تأثير تغير سماكة الطبقة وقيم معامل الانعكاس في صورة السيسموغرام الصنعي «دراسة حالة»

رفيق جبر[1]

تاريخ الإيداع 2014/03/30
قبل للنشر في 2014/06/02

الملخص

هدف البحث إلى دراسة تأثير تغيّر السرعة والكثافة وسماكة الطبقة في صورة المقطع السيزمي الصنعي باستخدام إشارة ريكر بمجال واسع من الترددات (20-130Hz)، وإشارة الرجَّاج بمجالات ترددية متنوعة (5-170Hz) كتقنية شائعة في عمليات التسجيل السيزمي الانعكاسي على اليابسة. حاول الباحث بيان العلاقة المتبادلة بين أزمنة تسجيل الإشارة السيزمية وقيم معامل الانعكاس من جهة، وأزمنة التسجيل وتغيّر سماكة الطبقة الصخرية من جهة ثانية، وتبيّن كما هو معروف أن أزمنة الورود المسجلة تتناسب طرداً مع ازدياد سماكة الطبقة، ولكنها تخضع لتأخير زمني وبعلاقة شبه أسية عند تغيّر السرعة والكثافة (معامل الانعكاس) ضمن الطبقة الواحدة. طُبّق أسلوب جديد في تمثيل البيانات الناتجة باستخدام تقنية تحويل المقاطع السيزمية الزمنية إلى صيغة صور (Raster Images) باستخدام نظام المعلومات الجغرافي GIS، الأمر الذي مكّن من التحكم بالمقاييس اللونية المعبرة عن سعة الإشارات السيزمية المسجلة وتتبع العواكس والحصول على معلومات مهمة عن سعة الإشارة حتى لو انخفضت سماكة الطبقة إلى أقل من الطول الموجي بعشر مرات، وذلك في حال استخدام إشارة ريكر أو إشارة الرجَّاج على حد سواء.

الكلمات المفتاحية: جيوفيزياء، طرائق سيزمية، سيسموغرام صنعي، معامل الانعكاس، إشارة الرجَّاج، ماتلاب، نظم المعلومات الجغرافية.

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

The effect of layer thickness and reflection coefficient variation on the synthetic seismogram image «Case Study»

R. Jaber[(1)]

Received 30/03/2014

Accepted 02/06/2014

ABSTRACT

The article aims to study the effect of layer thickness and reflection coefficient variation on the image of synthetic seismogram, which is generated by using Ricker Wavelet with wide range of frequencies (20-130Hz) and Vibrator Sweeps with many frequencies ranges (5-170Hz) as a known technique in reflection seismic method on land. The Researcher tried to determine the relationship between signals recording times and reflection coefficients variation from first side, and recording times with layer thickness variation from second side. The result which is observed that; the recorded times increased proportionally with increasing of the layer thickness (as we know), but it is delayed with exponential relation when the velocity and density are varied within the same layer. New manner is applied to represent the result by using the conversion of time seismic section to raster images by using GIS, this way gave us ability to control the colored scale which reflects the amplitude of recorded signals, and follows the reflectors or get important information about signals amplitude even though the layer thickness is decreased less than wavelet length ten times if we used Ricker signal or Vibration Sweeps.

Key Words:Geophysics, Seismic Methods**,** Synthetic Seismogram, Reflection Coefficient, Sweeps, MATLAB, GIS.

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

المقدمة

من أكثر الأمور التي تؤثر في دقة تمييز المقطع السيزمي، وتتبع السطوح العاكسة، هو السماكات القليلة للطبقات الصخرية، واختلاف قيم معامل الانعكاس، التي تعبِّر عن تغيّر السرعة والكثافة للطبقات الصخرية المتعاقبة. وهنا تبرز أهمية استخدام أفضل التقانات سواءً في توليد الإشارة السيزمية واختيار خصائصها، أو في عملية التسجيل والمعالجة والتحليل، للحصول على أفضل تمثيل للواقع الجيولوجي للمنطقة المدروسة. تختلف أساليب المسح السيزمي الانعكاسي على اليابسة تبعاً للهدف منه، وتبعاً لمنطقة الدراسة، وتعقيداتها الطبوغرافية والجيولوجية بشكل عام، وإن الحصول على معطيات سيزمية انعكاسية ذات جودة عالية يعتمد اعتماداً رئيساً على اختيار الشروط المثالية لعملية المسح، وتسجيل الإشارة السيزمية. إن أحد أهم الشروط والعوامل التي تؤدي إلى الحصول على معطيات ملائمة، هو شكل الإشارة السيزمية المولَّدة على سطح الأرض، وخصائصها، من حيث التردد والسعة والطور. فقد نجد أنَّ بعض الأعمال تعتمد تقنية التفجير واستخدام الديناميت كمصدر للطاقة السيزمية، وقد باتت هذه التقنية قليلة الاستخدام، وأخرى تعتمد تقنية الرجَّاج شائعة الاستخدام، أو غير ذلك [2]، وكل طريقة تتميز بخصائص إيجابية وأخرى سلبية من الناحية التقنية، ومن الناحية المالية أيضاً. وهذا بدوره قد يحتّم على المستخدم اختيار إحدى الطرائق الملائمة لطبيعة العمل، ومنطقة الدراسة، والهدف المرجو من الدراسة أو المشروع.

