IBGM
IRAQI BULLETIN OF GEOLOGY AND MINING
Global Impact Factor 0.744
مجلة الجيولوجيا والتعدين العراقية المجلد/ 12، العدد/ 2، العام 2016 الصفحة 1 – 10

فعالية استخلاص سرعات الموجات القصية من موجات رايلي بتطبيق تقنية التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية وعلاقتها بعدد من المعاملات الجيوتقنية

أحمد جدوع رضا الهيتي[1]

الاستلام: 03/ 11/ 2015، القبول: 23/ 08/ 2016
الكلمات الدالة: طريقة التحليل متعدد القنوات ،المسح الزلزالي، سرعة الموجات القصية، الموجات السطحية، نسبة بوزون، معامل المادة

المستخلص

ازداد في الآونة الاخيرة تطبيق طريقة التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية (MASW) في دراسة المعضلات الجيوتقنية الزلزالية والهندسية والبيئية. اذ إن استخلاص السرع الزلزالية القصية من طور السرعة لموجات رايلي السطحية بوساطة تقنية الـ (MASW) أسرع نسبيا من خلال تقليلها للوقت والجهد وكونها اقتصادية وأسهل للتطبيق في الحقل كما انها تقلل من عدد الآبار الاستكشافية. أظهرت الدراسة أهمية استخدام طريقة التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية لاستخلاص سرعات الموجات القصية (Vs) للطبقات القريبة من السطح حتى عمق (30 م) من خلال جمع ومعالجة وتفسير بيانات هذه التقنية، ونتيجة لذلك تم رسم مقاطع احادية البعد لسرع الموجات الزلزالية القصية لمنطقة الدراسة وتم إيجاد علاقة رياضية ذات دلالة احصائية بين سرع الموجات القصية والمتغيرات الجيوتقنية الآتية: نسبة بوزون، معامل المادة، نسبة الاجهاد، سعة التحميل القصوى، زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة، معامل القص أو الصلابة. أظهرت نتائج الدراسة تحديد ثلاث طبقات صخرية في منطقة الدراسة بالاعتماد على سرعات الموجات القصية المحسوبة من استخلاص سرعات الموجات القصية من خلال موجات رايلي السطحية، وتم رسم مقاطع احادية البعد لسرع الموجات القصية. اذ أن الطبقة الاولى تتكون من التربة السطحية والطبقة الثانية هي طبقة من الترسبات النهرية المتكونة من المدملكات القاعدية والحصى والمواد الطينية أما الطبقة الثالثة فهي طبقة من صخور المارل عائدة إلى الجزء العلوي من تكوين الفتحة. فضلا عن ذلك تم ايجاد علاقات ذات دلالة إحصائية قوية بين سرع الموجات القصية والمعاملات الجيوتقنية الاخرى في منطقة الدراسة. لذلك توصي الدراسة باستخدام هذه العلاقات للمشاريع المستقبلية ذات العلاقة ضمن منطقة الدراسة.

VELOCITIES EXTRACTION EFFICIENCY OF SHEAR WAVES FROM RAYLEIGH WAVES BY APPLYING MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES TECHNIQUE AND THEIR RELATION BY A NUMBER OF GEOTECHNICAL PARAMETERS

Ahmed J. Al-Heety

ABSTRACT

The application of Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW) has increased re4cently in seismic geotechnical engineering and environmental fields. The extraction of Vs from the phase velocity of Rayleigh surface waves using MASW technique is relatively fast, more economic, easier to perform in the field and reduces the number of exploratory wells. The study showed the significance of using MASW to extract shear wave velocities (Vs) from the phase velocity of Rayleigh surface wave for the near-surface layers to a depth of (30 m) by acquisition, processing and interpreting the MASW data. Therefore, 1D profiles for the seismic shear wave velocity has been estimated in the study area. Besides the mathematical relationship between shear wave velocity and several geotechnical parameters: Poisson's ratio (σ), Material index (V), Stress ratio (Si), Concentration Index (Ci), maximum load

[1] م. مساعد محاضر، جامعة الموصل، كلية العلوم، قسم علوم الارض، موصل، العراق،
البريد الالكتروني: ahmedalheety@gmail.com

capacity (qu), Effective Angle of Internal Friction (ø), Shear modulus or Rigidity (μ) are obtained. The results of this study indicated the presence of three layers of rocks. **The first**, the upper layer, corresponds to recent superficial deposits. **The second**, the middle one, corresponds mostly to the river deposits composed especially of river terraces and clays while **the third**, the lower layer, corresponds to the upper part of the Fatha Formation, which is mostly composed of marls. Also in this study, important relationships were found between the shear wave's velocity and other geotechnical parameters. The study therefore recommends using these relationships for future projects as it can be used in engineering geology to obtain preliminary results on soil characters.

المقدمة

إن التطبيقات الجيوفيزيائية ذات التحري الضحل لها انتشار واسع في الدراسات الهندسية و الجيوتقنية، وما زاد ذلك التطور التقني الهائل وعصر المعلوماتية الذي نشهده اليوم. وتمثل هذا التطور في ابتكار أجهزة قياس زلزالية عالية الدقة والسرعة فضلا عن للتطورات الحاصلة في طرائق جمع البيانات وطرائق المعالجة والتفسير التي بدورها خفضت الكلفة والوقت وزادت من ثقة النتائج المستحصلة. تعتبر عملية التقييم الجيوتكنيكي الموقعي ذات أهمية كبيرة في أعمال الهندسة المدنية المختلفة ويتم ذلك اعتمادا على قياس الخصائص الجيوتقنية للترب والطبقات تحت السطحية. وتعتمد السرع الزلزالية للصخور على معاملات المرونة (elastic moduli) والكثافة، وبالإمكان حساب معاملات المرونة من قياسات السرع الزلزالية في الصخور.

