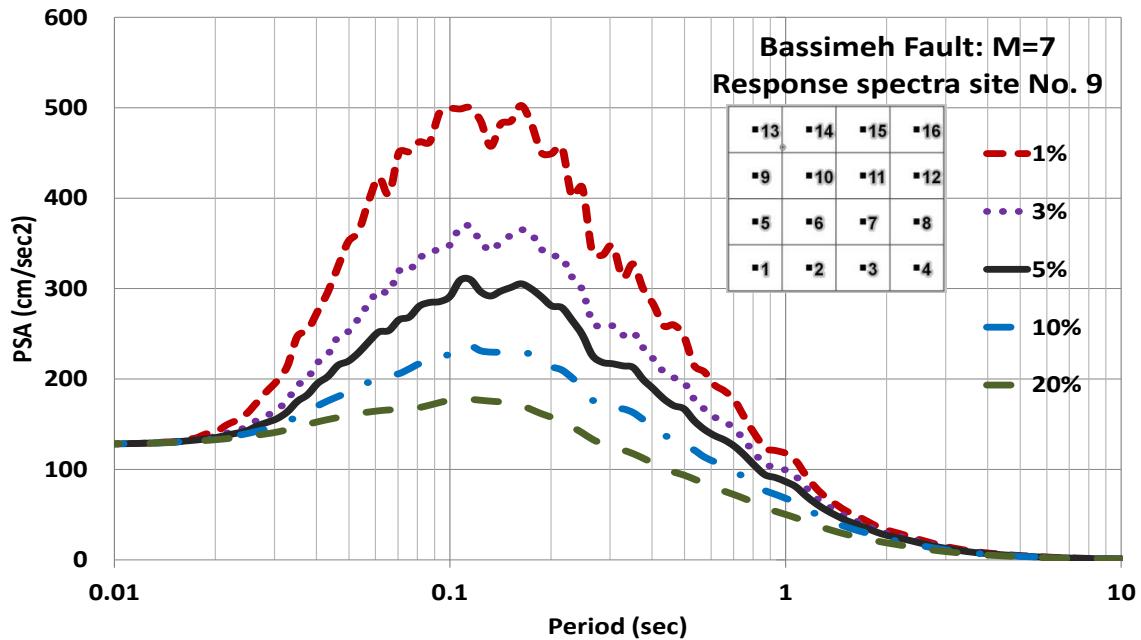


الشكل (1-5): طيف الاستجابة الناتج عن صدع سرغايا لهزة بقوة (M=7.4) في النقطة رقم (10) لنسب تخادم مختلفة



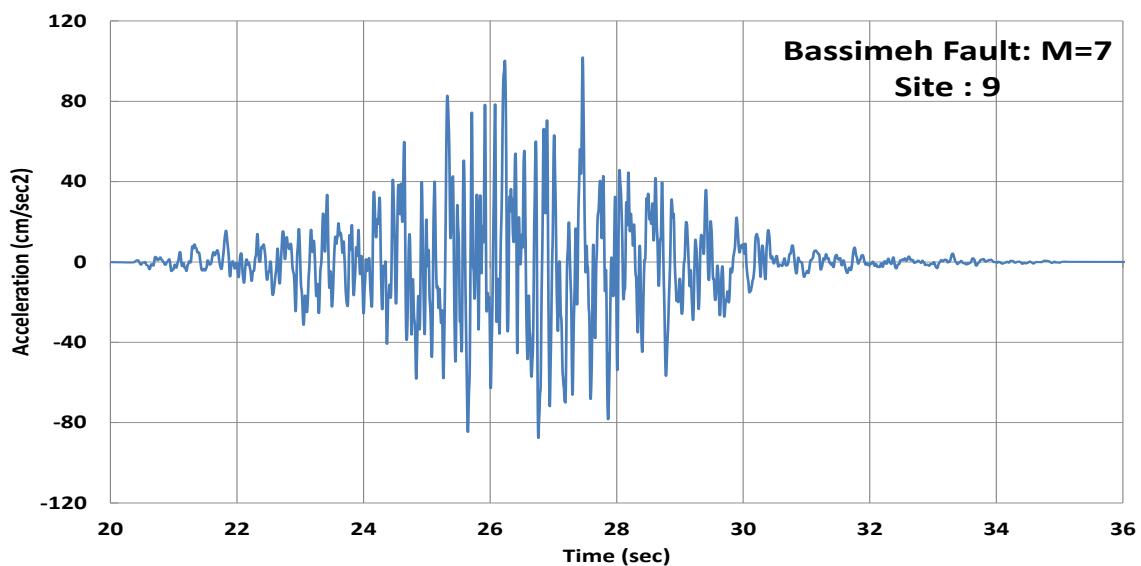
الشكل (2-5): سجل تسارع صنعي على صدع سرغايا لهزة بقوة (M=7.4) في النقطة رقم (10).

يبين الشكل (3-5) طيف الاستجابة عند النقطة رقم (9) من منطقة الدراسة وذلك بتأثير صدع بسيمة ولهزة بقدر زلزالي $M=7$ ، وذلك لنسب تخادم متعددة (20-10-5-3-1)، ويظهر الشكل أن قيم التسارع الطيفي بحدود ($300 \text{ سم}/\text{ثا}^2$) من أجل نسبة تخادم (5%) ضمن مجال الأدوار (0.09-0.2) ثانية.



الشكل (3-5): طيف الاستجابة الناتج عن صدع بسيمة لهزة بقوة (M=7) في النقطة رقم (9) لنسب تخادم مختلفة

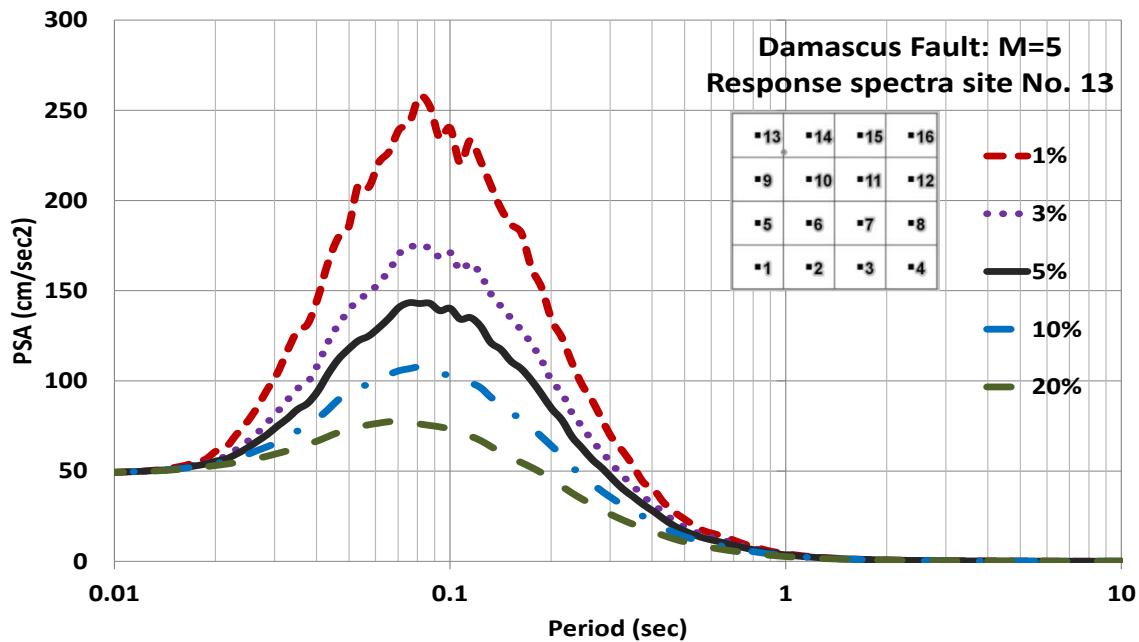
كما يظهر الشكل (4-5) سجل التسارع الصناعي على مصدر صدع بسيمة الزلزالي في النقطة (9) بتأثير هزة بقدر $M=7$ ، وبلغت القيمة الأعظمية للتسارع عند هذه النقطة على الصخر الأساس حوالي (100) سم/ ث^2 .



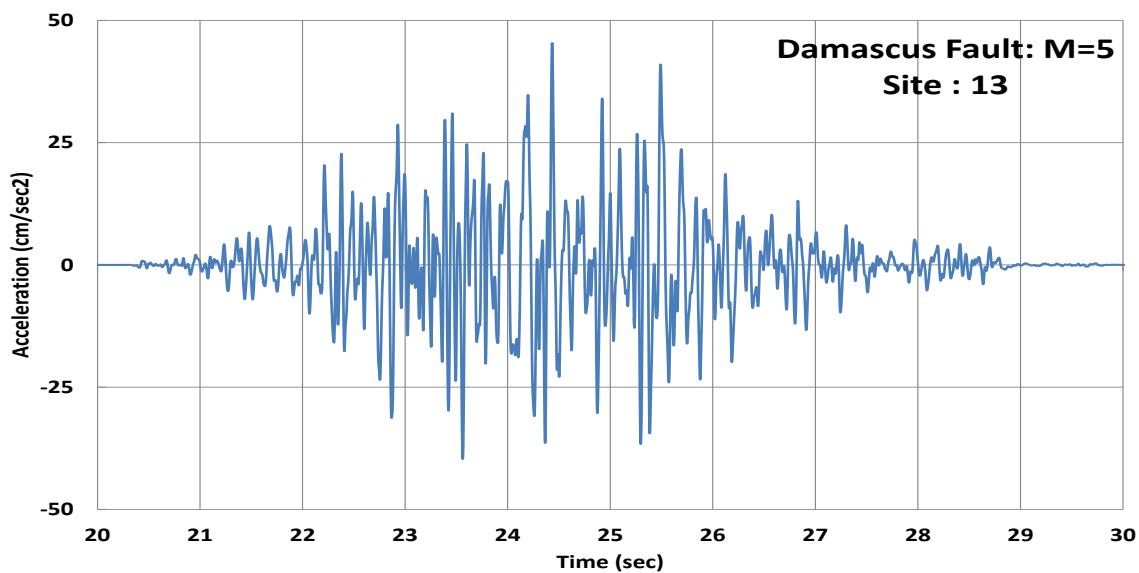
الشكل (4-5): سجل تسارع صناعي على صدع بسيمة لهزة بقوة (M=7) في النقطة رقم (9).

يبين الشكل (5-5) طيف الاستجابة عند النقطة رقم (13) من منطقة الدراسة وذلك بتأثير صدع دمشق ولهزة بقدر زلزالي $M=5$ ، وذلك لنسب تخادم متعددة (1-3-5-10-20)%، ويظهر الشكل

أن قيم التسارع الطيفي بحدود ($150 \text{ سم}/\text{ث}^2$) من أجل نسبة تخادم (5%) ضمن مجال الأدوار (0.07-0.1) ثانية.



الشكل (5-5): طيف الاستجابة الناتج عن صدع دمشق لهزة بقوة (M=5) في النقطة رقم (13) (نسبة تخادم مختلفة كما يظهر الشكل (5-6)) سجل التسارع الصنعي على مصدر صدع دمشق الزلزالي في النقطة (13) بتأثير هزة بقدر M=5، وبلغت القيمة الأعظمية للتسارع عند هذه النقطة على الصخر الأساس حوالي ($50 \text{ سم}/\text{ث}^2$).



الشكل (6-5): سجل تسارع صنعي على صدع دمشق لهزة بقوة (M=5) في النقطة رقم (13).

تم إرفاق نماذج من سجلات التسارع الصناعية لنقاط الدراسة في الملحق (A)، وإرفاق أطيف الاستجابة بنسبة تخامد 5% والخاصة بهذه النقاط في الملحق (B) وفق الجدول (1-5) والذي يوضح رقم الأشكال وذلك للمصادرزلزالية الثلاثة سرغايا وبسيمة ودمشق، ولتوسيح موقع نقاط الدراسة، تم وضع أقرب بلدة أو مدينة، أو مركز مدينة من كل نقطة من نقاط الدراسة كما هو موضح في الجدول (2-5).

جدول (5-1) أرقام أشكال سجلات التسارع الصناعية وأطيف الاستجابة لنقاط الدراسة الواردة في الملحق (A & B)

نقطة الدراسة	العرض خط	الطول خط	الصناعي السجل سر غايا صدع	الصنعي السجل بسيمة صدع	الصنعي السجل دمشق صدع	الاستجابة أطيف سر غايا صدع	الاستجابة أطيف بسيمة صدع	الاستجابة أطيف دمشق صدع	الاستجابة أطيف
B3-1	B2-1	B1-1	A3-1	A2-1	A1-1	36.239	33.366	1	
B3-2	B2-2	B1-2	A3-2	A2-2	A1-2	36.310	33.366	2	
B3-3	B2-3	B1-3	A3-3	A2-3	A1-3	36.379	33.366	3	
B3-4	B2-4	B1-4	A3-4	A2-4	A1-4	36.449	33.366	4	
B3-5	B2-5	B1-5	A3-5	A2-5	A1-5	36.240	33.426	5	
B3-6	B2-6	B1-6	A3-6	A2-6	A1-6	36.310	33.426	6	
B3-7	B2-7	B1-7	A3-7	A2-7	A1-7	36.379	33.426	7	
B3-8	B2-8	B1-8	A3-8	A2-8	A1-8	36.449	33.426	8	
B3-9	B2-9	B1-9	A3-9	A2-9	A1-9	36.240	33.486	9	
B3-10	B2-10	B1-10	A3-10	A2-10	A1-10	36.310	33.486	10	
B3-11	B2-11	B1-11	A3-11	A2-11	A1-11	36.379	33.486	11	
B3-12	B2-12	B1-12	A3-12	A2-12	A1-12	36.449	33.486	12	
B3-13	B2-13	B1-13	A3-13	A2-13	A1-13	36.240	33.545	13	
B3-14	B2-14	B1-14	A3-14	A2-14	A1-14	36.310	33.545	14	
B3-15	B2-15	B1-15	A3-15	A2-15	A1-15	36.379	33.545	15	
B3-16	B2-16	B1-16	A3-16	A2-16	A1-16	36.449	33.545	16	

الجدول (5-2) نقاط الدراسة وأقرب منطقة أو قرية

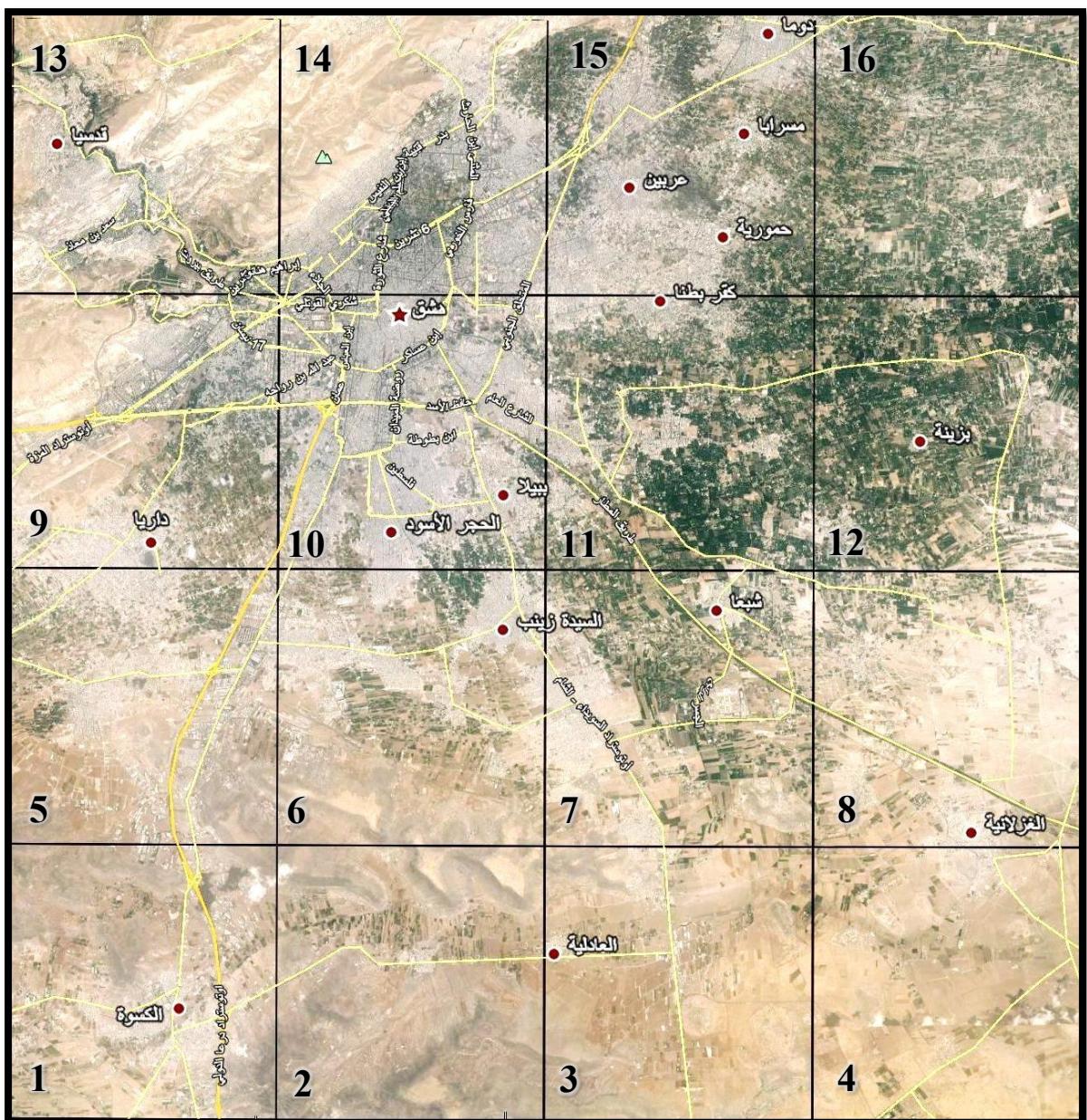
نقطة الدراسة	أقرب منطقة أو مدينة - طريق
1	مركز مدينة الكسوة
2	حرجلة - جبل المدور
3	عادلية - نجها
4	دير الحجر - قرمشية
5	مركز مدينة صحفانيا - اشرفية صحفانيا
6	البويضة - سبيينة - حجيرة - يلدا
7	البحديبة - حوش صهبا - شبعا - ست زينب
8	قرحتا - حتيبة التركمان - ركابية - مركز تاحية الغزلانية
9	داريا - معضمية - المزة
10	مركز المدينة دمشق - الميدان - مخيم بيت سحم - حجر اسود - ببيلا
11	مركز مدينة المليحة - جرمانا - عقربا - خيارة - كفر بطنا جسرین
12	حرستا القطرة - زبدین - دير العصافير بزينة - الحديدة
13	الهامة - قدسيا - جديدة الوادي - دمر
14	جوبر - بربة - قاسيون - ركن الدين
15	حرستا عربين زملكا حمورية حزة مسرابا
16	دوما - حوش الاشعري الشيفونية بيت سوي

ولتعريف نقاط الدراسة وموقعها بشكل أوضح تم إسقاط نقاط الدراسة على الخريطة الإدارية لمدينة دمشق وريفها مبيناً عليها الحدود الإدارية للنواحي المحيطة بالمدينة وضمن منطقة الدراسة كما هو موضح في الشكل (7-5)

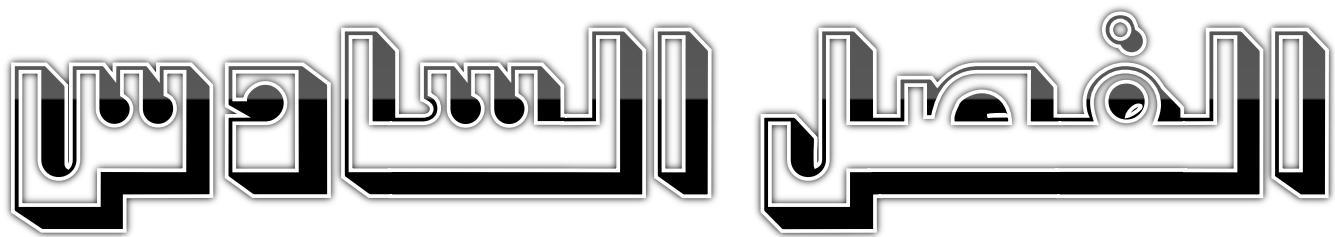


الشكل (7-5): الخريطة الإدارية لمدينة دمشق والمناطق المحيطة بها موضحاً عليها نقاط الدراسة.

وللزيادة في الإيضاح وتعريف نقاط الدراسة وموقعها تم إسقاط نقاط الدراسة على خريطة غوغل كما هو موضح في الشكل (7-8)، حيث تظهر شبكة المربعات الخاصة بالدراسة وأرقامها، بالإضافة إلى بعض مراكز المدن والنواحي المحيطة بدمشق والطرق الرئيسية وأسماء بعض منها.



الشكل (5-8): خريطة غوغل موضحاً عليها نقاط الدراسة وبعض الطرق الرئيسية ومرانز المدن والنواحي.



دراسة الأحمال الزلزالية وفق الكود
العربي السوري ومقارنتها مع نتائج
الدراسة الحالية

الفصل السادس

دراسة الأحمال الزلزالية وفق الكود العربي السوري ومقارنتها مع الدراسة الحالية

1- مقدمة

تم في هذا الفصل مراجعة الطريقة الثانية لحساب القوى الستاتيكية المكافئة المعتمدة في الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة المقاومة للزلزال [4]، كما تم حساب قيم التسارع الأرضي الأعظمي وأطيااف الاستجابة التصميمية مع إدخال تأثير التربة السطحية وفق تصنيف التربة الوارد في الكود، بالإضافة لحساب معامل القص القاعدي للجمل الإنسانية للمبني الأكثر شيوعاً في منطقة الدراسة، وأخيراً تمت دراسة قيم المعاملين C_a و C_v وفقاً لقيم التسارع الناتجة في الدراسة.

2- الطريقة الستاتيكية المكافئة الثانية

(1) حساب القص القاعدي التصميمي

يحدد القص القاعدي التصميمي الكلي في اتجاه ما بالعلاقة التالية:

$$V = \frac{C_v I}{R \cdot T} W$$

وبحيث لا يتجاوز القص القاعدي التصميمي الكلي القيمة:

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W$$

وبحيث لا يقل القص القاعدي التصميمي الكلي عن:

$$V = 0.11 C_a I W$$

إضافة لما سبق يجب أن لا يقل القص القاعدي التصميمي الكلي للمنطقة الزلزالية الرابعة عن:

$$V = \frac{0.8 Z N_v I}{R} W$$

حيث:

V : القوى الجانبية التصميمية الكلية أو القص عند القاعدة.

I : معامل أهمية المنشأة.

R : معامل يتعلق بنوع الحملة الإنسانية المقاومة للأحمال.

T : دور المنشأة.

W : الوزن الزلزالي للمبني.

N_r : معامل القرب من المصدر الزلالي المستخدم في تحديد قيمة C_r في المنطقة الزلالية الرابعة.

C_a, C_r : معامل زلالي يرتبط بنموذج المقطع الشاقولي للترابة وبالتالي بنوع الترابة واستجابتها للحركات الأرضية ومعامل المنطقة الزلالي Z .

إن منطقة الدراسة واقعة بحسب خارطة التسارعات الأرضية الأعظمية المعتمدة في الكود العربي السوري الصادر عام 2004 في المنطقة الزلالية $2C$ ، والجدول المرفق مع الخريطة يعطي قيمة المعامل Z في مدينة دمشق والمناطق المحيطة بها قيمة ثابتة وهي $g = 0.25$ حسب ما هو واضح في الشكل (9-2).

(2) تحديد قيمة دور الاهتزاز للمنشأة:

يتم تحديد دور الاهتزاز للمنشأة وفقاً للكود العربي السوري بطريقتين هما:

أ- الطريقة (A): تحسب قيمة T بشكل تقريري لكافة المبني من العلاقة:

$$T = C_t (h_n)^{3/4}$$

h_n : (مقدمة بالметр) هي ارتفاع المبني حتى المنسوب n (منسوب الطابق الأخير)

C_t : تتعلق بنوع الجملة الانشائية وتأخذ القيم التالية:

0.0853 للإطارات المعدنية المقاومة للعزوم.

0.0731 للإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للعزوم وللإطارات المكتفة لا مركزياً.

0.0488 لكافة المبني الأخرى.

ب- الطريقة (B): يمكن حساب دور الاهتزاز للمنشأة باستعمال الخواص الإنسانية والميزات التشوهية للعناصر المقاومة وذلك باعتماد التحليل الإنساني الدقيق من خلال حل معادلة التوازن الديناميكي للمنشأ أو تحليل نمطي (Modal analysis) ومن خلاله يمكن معرفة أدوار وأنماط الاهتزاز ، حيث يتم حساب الدور باستعمال العلاقة التالية:

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \omega_i \delta_i^2 \right) \div (g \sum_{i=1}^n F_i \delta_i)}$$

تمثل F_i القوة الجانبية الموزعة بشكل تقريري، δ_i تمثل الازاحات المرنة.

6-3- قيم التسارع الأرضي الأعظمي مع إدخال تأثير التربة السطحية للموقع وفق الكود

اعتماداً على نتائج النمذجة لقيم التسارعات الأرضية الأعظمية المحسوبة على الصخر الأساس، وبناءً على التوصيفات الواردة في الكود السوري لأنواع التربة والموضحة في الجدول (6-1)، تم حساب تأثير التربة السطحية للموقع في نقاط الدراسة، وذلك باستخدام عدة أنواع من التربة

جدول (6-1) تصنيف التربة وخواصها الزلزالية وفق ماورد في الكود السوري 2004

نوع المقطع الشاقولي للتربة	تسمية المقطع الجانبي للترابة (الوصف العام)	الخصائص الوسطية للتربة ذات العمق (30.5 m) من المقطع الجانبي			مقاومة القص غير المصرفية (kPa) s_u
		سرعة أمواج القصر v_s (m/sec)	تجربة الاختراق النظامية (N) أو (N ₆₀) للترب غير المتماسكة من طبقات التربة (ضربة/قدم) (blows/ft)		
S _A	صخر صلب (قاس)	1500	-	-	-
S _B	صخر	760 - 1500	-	-	-
S _C	تربة ذات كثافة عالية جداً وصخر طري (كونغلوميرات)	360 - 760	> 50		> 100
S _D	تربة صلبة	180 - 360	15 - 50		50 - 100
S _{E⁽¹⁾}	تربة طرية	< 180	< 15		< 50
S _F	تربة تتطلب دراسة خاصة في الموقع / يراجع البند (٤-٣)				

بناءً على قيم التسارع الناتجة من عملية النمذجة الرياضية على الصخر الأساس، وكون قيمة المعاملين الزلزاليين (C_a) و (C_v) تساوي قيمة معامل المنطقة الزلزالي (Z) في التربة الصخرية ذات نوع (S_B)، وأن قيم المعاملين المذكورين أعلاه في التربة من نوع (S_B) تساوي قيم التسارع الناتجة من عملية النمذجة، تم حساب النسبة بين المعامل الزلزالي (C_a) ومعامل المنطقة الزلزالي للحصول على قيم التسارع الأرضي نتيجة تأثير التربة لمنطقة الدراسة كما هو موضح في الجدول (2-6).

