بناء النموذج السيزموجيولوجي للأغراض الجيوهندسية باستخدام الوصولات الأولية للأمواج الطولية – دراسة حالة

رفيق جبر[1]

تاريخ الإيداع 2014/04/30
قبل للنشر في 2014/08/20

الملخص

يتناول البحث استخدام طريقة المسح السيزمي السطحي في استكشاف البنية الجيولوجية تحت السطحية، وذلك اعتماداً على تسجيل الوصولات الأولية للأمواج الطولية وتحليلها، بالطريقة الانكسارية، وتحديد سرعة هذه الأمواج بغية معرفة عمق طبقة التجوية وسماكة الردميات في وادٍ مطمور. استخدمت الطريقة التقليدية في تحديد الزمن (Time-term Inversion) وطُبّقتْ تقنية التموغرافي (Tomographic Inversion) بوصفها طريقة بديلة تستخدم في المواقع ذات الخصائص المعقدة، التي أضافت معلومات أكثر تفصيلاً فيما يتعلق بالتغير الشاقولي لنموذج السرعة، وتمثيل البنية تحت السطحية. وفي النتيجة حُسبتْ قيمة السرعة التي بلغت نحو (400m/s) لطبقة التجوية والردميات، و(1000m/s) للطبقة الثانية، المؤلفة غالباً من الرمل الجاف الذي تجاوز سماكته أكثر من عشرة أمتار في منطقة الدراسة، وحُدّدتْ سماكة طبقة التجوية التي بلغت (4.9m – 1.3). وبمقارنة نتائج البحث بنتائج الاختبارت في إحدى الآبار القريبة تم التأكد من دقة الطريقة في استكشاف البنية تحت السطحية وتمثيلها، وتحديد سماكة الردميات وعمق سرير الوادي وسرعة الطبقات.

الكلمات المفتاحية: النموذج السيزموجيولوجي، الطريقة الانكسارية، الوصولات الأولية للأمواج المنكسرة، الأغراض الجيوهندسية.

[1] مدرس، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

The Seismo-Geological Model Construction for Geotechnical Purposes by using P-wave First Arrival – Case Study

R. Jaber[(1)]

Received 30/04/2014
Accepted 20/08/2014

ABSTRACT

The refraction seismic method was applied to investigate subsurface geological structure by analyzing recoded first arrivals of P-wave to determine the seismic velocity, and estimate thickness of weathering layer and depth of overlaid Wadi. The velocity model was generated by using Time-term Inversion and Tomographic Inversion as alternative technique used in complicated geological structures. Subsurface structure was determined and detailed information about horizontal and vertical variation of seismic velocity was found by using Tomogrphic inversion Method. The calculated velocity (VP) equals to 400m/s for weathered layer and 1000m/s for second layer. The second layer most probably consists of dry sands and the thickness of weathered layer was about (1.3-4.9m). Comparing the results with the nearby borehole tests ensures the precision of the used method and discussion.

Key Words: Seismo-geological model, Refraction method, First arrival of refracted waves, Geotechnical purposes.

[(1)] Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

المقدمة

ترتبط سلامة المنشآت بقوة الأساسات المتعلقة بتطبيق عوامل الأمان ومتانتها، والمعايير التي تُحدَّد على أسس علمية، وقياسات، وتجارب حقلية ومخبرية مفصلة، بغية التوصل إلى وضع تصور شامل وتفصيلي عن مواصفات الطبقات الصخرية وخصائصها مثل القساوة، وعامل القص الديناميكي، وقدرة التحمل، وغيرها من الخصائص المتعلقة بمتانة الطبقة الصخرية، التي سيُبنى عليها. تعددت الطرائق والأساليب المعتَمدة، في استكشاف خصائص الطبقات الصخرية السطحية وتوصيفها، وفي مقدمتها الطرائق الجيوفيزيائية مثل الطرائق السيزمية الانكسارية، والجيورادار، وقياسات المقاومية الكهربائية الظاهرية، وقياسات سرعة الطبقات في الآبار، وتقانات التصوير الصوتي والضوئي في البئر وغيرها. وتُعَد الطرائق السيزمية الانكسارية من أهم الطرائق والأساليب المتبعة، في تحديد نوعية الطبقات الصخرية بدءاً من السطح، دون اللجوء إلى أعمال الحفر والتكاليف الباهظة المترتبة على ذلك، فضلاً عن أن أعمال الحفر تكون نقطية، ومن ثمَّ ستبقى نتائجها معبِّرة عن موقع الحفر فقط. لهذا غالباً ما تُنفَّذُ القياسات بالطرائق الانكسارية، مدعمةً بالمعلومات والبيانات المتوافرة عن منطقة الدراسة، مع تنفيذ الحد الأدنى من أعمال الحفر والتحاليل المخبرية المرافقة. إذْ تعطي الطريقة الانكسارية تصوراً شاملاً عن سرعة الطبقات الصخرية وخصائصها، وبحسب الهدف يمكن تكثيف الخطوط السيزمية واختيار التشكيل (Spread) المناسب لتوضع المنابع واللواقط، بغية الحصول على التفاصيل المطلوبة.

هدف البحث إلى بناء النموذج السيزموجيولوجي، وتحديد سرعة الأمواج بالطبقات السطحية لموقع الدراسة، بالاعتماد على تحليل الوصولات الأولية للأمواج الانكسارية وتفسيرها بغرض تحديد سماكة طبقة التجوية، وعمق الردميات في وادٍ مطمور، وتحديد نوعية المادة الصخرية في تلك الطبقات وذلك للأغراض الجيوهندسية.

تقع منطقة الدراسة شرقي مدينة الرياض في منطقة صحراوية، تكثر فيها المنشآت والمرافق، كالجسور والطرق السريعة، وقد نُفِّذت الدراسة السيزمية على رقعة جغرافية ضيقة (50×70m)، تغطي وادياً جافاً، ومطموراً. تعود معظم صخور منطقة الدراسة إلى الميزوزويك (جوراسي أعلى – كريتاسي أدنى)، التي تغلب عليها سحنة الصخور الكلسية المشكلة لطبقة صخر الأساس، متضمنة طبقات من صخور كلسية دقيقة، إلى متوسطة البلورات ذات مظهر عقدي، تغطيها رواسب نهرية قليلة العمق، مؤلفة من طبقات متتالية من الطمي والطمي الرملي المتداخلة مع طبقات من الحصى، هذا وتظهر المياه الجوفية على عمق عشرة أمتار تقريباً في هذه المنطقة، [12] .