لقد ازداد في الأعوام الأخيرة تطبيق تقنية التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية Multichannel Analysis of Surface Waves واختصارها (MASW) في دراسة العديد من المشاكل الجيوتقنية الزلزالية مثل التمنطق الزلزالي الدقيق Microzonation واستجابة المواقع Site Response كما تستخدم هذه التقنية على نطاق أوسع في الهندسة الزلزالية وذلك من خلال دراسة سرعات الموجات القصية ومعاملات المرونة وتقييم خصائص المواد وتحديد سمك الطبقات تحت السطحية المختلفة وأعماقها. تعد طريقة التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية (MASW) من الطرائق الزلزالية غير الهدامة (non-Invasive)، والتي يمتاز استخدامها بسهولة التطبيق في المناطق الحضرية المأهولة بالسكان إذ يمكنها أن تزودنا بمعلومات موثوقة حول طبيعة وتغايير الطبقات تحت السطحية بين الآبار الموجودة في المناطق الواسعة وهذا بدوره يؤدي إلى اختزال عدد الآبار المطلوبة. كما ويمكن أحيانا الاستغناء عن حفر الآبار إلا إذا دعت الحاجة للحفر، فضلا عن أن حفر الآبار ذات كلفة عالية جدا وقد يكون من غير الممكن حفرها في بعض المواقع وهذا بدوره يمكننا من تقليل الوقت والجهد والمال. كما تستخدم في الدراسات الجيوهندسية للمواد والطبقات القريبة من السطح (Miller *et al*., 1999؛ Xia *et al*., 1999 و Park *et al*., 1999).

إن الموجات المستعرضة هي الموجات الأكثر أهمية في الدراسات الهندسية لتقدير الخواص الجيوتقنية (Foti *et al*., 2011)، بالإضافة لعلاقتها بمعاملات صلابة الصخور Stiffness وتقدير درجة الانضمام (Consolidation) (Abdel-Rahman *et al*., 1994). بالرغم من صعوبة توليد هذه الموجات والتقاطها الا أن الدراسات الحديثة أكدت على استخدامها في ايجاد العلاقات الرياضية للعديد من الخصائص الجيوتقنية لأن سرعات هذه الموجات دليل مباشر لصلابة التربة Soil Stiffness التي لوحظ ازدياد تطبيقاتها باستمرار في الهندسة الجيوتقنية والدراسات الموقعي (Roma, 2001). ويمكن تحليل حركة الجزيئات في الموجات القصية إلى: مركبة افقية (Vsh) ومركبة عمودية (Vs) وتكون موزاية أو عمودية على السطح الفاصل على التوالي. إذ أن من الممكن ان تتحول المركبة العمودية للموجة المستعرضة (Vs) إلى موجة طولية وبالعكس عند انعكاسها وانكسارها أيضا على السطوح البينية الفاصلة بين الطبقات (McQullin, 1984). إن هذا البحث يهدف إلى: استخلاص سرعات الموجات القصية من خلال موجات رايلي. ودراسة العلاقة بين قيم سرعات الموجات القصية مع عدد من المعاملات الجيوتقنية. فضلا عن البحث عن علاقة رياضية إحصائية تجريبية خاصة في منطقة البحث بين سرعات الموجات القصية مع عدد من المعاملات الجيوتقنية.

إن موقع مشروع المستشفى التعليمي في جامعة الموصل يمثل المنشأ الهندسي الذي عنيت به الدراسة، والذي يقع على خطي الطول والعرض، 50" 08' 43° E, 47" 23' 36° N وتحديدا على الضفة اليسرى من نهر دجلة في الجزء الشمالي الغربي لمجمع الرئيس لجامعة الموصل، ومنطقة المسح شكل مستطيل طوله 280 م وعرضه 125 م (الشكل 1).

