

قياس متوسط سرعة أمواج القص باستخدام طريقة متعددة القنوات للأمواج السطحية (ماسو) وعلاقتها بقدرة التحمل، وعمق التأسيس، وسماكة التربة

عبدالله رضا علاونه^{(1)*} و نضال شقير^{(2)*} و رشيد جرادات^{(3)**}

^(*) قسم الجيولوجيا – كلية العلوم – جامعة دمشق – سورية
^(**) قسم علوم الأرض والبيئة – كلية العلوم – جامعة اليرموك – الأردن

تاريخ الإيداع 2012/04/19

قبل للنشر في 2012/11/05

الملخص

يزداد تطبيق طريقة متعددة القنوات للأمواج السطحية (ماسو) في دراسة المشكلات الجيوتقنية الزلزالية والهندسية لسهولة تطبيقها وإعداداتها الحقلية، وحفظها للوقت والتكاليف، وتقليلها من عدد السبور.

أظهر البحث أهمية استخدام ماسو النشطة وغير النشطة، لقياس متوسط سرعة أمواج القص للطبقات السطحية العليا حتى عمق 30م في مدينة إربد شمال الأردن، وجرى ذلك بجمع نتائج طريقة متعددة القنوات النشطة وغير النشطة، فضلاً عن دراسة العلاقة بين متوسط سرعة القص والمتغيرات الجيوتقنية الآتية: قدرة التحمل، وعمق التأسيس، ومتوسط سماكة التربة.

بيّنت نتائج الدراسة وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين متوسط سرعة أمواج القص للطبقات السطحية مع البيانات الجيوهندسية؛ وقدرة التحمل (طردية $R^2=0.8544$)، وعمق التأسيس (عكسية $R^2=0.8282$) وسماكة عمود التربة (عكسية $R^2=0.8317$)، ومدى أهمية استخدام المسح السيزمي في الدراسات الجيوهندسية.

الكلمات المفتاحية: طريقة متعددة القنوات، ماسو، المسح السيزمي، سرعة أمواج القص، الأمواج السطحية قدرة التحمل، عمق التأسيس، سماكة عمود التربة، إربد، الأردن.

(1) طالب، (2) الأستاذ المشرف، (3) الأستاذ المشرف المشارك.

Measurement of Average Shear Wave Velocity by Using Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Method and It's Relation with Bearing Capacity, Depth of Embedment, Soil thickness

A. R. Alawneh^{*(1)} ; N. Shouker^{*(2)}
and R. Jaradat^{** (3)}

^(*) Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

^(**) Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Sciences, Yarmouk University, Jordan.

Received 19/04/2012

Accepted 05/11/2012

ABSTRACT

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) is increasingly applied in earthquake engineering and geotechnical problems, because of simple field procedures, time and cost saving. It can allow for maximum areal coverage, thus reduces the number of needed boreholes.

This study illustrates the importance of the use of active and passive MASW to measure the average shear wave velocities of the upper surface layers (upper 30m) of the city of Irbid in North Jordan by integrating the outputs of the active and passive approaches, and by investigating the relationship between the estimated average shear wave velocity with the following geotechnical variables, Bearing capacity, depth of embedment, and soil thickness.

The results show the existence of significant relationships between the estimated average shear wave velocities (V_{S30}) and a number of geoenvironmental parameters; bearing capacity (increasing $R^2=0.8544$), depth of embedment (decreasing $R^2=0.8282$), soil thickness (decreasing $R^2=0.8317$).

Key Words: Multichannel method, MASW, Seismic survey, Shear wave velocity, V_{S30} Surface waves, Bearing capacity, Depth of embedment, Thickness of soil column, Irbid, Jordan.

⁽¹⁾ Student, ⁽²⁾ Supervisor, ⁽³⁾ Associated supervisor.

المقدمة

ازداد في السنوات الأخيرة استخدام طريقة متعددة القنوات للأمواج السطحية (Multichannel Analysis of Surface Waves) واختصارها (MASW) في دراسة المشكلات الجيوتقنية الزلزالية مثل التمنطق الزلزالي (MicroZonation) واستجابة الموقع (Site Response)، كما تستخدم طريقة (MASW) على نطاق أوسع في السيزموجيوهندسية؛ وذلك من خلال دراسة سرعة أمواج القص (Shear Waves Velocity/ Vs) ومعاملات المرونة وتقييم خصائص المواد وتحديد سماكة الطبقات السطحية المختلفة وأعماقها.

تعدُّ طريقة متعددة القنوات (MASW) من الطرائق السيزمية غير الهدامة ويمتاز استخدامها بسهولة التطبيق في المناطق الحضرية واختصاراً للوقت والمال والجهد وتقلل من عدد السبور المطلوب حفرها، ويمكن أحياناً الاستغناء عن حفر السبور إلا إذا دعت الحاجة للحفر، كما تستخدم في الدراسات الجيوهندسية للمواد والطبقات القريبة من السطح (Park et al., 1999a; Xia et al., 1999; Miller et al., 1999).

من أهم العوامل الجيوهندسية التي تُدرس في الأعمال المخبرية (عينات التربة المأخوذة من السبور المحفورة في منطقة الدراسة) وصلابة التربة وقدرة تحملها للإجهادات والأحمال الواقعة عليها بفعل المباني والمنشآت التي ستقام عليها، إذ إنَّ تصميم التأسيس للمباني والمنشآت بأنواعها واختيارها يعتمد على قدرة تحمل التربة وعمق التأسيس الآمن، وعليه تُفرَّغ الأجزاء العلوية للتربة للوصول إلى طبقة ذات قدرة تحمل مناسبة للمنشأة وعلى عمق آمن يعرف بعمق التأسيس، ويكون حجم التشوه الناتج في المنشأة عند هذا العمق مسموحاً به وغير ملموس وعدم ظهور الحد الأقصى لهبوط التربة (Settlement). ويكون عمق التأسيس الآمن والمناسب للمنشأة والطبقة ذات قدرة التحمل المناسبة للمنشأة أسفل عمق النطاق النشط (Active Zone)، ويختلف عمود التربة في مدينة إربد إذ يصل إلى 14م (Alawneh, 1988)، لذا يصل عمق النطاق النشط في مدينة إربد (الجهة الشرقية) إلى 3م (Nusier and Alawneh, 2002).