جدول (2-6) النسب بين المعاملات الزلزالية C_a , C_v , Z لأنواع التربة المختلفة وفق الكود

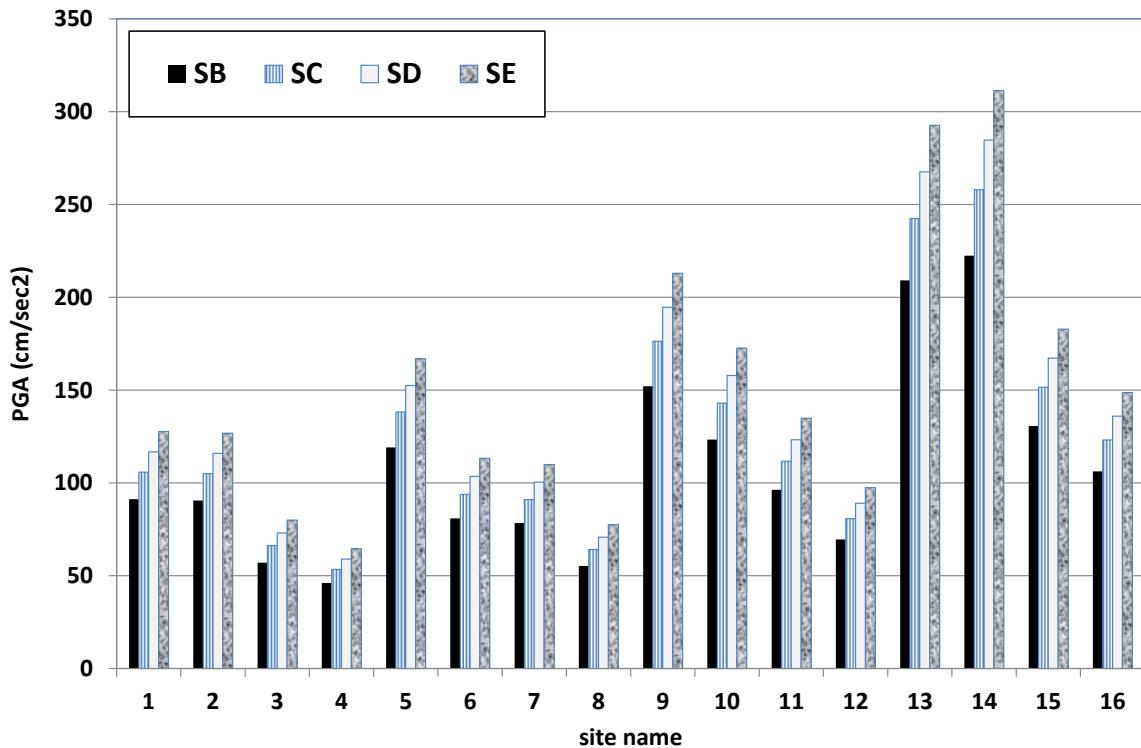
نوع المقطع الشاقولي للتربة	S _A	S _B	S _C	S _D	S _E
معامل المنطقة الزلزالي (Z)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
المعامل الزلزالي C_a	0.20	0.25	0.29	0.32	0.35
المعامل الزلزالي C_v	0.20	0.25	0.38	0.47	0.74
النسبة C_a/Z	0.80	1.00	1.16	1.28	1.40
النسبة C_v/Z	0.80	1.00	1.52	1.88	2.96

تم بناءً عليه حساب تأثير الموقع حسب اختلاف نوعية التربة وفق التصنيف الوارد في الكود العربي السوري لأنواع التربة (S_B , S_C , S_D , S_E) وباعتماد قيمة Z الناتجة في الدراسة الحالية للصدوع الثلاث وليس القيمة الواردة في الكود للمنطقة 2C وهي 0.25 g، وكانت قيم التسارعات الأرضية الناتجة كما هو موضح في الجدول (3-6)، حيث نلاحظ تزايد قيم التسارعات حسب تغير نوعية التربة، فعلى سبيل المثال بلغت قيمة التسارع الأرضي الأعظمي في النقطة (10) في التربة من نوع (S_B) و (S_C) تساوي (0.206) g و (0.239) g على الترتيب، بينما في التربة من نوع (S_D) و (S_E) بلغت قيمة التسارع الأرضي (0.264) g و (0.289) g على الترتيب.

جدول (3-6) قيم التسارعات الأرضية الأعظمية الناتجة بالدراسة الحالية مع إدخال تأثير التربة السطحية الواردة في الكود

site الموقع	Max_PGA (cm/s ²) S_B	Max_PGA (cm/s ²) S_C	Max_PGA (cm/s ²) S_D	Max_PGA (cm/s ²) S_E	source
1	91.21	105.80	116.75	127.69	سرغايا
2	90.56	105.05	115.92	126.78	سرغايا
3	57.09	66.22	73.08	79.93	سرغايا
4	46.07	53.44	58.97	64.50	بسيمة
5	119.15	138.21	152.51	166.81	سرغايا
6	80.89	93.83	103.54	113.25	بسيمة
7	78.47	91.03	100.44	109.86	بسيمة
8	55.32	64.17	70.81	77.45	بسيمة
9	152.07	176.40	194.65	212.90	سرغايا
10	123.32	143.05	157.85	172.65	بسيمة
11	96.31	111.72	123.28	134.83	بسيمة
12	69.56	80.69	89.04	97.38	بسيمة
13	209.06	242.51	267.60	292.68	بسيمة
14	222.38	257.96	284.65	311.33	بسيمة
15	130.64	151.54	167.22	182.90	بسيمة
16	106.21	123.20	135.95	148.69	بسيمة

يبين الشكل (6-1) قيم التسارعات الأرضية لنقاط الدراسة، كما يظهر تزايد قيم هذه التسارعات نتيجة إدخال تأثير التربة السطحية الواردة في الكود.



الشكل (6-1): قيم التسارعات الأرضية مع إدخال تأثير التربة السطحية الواردة في الكود

6-4- دراسة طيف الاستجابة (Response Spectra)

يعتبر حساب طيف الاستجابة الزلزالية من أهم طرائق توصيف خصائص الحركة الأرضية في الهندسة الزلزالية ويشكل الأساس في التحليل الديناميكي للأبنية والمنشآت في معظم الحالات وهو يبين أقصى استجابة تحدث لنظام وحيد درجة الحرية SDOF عندما يتعرض لحركة أرضية مماثلة بقيمة التسارع، ويعكس طيف الاستجابة خصائص الزلازل التي تتولد عنها الحركة الأرضية وطبيعة موقع التسجيل.

وتمتاز هذه الطريقة عن باقي طرائق التحليل الديناميكي بسهولتها ويمكن استعمالها في حالات التحليل الخطي وبشكل تقريري غير مباشر للتحليل غير الخطي للمنشآت، ومن الجدير ذكره أن النتائج التي يتم الحصول عليها تكون أقل دقة من باقي الطرق حيث أنها لا تعطي توصيفاً شاملاً مع الزمن لنتائج الاستجابات الزلزالية بل تعطي قيماً أعظمية احتمالية لاستجابات بدون تحديد زمن حصولها، إلا أن تصميم المنشآت في معظم الأحوال لا يتطلب التوصيف مع الزمن وإنما معرفة القيم الحرجة، لذا فإن هذه الطريقة الديناميكية تستعمل في معظم التحاليل الديناميكية للمنشآت عدا

الحالات الخاصة التي نرحب فيها الوصول إلى تحليل يبين قيمة الاستجابات مع الزمن وخاصة في حالة التحاليل غير الخطية .

تسمح معظم الكودات العالمية باستعمال هذه الطريقة للتحليل الديناميكي للمنشآت للوصول إلى نتائج مقبولة ودقة كافية وخاصة أن الطرق الأخرى وإن أعطت نتائج أكثر دقة إلا أنها تعتمد على مجموعة كبيرة من المعطيات والمعلومات التي تكون غالباً في معظمها معلومات مشتقة من زلزال عالمية أو مفترضة بقوانين احتمالية بما يتوافق مع طبيعة الموقع وقرب الصدوع منها وتاريخ وسجلات الحوادث الزلزالية التي حصلت فيه.

6-5- المعلومات المطلوب توفرها عند استعمال طيف الاستجابة

يحدد الكود إمكانية استعمال طيف استجابة نموذجي أو توليد منحنى استجابة صنعي يتعلق بطبيعة الموقع وخواص تربته وفق ما يلي :

1- استعمال طيف استجابة تصميمي من وينشأ بعد تحديد القيميتين C_a و C_v المتتوافقتين مع خصوصية الموقع، ويتم جداء تسارعات المنحنى بالقيمة $g=9.81 \text{ m/sec}^2$ (تسارع الجاذبية الأرضية)، وقد تم الحصول على هذا الطيف من تحليل عدد كبير من الحالات لجمل أحادية درجة الحرية (ذات أدوار مختلفة)، من تأثير منحنيات التسارع الأرضي المسجلة من أحداث زلزالية حصلت في مناطق مختلفة، وفي كل مرة يسجل الناتج الأعظمي لتسارع الجملة من تأثير الزلزال، ويتم الحصول على منحنى طيفي للاستجابة ذو قمم ووديان عديدة على أن يتم تسويته ضمن حدود مقبولة بحيث أعطت المنحنى النموذجي الوارد في الملحق (2) للكود وهو يصلح للمنشآت ذات التخاءد 0.05 من التخاءد الحرج وهي تتوافق مع المنشآت البيتونية بشكل عام.

2- حساب طيف استجابة تصميمي خاص بالموقع المدروس بالإعتماد على المعلومات والخصائص الجيولوجية والتكتونية والزلزالية وخواص التربة الخاصة بالموقع ، ويعتمد فيه أيضاً على استعمال نسبة تخاءد 0.05 .

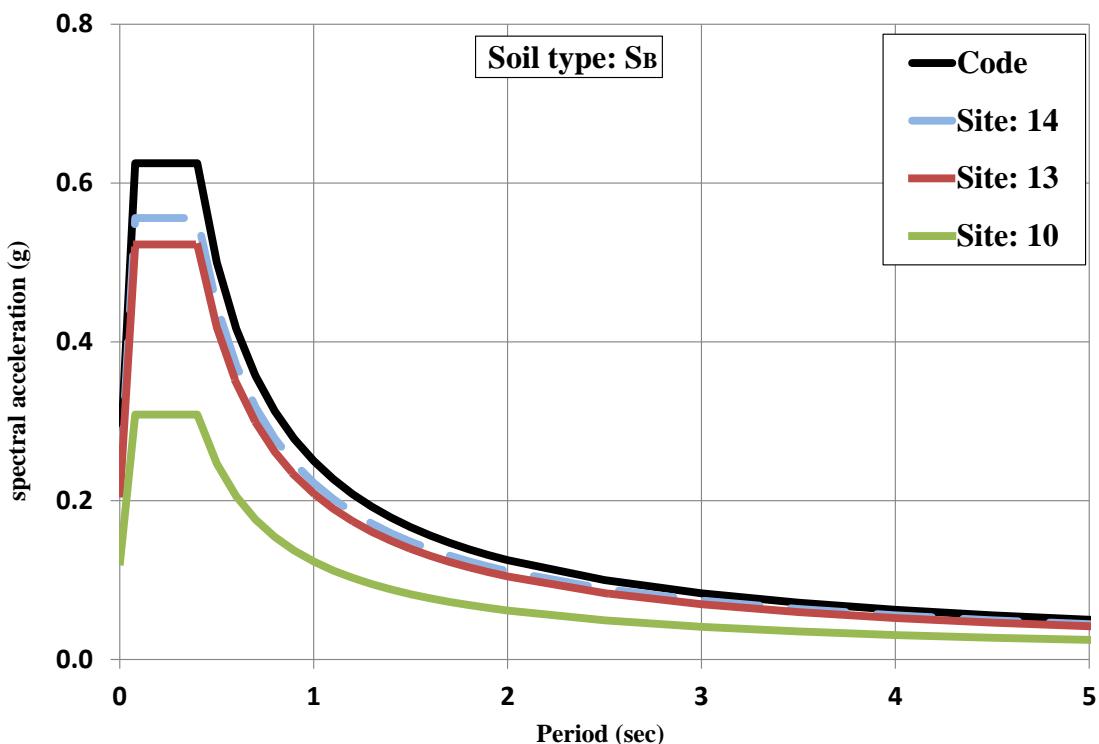
3- استعمال التسجيلات الزمنية لحركات أرضية مسجلة لموقع تكون ممثلة لحركات الزلزال في موقع البناء.

4- في حال كون التربة من النموذج S_F تطبق شروط خاصة أخرى محددة في ملحق الكود. ويمكن اعتماد مركبة رأسية لحركة الأرض مساوية لثاني التسارعات الأفقيه المرافقة ويمكن استعمال عوامل بديلة في حال توفر معطيات خاصة بالموقع.

6-6- طيف الاستجابة التصميمية مع إضافة تأثير نوع التربة السطحية

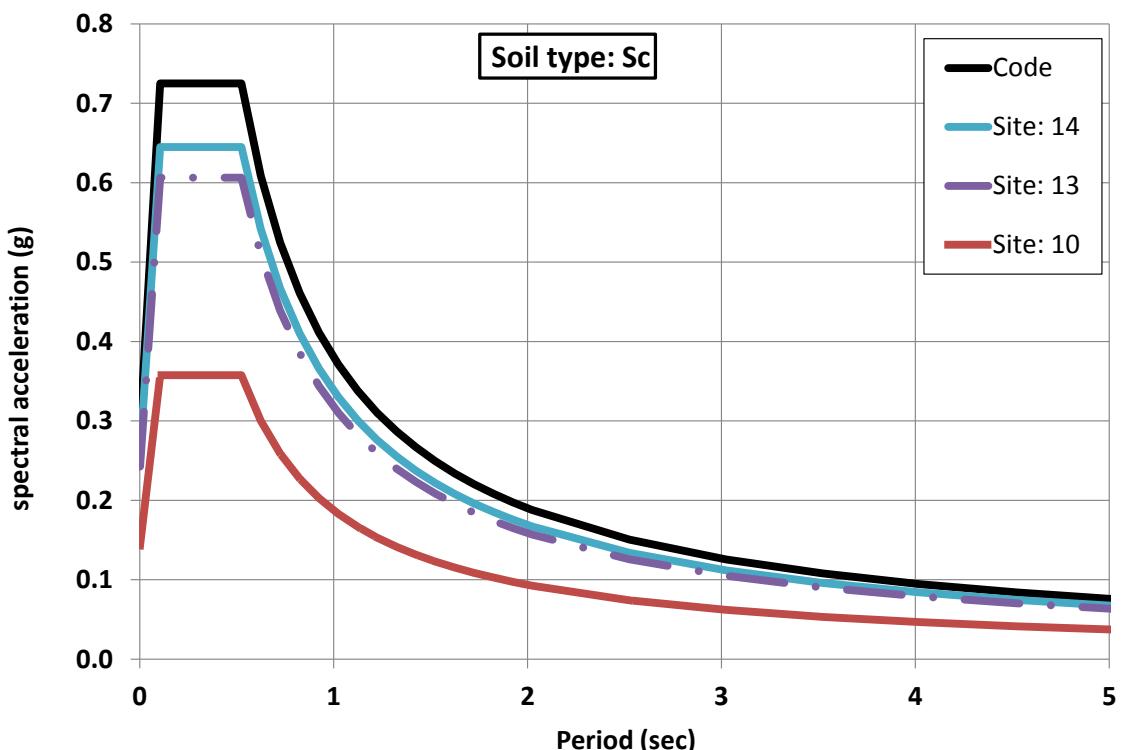
بناءً على قيم التسارعات الأرضية الناتجة من عملية النمذجة الرياضية تم حساب طيف الاستجابة التصميمي لاجل التحليل الديناميكي لمناطق مختارة من منطقة الدراسة الناتجة عن الصدوع المدروسة وهي النقاط رقم (10, 13, 14).

تم حساب طيف الاستجابة التصميمية للمنطقة المدروسة وفقاً لخريطة الكود، باعتماد القيمة الناتجة في الدراسة ولأنواع الترب المختلفة الواردة في الكود وهي (S_B , S_C , S_D , S_E)، حيث يوضح الشكل (6-2) طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_B), ونلاحظ أن أطياف منحنيات الاستجابة أدنى من طيف الاستجابة التصميمية الوارد في الكود لنفس المنطقة وذلك في نفس النقاط.

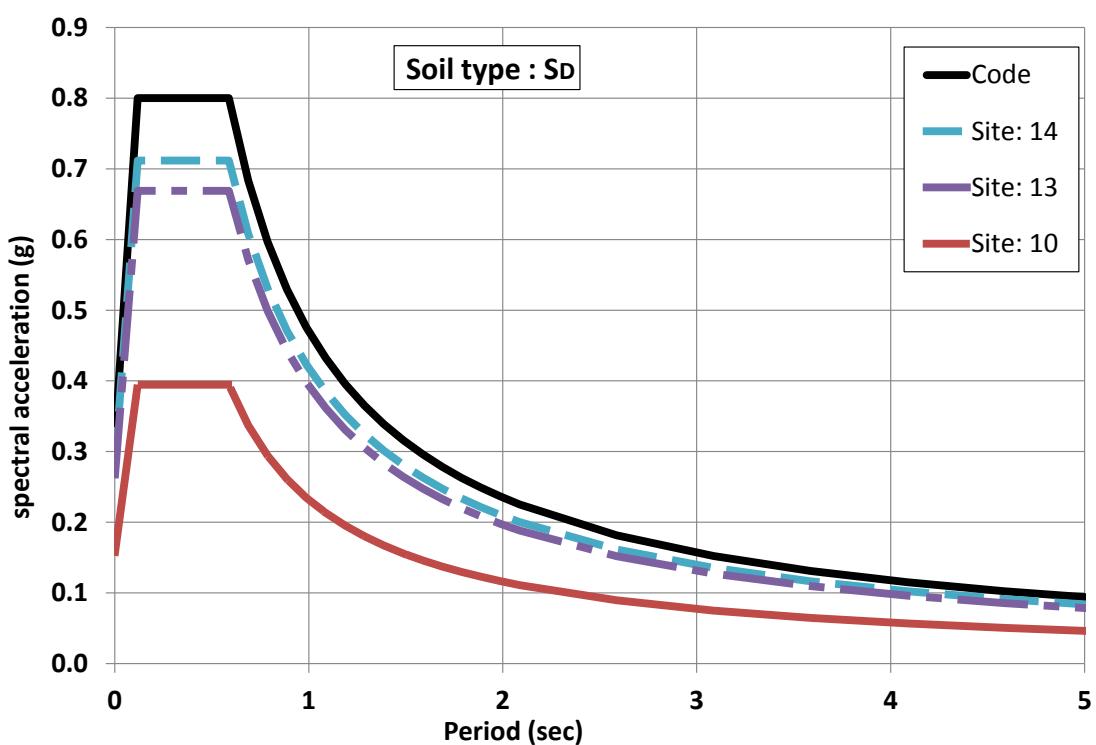


الشكل (6-2): طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (SB).

يبين الشكل (6-3) طيف الاستجابة التصميمية للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة وذلك للتربة من النوع (S_c), في حين يبين الشكل (6-4) طيف الاستجابة التصميمية للنقاط (14, 13, 10) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_D).

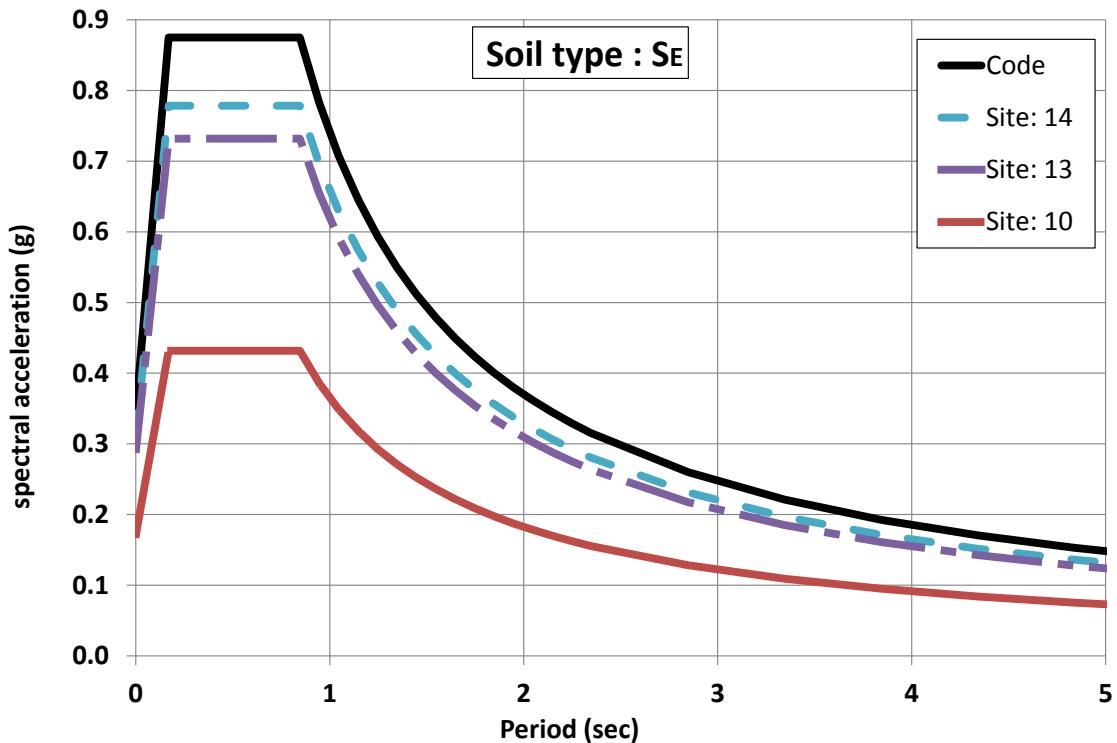


الشكل (6-3): طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (10, 13, 14) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (Sc).



الشكل (6-4): طيف الاستجابة التصميمي للنقاط (10, 13, 14) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (Sd).

يبين الشكل (6-5) طيف الاستجابة التصميمية للنقط (10, 13, 14) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_E).



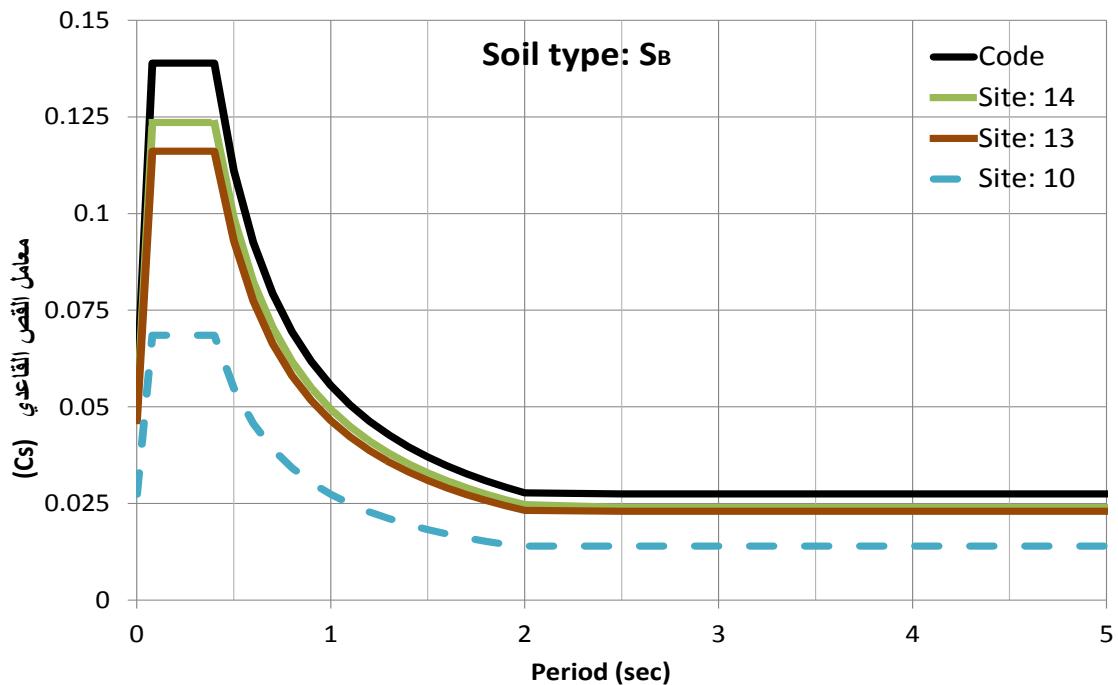
الشكل (6-5): طيف الاستجابة التصميمي للنقط (10, 13, 14) من منطقة الدراسة للتربة من النوع (S_E).

6-7- حساب معامل القص القاعدي

تم حساب معامل القص القاعدي للجمل الانشائية للمبني الأكثر شيوعاً في منطقة الدراسة وهي الحمل القصية بدون مساهمة لإنطارات بتحمل القوى الجانبية، حيث قيمة المعامل $R=4.5$ ومعامل الأهمية $I=1$ ، لأنواع التربة المختلفة الواردة في الكود، وذلك للنقط (10, 13, 14) بالإضافة إلى تضمين المنحني الناتج بحدود القيم الصغرى والعظمى لهذا المعامل لحصول على منحني قيمة القص القاعدي بناءً على القيم الواردة في الكود، كما تم حساب منحني قيمة القص القاعدي بناءً على القيم الناتجة في الدراسة بنفس الطريقة وفقاً للكود.

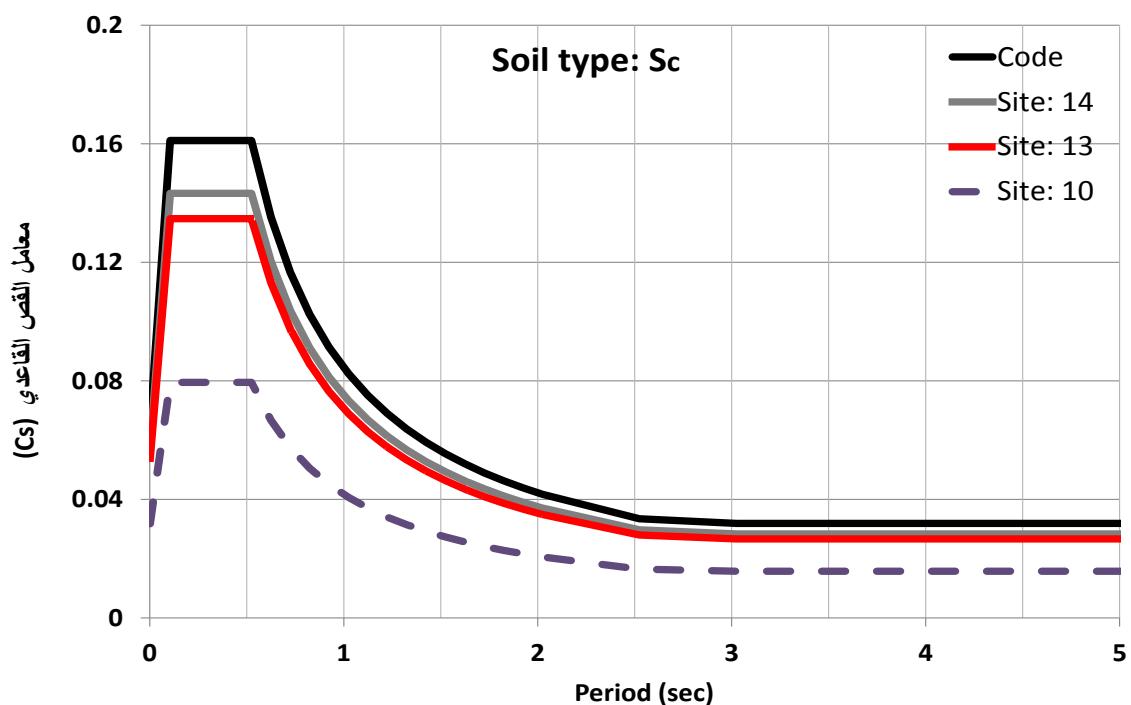
$$C_s = \frac{V}{W} = \frac{C_v I}{R \cdot T} \quad (1)$$

حيث كانت قيم القص القاعدي من أجل التربة ذات النوع S_B للنقاط المدروسة (10, 13, 14) وفق الكود ووفق الدراسة الحالية كما في الشكل (6-6).



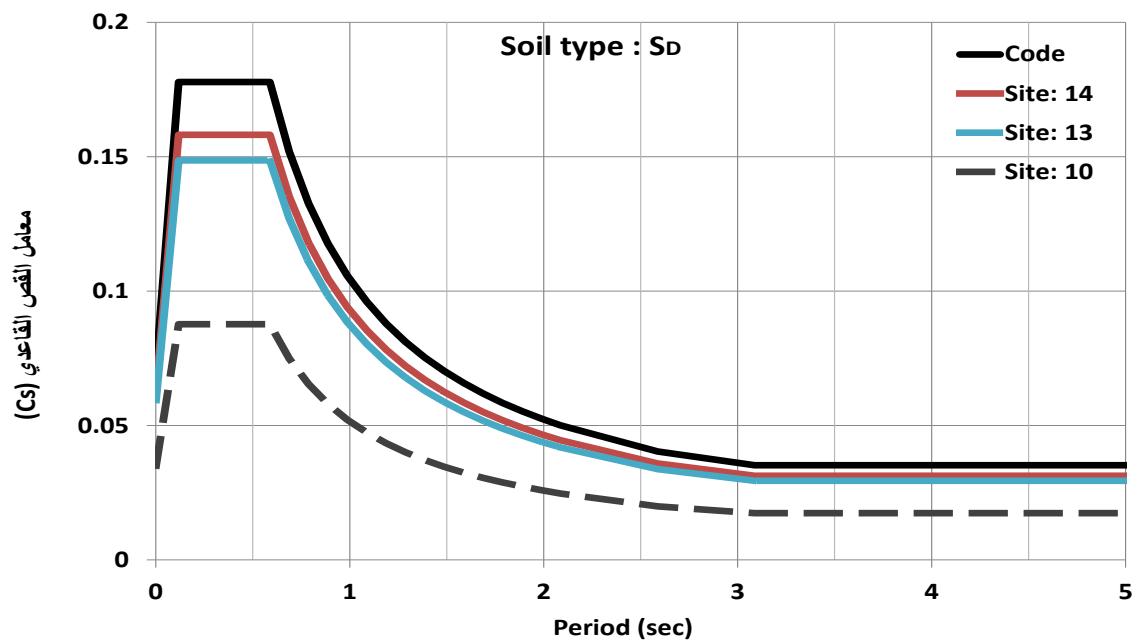
الشكل (6-6): معامل القص القاعدي للنقاط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_B) وفق الكود ووفق هذه الدراسة.

وللتربة ذات النوع S_C كانت قيم معامل القص القاعدي للمناطق المدروسة وفق الكود والدراسة الحالية كما هو موضح في الشكل (6-7).