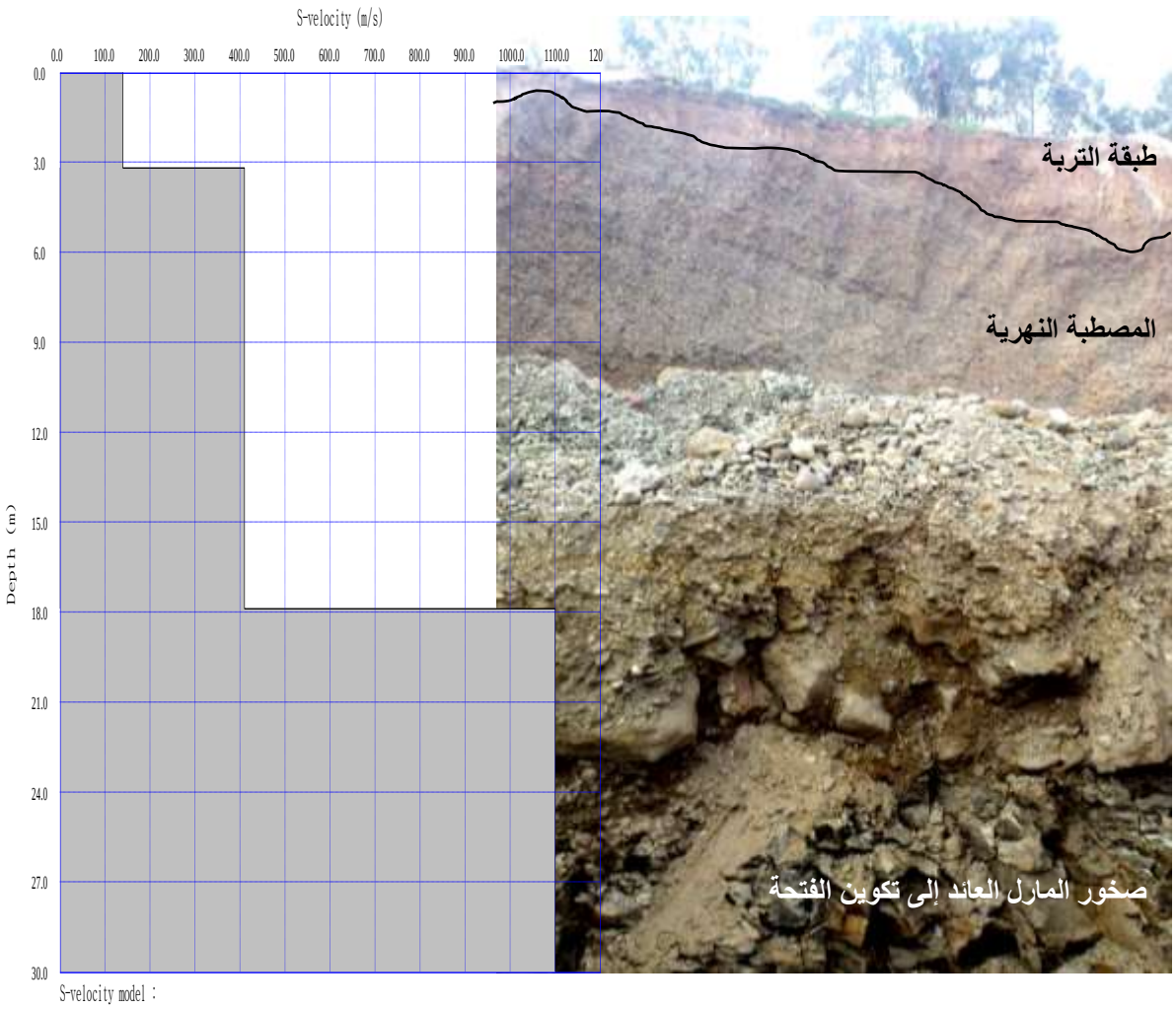
شكل 1: خريطة ومرئية فضائية تبين منطقة الدراسة

الوضع الجيولوجي

منطقة الدراسة عبارة عن أرض مفتوحة ومنبسطة بشكل عام مع تموجات قليلة ومغطاة بالتربة ذات اللون البني الفاتح المائل الغامق أو المحمر. ولسطح الأرض انحدار تدريجي من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي. وتقع المنطقة ضمن نطاق الطيات الواطئة (Low Folded Zone) للعراق. وتمتاز بارتفاع نسبة عوامل التعرية التي كانت ذات تأثير كبير في تشكيل العديد من الوديان ومجاري الأنهار ومنها نهر دجلة. تتراوح أعمار الصخور المنكشفة في المنطقة من المايوسين الأوسط إلى ترسبات الفترة الرباعية Quaternary (جدول 1). وينكشف في الجانب الشرقي من مدينة الموصل تكوينان عائدان لترسبات العصر الثلاثي Tertiary يظهران ضمن مكاشف صغيره هما تكوين الفتحة Fatha Fm. (المايوسين الأوسط) والذي يغطي معظم منطقة الدراسة (الشكل 2) ويتكون بصورة رئيسية من دورات رسوبية من الأطيان وحجر الجير والمارل، وتكوين إنجانة Injana Fm. (المايوسين الأعلى) الذي لاينكشف إلا في أماكن قليلة ويتكون بصورة أساسية من تعاقبات لصخور الحجر الجيري والحجر الرملي، في حين تغطي معظم أجزاء الجانب الأيسر لمدينة الموصل ترسبات العصر الرباعي Quaternary المتمثلة بترسبات المصاطب النهرية River Terraces والسهل الفيضي Flood plain deposits وترسبات التربة Soil deposits (الجبوري، 1988).

جدول 1: التتابعات الطباقية لمنطقة الدراسة

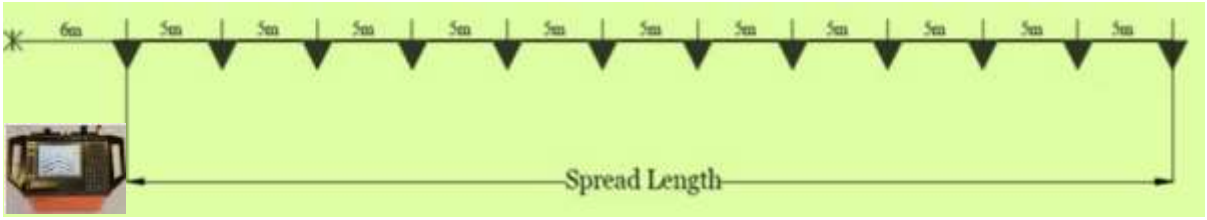
Era	Period	Epoch	Age	Formation	Environment
CENOZOIC	QUATERNARY	Holocene		Flood plain deposits Valley and Soil Deposits	Continental
		Pleistocene		River terraces and Gypseous soil	Continental
	TERTIARY	Miocene	Late	Injana	Fluvial
		Miocene	Middle	Fatha	Lagoonal



الشكل 2: مكشف صخري (المقلع) يقع بالقرب من منطقة الدراسة يظهر الطبقات الثلاث مع مقطع أحادي البعد لسرعة الموجات القصية (الباحث)

