نمذجة المحاكاة الرقمية وأثرها في تخفيف المخاطر الزلزالية «دراسة حالة ـ سهل دمشق»

رندة محمد وواثق رسول آغـا
قسم الجيولوجيا ـ كلية العلوم ـ جامعة دمشق

تاريـخ الإيداع 2003/07/28
قبل للنشـر في 2004/03/24

الملخص

تقع دمشق في الجزء الجنوبي من سورية بالقرب من نظام صدع البحر الميت وخاصة صدع سرغايا أحد فروعه المهمة. ويعد هذا الصدع نشطاً ومصدراً زلزالياً لزلازل مدمرة استناداً إلى الدراسات الحديثـة والسجل الزلزالي التاريخ والزلازل المسجلة آلياً. ولنمذجة الحركة الأرضية في سـهل دمـشق وتقـدير تضخيمها طبقنا الطريقة الهجينة التي تجمع بين طريقتي المحصلة الشرطية وشبكة الفروقات المحـدودة على مقطع ثنائي البعد يمر من مدينة دمشق، إذ تسمح هذه الطريقة بحساب الحركة الأرضية فـي وسـط مرن وغير متجانس وبحساب السجلات الزلزالية الصنعية على طول هذا المقطع بتردد قطع مساوي إلى 5 هرتز للمصدر الزلزالي (صدع سرغايا) بافتراض زلزال قدره 6.5 على مقياس ريختر نـاتج عـن هـذا الصدع. لقد تم وضع النموذج الإقليمي والمقطع المتغير للبروفيل من المعطيات الجيولوجية والجيوتكنيكية المتوافرة عن منطقة الدراسة. وجدت القيم العظمى لتضخيم الحركة الأرضية في سهل دمشق بشكل عـام على الترددات زهاء 1 هرتز و4 هرتز.

إضافة إلى ذلك تمت دراسة لاحتمال حدوث تمييع للتربة في سهل دمـشق اعتمـاداً علـى طـريقتين إحداهما بناء على معلومات طبوغرافية وجيولوجية، والثانية بناء على المعلومات الجيوتكنيكية (قـيم N والقطر الحبيبي) وقيمة التسارع الأرضي، وذلك من أجل حساب معامل مقاومة التميع F_L ومؤشر قابليـة التميع I_L فوجدنا أن المؤشر يزيد على القيمة 15، وهذا يشير إلى احتمال حدوث التمييع.

الكلمات المفتاحية: سهل دمشق، المحاكاة الرقمية، التمنطق الزلزالي.

Numerecal simulation modeling and it's impact in mitigation of seismological hazard

«Case study-Damascus Plain»

R. Mohamad and W. Rasoul-Agha

Department of geology - Faculty of Sciences- Damascus University

Received 28/07/2003

Accepted 24/03/2004

ABSTRACT

Damascus is located at the southern part of Syria not far from the Dead sea fault system, in particular from one of its branches the Sergayah fault. The latter in particular is a quite active fault system and the main seismic source for both destructive historical events felt and instrumental seismicity recorded in Damascus. To model seismic ground motion in Damascus plain and to estimate its amplifications we use a 2-D hybrid method coupling modal summation with finite differences. This techniques allows to compute ground motion in laterally heterogeneous an elastic media. Synthetic seismograms with a cutoff frequency of 5 Hz are created along one 2-D profile passing through the city of Damascus for possible seismic source with assumed magnitudes around 6.5 located on the Sergayah fault. The average regional structural model and the laterally heterogeneous parts of the profiles have been derived from detailed geological and geotechnical data available for the investigated area. From the computations we can infer that the maximum ground motion amplification values in Damascus plain are generally found at frequencies around 1 Hz and 4 Hz. In addition for assessing liquefaction potential in Damascus plain tow methods have been used. first one evaluated roughly liquefaction potential based on topographical and geological information and the second one based on geotechnical data such as N- value, grain size and estimated peak ground acceleration to calculate a liquefaction resistance factor, $F_{L.}$ and liquefaction potential index, I_L. We found that I_L exceeds 15 which mean probable sever liquefaction.

Key Words: Damascus plain, Numerecal simulation, Seismic Microzonation

المقـدمـة

تعد الزلازل من أشد الكوارث الطبيعية ضرراً وتؤدي إلى خـسائر بـشرية ومادية كبيرة. والوسيلة الوحيدة للتخفيف من آثارها هو اتخاذ التـدابير والإجـراءات الوقائيـة. وتعتمد فعالية تلك التدابير والإجراءات على مدى معرفتنا بآلية حدوث الـزلازل وتـأثير مختلف العوامل الجيولوجية والفيزيائية والبتروفيزيائية في اسـتجابة المواقـع للحركـات الأرضية ومدى تأثرها. وحالياً لم تعد هناك حاجة لانتظار حدوث الزلازل ومن ثم قيـاس الحركة الأرضية الناتجة عنها بواسطة مجموعة كثيفة من أجهـزة التـسجيل الزلزالـي, وعوضاً عن ذلك وكسباً للوقت يتم القيام بفهم آلية عمل الزلازل ودراسة تـأثير الموقـع وتحليل الأخطار الزلزالية المحتملة باستخدام التقانات الحاسوبية والنمذجة الرياضية، ومن ثم توظيف هذه المعرفة من أجل الاستعداد لهذه الأخطار والتخفيف منها بشكل فعال عن طريق تخطيط توسع المدن وتصميم المباني الحديثة المقاومة زلزاليـاً وتـدعيم المبـاني الموجودة وفي حال تسجيل زلزال معين بواسطة شبكات الرصد الزلزالي (التي لايمكـن الاستغناء عنها) تعاير نتائج الدراسات بالقيم الحقيقية المسجلة لتطوير تلك الدراسات.

تعد تقانة نمذجة المحاكاة الرقمية (Numerical Simulation Modeling) مـن أهـم وأعقد التقانات الحديثة التي تعطي نتائج ذات موثوقية في فهم الأخطـار المحتملـة عـن المصادر الزلزالية، واستنتاج التضخيم الذي سينجم نتيجة تأثير مختلف الظروف الطبيعية السائدة في الموقع المدروس على الأمواج الزلزالية وانتشارها فـي الأوسـاط المختلفـة، وكذلك التنبؤ الدقيق بالحركات الأرضية المحتملة في المواقع ذات الأهمية تمهيداً لوضـع خرائط التمنطق الزلزالي التي تشكل المنطلق للتخفيف من الخسائر بالأرواح والممتلكـات الناتجة عن أي زلزال.

وقد اقترحت عدة تقانات حسابية لتقدير الحركة الأرضية في مواقع معينة. باسـتخدام طرائق النمذجة الرياضية أحادية البعد وثنائية البعد.

تعطى الطرائق أحادية البعد وهي الأسهل والأكثر توافراً الدور السائد للاهتـزاز فـي منطقة الدراسة للمستويات الرسوبية غير المتماسكة [1] و[2]. وتظهر نتائجها أن التـأثير الأقوى للحركة الأرضية يحصل عند الدور السائد للمنطقة المدروسة، كما أنهـا تعطـي التضخيم النسبي للإشارة بين نقطتي قياس: إحداها خارج الحوض الرسوبي على الصخر الصلب، والأخرى في مركز الحوض. ومع ذلك فان هذه التقانة تبقى قاصرة عن دراسـة تأثير التغيرات الجانبية للطبقات الرسوبية وعدم أفقيتها في قيمة الحركة الأرضية فيهـا، لهذا استنبطت الطرائق ثنائية البعد لتقدير قيمة الحركة الأرضية في موقع الدراسة، ومنها تقانة الفروقات المحدودة [3] وتقانة العناصر المنتهية [4]، وهي من التقانات التي تستخدم عند النمذجة للحركات الأرضية القوية ذات المصادر البعيدة عن موقع الدراسة، ومن ثـم

فهي لا تدخل طبيعة المصدر الزلزالي في الحسابات. في حين أن التقانات ثنائية البعد الأخرى كتقانة المحصلة الشرطية تعد قادرة على معالجة نوع المصدر الزلزالي وآليته في الحسابات، ولكنها تطبق عملياً في الأحواض الرسوبية ذات البنية الجيوهندسية البسيطة [5] و[6].

لدراسة تأثير آلية المصدر الزلزالي وطبيعة المسار الموجي الذي تسلكه الموجة من المصدر إلى نقطة التسجيل وإدخال التعقيد الجيولوجي للأحواض الرسوبية في الحسابات تم تطوير الطريقة الهجينة Hybrid Method والتي تشتمل على تقانة المحصلة الشرطية وتقانة الفروقات المحدودة معاً [7] و[8]، ونظراً لتلك الميزات التي تتمتع بها هذه الطريقة فهي تعد الوسيلة الناجعة الوحيدة حتى الآن لتقدير قيمة الحركة الأرضية وأثرها في الأحواض الرسوبية. وقد دفعت تطبيقاتها الناجحة في العديد من مناطق العالم، المؤسسات الدولية المختصة لاعتبار الطريقة الهجينة تقانة معتمدة عالمياً وأوصت باستخدامها لتقدير قيمة الحركة الأرضية في الأحواض الرسوبية الناتجة عن المصادر الزلزالية المؤثرة في مناطق هذه الأحواض [9].

ويتطلب استخدام الطريقة الهجينة حشد قاعدة معلومات كبيرة تشكل مدخلات النموذج وتتألف من معطيات طبوغرافية وليتولوجية وتكتونية وبتروفيزيائية وهيدروجيولوجية وزلزالية حديثة وزلزالية قديمة Paleoseismology.

وتتناسب دقة المخرجات طرداً مع كثافة المدخلات وصحتها. وقد قمنا باكتساب تقانة المحاكاة الرقمية المطبقة عالمياً بإشراف جامعة تريستا وباستخدام البرامج الحاسوبية المتوافرة لديها وفي مخابرها، وتطبيقها أول مرة على منطقة دمشق التي تضم تجمعات سكانية وفعاليات اقتصادية كبيرة وتقع ضمن بنية جيولوجية معقدة.

