

دراسة تأثير الجيولوجيا السطحية على الاستجابة الأرضية باستخدام تقنية نكامورا - دراسة حالة في منطقة الغوطة الشرقية، دمشق، سورية

أحلام خليل و محمد داود

قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

تاريخ الإيداع 2011/12/20

قبل للنشر في 2012/04/02

الملخص

درست خصائص التربة الديناميكية في منطقة الغوطة الشرقية الواقعة في حوض دمشق الرسوبي، بهدف تقدير قيم الدور المسيطر ومعامل التضخيم لكل موقع، باستخدام تقنية نكامورا، وهي من أهم التقنيات التجريبية الحديثة المستخدمة عالمياً في دراسة تأثير الجيولوجيا السطحية على الاستجابة الأرضية وأكثرها شيوعاً. نُفذ نحو 1000 قياس للضجيج الزلزالي موزعة على 265 موقعاً تغطي التوضعات الجيولوجية المختلفة، وبعد تحليلها حسب المنحنيات البيانية للنسبة الطيفية ثم حُدثت قيم الدور المسيطر ومعامل التضخيم، وقد أظهرت نتائج قياسات الضجيج الزلزالي وجود توافق جيد مع المعطيات الجيولوجية ونتائج نمذجة السبور الجيوتهكنيكية، إذ تتغير قيم الدور المسيطر ومعامل التضخيم من موقع إلى آخر بشكل واضح.

الكلمات المفتاحية: تقنية نكامورا، الدور المسيطر، معامل التضخيم، الضجيج الزلزالي، الاستجابة الأرضية، الغوطة الشرقية، دمشق، سورية.

Estimation of Surface Geology Effect on Site Response Based on Nakamura's Technique-A Case Study in Eastern Ghoota, Damascus city, Syria

A. Khalil and M. Dawod

Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

Received 20/12/2011

Accepted 02/04/2012

ABSTRACT

The dynamic soil characteristics in Eastern Ghoota, which is located on Damascus basin, was studied to estimate the predominant period and the amplification factor in all sites, using Nakamura's technique. This technique is considered as one of the important empirical techniques used in the world to study the surface geology effects on site response. About 1000 seismic noise measurements were carried out in 265 sites covering different geology deposits. The H/V spectra ratio were calculated and analyzed to determine the site predominant period and amplification factor. The results exhibit good correlation with the local geology and the modeling of geotechnical boreholes, whereas the predominant period and amplification factor values vary clearly from site to site.

Key words: Nakamura's Technique, Seismic noise, Site response, Predominant period, Amplification factor, Eastern Ghoota, Damascus, Syria.

المقدمة

تتضمن دراسات تقييم الخطر الزلزالي دراسة تأثير الجيولوجيا السطحية وظروف التربة المحلية على الحركات الأرضية، إذ بحسب الدراسات العالمية يترافق الخطر الزلزالي الناجم عن الزلازل المدمرة مع تضخيم الأمواج الزلزالية العائد لتأثير الموقع، إذ سبب زلزال مدينة مكسيكو عام 1985م ($M_L=8$) دماراً هائلاً في المواقع ذات الترب الرخوة، في حين كان الدمار مهماً في المواقع ذات الترب القاسية (Kobayashi وآخرون، 1985). ويعد استخدام سجلات الحركات الأرضية القوية أفضل طريقة لتحديد معاملات استجابة الموقع، لكنها غير فعالة في المناطق ذات الزلزالية المتوسطة كما في سورية، فضلاً عن المبالغ الباهظة التي يتطلبها تركيب شبكات رصد الحركات القوية وتشغيلها. استخدمت بيانات السور الجيولوجية والحيوتكنيكية وطرائق الاستكشاف الجيوفيزيائية لتقدير تأثير الجيولوجيا السطحية التي أعطت نتائج مهمة ودقيقة لكنها تعدّ مكلفة أيضاً. ثم ظهرت طرائق تعتمد على قياسات الضجيج الزلزالي Seismic noise or Ambient noise أو الاهتزازات الدقيقة Microtremors وأصبحت شائعة جداً في دراسات تأثير الجيولوجيا السطحية، نظراً إلى سهولة الحصول عليها في أي زمان ومكان، ولكلفتها القليلة، وسرعة الحصول على النتائج، ومن هذه الطرائق تقنية نكامورا Nakamura's Technique (Nakamura, 1989) المستخدمة في هذه الدراسة.

الوضع الجيولوجي والتكتوني والزلزالي لمنطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في الجزء الجنوبي الغربي من سورية بين خطي الطول $36^{\circ}18'$ E - $36^{\circ}26'$ وخطي العرض $33^{\circ}25'N$ - $33^{\circ}36'N$ ضمن حوض دمشق الرسوبي، وهي محاطة ببنيات جيولوجية متنوعة، حيث تتكشف في جبل قاسيون شمالاً منظومة الكريتناسي والباليوجين والنيوجين، وتتكشف في الجنوب تشكيلات الصخور البركانية العائدة للنيوجين (Razvalyaev وآخرون، 1966). ويتشكل الحوض الرسوبي من رسوبيات الرباعي المفككة العائدة لمتتاليات الرباعي الأسفل والأوسط، وتتكشف على سطح الحوض الرسوبيات القارية والريحية والبحيرية والنهرية العائدة لمتتاليات الرباعي الأعلى التي تقدر سماكتها بعشرات الأمتار، أما رسوبيات الرباعي الحديث فتتكشف في مجاري الأنهار وتتكون من رسوبيات سيلية (Razvalyaev وآخرون، 1966)؛ يظهر في الشكل (1) موقع منطقة الدراسة على خارطة دمشق الجيولوجية مقياس 1:200000.