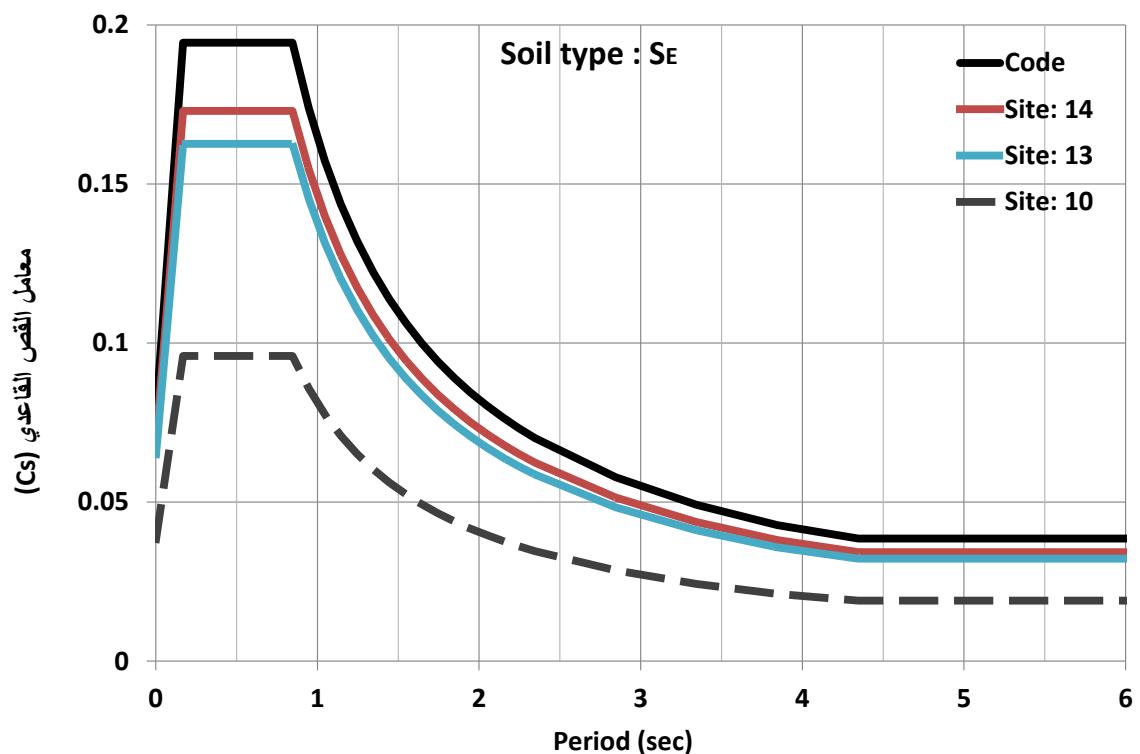
الشكل (6-7): معامل القص القاعدي للنقاط (10, 13, 14) للتربة من النوع (S_C) وفق الكود ووفق هذه الدراسة.

ولتربة ذات النوع S_D كانت قيم معامل القص القاعدي للمناطق المدروسة وفق الكود والدراسة الحالية كما هو موضح في الشكل (8-6).



الشكل (8-6): معامل القص القاعدي للنقط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_D) وفق الكود ووفق هذه الدراسة.

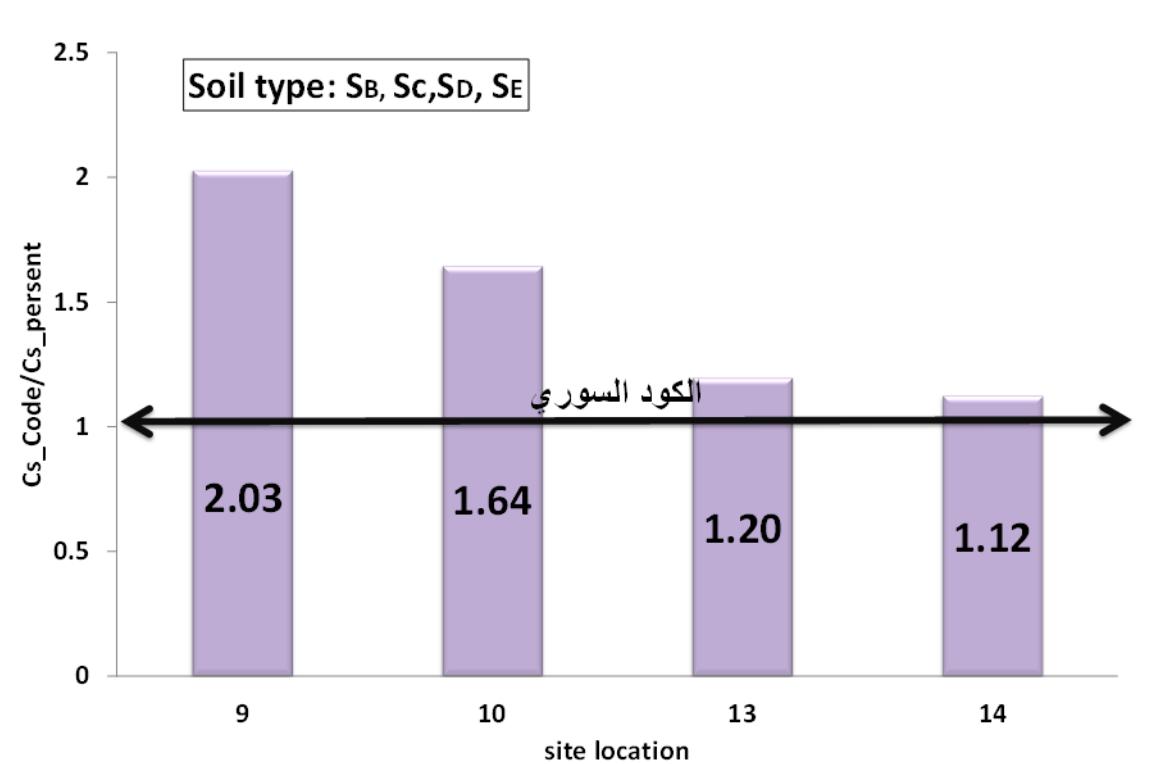
ولتربة ذات النوع S_E كانت قيم معامل القص القاعدي للمناطق المدروسة وفق الكود والدراسة الحالية كما هو موضح في الشكل (9-6).



الشكل (9-6): معامل القص القاعدي للنقط (14, 13, 10) للتربة من النوع (S_E) وفق الكود ووفق هذه الدراسة.

معامل القص القاعدي (C_s):

للمقارنة مع قيمة الكود تم حساب نسبة قيمة قوة القص القاعدي الواردة في الكود إلى القيمة الحالية الناتجة في الدراسة لل نقاط (9، 10، 13، 14) لأنواع التربة المختلفة، حيث لوحظ كون النسبة أكبر من الواحد في كافة نقاط الدراسة وفي النقاط 9 و 10 و 13 و 14 وفق ما هو موضح في الشكل (6-11).



الشكل (6-10): نسبة قيمة معامل القص القاعدي الواردة بالكود إلى قيمة معامل القص القاعدي الناتجة بالدراسة لأنواع التربة المختلفة للنقاط (9، 10، 13، 14) .

6-8- مقارنة التسارات المحسوبة مع التسارات الواردة في جداول الكود

وفقاً لخريطة الكود تقع منطقة الدراسة ضمن المنطقةزلالية 2C حيث تبلغ قيمة التسارع الأرضي الأعظمي ($250 \text{ سم}/\text{s}^2$)، كما تضمن الكود جدول بقيم التسارات الأرضية العظمى (PGA) المحتملة على الطبقة الصخرية الصلبة خلال خمسين عاماً مع احتمالية عدم تجاوز 90% مقدرة بالـ $\text{سم}/\text{s}^2$ لأهم مراكز المدن والبلدات في سوريا، حيث تبلغ قيمة التسارع الأرضي لكافة مراكز المدن والبلدات الواقعة ضمن منطقة الدراسة والواردة في الجدول المذكور ($250 \text{ سم}/\text{s}^2$) في حين أظهرت الدراسة الحالية وجود تمايز بين هذه المدن والبلدات بقيم التسارات الأرضية وفق ما هو موضح بالجدول (4-6)، كما تظهر النسبة المئوية للتسارع الأرضي وفق الكود على نسبة التسارع الأرضي الناتجة في الدراسة فروقات تتراوح بين 1.19 إلى 3.57.

جدول (4-6) قيم التسارات الأرضية لبعض مراكز المدن والبلدات في الكود والدراسة الحالية

الرقم	مراكز المدن والبلدات	التسارع الأرضي وفق الكود	التسارع الأرضي وفق الدراسة الحالية	نسبة التسارع الكود/الدراسة
1	قدسيا	250	210	1.19
2	داريا	250	150	1.67
3	صحنايا	250	120	2.08
4	الكسوة	250	100	2.50
5	حرستا	250	130	1.92
6	عربين	250	130	1.92
7	كفربطنا	250	130	1.92
8	جرمانا	250	100	2.50
9	المليحة	250	100	2.50
10	غزلانية	250	80	3.13
11	دوما	250	110	2.27
12	النشابية	250	70	3.57

6-9- حساب قيم المعاملين الزلزاليين C_v و C_a وفقاً لقيم التسارعات الناتجة عن الدراسة

نظراً للحصول على قيم التسارعات المؤثرة لكل منطقة على حدٍ، وباعتماد تصنيف أنواع التربة المختلفة الواردة في الكود العربي السوري تم حساب قيم المعامل C_a لبعض مناطق الدراسة وفق الجدول (5-6) هذه المناطق هي (5، 9، 13، 14)، بالإضافة إلى حساب قيم المعامل C_v لنفس المناطق المذكورة وفق ما هو موضح بالجدول (6-6)، ونلاحظ من الجدولين اختلاف قيم هذين المعاملين من منطقة لأخرى، بينما وفقاً للكود العربي السوري فإن قيم هذين المعاملين هي نفسها لكافة نقاط الدراسة لمنطقة 2C ذات معامل المنطقة الزلزالي Z وتساوي g(0.25).

الجدول (5-6) المعامل الزلزالي (C_a)

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالي (Z)				
	وفقاً للكود		وفقاً لنتائج نقاط الدراسة		
	$Z = 0.25$	$Z = 0.15$	$Z = 0.16$	$Z = 0.21$	$Z = 0.23$
C2	المنطقة 5	المنطقة 9	المنطقة 13	المنطقة 14	
S_A	0.2	0.12	0.13	0.17	0.18
S_B	0.25	0.15	0.16	0.21	0.23
S_C	0.29	0.18	0.19	0.25	0.27
S_D	0.32	0.22	0.23	0.29	0.3
S_E	0.35	0.3	0.31	0.34	0.35

الجدول (6-6) المعامل الزلزالي (C_v)

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالي (Z)				
	وفقاً للكود		وفقاً لنتائج نقاط الدراسة		
	$Z = 0.25$	$Z = 0.15$	$Z = 0.16$	$Z = 0.21$	$Z = 0.23$
C2	المنطقة 5	المنطقة 9	المنطقة 13	المنطقة 14	
S_A	0.2	0.12	0.13	0.17	0.18
S_B	0.25	0.15	0.16	0.21	0.23
S_C	0.38	0.25	0.26	0.33	0.36
S_D	0.47	0.32	0.34	0.41	0.44
S_E	0.74	0.5	0.53	0.66	0.7



النتائج والتوصيات

الفصل السابع

النتائج والتوصيات

1-7 مقدمة

تم في هذا البحث نمذجة التسارات الأرضية التي قد تنشأ عن المصادر الزلزالية المؤثرة على مدينة دمشق وماحولها من خلال المنهجية المعتمدة على تحليل طيف الحركة الأرضية في الموقع إلى مساهمات ناتجة عن المصدر الزلزالي والمسار وتأثير جيولوجية الموقع، وذلك لكل من صدوع سرغايا وبسيمة ودمشق، وتم من خلال هذه الدراسة حساب قيم التسارع الأرضي الأعظمية المتوقعة على الصخر الأساس بتأثير هذه الصدوع ، وتوليد سجلات زلزالية صناعية وأطياف استجابة للنقاط المدروسة لأهداف الدراسات الزلزالية والهندسية، كما تمت مقارنة نتائج الدراسة مع القيم الواردة في الكود العربي السوري 2004، ونورد هنا أهم النتائج والتوصيات التي تم التوصل إليها.

2-7 النتائج

- تم حساب قيم التسارات الأرضية الأعظمية في النقاط المدروسة وإظهارها على شكل خرائط تساوي التسارات الأرضية المتوقعة للمصادر الزلزالية المؤثرة على منطقة الدراسة (صدوع سرغايا وبسيمة ودمشق)، حيث أظهرت النتائج أن مستوى الخطر الزلزالي في المنطقة مرتفع نسبياً وخاصةً في الشمال الغربي من المدينة ويقل باتجاه الجنوب الشرقي وكانت أكبر قيمة للتسارع الأرضي على الصخر الأساس (0.222 g).
- لوازن بأن المصدر الزلزالي (صدع بسيمة) هو المصدر الأكثر أهمية عند مقارنة قيم التسارات الأرضية الناتجة في نقاط الدراسة، حيث كانت أكبر القيم للتسارات الأرضية ناتجة عن صدوع بسيمة عدا النقاط (1، 2، 3، 5، 9)، والتي كانت قيم التسارات الأرضية الأعظمية فيها ناتجة عن تأثير المصدر الزلزالي (صدع سرغايا)، مما يظهر مدى أهمية هذا الصدوع كمصدر زلزالي محتمل التأثير على منطقة الدراسة وضرورة إجراء دراسات تفصيلية لمعرفة خصائص النشاط الزلزالي والحركي على هذا الصدوع.
- كانت قيم التسارات الناتجة عن المصدر الزلزالي صدوع دمشق أقل من قيم المصدر الزلزالي صدوع بسيمة في كافة نقاط الدراسة، حيث بلغت أكبر قيمة للتسارع الأرضي (0.140 g)، وتتجلى أهمية هذا الصدوع كمصدر زلزالي محتمل التأثير على منطقة

الدراسة كونه يمر من منطقة الدراسة، مما يستدعي ضرورة إجراء دراسات لمعرفة خصائص ونشاط هذا الصدع بشكل تفصيلي وتغيير هذه الخصائص على امتداد الصدع.

- قيم التسارات الأرضية في الجهة الجنوبية الشرقية من منطقة الدراسة أقل من القيم الواردة في الكود العربي السوري 2004 الأمر الذي يستدعي إعادة النظر في هذه القيم مع الأخذ بعين الاعتبار الدراسات الحديثة التفصيلية الجيولوجية والسيسموتكتونية، بينما كانت قيم التسارات الأرضية في الجهة الشمالية الغربية قريبة من القيم الواردة في الكود.
- تظهر مقارنة قيم التسارات الأرضية الناتجة لنقاط الدراسة مع القيم الواردة في جدول الكود العربي السوري لبعض أهم المناطق والبلدان، بأن قيم التسارات الأرضية الواردة في الكود لكامل المنطقة قد مثلت بقيمة وحيدة (0.250)g، في حين تراوحت الفروقات بين القيم الواردة في الكود والقيم الناتجة عن الدراسة الحالية البعض المناطق المختارة من المنطقة (1.19 - 3.57).
- تم حساب السجلات الزمنية الصناعية للتسارع الأرضي في النقاط المدروسة لأهداف الدراسات الزلزالية والهندسية والتحليل الديناميكي لاستجابة المنشآت، نظراً لعدم وجود قاعدة بيانات لزلزال ذات تسارات أرضية قوية، وتبين أهمية وجود مثل هذه السجلات عند غياب قاعدة بيانات لزلزال ذات تسارات أرضية قوية كما هو الحال في مناطق غربي بلاد الشام.
- تم حساب أطيف الاستجابة التصميمية في النقاط المدروسة، حيث توضح هذه الأطيف المحتوى الترددى للحركة الأرضية ومحال الأدوار المسيطرة التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار لدى دراسة استجابة المباني، حيث أظهرت النتائج أن مجال الأدوار السائدة في المنطقة بشكل عام هي (0.07-0.2) ثانية، مما يعني بأن التأثير الأكبر هو على الأبنية الطابقية قليلة الارتفاع.
- تمت دراسة تأثير الموقع للترابة السطحية لنقاط الدراسة حسب التصنيف الوارد في الكود العربي السوري لأنواع التربة المختلفة، حيث أظهرت النتائج تضخيم في قيم التسارات مع اختلاف نوعية التربة بنسبة (10-15)% بين كل نوع من أنواع التربة المدروسة.
- تم حساب طيف الاستجابة التصميمية لنقاط الدراسة مع إضافة تأثير أنواع التربة السطحية الواردة في الكود إلى نتائج الدراسة، حيث أظهرت النتائج بأن أغلب أطيف الاستجابة التصميمية أدنى من أطيف الاستجابة التصميمية الوارد في الكود لنفس المنطقة كما هو الحال

بالنسبة لنقاط الدراسة (13، 14، 10) مما يعني بأن قيم التسارع التصميمية الواردة في الكود تغطي قيم التسارع المتوقعة من المصادرزلزالية المدروسة.

- مقارنة معامل القص القاعدي للجمل الإنسانية للمباني الأكثر شيوعاً في منطقة الدراسة وهي الجمل القصية بدون مساهمة للإطارات في تحمل القوى الجانبية، وذلك لأنواع المختلفة للتربة السطحية الواردة في الكود، بالاعتماد على القيم الناتجة في الدراسة مع قيم معامل القص القاعدي حسب ماورد في الكود، حيث بلغت نسبة القص القاعدي بالكود إلى القيمة الناتجة (2.0) للنقطة 9، الأمر الذي يشير إلى أن النسبة مرتفعة ويترب عليها تكلفة اقتصادية عالية نسبياً، في حين بلغت (1.2) للنقط 13 و 14.
- تمت دراسة قيم المعاملين الزلزاليين C_v و C_a بناءً على قيم التسارعات الناتجة في مناطق الدراسة، واقتراح جداول تعطي تفصيلات إضافية لحساب قيم هذين المعاملين للنقط المدروسة مع الأخذ بعين الإعتبار الأنواع المختلفة للتربة الواردة في الكود.

7-3- التوصيات

تفيد دراسات النمذجة الرياضية للحركات الأرضية القوية في وضع خرائط التسارعات الأرضية وصولاً إلى وضع التصميم الهندسي للأبنية المقاومة للزلزال في مناطق لم تتعرض لزلزال كبيرة في العصر الحديث، وفي المناطق التي تفتقر إلى وجود قواعد بيانات سجلات الحركات الأرضية القوية، لذلك نوصي بأن تركز الدراسات والبحوث المستقبلية على دراسات تفصيلية على النحو التالي:

- إجراء دراسات تفصيلية دقيقة لفهم الخصائص الفيزيائية والحركية المختلفة للمصادرزلزالية والتأثيرات المختلفة لوسط الانتشار بين المصدرزلزالي والموقع المدروس وباعتتماد طرق أكثر تفصيلية وصولاً لتطوير النماذج التي تحاكي الحركات الأرضية المحتملة الحدوث من مصادر زلزالية محددة، حيث تجلت أهمية هذه النماذج في وضع الخرائط التفصيلية للتسارعات الأرضية، وتوليد السجلاتزلزالية الصناعية وأطیاف الاستجابة التصميمية، ونخص بالذكر:
 - التقدير الدقيق لقدر العزمزلزالي بالاعتماد على العزمزلزالي M_0 والذي يُحسب بدوره من معرفة أبعاد الجزء النشط من المصدرزلزالي ومعدل الإزاحة على سطح الصدع، حيث يعتبر المعامل الأهم والمدخل الأساسي عند حساب التسارعات الأرضية الأعظمية بطريقة النمذجة الرياضية.

- التقدير الدقيق لهبوط الإجهاد Stress drop من خلال النمذجة الرياضية لسجلات التسارعات الأرضية ومقارنتها مع سجلات التسارع الحقيقية المتوفرة لمنطقة الدراسة.
- حساب سجلات التسارع الصناعية (Time history) المترافق مع طيف الاستجابة التصميمية الواردة في كود البناء الهندي 2004 والذي يفيد في التحليل الديناميكي عند التصميم الإنثائي المقاوم للزلزال.
- انجاز مثل هذا النوع من الدراسات من أجل بقية المدن والمناطق الأهلية بالسكان ومناطق توزع الفعاليات الاقتصادية والاجتماعية وبخاصة على امتداد الجزء الغربي من سوريا، حيث يتركز الخطر الزلالي بسبب مرور نظام البحر الميت الصدعي.
- حساب التسارعات الأعظمية عند قيم محددة من الدور (0.2 ثانية - 1 ثانية) للحصول على قيم ونتائج تقييد في تطوير كود البناء الهندي بشكل يوافق الكودات العالمية مثل (International Building Code, IBC).



A- سجلات التسارع الصناعية

B- أطياف الاستجابة الزلزالية

C- ملاحق متعددة

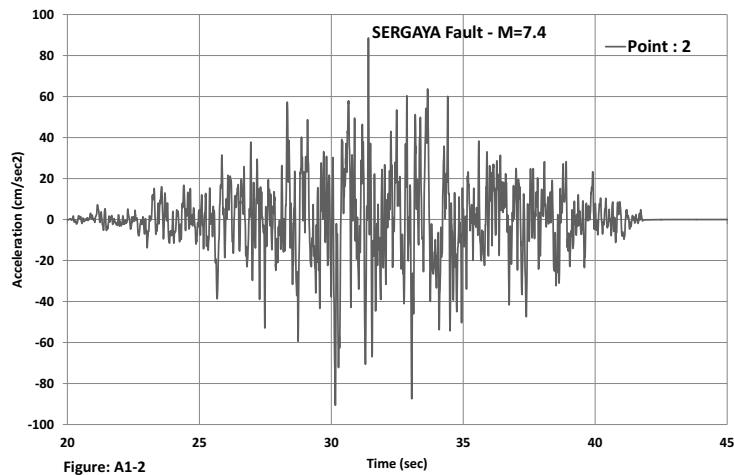
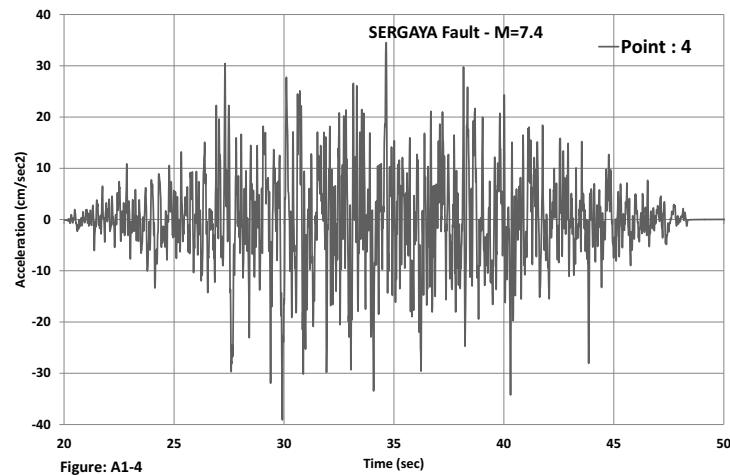
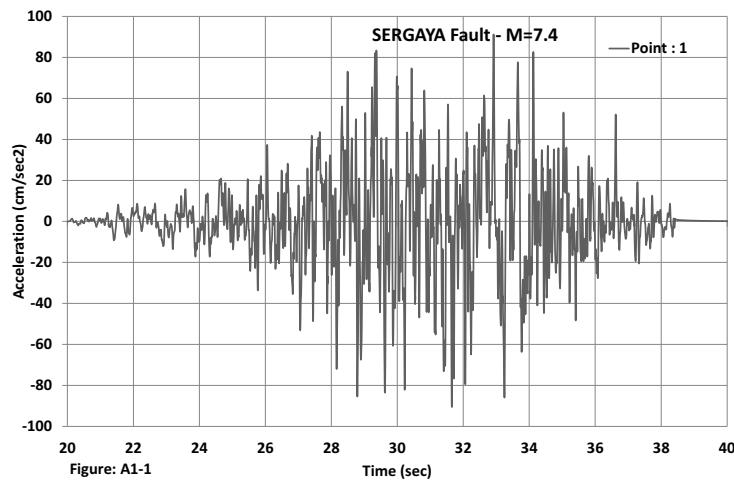
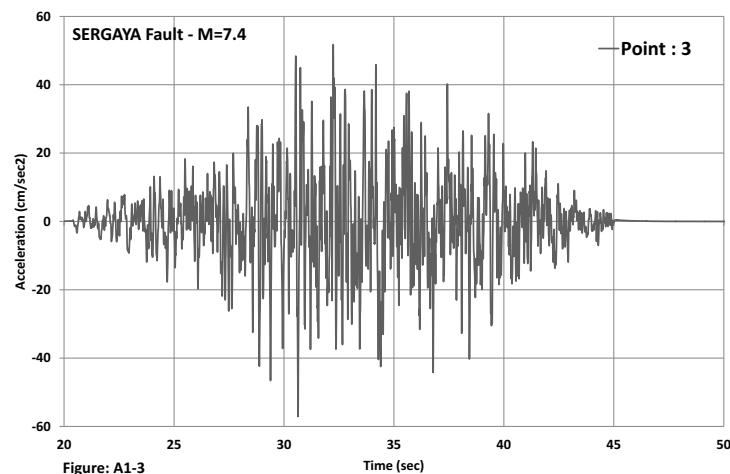
1. ملحق الزلازل التاريخية
2. ملحق معاملات الصدوع الثلاث
3. ملحق المعادلات وال العلاقات الرياضية
4. ملحق عمق طبقة الصخر الأساس الهندسي



A

سجلات التسارع الصناعية لنقاط الدراسة من 1 إلى 16

البيان	إلى الشكل	من الشكل
سجلات التسارع الصناعي على صدع سرغايا لهزة بقوة ($M=7.4$)	A1-16	A1-1
سجلات التسارع الصناعي على صدع بسيمة لهزة بقوة ($M=7.0$)	A2-16	A2-1
سجلات التسارع الصناعي على صدع دمشق لهزة بقوة ($M=5.0$)	A3-16	A3-1



