

أثر الطريقة الانكسارية الدقيقة (ReMi) وأهميتها في التصنيف التفصيلي للموقع وتحديد الطبقات عالية السرعة

عبدالله رضا علاونه⁽¹⁾ و نضال شقير⁽²⁾ و رشيد جرادات⁽³⁾

تاريخ الإيداع 2012/06/03
قبل للنشر في 2012/12/17

الملخص

تطورت في السنوات الأخيرة طريقتا تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية (MASW) والنشطة والانكسارية الدقيقة (ReMi) لتحديد السرعة الوسطية للأمواج العرضية للطبقات السطحية لعمق 30م (VS₃₀) الذي يستخدم في تصنيف المواقع ودراسات التمنطق الزلزالي في المناطق الحضرية للحد من المخاطر الزلزالية. يظهر البحث فائدة استخدام الطريقة الانكسارية الدقيقة وأهميتها في دراسة طبقات التربة العميقة التي قد يصل عمقها إلى أكثر من 30م في مدينة إربد (الأردن)، الواقعة شرق نظام صدع البحر الميت التحويلي بنحو 25كم. استطاعت طريقة ReMi أن تحدد عمق طبقات بازلتية ذات سرعات عالية وجدت على أعماق تزيد على 10م وسماكتها، في حين كان عمق التحري باستخدام طريقة MASW لا يزيد على 10م. ويؤكد البحث ضرورة الاستخدام المتكامل للطريقتين في الأعمال الحقلية السيزمية بهدف تصنيف المواقع والتربة. لوحظ تغير تصنيف الموقع لبعض البروفيلات في منطقة الدراسة، وفق كود الوكالة الاتحادية لإدارة الطوارئ، ومثال ذلك البروفيل (C43) إذ انتقل التصنيف للموقع من الرتبة D3 إلى الرتبة C2، مما يستدعي ضرورة تغيير شروط تصميم المباني ومعاييرها لهذا الموقع.

الكلمات المفتاحية: طريقة تحليل متعدد القنوات، الانكسارية الدقيقة، المسح السيزمي، السرعة العرضية للأمواج السطحية، تصنيف الموقع، إربد.

(1) طالب دكتوراه، (2) أستاذ مشرف، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.
(3) أستاذ مشرف مشارك، قسم علوم الأرض والبيئة، كلية العلوم، جامعة اليرموك، الأردن.

Effect of Refraction Microtremor (ReMi) method and its Importance in Specific Site Classification and in the Determination of High Velocity Layers

A. R. Alawneh⁽¹⁾, N. Shouker⁽²⁾ and R. Jaradat⁽³⁾

Received 03/06/2012

Accepted 17/12/2012

ABSTRACT

In the last few years the Active Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) and Refraction Microtremor (ReMi) methods were developed to determine average shear wave velocity of the upper surface layers (V_{S30}) which is used for site classification and seismic microzonation studies of urban areas to reduce earthquake risks.

This research showed the usefulness and importance of the use of ReMi method to study the deep soil layers which may reach a depth of more than 30 m in the city of Irbid (Jordan), located 25 km east of the Dead Sea Transform (DST) fault system. It was evident that ReMi method was able to identify depth and thickness of basaltic layers of high seismic velocities found at depths greater than 10 m, while the depth of investigation using the MASW was no more than 10 m. The research emphasizes the need for the integrated application of use of the ReMi method and MASW method in seismic field surveys for site and soil seismic classification studies. In the study area we have observed that the site classification of some profiles have changed according to the code of the Federal Emergency Management Agency, for example: site classification of profile (C43) has moved from class D3 to class C2, which means the need to change the conditions and criteria for the design of buildings for this site.

Keywords: Multichannel method, MASW, Refraction Microtremor, ReMi, Seismic survey, Shear wave velocity, Surface waves, Site Classification, Irbid.

⁽¹⁾PhD., Student, ⁽²⁾ Supervisor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

⁽³⁾ Associated Supervisor, Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Sciences, Yarmouk University, Jordan.

المقدمة

تستخدم سرعة الأمواج العرضية منذ زمن بوصفها عاملاً أساسياً في دراسة تضخيم الأمواج الزلزالية واستجابة المواقع في الأحواض الرسوبية والترب العميقة (مثال، (Borcherdt; 2002)، واستخدمت أيضاً في تطوير كودات البناء وتصنيف المواقع والتربة وفق (NEHRP; 1997) في الدراسات الجيوهندسية وتصاميم البناء المقاوم للزلازل (Kramer; 1996) وتقييم الخطورة الزلزالية لأي موقع في المناطق الحضرية (Cramer; 2003). إن تقسيم المنطقة إلى نطاقات صغيرة أو تصنيف المواقع بالاعتماد على سرعة الأمواج العرضية أصبحت مهمة جداً بدلاً من الاعتماد على تقسيمات الموقع الجيولوجية (Wills and Silva, 1998)، لأن السرعة العرضية تعكس صلابة الطبقات السطحية وقساوتها ودرجة استجابتها الزلزالية، إذ إن طبيعة الدمار الزلزالي وتوزيعه يتأثر تأثراً كبيراً باستجابة الموقع وسماكة عمود التربة، لأن لكل موقع استجابة زلزالية معينة. استخدمت طريقة تحليل متعدد القنوات (Multichannel Analysis of Surface Waves /MASW) لقياس السرعة الوسطية للأمواج العرضية في طبقات التربة السطحية لعمق 30م (V_{S30}) في هذه الدراسة والتغير في السرعة يدل على التغير في سماكة التربة وخصائصها الفيزيائية، ويعدّ 30م العمق الأمثل في الدراسات الجيوهندسية وتصنيف المواقع واستجابتها الزلزالية في المناطق الحضرية (Anderson, et al., 1996). لذا زاد اهتمام الجيوفيزيائيين في استخدام طريقتي (MASW) و (ReMi) للأسباب الآتية:

- 1- ضرورة وجود طريقة وتقنية سهلة نسبياً، ودقيقة بما فيه الكفاية لقياس السرعة الوسطية للأمواج العرضية (اللازمة في دراسة خصائص الطبقات)، والتغلب على العيوب والمشكلات في الطرائق التقليدية الأخرى.
- 2- زيادة الوعي والإدراك إلا أن تصاميم المباني والمنشآت في المناطق الحضرية ودرجة استجابتها للقوى الديناميكية لا تتحقق من دراسة الخصائص الجيوتقنية للطبقات مخبرياً فقط، ولكن لابدّ من قياس السرعة الوسطية للأمواج العرضية حقلياً للطبقات لتعكس هذه الخصائص وباستخدام طريقة صحيحة وسليمة.

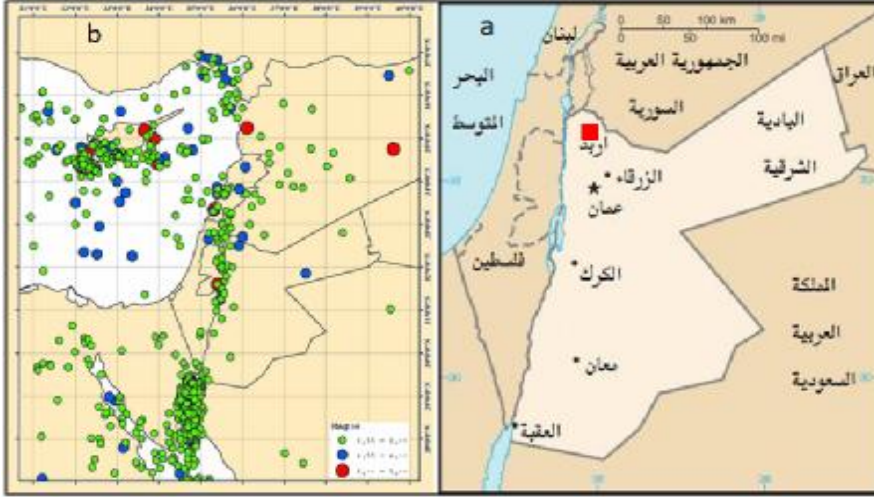
أهداف البحث

هدف البحث إلى:

- 1- التصنيف لمنطقة الدراسة وفق كودات FEMA، NEHRP (FEMA; 1994) اعتماداً على V_{S30} .
- 2- إبراز دور استخدام الطريقة الانكسارية الدقيقة (Refraction Microtremor/ReMi) في:
 - أ- التصنيف التفصيلي للمواقع.
 - ب- الكشف عن الطبقات ذات السرعة العالية.
- 3- رسم خرائط كنتورية تبين الاختلاف بين الطريقتين النشطة وغير النشطة من حيث الدقة في التصنيف.

موقع منطقة الدراسة وتكتونيتها

تقع منطقة الدراسة (جزء من مدينة إربد) شمال غرب الأردن كما في الشكل (1a)، والمحصورة تقريباً بين خطي طول (35.835–35.885)° شرقاً، وخطي عرض (32.520 – 32.580)° شمالاً، التي تبعد شرقاً نحو 25 كم عن صدع البحر الميت التحويلي المسبب الرئيس للأخطار الزلزالية في المنطقة وأن الحركة النسبية بين الصفيحة العربية وصفيحة سيناء-فلسطين هي الحركة الرئيسية التي تنتج عنها الزلازل في المنطقة على طول صدع البحر الميت التحويلي (Al-Tarazi, 2006. Al-Qariouti M. 2008). ومعظمها زلازل ضحلة انظر الشكل (1b).



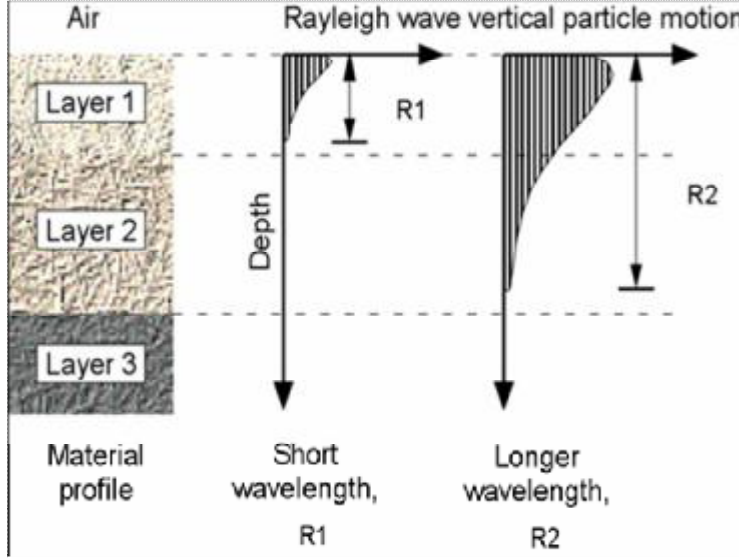
الشكل (1) خارطة الأردن توضح موقع منطقة الدراسة (إربد) وتوزيع الزلازل في المدة (2005–1900).