أهداف البحث

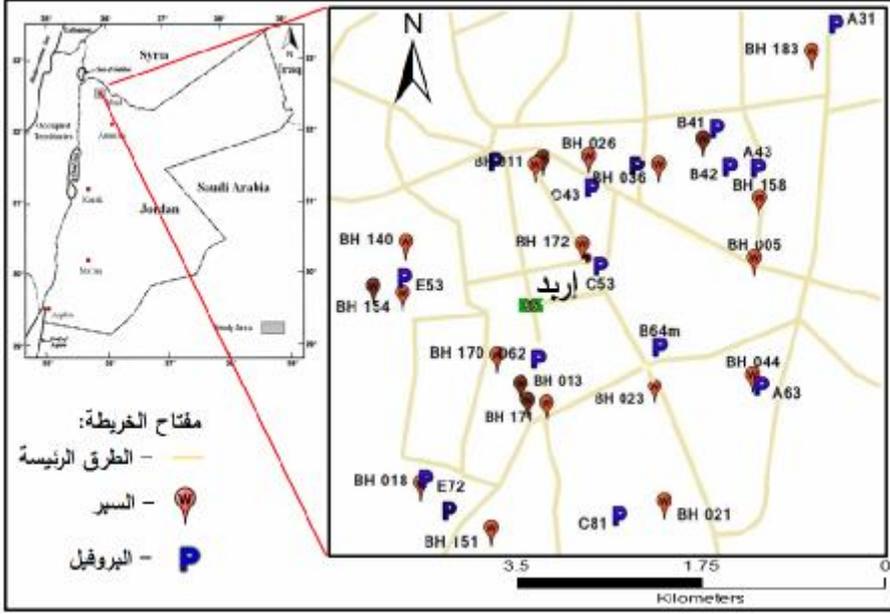
هَدَفَ هذا البحث إلى:

- 1- دراسة العلاقة بين قيم سرعة أمواج القص مع قدرة تحمل التربة من جهة وعمق التأسيس من جهة أخرى.
- 2- إيجاد علاقة (معادلة) رياضية تجريبية خاصة في منطقة الدراسة بين متوسط سرعة أمواج القص وكل من؛ قدرة التحمل، وعمق التأسيس، وسماكة عمود التربة.

3- رسم خرائط كنتورية تبين توزيع كل من سرعة أمواج القص وتباينها وقدرة التحمل وعمق التأسيس وسماكة عمود التربة، وملاحظة مدى التوافق بين كل منها في منطقة الدراسة.

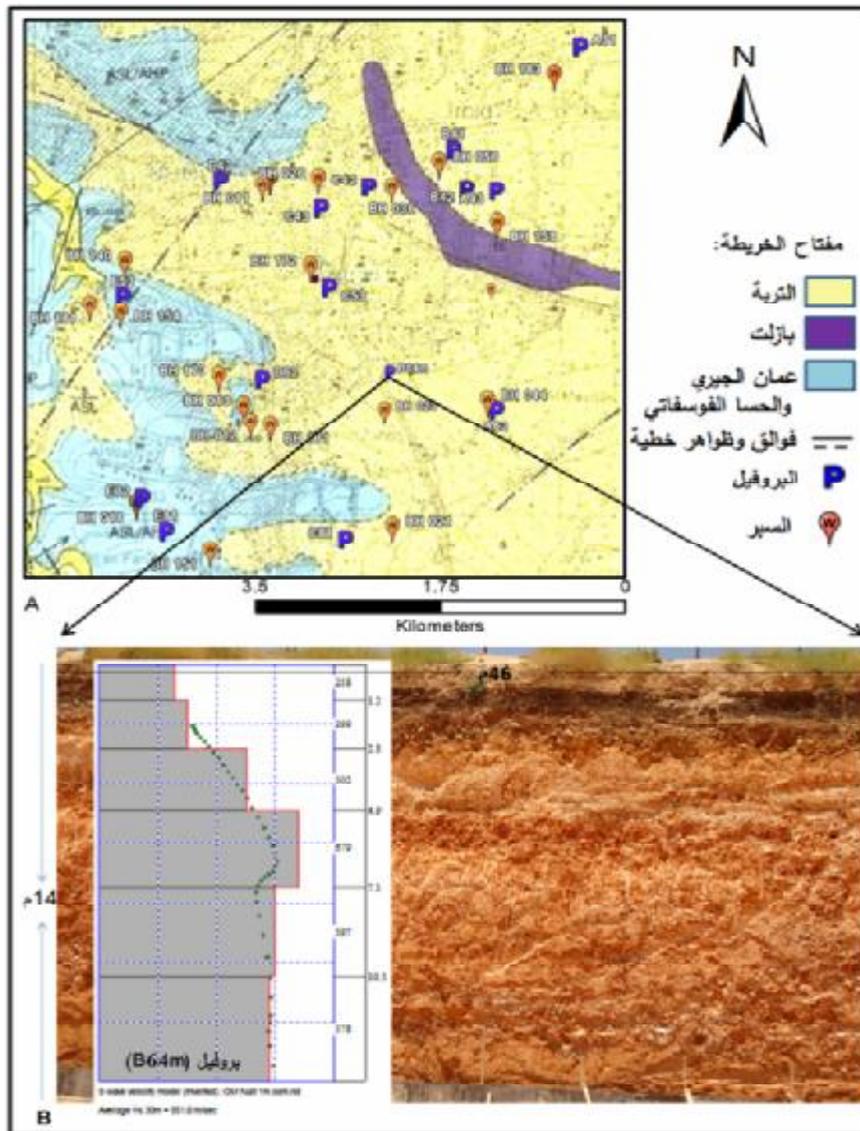
منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة (جزء من مدينة إربد) التي تقع شمال الأردن، والمحصورة تقريباً بين خطي طول $^{\circ}35.835 - 35.885$ شرقاً، وخطي عرض $^{\circ}32.520 - 32.567$ شمالاً، (الشكل 1)، والتي تبعد نحو 25 كم عن صدع البحر الميت التحويلي شرقاً المصدر الرئيس لحدوث الزلازل في المنطقة.



الشكل (1) خريطة لمنطقة الدراسة تبين توزيع البروفيلات والسبور عليها.

ويعرض الشكل (2A) الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة والمناطق المجاورة إذ إن التربة تغطي معظم المنطقة وخاصة الجهة الشرقية والشمالية الشرقية، وتكتشف الصخور في المنطقة الجنوبية والجنوبية الغربية ويبين الشكل (2B) المقطع العرضي والتعاقب الطبقي في حفرة عمقها 14م حفرت في أحد أجزاء منطقة الدراسة لبناء مول في مدينة إربد ومقارنته بالمقطع النهائي الذي يمثل متوسط سرعة أمواج القص عند منتصف البروفيل (B64m) الذي طوله 46م ويقع على بعد 30م تقريباً من الحفرة شمالاً.



الشكل (2)

- A- الخريطة الجيولوجية وتوزيع السيور والبروفيلات (Moh'd B.1997).
 B- صورة لمقطع عرضي من حفرة لبناء مول عليها مقطع لسرعة أمواج القص (الباحث).