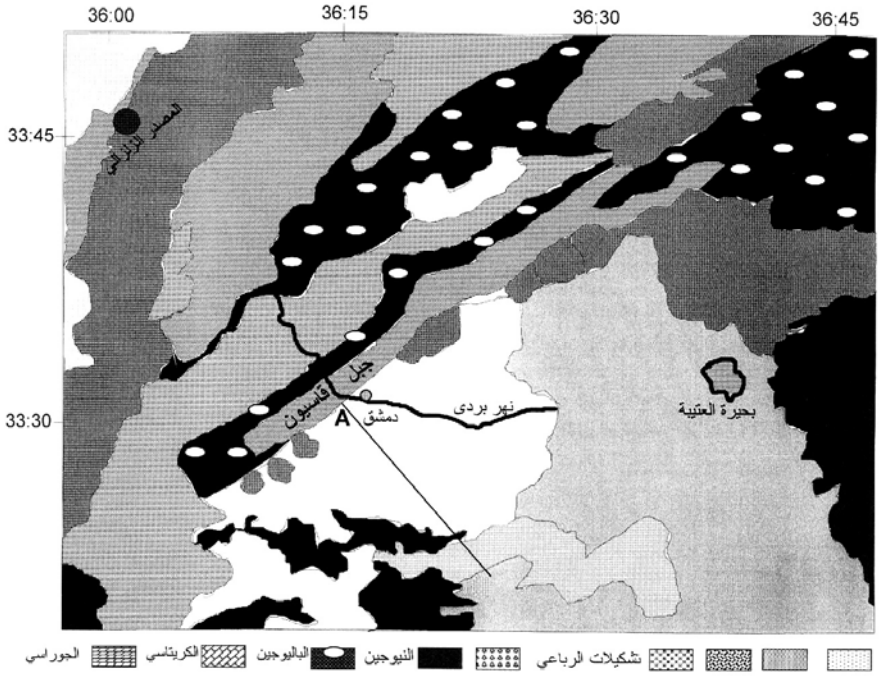
هدف البحث

يهدف البحث إلى تحديد معاملات الحركات الأرضية المحتملة لزلزال يمكن أن يتولد عن المصدر الزلزالي المفترض صدع سرغايا في الجزء المركزي من حوض دمشق (سهل دمشق) باستخدام تقانة نمذجة المحاكاة الرقمية.

حوض دمشق

يقع حوض دمشق (حوض بردى والأعوج) في الجزء الجنوبي الغربي من الجمهورية العربية السورية ويمتد بين خطي العرض '32°43 و'33°55 شمالاً وخطي الطول '35°48 و'37°05 شرقاً على مساحة تقدر ب 8630 كم^2. يضم حوض دمشق تجمعات سكنية كثيرة أهمها مدينة دمشق التاريخية أقدم عاصمة مأهولة في التاريخ. يتمتع حوض دمشق بمظاهر مورفولوجية مختلفة تتباين بين السلاسل الجبلية التي تشغل القسم

الشمالي والشمالي الغربي من الحوض، مروراً بمناطق الهضاب التي تنتشر شرقاً وجنوباً وتتألف من تلال صغيرة وأخرى متوسطة الحجم، انتهاء بالمناطق السهلية وفي مقـدمتها سهل دمشق الذي يمتد من السفوح الجنوبية الشرقية لجبل قاسيون غرباً وحتـى بحيرتـي العتيبة والهيجانة شرقاً (شكل 1).



الشكل (1) الخارطة الجيولوجية لحوض دمشق موضحاً عليه مسار البروفيل المدروس A.

تكتونياً يحتل حوض دمشق جزءاً من الطرف الشمالي للصفيحة العربية، حيث منطقة الالتقاء بين المنحدر الشمالي للجزء المتحرك نسبياً من هذه الصفيحة والجـزء المـستقر نسبياً منها. ويحده من الغرب منظومة صدع البحر الميت ذات الاتجاه شمال جنـوب، و الذي يبدي انزياحاً جانبيا يسارياً للبنى الجيولوجية يصل حتى 110 كم على امتداد الصدع الرئيس والفوالق الفرعية [10]. ويتفرع عن الصدع الرئيس صـدع سـرغايا (المـصدر الزلزالي المفترض في هذه الدراسة) بالقرب من بحيرة طبريا حيث يمكن متابعـة أثـره باتجاه الشمال الشرقي لمسافة 125 كم على الأقل، قاطعاً جبال لبنان الـشرقية والجانـب الشرقي لمنخفض البقاع في لبنان، إضافة إلى ذلك يتفرع مـن الـصدع الـرئيس أيـضاً صدعان آخران هما راشيا والروم [11]. و تشير الدراسات الزلزالية التاريخية إلى أن كل هذه الفوالق قادرة على توليد زلازل كبيرة تشكل خطراً زلزالياً مهماً، ويعـد زلـزال 25 تشرين الثاني 1759 الأحدث من بين الزلازل الكبيرة التي حدثت علـى امتـداد الجـزء الشمالي من هذه المنظومة وكان قدر ذلك الزلزال $M s = 7.3$ على مقياس ريختر [10].

تتكشف في حوض دمشق صخور تعود أعمارها إلى كل مـن عـصور الجوراسـي والكريتاسي والباليوجين والنيوجين والرباعي. تتألف صخور الجوراسـي مـن الحجـر الكلسي والحجر الكلسي الدولوميتي، كما تتألف صخور الكريتاسي من رسوبيات بحريـة وشاطئية مؤلفة من: أحجار كلسية وأحجار كلسية دولوميتية مع دولوميت ومارل وغضار ورمال، إضافة إلى الصوان الذي يوجد بشكل عقد وطبقات، أما صخور الباليوجين فتتألف من صخور كلسية وكلسية غضارية وحوارية مع تداخلات من الصوان ورسوبيات الحجر الكلسي الحواري والمارلي والحجر الكلسي الرخامي، كذلك تتـألف صـخور النيـوجين والرباعي من توضعات قارية مكونة أساساً من رمال وكونغلوميرا وأحجار كلسية ومارلية غضارية متوضعة في مياه عذبة [12] و[13].

من الناحية الهيدروجيولوجية تفيد الدراسات السوفييتية أن حوض بـردى والأعـوج يمكن أن يقسم استناداً إلى البنية الجيولوجية والجيومورفولوجية إلى منطقتين جيولوجيتين :[13]

الأولى السلسلة التدمرية المؤلفة من سلسلة من المحدبات ذات الاتجاه شمال شـرق- جنوب غرب والتي تفصلها المقعرات وتكون مصابة بتخلعات مهمة، ومن أهم تلك البنيات محدب الضمير ومقعر جيرود .

والثانية منطقة منخفض العرب ذو البنية الغورية التـي تتميـز بوجـود المخـاريط البركانية على امتدادها وتضم بنيات من الدرجة الثانية أهمها منخفض دمـشق ونهـوض جباب.

من جهة أخرى يقسم [13] حوض دمشق أيضاً إلى مناطق التغذية المائية وأهمها جبال لبنان الشرقية وجبل الحرمون، ومناطق الصرف وأهمها الينابيع الرئيسة ومنطقتا العتيبة والهيجانة. وتكون الحركة الرئيسة للمياه الجوفية في حوض دمشق من المنطقة الجبلية غرباً وباتجاه المناطق السهلية شرقاً وتكون الشبكة الهيدروغرافية بسبب الظروف المناخية والتضاريسية والمورفولوجية والجيولوجية في الحوض موزعة بشكل غير منتظم، ويضم سهل دمشق بالذات سبعة مستويات مائية [14] في:

- التوضعات الرباعية (ap-ap QIII-IV) النهرية والنهرية السيلية المؤلفة من الرمال والحصى الكبيرة والكونغلوميرا، وهي تنتشر في الجزء الغربي والمركزي من سهل دمشق بدءاً من مدينة دمشق.
- التوضعات الرباعية (L-la QIII-IV) البحيرية والبحيرية النهرية المؤلفة من الحصى والحصى الكبيرة واللوم، وتنتشر في القسم الشرقي من السهل حتى بحيرتي العتيبة والهيجانة.
- التوضعات الرباعية (la QI-II) البحيرية النهرية المؤلفة من الرمال والحصى الكبيرة والحجر الكلسي والمارل والغضار.
- توضعات البازلت الحديث BQIV.
- التوضعات البازلتية العائدة إلى الرباعي الأسفل والبليوسين الأعلى BN2b +QI.
- توضعات الكونغلوميرا والحجر الرملي والغضار والحجر الكلسي والمارل العائدة إلى الرباعي والميوسين الأوسط Q+ N12، وتنتشر المياه الجوفية فيها بشكل عشوائي ومتقطع أيضاً.
- بازلت الميوسين الأوسط BN 12 ، وتنتشر المياه الجوفية فيه بشكل عشوائي ومتقطع.

تكون نوعية المياه الجوفية في سهل دمشق ذات اختلاف كبير في تركيبها الكيميائي ودرجة ملوحتها، فتكون المياه في المناطق الغربية والمركزية في السهل بيكربوناتية وذات ملوحة أقل من 0.5 غ/ل. بينما تزداد ملوحتها باتجاه المناطق الشرقية لتصل في بحيرة العتيبة والهيجانة الى 60 غ/ل وتصبح سحنتها الهيدروكيميائية كلوريدية بشكل رئيس.

خطوات العمل

قسم العمل إلى مرحلتين:

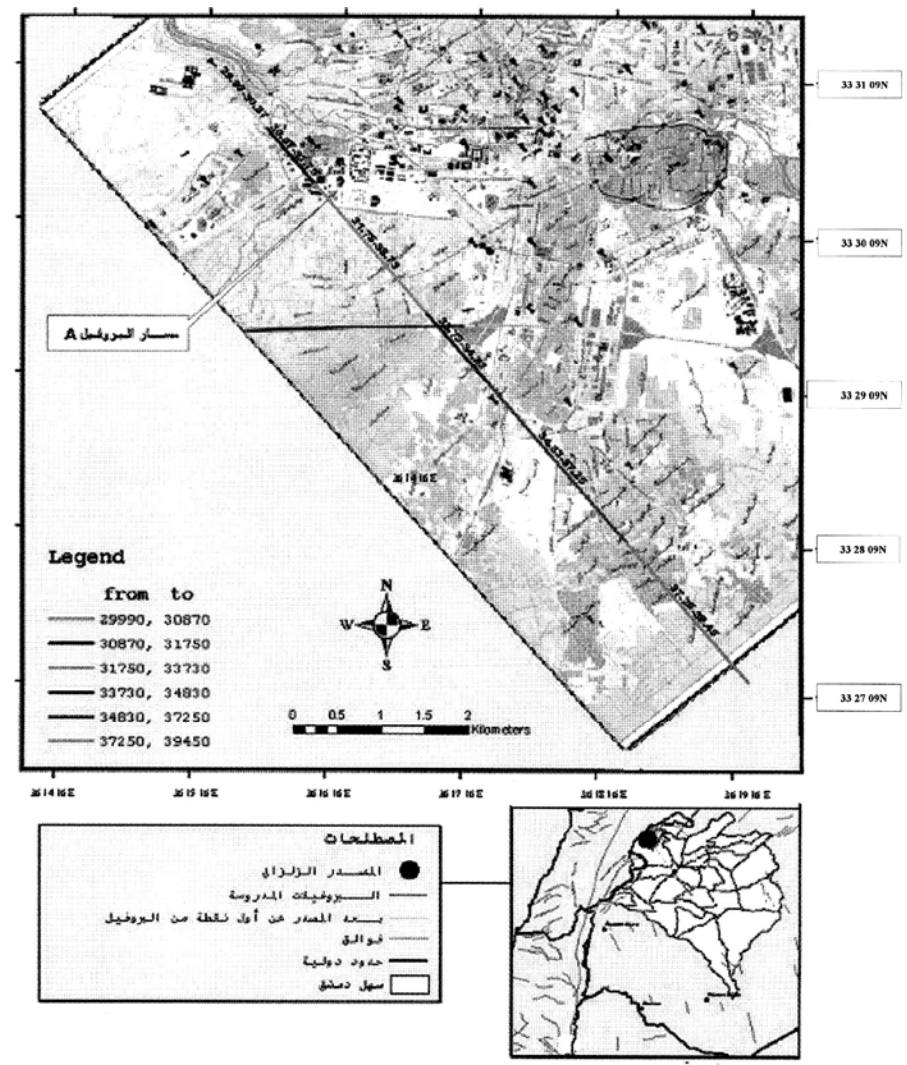
4-1-المرحلة الأولى: وتضمنت اختيار بروفيل يقطع سهل دمشق وبطـول 22كـم الشكل (2) وبناء النموذجين الأحادي والثنائي البعد اللذين يعكسان التطبـق الجيولـوجي والهيدروجيولوجي والبتروفيزيائي في السهل مع توصيف كامل لهذه الطبقـات واللـذين يشكلان المنطلق لإجراء النمذجة الزلزالية. ولتنفيذ ذلك تم بناء قاعدة معطيـات متكاملـة وتمثيلها عن طريق استخدام برامج حاسوبية (Rock Ware-GIS)، وقـد تـضمنت هـذه القاعدة ما يأتي:

معطيات جيولوجية وليتولوجية وبنيوية وسماكات الطبقات: تم الحصول عليها مـن الخرائط الجيولوجية والتكتونية بمختلف القياسات ومن تحليـل الدراسـات الجيوفيزيائيـة والآبار المتوافرة، كذلك تم تحديد أنواع الصخور المختلفة وتتابعها الليتولوجي في حوض دمشق مع التركيز على سهل دمشق [12] و[13].

- **أنواع المستويات الحاملة للماء وسماكاتها** ومناسيبها مأخوذ من الآبـار والنقـاط المائية وشبكة الرصد المائية في سهل دمشق [14].

- **معطيات بتروفيزيائية** تضم الكثافة والقطر الفعال ومعامل اللدونة ومعامل القـص ومعامل يونغ وعامل بواصون وسرعة انتشار الأمواج الأولية والثانوية ومعامـل تخامـد هذه الأمواج والمقاومية الكهربائية والاستقطابية الكهربائية والنفاذية الهيدروليكيـة، وكـل ذلك مأخوذ من معطيات الدراسات الجيوتكنيكية ومـن تحليـل القياسـات الجيوفيزيائيـة السطحية السيسمية الانكسارية والجيوكهربائية والبئرية والهيدروجيولوجية السابقة [13].

- **تحديد المصادر الزلزالية المحيطة بمدينة دمشق وآلية بؤرة الزلزال**: من خلال المعلومات الزلزالية التاريخية حول الزلازل التي أثرت في المدينة تاريخياً [10] والزلازل الحديثة المسجلة في شبكات الرصد الزلزالية العالمية والمحلية والدراسات الحديثة للفوالق النشطة [11].



الشكل (2) خارطة دمشق موضحاً عليها مسار البروفيل A.

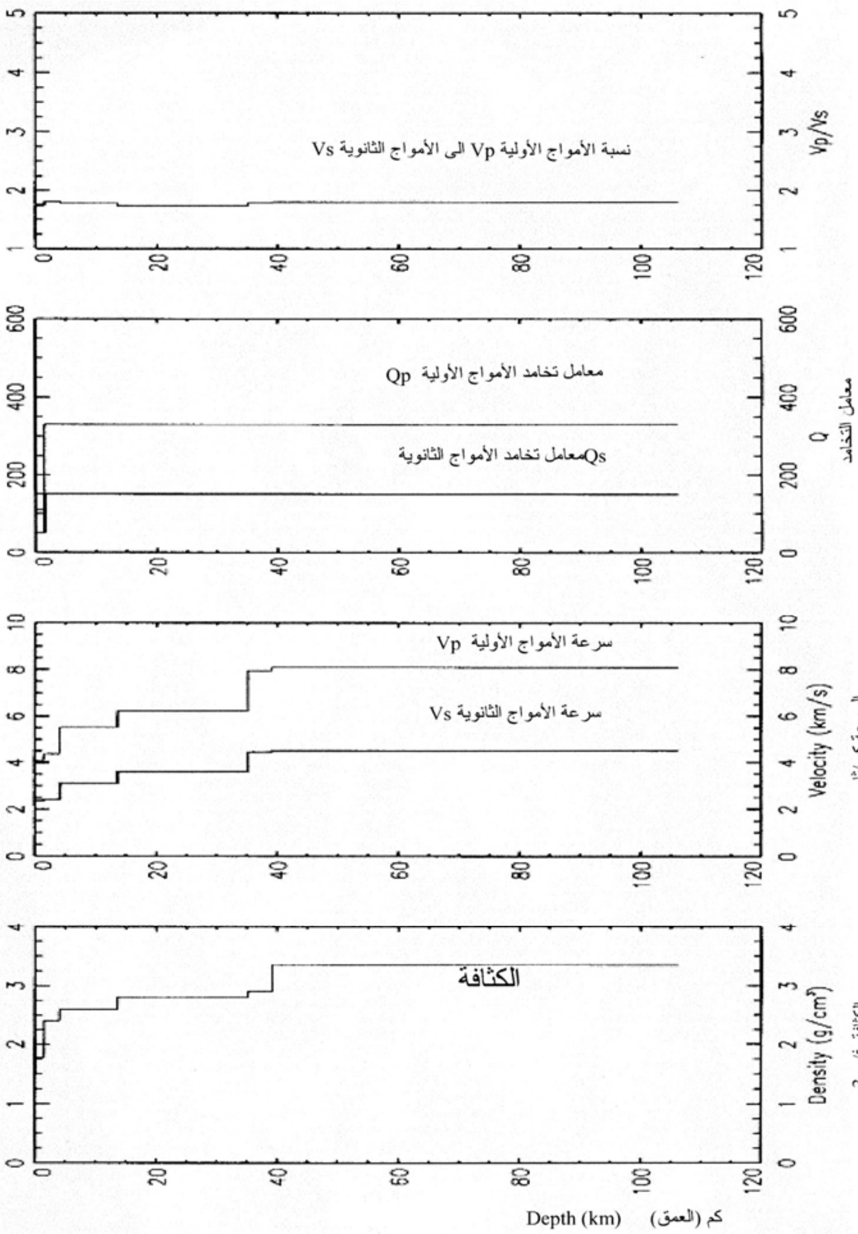
وتم من خلال قاعدة المعطيات المذكورة أعلاه بناء النموذجين الآتيين:

- نموذج إقليمي أحادي البعد للبنية الجيولوجية المحيطة بالمدينة وما حولها وقد قسم إلى ست طبقات بتروفيزيائية متمايزة بحسب قيم الكثافة (Rho gr/cm3) وسرعة الأمواج الأولية (Vp km/sec) والثانوية (Vs km/sec) بالإضافة إلى النسبة بين سرعة الأمـواج الأولية والثانوية Vp/Vs كما هو مبين في الشكل (3). وقد حدد على شكل مجموعة مـن الطبقات الأفقية لصخور الأساس (وهي الصخور المتوضعة تحت الطبقات الرسوبية فـي الحوض والتي تكون فيها سرعة الأمواج الثانوية 2.5 كم/ثا ومافوق) مسقطا عليها سرعة انتشار الأمواج الأولية والثانوية والكثافة والسماكة لكل طبقة وعامل التخامد Q الذي يحدد التخامد غير المرن لكلتا الموجتين الأولية والثانوية. واعتماداً علـى التجـارب العمليـة لحـسابات القطـع Cut-off computations ومـن أجـل تـرددات القطـع حتـى 5 هرتز، لابد أن يكون عمق النموذج أحادي البعد 120 كم.

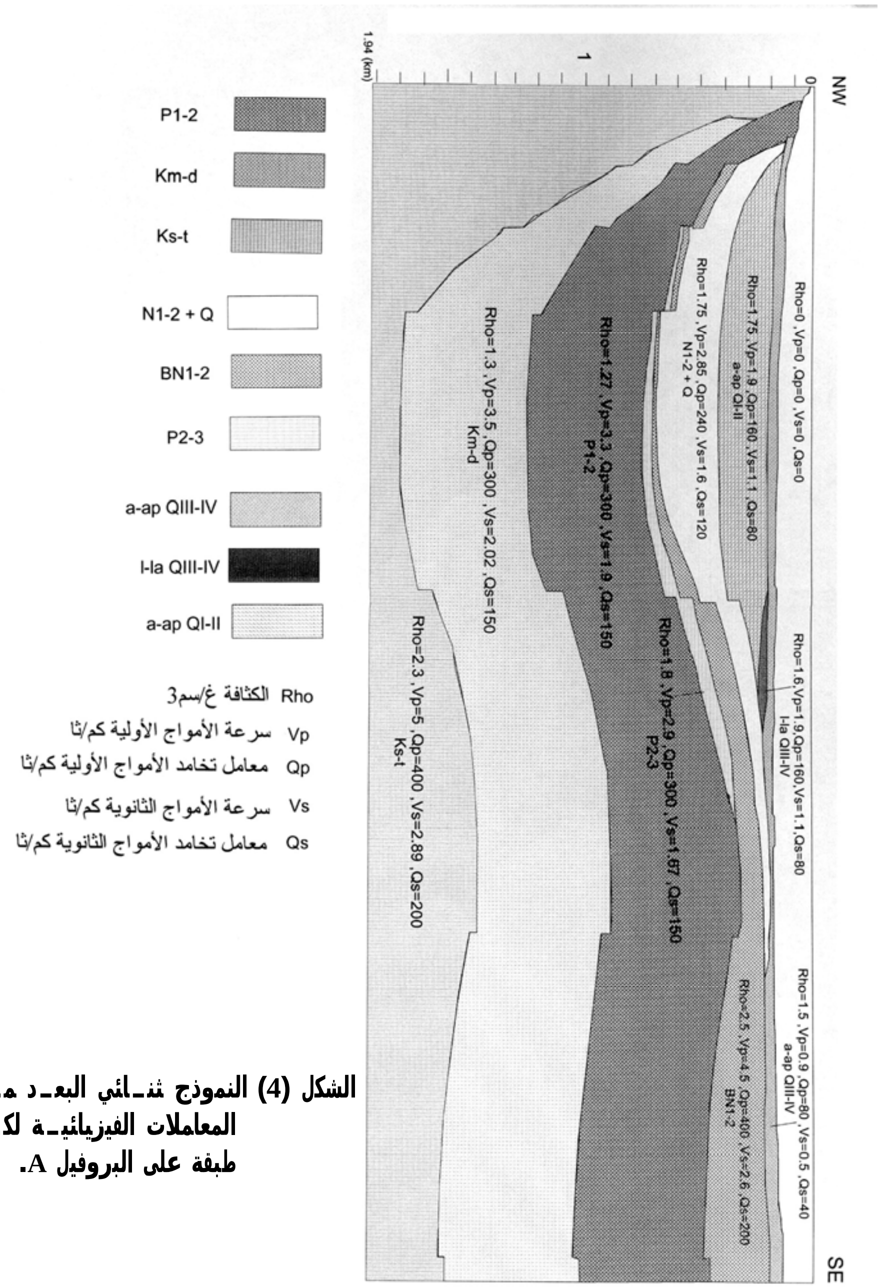
- نموذج ثنائي البعد يمثل المقطع الشاقولي للبروفيل المار من المدينة مسقطاً عليه جميع البيانات المبينة في قاعدة المعلومات إضافة إلى ما أسقط على النمـوذج الأحـادي البعد (الشكل 4). وقد تم تقسيم النموذج ثنائي البعـد للبروفيـلA إلـى تـسع طبقـات بتروفيزيائية استناداً إلى الخواص نفسها المعتمدة في النموذج الأحادي البعد مضافاً إليهـا العامل المورفولوجي الناتج عـن تغيـرات الـسماكة، ويبـين الجـدول (1) الخـواص البتروفيزيائية للصخور الممثلة للمقطع الشاقولي للبروفيل، كما يبين الشكل (4) المقطـع الشاقولي مسقطاً عليه الخواص البتروفيزيائية وتغيرات السماكات لكل طبقة علـى طـول البروفيل A.