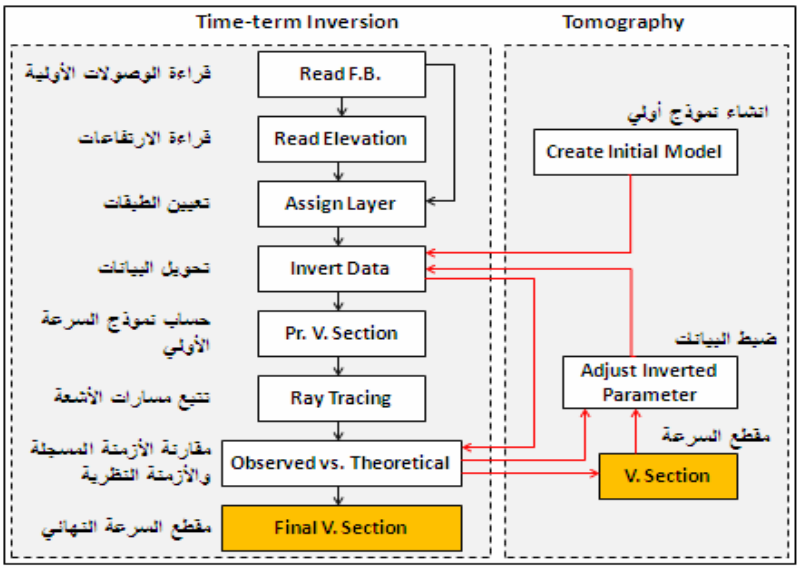
مواد البحث وطرائقه

• **طرائق الحل الرياضي والبرمجي**: يعتمد اختيار طريقة تحليل المعطيات السيزمية الانكسارية على تعقيدات البنية تحت السطحية، فعندما تكون سطوح الطبقات مستوية يمكن استخدام طريقة تقاطع ميل مستقيم الوصولات الأولية (slope intercept method)، وبهذه الحالة نحتاج إلى منبع واحد على الأقل للطبقات الأفقية، ومنبع آخر معاكس للأول للطبقات المائلة في كل تشكيل. أما إذا كان سطح الطبقة متعرجاً فإنه يطلب تطبيق طرائق أخرى، تعتمد على تقنية ما يسمى نمذجة الطبقات (layer –based Modelling)، وتدعى بالطرائق التقليدية ومنها: طريقة التبادل الزمني (reciprocal method)، وطريقة التبادل الزمني المعممة (generalized reciprocal method)، وطريقة جبهة الموجة (wavefront method)، وطرائق أخرى مشتقة من الطرائق التقليدية، التي تأخذ مسميات مختلفة بحسب البلدان التي تطبق فيها، وبحسب مطوري الحل الرقمي والبرمجي لها، مثل: (ABC method, Hales' method, delay time method, Time-term inversion, plus-minus method)، وبهذه الحالة يفضَّل الحصول على الحقل الموجي من خمسة منابع لكل تشكيل، موزعة في بداية التشكيل ونهايته ومركزه، فضلاً عن منبعين، بانزياح محدد على طول الخط السيزمي، قبل بداية التشكيل، وبعد نهايته (عادة تكون مسافة الانزياح مساوية لنصف طول التشكيل). أمَّا إذا تعقدت البنية الجيولوجية وبحالة التغيرات الجانبية للسرعة، أو عدم التجانس، أو عدم الاستمرارية في سطح الطبقة، فإنه يفضَّل تطبيق تقنية أخرى تدعى مونتيكارلو أو التموغرافي (Monte Carlo or Tomographic inversion techniques)، وهنا يجب تكثيف المنابع بحيث تعكس تغيرات البنية بشكل أكثر تفصيلاً، [11]. تتمتع الطرائق التقليدية بفوائد كثيرة في رسم البنية تحت السطحية، وحل العديد من المسائل، ولكنها تعمل على افتراضات مبسطة عن نموذج السرعة، وهذا يتعارض مع بعض الخصائص المقيسة للوسط، لذلك تشكل تقنية التموغرافي طريقة بديلة لحل العديد من المسائل، كالتغير الجانبي للسرعة مثلاً، ويمكن تطبيقها في الأماكن التي تخفق فيها الطرائق التقليدية في تمثيل الواقع الجيولوجي، وخاصة في مواقع الفوالق والتكهفات وانضغاط التربة. يوجد العديد أيضاً من طرائق التموغرافي المطبقة، مثل: (Rayfract, GeoCT-II, SeisImager/2D)، وقام الباحث Jacob R. بتقييم هذه الطرائق واختبارها على نماذج نظرية وعملية، وتبين أن نتائجها متشابهة إلى حد بعيد، في تمثيل الوسط الجيولوجي، وتحديد نموذج السرعة، وقام أيضاً بمقارنتها بالطرائق التقليدية وتبيّن أن كلاً منها يتميز بنقاط قوة، ونقاط ضعف، فقد تنجح أو تخفق بحسب شروط الوسط الجيولوجي، ومدى توافقه مع افتراضات الحل الرياضي لكل طريقة، [6].

تعتمد معظم الطرائق المستخدمة على تحليل زمن الوصولات الأولية للأمواج الانكسارية وفقاً للمبادئ الأساسية وقوانين السيزميك الانكساري السطحي المعروفة، وبشكل عملي وبحسب البرنامج المستخدم يُستخدم تقاطع أزمنة الوصولات الأولية المسجلة من منابع متعددة لكل تشكيل في حساب عمق السطح الكاسر، وسرعة الأمواج، ثم تحديد سماكة الطبقات ونوع المادة الصخرية، [2, 15, 9, 10, 3].

في هذا البحث وبحسب الهدف المتمثل باستكشاف البنية للوادي المطمور الذي يشكل حالة خاصة من التطبق، وميل الطبقات وتعرجها، أُفيدَ من طريقتين لإجراء الحسابات وتحديد بنية الوسط الجيولوجي لمنطقة الدراسة. فقد استُخدمت الطريقة التقليدية، في رسم تصور أولي عن وضع البنية تحت السطحية، وتحديد سرعة الطبقات وسماكاتها، ثم استخدمت تقنية التموغرافي في حساب التغير التدريجي في سرعة الطبقات، مما أعطى نموذجاً أكثر واقعية في تمثيل الوسط الجيولوجي، هذا وقد طُبّقَ التموغرافي بأسلوبين: الأول باستخدم نتائج الطريقة التقليدية كمدخلات في بناء النموذج، والثاني بالاعتماد على النمذجة النظرية.

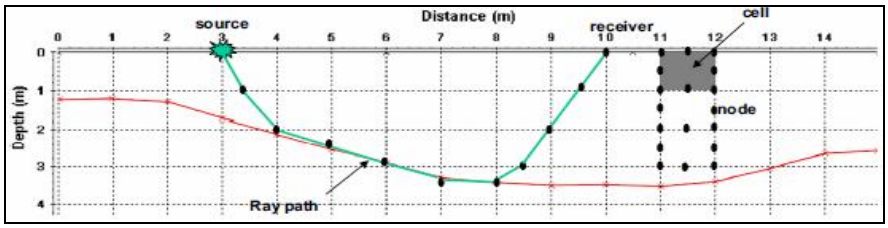
وفيما يأتي شرح لمبدأ عمل الطريقتين، ومناقشة نتائجهما، إذْ يمثل الشكل (1) المخطط المنهجي العام لتنفيذ الطرائق المستخدمة وفقاً للبرنامج (SeisImager/2D, Pickwin, Plotrefa)، [18].



الشكل (1) المخطط المنهجي لطريقة Time-term Inversion وطريقة Tomographic Inversion، وفقاً للبرنامج المستخدم SeisImager/2D، [18].

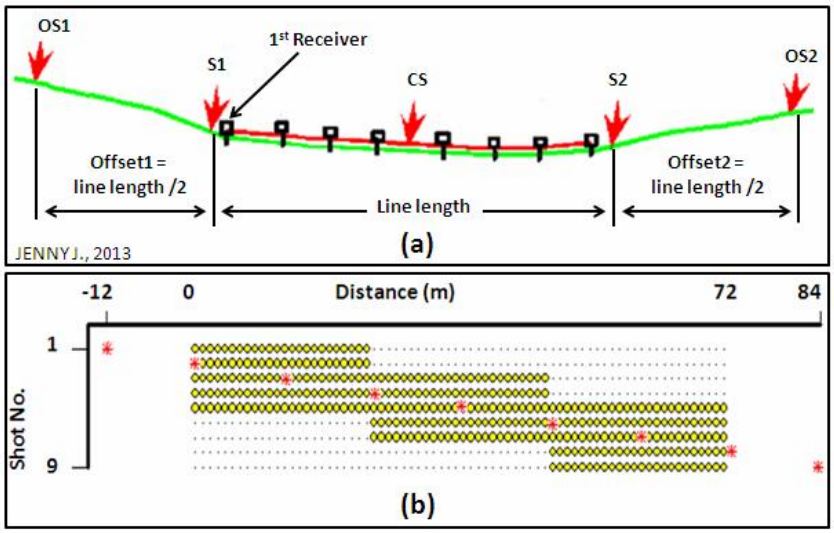
1) طريقة تحديد الزمن (Time-term Inversion): تعتمد هذه التقنية على تكامل تحليل زمن التأخير (Delay time)، ونظرية المربعات الصغرى الخطية (linear Least-Squares approach) في متابعة المسارات الموجية، عبر النموذج وتحديد الوصولات الأولية، وتحويلها إلى مقطع سرعي، ومنه تحديد الطبقات الصخرية. تعتمد هذه الطريقة على حلول رياضية بسيطة معتمدة على زمن الوصولات المباشرة لحالة طبقتين، إذ تُحدَّد سرعة الطبقات الصخرية المتعاقبة بالاعتماد على المسافة بين المنبع واللاقط، وتحسب أزمنة تسجيل الأمواج الانكسارية بشكل رئيس التي بدورها تعتمد على معادلة ميل مستقيم الوصولات المباشرة لكل من الطبقة الأولى والثانية، الذي يوصَّف بمقلوب سرعة الطبقة الأولى والثانية على التوالي، [13] .