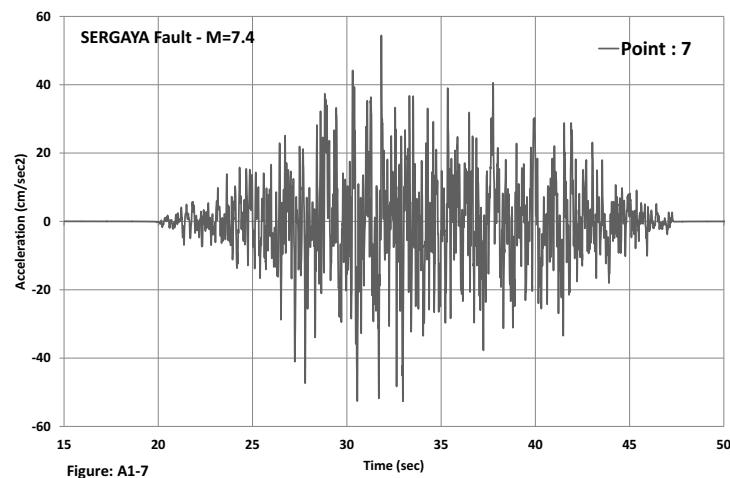


Figure: A1-7

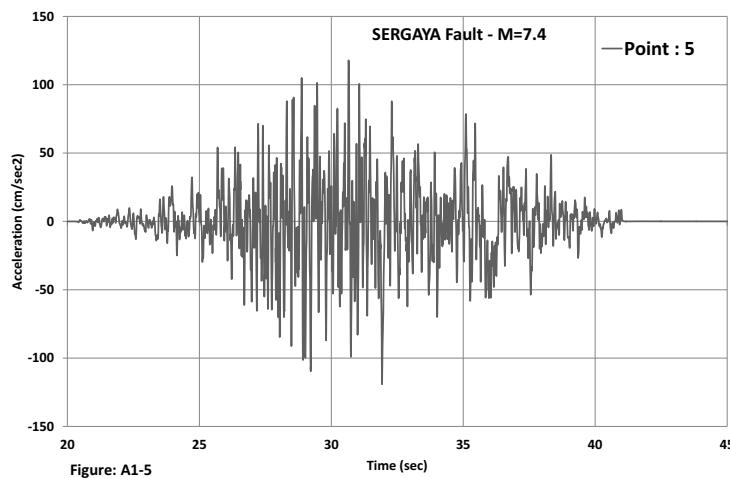


Figure: A1-5

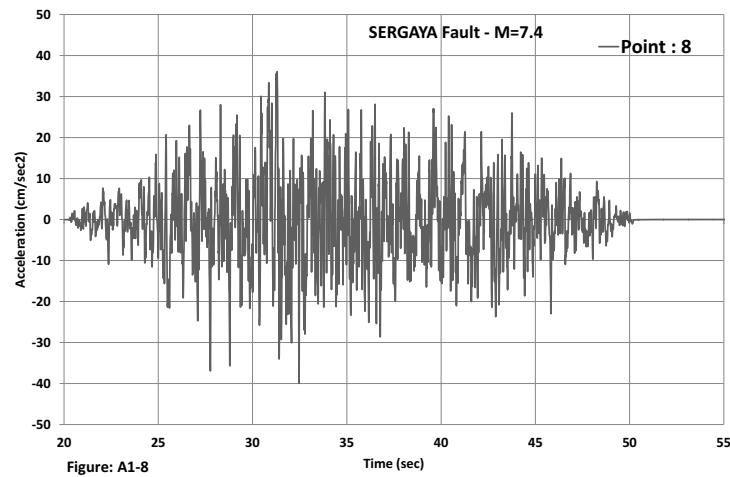


Figure: A1-8

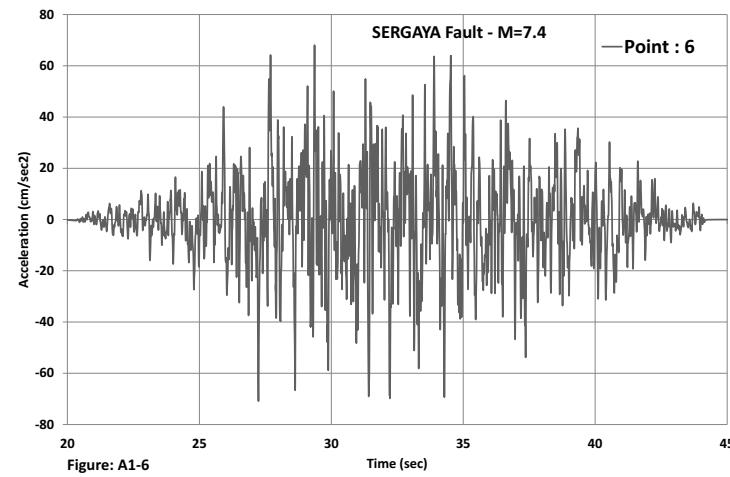


Figure: A1-6

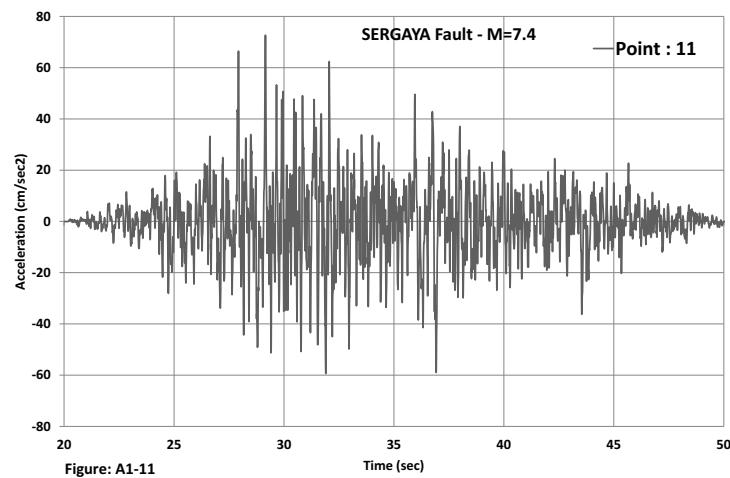


Figure: A1-11

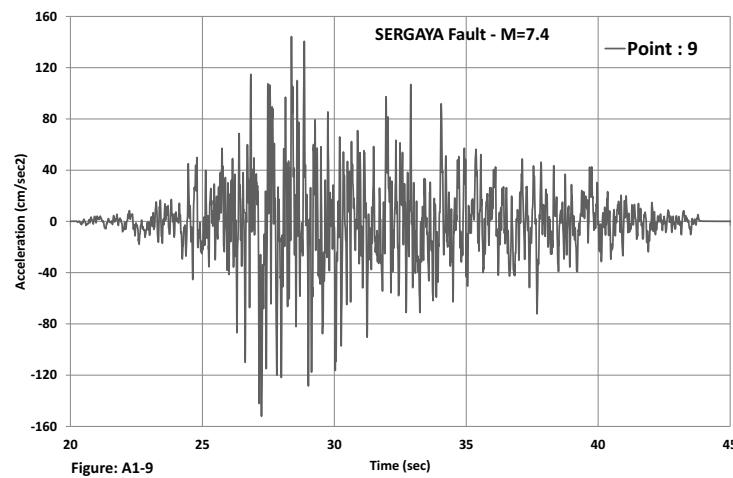


Figure: A1-9

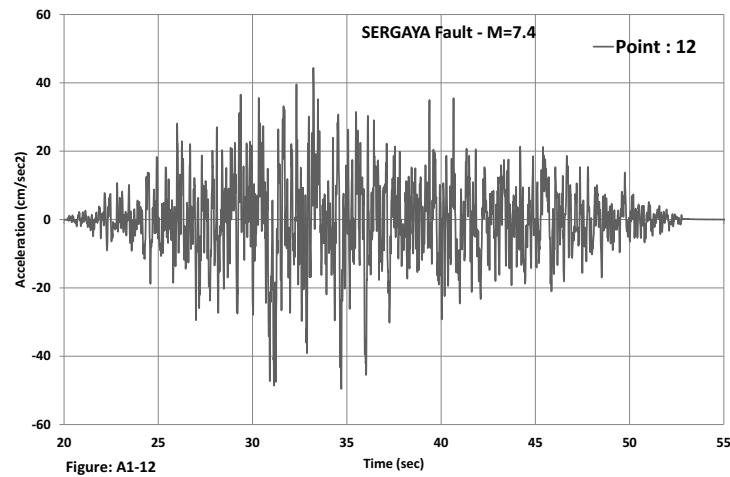


Figure: A1-12

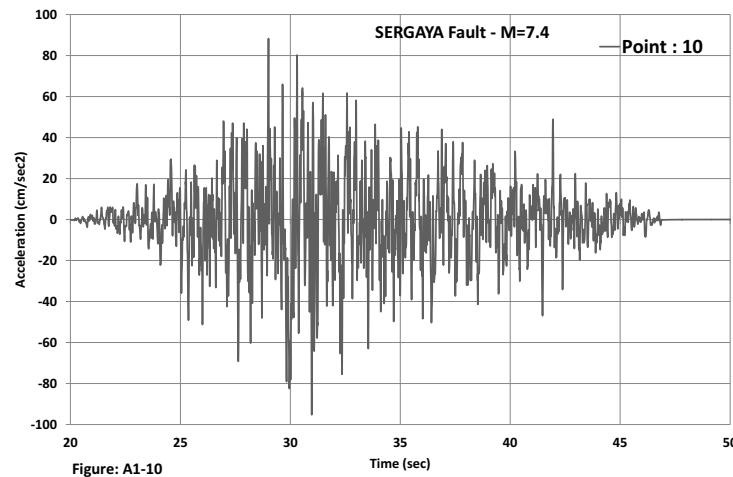
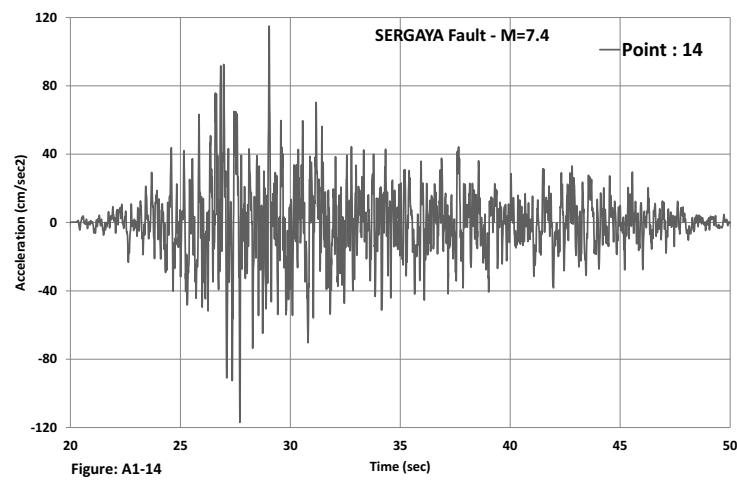
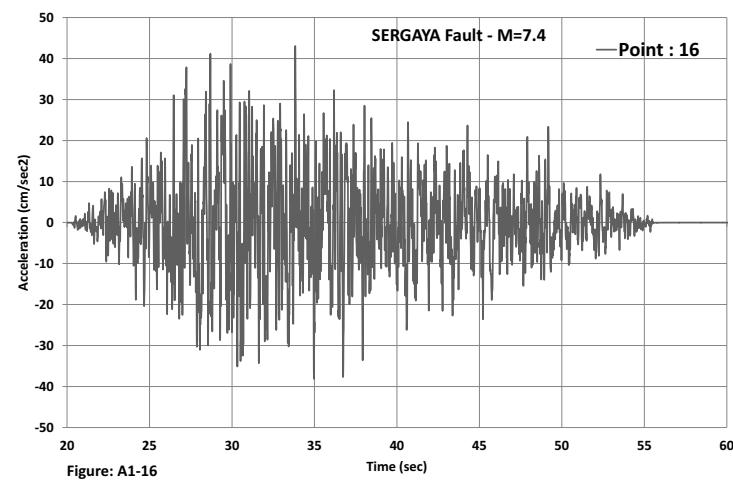
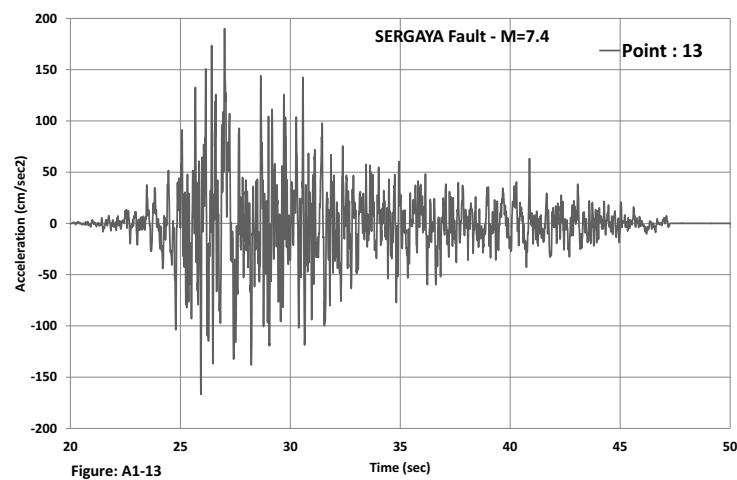
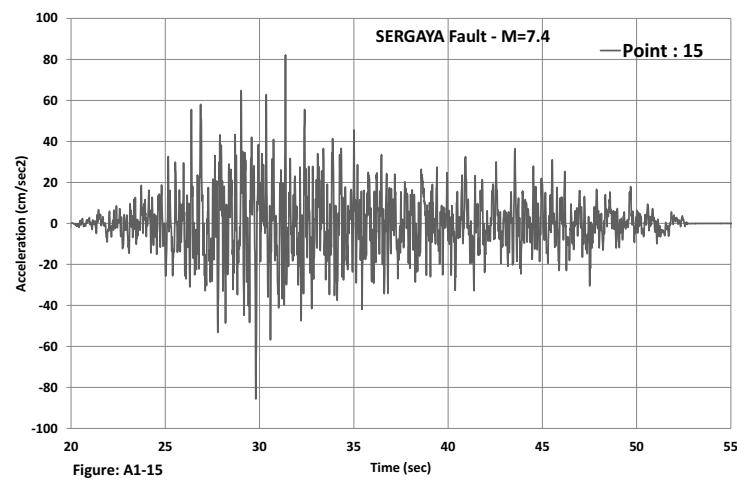
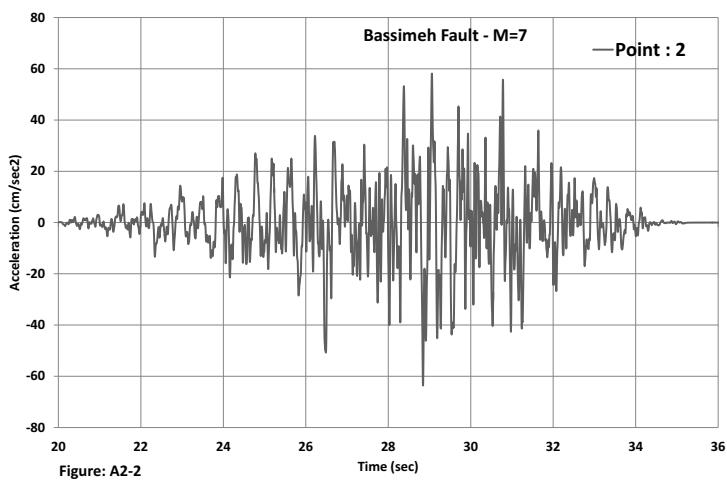
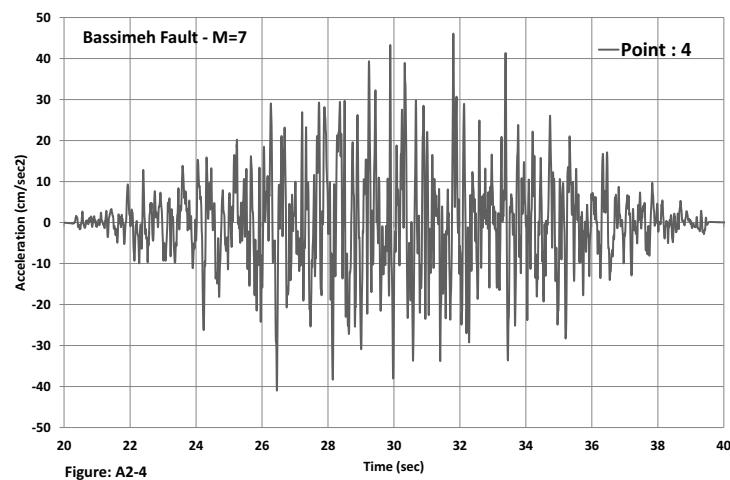
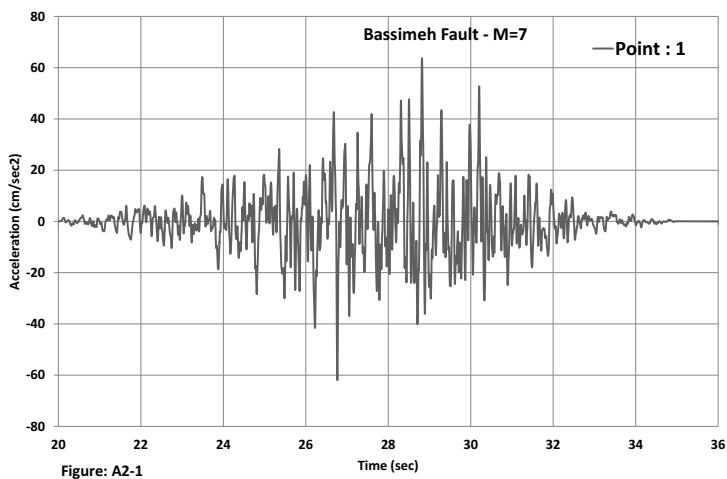
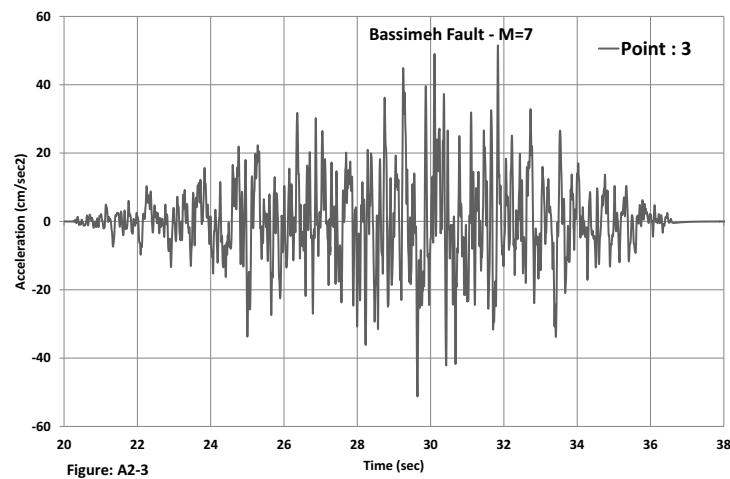