كما أنها تقع في المنطقة الزلزالية 2C من خارطة التسارعات الأرضية الأعظمية لسورية لقربها من نظام البحر الميت الصدعي، وهو من أطول أنظمة الصدوع المحولة في العالم، إذ يبلغ طوله نحو 1000 كم، (مثال: Gomez وآخرون، 2003)، وقد قدر معدل الإزاحة على جزء الصدع الواقع ضمن الأراضي السورية (-500 كم) بنحو

0.6 م/سنة (Alchalbi وآخرون، 2009). ويعدُّ صدع سرغايا واحداً من أهم الصدوع النشطة المشكلة لنظام البحر الميت الصدعي، إذ يبلغ طوله نحو 150 كم، ويمتد بمحاذاة سهل الزيداني على بعد نحو 50 كم من حوض دمشق الرسوبي، باتجاه شمال شمال شرق - جنوب جنوب غرب. وتشير أبعاد الصدع والدراسات الزلزالية التاريخية إلى أنه قادر على توليد هزة يفوق قدرها 7 درجات على مقياس ريختر، كما قُدِّر معدل الانزلاق على سطح الصدع بنحو 1,4 م/سنة، مع إزاحة وسطية مقدارها نحو 2م من أجل كل حدث زلزالي تاريخي، وقُدِّر الدور لتكرارية حدوث الزلازل الكبيرة (Return Period) بنحو 1300 سنة (Gomez وآخرون، 2003). وقد سجلت عشرات الزلازل التاريخية الكبيرة والمدمرة على امتداد نظام البحر الميت الصدعي التي كان لها أثر مدمر في منطقة الدراسة (Ambraseys و Barazangi، 1989؛ Sbeinati وآخرون، 2005). كما تشير الدراسات الحديثة إلى احتمالية وجود نشاط تكتوني على صدع قاسيون، الذي يقطع الجزء الشمالي من منطقة الدراسة (Abou Romieh وآخرون، 2009).

تقنية نكامورا أو النسبة الطيفية H/V

عرفت تقنية النسبة الطيفية للمركبتين الأفقيتين إلى المركبة الشاقولية للضجيج الزلزالي، منذ عقود (مثال: Kobayashi، 1980؛ Nakamura، 1989)، وهي اهتزازات تتولد على سطح الأرض بشكل دائم، بسعات صغيرة جداً، ناتجة عن النشاط الإنساني اليومي والمظاهر الطبيعية، ويرأوح دورها بين 0.05 - 2 ثانية (Kanai، 1961)، وتعدُّ مزيجاً من الأمواج الجسمية والسطحية (Lacoss و Toksöz، 1968)، وتمثل قمة منحى النسبة الطيفية الدور المسيطر (يقابل أصغر تردد في الإشارة الموجية). وقد أثبت نكامورا بالتجربة أن النسبة الطيفية لمحصلة المركبتين الأفقيتين إلى المركبة الشاقولية للضجيج الزلزالي مشابهة لتابع الاستجابة للاهتزاز الأفقي في الطبقات السطحية، من خلال تعريف تابع الاستجابة للطبقات السطحية S_T (Nakamura، 1989) كما يأتي:

$$S_T = S_{HS} / S_{HB}$$

S_{HS} : طيف الاهتزاز الأفقي على السطح الذي يتأثر بالأمواج السطحية وخاصة الأمواج الصناعية التي تنتشر كموج رايلي.

S_{HB} : طيف الاهتزاز الأفقي الوارد من الصخر الأساس إلى السطح.

لما كان موج رايلي يؤثر في طيف الاهتزاز الأفقي فهو يؤثر أيضاً على طيف الاهتزاز الشاقولي على السطح S_{VS} ، لكنه لا يؤثر في طيف الاهتزاز الشاقولي على الصخر الأساس S_{VB} ، وذلك لأن الاهتزاز الشاقولي على الصخر الأساس لا يتضخم بواسطة الطبقات السطحية.

تعبر القيمة E_S عن تأثير موج رايلي في الاهتزاز الشاقولي:

$$E_S = S_{VS} / S_{VB}$$

وتكون القيمة $E_S = 1$ عندما يكون تأثير موج رايلي معدوماً، وبالعكس تزداد هذه القيمة عندما يتزايد تأثيرها.

على افتراض أن تأثير موج رايلي في المركبات الأفقية والشاقولية متعادل فقد تُظهر القيمة S_T/E_S تابع استجابة أكثر موثوقية S_{TT} بعد حذف تأثير موج رايلي:

$$\begin{aligned} S_{TT} &= S_T / E_S \\ &= R_S / R_B \end{aligned}$$

حيث:

$$R_S = S_{HS} / S_{VS}$$

R_S : نسبة طيف الاهتزاز الأفقي على السطح S_{HS} إلى طيف الاهتزاز الشاقولي على السطح S_{VS} .

$$R_B = S_{HB} / S_{VB}$$

R_B : نسبة طيف الاهتزاز الأفقي على الصخر الأساس S_{HB} إلى طيف الاهتزاز الشاقولي على الصخر الأساس S_{VB} .