العمل الحقلي

إن طريقة جمع بيانات تقنية التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية يمكن وصفها ببساطة بانها تسجيل البيانات لموجات رايلي السطحية Rayleigh waves، الهدف منها تسجيل الموجات السطحية بنسبة اشارة إلى ضوضاء بأكبر مدى ترددي ممكن لكي يمكن نتعرف على درجة التشتت وان نسبة الإشارة إلى الضوضاء العالية تتيح لنا عزل الانواع المختلفة من الموجات. تجرى عملية جمع بيانات الموجات السطحية بتقنية MASW بطريقة مشابهة لطريقة المسح الزلزالي الانكساري التقليدي باستخدام هندسية نشر للاقطات العمودية وبمسافات متساوية (Foti, 2003). وتنجز دائما من خلال تفجيرين: أمامي ومعكوس. وتم توليد الموجات الزلزالية باستخدام مطرقة ذات وزن (10) كغم بالطرق على قرص حديدي دائري الشكل قطره (0.3 م) وذلك برفع المطرقة بارتفاع مترين تقريبا وتعاد الضربة عدة مرات لحين الحصول على أفضل تسجيل والاستفادة من تقنية تنضيد (stacking) التسجيلات. لقد تم تسجيل الموجات للـ (MASW) على طول خطين. واستخدم في العمل الحقلي جهاز المسح الزلزالي (سيزموغراف) الرقمي Terraloc®MK6 المتعدد القنوات والمصنع من قبل شركة ABEM Instrument AB السويدية واستخدمت في التسجيل الحقلي أيضا لاقطات ذات تردد طبيعي مقداره 10 هيرتز حيث تم نشر اللاقطات بمسافات بينية متساوية (5 م) و يبلغ طول المسار (55 م) ونقطة التفجير (S.P) خارج المجموعة offset تبعد عن اللاقطة الأولى (6 م)، وبنفس طريقة النشر والتسجيل السابق يتم تسجيل الخط الثاني شكل (3). كما وتم الاستفادة من الموجات السطحية المسجلة مع الموجات الطولية المسجلة في نفس الزمان والمكان العائدة لـ (12 خط) في استخلاص سرع الموجات القصية بتقنية MASW. طول التسجيل (1204 m/sec) وبمعدل نمذجة (50 µs). يوضح الجدول (2) ملخص الأدوات المستخدمة في مسح MASW.



شكل 3: هندسية النشر لتسجيل الموجات السطحية بتقنية MASW

جدول 2: ملخص الأدوات المستخدمة في مسح MASW

Type of Survey	Active MASW
Seismograph	Terraloc MK.6 multi-channel
Source	10 Kg Hummer
Geophone	12/ vertical /10 Hz
Geophones array	Linear array
Profile length (L)	55 m
Receiver spacing (dx)	5 m
Source offset	– 6 m
Sampling interval	0.50µs
Recording time	1024 ms

معالجة بيانات التحليل متعدد القنوات

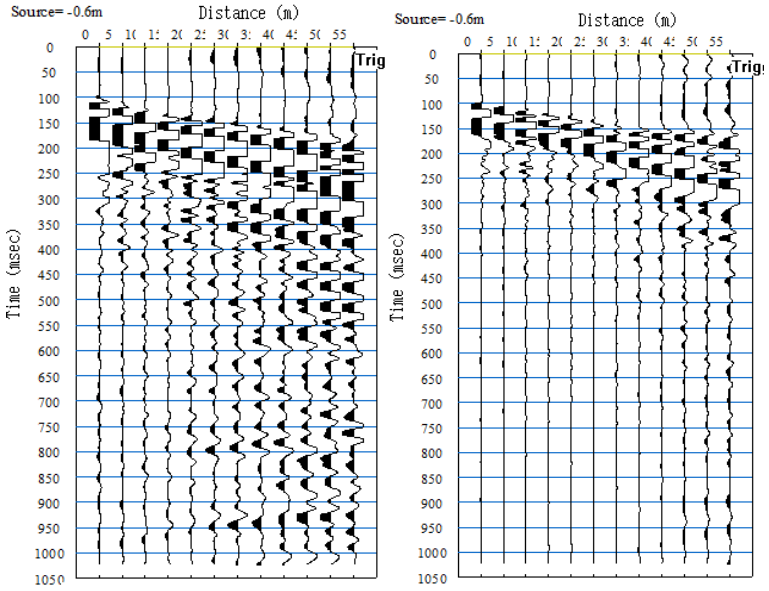
هنالك نوعان من الموجات السطحية هما موجات رايلي (Rayleigh Waves) وموجات لف (Love Waves) والتي يطلق عليهما (Ground Roll) وهي عبارة عن موجات سطحية تتولد في أنواع المسح الزلزالي السطحي عند استخدام الطرق العمودي لتوليد الطاقة الزلزالية، وعادة ما يفترض بأن طور سرعة الموجات السطحية تساوي 92% تقريبا من سرعة الموجات القصية (Stokoe, 1994).

هناك العديد من البرمجيات التي تستخدم لمعالجة وتفسير البيانات الزلزالية المسجلة لتقنية التحليل المتعدد القنوات للموجات السطحية MASW، واغلب هذه البرمجيات تعتمد في معالجتها للبيانات الزلزالية على خاصية التشتت (Depression) التي تتصف فيها الموجات السطحية وخاصة موجات رايلي. اذ يلاحظ ان هذه الامواج ذات الأطوال الموجية المختلفة يحدث لها عملية تشتت وتوهين عند انتقالها خلال الطبقات الرسوبية بسرعات مختلفة (Achonbach, 1999; Aki, 1980). وتستخدم موجات رايلي السطحية في المسح الزلزالي بطريقة التحليل متعدد القنواتMASW لاستخلاص سرعة أمواج القص (Vs) المهمة في الدراسات الجيوهندسية والهندسية الزلزالية حيث يمكن عمل مقاطع أحادية وثنائية البعد مع العمق لسرعات الطبقات المختلفة. وتتألف عملية معالجة البيانات الزلزالية من ثلاثة مراحل وهي:

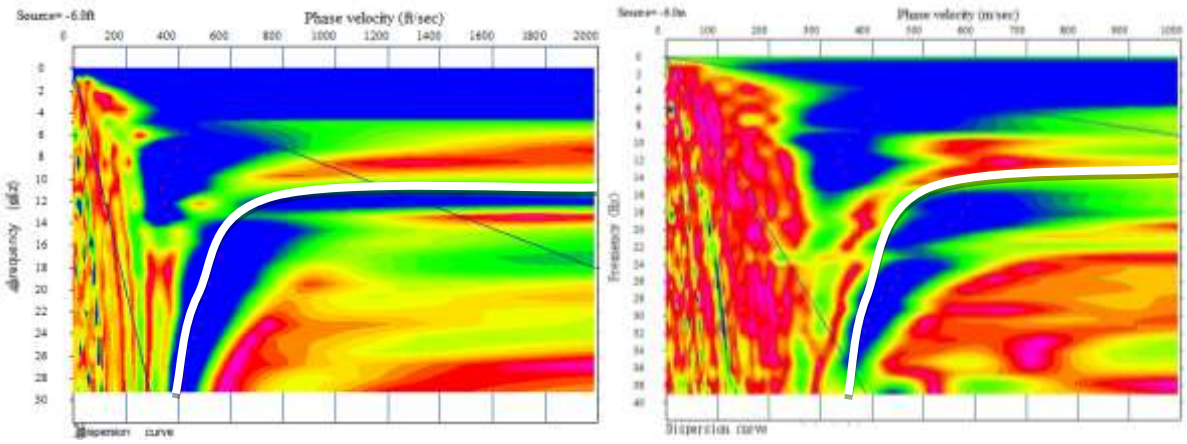
1. مرحلة تسجيل الموجات السطحية في الحقل (لعل هذه المرحلة تابعة لعملية جمع البيانات لكن من المهم الانتباه لطريقة جمع البيانات في هذه الطريقة) شكل (4).
2. مرحلة التحليل الطيفي Spectral analysis والتقاط منحنيات التشتت للسرعات الطورية لموجات رايلي حيث يتم حساب التغيير في سرعة طور الموجات السطحية، إذ إن تغير سرعة الموجات عند كل طول موجي يسمى سرعة الطور (Phase velocity) ثم يرسم منحنى التشتت (Dispersion Curve) ويمثل العلاقة بين سرعة الطور والتردد. وتمتاز موجات رايلي بظاهرة التشتت (الانتشار) التي تحدث نتيجة التغير في سرعة طور الموجات السطحية وترددها في أثناء انتقالها بين الطبقات السطحية. ان منحنيات التشتت تظهر منحني جيد للأنماط الاعتيادية (Normal modes) في الطبقات السطحية واطئة السرعة والتي تنحدر من السرعات الطورية العالية ذات الترددات الواطئة (low-slowness) إلى السرعات الطورية ذات الترددات العالية (High frequencies).
3. إنشاء موديل لسرعات الموجات القصية حيث يتم إعادة حساب منحنى التشتت والحصول على مقاطع أحادية البعد (Park, 2006) تمثل سرعة الموجات القصية مع العمق حيث ان الخطوتين (2) و (3) تنفذ أوتوماتيكيا باستخدام برنامج SeisImager/SW.

جرى تحليل بيانات MASW باستخدام برنامج SeisImager/SW من خلال عملية العكس (inversion) لحساب الموديل احادي البعد 1D لسرعات الموجات القصية، وتتألف عمليات المعالجة من استخلاص خصائص التشتت (طور السرعة لموجات رايلي المهيمنة كدالة للتردد) ويتم ذلك بتحليل البيانات الأولية للمسح التي تكون متأثرة بالأحداث الزلزالية الاخرى وباستخدام تحويلات فورير Fourier transform ثم ترسم منحنيات التشتت باستخدام تحويلات (f – k). إن تحويلات (f – k) تعطي صورة شكل انتشار الموجات السطحية ومنحنيات التشتت تعرض دائما كطور للسرعة مع التردد الشكل (5). يتم حساب الموديل احادي البعد للسرعات القصية باستخدام منحنيات التشتت المحسوبة بطريقة المربعات الأدنى اللاخطية (non-linear least squares) من خلال عملية العكس التكرارية (Iteration Inversion) لهذا الموديل التي تعتمد على أقل نسبة من (RMS) بين طور السرعات والبيانات الملاحظة. وتعطي عملية العكس لمنحنيات التشتت التغييرات العمودية في سرعات الموجات القصية (Vs) مع العمق تحت المنطقة الممسوحة. ويوضح الشكل (6) موديل احادي البعد للسرعات القصية تم حسابه بواسطة برنامج SeisImager/SW.