Figure: A1-10





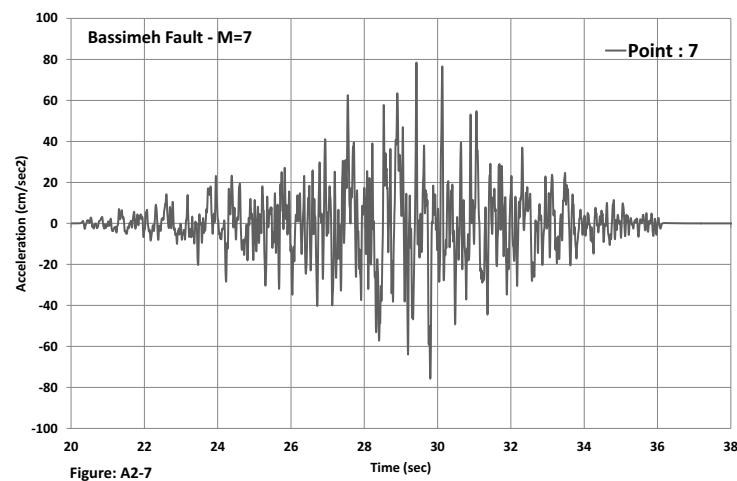


Figure: A2-7

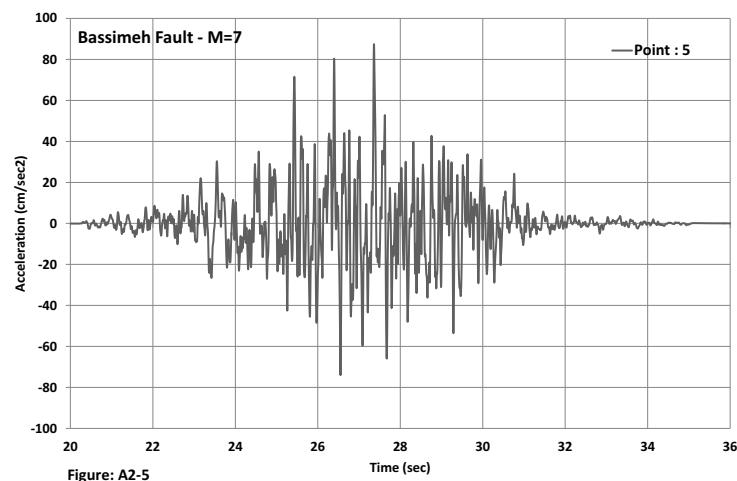


Figure: A2-5

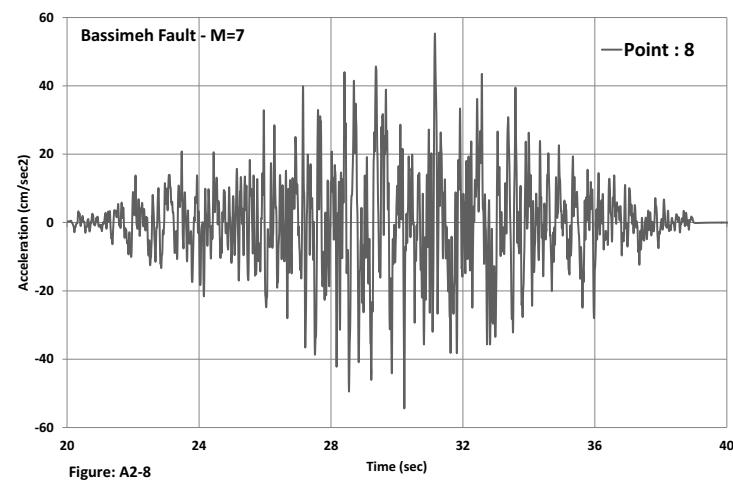


Figure: A2-8

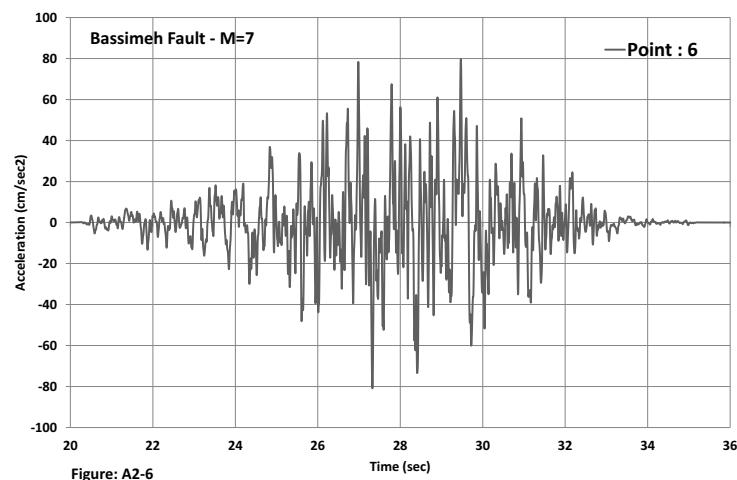


Figure: A2-6

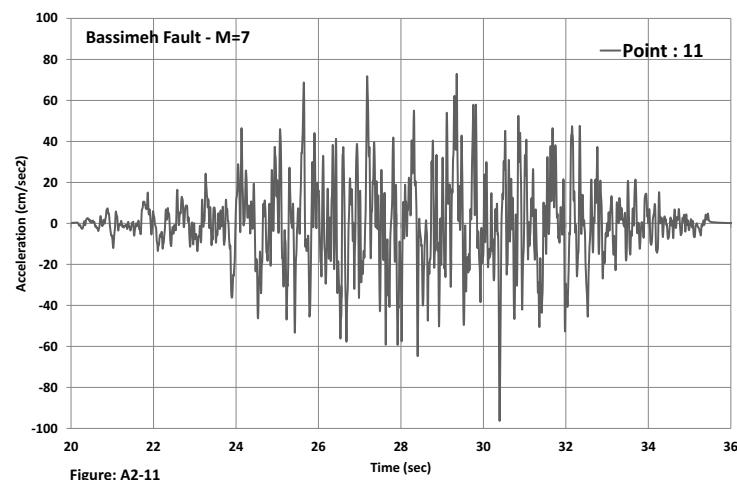


Figure: A2-11

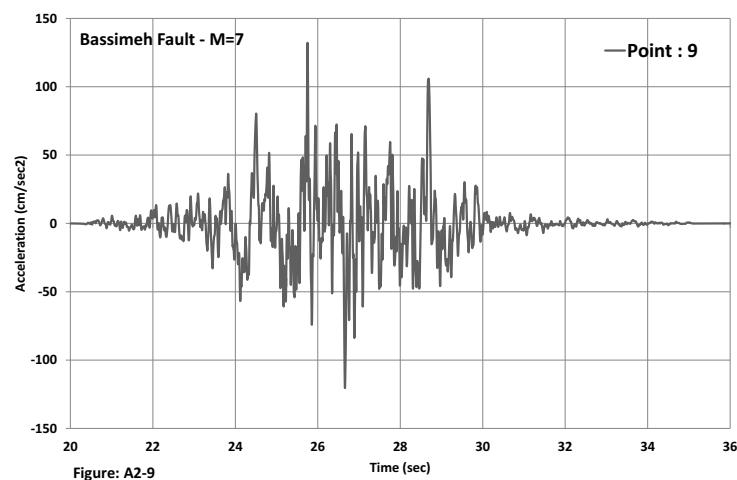


Figure: A2-9

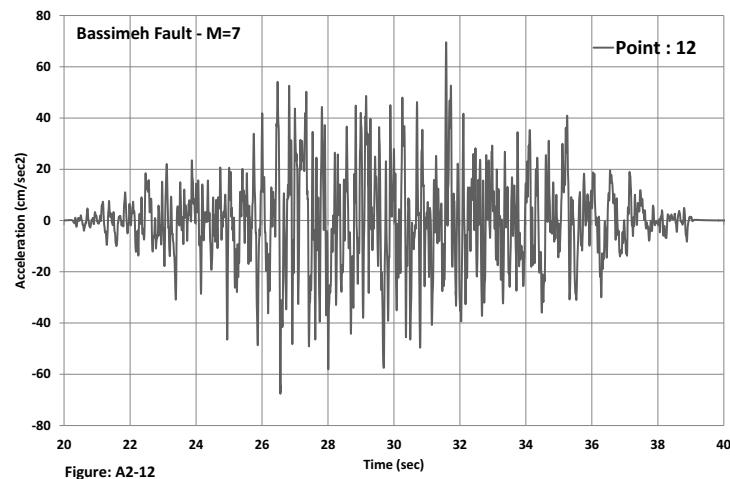


Figure: A2-12

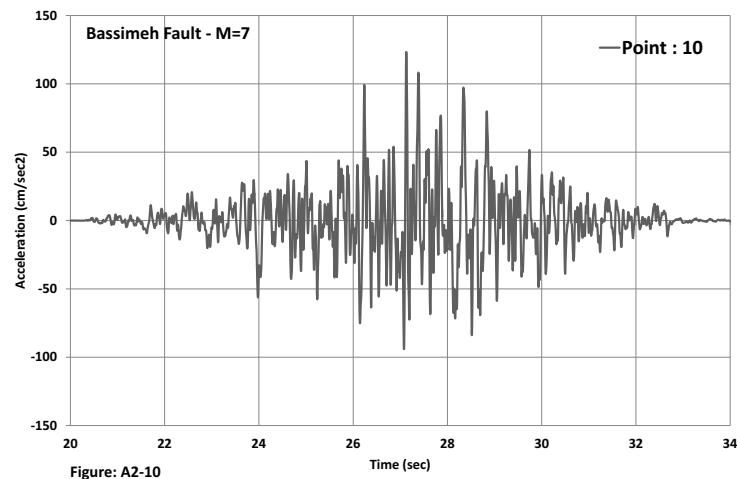
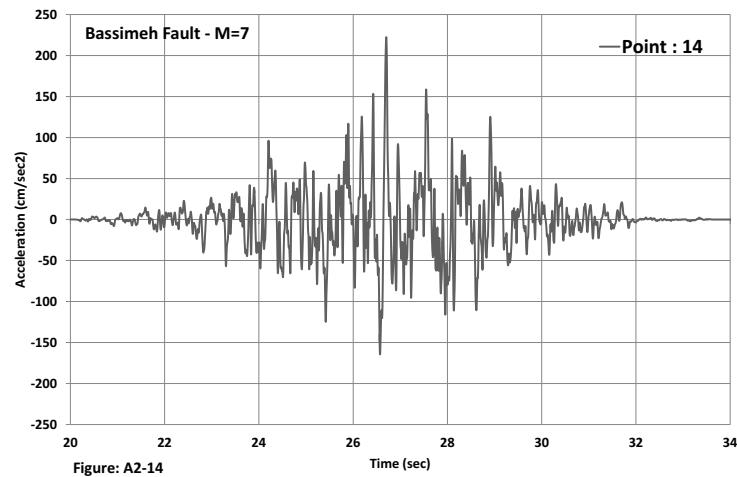
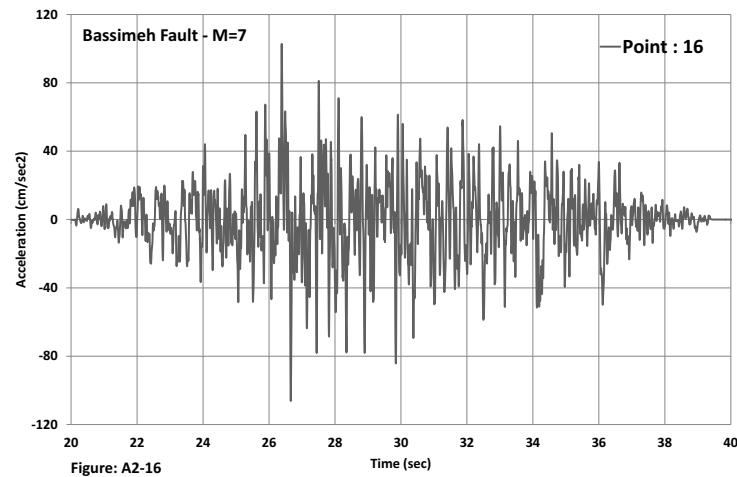
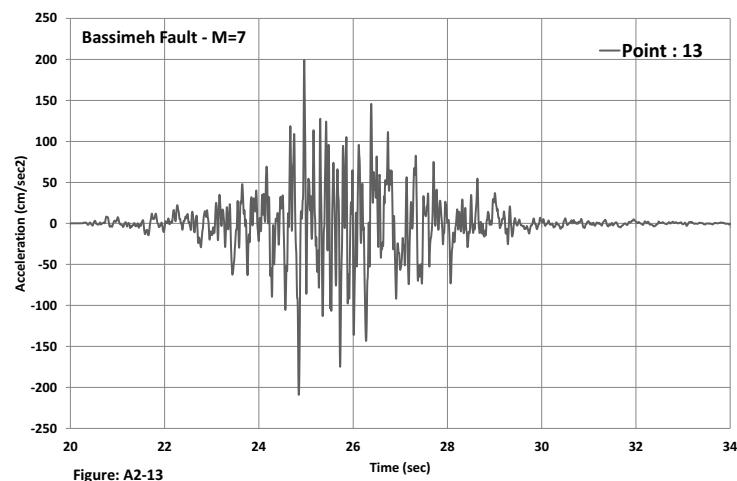
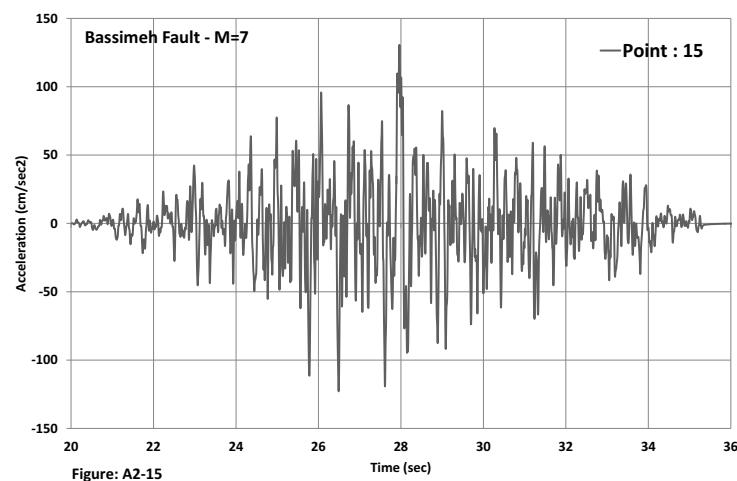
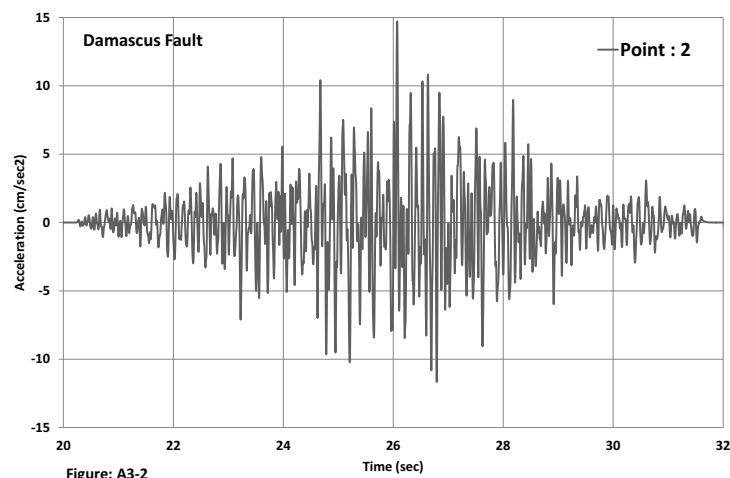
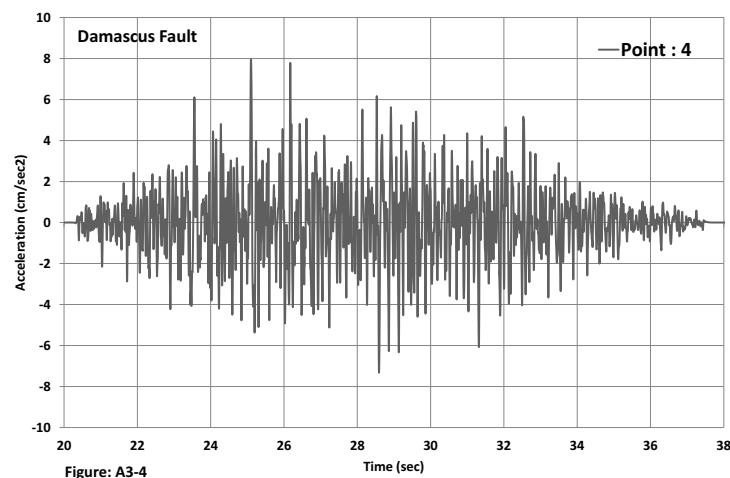
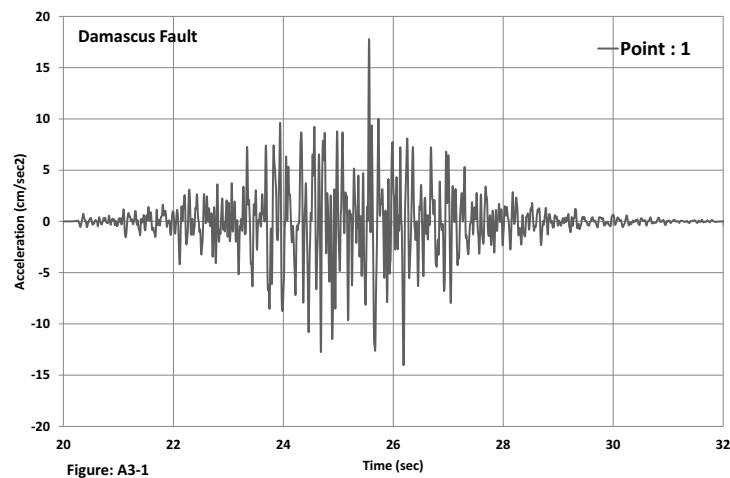
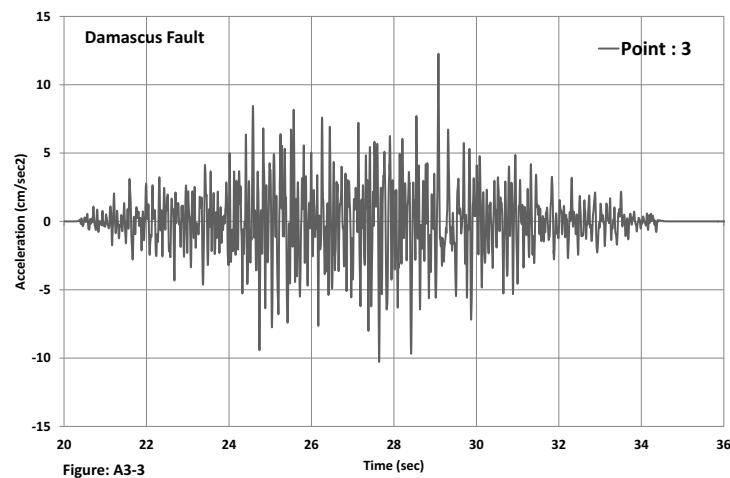
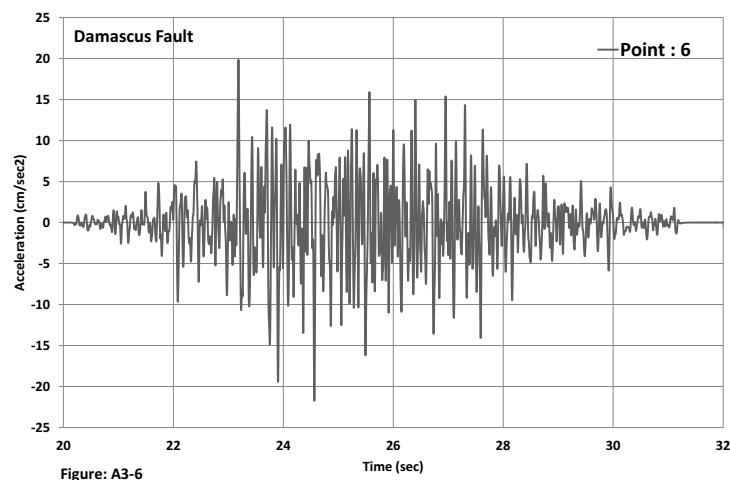
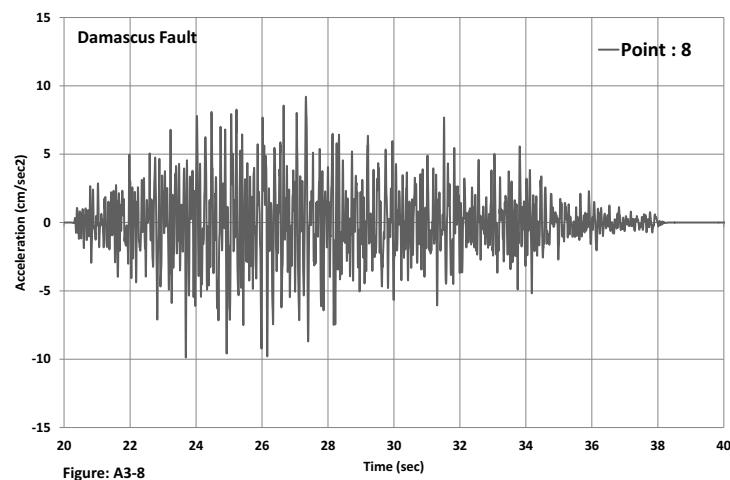
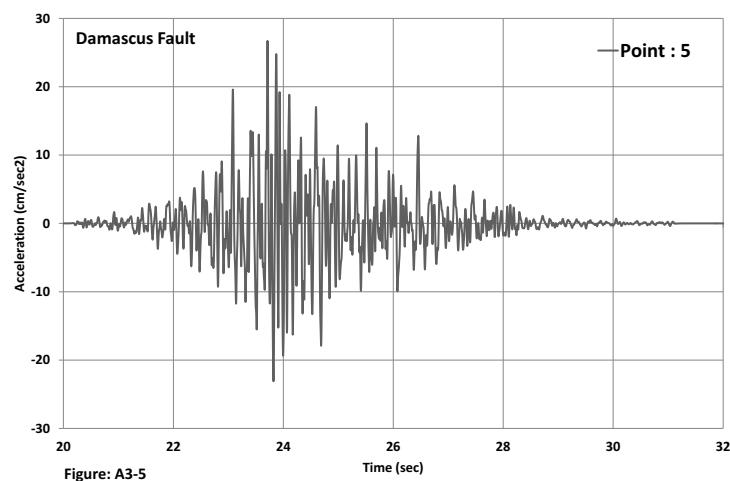
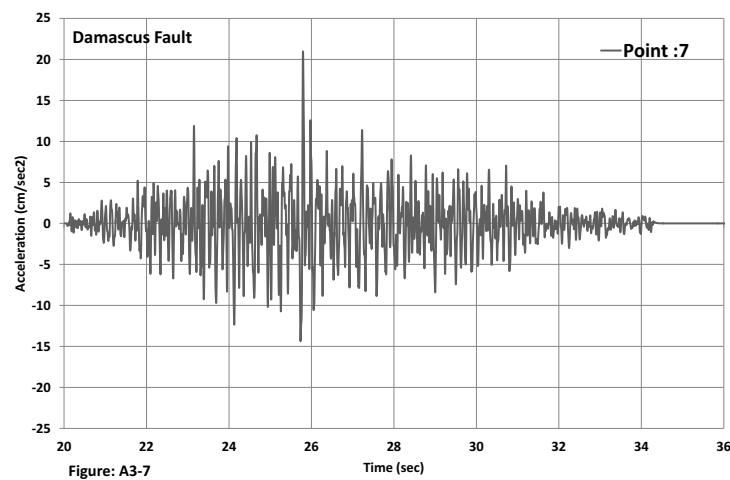


Figure: A2-10







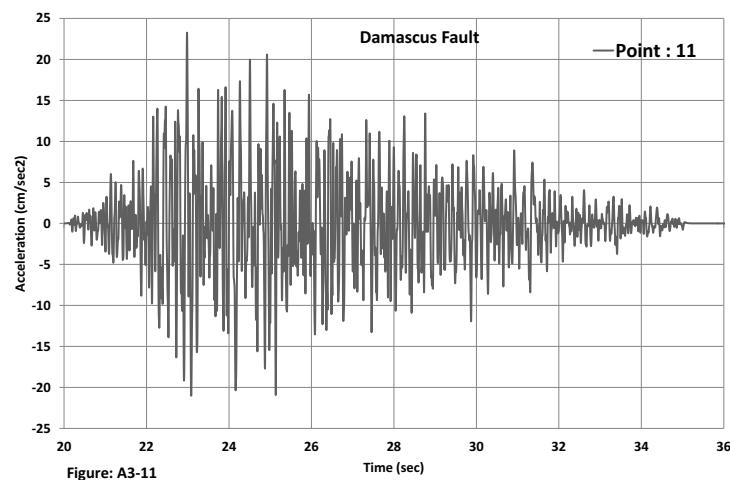


Figure: A3-11

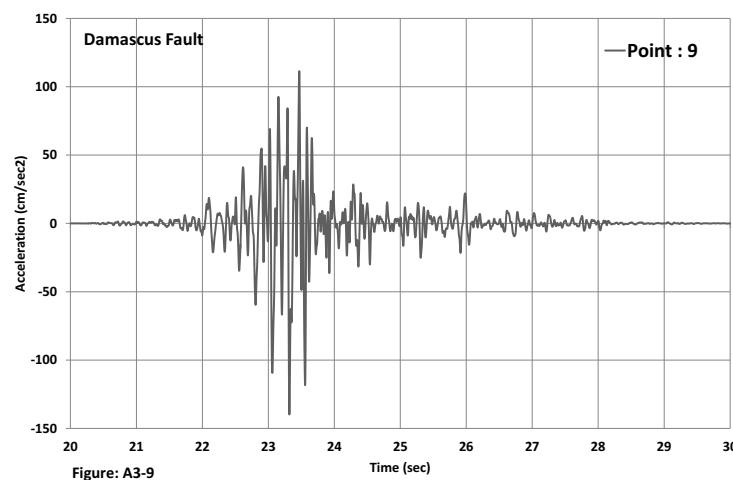


Figure: A3-9

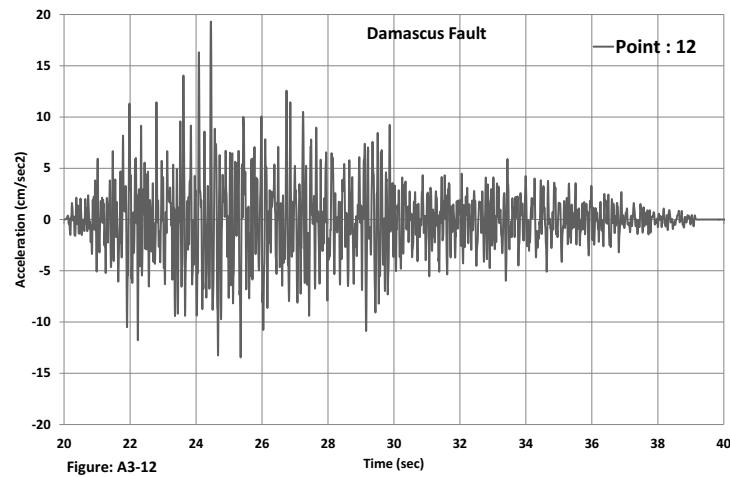


Figure: A3-12

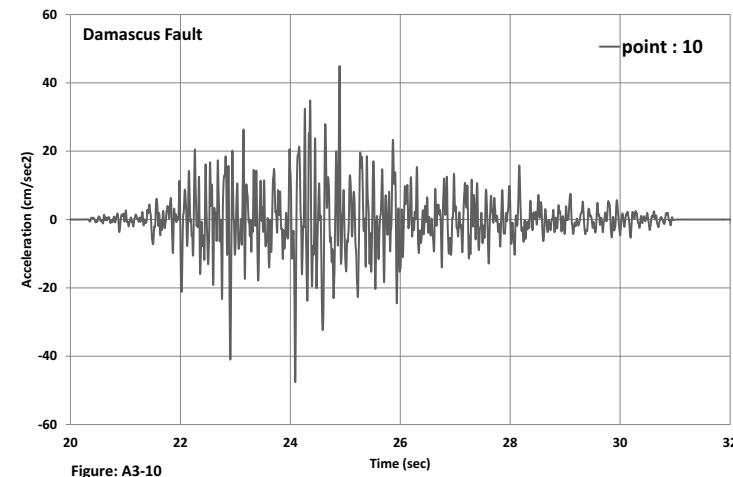
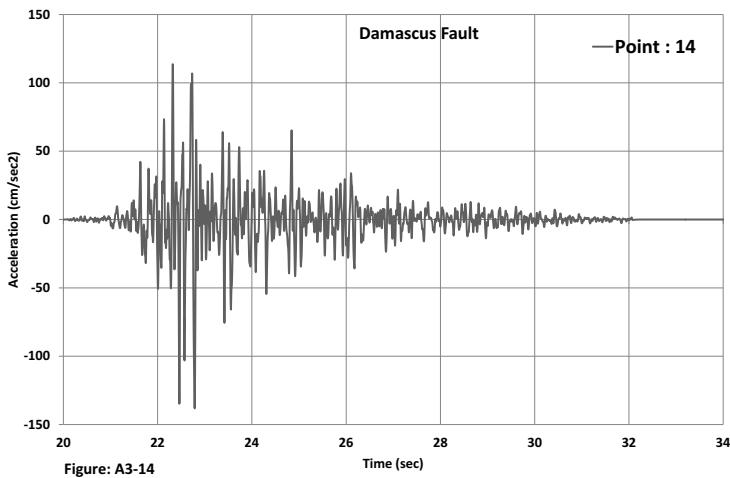
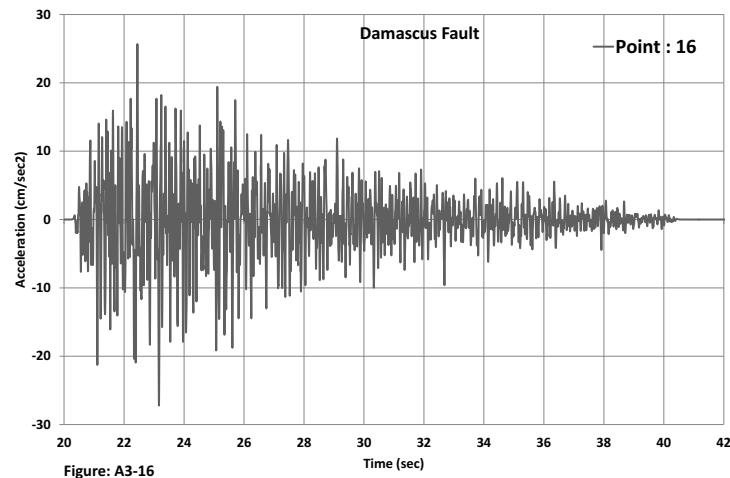
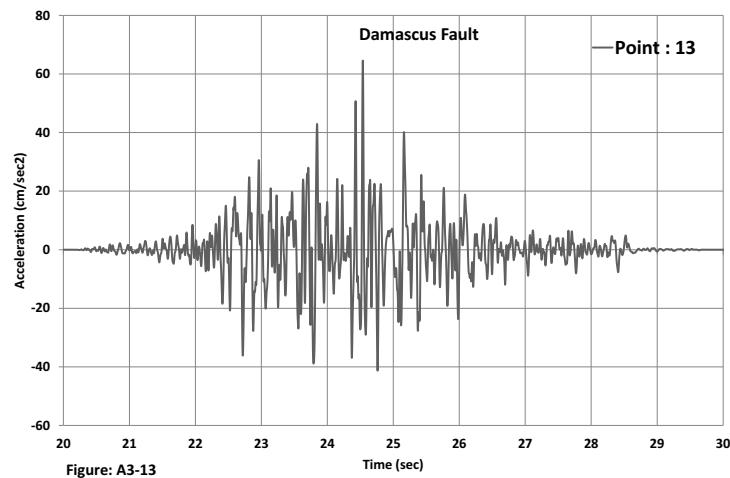
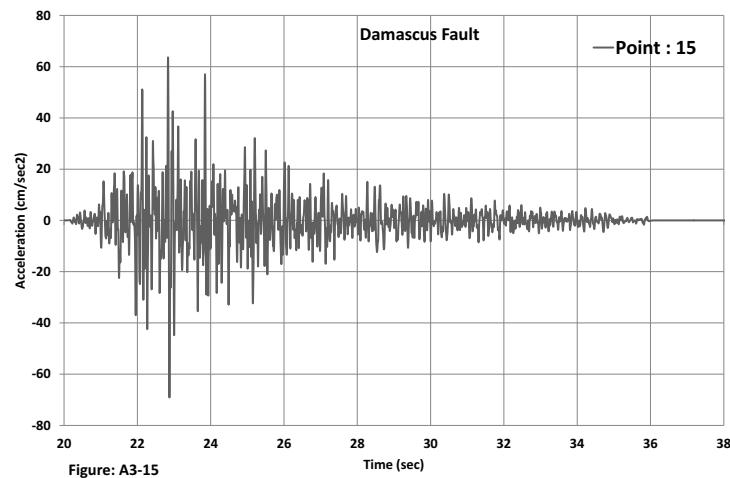


Figure: A3-10

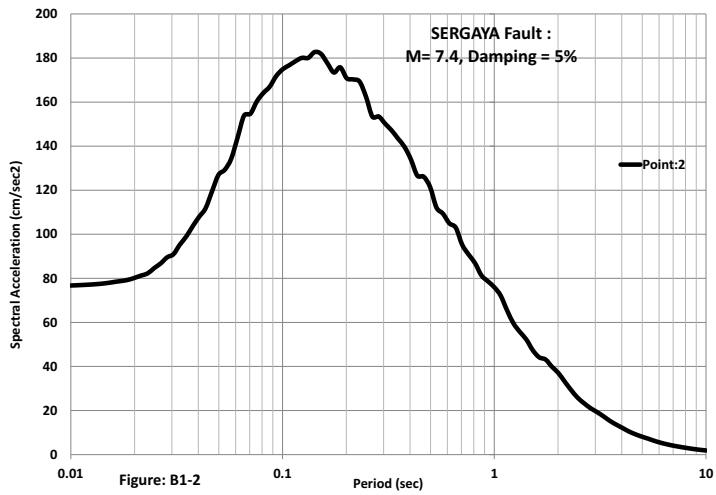
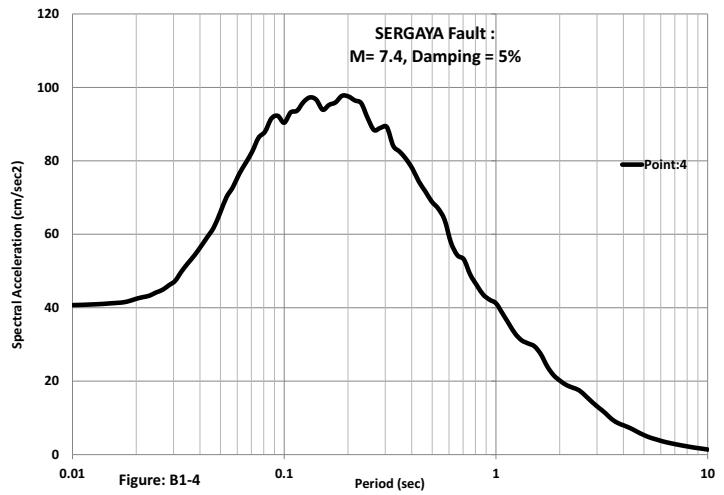
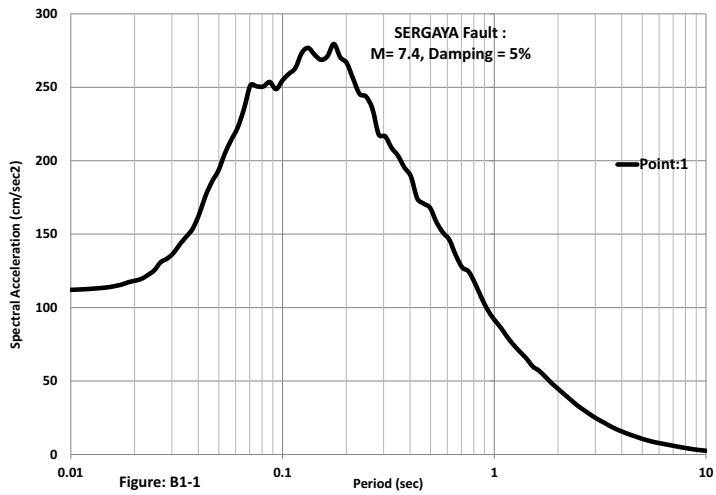
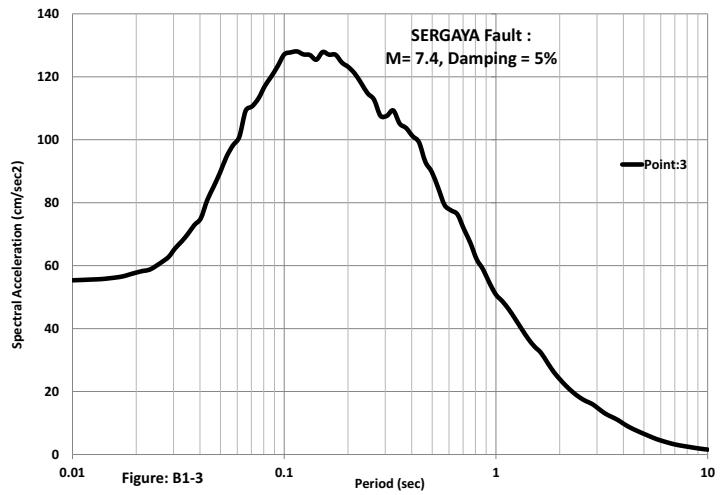




B

أطیاف الاستجابة الزلزالية بنسبة تخامد 5% لنقاط الدراسة من 1 إلى 16

البيان	إلى الشكل	من الشكل
أطیاف الاستجابة على صدع سرغایا لهزة بقوة ($M=7.4$)	B1-16	B1-1
أطیاف الاستجابة على صدع بسمة لهزة بقوة ($M=7.0$)	B2-16	B2-1
أطیاف الاستجابة على صدع دمشق لهزة بقوة ($M=5.0$)	B3-16	B3-1