تصبح R_B مساوية تقريباً للواحد لأجل مجال ترددي واسع كالانتشار في الاتجاهات جميعها في الطبقة الأساس القاسية.

$$R_B \approx 1$$

وهذا يعطي:

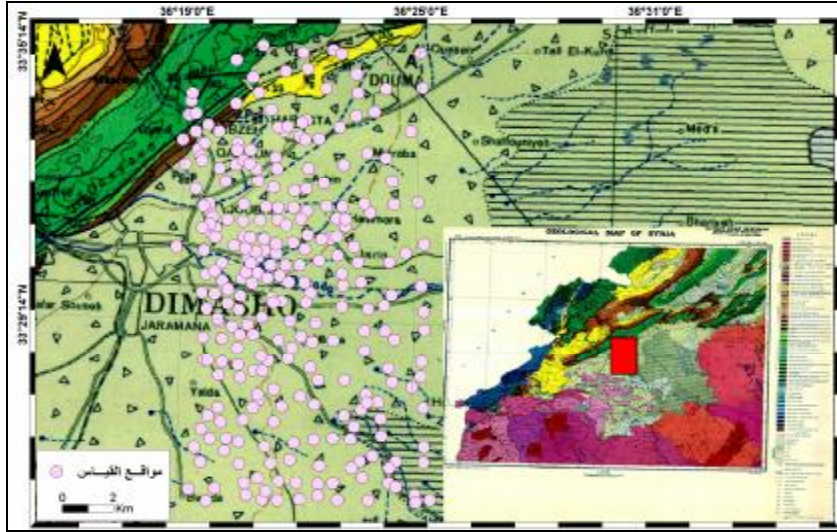
$$S_{TT} \approx R_S = S_{HS} / S_{VS}$$

مما يعني أن الاهتزاز الشاقولي على السطح يحتفظ بخصائص الاهتزاز الأفقي على الطبقة الأساس، لذلك يمكن استبدال الاهتزاز الأفقي على الطبقة الأساس بالاهتزاز الشاقولي على السطح، وإلغاء تأثير موج رايلي، وهكذا يمكن تقدير تابع الاستجابة للطبقات السطحية من الاهتزاز على السطح فقط، ومن ثم يمكن استخدام قياسات الضجيج الزلزالي لسطح الأرض في تقدير الخصائص الديناميكية للطبقات السطحية (Nakamura وآخرون، 1989).

مواد البحث وطرائقه

1 - تنفيذ قياسات الضجيج الزلزالي وتحليلها:

نُفذ أكثر من 1000 قياس للضجيج الزلزالي في 265 موقعاً موزعة على التشكيلات الصخرية المتنوعة، (الشكل 1)، والعائدة لأعمار جيولوجية مختلفة، بواسطة أجهزة رصد الحركات الأرضية الخفيفة نوع (GURALP) Geo Sig CMG 40T-1، (قصير الدور 1 هرتز)، تلتقط الاهتزازات الأرضية ذات التردد 0.1 - 50 هرتزاً.



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة على خارطة دمشق الجيولوجية 1:200000، وموقعة عليها مواقع قياسات الضجيج الزلزالي.

سُجِّلت 3 قياسات للضجيج الزلزالي في كل موقع، مدة كل منها 300 ثانية، ثم حذف الضجيج العابر Transit noise في كل مركبة من مركبات الإشارة الثلاث من كل تسجيل الذي سعته أكبر بنحو خمس مرات من وسطي سعة التسجيل، بحيث يُعزل ضجيج الموقع عن الضجيج الناتج عن النشاط الإنساني، ثم تقسم إشارة الضجيج المتبقية إلى نوافذ زمنية مدة كل منها 10.24 ثانية، ثم يُطبق تحويل فورييه السريع Fast Fourier Transformation FFT لحساب طيف فورييه السعوي في كل نافذة زمنية لكل مركبة، وتُطبق عملية الصقل Smoothing على الأطياف الناتجة في المجال الترددي 20-0.5 هرتزاً. وبعد حساب المتوسط الهندسي للأطياف الناتجة عن كل نافذة في المركبات الثلاث، حُسبت النسبة الطيفية H/V لكل تسجيل، وذلك بتقسيم محصلة طيفي المركبتين الأفقيتين على طيف المركبة الشاقولية، (الشكل 2)، باستخدام برنامج Mic-plot لتحليل إشارات الضجيج الزلزالي، وأخيراً حُسبَ وسطي التسجيلات الثلاثة لكل موقع.