الطرائق السيزمية ومنهجية العمل الحقلية

تنقسم طريقة تحليل متعدد القنوات للأمواج السطحية إلى قسمين رئيسيين الطريقة النشطة (منبع صناعي) وغير النشطة (ضجيج) والمعروفة بطريقة ReMi، لقياس السرعة الوسطية للأمواج العرضية للأسباب الآتية:

- 1) تقنيته سهلة التنفيذ والتطبيق في المناطق الحضرية.
- 2) تختصر التكلفة المالية والوقت.

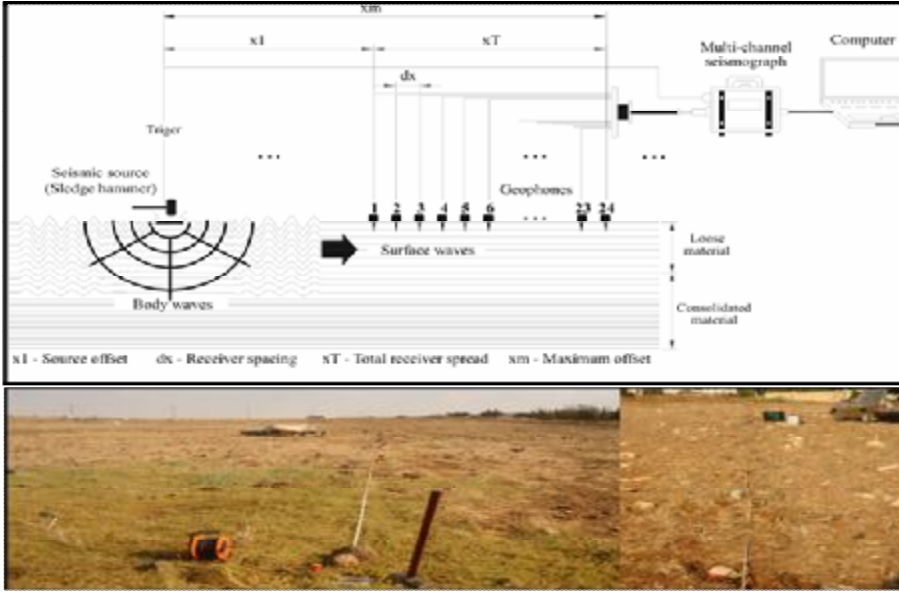
يعتمد عمق التحري السيزمي على عمق اختراق أمواج رايلي للطبقات السطحية، إذ يراوح عمق الاختراق من 1-2 ضعف الطول الموجي لأمواج رايلي اعتماداً على الخصائص الديناميكية للطبقات والطول الموجي، أي إن عمق التحري السيزمي التي تصل إليه الأمواج القصيرة ذات التردد العالي عند استخدام طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة أقل من العمق التي تصله الأمواج الطويلة ذات التردد المنخفض باستخدام طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة (ReMi)، إذ تعكس الأمواج السطحية خصائص الطبقات السطحية التي تخترقها وتصل إليها، كما يوضحه الشكل (2).



الشكل (2) سجل المركبة الطولية لأمواج رايلي مع العمق.
(Stoke II and Santamarina; 2000)

طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة (Active MASW)

طُوِّرت طريقة تحليل متعدد القنوات النشطة في العقود الأخيرة (Park *et al.*, 1999) وزاد استخدامها في تصنيف التربة وإيجاد الحمول المناسبة لمشكلات التربة الجيوتقنية، ويبين الشكل (3) الإعدادات الحقلية المستخدمة في أثناء المسح السيزمي في منطقة الدراسة باستخدام (MASW) التي تتماثل مع الطريقة الانكسارية التقليدية (Refraction Method) من حيث ترتيب اللواقط في خط مستقيم، وبمسافات متساوية واستخدام المنبع السيزمي الصناعي في كلتا الطريقتين، كما يوضحه الجدول (1).



الشكل (3) رسم توضيحي وصور ميدانية تبين الإعدادات الحقلية لطريقة MASW.

الجدول (1) الأدوات والتجهيزات الحقلية ونوع المسح السيزمي المستخدم.

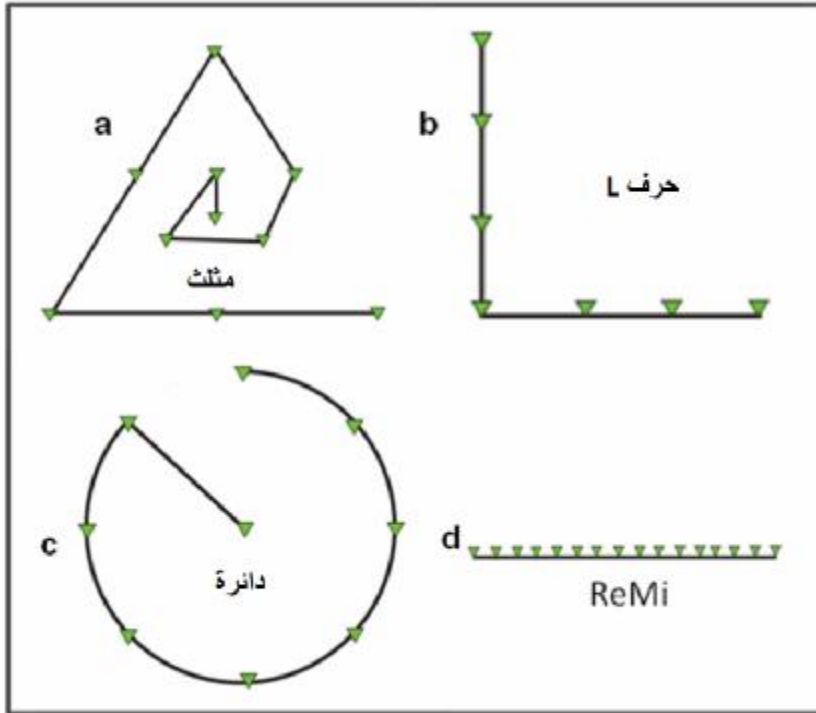
Survey type	Active MASW	Passive MASW (ReMi)
Source	7.2 Kg Hummer	Ambient Cultural Activities
Seismograph	PASI -16S24	PASI - 16S24
Geophones	4.5 Hz	4.5 Hz
Receiver array	24 Channel Linear	24 Channel Linear
Profile Length (L)	46 m	46 m
Receiver spacing (dx)	2 m	2 m
Source offset	± 7 m	----
Sampling Interval	0.5 ms	2 ms
Recording time	1024 ms	32678 ms
No. of records	1 at each side	22 - 30

طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة (Passive MASW)

تنقسم طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة إلى قسمين اعتماداً على ترتيب اللواقط؛ ثنائية الأبعاد، الشكل (4a,b,c) وأحادية البعد (خطية)، الشكل (4d)، إذ يعدّ لووي

(Louie) أول من طور طريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة أحادية البعد (الخطية) وسمّاها بالطريقة الانكسارية الدقيقة في عام 2001 (Refraction Microtremor/ReMi) (Louie; 2001)، وتستخدم طريقة ReMi في الدراسات الجيوهندسية مختلفة الأهداف التي تعتمد على تسجيل الأمواج السطحية الناتجة من المصادر الطبيعية (حركة المرور والنشاط الإنساني والهواء... الخ) معظمها أمواج رايلي (Park, et al., 2005. Park, C.) و 2001. loui 2003. okada 2008. B., Miller, R. D., 2008)، وتعتمد تقنيتهما على فكرتين أساسيتين هما:

- 1) تشابه مع إعدادات الطريقة السيزمية الانكسارية التقليدية من حيث ترتيب اللواقط فقط، الجدول (1).
- 2) سهولة فصل أمواج رايلي من الأمواج السيزمية الأخرى المسجلة خلال إجراء عملية معالجة المعطيات.

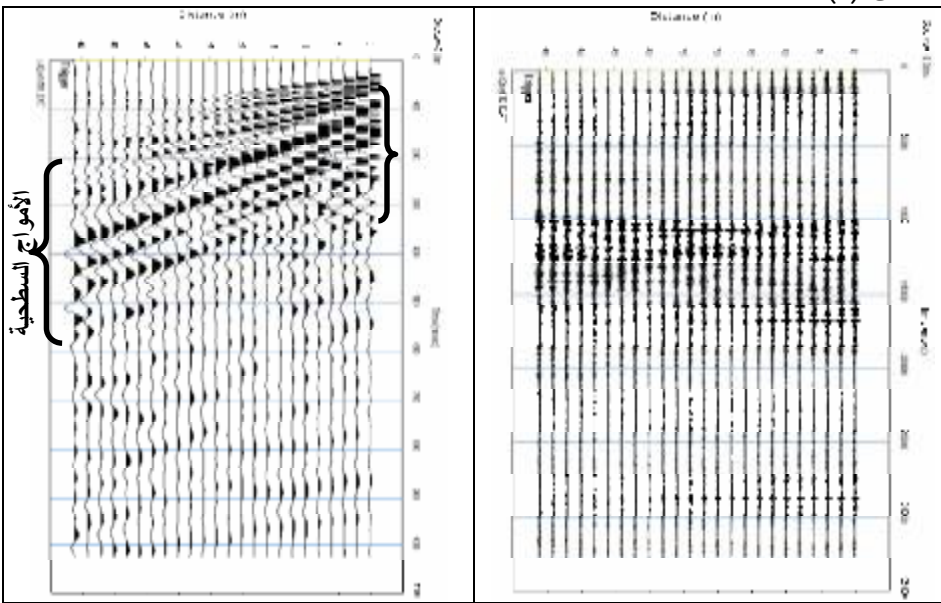


الشكل (4) أشكال خطوط قياس المسح الحثلي بطريقة تحليل متعدد القنوات غير النشطة.