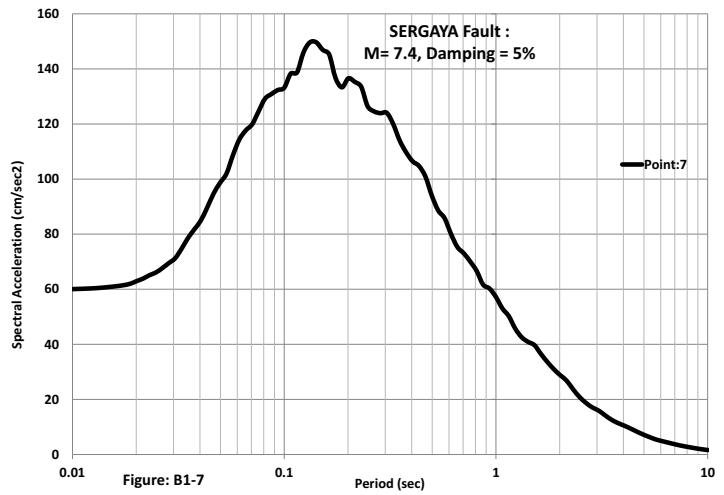


Figure: B1-7

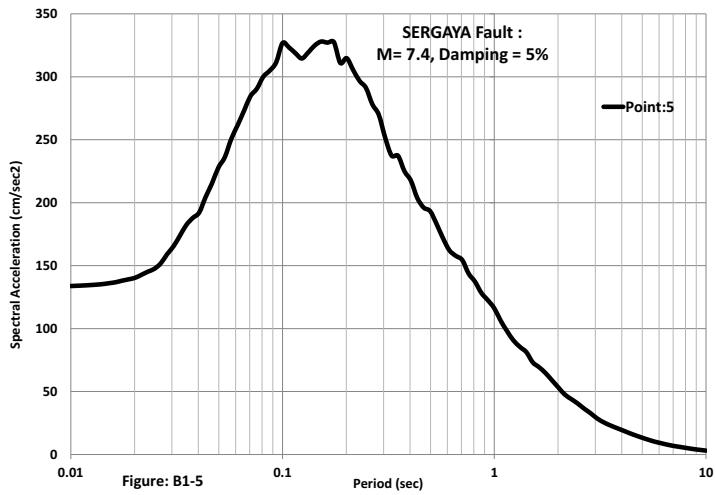


Figure: B1-5

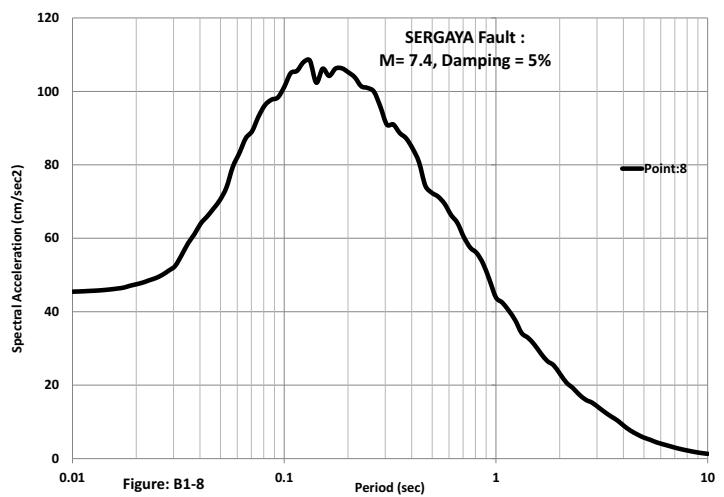


Figure: B1-8

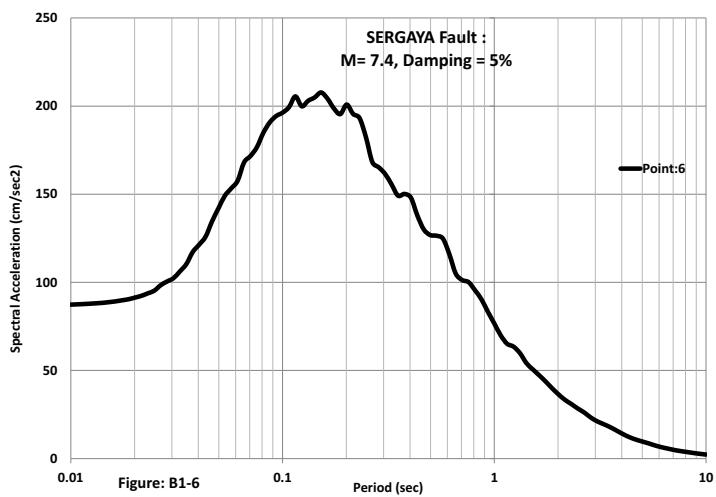
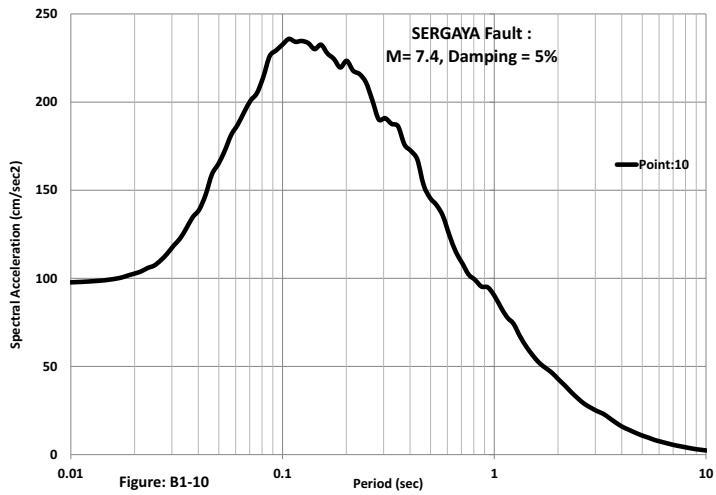
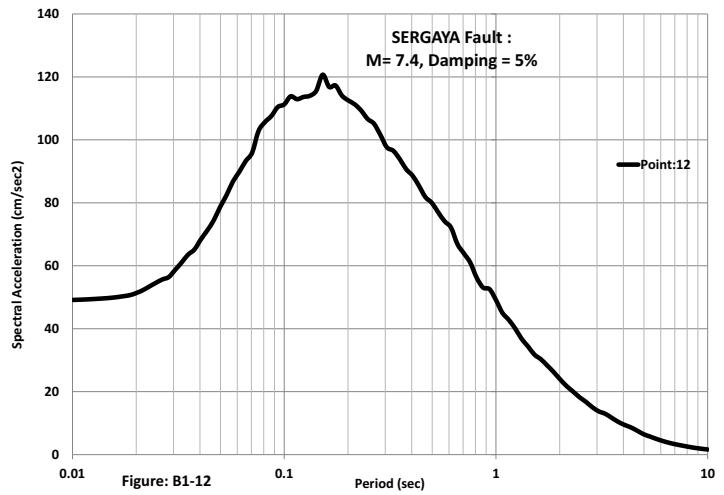
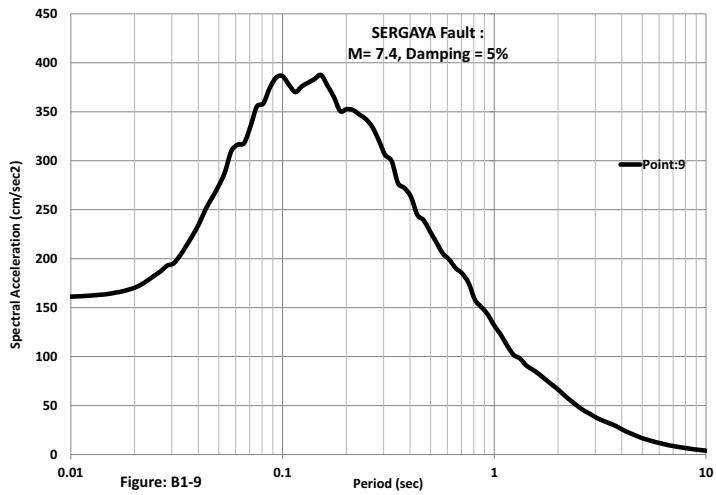
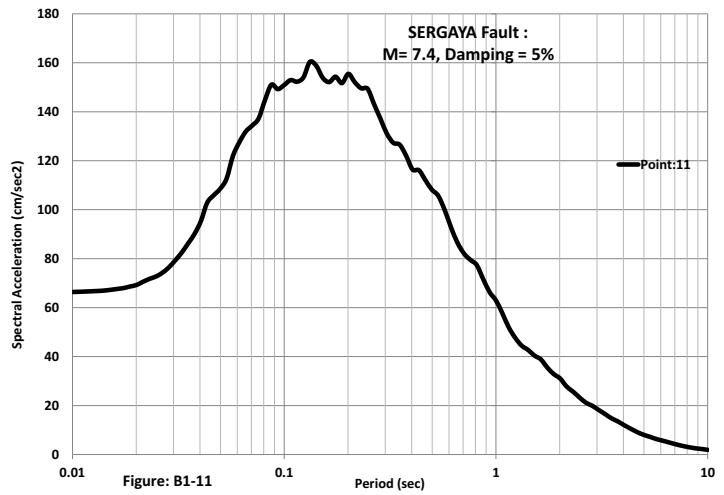
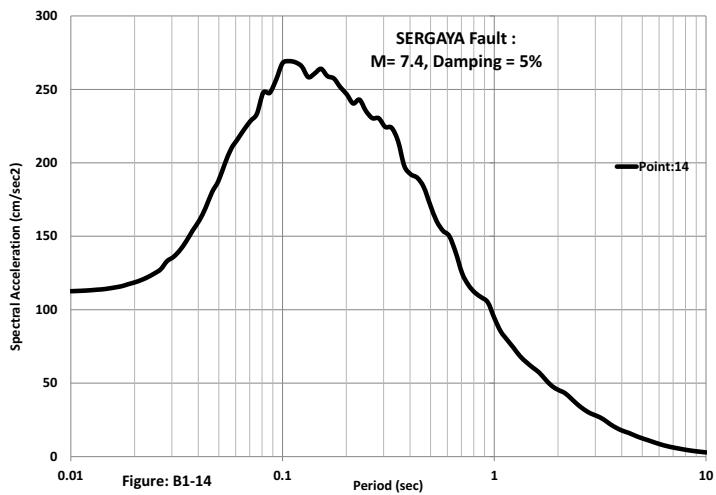
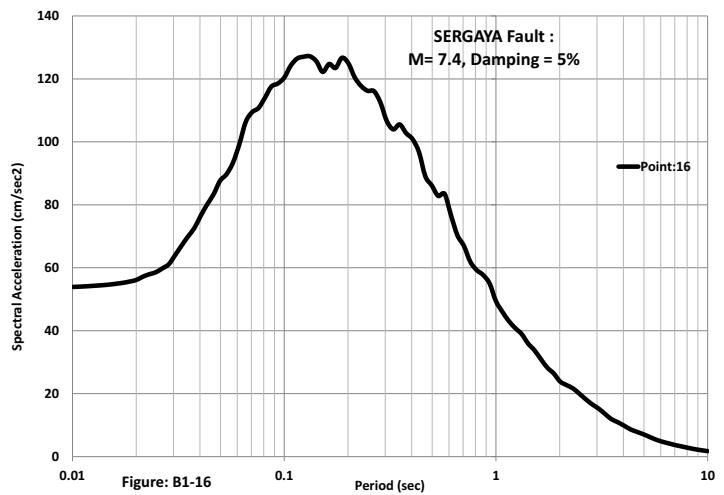
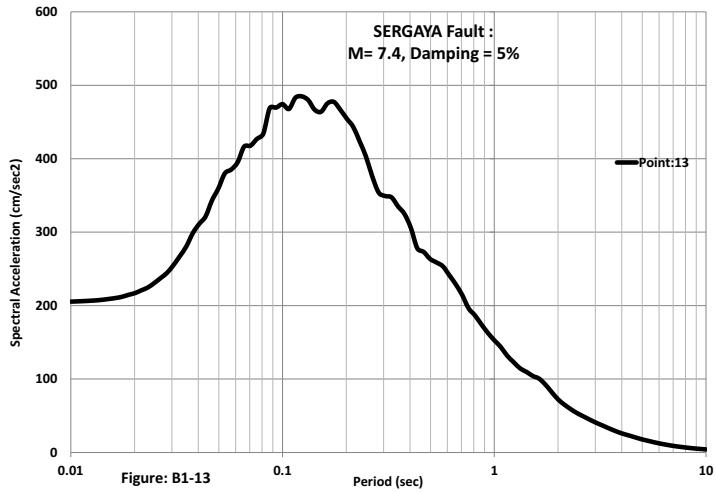
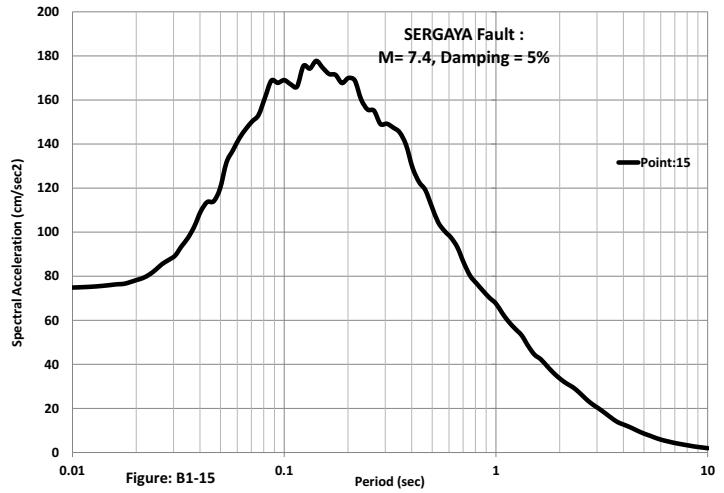


Figure: B1-6





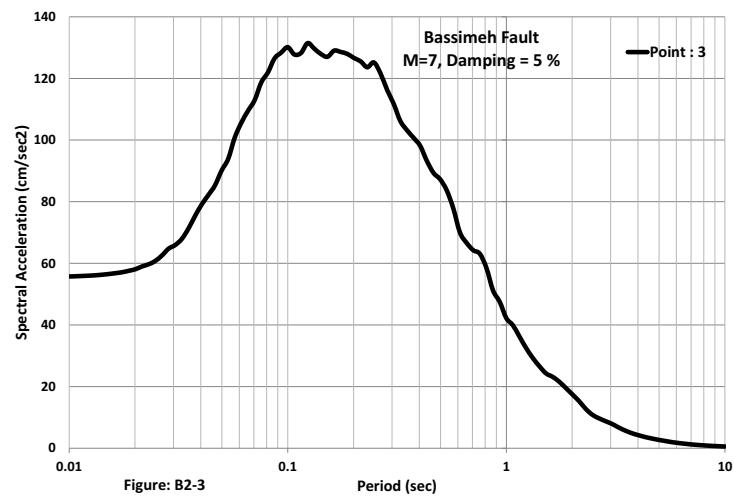


Figure: B2-3

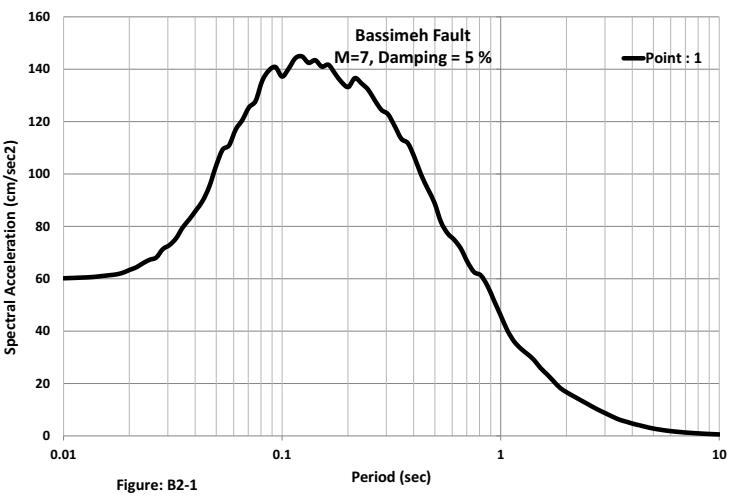


Figure: B2-1

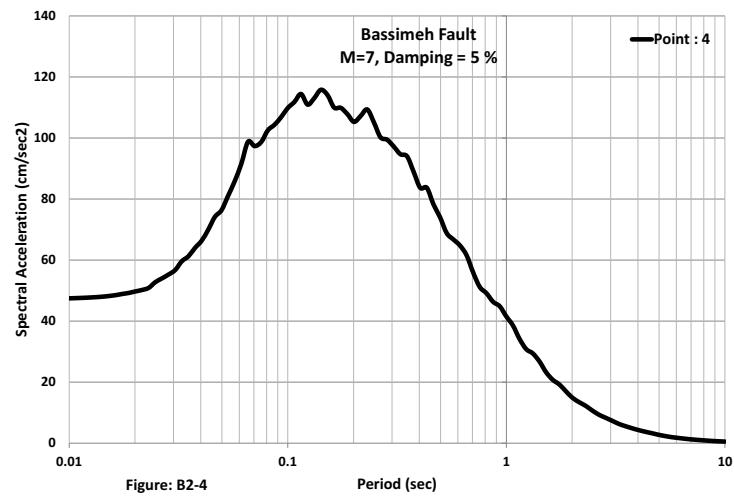


Figure: B2-4

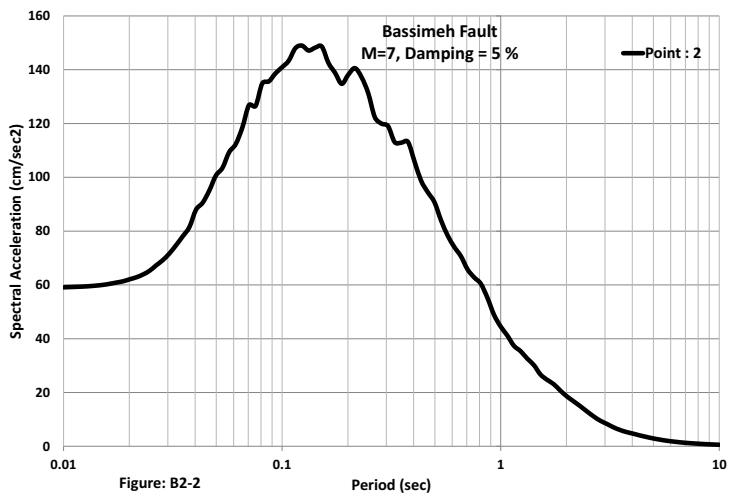
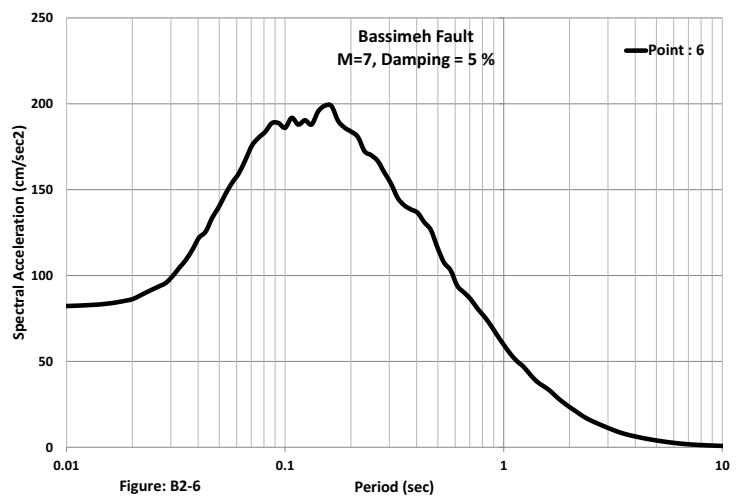
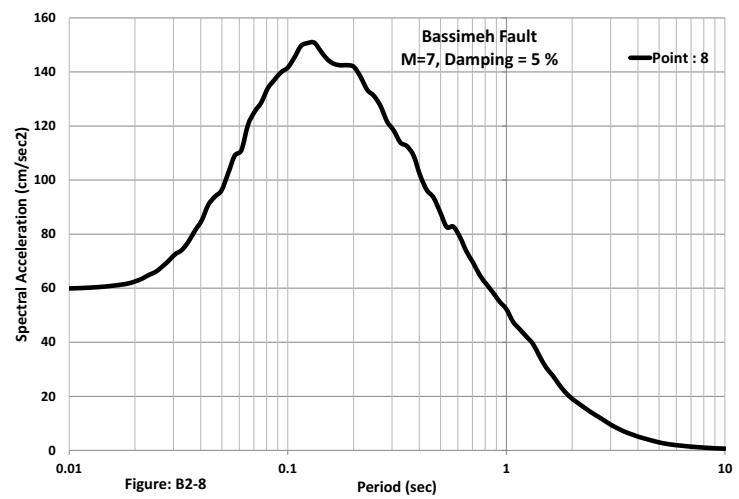
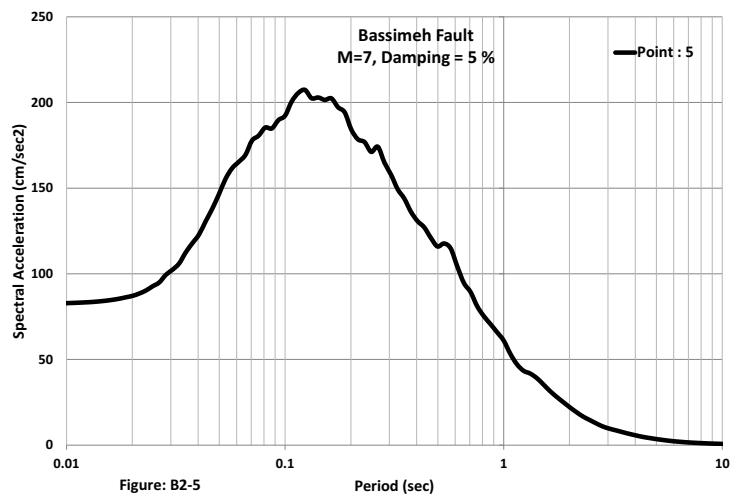
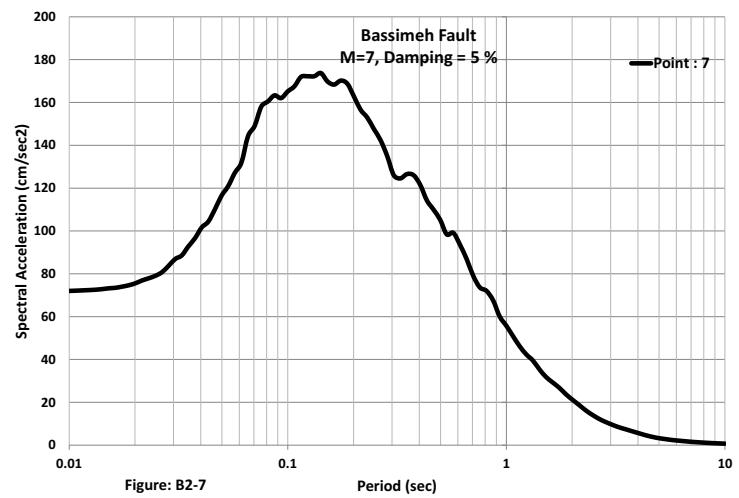
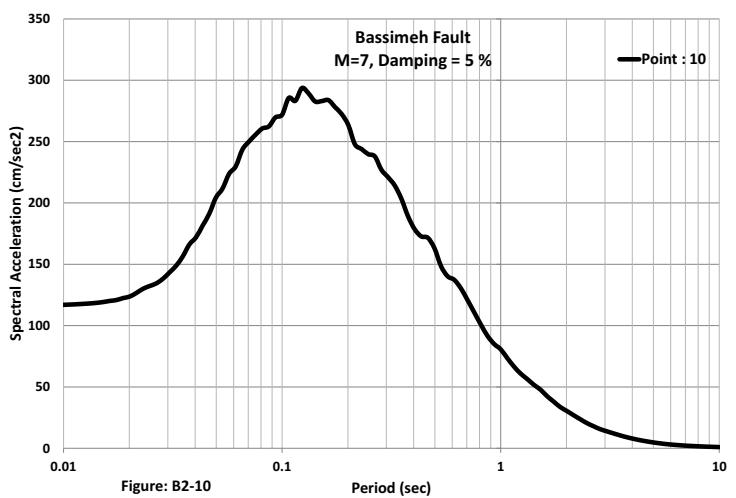
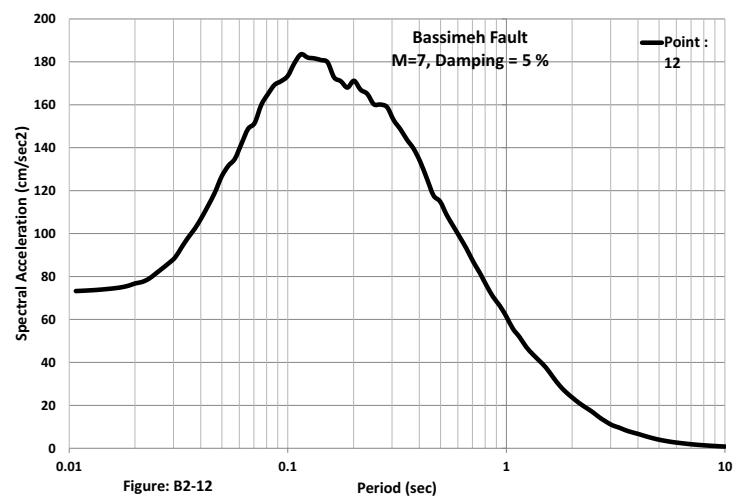
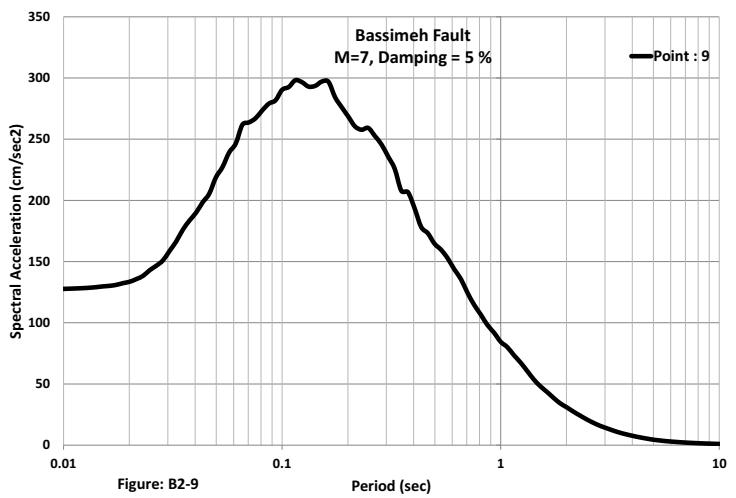
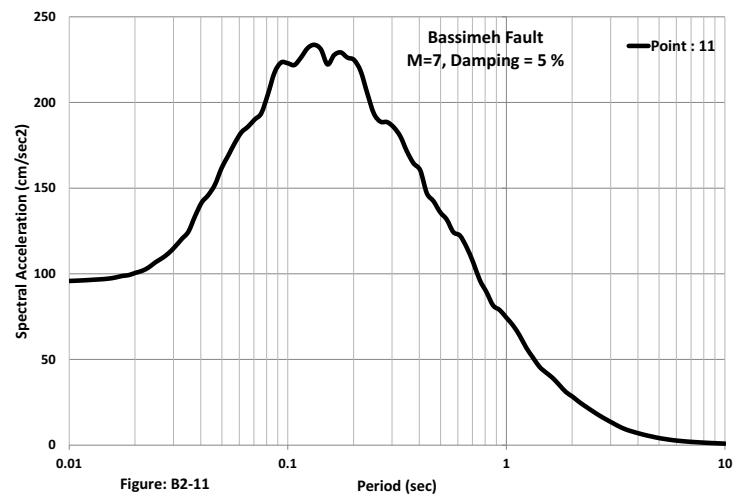
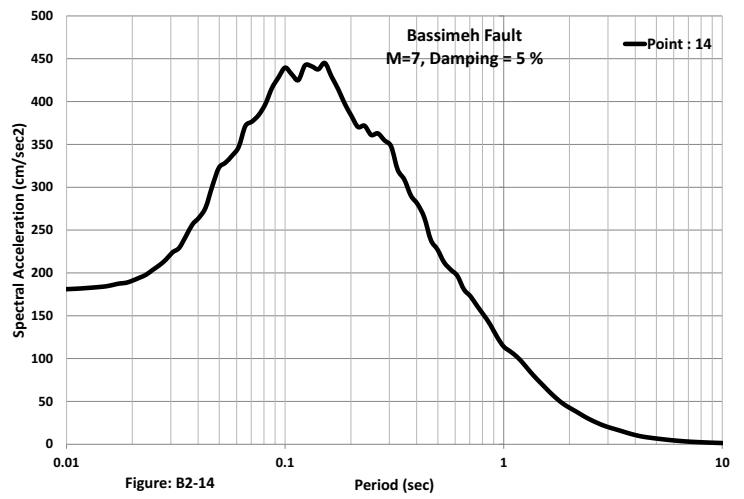
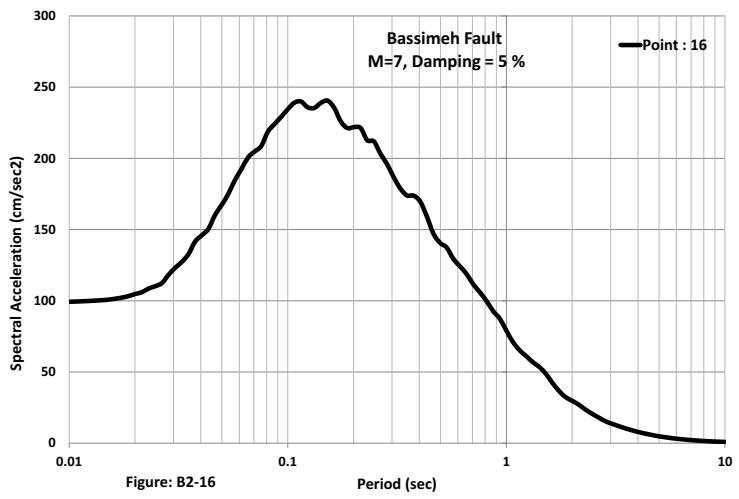
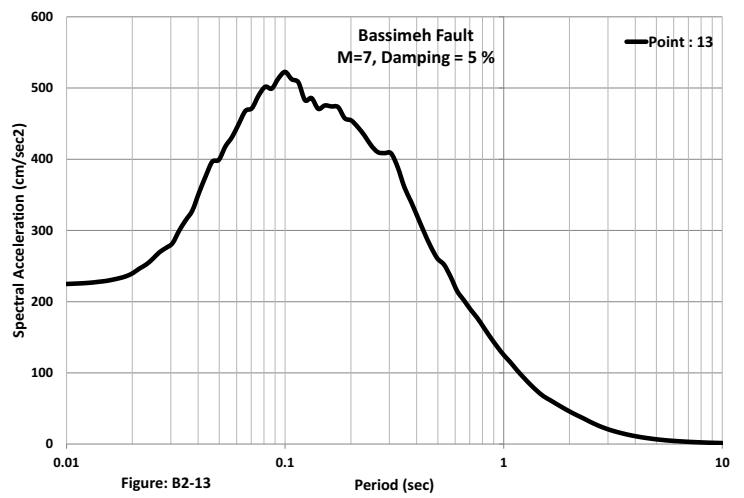
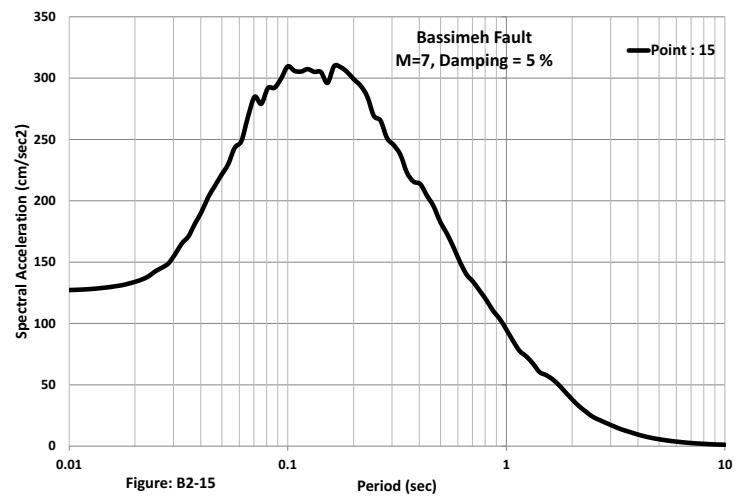