2) طريقة التموغرافي (Tomographic Inversion): تعتمد هذه الطريقة على إنشاء نموذج أولي للسرعات، ويمكن كذلك استخدام نتائج الطرائق التقليدية كمدخلات لهذا النموذج، ثم يجري تتبع أشعة الأمواج عبر النموذج، وحساب أزمنة الوصول الأولية بطريقة الحل التكراري (Iterative Method)، ثم مقارنة الوصولات الأولية المحسوبة بالوصولات الأولية المقيسة. يُعدَّل نموذج السرع وتكرر عملية الحساب حتى يصبح الفرق بين الزمن المحسوب والزمن المقيس بالحد الأدنى، بحيث لا تتجاوز نسبة مربع الخطأ التربيعي (RMSE) قيمة محددة (تساوي هذه القيمة 1.5 في الطريقة المتبعة وفقاً للبرنامج SeisImager/2D المستخدم بهذه الدراسة). إن مبدأ الطريقة هو إيجاد أقصر زمن لرحيل الموجة بين المنبع واللاقط مروراً بعدد من العقد الموزعة على أضلاع خلايا شبكة تربيعية تمثل نموذج طبقات الأرض، وذلك من أجل كل زوج (منبع-لاقط)، حيث تجري محاكاة نموذج طبقات الأرض بشبكة تربيعية تأخذ أبعاد خلاياها مسافة تساوي المسافة بين لاقطين متتاليين، توزع على أضلاع تلك الخلايا مجموعة من العقد التي تمثل نقاط مرور أشعة الأمواج الانكسارية، ويجري التحكم بعدد العقد من قبل المستخدم بحسب التعقيدات المتوقعة لكل حالة (الشكل 2). وهذا يؤدي إلى توليد عدد هائل من الاحتمالات لمسار الموجة، وكل مسار يوصف بمعادلة تعبّر عن زمن رحيله. تُحلُّ هذه المعادلات وفقاً لتقنية المربعات الصغرى باستخدام التكرار للوصول إلى الحل الأمثل في تحديد أقصر زمن لكل زوج (منبع- لاقط).

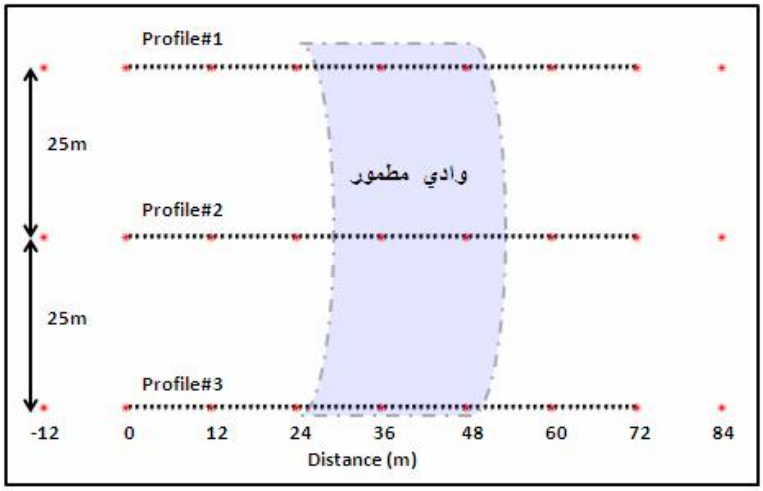


الشكل (2) مسار شعاع الموجة، [8].

طريقة العمل الحقلي: لإنتاج نموذج السرعة السيزمية للوسط الجيولوجي السطحي نُفّذت القياسات الحقلية باستخدام جهاز السيسموغراف PASI- Seismograph Mod.16S24-N، [17]، لتسجيل الأمواج الطولية (P-Waves) التي بدورها استخدمت في حساب السرعة للطبقتين العلويتين في منطقة الدراسة، إذْ استخدم (24 channels) بتباعد (1m) بين الجيوفونات، وخمسة منابع (5 Shots) لكل تَشكيل (Spread)، بحيث يبعد المنبع الأول (EndShot1=S1) مسافة (0.5m) عن أول لاقط، والمنبع الثاني (CenterShot=CS) في وسط التشكيل، ويبعد المنبع الثالث (EndShot2=S2) مسافة (0.5m) عن آخر لاقط، واستُخدم منبعان خارج التشكيل (OffsetShot1=OS1, OffsetShot2=OS2) يبعدان عن أول وآخر لاقط بنصف طول التشكيل على التوالي. يبيّن الشكل (3-a) تمثيلاً تخطيطياً لتوزع اللواقط والمنابع في كل تشكيل، ويبيّن الشكل (3-b) التغطية المستخدمة في كل خط سيزمي، إذْ نُفّذتْ ثلاثة خطوط سيزمية متعامدة مع محور الوادي المطمور، وكانت المسافة الفاصلة بين كل خطين (25m)، كما في الشكل (4).



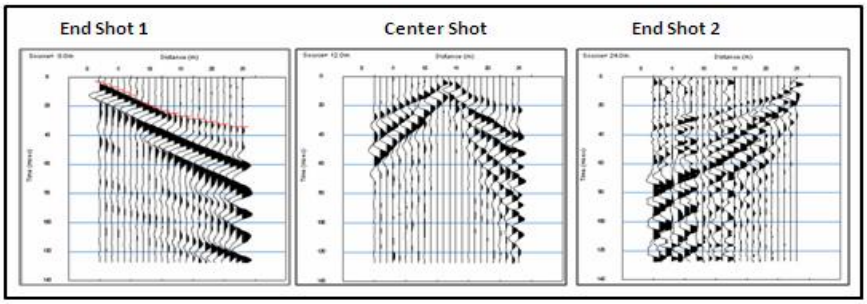
الشكل(3): (a): رسم تخطيطي للتشكيل المستخدم، [7]، (b): توضع المنابع واللواقط في كل خط سيزمي منفذ في هذا البحث.



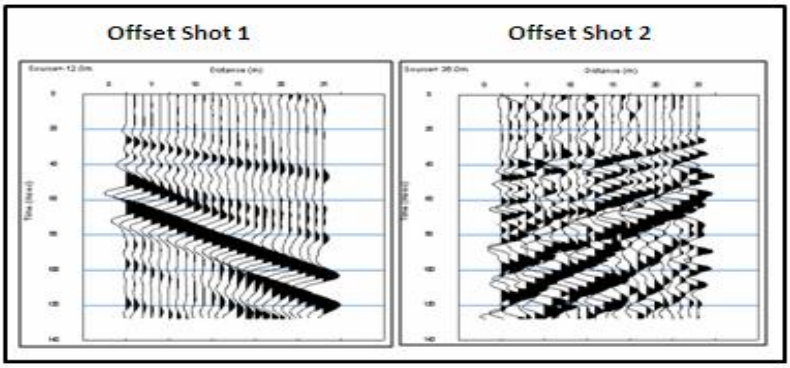
الشكل(4) رسم تخطيطي لمواقع الخطوط السيزمية المنفذة في هذا البحث وأبعادها.

المناقشة والنتائج

تم الحصول على الحقل الموجي من القياسات الحقلية التي ضمت 45 مقطعاً لكامل منطقة الدراسة، موزعة بواقع خمسة مقاطع موافقة لخمسة منابع في كل تشكيل (الشكل 3-b)، مضروبة بثلاثة تشكيلات لكل خط سيزمي، مضروبة بثلاثة خطوط. يبيّن الشكل (5) الحقل الموجي للتشكيل الأول، في الخط السيزمي الأول، إذْ: المنبع EndShot1 في بداية التشكيل من اليسار، والمنبع CenterShot في وسط التشكيل، والمنبع EndShot2 في نهاية التشكيل، ويحتوي الشكل (6) على مقطعين للحقل الموجي للتشكيل نفسه بحالة المنبع OffsetShot1 في بداية التشكيل مع إزاحة إلى اليسار بنصف طول التشكيل، والمنبع OffsetShot2 بنهاية التشكيل مع إزاحة إلى اليمين بنصف طول التشكيل.