البيانات الجيوهندسية:

يعرض الجدول (1) البيانات الجيوهندسية اللازمة للبحث (قدرة التحمل وعمق التأسيس وسمك التربة) التي جُمعت من المكاتب الهندسية المختصة بحفر السبور لأغراض البناء، فمنها يتعلق بمشاريع حكومية ومنها لأغراض بحثية لنيل درجة الماجستير ومنها لأغراض المشاريع الخاصة، وكان عدد السبور 20 سبوراً موزعة في منطقة الدراسة (إربد) قورنت بياناتها الجيوهندسية بالبيانات السيزمية للبروفيلات السيزمية التي عددها 15 بروفيلاً، فكان عدد القراءات في هذه الدراسة البحثية 23 قراءة الناتجة من مقارنة بيانات البروفيلات ببيانات السبور القريبة منها حيث ارتبط بعض البروفيلات مع أكثر من سبر، كما يوضحه الشكلان (2،1).

الجدول (1) البيانات السيزمية والجيوهندسية المرتبطة بالبروفيلات والسبور.

رقم القراءة	رقم البروفيل	متوسط سرعة أمواج القص (م/ثا) MASW	متوسط سرعة أمواج القص (م/ثا) ReMi	متوسط سرعة أمواج القص (م/ثا) MASW+ReMi =Vs30	رقم السبر	متوسط سمك عمود التربة (م)	قدرة التحمل (كغم/سم ²)	عمق التأسيس (م)
1	A31	369	461	410	183	10	1.86	3
2	A43	403	707	574	158	1.9	2.25	2
3	A63	363	463	395	44	8.3	1.84	3
4	B41	307	393	383	56	12	1.7	3
5	B42	364	685	503	158	1.9	2.25	2
6	B64m	712	612	658	23	1.5	2.6	1.2
7	C42	320	367	349	26	11	1.5	3.2
8	C42	320	367	349	36	8	1.82	3
9	C43	306	508	414	26	11	1.5	3
10	C53	395	679	566	172	1.2	2.05	1.5
11	C81	716	710	711	21	0.9	2.65	1
12	D43	466	606	479	11	6	1.8	3
13	D43	466	606	479	167	5.5	1.86	3
14	D62	670	723	655	12	0.3	2.65	1
15	D62	670	723	655	13	0.75	2.9	1
16	D62	670	723	655	170	1.5	2.8	2
17	D62	670	723	655	171	0.2	2.6	1
18	E53	703	850	693	140	1.25	3	1.5
19	E53	703	850	693	154	1	2.6	1.25
20	E53	703	850	693	181	0.65	2.6	0.8
21	E72	687	636	639	18	0.6	2.65	1
22	E72	687	636	639	159	0.2	2.84	1
23	E81	573	675	577	151	0.6	2.6	1

المسح السيزمي الحقلية:

يبين الشكل (2) مخططاً توضيحياً وصوراً لبعض الأعمال السيزمية الحقلية التي نُفذت في منطقة الدراسة بطريقة متعددة القنوات (MASW)، ويمكن تسميتها (ماسو) وتنقسم إلى قسمين؛ طريقة ماسو النشطة (Active MASW) وماسو غير النشطة (Passive MASW) (Zywicki, D.J. 1999)، وتنقسم الطريقة غير النشطة إلى طريقة خطية أحادية البعد (1D) والمعروفة بالطريقة الانكسارية للهزات الدقيقة (Microtremor Refraction) واختصارها (ReMi) لأنَّ إعداداتها الحقلية خطية تتشابه مع إعدادات الطريقة الانكسارية التقليدية، وطرائق غير خطية ثنائية البعد (2D) يكون ترتيب اللواقط فيها على شكل مثلث أو دائرة أو حرف ل، ويبين الجدول (2) أهم الأدوات والتجهيزات في جمع البيانات السيزمية ونوع المسح، وسُجّلت البيانات السيزمية في كل بروفييل بالطريقة النشطة حيث المنبع على يمين البروفيل ويساره واختيار 10 ضربات تكديس، فضلاً عن تسجيل واحد بالطريقة غير النشطة (22-30 قراءة).



الشكل (2) مخطط توضيحي وصور حقلية تبين الإعدادات الخطية للبروفيلات في أثناء المسح السيزمي.

الجدول (2) ملخص الأدوات والتجهيزات 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	24/ vertical /4.5 Hz	24 / vertical /4.5 Hz
Receiver array	Linear	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

معالجة البيانات السيزمية:

بشكل عام، لحظ نوعان من الأمواج السطحية وبشكل واسع في التقيب السيزمي وعلم الزلازل هما؛ أمواج رايلي (Rayleigh Waves) وأمواج لف (Love Waves)، (Dobrin and Savit, 1988).

وتسمى هذه الأمواج بـ (Ground Roll/G.R.)، وهي عبارة عن أمواج سطحية تتولد في أنواع المسح السيزمي السطحي جميعها عند استخدام الطرق العمودي (الشاقولي) لتوليد الطاقة السيزمية، إذ إن أكثر من ثلثي الطاقة السيزمية المتولدة تتحول إلى (G.R.) (Heisey et al., 1982)، أي إن ثلثي الطاقة السيزمية يتحول إلى أمواج رايلي (Richart et al., 1970). عادة يفترض أن طور سرعة الأمواج السطحية (G.R.) تساوي تقريباً 92% من سرعة أمواج القص (Stokoe et al., 1994)، وتستخدم أمواج رايلي السطحية في المسح السيزمي بطريقة ماسو لقياس سرعة أمواج القص (Vs) في الدراسات الجيوهندسية والهندسة الزلزالية.

وتتألف عملية معالجة البيانات السيزمية من ثلاث خطوات رئيسية، انظر الأشكال (3، 4، 5):