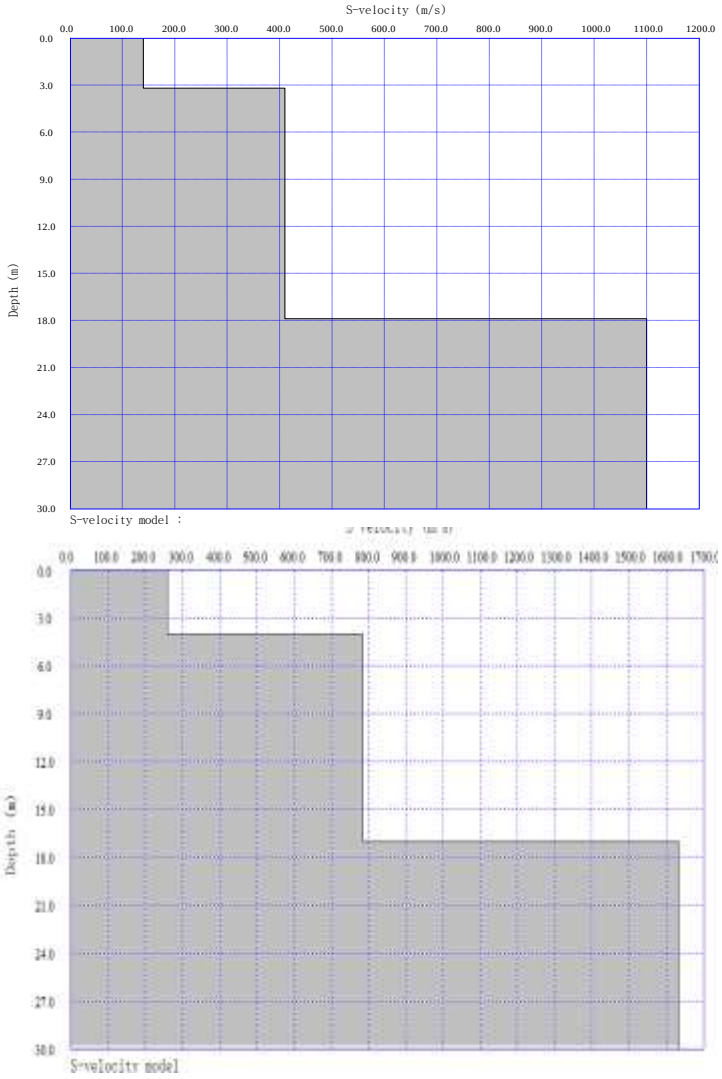
تم اعتماد معاملات المرونة والمعاملات الجيوتقنية للصخور في منطقة الدراسة المحسوبة بالاعتماد على سرع الموجات الطولية من المسح الزلزالي الانكساري وسرع الموجات القصية والكثافة المحسوبة حقليا (الهيتي، 2014) (جدول 3). ورسمت العلاقة بين كل من هذه المعاملات مع سرعة الموجة القصية (Vs) المحسوبة من خلال تقنية MASW والتوصل إلى العلاقة فيما بينهما.



شكل 4: نموذجان من البيانات الزلزالية الحقلية



شكل 5: منحني التشتت Dispersion Curves بين التردد وسرعة الطور



شكل 6: مقطعين أحاديي البعد للسرعات القصية للطبقات الثلاث في منطقة الدراسة

جدول 3: قيم معاملات المرونة والمعاملات الجيوتقنية لمنطقة الدراسة.

Vs m/s	σ	Ci	Si	V	E (Mpa)	μ (Mpa)	K	ø	q_u Kg/cm^2
الطبقة الاولى									
138	0.40	3.45	0.69	– 0.63	70.25	24.95	127	18.6	0.045
257	0.422	3.37	0.73	– 0.68	278	97.75	595	15.37	0.21
الطبقة الثانية									
410	0.34	3.91	0.52	– 0.37	722.7	269	770	28.27	0.61
775	0.36	3.71	0.58	– 0.47	2927	1069	3718	24.33	2.82
الطبقة الثالثة									
1100	0.247	5.03	0.33	– 0.008	5798	2323	3833	41.9	6.54
1630	0.244	5.10	0.32	0.025	13878	5579	9025	42.12	16.81

Vs: السرعة القصية، **σ**: نسبة بوسون، **Ci**: معامل التركيز، **Si**: نسبة الإجهاد، **V**: معامل المادة، **E**: معامل يونك، **μ**: معامل القص، **K**: المعامل الحجمي، **ø**: زاوية الاحتكاك الداخلي، **qu**: سعة التحمل القصوى، **Mpa**: ميكا باسكال.