معالجة المعطيات السيزمية

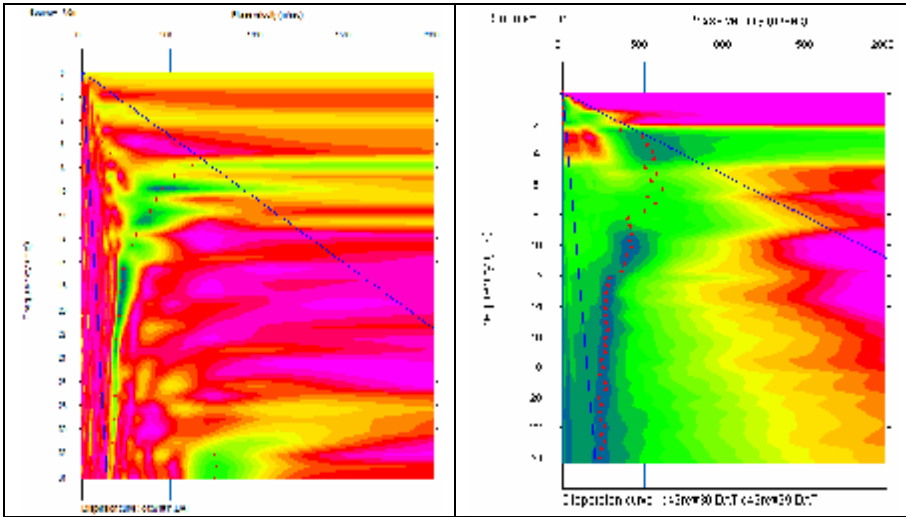
هناك العديد من البرمجيات التي تستخدم لمعالجة المعطيات السيزمية المسجلة باستخدام طريقة المسح السيزمي MASW وأهمها؛ برمجية (SurfSeis)، وبرمجية (MASW2007) وبرمجية (SeisImager). والبرمجيات جميعها تعتمد في معالجتها للمعطيات السيزمية على خاصية التشتت التي تتصف فيها أمواج رايلي السطحية، إذ يحدث تشتت للأمواج رايلي ذات الأطوال الموجية المختلفة عند انتقالها في الطبقات الرسوبية بسرعات مختلفة (Achenbach, 1999; Aki, 1980)، وتحسب السرعة العرضية من أمواج رايلي، إذ تستخدم برمجية سايزإمجر (SeisImager) في معالجة المعطيات السيزمية للمسار المباشر والراجع للبروفيل المسجلة بطريقة MASW النشطة ثم تكاملهما للحصول على مقطع واحد يمثل السرعة العرضية عند منتصف البروفيل، وأجريت عملية المعالجة لـ 19 بروفيلًا بالخطوات الآتية:

أولاً- فتح ملف السيزموغرام للأمواج السطحية المسجل بلاحقة (Seg2)، كما يوضحه الشكل (5).

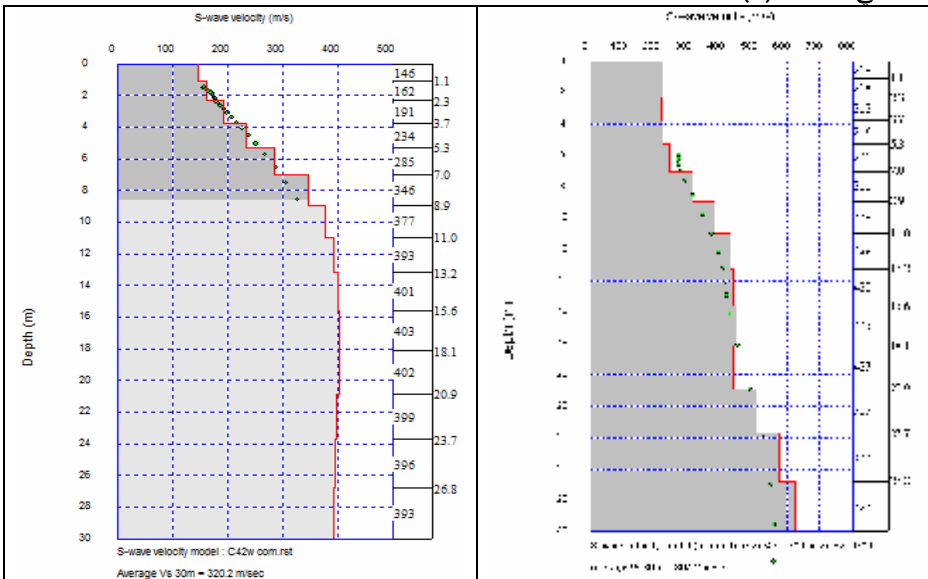


الشكل (5) مخطط السيزموغرام المسجل بطريقة MASW (يسار) وطريقة ReMi (يمين)، للبروفيل C42.

ثانياً- الحصول على طيف السرعة للأمواج رايلي السطحية كما في الشكل (6)، ثم منحني التشتت.

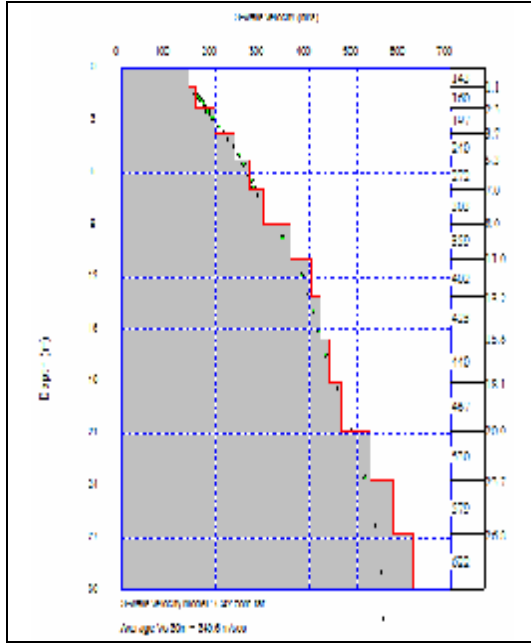


الشكل (6) طيف سرعة أمواج رايلي في كلتا الطريقتين MASW (يسار) و ReMi (يمين).
 ثالثاً- إعادة حساب سرعة الأمواج العرضية من منحني التشتت (Park et al., 2006)
 والحصول على مقطع يمثل تغير سرعة الأمواج العرضية للطبقات السطحية مع العمق،
 كما في الشكل (7).



الشكل (7) مقطع تغير السرعة الطبقيّة مع العمق بطريقة MASW (يسار) و ReMi (يمين)،
 للبروفيل C42.