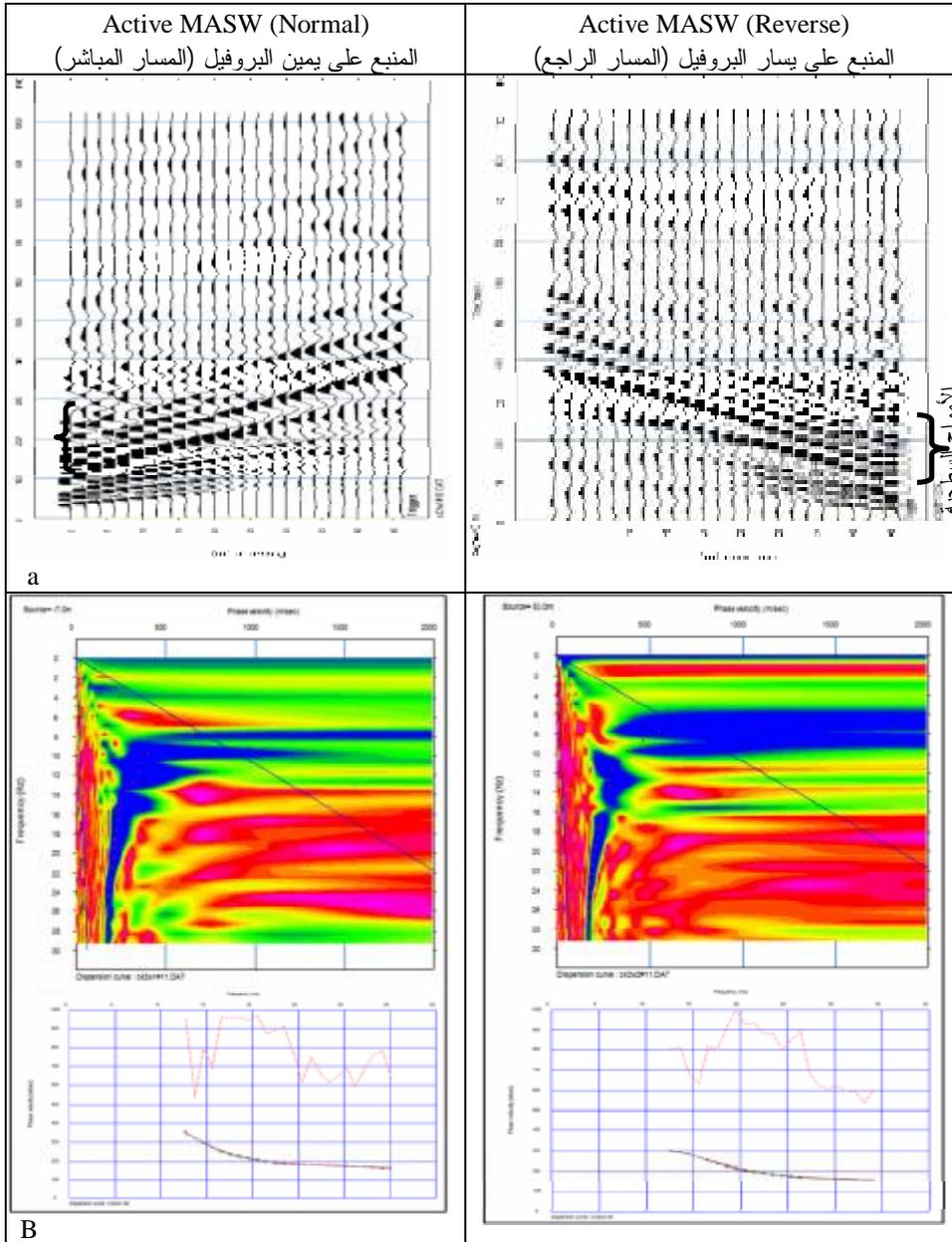
1- تسجيل السيزموغرام (Seismogram) للأمواج السطحية (G.R.) في الحقل، الشكل (3-a).

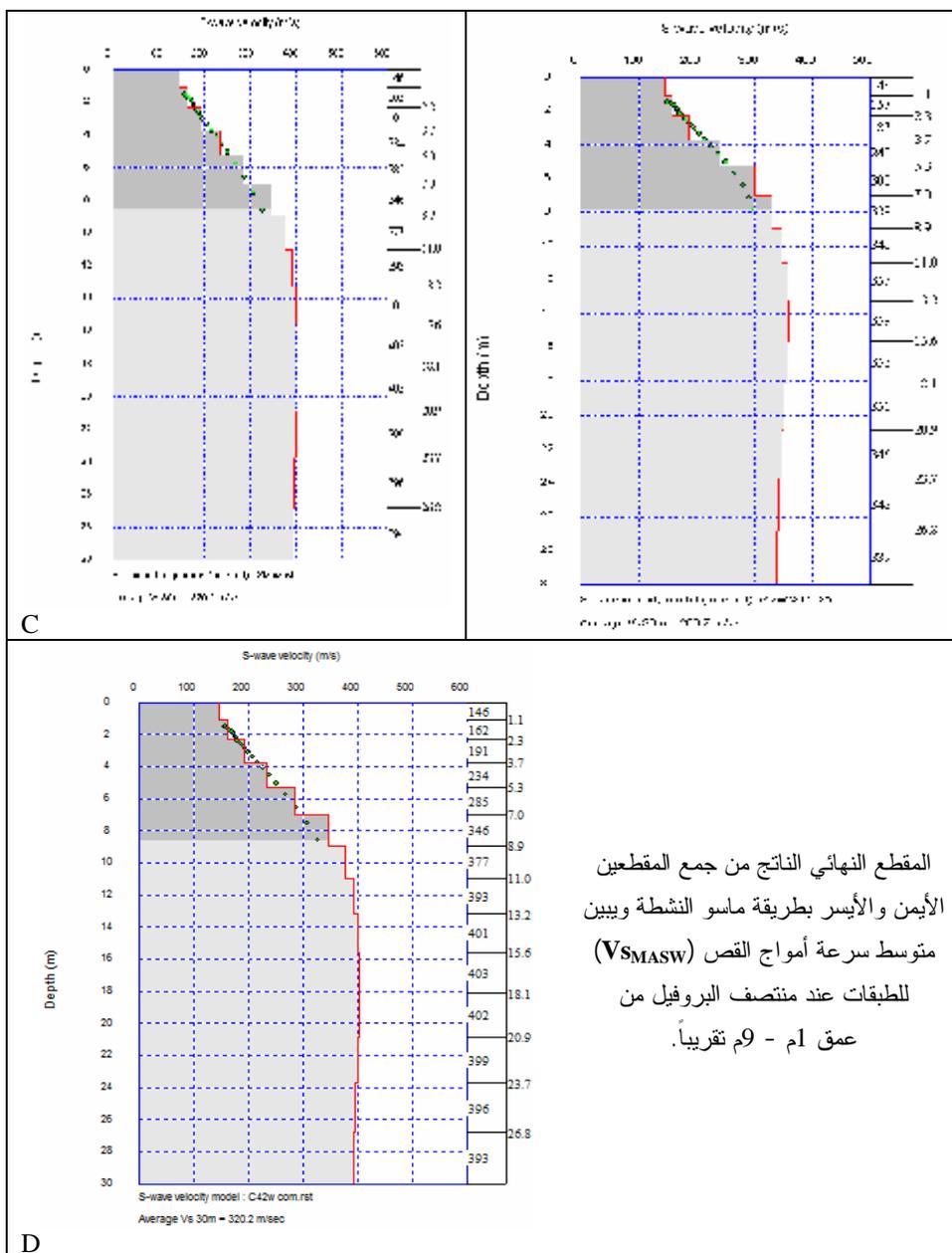
2- حساب التغير في سرعة طور الأمواج السطحية، إذ إن تغير سرعة الأمواج عند كل طول موجي يسمى سرعة الطور (Phase velocity) (Bath, 1973)، ثم يرسم منحنى التشتت (Dispersion Curve) ويمثل العلاقة بين سرعة الطور والتردد الشكل (3-b)،

وتتمتاز أمواج رايلي بظاهرة التشنت (الانتشار) التي تحدث نتيجة التغير في سرعة طور الأمواج السطحية وترددها في أثناء انتقالها بين الطبقات السطحية.