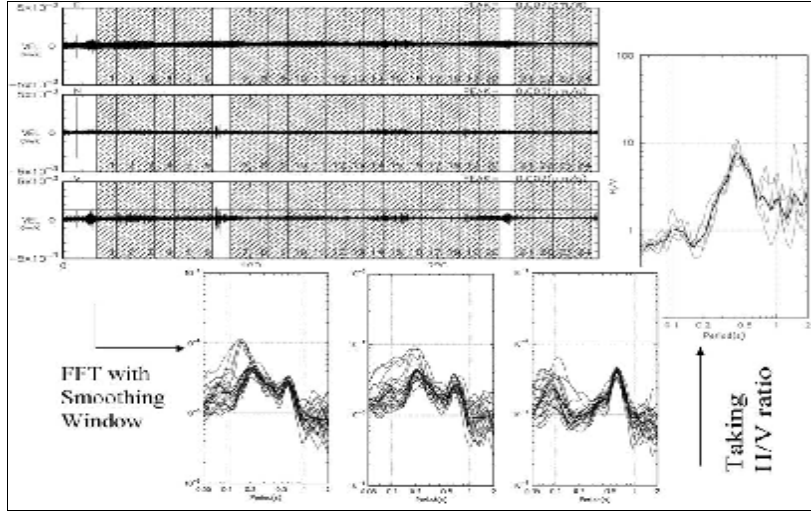
2- تحليل السبور الجيوتكنيكية

جرى الحصول على السبور الجيوتكنيكية من المؤسسة العامة للدراسات والاستشارات الفنية في دمشق، وتتضمن معلومات عن عمق السبر وسماكة الطبقة وتركيبها الليثولوجي، وقد استخدمت هذه المعلومات في حساب سرعة أمواج القص للمركبة الشاقولية لطبقات التربة في كل بئر باستخدام علاقة (Ohta, Y) (1976) التجريبية، التي حُدِّت معاملاتها في اليابان وهي:

$$V_s = 78.98F H^{0.312}$$

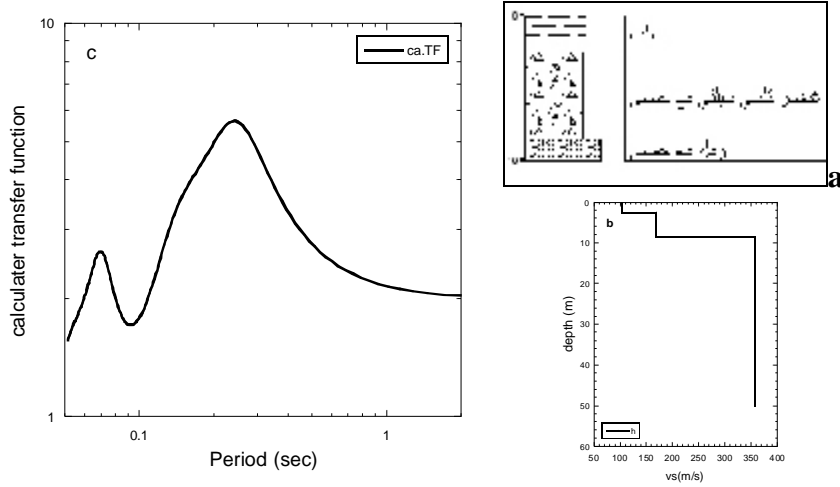
$$F = \begin{cases} 1.000: \text{clay} \\ 1.260: \text{fine sand} \\ 1.282: \text{medium sand} \\ 1.422: \text{coarse sand} \\ 1.641: \text{sand and grav} \\ 2.255: \text{gravel} \end{cases}$$

حيث V_s : سرعة أمواج القص متر/ ثانية، H : عمق منتصف الطبقة مقدر بالمتر، F : ثابت يتعلق بنوع التربة.



الشكل (2) تقسيم مركبات إشارة الضجيج الزلزالي الثلاث (V, N, E) على التوالي إلى نوافذ زمنية، ثم حساب طيف فورييه السعوي لكل منها مع تطبيق عملية الصقل، ثم حساب النسبة الطيفية H/V (Seo وآخرون، 1997).

لُحسب بعد ذلك تابع استجابة السبر بواسطة برنامج Shake المستخدم عالمياً في نمذجة السبور الجيوتكنيكية، إذ يُحسب تابع الاستجابة لطبقات التربة السطحية المتجانسة، والممتدة أفقياً إلى اللانهاية، والمتوضعة فوق الصخر الأساس (Bedrock) المتماثل الخواص، مفترضاً انتشار أمواج القص بشكل شاقولي من قاعدة الطبقة السفلية وحتى سطح الأرض، وذلك في المجال الترددي. يظهر في الشكل (3) تابع الاستجابة المحسوب لأحد السبور الجيوتكنيكية المدروسة في منطقة شبعاء، مع العمود الطبقي وبروفيل التربة. ثم قورن تابع الاستجابة المحسوب للسبور الجيوتكنيكية بالنسبة الطيفية لقياسات الضجيج الزلزالي المنفذة في الموقع نفسه.

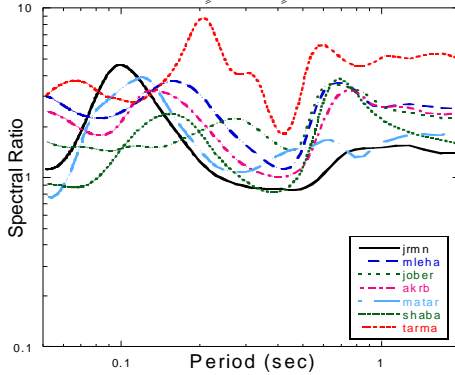


الشكل (3) - a - العمود الطبقي للسير الجيوتكنيكي، b - بروفيل التربة للسير الجيوتكنيكي، c - تابع الاستجابة المحسوب للسير الجيوتكنيكي في شبعاً.