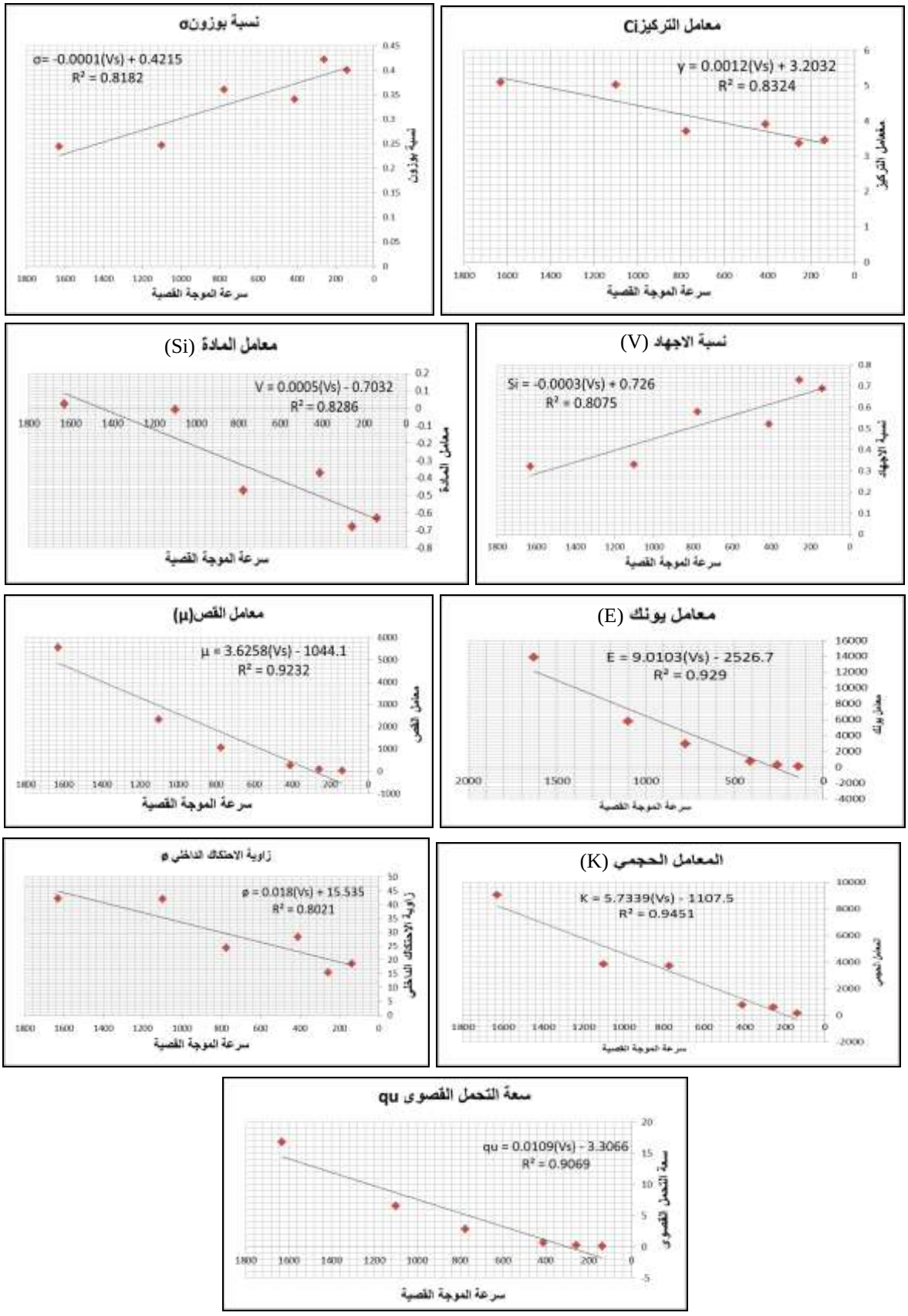
تفسير النتائج ومناقشتها

تم تحديد ثلاث طبقات في منطقة الدراسة بالاعتماد على سرعات الموجات القصية المحسوبة من استخلاص السرع القصية من خلال السرعة الطورية (Phase velocity) لموجات رايلي السطحية (Rayleigh surface wave) بوساطة طريقة التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية (MASW)، وكنتيجة لذلك تم رسم مقاطع أحادية البعد لسرع الموجات القصية. حيث أن الطبقة الأولى هي طبقة من التربة السطحية تمتلك سرعة زلزالية قصية تتراوح بين (138 – 575 m/sec) وتمثل الطبقة الثانية الترسبات النهرية (River Terraces) والمكونة من المدملكات القاعدية والحصى والمواد الطينية التي تمتلك سرعة زلزالية قصية تتراوح بين (410 – 775 m/sec) أما الطبقة الثالثة فهي على الأغلب طبقة من صخور المارل العائدة إلى الجزء العلوي من تكوين الفتحة (Fatha Fm.) وتمتلك سرعة زلزالية قصية تتراوح بين (1100 – 1630 m/sec).

وهذا ما توصل إليه (النقيب وسليمان، 2008) في دراستهم لجيولوجية منطقة جامعة الموصل وبالاعتماد على دراسة (Al-Dabbagh and Al-Naqib, 1991) فإن الأجزاء الشمالية الشرقية من الجامعة هي عبارة عن صخور تكوين الفتحة مغطاة بطبقات سميكة من المدملكات التي تمثل المصطبة الثالثة لنهر دجلة إذ يزيد سمك هذه الترسبات عن 15 م. ومما يؤكد هذا التفسير أيضا فحوصات التحري الموقعي الهندسي (المكتب الأستشاري الهندسي، 2006) لبناية المكتبة الآشورية القريبة جدا من موقع الدراسة والتي بينت أن الطبقات مكونة من تربة طينية مع حصى ناعم سمكها بحدود ثلاثة أمتار ثم تليها طبقة من المدملكات (حصى ورمل خشن) صلبة وقوية إلى عمق 8 أمتار.

وقد تم الحصول على الرسوم البيانية والمعادلات التجريبية الخطية باستخدام برنامج إكسل Excel، إذ تم إيجاد علاقات رياضية إحصائية بين السرع الزلزالية القصية المستخلصة من تقنية MASW والمعاملات الجيوتقنية باستخدام الاسلوب الخطي وذلك للحصول على معاملات ارتباط (R2) عالية في مواقع الدراسة. إذ رسمت العلاقة بين كل من (E، σ، Si، V، K، ø، μ، K، qu) مع سرعة الموجات القصية (Vs) (شكل 6) فدلت الأشكال على وجود علاقة عكسية بين سرعات الموجات القصية وقيم نسبة بوزون (σ) وقيم نسبة الإجهاد (Si) وبمعامل ارتباط ($R^2 = 0.818$) و ($R^2 = 0.807$) على التوالي. حيث تدل العلاقة العكسية على زيادة السرعة القصية مع العمق مما يدل على زيادة الصلابة. بينما تم الحصول على علاقة طردية قوية بين (Vs) وقيم معامل التركيز (Ci)، معامل المادة (V)، معامل يونك (E)، زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة (ø)، معامل القص أو الصلابة (μ)، المعامل الحجمي (K) سعة التحميل القصوى (qu) بمعامل ارتباط ($R^2 = 0.832$)، ($R^2 = 0.828$)، ($R^2 = 0.929$)، ($R^2 = 0.802$)، ($R^2 = 0.923$)، ($R^2 = 0.945$)، ($R^2 = 0.906$) على التوالي.