الجدول (1) الخواص البتروفيزيائية لصخور سهل دمشق

الصخر	الكثافة (غ/سم^3) Rho	سرعة الأمواج الأولية (كم/ثا) Vp	معامل تخامد الأمواج الأولية Qp	سرعة الأمواج الثانوية (كم/ثا) Vs	معامل تخامد الأمواج الثانوية Qs
رباعي	1.75-1.5	1.9-0.9	160-80	1.1-0.5	80-40
نيوجين	1.75	2.85	240	1.6	120
بازلت نيوجين	2.5	4.5	400	2.6	200
باليوجين	1.8-1.27	3.3-2.9	300	1.9-1.67	150
الكريتاسي	2.3-1.3	5-3.5	400-300	2.89-2.02	200-150

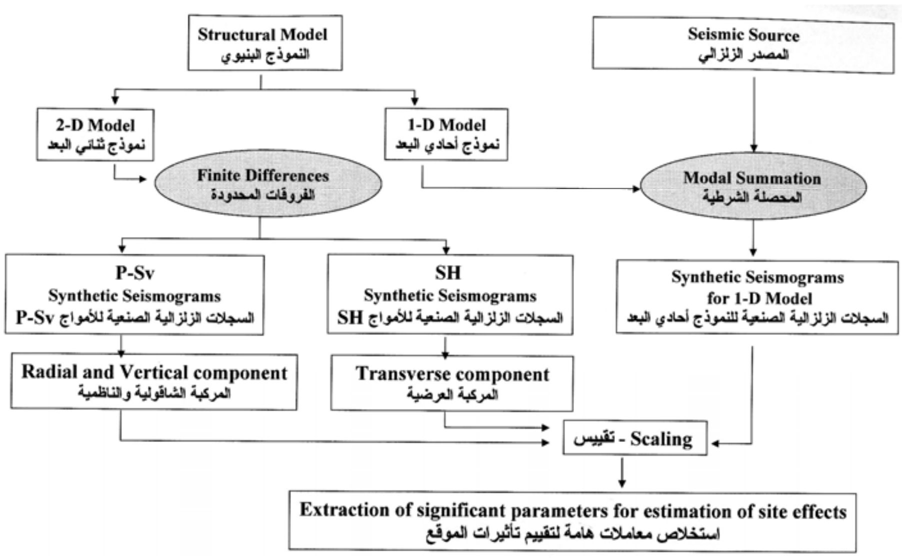


الشكل (3) المعاملات الفيزيائية للنموذج أحادي البعد



الشكل (4) النموذج ثنائي البعد مع المعاملات الفيزيائية لكل طبقة على البروفيل A.

4-2- المرحلة الثانية: وتضمنت إجراء الحسابات النظرية لتحديد معاملات الحركات الأرضية الناجمة عن المصدر الزلزالي باعتماد نمذجة المحاكاة الرقمية استناداً إلى قاعدة المعطيات المذكورة سابقاً، ومن ثم حساب تضخيم الإشارة الزلزالية الناتجة عن تأثير الظروف الطبيعية السائدة في الموقع. وقد تم ذلك باستخدام طريقة التقانة الهجينة Hybride_technique المطورة من قبل [15]، ويوضح الشكل (5) تسلسل العمليات المنطقية في هذه الطريقة:



الشكل (5) مخطط يبين خطوات العمل لحساب تأثير الموقع باستخدام طريقة التقانة الهجينة Hybrid Technique.

أولاً- يتم إدخال معطيات النموذج أحادي البعد الذي يمثل عملياً متوسط قيم المعطيات المحصورة بين المصدر الزلزالي وبداية النموذج ثنائي البعد وعلى طول المسار بين هذا المصدر والبروفيل A (صخور الأساس) (الشكل 1).

ثانياً- تحدد وتدخل معاملات المصدر الزلزالي المفترض المولد للأمواج الزلزاليـة، في بحثنا هذا اعتمدنا صدع سرغايا كمصدر مولد للزلازل نظراً لأن الدراسات الحديثـة [10]، إضافة إلى الدراسات التاريخية [11] أثبتت أنه نشط تكتونيـاً. وقـد افترضـنا أن مـصدر الأمـواج الزلزاليـة هـو نقطـي ثنـائي المزدوجـة للأمـواج الزلزاليـة (Double-couple point source of seismic waves)، كمـا تـم تحديـد المعـاملات (Parameters) المميزة لهذا المصدر [11] في الجدول (2):

الجدول (2) المعاملات المميزة للمصدر الزلزالي المفترض

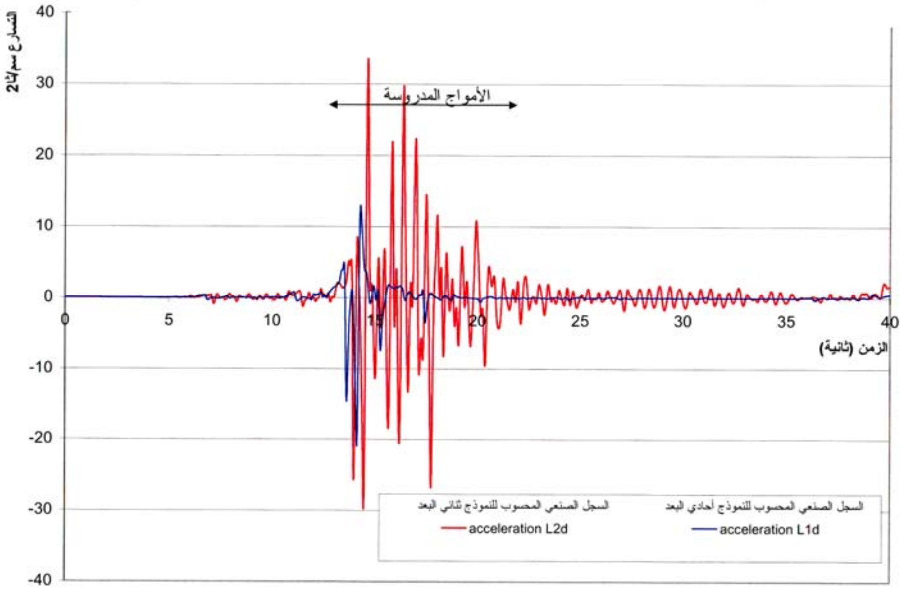
Fault rake: 0	زاوية الخدش: 0
Strike-receiver angle: 243	زاوية اتجاه المستقبل: 243
Fault dip: 90	ميل الصدع: 90
Source depth (km): 8	عمق المصدر الزلزالي المفترض في هذه الدراسة:8 كم
Source-2D model origin distance (km). 29.99 km	بعد المصدر عن بداية النموذج الثنائي (كم) 29.99
Magnitude (Ms) 6.5	قدر الزلزال المفترض حسب مقياس ريختر 6.5

ثالثاً- يتم حساب السجلات الزلزالية الصنعية (Synthetic Seismograms) من أجـل الأمواج (SH) للترددات من 0.2 حتى 5 هرتز بتطبيـق طريقـة المحـصلة الـشرطية Modal-Summation على النموذج الأحادي البعد (الشكل 6). وقد اقتصرنا فـي بحثنـا على حساب الأمواج (SH) نظراً لارتباطها بالإخطار الزلزالية على الأبنية.

رابعاً- يتم حساب السجلات الزلزالية الصنعية من أجل الأمواج ذاتها بتطبيق طريقـة شبكة الفروقات المحدودة finite differences على النموذج ثنائي البعد المتغيـر جانبيـاً على طول البروفيل A (الشكل 6). ولحساب ذلك قمنا باستخدام المعاملات الواردة فـي الجدول (3):

الجدول (3) المعاملات المستخدمة في حساب السجلات الزلزالية الصنعية من أجل الأمواج SH.

Low pass filter cutoff frequency = 10 Hz	تردد القطع لمرشح الترددات المنخفضة 10 هرتز
Ratio between filters max frequency with unit response and xcutof = 0.40	النسبة بين مرشحات الترددات الأعظمية مع استجابة الوحدة والقطع السيني = 0.40
Law pass filter amplitude at cutoff = 0.02 mm	مطال مرشح الترددات المنخفضة عند القطع= 0.02 مم
N. Of polygons for heterogeneities =13.	عدد المضلعات غير المتجانسة =13
Air layer added above solid part: 0.072km	طبقة الهواء المضافة فوق الجزء الصلب 0.072 كم
Sampling along x = 0.012km.	أخذ العينات على طول المحور x =0.012 كم
Sampling along y = 0.012km.	أخذ العينات على طول المحور y = 0.012 كم
dz change at (from free surface)= 1.98 km.	تغير الفروقاتdz (من السطح الحر) عند العمق 1.98 كم.
Number of layer in reference model: 94	عدد الطبقات في النموذج المرجعي: 94
Multiplying factor for dz: (nf)= 6	عامل ضرب الفروقات dz: (nf)= 6
Sampling along z below heterogeneity: 0.07200 km.	أخذ العينات على طول المحور Z تحت المضلعات اللامتجانسة: 0.072 كم
Dimension along x: 23.16 km (1931 grid points).	البعد على طول المحور X: 23.16 كم (1913 نقاط شبكة)
Dimension along z: 16.02 km (366 grid points).	البعد على طول المحور z : 16.02 كم (366 نقاط شبكة)
Source to first site distance: 29.9 km	بعد أول موقع عن المصدر: 29.9 كم
Distance between two sites: 0.228.km.	البعد بين موقعين متجاورين: 0.228 كم
Time of the first snapshot (SH) (1D, 2D).10 sec.	الزمن لالتقاط أول الموجة (SH) على النموذج أحادي البعد وثنائي البعد على التوالي 10 ثانية
Total duration of signal (1D,2D): 40 sec.	المدة الكلية للإشارة (أحادي البعد وثنائي البعد):40 ثانية
Time skipped at the beginning: 0 sec.	الزمن المتجاوز في البداية: 0 ثانية



الشكل (6) مثال عن السجلات الزلزالية الصنعية المحسوبة لنموذج أحادي البعد وثنائي البعد في نقطة على البروفيل A.