Figure: B2-2







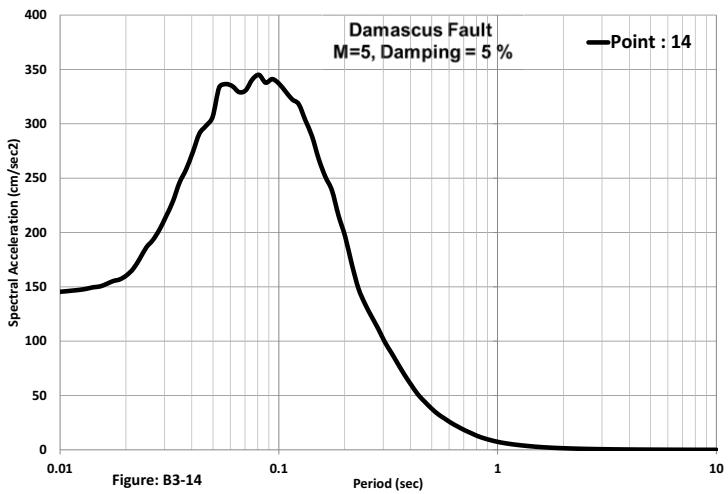


Figure: B3-14

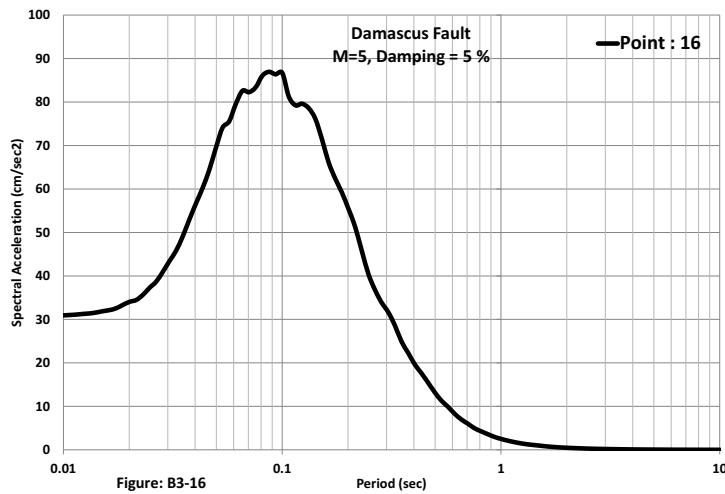


Figure: B3-16

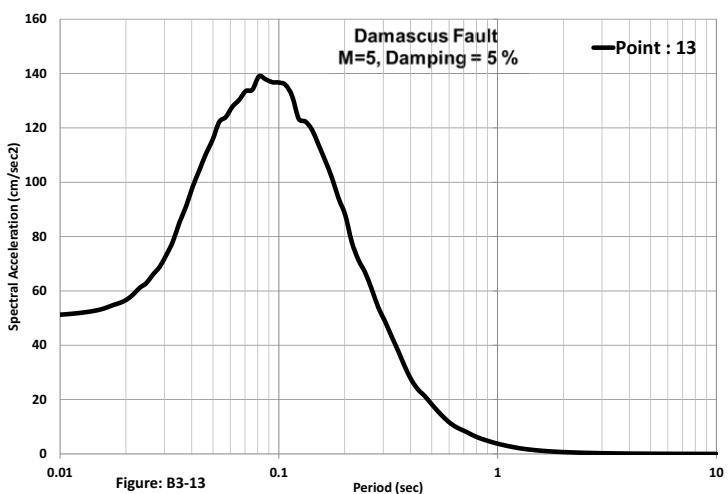


Figure: B3-13

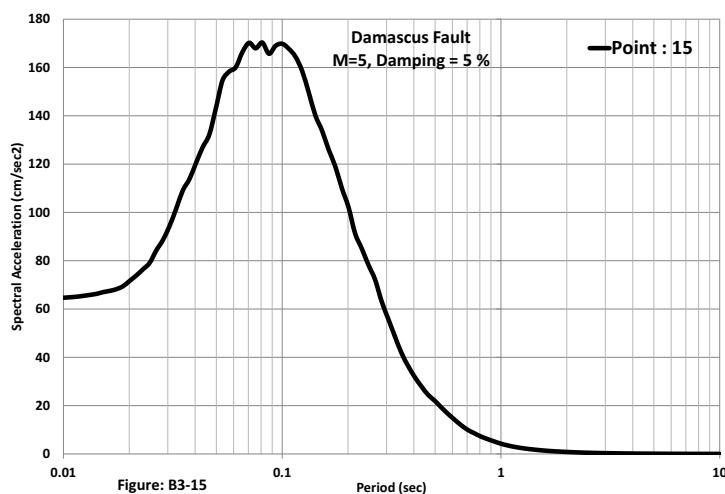
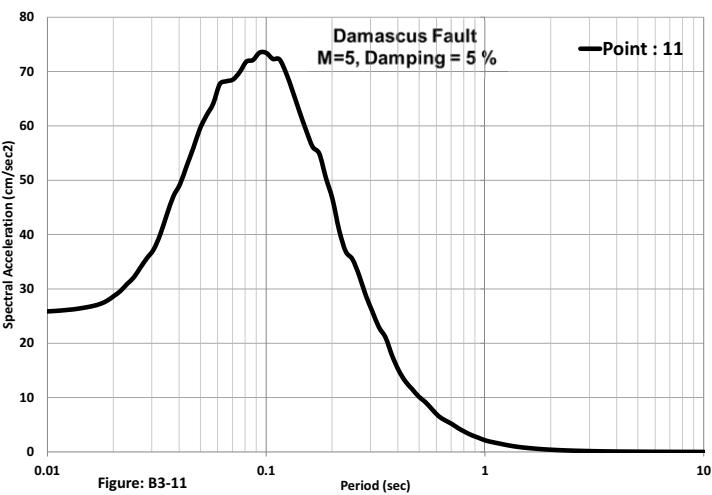
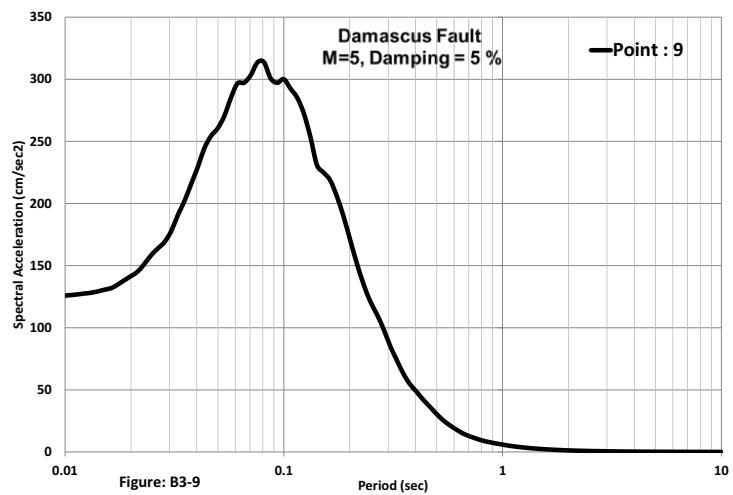
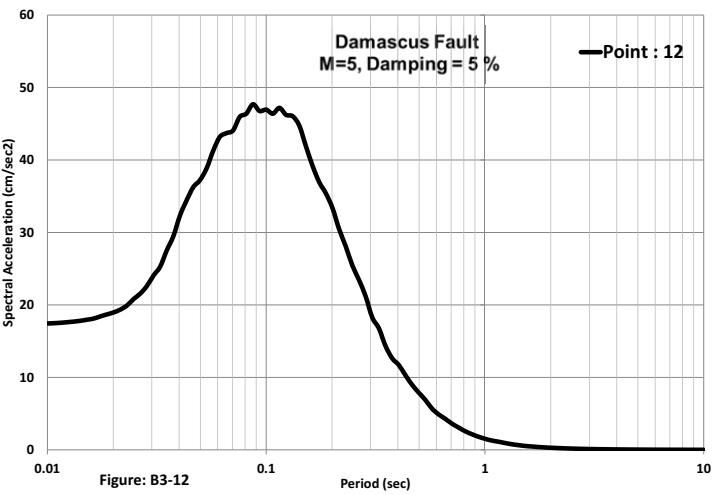
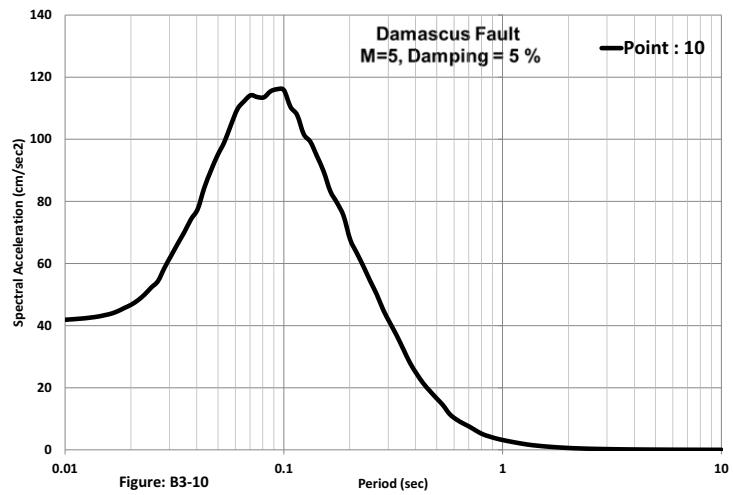


Figure: B3-15



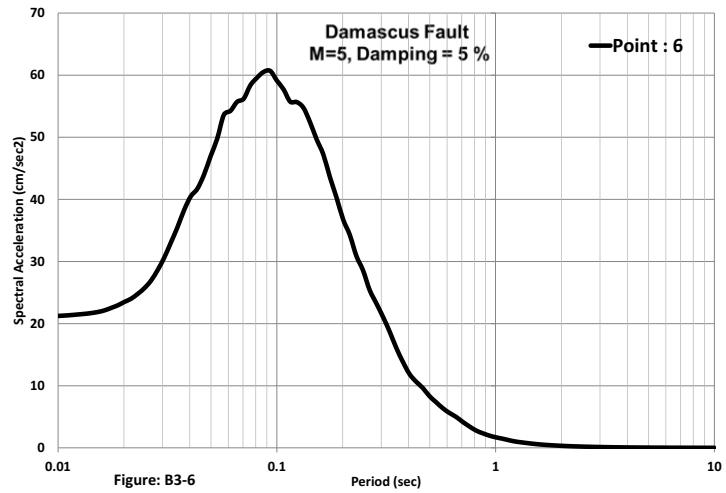


Figure: B3-6

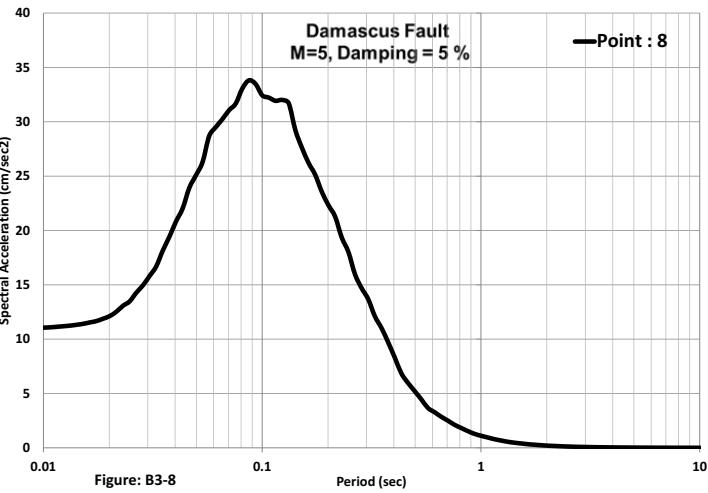


Figure: B3-8

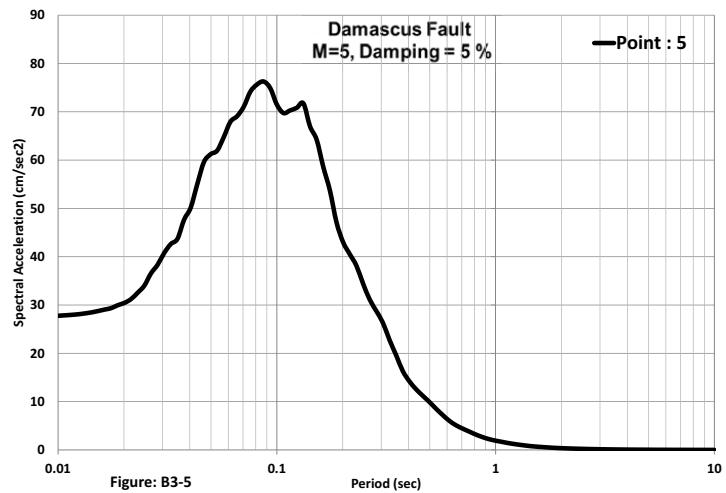


Figure: B3-5

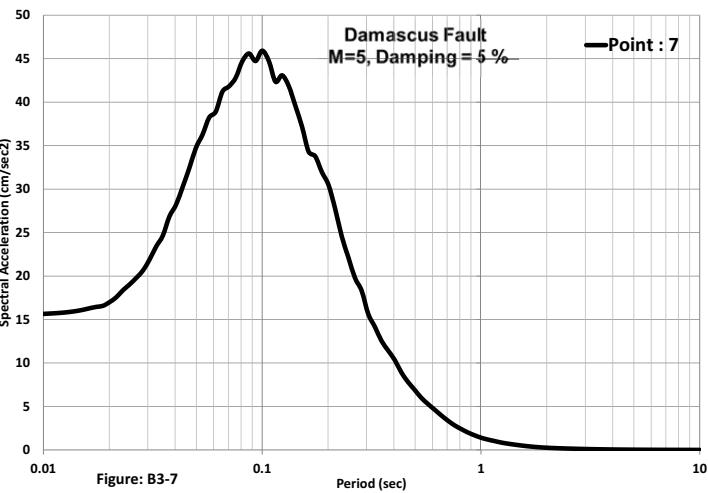
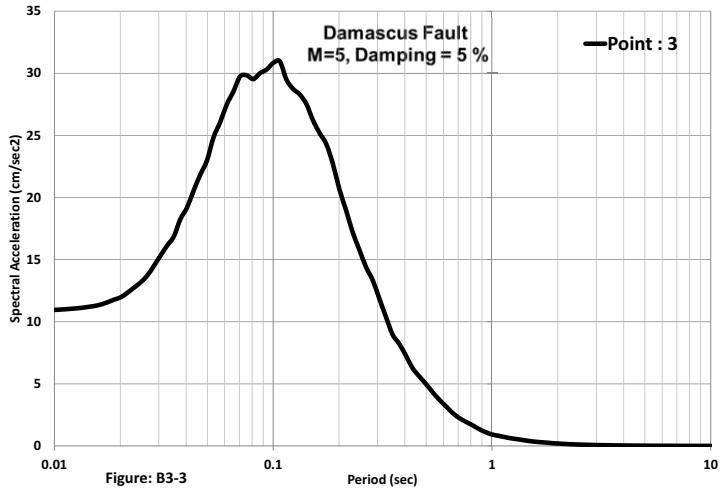
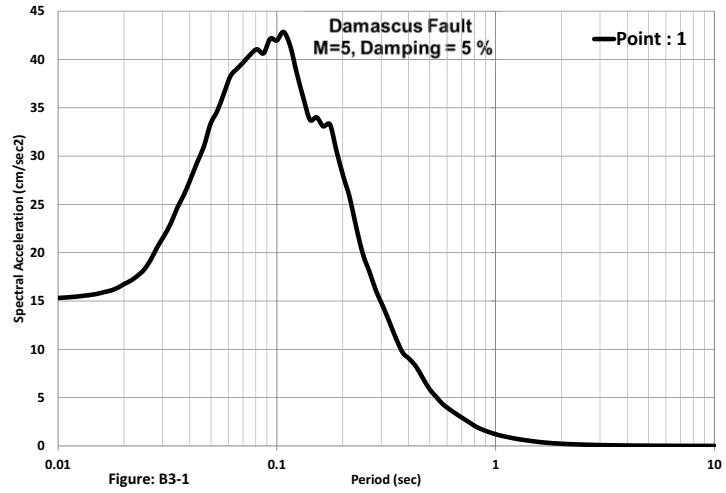
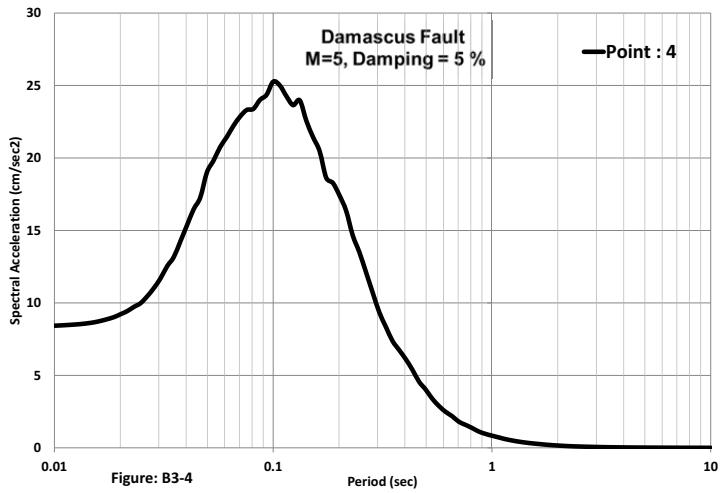
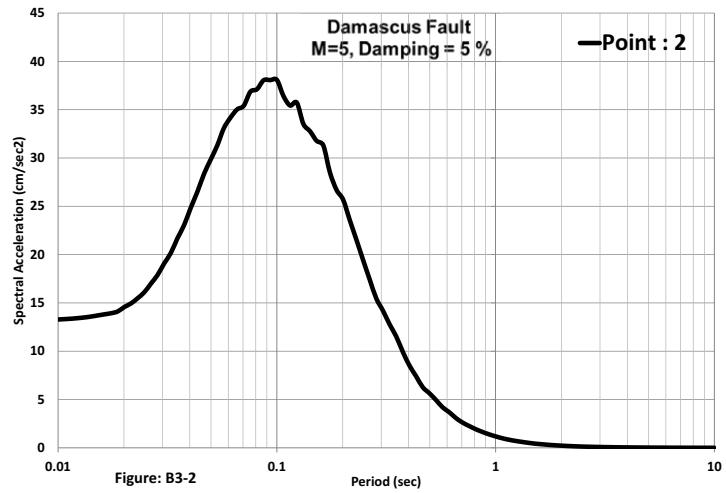


Figure: B3-7





C

العنوان	الرقم	الترتيب
ملحق أهم الزلازل التاريخية في سوريا والمناطق المحيطة (سبيناتي، 2005)	C-1	1
ملحق معاملات الصدوع المدروسة الخاصة بالنمذجة	C-2	2
ملحق المعادلات والعلاقات الرياضية المستخدمة في النمذجة (Boore, 2003)	C-3	3
ملحق عمق طبقة الصخر الأساس الهندسي (حسام وآخرون، 2012)	C-4	4

الجدول (C-1): أهم الزلازل التاريخية في سورية والمناطق المحيطة (سبعيناتي، 2005).

الرقم	المنطقة	التاريخ	الشدة	ملاحظات
1	أنطاكية	37 ق.م	VII-VIII	
2	أنطاكية، اللاذقية، أقاميا	53	VIII	
3	صيدا، صور، سورية	304-303	VIII-IX	تسونامي على الساحل الفلسطيني
4	أنطاكية، اللاذقية، بيروت	494	VII-VIII	
5	عكا، صيدون، بيروت	502/8/22	VIII-IX	
6	المنطقة بين حلب وحمص	534-531	VIII	
7	مدن الساحل اللبناني، أرواد	551/7/9	IX-X	تسونامي على الساحل اللبناني، انزلاقات أرضية
8	أنطاكية، كيليكيا	571-565	VII-VIII	
9	بعلبك، بصرى، دمشق، درعا	749/1/18	IX	تمزق سطحي
10	دمشق، الموصل	847/11/24	IX	
11	أنطاكية، اللاذقية، حمص، تدمر، دمشق، الرقة	-859/12/30	VIII-IX	انزلاق أرضي
12	بعلبك، دمشق	991/4/5	IX	انزلاق أرضي، تسونامي، هزات لاحقة
13	طرابلس الشام، اللاذقية، عكا، صور	1063/8/27-7/30	VIII	
14	مسكنا، مرعش	1114/11	VIII-IX	انزلاقات أرضية
15	تركيا، حران	1114/11	IX	انزلاقات أرضية
16	بصرى، حوران	1152/9/27	VIII	
17	شيرز، حماة، حلب	1157/4/4-2	VII	
18	حاما، أقاميا، حمص، دمشق	1157/7/13	VIII	تمزق سطحي، هزات لاحقة
19	شيرز، أقاميا، حاما، حلب، حمص، اللاذقية	1157/8/12	IX-X	تمزق سطحي، هزات لاحقة
20	دمشق، حمص، حماة، اللاذقية، حلب	1170/6/29	IX	تسونامي، هزات لاحقة
21	جبل لبنان، بعلبك، دمشق، حوران	1202/5/20	IX	تسونامي، انزلاقات أرضية، هزات لاحقة
22	منبع، حلب	1344/1/2	VIII	
23	غرب حلب، قلعة المرقب، اللاذقية	1404/2/20	VIII-IX	تسونامي، انزلاقات أرضية
24	شقر، بكاس، اللاذقية، جبلة، أنطاكية	1408/12/29	IX	تمزق أرضي، انزلاقات أرضية، تسونامي في
25	اللاذقية، قبرص	1568/10/10	VIII	
26	حلب، حماة	1626/1/21	IX	
27	الموصل، سينجار	1666/9/22	IX	انزلاقات أرضية، هزات لاحقة
28	بيرود، دمشق، طرابلس الشام	1705/11/24	VIII	هزات لاحقة
29	حلب	1726/4/15	VIII	
30	اسكندرن، أنطاكية، حلب	1738/9/25	VIII	
31	دمشق، القنيطرة، صفد، عكا، صيدون، سعسع	1759/10/30	VIII-IX	انزلاقات أرضية في الجزء الغربي من دمشق،
32	بعلبك، زيداني، القنيطرة، دمشق، بيروت،	1759/11/25	IX	تصدع في وادي البقاع، انزلاقات أرضية،
33	قلعة المرقب، القدموس، جبلة، اللاذقية	1796/4/26	VIII-IX	انزلاقات أرضية، تمييع تربة
34	جسر الشغور، حلب، دركوش، اللاذقية، حمص	1822/8/13	IX	تصدع، تسونامي
35	صفد، نابلس، طبرية، بيروت، دمشق	1837/1/1	VIII	تسونامي على بحيرة طبرية، هزات لاحقة
36	حارم، أنطاكية، إدلب، اسكندرن	1872/4/3	VIII-IX	تمزق أرضي، تمييع تربة، تسونامي، هزات

Fault name	Serghaya / سرغايا	Damascus / دمشق	Bassimeh / بسمة
M _{max} - أكبر قدر زلزالي متوقع	7.4 - 5.0	5	7.0 - 5.0
Stress drop - هبوط الاجهاد	90.0	140	140
kappa (التخادم بتأثير الجيولوجيا السطحية)	0.030	0.030	0.030
Lat. , Long of upper edge of fault:	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
الاتجاه - strike	20	61	55
dip - ميل مرآة الصدع	70	75	75
depth of faults - عمق الصدع	0	0.3	0.25
fault length - طول الصدع	100	40	60
fault width - عرض الصدع	14	14	14
subfault length	2	2	2
subfault width	2	2	2
hypo location	1 1	1 1	1 1
beta (crustal velocity) سرعة أمواج الفص (km/s)	3.7	3.7	3.7
rho (crustal density) (gr/cm ³) الكثافة	2.8	2.8	2.8
y = vrupt/beta	0.8	0.8	0.8
dt	0.002	0.002	0.002
Geometrical spreading (gesprd) تابع الانتشار الهندسي			
rg1, rg2,	70 140	70 140	70 140
pow1, pow2,pow3	-1.3 +0.2 -0.08	-1.3 +0.2 -0.5	-1.3 +0.2 -0.5
Quality factor-Q₀ معامل الجودة - التخادم			
Q ₀ , eta, Q _{max}	310 0.60 1000	310 0.60 1000	310 0.60 1000
trilinear duration and properties			
rmin, rd1, rd2, durmin,	10 70 130 0.0	10 70 130 0.0	10 70 130 0.0
b1,b2,b3	0.16 -0.03 0.04	0.16 -0.03 0.04	0.16 -0.03 0.04
type of window(1 for saragoni taper, 0 for boxcar taper)	0	0	0
low-cut filter corner, nslope	0.00 8	0.00 8	0.00 8
damping of response spectra % نسبة التخادم لطيف الاستجابة	5.0	5.0	5.0
# of F , min, max F for response spectra	100 0.1 100	100 0.1 100	100 0.1 100
no of frequency for summary output (10 max)	5	5	5
Frequencies in summary output			
-1 for PVA and 99 for PGA	-1.0 99.0 0.1 0.25	-1.0 99.0 0.1 0.25	-1.0 99.0 0.1 0.25
output file name stem	SRG_M7.4_90bar	DAMAS_M5_140bar	BSMA_M7_140bar
name of crustal amplification file	ab06_hr_crustalamps.txt	ab06_hr_crustalamps.txt	ab06_hr_crustalamps.txt
no of freq in crustal amplification file	5	5	5
name of site amplification file	siteAmplification.txt	siteAmplification.txt	siteAmplification.txt
no of frequeney in site amplification file (0 to skip)	0	0	0
low frequency taper model(0=Boore, 1=motazedian)	1	1	1
low frequency taper coefficient	-0.5	-0.5	-0.5
pulsing persent	25	25	25
deterministic flag			
use(0) , gama, nu,to, impulse	0 1.0 90.0 4.0 10	0 1.0 90.0 4.0 10	0 1.0 90.0 4.0 10
iseed, # of trial	309 50	309 50	309 50
no of sites , coordinate flag (1=lat,long; 2=R,Az; 3=N,E)	16, 1	16, 1	16, 1
coordinate for each site (lat., long.)			
1 0.814 0146	0.297 0.303	0.561 0.432	
2 0.814 0.076	0.297 0.303	0.561 0.362	
islipweight معامل تحديد معدل الانزلاق على أجزاء الصدع/			
[-1 for unity slip all subfaults, 0 specify slips below, 1 for random]	-1	-1	-1
!Matrix of slip weights			

ملحق المعادلات وال العلاقات الرياضية

stochastic method

- Time-series simulations
- Random-vibration simulations

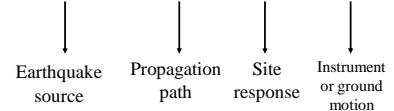
- Target amplitude spectrum
 - Source: M_0 , f_0 , D_s , source duration
 - Path: $Q(f)$, $G(R)$, path duration
 - Site: k , generic amplification
- Fourier acceleration spectrum as $f(M, \text{dist})$
 - Model of earthquake source spectrum
 - Attenuation of spectrum with distance
 - Duration of motion [=f(M, d)]
 - Crustal constants (density, velocity)
 - Near-surface attenuation (fmax or kappa)

1

Target amplitude spectrum

Deterministic function of source, path and site characteristics represented by separate multiplicative filters

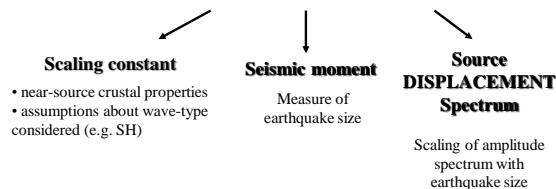
$$Y(M_0, R, f) = E(M_0, f) \otimes P(R, f) \otimes G(f) \otimes I(f)$$



2

Source function $E(M_0, f)$

$$E(M_0, f) = C \times M_0 \times S(M_0, f)$$



3

Scaling constant C

$$C = \frac{\langle R_{\theta\phi} \rangle V F}{4\pi\rho_s \beta_s^3 R_0}$$

- β_s = near-source shear-wave velocity
- ρ_s = near-source crustal density
- V = partition factor
- $\langle R_{\theta\phi} \rangle$ = average radiation pattern
- F = free surface factor
- R_0 = reference distance (1 km).

4

Brune source model

- Brune's point-source model
 - Good description of small, simple ruptures
 - "surprisingly good approximation for many large events". (Atkinson & Beresnev 1997)
- Single-corner frequency model

$$S(f) = \frac{1}{1 + \frac{f^2}{f_0^2}} = \frac{1}{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$
- High-frequency amplitude of acceleration scales as:

$$a_{hf} \approx M_0^{1/3} \Delta \sigma^{2/3}$$

5

Semi-empirical two-corner-frequency models

- Aim: incorporate finite-source effects by refining the source scaling
- Example: AB95 & AS00 models

$$S(f) = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \frac{f^2}{f_a^2}} + \frac{\varepsilon}{1 + \frac{f^2}{f_b^2}}$$

f_a , f_b , and ε determined empirically (visual inspection & best-fit)
- Keep Brune's HF amplitude scaling

$$a_{hf} \approx M_0^{1/3} \Delta \sigma^{2/3}$$

6

ملحق المعادلات وال العلاقات الرياضية

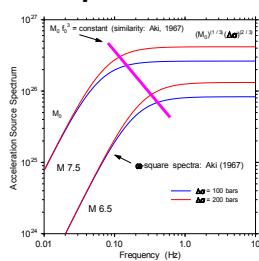
Scaling of the source spectrum

- Based on Aki's (1967) ω^2 -model

- Single corner frequency
- For acceleration:
 - LF: ω^2 increase proportional to M_0
 - HF: constant amplitude, depends on M_0 , $\Delta\sigma$ as shown
- Self-similar scaling

$$M_0 f_0^3 = cst \approx \Delta\sigma$$

- The key is to describe how the corner frequencies vary with M_0 .