رابعاً- يُجمع المقطعان للسرعة العرضية الناتجة من معالجة المعطيات من طريقتي MASW و ReMi في الشكل (7) فنحصل على مقطع واحد يمثل تغير سرعة الأمواج العرضية لعمق 30م، كما في الشكل (8).



الشكل (8) مقطع تغير السرعة الطبقيّة لعمق 30م للبروفيل C42 (RMS=1.6%).

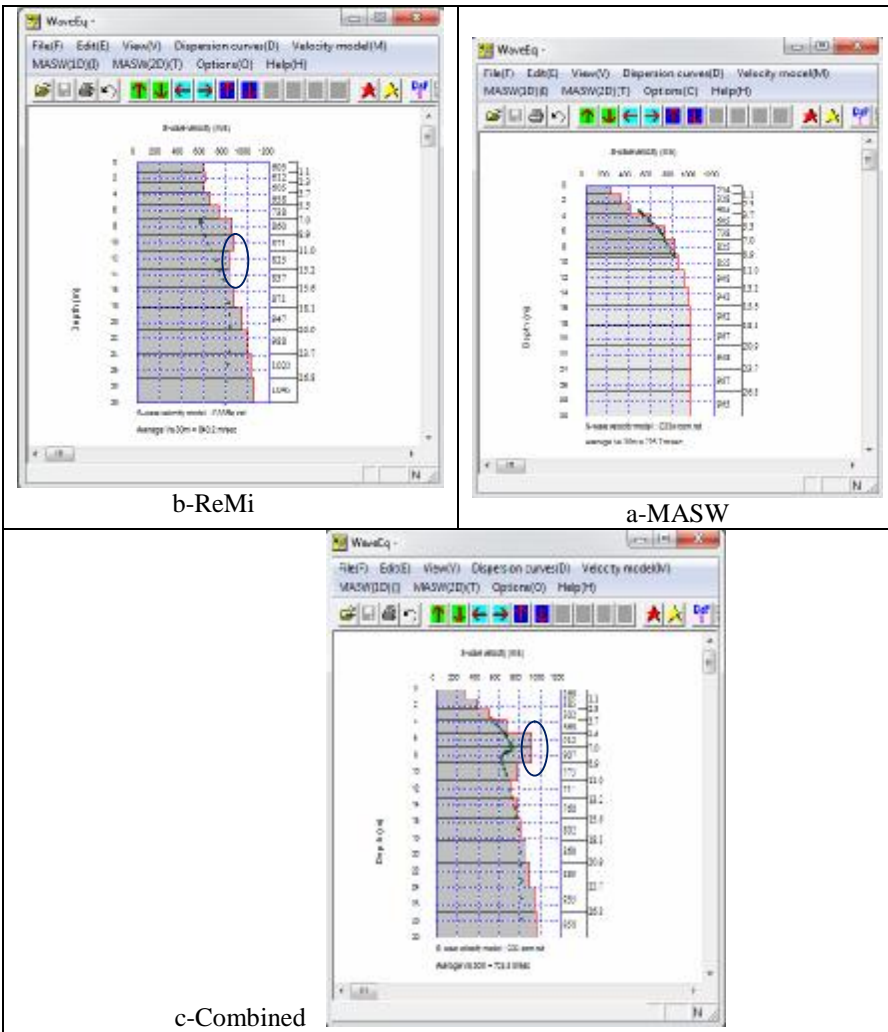
مناقشة النتائج السيزمية

يعرض الجدول (2) النتائج التي تمثل السرعة الوسطية للأمواج العرضية باستخدام الطريقتين النشطة (العمود الثاني) وغير النشطة (العمود الثالث) وتكاملهما (العمود الرابع)، بعد عملية معالجة المعطيات السيزمية للبروفيلات، أظهرت النتائج زيادة في السرعة الوسطية في بعض البروفيلات عند استخدام طريقة ReMi هذا يدل على أن عمق اختراق أمواج رايلي يكون أكبر عند استخدام طريقة ReMi، وتعكس خصائص الطبقات الأعمق التي تخترقها، وتكشف الطبقات ذات السرعة العالية الشكل (9b,c) التي لم تصل إليها أمواج رايلي عند استخدام طريقة MASW الشكل (9a)، ومثال ذلك السرعة الوسطية للأمواج العرضية باستخدام الطريقتين النشطة وغير النشطة يساوي 725 م/ثا

و840 مآثا على الترتيب في البروفيل C33 وتفسير الاختلاف يعود إلى وجود طبقة البازلت ذات سرعة عرضية عالية التي وصلتها أمواج رايلي وكشفتها عند استخدام طريقة ReMi، وهذا ما أكدته البروفيلات الآتية: (A13, A43, B32, B41, C43, C53) التي تبيّن جميعها زيادة السرعة الوسطية للأمواج العرضية عند استخدام طريقة ReMi بسبب اختراقها طبقات أكثر كثافة وتقع على عمق أكبر، وهذا ينعكس مباشرة على تصنيف المواقع والتربة في منطقة الدراسة وانتقاله من صنف إلى صنف آخر؛ مما يؤدي إلى إعادة النظر في تصميم المباني عند هذا الموقع من قبل المختصين.

الجدول (2) السرعة الوسطية للأمواج العرضية وتصنيف المواقع.