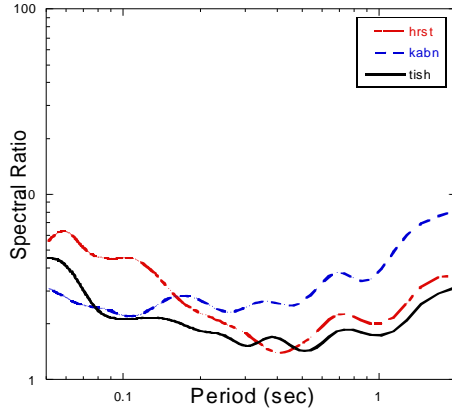
المناقشة

1 - تقدير استجابة الموقع

استنتجت قيم الدور المسيطر T0 ومعامل التضخيم A0 من المنحنيات البيانية للنسبة الطيفية H/V لكل موقع في منطقة الدراسة. وقد أظهرت نتائج قياسات الضجيج الزلزالي وجود قمم مهيمنة، وواضحة، في منحنيات النسبة الطيفية، للقياسات المنفذة في مواقع رسوبيات الرباعي الأعلى والحديث المفككة، (الشكل 4)، في حين لم تظهر قمم واضحة في منحنيات القياسات المنفذة في مواقع التشكيلات الصخرية الصلبة العائدة للكريتاسي والبالوجين والنيوجين، بل تميزت بشكل مسطح Flat، (الشكل 5).

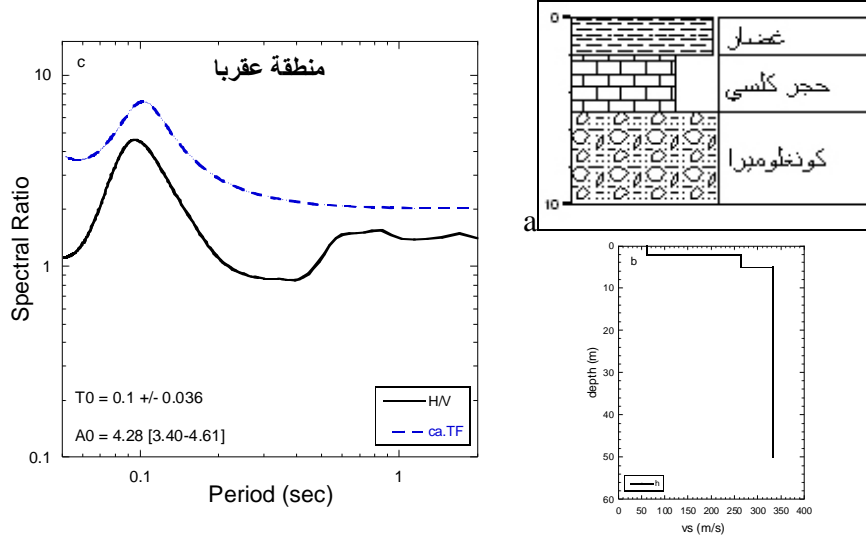


الشكل (4) منحنيات النسبة الطيفية لبعض قياسات الضجيج الزلزالي الواقعة على رسوبيات الرباعي المفككة ضمن الحوض الرسوبي.



الشكل (5) منحنيات النسبة الطيفية لبعض قياسات الضجيج الزلزالي الواقعة على التكتشفات الصخرية العائدة للكريتاسي والبالوجين والنيوجين.

كما نفذ بعض قياسات الضجيج الزلزالي بالقرب من مواقع السبور الجيوتكنيكية (ستة سبور موزعة على كامل منطقة الدراسة)، ومن ثم قورن بين منحنيات النسبة الطيفية للقياسات، وتابع الاستجابة المحسوب للسبور التي أظهرت توافقاً جيداً، كما في منطقة عقربا، (الشكل 6). ومنطقة الزبلطاني، (الشكل 7). تظهر مواقع السبور الجيوتكنيكية وقياسات الضجيج الزلزالي المنفذة بالقرب منها على خارطة دمشق الجيولوجية (الشكل 8) في 1:200000.



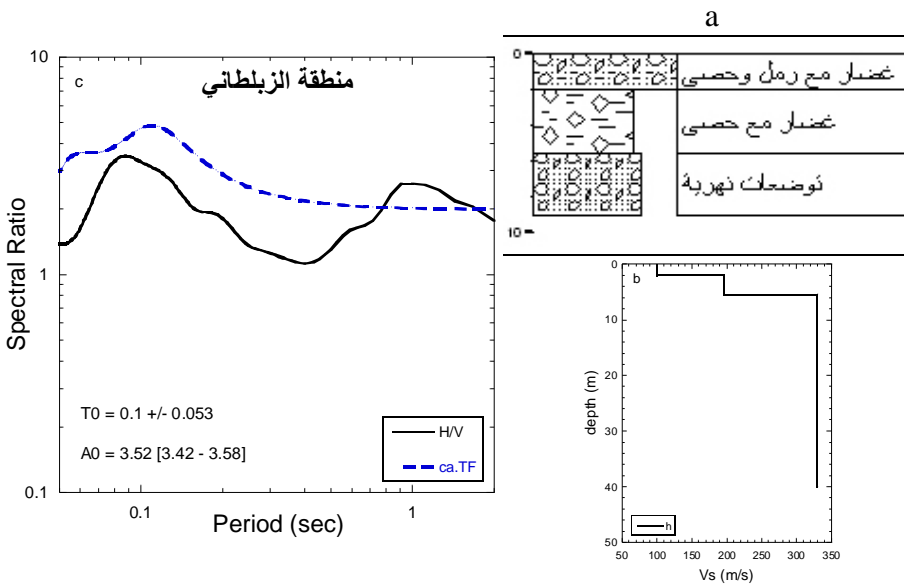
الشكل (6) - a العمود الطبقي للسبر الجيوتكنيكي، b- بروفيل التربة للسبر الجيوتكنيكي، c- مقارنة منحنى النسبة الطيفية (المنحنى المستمر) بتابع الاستجابة المحسوب للسبر الجيوتكنيكي (المنحنى المتقطع) في عقربا.