3- إعادة حساب منحنى التشنت والحصول على مقاطع أحادية البعد (1D) (Park et al., 2006) تمثل سرعة أمواج القص مع العمق الشكل (3-c)، الخطوتان (2) و(3) تتم أوتوماتيكياً باستخدام برمجية سايزامجر (SeisImager Software)، والجمع بين مقاطع سرعة أمواج القص الناتجة من الطريقتين النشطة وغير النشطة للحصول على مقطع يصل عمقه إلى 30م أو أكثر خاصة في المناطق الحضرية لعدم إمكانية استخدام منبع سيزمي أكبر (مثل سقوط كتله) للوصول إلى مثل هذا العمق اللازم في هذه الدراسة.

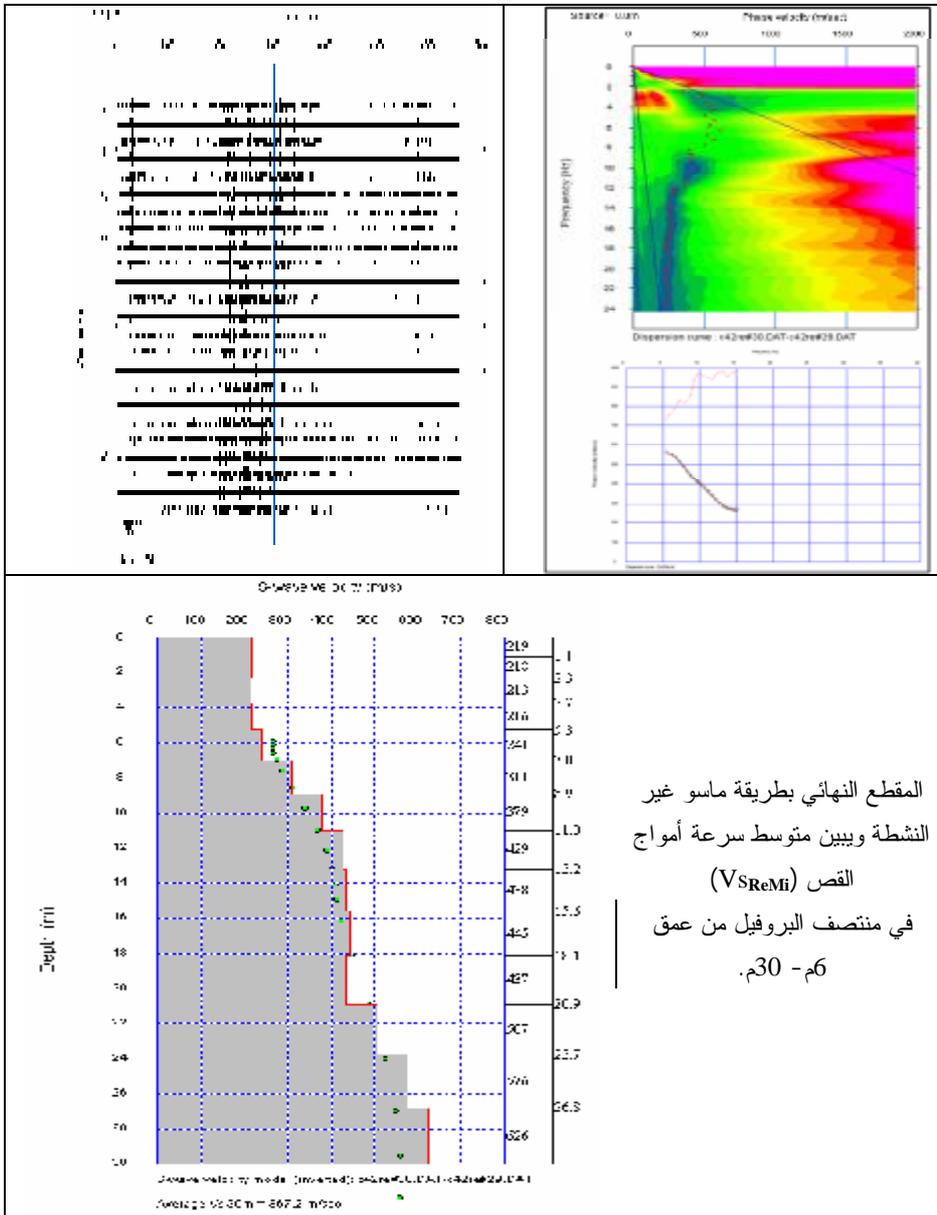
إذ تحلل البيانات الناتجة من مساري البروفيل المباشر والراجع، ثم تجمع النتائج لتعطي مقطعاً يبين متوسط سرعة أمواج القص للطبقات السطحية الواقعة أسفل النقطة عند منتصف البروفيل الشكل (3-d) إلى عمق 9م تقريباً لأنها تسجل الأمواج ذات التردد المرتفع والطول الموجي القصير والمسافة بين اللواقط صغيرة (2م)، ويمكن زيادة عمق الاختراق للأمواج وذلك بزيادة المسافة بين اللواقط وزيادة طاقة المنبع السيزمي، كما حُلَّت البيانات المسجلة بالطريقة غير النشطة الشكل (4) التي تغطي من 6م - 30م لأنها تسجل الأمواج ذات التردد المنخفض والطول الموجي الكبير وقد طوّرت مؤخراً (Park et al., 2007) ليصل العمق إلى (100م)، ثم يجمع بين المقطعين ليُعطي مقطعاً رئيساً واحداً (الشكل 5) لمتوسط سرعة أمواج القص حتى عمق 30م، وحُلَّت 15 بروفيلاً بالخطوات نفسها، سُجِّلَت في منطقة الدراسة في الشهر التاسع لعام 2011، ورُبط بعضها مع أكثر من سير (أو العكس) عند البحث في العلاقة بين متوسط سرعة أمواج القص والبيانات الجيوهندسية اللازمة في التصميم واختيار التأسيس للمباني والمنشآت، كما في الجدول (1).