تصنيف الموقع وفق FEMA			السرعة الوسطية (Vs)			رقم البروفيل
Vs ₃₀	ReMi	MASW	Vs ₃₀	ReMi	MASW	
C1	C1	D3	378	459	347	A13
C1	C1	C1	410	461	369	A31
C2	C3	C1	574	707	403	A43
C1	C1	C1	395	463	363	A63
C2	C3	C1	614	756	396	B32
B	B	B	801	881	827	B22
C1	C1	D3	383	393	307	B41
C2	C3	C1	503	685	364	B42
C3	B	C3	724	840	725	C33
D3	C1	D3	349	367	320	C42
C1	C2	D3	414	508	306	C43
C2	C3	C1	566	679	395	C53
C3	C3	C3	711	710	716	C81
C2	C2	C1	536	540	451	CD3
C2	C2	C1	479	606	466	D43
C3	C3	C3	655	723	670	D62
C3	B	C3	693	850	703	E53
C3	C3	C3	639	636	687	E72
C2	C3	C2	577	675	573	E81



الشكل (9) مقاطع للطبقات تبين الطبقة ذات سرعة عرضية عالية للبروفيل C33 (RMS=3.8%).

تصنيف المواقع والتربة

يعدُّ التصنيف للمواقع الذي يعتمد على السرعة الوسطية للأمواج العرضية (V_{s30})، مهماً في تصميم مواصفات البناء المقاوم للزلازل وتحديدًا لتقليل الآثار التدميرية والخسائر البشرية الناتجة عن الزلازل.

يعرض الجدول (2) التصنيف الرئيس والتفصيلي للمواقع المختلف في منطقة الدراسة، إذ نلاحظ تصنيف الموقع عند البروفيل C43 (على سبيل المثال) تغيراً من الصنف D3 إلى الصنف C2، بسبب اختلاف السرعة الوسطية للأمواج العرضية المقيس بالطريقتين، وبعد جمع المقطعين من الطريقتين أصبح التصنيف النهائي للموقع نفسه C1، أي إن المباني والمنشآت التي ستقام على الموقع الذي تصنيفه D3 تحتاج إلى مواصفات وتصاميم تختلف عنها عندما يكون تصنيفه C2 أو C1، مما يؤدي إلى زيادة في التكاليف المالية أو سوء في المواصفات تتعكس على زيادة الخسائر البشرية.

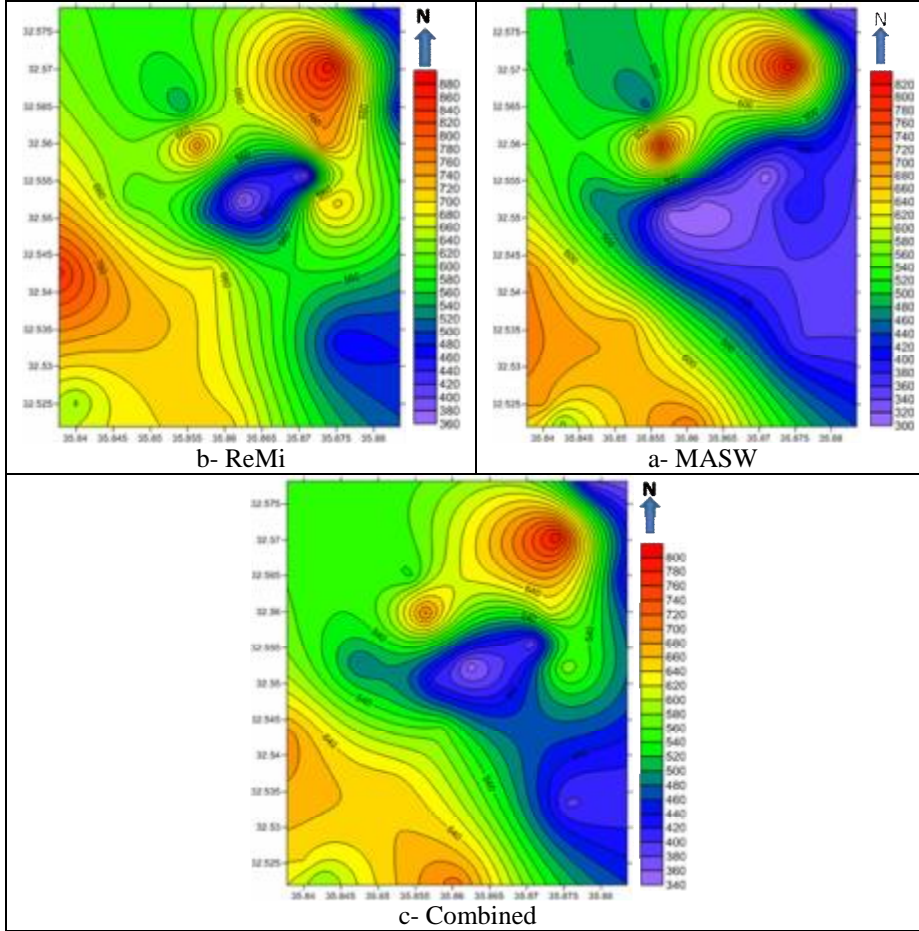
بناء على ماسبق لا نستطيع الاعتماد على استخدام MASW منفردة في الدراسات الجيوهندسية في المناطق الحضرية، وخاصة أن المساحات المدروسة صغيرة ومحدودة فيكون عمق التحري السيزمي صغيراً جداً لا يزيد على 10م في أحسن الظروف عند استخدامها، أما عند استخدام طريقة ReMi فيصل عمق التحري إلى أكثر من 30م، وهو العمق المستخدم في الدراسات الجيوهندسية والهندسة الزلزالية، وتصنيف المواقع ودراسة الاستجابة الزلزالية للمواقع، وأجريت عملية التصنيفات الرئيسة والتفصيلية للمواقع والترتبة في منطقة الدراسة بالاعتماد على تصنيف FEMA، كما في الجدول (3)، إذ حدث في التصنيف التفصيلي للموقع عند معظم البروفيلات، وذلك نتيجة اختلاف السرعة الوسطية لكل طريقة مستخدمة، وهذا ما أكدته الخرائط الكنتورية في الشكل (10) والتغيرات في السرعة الوسطية للأمواج العرضية، إذ إن الشكل (10a) يمثل السرعة الوسطية للأمواج العرضية الناتجة من طريقة MASW، إذ يبين وجود منطقة ذات سرعة عرضية منخفضة من مركز منطقة الدراسة وتزداد كلما اتجهنا نحو الشرق.