إن الرسوم البيانية في الشكل (7) والمعادلات الرياضية الإحصائية التجريبية أضافت تأكيدا على دقة العلاقة الإحصائية بين نتائج المسح الزلزالي بوساطة تقنية التحليل متعدد القنوات للموجات السطحية MASW والبيانات الجيوتقنية المحسوبة مسبقا مما يشير إلى صلاحية هذه التقنية كطريقة مناسبة في المسح الزلزالي وبديلة للحصول على البيانات الجيوتقنية أو الجيوهندسية مختبريا او باستخدام طريقة المسح الانكساري القصي Shear Refraction. إذا كان معامل الارتباط (R^2) عاليا جدا ويربط بين سرع الموجات القصية والمعاملات الجيوتقنية المذكورة في الجدول (2)، وهذا دليل واضح على وجود علاقة رياضية ذات دلالة إحصائية بين السرعة والمتغيرات الجيوتقنية ويمكن الانتفاع منها في الدراسات الجيوهندسية للحصول على نتائج أولية وفكرة عامة عن خصائص الترب/ الصخور تحت السطحية وطبيعتها لأي موقع في منطقة الدراسة قبل البدء بإقامة المشاريع عليه.



شكل 7: العلاقات الإحصائية لسرع الموجات القصية مع المعاملات الجيوتقنية

المصادر

الجبوري، منهل عبد السلام، 1988. جيولوجية منطقة الموصل شرق نهر دجلة. رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل، العراق، 158 صفحة.

المكتب الأستشاري الهندسي، 2006. ملحق تقرير تحريات التربة لموقع المكتبة الأشورية ومعهد الدراسات المسمارية. جامعة الموصل، كلية الهندسة المدنية، 8 صفحات.

النقيب، سالم وسليمان، علي، 2008. دراسة نوعية المياه الجوفية لمركز جامعة الموصل وتقييم صلاحيتها للري. المؤتمر العلمي الدوري السادس لمركز بحوث السدود والموارد المائية، 27 – 28 تشرين الاول، ص 141 – 148.

الهيتي، أحمد جدوع رضا، 2014. مسح زلزالي انكساري لموقع مشروع المستشفى التعليمي في جامعة الموصل، رسالة ماجستير (منشورة)، كلية العلوم، جامعة الموصل، العراق، 2014، 128 صفحة.

Abdel-Rahman, M., Helal, A.N.M.A.H., Mohamed, C. and Al-Malqi, I., 1994. Exploration Seismic for Site evaluation of the new city of El-Minya, Egypt- EGS. proc. of the 12th Ann. Meet., p. 59 – 74.

Al-Dabbagh, T.H., and Al-Naqib, S.Q., 1991. Tigris River Terrace Mapping in Northern Iraq and Geotechnical Properties of the Youngest Stage. Quaternary Journal of Engineering Geology. Geological Society. Special Pub., Vol.7, p. 603 – 609.

Foti, S., Parolai, S., Albarello, D. and Picozzi, M., 2011. Application of Surface Wave Methods for Seismic Site Characterization. Surveys in Geophysics, Vol.32, No.6, p. 777 – 825.

Foti, S. Sambuelli, L., Socco, L. and Strobbia, V.C., 2003. Experiments of joint acquisition of seismic Refraction and surface wave data, near surface geophysics, p. 119 – 129.

McQullin, R., Bacon, M. and Barclay, W., 1984. An Introduction to Seismic interpretation. Graham and Trotman, 310pp.

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., p. 433 – 436.

Park, C.B., Ivanov, J. and Brohammer, M., 2006. SurfSeis 2.0 user manual. Kansas Geological Survey, 38pp.

Park, C.B., Miller, R.D. and Xia, J., 1999. Multi-channel analysis of surface waves, Geophysics, Vol.64, No.3, p. 800 – 808.

Roma, V., 2001. Soil Properties and Site Characterization by means of Rayleigh Waves. Ph.D. Dissertation, Technical University of Turin (Politecnico di Torino) – Italy, 278pp.

Stokoe, K.H., Wright, S.G., Bay, J.A. and Roesset, J.M., 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites. ISSMFE Technical Committee #10, edited by R.D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.

Xia, J., Miller, R.D. and Park, C.B., 1999. Estimation of near-surface shear wave velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, Vol.64, No.3, p. 691 – 700.

المـؤلف

أحمد جدوع رضا الهيتي، حصل على شهادة البكالوريوس في الجيولوجيا من كلية العلوم جامعة الموصل عام 2011. واتم دراسته العليا وحصل على شهادة الماجستير بتخصص الجيوفيزياء (الاستكشاف الزلزالي) من الجامعة نفسها في العام 2014. له اربع مشاركات في مؤتمرين علميين أثنان منهما في الاردن والآخر في تركيا. كتب العديد من البحوث العلمية ونشرها في مختلف المجلات العلمية الرصينة العراقية والعالمية. تهتم أبحاثه في مجال الجيوفيزياء وخاصة المسح الزلزالي الانكساري التصويري SRT والتحليل متعدد القنوات للموجات السطحية MASW والمسح المقاومة التصويري ثنائي البعد ERT وطريقة الرادار الاختراقي GPR واستخدأماتها في التحريات الجيوتكنيكية والتحريات الموقعية كما واسهم مؤخرا في تأليف كتاب موسوعي يحمل عنوان "موسوعة أعلام الجيولوجيا في العراق" وله أبحاث لم تنشر بعد. أثناء دراسته للماجستير عمل في مجال حفر الابار النفطية في جنوب العراق كجيولوجي مع شركة بيكر هيور العالمية للخدمات النفطية. وهو عضو في نقابة الجيولوجيين العراقيين (IGU)، عضو الجمعية الامريكية للجيوفيزياء (AGU) وعضو الجمعية العالمية لاخلاقيات علوم الارض (IAPG).

البريد الالكتروني: ahmedalheety@gmail.com