2- المقارنة بين نتائج قياسات الضجيج الزلزالي والمعطيات الجيولوجية

أظهرت خارطة توزيع الأدوار المسيطرة موقعة على خارطة دمشق الجيولوجية 1:200000، الشكل (9)، ومقسمة بحسب المجالات الآتية:

المجال الأول > 0.3 ثانية. المجال الثاني 0.3-0.7 ثانية. المجال الثالث < 0.7 ثانية.

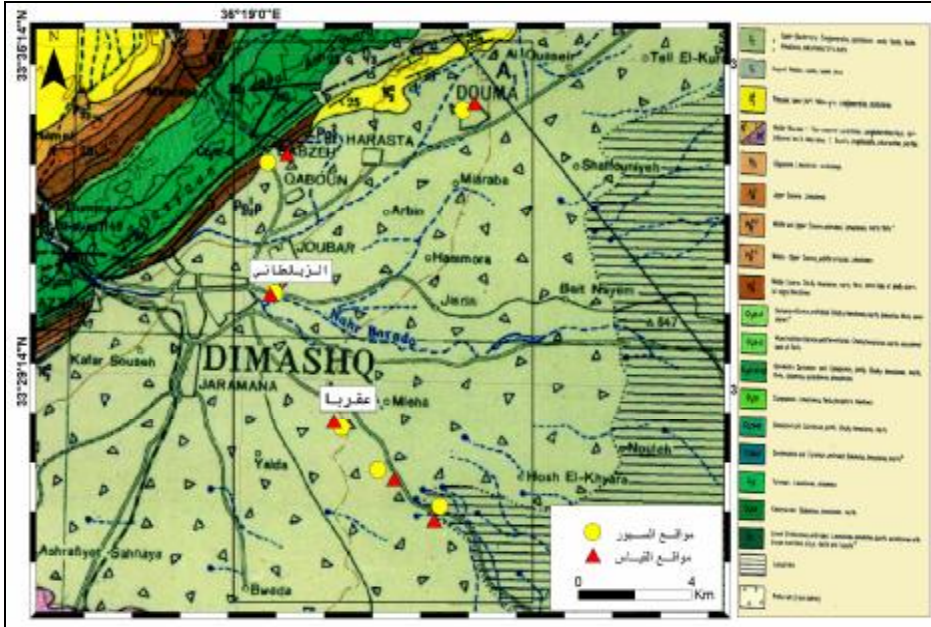
أظهرت خارطة توزيع الأدوار المسيطرة تبايناً في قيم الدور المسيطر، من موقع إلى آخر، إذ سيطرت القيم المنخفضة على الجزء الشمالي من الحوض، بما يتوافق مع الاقتراب من التكتشات الصخرية الصلبة العائدة للكريتاسي والباليجين والنيوجين، في حين سيطرت القيم المرتفعة على مركز الحوض وباتجاه الجنوب، وهذا يتوافق مع زيادة سماكة الرسوبيات المفككة العائدة للرباعي، وقد ظهر التباين في قيم الدور المسيطر بشكل واضح على ضفاف نهر بردى، حيث تشكل الرسوبيات المفككة المكونة من حصي متباينة الحجم، ورمال، وغضار رملي، وكونغوميرا المصاطب النهرية العائدة لأعمار جيولوجية مختلفة (عمار العمارين، 2000).