الجدول (3) التصنيفات الفرعية للمواقع والترتبة (After FEMA 1994)¹

Site Class ¹	Description	Range of Vs30 ¹
A	Hard Rock	>1500 m/s
B	Rock	760 m/s ~ 1500 m/s
C3	Very dense soil and soft rock	620 m/s ~ 760 m/s
C2		490 m/s ~ 620 m/s
C1		360 m/s ~ 490 m/s
D3	Stiff soils	300 m/s ~ 360 m/s
D2		240 m/s ~ 300 m/s
D1		180 m/s ~ 240 m/s
E	Soft soils	<180 m/s

يمثل الشكل (10b) السرعة الوسطية للأمواج العرضية الناتجة من طريقة ReMi، ويرجع انقسام المنطقة ذات السرعة العرضية المنخفضة إلى قسمين بينهما منطقة ذات

سرعة عرضية عالية؛ إلى وجود طبقة البازلت (أو فتات) على عمق يساوي تقريباً 10م، أسهمت في زيادة السرعة الوسطية إلى عمق 30م، مما أدى إلى تغيير التصنيف للمواقع والترتبة في منطقة الدراسة، وقد يؤدي إلى تغيير التصميم للمباني عند كل موقع. يمثل الشكل (10c) توزيع السرعة الوسطية (V_{S30}) الناتجة من جمع الطريقتين وتكاملهما مؤكداً وجود طبقة البازلت ذات السرعة العالية الموجودة (في بعض المواقع) ضمن طبقات التربة السطحية الأقل سرعة.



الشكل (10) خرائط كنتورية تبين توزيع السرعة الوسطية للأمواج العرضية والطريقة المستخدمة، باستخدام برنامج (Surfer).

التوصيات

يوصي الباحث بكل مما يأتي:

- 1- استخدام طريقتي تحليل متعدد القنوات النشطة وغير النشطة للحصول على عمق التحري المطلوب.
- 2- عدم الاعتماد على الطريقة النشطة فقط في الدراسات السيزموجيوهندسية في المناطق الحضرية.
- 3- إجراء دراسة تفصيلية لخصائص الطبقة ذات السرعة العالية، من حيث سمكها وعمقها وقدرة تحملها.
- 4- الاعتماد على التصنيف الفرعي للموقع وفق (FEMA) بدلاً من التصنيف الرئيس وفق (NEHRP).
- 5- التأكد من النتائج عند تباينها بسبب استخدام الطرائق المختلفة بالاعتماد على معطيات السبور.

REFERENCES

- Achenbach, J. D. 1999. *Wave Propagation in Elastic Solids*. North-Holland, Amsterdam, Netherlands.
- Aki, K. and Richards, P. G. 1980. *Quantitative Seismology, Theory and Methods* Vol. 1-2 W.H. Freeman & Co., New York.
- Al-Qaryouti, M. 2008. Attenuation relations of peak ground acceleration and velocity in the Southern Dead Sea Transform region.
- Al-Qaryouti, M. and AL-Tarazi, E. 2006. Local Site Effects Estimated from Ambient Vibration Measurements at Aqaba City, Jordan.
- Anderson, J.G. and Lee, Y. Z. 1996. Control of strong motion by the upper 30 meters. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86, 1749–1759.
- Borcherdt, R. D. 2002. Empirical evidence for site coefficients in building code provisions, *Earthquake Spectra* 18 (2), 189–217.
- BSSC (Building Seismic Safety Council), 1998. 1997 Edition NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA 302/303, Part 1(Provisions) and Part 2 (Commentary), developed for the Federal Emergency Management Agency, Washing, DC., 337p.
- Cramer, C. H. 2003. Site-specific seismic hazard analysis that is completely probabilistic, *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, pp. 1841–1846.
- FEMA 222A, 1994. NEHRP recommended provisions for the development of seismic regulations for new buildings, 1994 edition, Part 1 – provisions, Federal - 18 - Emergency Management Agency, 290p.
- Kramer, S. L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Okada, H. 2003. *The Microtremor Survey Method*, Geophysical Monograph Series, no.12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 135 p.
- Park, C. B. and Miller, R. D. 2008. Roadside passive multichannel analysis of surface waves (MASW): *Journal of Engineering and Environmental Geophysics (JEEG)*, accepted for publication in March, 2008, issue.
- Park, C. B. Ivanov, J., Brohammer, M. 2006. *SurfSeis 2.0 user manual*. Kansas Geological Survey, 38 pp.
- Park, C. B. Miller, R. D. Ryden, N. Xia, J. and Ivanov, J. 2005. Combined use of active and passive surface waves: *Journal of Engineering and Environmental Geophysics (JEEG)*, 10 (3), pp. 323-334.
- Stokoe II and Santamarina. (2000). "Seismic-Wave-Based Testing in Geotechnical Engineering, Melbourne.