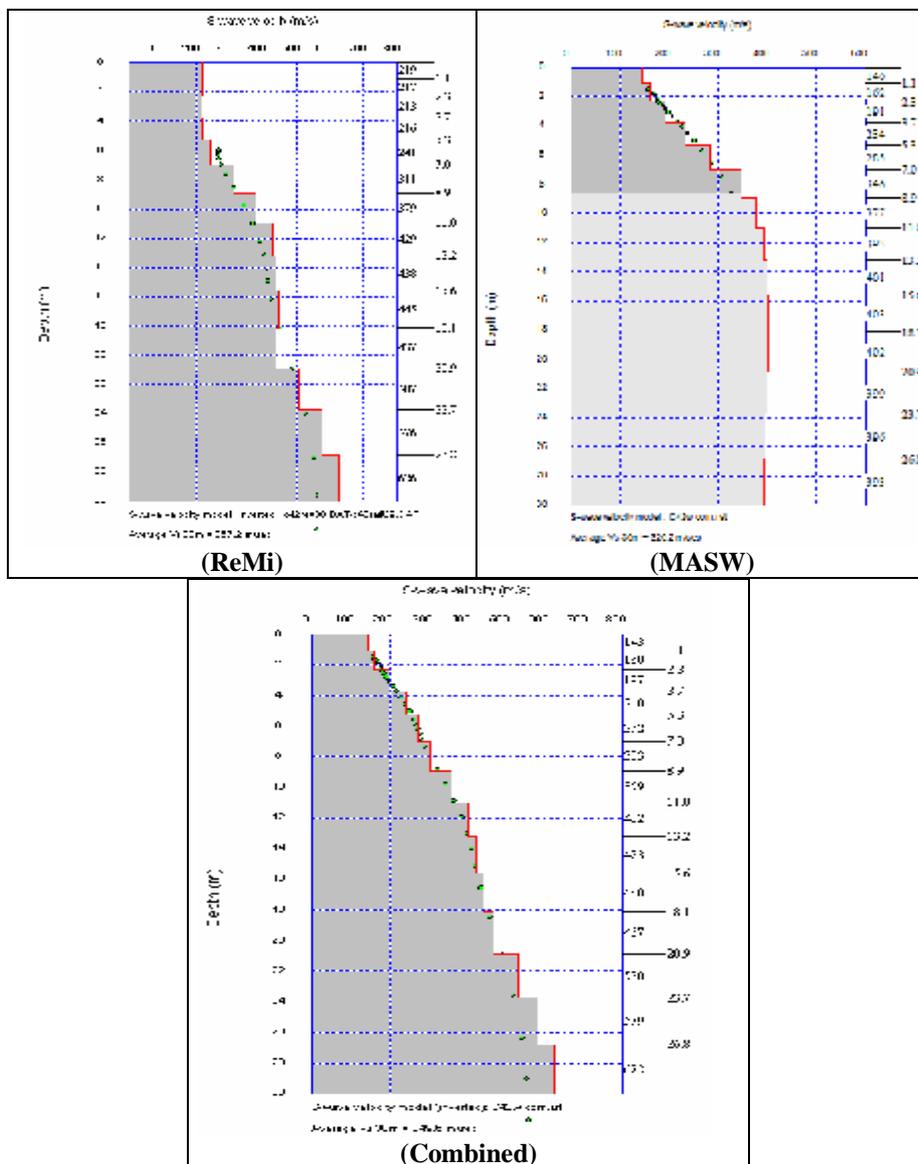
المقطع النهائي الناتج من جمع المقطعين الأيمن والأيسر بطريقة ماسو النشطة ويبين متوسط سرعة أمواج القص (V_{SMASW}) للطبقات عند منتصف البروفيل من عمق 1م - 9م تقريباً.

الشكل (3) نتائج خطوات عملية تحليل البيانات المسجلة بطريقة ماسو النشطة للبروفيل (C42).



المقطع النهائي بطريقة ماسو غير
النشطة وبيين متوسط سرعة أمواج
القص (V_{sReMi})
في منتصف البروفيل من عمق
6م - 30م.

الشكل (4) نتائج خطوات عملية تحليل البيانات المسجلة بطريقة ماسو غير النشطة للبروفيل (C42).



الشكل (5) المقطع النهائي الناتج من جمع مقطعي الطريقتين للبروفيل (C42).

النتائج ومناقشتها

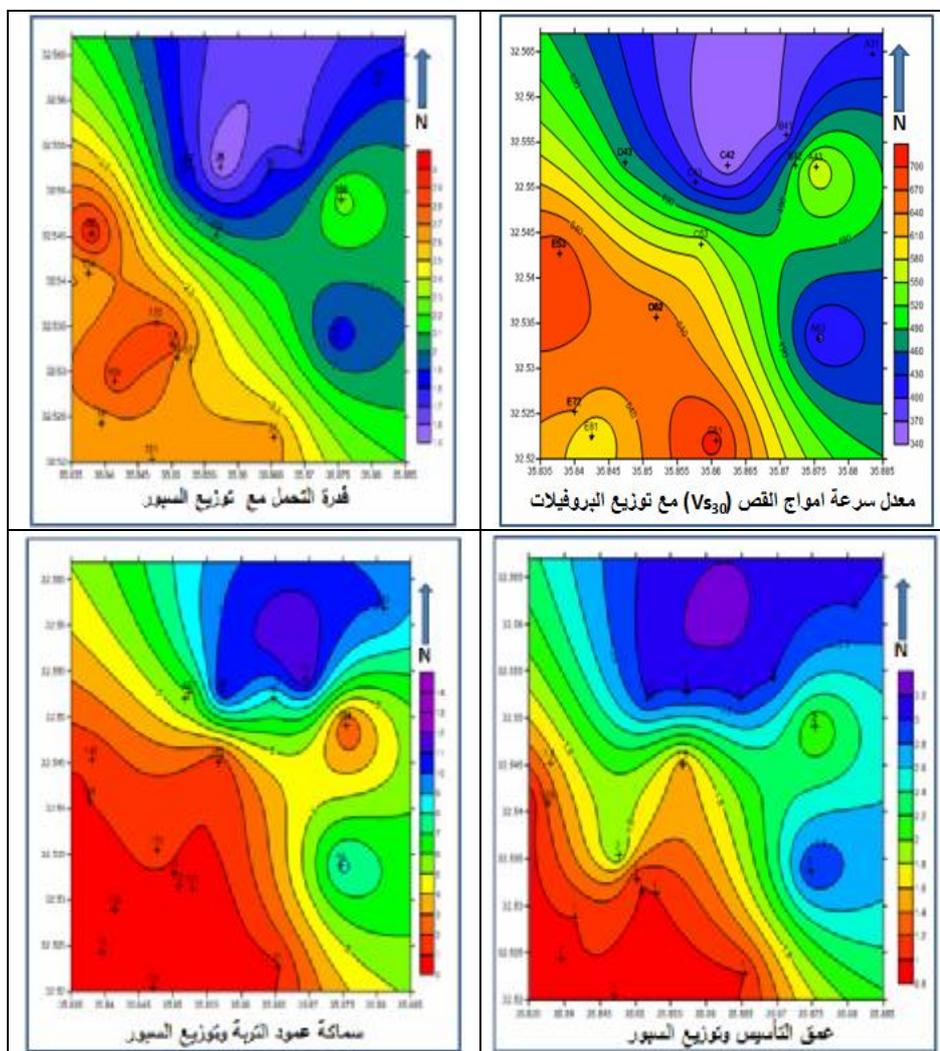
أظهرت نتائج المسح السيزمي في منطقة الدراسة أنها تتماثل وتتطابق بشكل كبير في توزيع التباين والاختلاف في البيانات الجيوهندسية فيما بينها من جهة ومتوسط سرعة أمواج القص من جهة أخرى، وتنقسم منطقة الدراسة إلى قسمين رئيسيين بينهما حد فاصل يمتد من الزاوية الشمالية الغربية إلى الجنوبية الشرقية اعتماداً على اختلاف البيانات السيزمية والجيوهندسية، وكانت أهم هذه النتائج:

1- متوسط سرعة أمواج القص (V_{S30}) في المنطقة الشمالية الشرقية قليل يساوي 349 م/ثا ذات قدرة التحمل المنخفضة وعمق التأسيس العميق، وكذلك في المنطقة الجنوبية الشرقية تساوي 400 م/ثا.