خامـساً- يتم اختيار خطوة شبكة الفروقات المحدودة التي سيجري الحساب بناء عليها في المقطع ثنائي البعد. ويتم اختيار خطوات هذه الـشبكة آخـذين بالحـسبان الـشروط التجريبية التي تتطلب وجود 10عقدعلى الأقل مغطية لطول الموجة الأصغرية المطلوبة. وقد تم وبنتيجة المطابقة التكرارية اعتماد المعاملات المذكورة سـابقاً كمعيـار لـصحة الاختيار. ولاختبار مدى دقة الشبكة المختارة يتم إجراء تجربة بمقارنة منحنيات التسارع النظرية المحسوبة بواسطة كلتا الطريقتين المحصلة الشرطية والفروقات المحدودة، فـإذا كانت النتائج في كلتا الطريقتين غير مختلفة بشكل كبير (الاختلاف أقل مـن 5%) فهـذا يعني أن الشبكة قد تم اختيارها بشكل جيد وإلا يعاد الحساب باختيارات أخرى. وقد حققنا تلك الشروط في اختيار الخطوة المناسبة.

سادساً- يتم تـدريج أطيـاف التـسارع (Sa) Spectral acceleration والتـضخيم للإشارات المحسوبة باستخدام المنحنيات المفترضة من قبل [16] و[17] ومن ثم فرزهـا إلى مجموعات بحيث تحوي كل مجموعة المنحنيات المتماثلة بالأشكال.

سابعاً- يتم حساب نسب أعلى قيم للتسارعات الأرضية Peak ground Acceleration في حالتي النموذج ثنائي البعد PGA (2D) والنموذج أحادي البعد PGA(1D)، ويطلق على هذه النسب تسمية نسب استجابة الطيف Response spectra Ratio (RSR) وهي تفيد في الحصول على التضخيم في المواقع المدروسة: RSR= PGA(2D)/PGA(1D).

وتحسب نسب استجابة الطيف (بتخامد 5%) لجميع الإشارات على طول المقطع المتغير جانبياً. وبتحليل هذه القيم وربطها بظروف الموقع يمكن استخلاص معاملات أخرى ذات أهمية كبيرة في تحديد الخطر الزلزالي في المواقع المدروسة بشكل جيد كالسرعة والانزياح.

3-4 المرحلة الثالثة: تقييم إمكانية حدوث ظاهرة تمييع التربة بفعل الحركات الأرضية الناجمة عن المصدر الزلزالي:

من المعروف أن تماسك الترب الرملية(1) ينجم عن قوى الاحتكاك الداخلي فقط، وتزداد المتانة بازدياد الضغط الفعال. وفي حال كون التربة مشبعة بالمياه الجوفية تكون:

متانة التربة =(الإجهاد الناظمي عند عمق معين - ضغط الماء الهيدروستاتيكي عند العمق نفسه)* زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. وعليه عندما تتعرض الطبقات المشبعة بالماء إلى إجهادات فجائية تؤدي إلى ازدياد الضغط المسامي في التربة، وفي حال عدم وجود مصارف طبيعية لتصريف الماء، يصبح الإجهاد الناظمي المطبق على التربة الرملية المغمورة عند عمق معين مساوياً للضغط المائي المسامي له عند العمق نفسه فيؤدي ذلك إلى فقدان التماسك وأحياناً إلى فقدان كامل للمتانة ضمن شروط معينة للتربة والهزة الأرضية المسببة لذلك، عندها تحدث ظاهرة تمييع التربة الرملية وتتصرف التربة كسائل.

تعتمد دراسة إمكانية حدوث ظاهرة التمييع على خصائص التربة والحمولات الناجمة عن الزلازل، إضافة إلى عوامل أساسية أخرى مؤثرة في خصائص التمييع مثل: التدرج الحبي للرمل، خصائص الاهتزاز، حجم طبقة الرمل وشروط التصريف، الكثافة النسبية الابتدائية، مقدار الأحمال على التربة وطبيعتها، العوامل الترسيبية للتربة، فترة تطبيق الحمولات الناتجة عن الزلازل. وقد أظهرت الدراسات والاختبارات العالمية [20] و[21] الملاحظات التالية:

1- من أجل تربة رملية مشبعة بمياه جوفية حتى عمق 10 أمتار وقيمة القطر الحبي D50 تتراوح مابين (0.2-2 mm) فإن تلك التربة يمكن أن تتعرض للتمييع بدءاً من عمق 0 وحتى 20 متراً.

(1) يقصد بالرمل والسلت والبحص الواردين في هذه الفقرة مفاهيم هندسية وفق تصانيف ميكانيك التربة.

2- عندما تحتوي التربة الرملية على نسبة غضار أكثر من 20% فمن الصعب جداً أن تتعرض للتميع.

3- تتميع التربة السلتية في حالات نادرة جداً.

4- عندما تحتوي التربة الرملية على كمية من البحص تصبح أقل مقاومة للتميع من تربة رملية من دون بحص وذلك عندما تتساوى قيمة N وهي عدد الضربات في تجربة الاختراق النظامي Standard Penetration Test (SPT) لكلتا التربتين.

ومن المعروف أن هذه الظاهرة رافقت العديد من الزلازل وقد حدث في عام 1964 زلزالان كبيران أحداهما في اليابان في مدينة نيغاتا، والآخر في الولايات المتحدة الأمريكية في ولاية ألاسكا، وقد تميز هذان الزلزالان بانهيارات كبيرة وشاملة ارتبط معظمها بظاهرة تميع التربة، وسجلت العديد من الأضرار والكوارث الناجمة عنها، لهذا من المهم دراسة احتمالية حدوث هذه الظاهرة نتيجة زلازل مستقبلية، تصيب سهل دمشق لأخذ ذلك بالحسبان في اتخاذ الإجراءات الوقائية للتخفيف من أضرارها.

لتقييم إمكانية حدوث ظاهرة التمييع في الترب الرملية نتيجة للحركات الأرضية الناجمة عن الزلازل المتوقعة هناك العديد من الطرائق المتبعة حديثاً [18] والتي يمكن تصنيفها إلى أربع طرق:

1- تقييم إمكانية التمييع استناداً إلى الطبوغرافيا وأنواع التشكيلات الجيولوجية.

2- تقييم إمكانية التمييع استناداً إلى قيمN وحجم الحبات الرملية والتسارع الأعظمي للحركة الأرضية.

3- تقييم إمكانية التمييع استناداً إلى الاختبارات القصية الدورية مخبرياً على عينات طبيعية في ضوء تحليلات الاستجابة الديناميكية.

4- تقييم إمكانية التمييع استناداً إلى اختبارات دورية في الموقع أو عن طريق التفجيرات أو اختبارات طاولة الاهتزاز مخبرياً.

تعد الطريقتان الأولى والثانية مهمتين لبساطتهما وسهولتهما واقتصاديتهما لدى دراسة مساحات كبيرة لوضع خرائط تمنطق لإمكانية حدوث تميع للتربة، بينما تستخدم الطريقتان الثالثة والرابعة للتحديد الدقيق لإمكانية التمييع في مكان محدد ومساحات صغيرة لأنهما تحتاجان إلى وقت طويل وتكاليف عالية في حال استخدامها لدراسة المساحات الكبيرة، لهذا تم في هذه الدراسة اعتماد الطريقتين الأوليتين لتقييم إمكانية حدوث ظاهرة التميع في سهل دمشق.

تستند الطريقة الأولى إلى تقييم إمكانية التمييع استناداً إلى الطبوغرافيا وأنواع التشكيلات الجيولوجية نظراً لعدم توافر سجلات تاريخية لحدوث ظاهرة تمييع التربة كما

في سورية، ويتم في هذه الحالة الاستفادة من دراسة الشروط الجيولوجية والطبوغرافيـة للمواقع التي حدثت فيها ظاهرة التمييع في بلدان أخرى ومقارنتها بالظروف المماثلة لهـا لدينا، ففي اليابان مثلاً ومن خلال دراسة وتصنيف مئات المواقع التي حدثت فيها ظـاهرة التميع نتيجة لـ 44 زلزالاً تاريخياً وجد أن الطبقات النهرية الحديثة والقديمة (Present and old river beds) والأراضي المستصلحة(Reclaimed lands) هي الأكثر احتمـالاً لحدوث ظاهرة التميع فيها، على حين السهول الفيضية (General flood plain) والمناطق الأخرى هي الأقل احتمالاً لحدوث هذه الظاهرة [18]. وعليه يمكن توقع احتمال حـدوث ظاهرة التميع في بعض المواقع المشابهة في سهل دمشق. وكما هو واضـح فـإن هـذه الطريقة تأشيرية ليس إلا.

أما الطريقة الثانية فتعتمد على تقييم إمكانية التمييع استناداً إلى قيم N وحجم الحبـات الرملية والتسارع الأعظمي للحركة الأرضية , فبعد أن يتم حـساب التـسارع الأرضـي الأعظمي المحتمل في المنطقة يمكن تقييم إمكانية التميع بحساب معامل مقاومة التميعFL (Evaluate a liquefaction resistance factor) لعمق محدد بواسطة منحنيات تـوزع الحجـم الحبـي (Grain-size distribution curves) وضـغط الطبقـات العلويـة (Overburden pressure) وقيم N ويحسب FL بالمعادلات الآتية:

$$\mathbf{F_L = \frac{R}{L}}$$

حيث:

$$R= (0.0882\sqrt{N/\sigma_{v'}} +0.7) +(0.225 \log_{10} 0.35/D50)$$

من أجل

$$0.04mm \le D50 \ge 0.6 \text{ mm}$$

و

$$R= (0.0882\sqrt{N/\sigma_{v'}}+0.7) - 0.05$$

من أجل

$$0.6mm \le D50 \ge 1.5 \text{ mm}$$

$$L = (\alpha_s max/g)*\sigma_{v/}\ \sigma_{v'}\ \ r_d$$

$$r_d = 1- 0.015 z$$

R : مقاومة عناصر التربة أو التماسك للإجهادات الديناميكية.

(Soil element resistance or strength to dynamic loads)

L : الإجهادات الديناميكية المتولدة في عناصر التربة نتيجة للحركة الأرضية الناتجة عن الزلازل. Dynamic load induced in the soil element by seismic motion

$\sigma_{v'}$: الإجهادات الشاقولية الفعالة (كغ/سم^2).