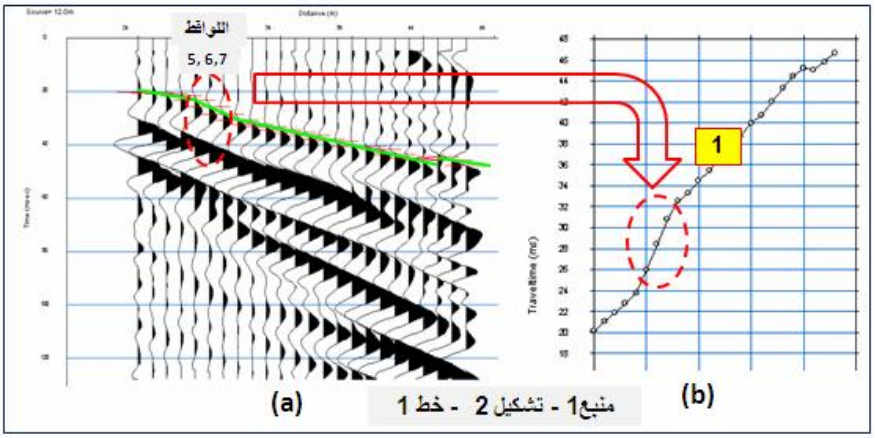
الشكل (5) الحقل الموجي للمنابع: EndShot1, CenterShot, EndShot2 في التشكيل1 للخط السيزمي1.



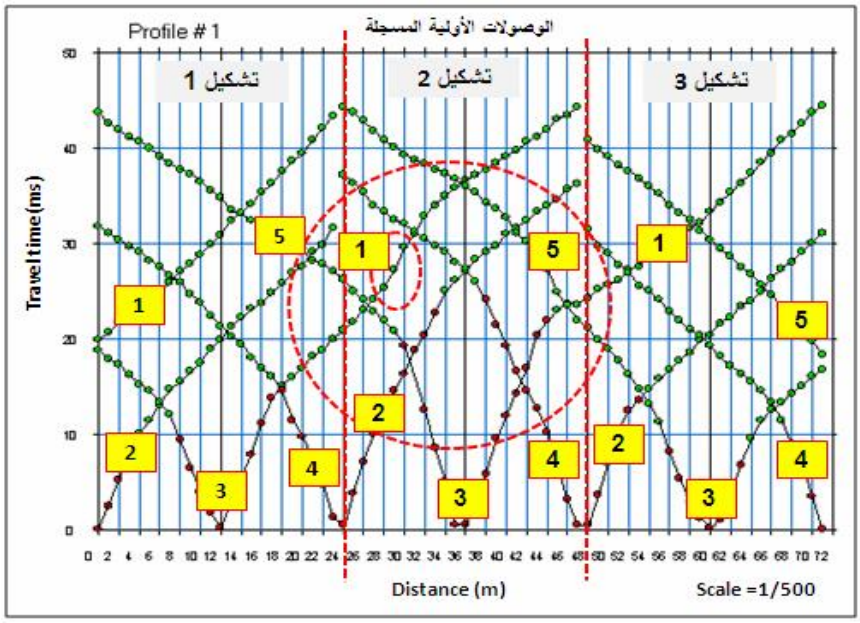
الشكل (6) الحقل الموجي للمنابع: OffsetShot1, OffsetEndShot2 في التشكيل1 للخط السيزمي1.

فُسّرتْ نتائج القياس باستخدام برامج (PickWin, PlotRefa) وفقاً للخطوات الآتية:

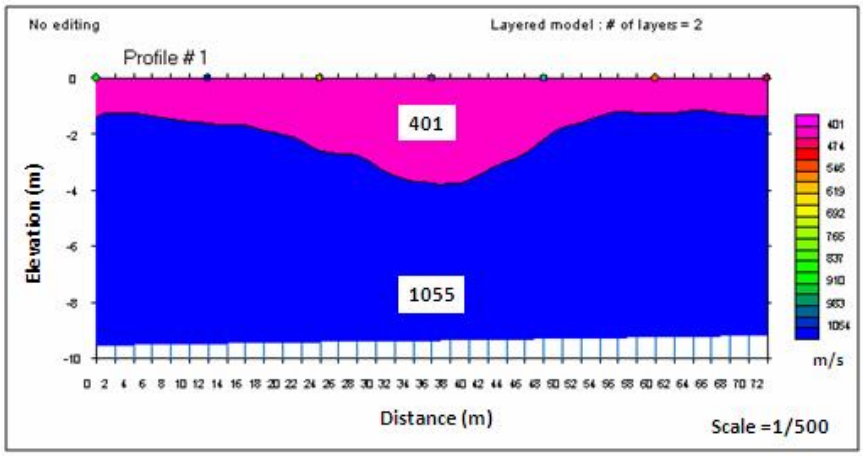
1) التُقطتْ وسُجّلت الوصولات الأولية للأمواج المنكسرة في كل حقل موجي. يبيّن الشكل (7) مثالاً على عملية تسجيل الوصولات الأولية للمقطع الناتج من المنبع الأول، في التشكيل الثاني، للخط السيزمي الأول (a)، ومنحنى الوصولات الأولية الناتج (b). يلاحظ في الشكل (7-a,b) تغيراً في أزمنة تسجيل الوصولات الأولية، إذ تخضع لتأخير زمني متسارع عند اللواقط (5, 6, 7)، ثم تعود لتحافظ على الميل نفسه، ممّا يشير إلى أن هذا المنحنى يعبّر عن سرعة طبقة واحدة تخضع لتغير في العمق، وهذا الأمر يرتبط غالباً مع تقعر سطح الطبقة الثانية التي تمثل سرير الوادي بهذه الحالة. كُررت هذه الخطوة للمقاطع كلّها في الخط السيزمي (1)، وكانت النتيجة كما في الشكل (8).
2) حُدّدتْ مهمة حساب السرعة لطبقتين للخط السيزمي (1)، وذلك بدءاً من الوصولات الأولية الناتجة (الشكل 8)، ثم وُلّدَ نموذج السرعة - العمق باستخدام Time-term Inversion، وكانت النتيجة كما في الشكل (9).
3) استخدمت البيانات الناتجة من الخطوة السابقة كمدخلات في حساب وتقدير نموذج السرعة – العمق بطريقة Tomographic Inversion، وكانت الوصولات المحسوبة بهذه الطريقة باعتماد منهجية التكرارية المذكورة سابقاً، متوافقة مع الوصولات المسجلة، بخطأ لا يتجاوز الحد المقبول في نمذجة هذه البيانات (الشكل 10)، وكانت النتيجة كما في الشكل (11).
4) كُرّرتِ الخطوات (3-1) في حساب وتقدير نموذج السرعة – العمق لكل من الخطين السيزميين الآخرين (2, 3)، وكانت النتائج في الأشكال (12-19). علماً أنه رُسمتْ أشكال بيضوية منقطة على مخططات الوصولات الأولية للإشارة إلى موقع الوادي على تلك المخططات.