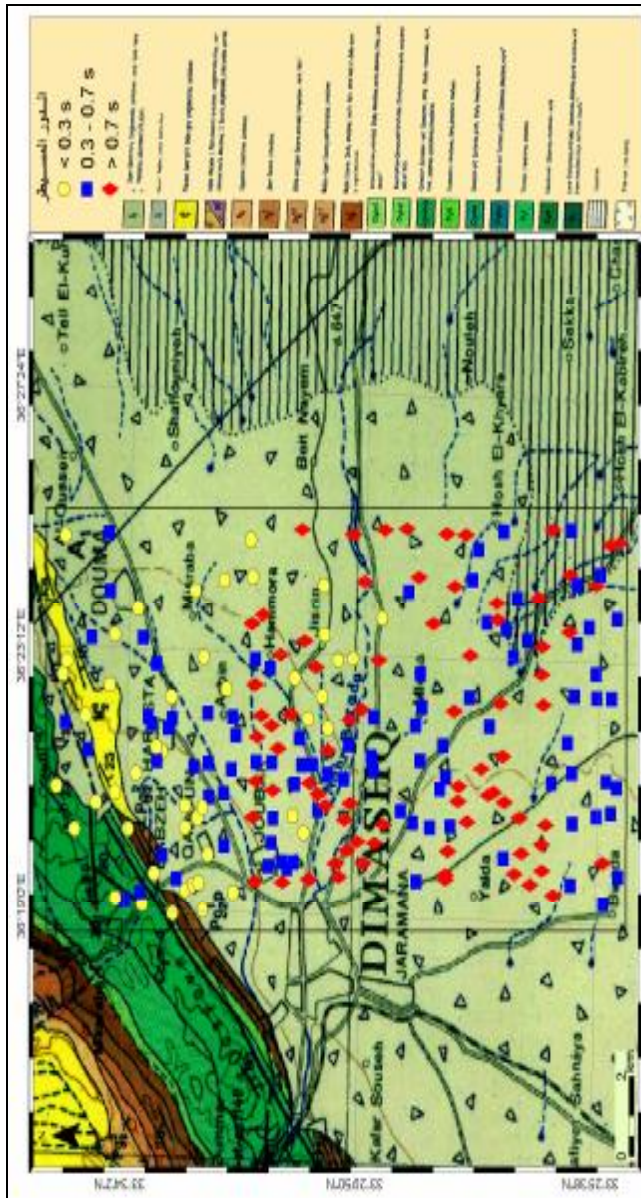
الشكل (7) -a العمود الطبقي للسبر الجيوتكنيكي، -b بروفيل التربة للسبر الجيوتكنيكي، -c مقارنة منحنى النسبة الطيفية (المنحنى المستمر) بتابع الاستجابة المحسوب للسبر الجيوتكنيكي (المنحنى المتقطع) في الزلبطاني.

كما أظهرت خارطة توزع معاملات التضخيم موقعة على خارطة دمشق الجيولوجية 1:200000، الشكل (10)، ومقسمة بحسب المجالات الآتية:
المجال الأول > 2. المجال الثاني 2- 5. المجال الثالث < 5.

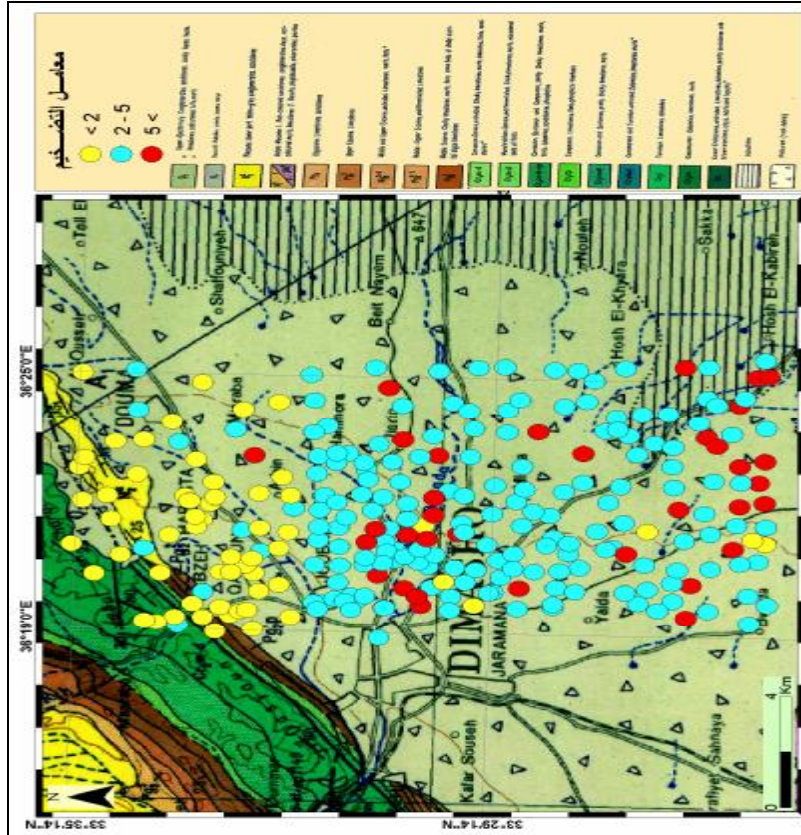
يظهر من خارطة توزع معاملات التضخيم عدم وجود قيم تضخيم مهمة في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة، فهي عموماً أقل من 2؛ وذلك بسبب ظهور التكتشفات الصخرية الصلبة، بينما تسيطر قيم التضخيم التي تراوح بين 2-5 على كامل منطقة الدراسة، باستثناء بعض المواقع التي تظهر فيها قيم تضخيم مرتفعة، ويعود ذلك إلى تغيّر نوع الرسوبيات المفككة وسماكتها.



الشكل (8) مواقع السبور الجيوتكنيكية وقياسات الضجيج الزلزالي المنفذة قربها موقعة على خارطة دمشق الجيولوجية مقياس 1:200000.



الشكل (9) خارطة توزع الأدوار المسيطرة موقعة على خارطة دمشق الجيولوجية مقياس 1:200000 مقسمة بحسب المجالات الموضحة في مفتاح الخارطة.



الشكل (10) خارطة توزيع معامل التضخيم موقعة على خارطة دمشق الجيولوجية مقياس 1:200000 مقسمة بحسب المجالات الموضحة في مفتاح الخارطة.