2- متوسط سرعة أمواج القص (V_{S30}) في المنطقة الجنوبية الغربية كبير يساوي 711 م/ثا.

3- وجود منطقة ذات سرعة أمواج قص متوسطة، ويساوي 550 م/ثا، تقع بين المنطقتين (ذات السرعة المنخفضة)؛ وهذا يدل على وجود طبقات ذات سرعات قص عالية 850 م/ثا غير مستمرة في التربة وعلى عمق يراوح 5-8م فكان التطابق كبيراً مع البيانات الجيوهندسية التي أشارت إلى وجود البازلت في المنطقة.

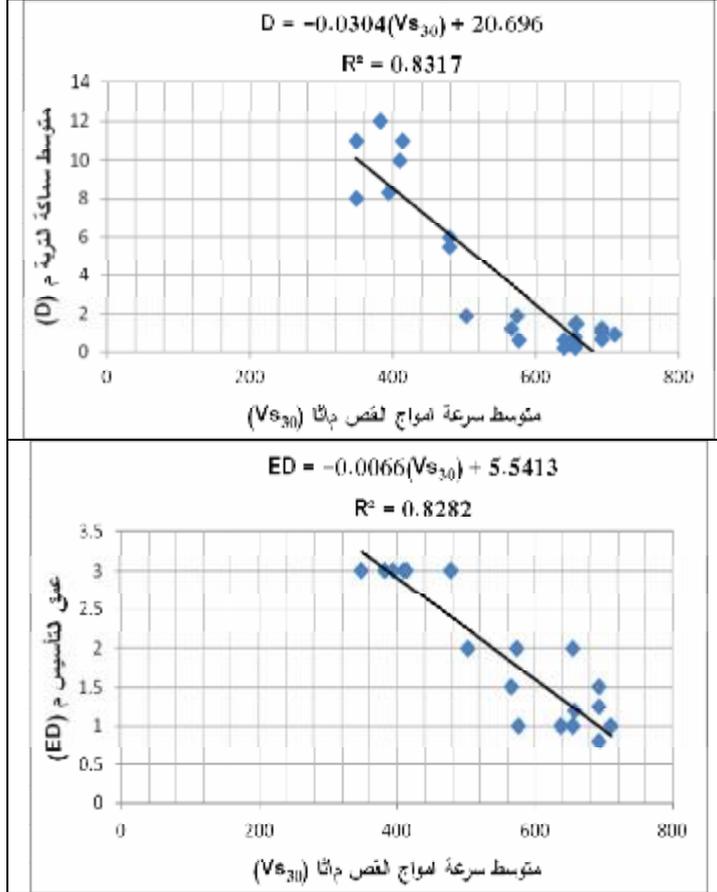
توضّح الخرائط الكنتورية في الشكل (6) توزيع التباين والاختلاف والتغيرات شبه المنتظمة في قدرة التحمل وعمق التأسيس وسماكة عمود التربة ومتوسط سرعة أمواج القص في منطقة الدراسة، إذ تزداد سماكة عمود التربة كلما انتقلنا من الزاوية الجنوبية الغربية 0.2-1م إلى الزاوية الشمالية الشرقية 10-12م والزاوية الجنوبية الشرقية 8-9م ويفصل بينهما منطقة ذات سماكة متوسطة لعمود التربة 2-3م وذلك بسبب وجود البازلت على شكل طبقات متصلة مختلفة السماكة أحياناً أو على شكل كتل صخرية مختلفة الحجم وقطرها يساوي 0.1-2م ولم تؤخذ بالحسبان في الدراسات الجيوهندسية، واختلاف سماكة عمود التربة أدت إلى التباين والاختلاف في قدرة التحمل وعمق التأسيس في المنطقة، إذ إن عمق التأسيس يراوح من 0.8م - 3.2م، أما قدرة تحمل التربة فنقل كلما انتقلنا من الزاوية الغربية الأقل سماكة للتربة 3 كغم/سم² نحو الزاوية الشمالية الشرقية الأكبر سماكة للتربة 1.5 كغم/سم² والجنوبية الشرقية 1.7 كغم/سم²، وتتناسب قدرة تحمل التربة تناسباً عكسياً مع كل من عمق التأسيس وسماكة عمود التربة، لكنها تناسب طردياً مع متوسط سرعة أمواج القص، ويعني ذلك أنه كلما زادت سماكة عمود التربة قلت قدرة تحملها وازداد عمق التأسيس وقل متوسط سرعة أمواج القص، وازداد عمق صخر الأساس 14م في المناطق ذات السرعة المنخفضة.