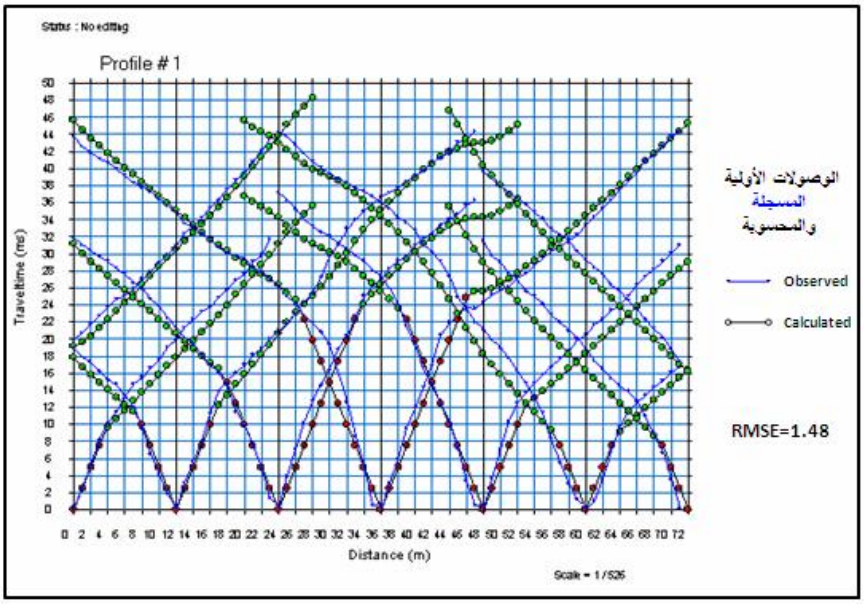
الشكل (7) الحقل الموجي للمنبع1 في التشكيل2 للخط الـسيزمي1 (a)، والوصـولات الأوليـة الموافقة له (b).



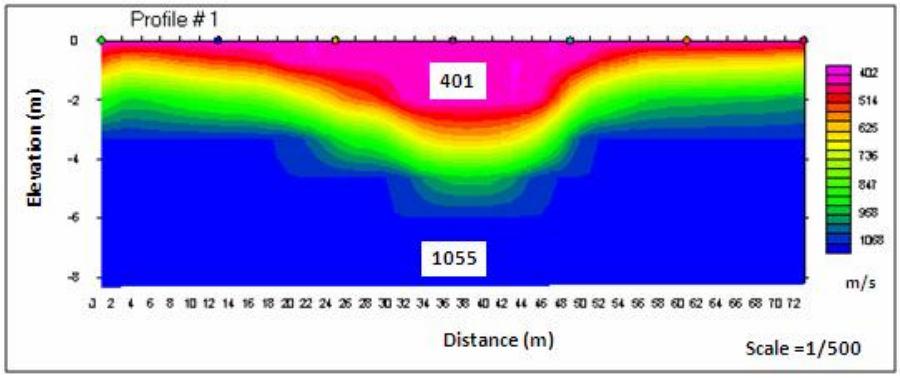
الشكل (8) الوصولات الأولية المسجلة للخط السيزمي 1، (تشير الأرقام ضمن المربعات إلى رقم المنبع في كل تشكيل، وتشير الخطوط المنقطة إلى موقع الوادي).



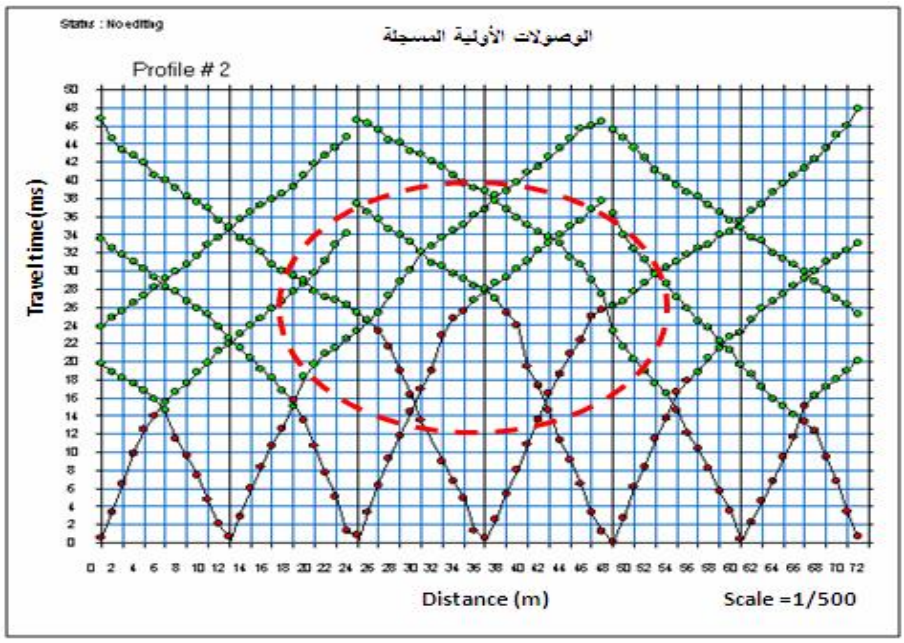
الشكل (9) نموذج السرعة - العمق الناتج للخط السيزمي1، بطريقة Time-term Inversion.



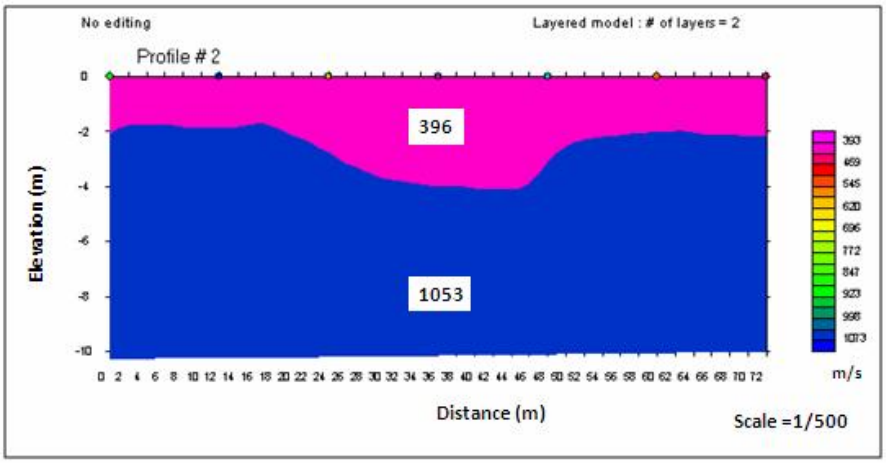
الشكل (10) الوصولات الأولية المسجلة والوصولات المحسوبة للخط السيزمي 1.



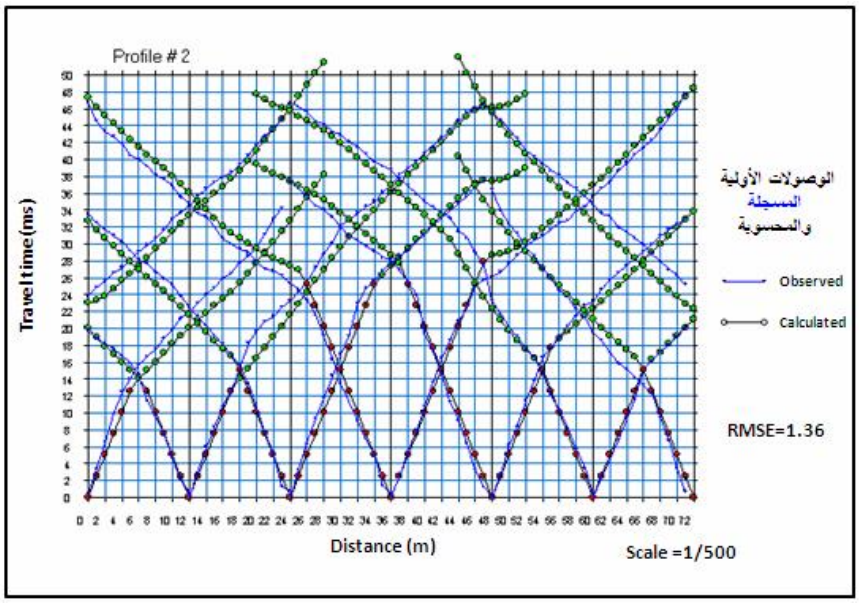
الشكل (11) نموذج السرعة - العمق الناتج للخـــط الـــسيزمي 1، بطريقـــة Tomography Inversion.