Even for more complex sources, often try to relate the high-frequency spectral level to a single stress parameter

7

Stress parameter: definitions

- "Stress drop" should be reserved for static measure of slip relative to fault dimensions

$$\Delta\sigma \approx \frac{u}{r}$$

u = average slip
r = characteristic fault dimension

- "Brune stress drop" = change in tectonic (static) stress due to the event

- "SMSIM stress parameter" = "parameter controlling strength of high-frequency radiation" (Boore 1983)

8

Source duration

- Required to define array size (both TD & RV)
- Determined from source scaling model via:

$$T_{source} = \frac{w_a f_a}{f_a} + \frac{w_b f_b}{f_b}$$

- For single-corner model, $f_a = f_b = f_0$
- Weights w_a and w_b should add up to the distance-independent coefficient in the expression giving total duration

9

Path function P(R, f)

$$P(R, f) = \text{Geometrical Spreading (R)} \otimes \text{Anelastic Attenuation (R, f)}$$

Point-source => spherical wave



Propagation medium is neither perfectly elastic nor perfectly homogeneous

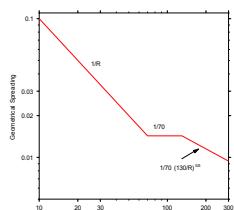
Loss of energy through spreading of the wavefront

Loss of energy through material damping & wave scattering by heterogeneities

10

Geometrical Spreading Function

- Often $1/R$ decay (spherical wave), at least within a few tens of km
- At greater distances, the decay is better characterised by $1/R^\alpha$ with $\alpha < 1$
- SMSIM allows n segment piecewise linear function in log (amplitude) - log (R) space
- Magnitude-dependent slopes possible : allows to capture finite-source effect (Silva 2002)



Example: Boore & Atkinson 1995
Eastern North America model

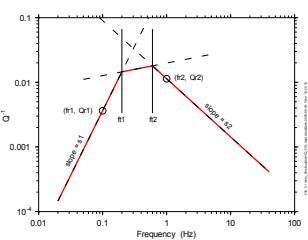
11

Wave-transmission quality factor Q(f)

- Form usually assumed:

$$Q(f) = Q_0 f^n$$

- Study of published relations led Boore to assign 3-segment piecewise linear form (in log-log space)



12

ملحق المعادلات وال العلاقات الرياضية

Site Response Function

- Form of filter:

$$G(f) = A(f) \otimes D(f)$$

Linear
amplification for
GENERIC site

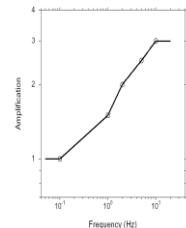
Regional distance-independent
attenuation (high frequency)

- Near-surface anelastic attenuation?
- Source effect?
- Combination?

13

Site amplification – A(f)

- Attenuation function for GENERIC site
- Modelled as a piecewise linear function in log-log space
- Soil non-linearity effects not included
- Determined from crustal velocity & density profile via SITE_AMP
 - Square-root of impedance approximation
 - Quarter-wave-length approximation (f-dependent)



14

Site attenuation D(f)

- Form of filter:

$$D(f) = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{\max}}\right)^8}} \exp(-\pi \kappa_0 f)$$

- Reflects lack of consensus about representation
 - f_{\max} (Hanks, 1982) : high-frequency cut-off
 - κ (Anderson & Hough, 1984) : high-frequency decay

15

Cut-off frequency f_{\max}

- Hanks (1982)
 - Observed empirical spectra exhibit cut-off in log-log space
 - Value of cut-off in narrow range of frequency
 - Attributed to site effect
- Other authors (e.g. Papageorgiou & Aki 1983) consider f_{\max} to be a source effect
- Boore's position:
 - Multiplicative nature of filter allows for both approaches
 - Classification as site effect = « book-keeping » matter
 - Often set to a high value (50 to 100 Hz) when preference is given to the kappa filter

16

Kappa factor κ_0

- Anderson & Hough (1984)
 - empirical spectra plotted in semi-log axes exhibit exponential HF decay
 - rate of this decay = κ (varies with distance)
- Treatment in SMSIM
 - similar determination, but with records corrected for path effects and site amplification
 - parameter used = κ_0 = zero-distance intercept
 - allowed to vary with magnitude
 - source effect (at least partly)
 - trade-off with source strength (characteristic of regional surface geology)

17

Seismic moment M_0

- Definition

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot U$$

μ = average rigidity of the crust

A= rupture area

U=average slip

- Use

- Provides measure of seismic energy for a double-couple point source model
- Can be determined independently from strong-motion records => source scaling

- Related to moment magnitude M_w via

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$$

N.B. M_0 in dyne.cm

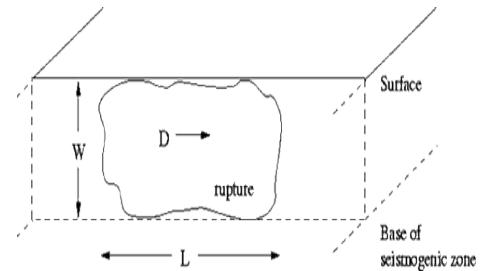
(Hanks & Kanamori, 1979)

18

Mathematical definition:

Seismic Moment

$Moment = Rigidity \times FaultArea \times SlipLength$	seismic moment (M_0)
Seismic moment : $M_0 = \mu \cdot A \cdot D$	
$Rigidity = \frac{Moment}{FaultArea \times SlipLength}$	rock rigidity (μ) shear modulus
$FaultArea = \frac{Moment}{Rigidity \times SlipLength}$	fault area $A=W.L$
$SlipLength = \frac{Moment}{Rigidity \times FaultArea}$	slip distance length (D)



Seismic moment and magnitude relationship

$Magnitude = \frac{2}{3} \times [\log_{10}(Moment) - 16.1]$	earthquake magnitude
$Moment = 10^{\frac{3}{2} \times (Magnitude + 16.1)}$	seismic moment

Dr. Charles Richter and Wood-Anderson seismograph method

$Magnitude = \log_{10}(Amplitude) + CorrectionFactor$	earthquake magnitude
$Amplitude = 10^{(Magnitude - CorrectionFactor)}$	Amplitude
$CorrectionFactor = Magnitude - \log_{10}(Amplitude)$	distance correction factor

Richter and Gutenberg seismic energy method

$Energy = 10^{(11.8 + 1.5 \times Magnitude)}$	seismic energy
$Magnitude = \frac{\log_{10}(Energy) - 11.8}{1.5}$	earthquake magnitude

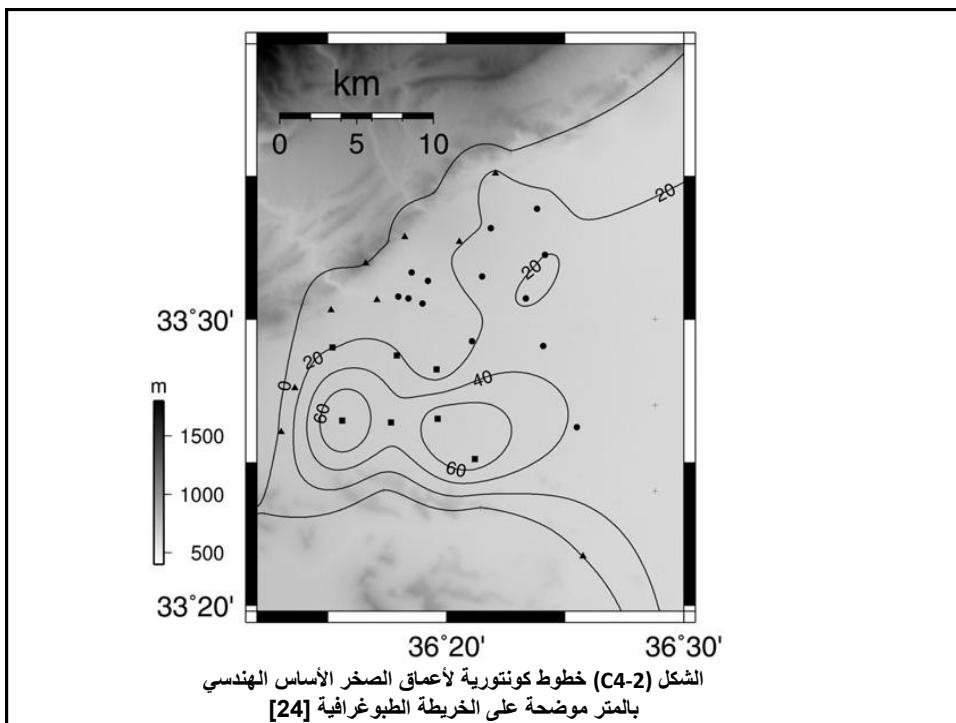
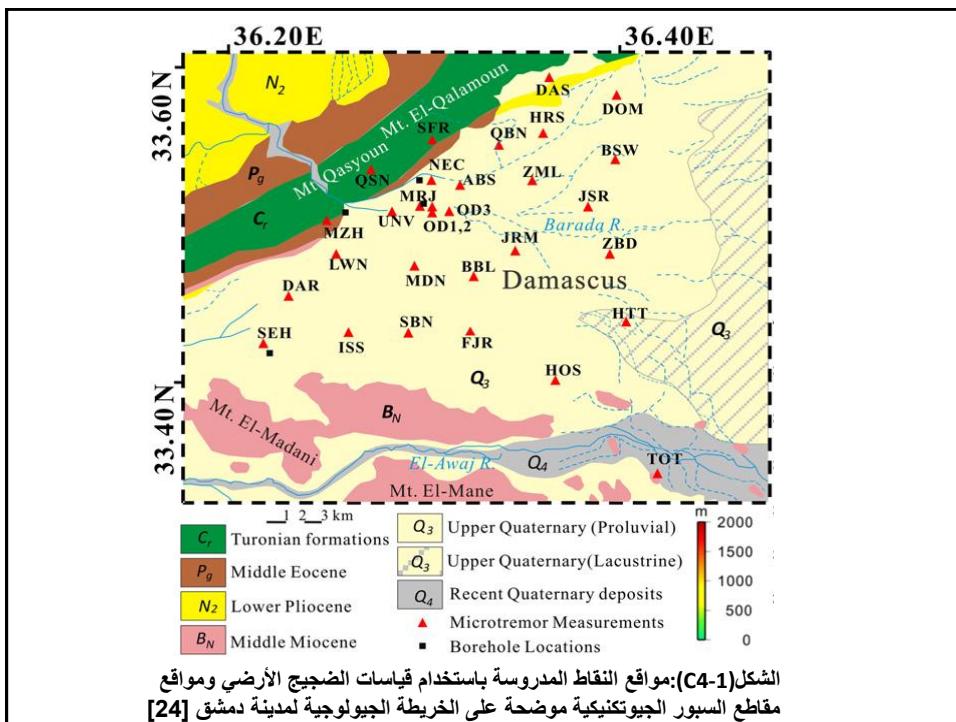
Dr. Kanamori seismic energy method

$Energy = \frac{Moment}{20000}$	seismic energy
$Moment = 20000 \times Energy$	seismic moment

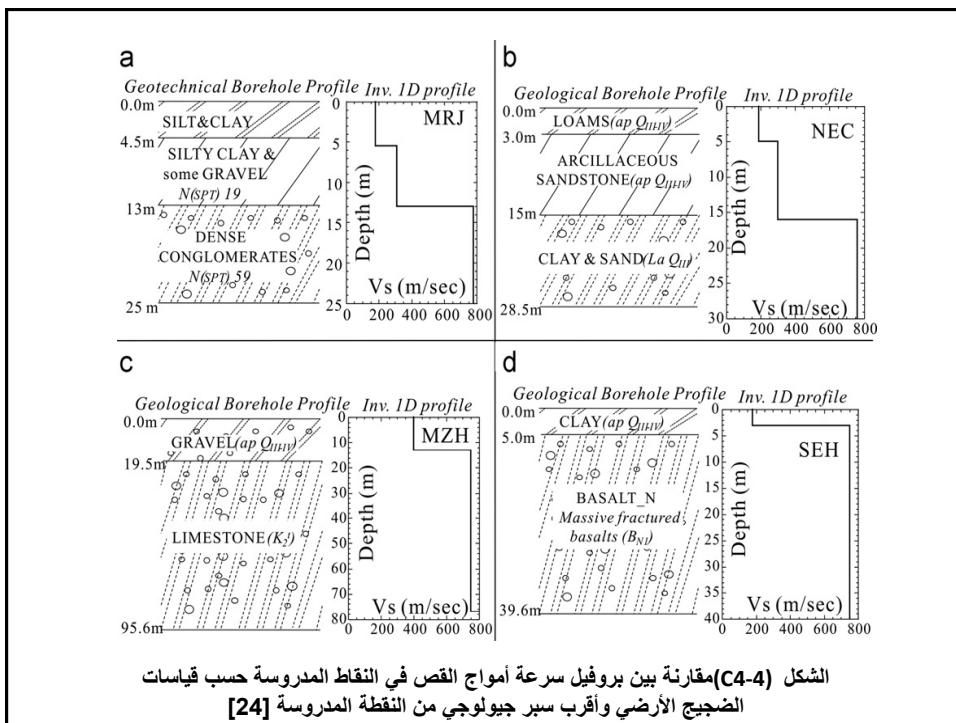
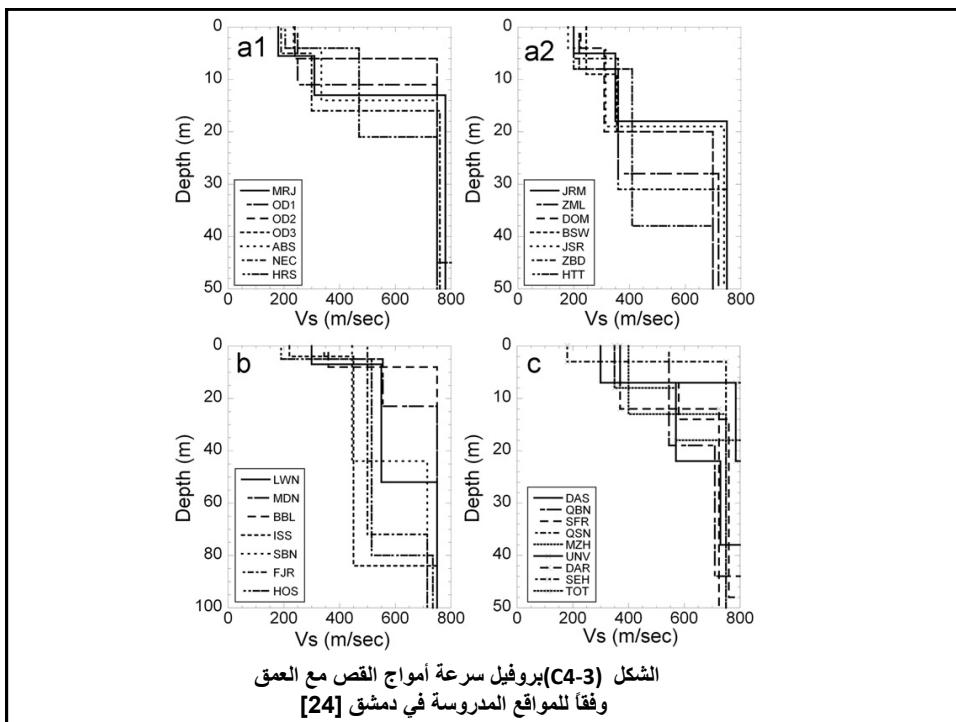
Stress drop : $\Delta\sigma = \frac{2 M_0}{\pi w^2 l}$

Moment – magnitude : $M_w = f(M_0) = \frac{2}{3} \cdot \log(M_0) + C$

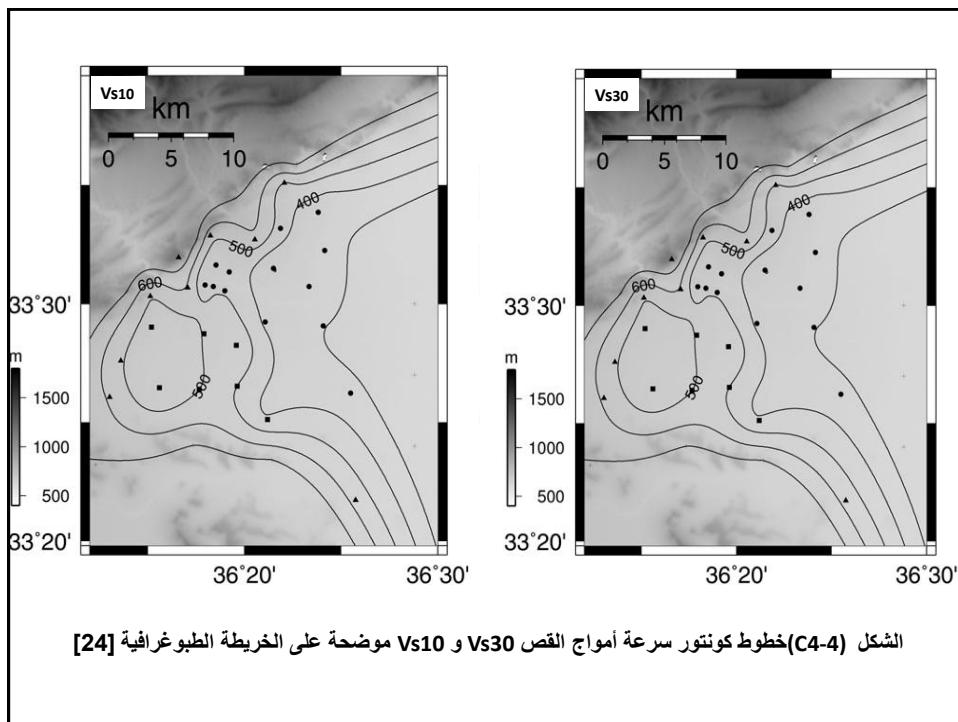
C - 4



C - 4



C - 4



جدول (C4-5) يبين الموقع المدروسة وأحداثياتها والسرعة ($Vs10$) و ($Vs30$) والتصنيف الجيولوجي - الدور المسيطرة - التضخم في الموقع المدروسة [24]

Site ID	Lat.	Long.	Elev.(m)	VS30 (m/s)	VS10(m/s)	Geology Index	Period (s)	Ave.Ampl (0.05 S - 0.5 S)
MRJ	33.513	36.299	691	419	248	Q3	0.17	3.4
OD1	33.512	36.307	694	433	250	Q3	0.18	2.9
OD2	33.510	36.307	697	484	283	Q3	0.12	3.1
OD3	33.509	36.316	687	484	283	Q3	0.12	3.1
ABS	33.522	36.320	689	429	269	Q3	0.16	3.6
NEC	33.527	36.309	697	399	255	Q3	0.19	3.3
JRM	33.487	36.351	665	384	255	Q3	0.21	3.3
ZML	33.525	36.358	682	301	219	Q3	0.32	3.0
HRS	33.553	36.367	701	455	385	Q3	0.08	3.6
DOM	33.564	36.397	657	380	269	Q3	0.23	3.5
BSW	33.537	36.402	649	334	209	Q3	0.26	3.1
JSR	33.512	36.389	652	387	269	Q3	0.22	3.5
ZBD	33.484	36.401	647	304	241	Q3	0.36	3.0
HTT	33.437	36.425	634	338	225	Q3	0.43	2.9
LWN	33.484	36.253	703	455	385	Q3	0.14	2.6
MDN	33.479	36.298	689	503	412	Q3	0.07	2.9
BBL	33.471	36.326	668	574	392	Q3	0.09	3.0
ISS	33.441	36.260	687	417	313	Q3	0.67	3.1
SBN	33.440	36.294	672	500	500	Q3	0.36	2.2
FJR	33.442	36.327	659	500	500	Q3	0.59	2.1
HOS	33.419	36.353	654	400	386	Q3	0.63	2.9
DAS	33.585	36.368	714	495	385	Q3	0.17	2.9
QBN	33.545	36.342	723	570	500	Q3	0.15	2.4
UNV	33.511	36.284	710	592	417	Q3	0.08	3.0
DAR	33.460	36.227	706	515	350	Q3	0.14	2.7
SEH	33.434	36.217	708	588	411	Q3	0.06	3.8
SFR	33.548	36.304	809	542	385	Cr	0.11	3.0
QSN	33.533	36.277	1108	859	241	CC	0.08	3.1
MZH	33.505	36.252	740	515	350	Pg	0.14	2.7
TOT	33.362	36.429	683	572	372	BN	0.14	3.0

المراجع

المراجع العربية

- [1] أحلام خليل، 2012، دراسة تأثير الجيولوجيا السطحية على التجاوب الأرضي بالاعتماد على تقنية نكامورا، دراسة حالة في منطقة الغوطة الشرقية، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.
- [2] الخارطة الجيولوجية لمدينة دمشق مقياس 1/200,000 ، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية.
- [3] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، منشورات نقابة المهندسين، 2004.
- [4] الملحق رقم (2) للكود العربي السوري لتصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلزال، منشورات نقابة المهندسين، 2005.
- [5] النشرات الدورية للشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي في المركز الوطني للزلزال.
- [6] دانيا نقشبendi، 2013، أطروحة ماجستير بعنوان دراسة الخصائص الديناميكية لبعض الأبنية قليلة الارتفاع باستخدام تقنية قياسات الضجيج الزلزالي لنماذج مختارة من الأبنية الموجودة في الغوطة الشرقية لمدينة دمشق، رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.
- [7] رندة محمد، 2004، الأوضاع الهيدروجيولوجية في سهل دمشق وأثرها على التمنطق الزلزالي لمدينة دمشق، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.
- [8] رنده محمد، 2012، أطروحة دكتوراه بعنوان تخادم الموجات الزلزالية المحلية والإقليمية في سورية والمناطق المجاورة، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

المراجع الأجنبية

- [9] Abou Romieh, M. Westaway, R. Daoud, M. Radwan, Y. Yassminh, R. Khalil, A. al-Ashkar, A. Loughlin, S. Arrell, K and Bridgland, D., 2009, " Active crustal shortening in NE Syria revealed by defomed terraces of the River Euphrates" ; Blackwell Publishing Ltd.
- [10] Abou Romieh, M. Westaway, R. Daoud, M. Bridgland, D., 2012," First indications of high slip rates on active reverse faults NW of Damascus, Syria, from observations of deformed Quaternary sediments: Implications for the partitioning of crustal deformation in the Middle Eastern region", Tectonophysics.
- [11] Alchalbi, A. Daoud, M. Gomez, F. McClusky, S. Reilinger, R. Abu Romeyeh, M. Alsooud, A. Yassminh, R. Ballani, B. Darawcheh, R. Sbeinati, R. Radwan, Y. AlMasri, R. Bayerly, M. Al Ghazzi, R and Barazangi, M., 2009, "Crustal deformation in northwestern Arabia from GPS measurements in Syria: Slow slip rate along the northern Dead Sea Fault", Geophysical Journal International.
- [12] Ambraseys, N and Barazangi, M., 1989, "The 1759 earthquake in the Bekaa Valley: implications for earthquake hazard assessment in the Eastern Mediterranean", Journal of Geophysical Research, vol.94, No. B4, 1989.
- [13] Atkinson, G.M. and D.M. Boore (1998), "Evaluation of models for earthquake source spectra in eastern North America", Bull. Seism. Soc. Am. 88, 917–934.
- [14] Beresnev, I.A. and G.M. Atkinson (1998), " FINSIM— a FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults", Seism. Res. Lett. 69, 27–32.
- [15] Boore, D. M. (1983), "Stochastic simulation of high frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra", Bull. SeismS. oCA. m. 73, 1865–1894.
- [16] Boore D.M," Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method", Pure appl. Geophys. 160 (2003) 635–676.

- [17] Boore, D. M. (2005a), “SMSIM---Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes”, Version 2.3, A Revision of OFR 96-80-A, U.S. Geological Survey Open- File Report, U. S. Geological Survey Open-File Report 00-509, revised 15 August 2005, 55 pp. online publications link on website: <http://www.daveboore.com/home.html>.
- [18] Dariush Motazedian and Gail M. Atkinson, 2005, “Stochastic Finite-Fault Modeling Based on a Dynamic Corner Frequency”, Bulletin of the Seismological Society of America”, Vol. 95, No. 3, pp. 995–1010, June.
- [19] Dogan, S. David, S. Eric, S. Christine, S. Carrie, B and Muawia, B., 2000, “Design and Development of Information Systems for the Geosciences An Application to the Middle East”, GeoArabia, Vol. 5.
- [20] Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K. M. and Zhang, P, 2003, “The GSHAP Global Seismic Hazard Map” In: Lee, W., Kanamori, H., Jennings, P. and Kisslinger, C. (eds.): International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology, International Geophysics Series 81 B, Academic Press, Amsterdam, 1233-1239, 2003.
- [21] Gomez, F. Meghraoui, M. Darkal, A. Hijazi, F. Mouty, M. Suleiman, Y. Sbeinati, R. Darawcheh, R. Al-Gazzi, R and Barazangi, M., 2003, “Holocene faulting and earthquake recurrence along of the Dead Sea fault system in Syria and Lebanon”, Geophys. J. Int., 2003.
- [22] HARIRI.A, 1991, “Seismotectonic study, seismic Hazard Assessment and Zonation of the Syrian Arab Republic”, M.Sc. Thesis, Skopie.
- [23] Hussam Eldein Zaineh, Hiroaki Yamanaka & Yadab Prasad Dhakal, Rawaa Dakkak, Mohamad Daoud, 2012, “Simulation of Near Fault Ground Motion of the Earthquake of November 1759 with magnitude of 7.4 along Serghaya Fault, Damascus City, Syria”, 9th international conference on urban earthquake engineering.
- [24] Hussam Eldein Zaineh, Hiroaki Yamanaka & Yadab Prasad Dhakal, Rawaa Dakkak, Ahlam Khalil, Mohamad Daoud, 2012, “Estimation of Shallow S-Wave Velocity Structure in Damascus City, Syria, Using

Microtremor Exploration, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (2012).

- [25] Randa, M. et. al, 2000, "Remote earthquake triggering along the Dead Sea Fault in Syria following the 1995 Gulf of Aqaba Earthquake ($M_s = 7.3$)", Seismological Research Letter, Vol 71, N.1, 2000.
- [26] McClusky S., S. Balassanian, A. Barka, C. Demir, S. Ergintav, I. Georgiev, O. Gurkan, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, K. Kastens, G. Kekelidze, R. King, V. Kotzev, O. Lenk, S. Mahmoud, A. Mishin, M. Nadariya, A. Ouzounis, D. Paradissis, Y. Peter, M. Prilepin, R. Reilinger, I. Sanli, H. Seeger, and A. Tealeb M.N. Toksöz, and G. Veis, 2000, "Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus", Journal of Geophysical Research, v. 105, no. B3. - pp. 5695–5719
- [27] Mustafa Erdik, Eser Durukal, 2003, "EARTHQUAKE ENGINEERING HANDBOOK: Simulation Modeling of Strong Ground Motion", CRC Press LLC.
- [28] Salamon, A., Hofstetter, A., Garfunkel, Z.&Ron, H., 2003., "Seismotectonics of the Sanai subplate—the eastern Mediterranean region", Geophys. J. Int., 155, 149–173.
- [29] Sbeinati, R. Darawcheh, R and Mouty, M., 2005, "The Historical Earthquakes of Syria: an Analysis of Large and Moderate Earthquakes from 1365 B.C to 1900AD", ANNALS OF GEOPHYSICS, Vol. 48, N. 3.

Abstract

The research is aimed at calculating the strong ground motion coefficients for selected areas in Damascus and its surrounding regions. Ground motion acceleration, which may arise from seismic sources affecting the region, has been simulated using stochastic technique, based on three seismic sources: Serghaya, Bassimeh and Damascus which were defined as active faults that may affect the study area.

Maximum horizontal ground acceleration coefficients were calculated on the bedrock. The Accelerations values were presented in the form of contour maps, showing that the level of seismic hazard in the region is relatively high, especially in the North-Western part and less towards the South-Eastern part.

Synthetic seismic records and seismic design response spectra were calculated for each considered points. The response spectra describe the frequency content of ground motion, which must be taken into account when designing the buildings.

Seismic loads according the Syrian Code were studied and compared with the results of the current study. Site effect using soils classification in Syrian Code and design response spectra were calculated for considered points and compared with the design response spectra reported in the Syrian Code.

The base shear coefficient for the most common buildings in the study area, which have building frame system was calculated based on the results of the current study for different types of soils, and were compared with the values reported in the Syrian code.

Seismic parameter of C_a and C_v were investigated based on the results of the current study, and new table values were proposed to calculate these parameters taking into account the different types of soil code.

Damascus University
Higher Institute of Earthquake Studies and Research
Department of Structural and Earthquake Engineering



Acceleration Ground Motion Simulation in Damascus City and Studying its Effect on Seismic Response of Reinforced Concrete Buildings

Thesis

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master in Structural and Earthquake Engineering

By:

Eng. Abdulmutaleb Alchalbi

Supervised By:

Dr.Eng. Hafez Al-Sadeq

Dr. Samer Bagh

Damascus, 2013