σ_v : الإجهادات الشاقولية الكلية (كغ/سم^2).

D_{50}: القطر الحبي السائد.

$\alpha_s max$: التسارع الأرضي الأفقي الأعظمي (سم/ثا^2).

g : تسارع الجاذبية الأرضية وتساوي 980 (سم/ثا^2).

rd : عامل تصحيح بالاعتماد على العمق Z(m).

Z : العمق مقدراً بالأمتار.

وعندما تكون القيمة الناتجة ل F_L أقل من 1 يحدث تمييع للتربة عند ذلك العمق علماً بأنه لا يمكن بواسطة المعامل F_L وحده تقييم ذلك، ولكن بشكل عام ومقبول يمكن القول: إن ظاهرة التميع تكون خطرة في الحالات الثلاث الآتية:

- الطبقة المتميعة سميكة.
- الطبقة المتميعة سطحية.
- المعامل F_L للطبقة المتميعة أقل بكثير من ا.

ومن أجل تحديد خطورة التميع قام الباحثون [18] بتحديد مؤشر لإمكانيـة التميـع I_L والذي يأخذ بالحسبان الحالات الثلاث المذكورة أعلاه، ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$I_L = \int_0^{20} F.\, W(z)\, dz$$

حيث F ثابت يحسب بالعلاقة $F = 1 - F_L$ من أجل $F_L \leq 1$

$= 0$ من أجل $F_L > 1$

و التابع $W(z)$ يحسب بالعلاقة $W(z) = 10 - 0.5\, z$ حيث Z العمق.

عندما يكون $F_L = 0$ من أجل مجال العمق من 0 وحتى 20 متراً، يكو ن خطـر التميـع كبيراً ويكون $I_L = 100$

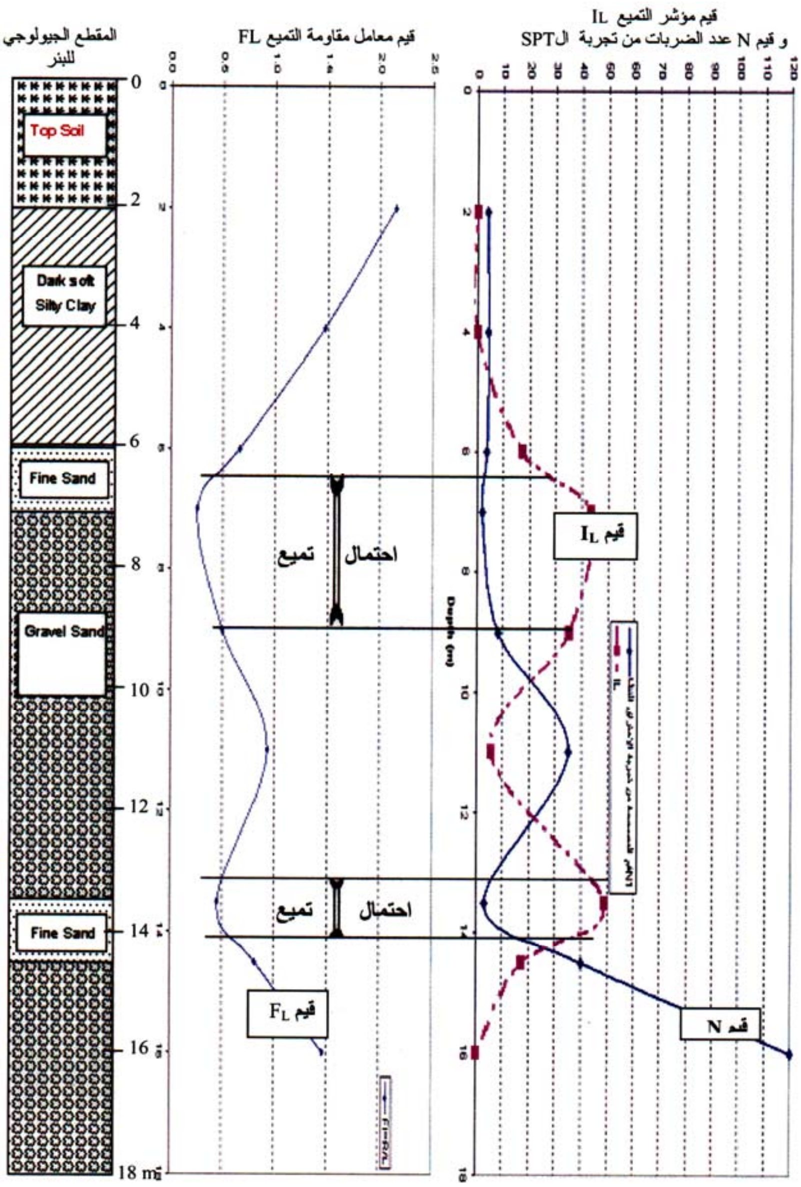
وعندما يكون $FL > 1$ من أجل مجال العمق نفسه من 0 وحتى 20 متراً. لا يمكـن حدوث تميع للتربة ويكون قيمة $IL = 0$.

ولتطبيق الطريقة الثانية لدراسة إمكانية التميع في سهل دمشق نتيجة للحركة الأرضية الناجمة عن زلزال بقدر 6.5 ريختر متولد عن المصدر الزلزالي المفترض تـم حـساب قيمة معامل مقاومة التمييع FL وقيم مؤشر التميع IL على أعماق مختلفة في بئر محفور على الضفة الشمالية لنهر بردى بالقرب من فندق الميريديان في المستوي المـائي الأول (ap-ap QIII-IV) والذي ينتشر في الجزء الغربي والمركزي من سهل دمشق ويتـألف من التوضعات النهرية والنهرية الـسيلية المكونـة مـن الرمـال والحـصى الكبيـرة

والكونغلوميرا، وقد كان منسوب المياه عند حفر البئر في العام 1973 قريبـاً جـداً مـن السطح على عمق 2 متر كما أشار إلى ذلك تقرير ميكانيك التربة المنفذ في ذلـك العـام [22]. يبين الشكل (7) المقطع الجيولوجي لهذا البئر مع قيم N المقابلة لها استناداً إلـى التقرير المذكور والقيم المحسوبة لكل من FL، وIL، كما يبين الجدول (4) نتائج دراسات ميكانيك التربة والتجارب المخبرية لأقطار الحبيبات السائدة والكثافات لأنـواع الـصخور المختلفة المجراة لها في عام 1973 والقيم المحسوبة لمعامل مقاومة التميـع ومؤشـر التميع مع العمق لكل طبقة:

الجدول (4)

رقم	نوع الطبقة	مؤشر التميع I_L	معامل مقاومة التميع F_L	القطر الحبي السائد D_{50}	نسبة التسارع الأعظمي للتسارع الأرضي	قيم N من تجربة الاختراق النظامي	الإجهاد الفعال كغ/سم^2	الإجهاد الكلي كغ/سم^2	العمق متر	منسوب المياه متر	قدر الزلزال ريختر
1	التربة السطحية	0	2.14	0.02	0.28	3.8	0.34	0.34	2	2	6.5
2	غضار سيلتي	0	1.47			4	0.55	0.75	4		
3	رمل ناعم	17	0.66	0.2		3.5	0.77	1.17	6		
4	تناوبات من الرمل والبحص والغضار	43	0.25	0.6		2	0.86	1.35	7		
5		35	0.49			18	1.09	1.77	9		
6		5	0.93			35	1.52	2.62	11		
7	رمل ناعم	48	0.45	0.2		3	2.23	3.98	13.5		
8	تناوبات من الرمل والبحص والغضار	17	0.81	0.6		40	2.32	4.17	14.5		
9		0	1.46			120	2.53	4.53	16		



الشكل (7) المقطع الجيولوجي لبئر يقع في سهل دمشق على الضفة الشمالية لنهر بردى مع قيم N عدد الضربات من تجربة الـ SPT المجراة لها والقيم المحسوبة لها لكل من معامل مقاومة التميع FL وقيم مؤشر التميع IL.

النتائج والمناقشة

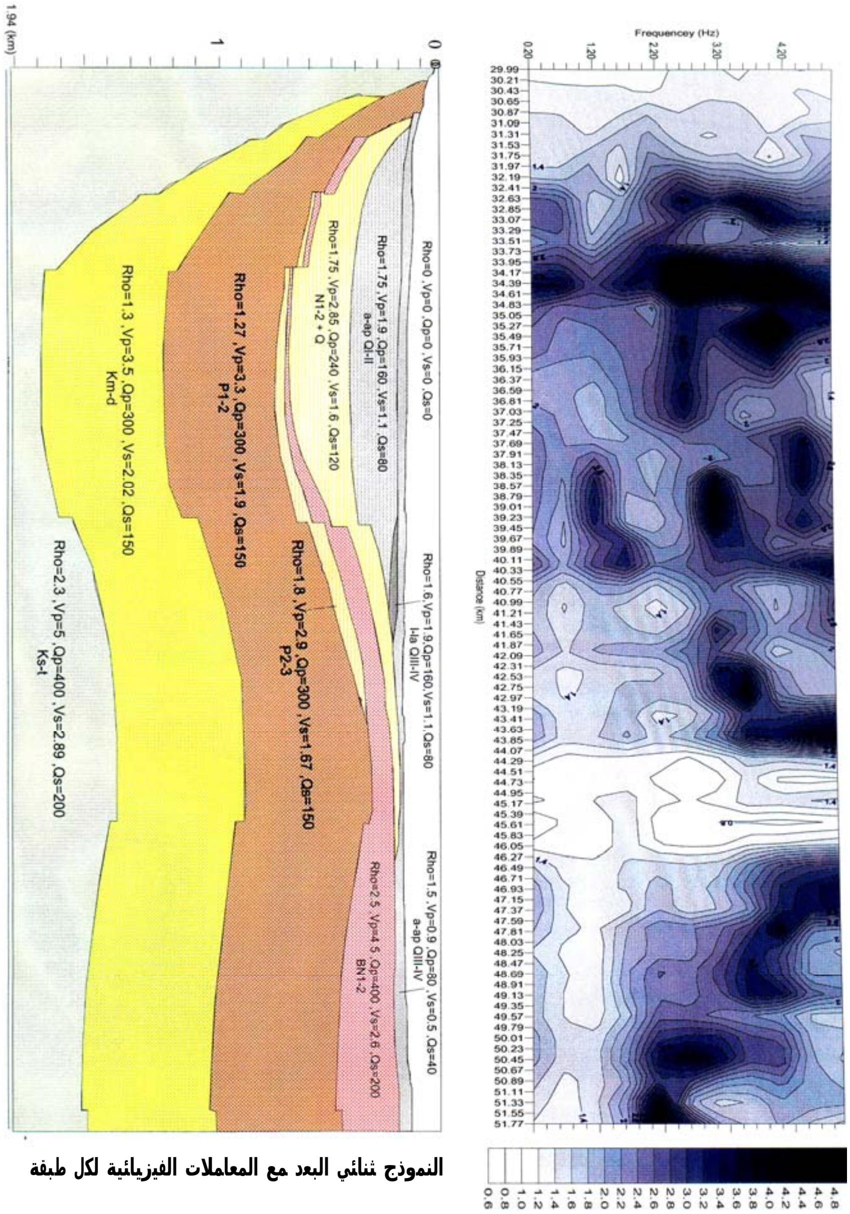
من المعروف أن انتشار الطاقة الزلزالية يتعلق بالعديد من العوامل أهمها:

- عمق الزلزال وآلية حدوثه حيث تنتشر الطاقة بواسطة الأمواج الجسمية والسطحية ويكون انتشار معظم الطاقة في الزلازل السطحية بواسطة الأمواج السطحية (Surface Waves) بينما في الزلازل العميقة فيكون بواسطة الأمواج الجسمية (Body waves)، وفي هذا البحث يشكل صدع سرغايا المصدر الزلزالي النقطي المفترض، ويمكن أن يولد زلازل سطحية ذات أعماق بؤرية قليلة (عدة كيلومترات). ويبعد 30 كم عن أول نقطة مدروسة على البروفيل A.
- مسار انتشار الأمواج الزلزالية والممثل بالنموذج أحادي البعد، حيث يقوم هذا المسار بدور مرشح ومخمد للأمواج الزلزالية ذات الترددات المختلفة ويكون تخميده للأمواج الزلزالية ذات الأدوار القصيرة بنسبة أكبر من تخميده للأمواج الزلزالية ذات الأدوار الكبيرة كلما ازداد طول المسار.
- صفات الموقع الطبيعية المتمثلة بالنموذج ثنائي البعد المؤلف من أنواع مختلفة من الصخور والترب ذات الخواص الفيزيائية المختلفة بالإضافة إلى الأوضاع الجيومورفولوجية والطبوغرافية، وتؤثر هذه الصفات في انتشار الأمواج الزلزالية في وسط مرن ومتغير جانبياً فإما تضخمها أو تخمدها.

ولدراسة تأثير مختلف هذه العوامل في انتشار الطاقة الزلزالية وفي الأمواج الزلزالية SH الناتجة عن المصدر على طول البروفيل A تم رسم منحنيات تساوي قيم التضخيم المحسوبة للترددات من 0.2 حتى 5 هرتز على المسار A بتباعد 200 متر بين نقطة وأخرى للإشارات الزلزالية الشكل (8). إضافة إلى ذلك تم حساب ورسم منحنيات طيف التضخيم وطيف نسبة الاستجابة وطيف التسارع الأرضي في النقاط السابقة نفسها على مسار البروفيل A ولجميع الأدوار المدروسة، ومن ثم تم اختيار المنحنيات للأدوار التي سجلت فيها قيم أعظمية لأطياف التضخيم وأطياف التسارع وأطياف نسبة الاستجابة على المسار نفسه (الشكلان 9 و10). ويمكن من خلال تحليل هذه المنحنيات وربطها بالمقطع الجيولوجي ثنائي البعد ذي التشكيلات المتمايزة فيزيائياً أن نستنتج ما يأتي:

* تشير القيم العالية لمعامل التضخيم والممثلة باللون القاتم في الشكل (8) إلى أن تلك القيم:

- تساير الشكل العام للوضع المورفولوجي للحوض في النموذج ثنائي البعد وتعكس البنية تحت السطحية للحوض فتعطي قيماً مرتفعة على الحدود الفاصلة بين التشكيلات ذات السرعات العالية للأمواج والتشكيلات الرسوبية ذات السرعات القليلة، وذلك بسبب تأثير الحدود الفاصلة في تبعثر الأمواج الزلزالية وانكسارها على البروفيل A، ومن ثم على شكل استجابة الوسط ودور الاهتزاز المسيطر في هذا الوسط ومن ثم على معامل التضخيم.



النموذج ثنائي البعد مع المعاملات الفيزيائية لكل طبقة

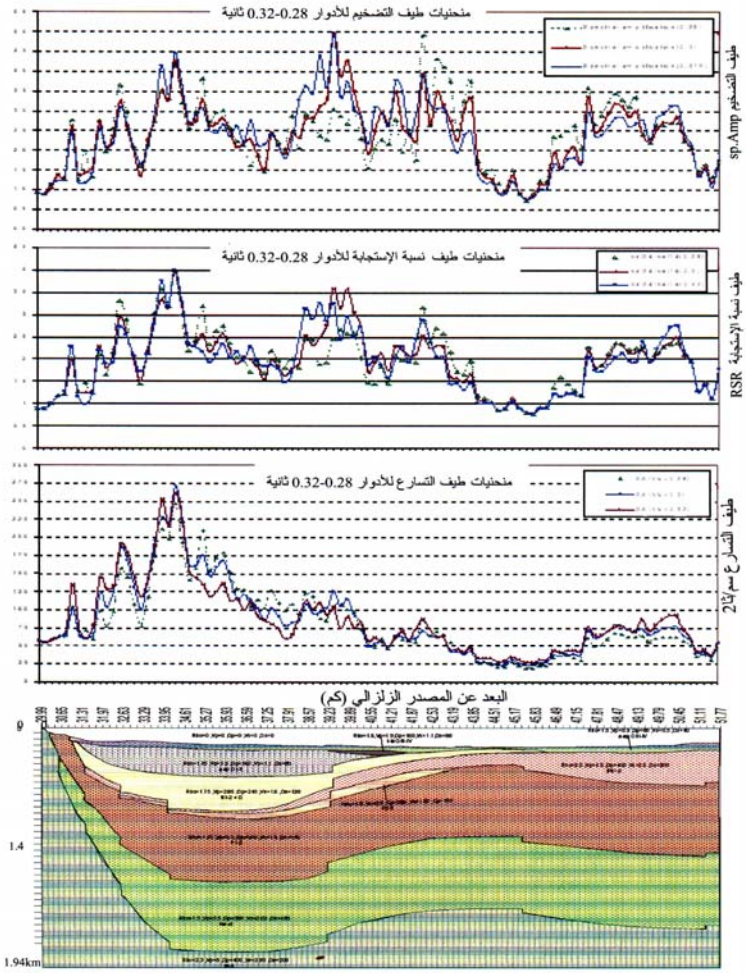
الشكل (8) خارطة تساوي معامل التضخيم على طول البروفيل A.

Profile AA, Spectral Amplification countour map

- تتركز على أطراف الحوض حيث تعبر الأمواج منها إلى الحوض وخاصة على الحد الجنوبي الشرقي منه وعلى جميع الترددات، وذلك بسبب ارتداد الأمواج الزلزالية على هذه الحدود والذي يحدث غالباً في الأحواض المغلقة حالة الطنين [19].
- تعكس القيم العالية في الترددات المنخفضة الرسوبيات العميقة والسماكات الكبيرة في الحوض، في حين تعكس في الترددات المرتفعة الطبقات الرسوبية السطحية والسماكات القليلة.
- تظهر القيم العالية في الترددات المرتفعة باتجاه جنوب شرق البروفيل (نهاية البروفيل) تأثير الطبقة البازلتية التي تتميز بسرعة انتشار الأمواج الزلزالية فيها، وقد أدى ذلك إلى رفع قيم معامل التضخيم نتيجة توضع هذه الطبقة بالقرب من السطح وازدياد سماكتها والتمايز الكبير في الخواص بين البازلت والرسوبيات التي تعلوه.
- تكون الترددات المسيطرة في الأجزاء العميقة من الحوض قرابة 1 هرتز وفي أطراف الحوض 3-4 هرتز.
- تركزت القيم المنخفضة للتضخيم على كامل الترددات المدروسة في نطاقين الأول في بداية البروفيل في المجال 29.99-31.09 كم عن المصدر الزلزالي شكل (8)، والثاني في نهاية الحوض في المجال 44.29-46.27 كم عن المصدر ذاته. ويمكن أن يعزى النطاق الأول إلى تكشف الصخور القاسية المتميزة بسرعة انتشار الأمواج SH العالية نسبياً، في حين يشير النطاق الثاني إلى انفتاح الحوض أمام الموجات الزلزالية وإلى تناقص سماكات رسوبيات الرباعي إلى حده الأدنى.

* لوحظ أن المصدر الزلزالي المفترض يؤدي إلى تضخيم لأدوار الاهتزاز الصغيرة بين 0.28 و 0.32 ثانية (الشكل 9) وتلاحظ القيم العظمى على بعد زهاء 34 كم من المصدر، وأدوار الاهتزازات المتوسطة بين 0.55 و0.65 ثانية (الشكل10) على بعد زهاء 40 كم من المصدر ذاته. وبدراسة منحنيات طيف التضخيم وطيف التسارع وطيف نسبة الاستجابة للأدوار المذكورة سابقاً وربطها مع النموذج ثنائي البعد نلاحظ ما يأتي:

- في الشكل (9) الذي يمثل النموذج ثنائي البعد مع منحنيات طيف التضخيم وطيف التسارع وطيف نسبة الاستجابة للأدوار في المجال الأول بين 0.28 و0.32 ثانية نجد:
- أن أعلى قيمة للتسارعات الأرضية المحسوبة على هذا البروفيل كانت في هذه الأدوار، إذ بلغ التسارع الأعظمي 275 سم/ثا، وكذلك طيف التضخيم وطيف نسبة الاستجابة التي بلغت 3.5 إلى 4 مرات في المجال بين33.5 إلى 34.84 كم من المصدر الزلزالي بين حافة الحوض وأعلى سماكة في الحوض.