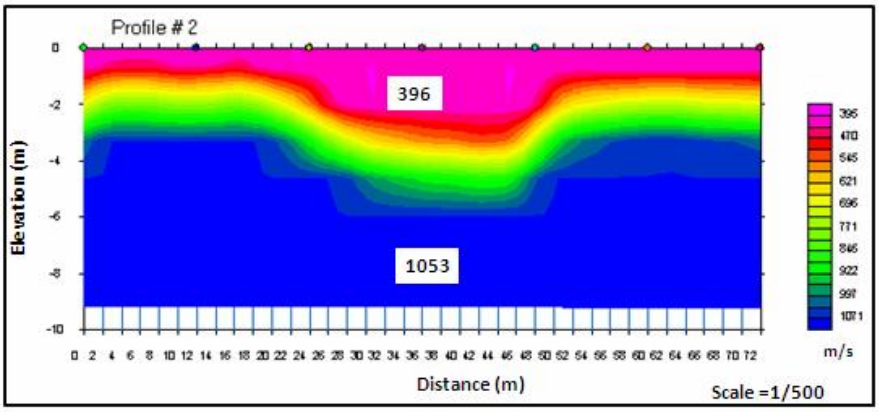
الشكل (12) الوصولات الأولية المسجلة للخط السيزمي 2، (يشير الخط المنقط إلى موقع الوادي).



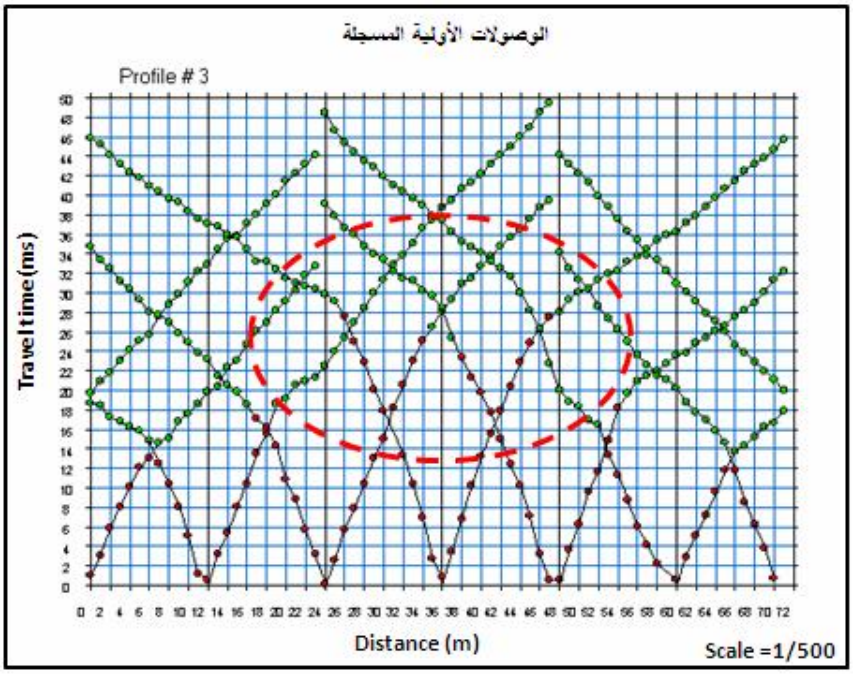
الشكل (13) نموذج السرعة - العمق الناتج للخط السيزمي 2، بطريقة Time-term Inversion



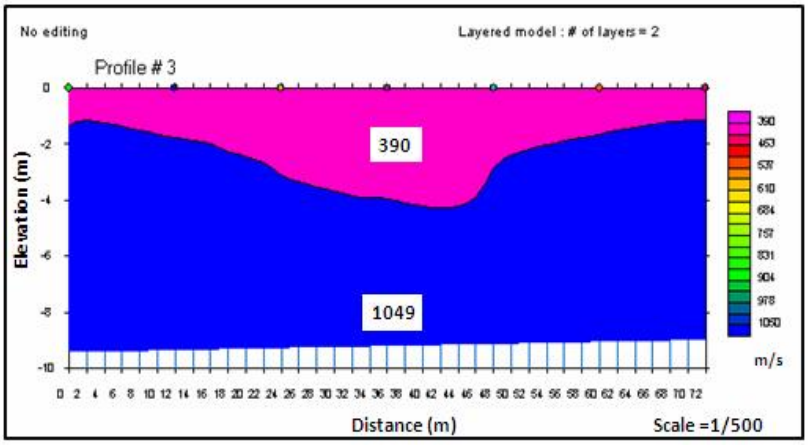
الشكل (14) الوصولات الأولية المسجلة والوصولات المحسوبة للخط السيزمي 2.



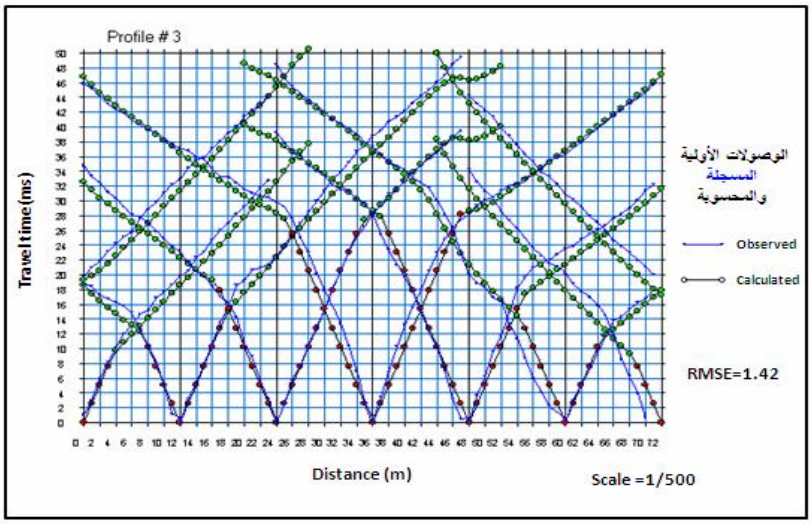
الشكل (15) نموذج السرعة - العمق الناتج للخط السيزمي2، بطريقة Tomography Inversion



الشكل (16) الوصولات الأولية المسجلة للخط السيزمي 3، (يشير الخط المنقط إلى موقع الوادي).



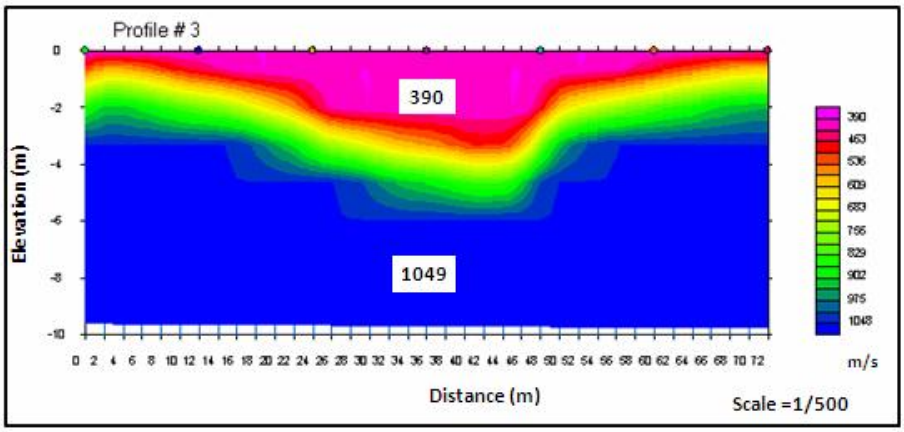
الشكل (17) نموذج السرعة - العمق الناتج للخط السيزمي3، بطريقة Time-term Inversion



الشكل (18) الوصولات الأولية المسجلة والوصولات المحسوبة للخط السيزمي 3.