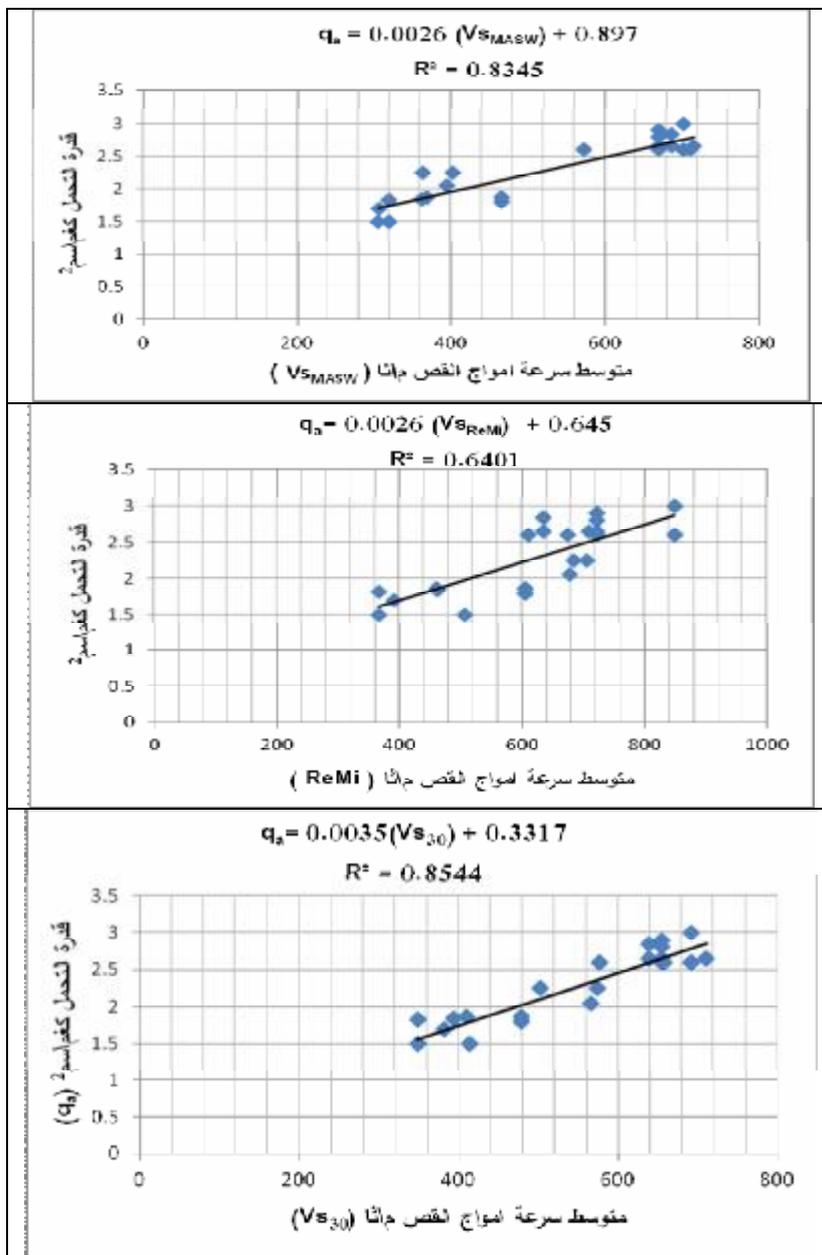
الشكل (6) خرائط كنتورية توضح تباين البيانات السيزمية والجيوهندسية في منطقة الدراسة.

أمّا الرسوم البيانية في الشكلين (7) و(8) والمعادلات الرياضية التجريبية الموجودة أعلى الشكل فأضافت تأكيداً إلى دقة العلاقة الإحصائية بين نتائج المسح السيزمي والبيانات الجيوهندسية؛ مما دل على صلاحية طريقة متعددة القنوات للأمواج السطحية

كطريقة مناسبة في المسح السيزمي وبديلة للحصول على البيانات الجيوهندسية، إذ كان معامل الارتباط (R^2) عاليا جدا والذي يربط العلاقة بين متوسط سرعة أمواج القص (V_{S30}) وكل من قدرة التحمل وسماكة عمود التربة وعمق التأسيس (0.8544، 0.8317، 0.8282) على الترتيب، وهذا مؤشر كبير على وجود علاقة رياضية ذات دلالة إحصائية بين السرعة والمتغيرات الجيوتقنية ويمكن الاستفادة منها في الدراسات الجيوهندسية للحصول على نتائج أولية وفكرة عامة عن خصائص التربة وطبيعتها لأي موقع في المنطقة قبل البدء بإقامة المشاريع عليه، حيث تم الحصول على الرسوم البيانية والمعادلات التجريبية الخطية باستخدام برمجية إكسل.



الشكل (7) العلاقة العكسية لمتوسط سرعة أمواج القص (V_{S30}) مع سمك التربة وعمق التأسيس.



الشكل (8) العلاقة الطردية لقدرة التحمل مع متوسط سرعات أمواج القص عند كل بروفيل.

التوصيات

توصي الدراسة بما يأتي:

- 1- استخدام طريقة متعددة القنوات في المسح السيزمي الجيوهندسي، اختصار للوقت والمال والجهد.
- 2- زيادة عدد البروفيلات في الدراسات الجيو تقينية للمواقع في حالة المشاريع والمباني الكبيرة، والتقليل من عدد السبور التي تسبب خلخلة وتشوها في طبيعة الموقع.
- 3- استخدام طريقتي متعددة القنوات النشطة وغير النشطة معاً في المواقع ذات السماكات الكبيرة للتربة.
- 4- تطوير العلاقات والمعادلات الرياضية التجريبية الخاصة في منطقة الدراسة؛ وذلك من خلال زيادة عدد السبور والبروفيلات في منطقة الدراسة، بحيث تكون قريبة في مواقعها واستخدام الأسلوب نفسه في دراسة العلاقة بين البيانات السيزمية والجيو تقينية لتصبح أكثر دقة ويمكن تعميمها على المنطقة.

المراجع REFERENCES

- 1- Alawneh, A. S., 1988. Shear Strength Characteristics of Some Selected Irbid Soil, Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Jordan University of Science and Technology, 151p.
- 2- Bath, M., 1973. Introduction to seismology, A Halsted Press Book, 395pp.
- 3- Dobrin, M. B. and Savit, C. H., 1988. Introduction to geophysical prospecting, 4th ed., McGraw-Hill, Inc., 867 pp.
- 4- Heisey, J. S. Stokoe II, K. H. and Meyer, A. H., 1982. Moduli of pavement systems from spectral analysis of surface waves, Transportation Research Record No. 852, 22-31.
- 5- Miller, R.D. Xia, J. Park, C.B. and Ivanov, J., 1999. Using MASW to map bedrock in Olathe, Kansas [Exp. Abs.], Soc. Explor. Geophys., pp. 433-436.
- 6- Moh'd, B., 1997. The geology of Irbid area, map sheet 3155 II, Bulletin 46, Natural Resources Authority (NRA), Amman, Jordan.
- 7- Nusier, O. K. and Alawneh, A. S., 2002. Damage of Reinforced Concrete Structure due to Severe Soil. Journal of Performance of Constructed Facilities, 16, No. 1, pp. 33-41.
- 8- Park, C.B. Miller, R.D. and Xia, J., 1999a. Multi-channel analysis of surface waves, Geophysics, 64(3), 800-808. Geophysics, 64(3), pp.800-808.
- 9- Park, C.B. Ivanov, J. and Broha mmer, M. 2006. SurfSeis 2.0 user manual. Kansas Geological Survey, pp.38.
- 10- Park, C.B. Miller, R.D. Ryden, N. Xia, J. and Ivanov, J., 2007. ultichannel analysis of surface waves (MASW)-active and passive methods. The Leading Edge., Vol. 26/1, pp. 60-64.
- 11- Stokoe II, K. H. Wright, G. W. James, A. B. and Jose, M. R., 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites, ISSMFE Technical Committee No.10, edited by R. D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.
- 12- Xia, J. Miller, R.D. and Park, C.B., 1999. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, 64(3), pp. 691-700.
- 13- Zywicki, D. J., 1999. Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves, Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, pp. 228.