النتائج

تتغير قيم الدور المسيطر ومعامل التضخيم من موقع إلى آخر تغيراً واضحاً، رغم أن مواقع القياس لا تبعد عن بعضها سوى بضع مئات من الأمتار في بعض المناطق، وذلك بسبب تغير سماكة الرسوبيات وخصائص التربة الديناميكية من موقع إلى آخر. أظهرت قياسات الضجيج الزلزالي المنفذة على رسوبيات الرباعي المفككة قيماً واضحة للدور المسيطر ومعامل التضخيم، في حين كانت غير واضحة على تشكيلات الصخور الصلبة العائدة للكريتاسي والبالوجين والنيوجين.

أظهرت نتائج قياسات الضجيج الزلزالي وجود توافق مع نتائج تحليل السبور الجيو تكنولوجية.

أظهرت نتائج قياسات الضجيج الزلزالي وجود توافق مع المعطيات الجيولوجية، إذ توافقت قيم الدور المسيطر المنخفضة مع السماكات الرسوبية الصغيرة، في حين توافقت القيم المرتفعة مع وجود سماكات رسوبية كبيرة.

التوصيات والمقترحات

تقع منطقة الدراسة على توضعات الرباعي الأعلى Q3 والرباعي الحديث Q4، ورغم ذلك تتغير خصائص التربة الديناميكية من موقع إلى آخر بشكل واضح، مما يظهر أهمية إجراء دراسات تفصيلية للمدن الرئيسة في سورية.

تبيّن المقارنة بين نتائج قياسات الضجيج الزلزالي ونتائج تحليل السبور الجيو تكنولوجية، أن الحصول على سبور جيوتكنولوجية أكثر عمقا وتفصيلا يؤدي إلى نتائج أفضل عند حساب سرعة أمواج القص لكل طبقة، ومن ثم يمكن استخدامها في النمذجة أحادية البعد، كما أن تطوير العلاقات التجريبية المستخدمة في تقدير سرعة أمواج القص ضروري لتطوير الدراسات المتعلقة بالتمنطق الزلزالي. ويمكن استخدام طرائق جديدة للمقارنة بهذه النتائج لزيادة الموثوقية بها، كالقياسات البئرية التي تصل غالبا إلى أعماق أكبر من تلك التي تصل إليها السبور الجيو تكنولوجية.

تعدّ حالة التوافق في دور الاهتزاز (الطنين) بين المنشأة والموقع من أهم المخاطر المتوقعة عند حدوث الزلازل، وتؤدي غالبا إلى إحداث أضرار كبيرة بالمنشأة حتى عند وقوع هزات متوسطة القوة، وذلك بسبب التوافق بين دور المنشأة والدور المسيطر للموقع، لذا من الضروري حساب الدور المسيطر في الموقع وأخذه بالحسبان عند التصميم الإنشائي في هذا الموقع.

يؤدي تغير خصائص التربة من موقع إلى آخر إلى تغيرات في الشدة الزلزالية، إذ يؤثر نوع الرسوبيات وسماكتها في تضخيم الإشارة الزلزالية، حتى ولو لم يكن الموقع قريبا من المصدر الزلزالي؛ لذلك يمكن الاعتماد على نتائج هذه الدراسة عند وضع السيناريو الزلزالي في دراسات الخطر الزلزالي المتعلقة بهذه المنطقة.

المراجع REFERENCES

- العمارين، ع. (2000). دراسة هيدروجيوفيزيائية لحقول آبار مياه الشرب في مدينة دمشق، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.
- 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 deformed terraces of the River Euphrates, *Terra Nova*, 21, 427-437.
- Alchalbi, A. Daoud, M. Gomez, F. McClusky, S. Reilinger, R. Abu Romeyeh, M. Alsouod, 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*. Vol. 180: 125-135.
- Ambraseys, N. N and Barazangi, M. (1989). The 1759 earthquake in the Bekaa Valley: implications for earthquake hazard assessment in the Eastern Mediterranean region, *J. Geophys. Res.*, 94, 4007-4013.
- 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; *Geophysical Journal International*. Vol. 153:658-674.
- Kanai, K. and Tanaka, T. (1961). On Microtremors VIII, *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*. Vol. 39: 97-114.
- Kobayashi, K. (1980). A method for presuming deep ground soil structures by means of longer period microtremors, *Proc. Of the 7th WCEE*, Sept. 8-13, Istanbul, Turkey, Vol. 1: 237-240.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Japan*, Vol. 30, 25-33.
- Ohta, Y. Goto, N. Kagami, H. Shiono, K., (1978). Shear wave velocity measurement during a standard penetration test, Department of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Japan. *The Journal of the International Association for Earthquake Engineering*. Vol. 6:43-50.
- Razvalyaev, A. V. (1966). Geological Map of Syria, Scale 1:200000, Sheet (Dimashq, Beirut). Explanatory Notes. V. O. Technoexport, Moscow. 124P.
- 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: 347-435.
- Seo, K. (1998). Application of microtremors as a substitute of seismic motion – reviewing the recent microtremors joint research in different sites, in the effects of surface geology on seismic motion. *Bulletin of Institute of Science and Technology. Kanto Gakuin University, Japan*, Vol.25: 49-58.
- Toksöz, M. N and Lacoss, R. T. (1968). Microseisms – mode structure and sources. *Science*. Vol. 159: 827-873.