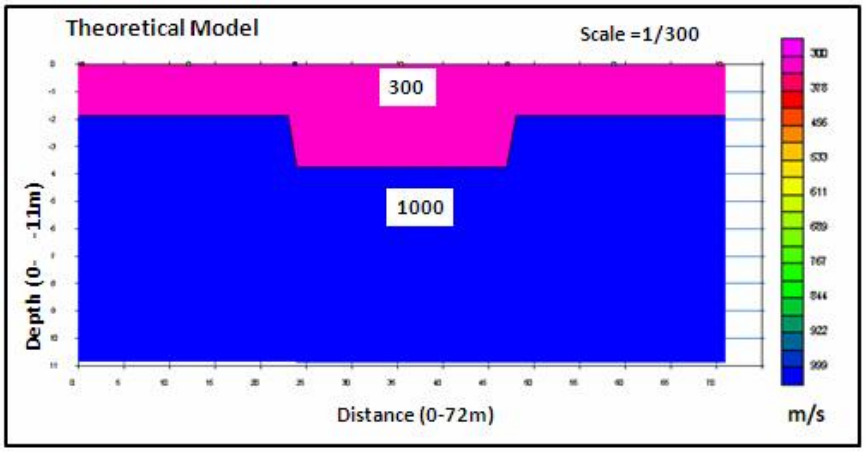
تبيّن من تحليل نتائج الدراسة للخطوط السيزمية الثلاثة المذكورة أعلاه، أن السرعة السيزمية في الطبقة الأولى (طبقة التجوية والردميات) بلغت نحو (400m/s) وسماكتها راوحت بين (1.3m) عند الأطراف و(4.9m) عند قاع الوادي. وكانت السرعة في الطبقة الثانية نحو (1000m/s) مما يشير إلى أن هذه الطبقة مؤلفة من رمل جاف، أو رمل منخفض الرطوبة [4, 5]، وبسماكة تزيد على العشرة أمتار. وبمقارنة هذه النتيجة بنتيجة الاختبارات المنفذة في إحدى الآبار القريبة من منطقة الدراسة، تبيّن أن النتائج متوافقة

بنسبة كبيرة. إذْ أظهرت نتائج التحليل المخبرية للعينات المأخوذة من البئر بأن سماكة طبقة التجوية تبلغ (3m)، تليها طبقة من الرمال الجافة حتى عمق عشرة أمتار، ثم طبقة رمال مشبعة بالمياه الجوفية، وهذا ما يؤكد نتائج البحث. هذا ويلاحظ أن طريقة التموغرافي، ومن خلال المقاطع أعلاه، قد أضافت معلومات أكثر تفصيلاً فيما يتعلق بالتغير الشاقولي والجانبي لنموذج السرعة فيما لو قورنت بالطريقة التقليدية، وعكست بشكل أفضل تدرج ميل سطح الطبقة الثانية بمحاذاة الوادي، فيلاحظ أن السرعة المحسوبة تزداد تدريجياً عند سرير الوادي، مع الحفاظ على قيمة السرعة في الطبقة الأولى والطبقة الثانية، وهذا قد يعكس خصائص الوسط بشكل أفضل من الطريقة التقليدية التي يظهر فيها تغيّر مفاجئ للسرعة عند الانتقال من الطبقة الأولى إلى الثانية.

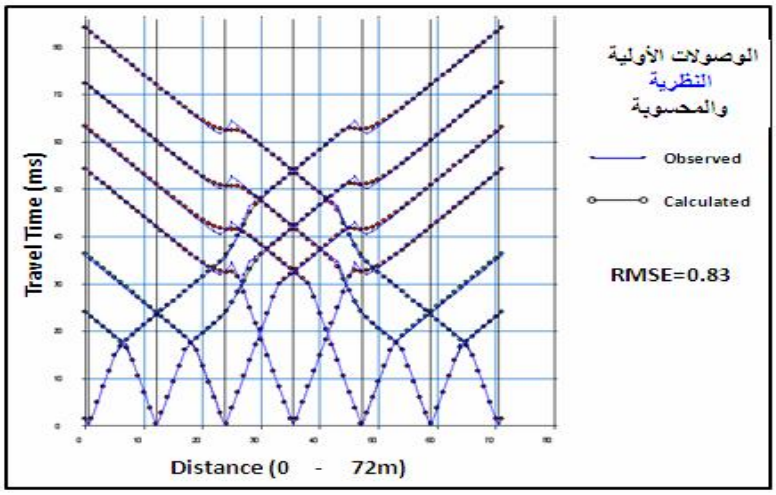


الشكل (19) نموذج السرعة - العمق الناتج للخط السيزمي3، بطريقة Tomography Inversion

وُلّد نموذج سرعة نظري يحاكي النتيجة السابقة (الشكل 20) لاختبار دقة طريقة التموغرافي المستخدمة، إذْ عُدَّتْ سماكة الطبقة الأولى (2m) في الأطراف و(4m) في الوادي وبسرعة (300m/s)، والطبقة الثانية بسماكة نحو (6m)، وبسرعة (1000m/s)، وحُسبت الوصولات الأولية لهذا النموذج، وعُدَّت بيانات الدخل للحل التموغرافي، وبتشغيل النظام تمَ الحصول على الوصولات المحسوبة وبخطأ (RMSE=0.83) كما في الشكل (21)، وتم الحصول على نموذج السرعة - العمق الموافق كما في الشكل (22)، وباستخدام الحل التموغرافي على اعتبار عدد العقد على كل ضلع في الخلية (3)، وبتكرار الحل (10) مرات حصلنا على النموذج النهائي كما في الشكل (23). وبمقارنة هذه النتيجة بنموذج الدخل الافتراضي نلاحظ أنه مُثّلت شروط النموذج النظري بشكل جيد. وهذه النتيجة تؤكد صحة الطريقة المستخدمة في تحديد سرير الوادي وسرعة الطبقات.



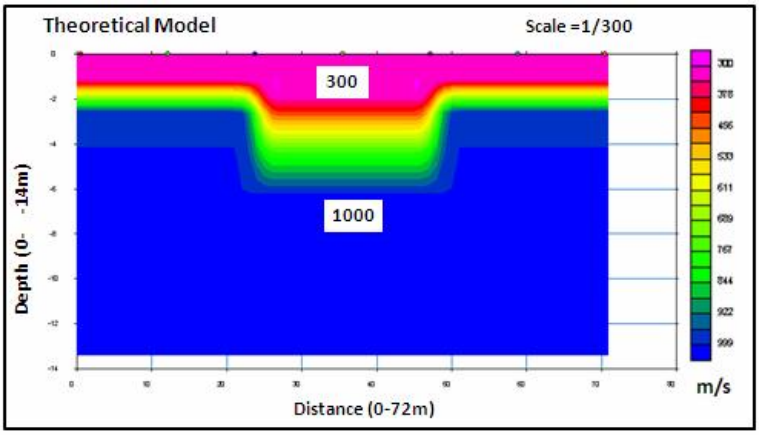
الشكل (20) نموذج افتراضي للسرعة - العمق (نظري).



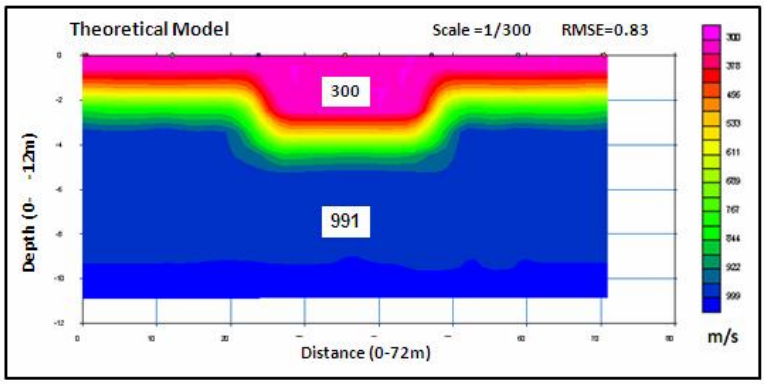
الشكل (21) الوصولات الأولية النظرية والمحسوبة للنموذج النظري.