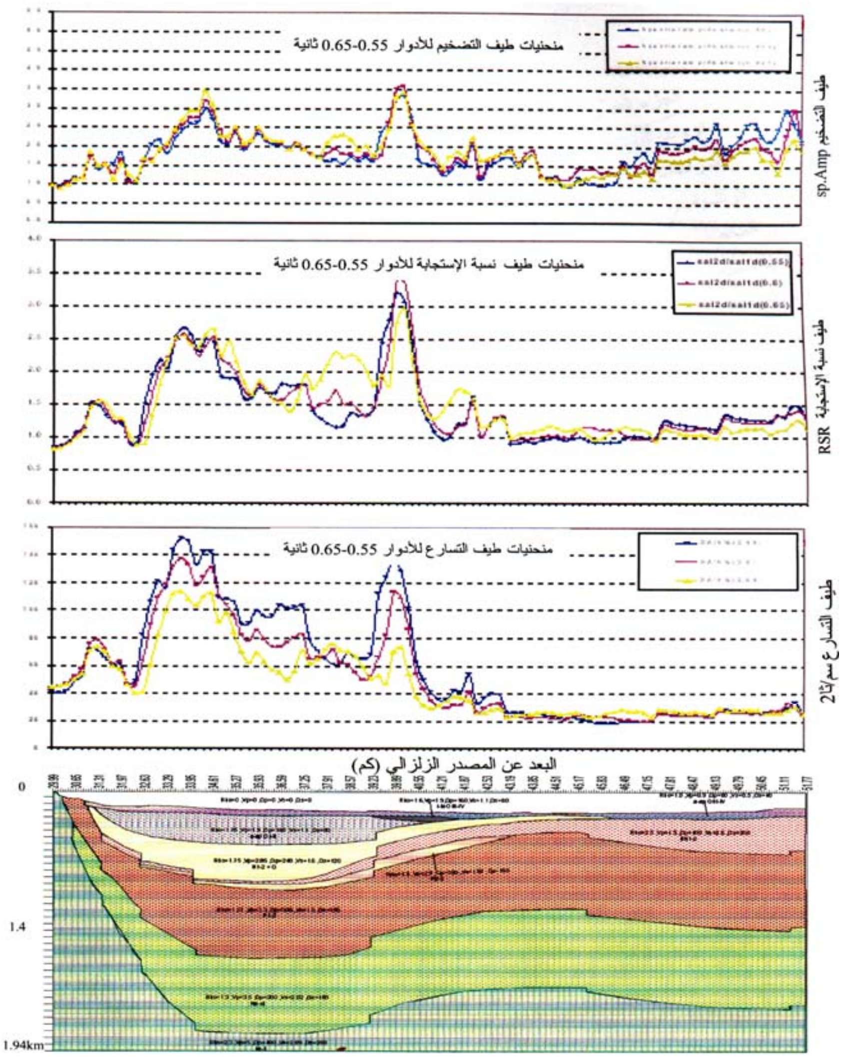
الشكل (9) منحنيات طيف التضخيم ونسبة الاستجابة والتسارع للأدوار 0.28 – 0.32 ثانية.

- أن القيم العالية للمعاملات المذكورة سابقاً كانت على أطراف الحوض. كما نلاحظ تأثير الطبقة البازلتية في نهاية البروفيل بين المسافات 45.83 إلى 51.33 كم من المصدر الزلزالي. كذلك نلاحظ على الحد الجنوبي الشرقي للبروفيل أن القيم المرتفعة تمتد بين المسافات 37.91 إلى 43.35 كم من المصدر الزلزالي على مجال أكبر من الحد الشمالي الغربي بسبب تغير الميول بين الحدين؛ حيث يؤثر الشكل الهندسي لتوضع التربة والقاعدة الصخرية إضافة إلى اختلاف سماكة الطبقة البازلتية التي تزيد باتجاه جنوب شرق البروفيل وأعماق توضعه، في تبعثر الأمواج الزلزالية وانكسارها، ومن ثم في شكل استجابة التربة والدور المسيطر للاهتزاز.
- أن أخفض قيمة للتسارعات الأرضية المحسوبة كانت في المجال 43.85-46.27 كم من المصدر الزلزالي وبلغت 25 سم/ثا2، وذلك بسبب تناقص سماكات الرباعي إلى حده الأدنى إضافة إلى انفتاح الحوض.
- أن الأدوار بين 0.28 و 0.32 ثانية التي سجلت فيها قيم مرتفعة تتوافق بشكل تقريبي مع الدور الطبيعي Tn للطبقات السطحية لتشكيلات الرباعي (a-ap QIII-IV) المؤلفة من تناوبات من الحطاميات والرمال والذي يحسب بالعلاقة:

$Tn = 4H/\{(2n-1)Vs\}$ حيث H سماكة الطبقة n وVs سرعة الأمواج SH وقد لاحظنا أن معامل التضخيم للحركة الأرضية يكون مرتفعاً بشكل عام على طول البروفيل A ويبلغ أحياناً 4 إلى 5 مرات، في حين يتناقص تناقصاً كبيراً عندما تكون ثخانة التشكيلات قليلة في المجال 43.85 إلى 46.49 كم من المصدر الزلزالي.

* في الشكل (10) الذي يمثل النموذج ثنائي البعد مع منحنيات طيف التضخيم وطيف التسارع وطيف نسبة الاستجابة للأدوار بين 0.55 و0.65 ثانية، نلاحظ أن القيم الأعظمية والأصغرية للأطياف المذكورة تركزت كما في الترددات السابقة في المواقع السابقة نفسها وللأسباب ذاتها، حيث بلغت قيمة التسارع الأعظمي على بعد 33.9 كم من المصدر الزلزالي 152 سم/ثا2 والتضخيم بين 2.7 إلى 3.5 وفي المجال من 39.23 إلى 40.33 كم من المصدر الزلزالي ذاته 140 سم/ثا2 والتضخيم 3.5.

* في الشكل (7) الذي يمثل المقطع الجيولوجي لأحد الآبار الواقعة على الضفة الشمالية لنهر بردى في سهل دمشق مع القيم المحسوبة لمعامل مقاومة التميع ومؤشر التميع على أعماق مختلفة في البئر نجد أن هناك احتمال حدوث تميع استناداً إلى قيم FL وIL في المجالين الآتيتين 6.25 حتى 9.5 متر و13 حتى 14 متراً، حيث بلغت قيم معامل مقاومة التميع FL في المجال الأول 0.25 وفي المجال الثاني 0.45، في حين كانت قيم مؤشر التميع في المجالين المذكورين وبالترتيب 43 و48.



الشكل (10) منحنيات طيف التضخيم ونسبة الاستجابة والتسارع للأدوار 0.55 – 0.65 ثانية

الاستنتاجات

باستخدام تقانة نمذجة المحاكاة الرقمية وطريقة التقانة الهجينة في حساب السجلات الصنعية لطيف التسارع و طيف التضخيم ونسب طيف الاستجابة على طول البروفيل AA للأمواج الزلزالية للحركة الأرضية الناجمة عن المصدر الزلزالي المفترض صدع سرغايا تم استنتاج ما يأتي:

1- يحصل (بشكل عام) التضخيم الرئيس للأمواج على أطراف الحوض حيث يوجد عدم التجانس الأعظمي بين بنية الحوض والوسط المحيط به.

2- تكون الترددات المسيطرة في الأجزاء العميقة من الحوض قرابة 1 هرتز وفي أطراف الحوض 3-4 هرتز.

3- بلغت أعلى قيمة للتسارع الأرضي المحسوب على البروفيلAA, 275 سم/ثا^2، وأعلى تضخيم 3.5-4 عند الترددات قرابة 3 هرتز على بعد زهاء 34 كم من المصدر الزلزالي.

4- يحتمل حدوث ظاهرة التميع في سهل دمشق استناداً إلى قيم معامل مقاومة التميع ومؤشر التميع اللذين تم حسابهما في أحد المواقع في سهل دمشق، وهذه القيم التأشيرية لاحتمالية حدوث ظاهرة التميع لابد من أخذها بالحسبان ولاسيما أنها تطابقت بنسبة 86% في المواقع المشابهة التي تميعت بفعل الزلازل في اليابان.

ولا يخفى ما لهذه النتائج من أهمية تطبيقية في مواجهة الأخطار الزلزالية المتوقعة .

REFERENCES المراجـع

[1] Thomson, W. T. (1950). Transmission of elastic waves through a stratified solid medium, J. Appl. Phys. 21, 89-93.

[2] Haskell, N. A. (1953). The dispersion of surface waves in multilayered media. Bull. Seism. Soc. Am. 43, 17-34.

[3] Alter man, Z. S. et al. (1968). Propagation of elastic waves in layered media by finite difference methods, Bull. Soc. Am. 58,367-398.

[4] Lysmer, J. et al. (1972). A finite element method for seismology, in Computational Physics, B. A. Bolt (Editor) Vol.11, Academic Press, New York, 181-216.

[5] Levshin, A. L. (1985). Effects of lateral in homogeneities on surface waves amplitude measurements, Ann .Geophys. 3,511-518.

[6] Vaccari, F. et al. (1989). Syntetic seismogram in laterally heterogeneous, an elastic media by modal summation of P-SV-waves, Geophys .J. Int. 99,285-295.

[7] Fah, D. et al. (1990). Estimation of strong ground motion in laterally heterogeneous, an elastic media by modal summation – finite differences, in Proc. of the 9th European Conf. Of Earthquake Engineering, Moscow, USSR,11-16 September, Vol. 4A, 100-109.

[8] Fah, D. (1992). Ahbride technique for the estimation of strong ground motion in sedimentary basins, Ph.D. thesis, Swiss Federal Institue of technology, Zurich.

[9] UNESCO-IUGS-IGCP project 414., Realistic modeling of seismic input for mega cities and large urban areas. Reprinted from Episodes, Vol.25, No. 3, PP. 160-184. September 2002.

[10] Ambaseys, N., M. Barazangi. (1989). The1759 earthquake in the Bekaa valley implication for earthquake hazard assessment in the eastern Mediterranean region. Journal of geophysical research, 94,4007-4013.

[11] Gomez, F., et al. Holocene faulting and earthquake recurrence along the Serghaya branch of the Dead Sea fault system in Syria and Lebanon. Geophysical Journal International vol. 153 No. 3pages 658-674 June 2003.

[12].الحافظ. ع. الخارطة الجيولوجية لشمال دمشق مقياس 50000/1. المؤسسة العامـة للجيولوجيـا والثروة المعدنية 1998.

[13] Lengiprovodkhoz USSR projects., Ministry of land reclamation and water management Moscow, Leningrad state institute for design of water resources development, (1986). Water resources use in Barada and Auvage basins for irrigation of crops volume 1, 2.

[14] العمارين. م. ع. (2000). دراسة هيدروجيوفيزيائية لحقول آبار مياه الشرب في مدينة دمشق، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.

[15] (Fah et al 1993a), Variability of seismic ground motion in complex media: the Friuili area (italy), In: R.cassinis,K.Helbig and Panza,G.F.eds., Geophysical Exploration in areas of complex geology, II, J. Appl. Geophs., 30,131-148.

[16] Aki,K. (1987). Strong motion seismology, In: Strong ground motion seismology (eds. M. Erdik and M. Toksoz), NATO ASI Series C: Mathematical and physical sciences, D. Reidel publishing company, Dordrecht, 204, 3-39.

[17] Gusev, A.A. (1983). Descriptive statistical model of earthquake source radiation and its application to an estimation of short-period strong motion, Geophs.J.R. Astr. Soc., 74, 787-808.

[18] Iwasaki, T., et al. (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, International earthquake microzonation conference (3rd :1982 Seattle, wash.).

[19] Steven ,L. Kramer. (1996). Geotechnical earthquake engineering, page. 319.

[20] نقابة المهندسين، الدورة التأهيلية لعام (2000) في تحليل وتصميم الأبنية على الزلازل. عام 2000.

[21] السمان. س. أ. (2002). تقييم طرائق التنبؤ بتميع التربة رسالة ماجستير، جامعة دمشق. كلية الهندسة المدنية.

[22] Shahrour.M. (1973). Preliminary Report on Soil and Foundation Investigations at the Site of Meridan Hotel.