تعطي النموغرافي ثلاثية الأبعاد تصوراً شبه واقعي للبنية تحت السطحية، ولكنها مرتفعة الكلفة، مقارنة بالنموغرافي ثنائية الأبعاد من ناحية جمع البيانات أو تحليلها، إذْ تتطلب عدداً كبيراً من المنابع واللواقط، هذا فضلاً عن أن مسار أشعة الأمواج تتناثر بالاتجاهات كلّها، وتتطلب جهداً كبيراً لتتبعها عبر النموذج، وقد تعطي صورة معقدة من الخلايا والمثلثات التي تعبّر عن الوسط الجيولوجي،[14]. لذا وبدءاً من مقاطع السرعة الناتجة لعدة خطوط سيزمية متوازية، يمكن وضع تصور ثلاثي الأبعاد لمنطقة الدراسة،

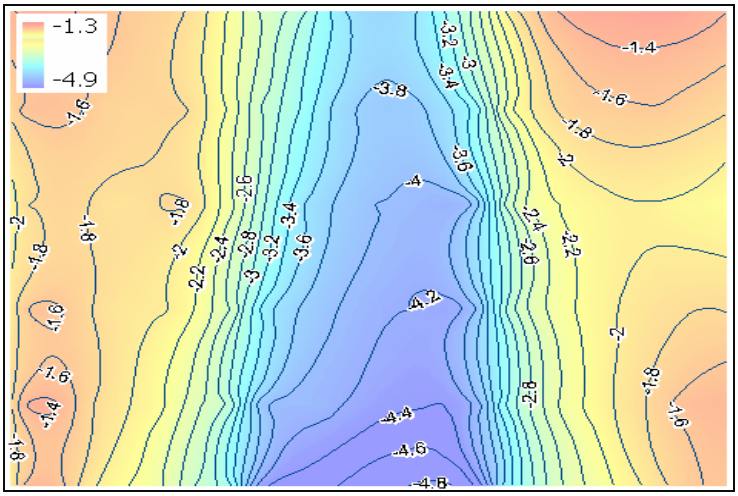
وذلك بعمل رقمنة (digitizing) للسرعات، وتوليد خطوط تساوي السرعة (Iso-Velocity)، يمكن تمثيلها كسطوح (Surfaces)، وتحويلها إلى نموذج ثلاثي الأبعاد، لتمثيل البنية تحت السطحية، [8]، وبالمنهجية نفسها صُدّرت نتائج حساب أعماق الطبقات وسماكتها للخطوط المنفذة في هذا البحث كلّها، وحُوّلت هذه البيانات إلى ملفات دخل متوافقة مع نظم المعلومات الجغرافية، واستُخدمَ النظام ArcGIS في استنباط الأعماق البينية لسرير الوادي، بتقنية الجوار الطبيعي (Natural Neighbour Technique)، وذلك بتحويل نقاط الأعماق إلى سطح ثلاثي الأبعاد [1]، مخزن كصورة خلوية (Raster Image) استخدمت في توليد خطوط تساوي أعماق سرير الوادي، كما في الشكل (24).



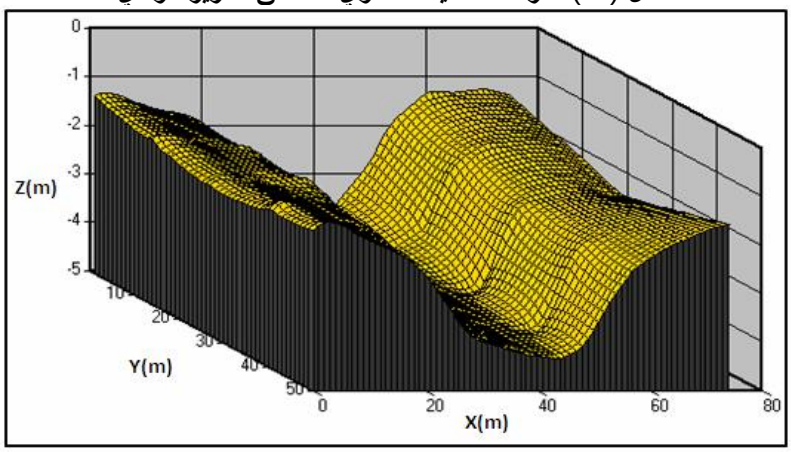
الشكل (22) نموذج السرعة-العمق الناتج للنموذج النظري بطريقة التموغرافي بالمدخلات الافتراضية.



الشكل (23) نموذج السرعة-العمق الناتج للنموذج النظري بطريقة التموغرافي بعشرة تكرارات.



الشكل (24) خارطة منحنيات تساوي الأعماق لسرير الوادي.



الشكل (25) مقطع ثلاثي الأبعاد لسطح سرير الوادي.

هذا وقد استخدمت وظيفة (قص - ردم: Cut-Fill) بين سطح الأرض الطبيعية (بفرض مستوى الأرض الطبيعية = 0m) مع سطح سرير الوادي، لحساب كميات الحفر المطلوبة فيما لو أردنا قشط طبقة التجوية والردميات الموجودة في الوادي، وبلغت كميات الحفر المحسوبة نحو ($9040m^3$)، لكامل مساحة منطقة الدراسة التي بلغت ($3600m^2$). وبدءاً من سطح تساوي الأعماق، وبهدف معاينة النموذج وتصور شكل الوادي ومساره وعمقه وُلِّدَ مقطع ثلاثي الأبعاد لسطح سرير الوادي باستخدام نظام ErdasImagine، [16]، وكانت النتيجة كما في الشكل (25).

References

1. **Childes C., 2004. Interpolating surfaces In ArcGIS Spatial analyst, SERI Education Servieces, p35.**
2. **Dobrin, M. B., 1976. Introduction to Geophysical Prospecting: McGraw - Hill Book C o., P.50.**
3. **Fracnco, R. de, 2005. Multi Refractor Imaging with stacked refraction convolution section, Geophysical prospecting, 53, 335-348.**
4. **GRIFFIN R. H., 1995. Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations, P.3-2.**
5. **Haeni F. P., 1988. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Chapter D2, Application of seismic-refraction techniques to hydrologic studies, usa, washington.p43.**
6. **Jacob R. Sheehan, William E. Doll1 and Wayne A. Mandell, 2010. An Evaluation of Methods and Available Software for Seismic Refraction Tomography Analysis, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, United States Army Environmental Center, berdeen, P33.**
7. **JENNY J., 2013. Refraction seismic, Geo2X Genève, P7.**
8. **Leucci G., Greco F., L. De Giorgi, R. Mauceri, 2007. Three-dimensional image of seismic refraction tomography and electrical resistivity tomography survey in the castle of Occhiola` (Sicily, Italy), Journal of Archaeological Science 34 (2007) 233e242, p242.**
9. **Palmer D. 2001. Digital Processing Of Shallow Seismic Refraction Data With The Refraction Convolution Section. The University of New South Wales, Sydney, Australia. P11-12.**
10. **Palmer D., 2011. Uncertainty in refraction inversion – a grm strategy, The University of New South Wales, Sydney 2052, Australia.p1.**
11. **Paul C. Rizzo Associates, Inc. Bell Bend Nuclear Power Plant Project, 2010. Final report, seismic refraction investigation, Luzerne County, Pennsylvania, Report 10171-03 Rev 0, p6.**
12. **POWERS R. W., and Others., 1986. Geology of the Arabian Peninsula Sedimentary Geology of Saudi Arabia. P66-70.**
13. **Redpath B. B., 1973. Seismic refraction exploration for engineering site investigations, Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California. P23-28.**
14. **Toshiki Watanabe, Toshifumi Matsuoka and Yuzuru Ashida, 1999. Seismic traveltime tomography using Fresnel volume approach, Kyoto University, Japan. P3.**
15. **Zelt C A, Smith R B 1992. Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure., Geophys. J. Int., 108, p16-34.**

فضلاً عن بعض مراجع التجهيزات والبرامج المستخدمة:

16. **ERDAS IMAGINE, ® Essentials™ Tour Guides™ September. 2008.**
17. **Pasi seismographs 16s12-n-16s24-n, user's manual, Edition 2011. Rev.1, Copyright, 2007.**
18. **SeisImager/2D Manual, 2009. PickWin ver4, PlotRefa ver. 2. 2190 Fortune Drive, San Jose, California 95131 USA.**