هَدَفَ البحث إلى دراسة تأثير تغير سماكة الطبقة الصخرية، وتغير قيم معامل الانعكاس التي تمثّل تغيّر السرعة والكثافة لكل طبقة من الطبقات الصخرية على صورة المقطع السيزمي الصنعي، متضمنةً التغيّر الشاقولي والأفقي لكل من السماكة ومعامل الانعكاس، من خلال عدة نماذج نظرية تحاكي الواقع، وذلك باستخدام إشارة ريكر ذات الطور الصفري، التي تمثل منبعاً سيزمياً نقطياً باستخدام تقنية الديناميت، وإشارة كلاودر التي تحاكي إشارة الرجَّاج المستمرة وذلك خلال زمن محدد، بغية إجراء المقارنة لاحقاً.

مواد البحث وطرائقه

المنهجية: لتحقيق هدف البحث نُفّذَ العمل وفقاً للخطوات الآتية:

1- بناء نماذج نظرية اعتماداً على قيم السرعة والكثافة من القياسات البئرية، لبعض الطبقات الجيولوجية في بعض الحقول المختارة. إذْ أُفيد من قيم السرعة والكثافة لطبقات الفحم الحجري، التي تعود إلى الكربوني الأعلى المتوضعة على عمق (400-500m)، في حوض "السيليسي الأعلى" جنوب بولندا [3,10,11]. كما اختيرت قيم السرعة والكثافة

لبعض طبقات الرمل المشبع بالفحوم الهيدروجينية العائدة إلى الميوسين الأسفل، المتوضعة على عمق (800-900m) تقريباً، في محيط جبال الكاربات، على الحدود الشرقية الجنوبية من بولندا، [6, 7, 8, 11]. عُدّلت وكُرّرتْ قيم السرعة والكثافة، وسماكة الطبقات في نماذج الفحم الحجري، وفي نماذج النفط والغاز، وذلك بهدف رصد تأثير تغير قيم معامل الانعكاس، وتأثير تغيّر سماكة الطبقات في السيسموغرام الصنعي. وقد طُوّرتْ برامج في نظام الفورتران، لتوليد معطيات هذه النماذج، وحُسبتِ الإشارة السيزمية، وأُعدَّتْ ملفات الدخل والخرج.

2- بناء السيسموغرام الصنعي باستخدام إشارة ريكر، وإشارة الرجَّاج، بهدف مقارنة النتائج على آثار مفردة لنماذج محددة، ومن ثم اختيار أفضل بارامترات للإشارة السيزمية ثم تطبيقها على تراكيب معقدة، لرصد تأثير تغيّر السماكة والسرعة والكثافة، شاقولياً وأفقياً، في صورة المقطع السيزمي الصنعي. وقد طُوّر برنامج لتوليد السيسموغرام الصنعي، وذلك باستخدام النظام MATLAB، [5].

3- تمثيل السيسموغرامات الناتجة في نظام المعلومات الجغرافي GIS وتفسيرها وتحويلها إلى صيغة صور Raster Images، تسهِّل عملية تتبع العواكس وتفسير النتائج.

تجدر الإشارة إلى أن نظام المعلومات الجغرافي يستخدم في العديد من المجالات والدراسات بالاعتماد على تمثيل البيانات المكانية وتحليلها بالإحداثيات الثلاثية (X,Y,Z)،[4]، ونادراً ما يستخدم في تمثيل المعطيات السيزمية، نظراً إلى طبيعة هذه المعطيات، كسلسلة بيانات زمنية-مكانية (X,Y,T) بشكل رئيسي. وهنا طُوّعَ هذا النظام لتمثيل المعطيات السيزمية، كسيسموغرامات زمنية، تأخذ صيغة بيانات خطية Vector Data، ثم حُوّلتْ إلى بيانات صور خليوية، (شبكية) Raster Data، للتمكين من تفسير أفضل للبيانات الناتجة. كما استُخدمَ نظام الجدولة الاكترونية Excel كبرنامج وسيط، لإعداد بعض الجداول والرسوم البيانية، ونظام قواعد البيانات، في توثيق المعطيات وإعدادها وتحويلها إلى صيغة متوافقة مع نظم المعلومات الجغرافية تمهيداً لتمثيلها وتفسيرها.

آلية بناء السيسموغرام الصنعي واختيار الإشارة السيزمية: يُبنى السيسموغرام الصنعي كما هو معروف بتنفيذ عملية الثني Convolution بين إشارة المنبع السيزمي Seismic Wavelet وقيم معامل الانعكاس Reflection Coefficients، التي تعبِّر عن تفاوت الممانعة الصوتية لتعاقب الطبقات الصخرية، وذلك في حقل الزمن أو في حقل التردد [14] التي يعبَّر عنها في حقل الزمن بالعلاقة (1):

$$s(t) = w(t) * rc(t) \qquad (1)$$

وفي حقل التردد بالعلاقة بالعلاقة (2):

$$S(f) = W(f) \cdot RC(f) \qquad (2)$$

إذْ: (s) السيسموغرام الناتج، (w) الإشارة السيزمية، (rc) قيم معامل الانعكاس، (t) الزمن، (f) التردد، (*) تعني عملية الثني و(·) تعني عملية الضرب، وإن الأحرف الكبيرة في المعادلة (2) تعني تحويل فوريه لحدود المعادلة (1)، فمثلاً تحويل فوريه للحد s(t) يعطى بالعلاقة (3):

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2p\,f\,t} dt \qquad (3)$$

يُنتج السيسموغرام الصنعي باستخدام إشارة الرجَّاج المتمثلة بسلسلة إشارات جيبية (Sweeps)، مستمرة زمناً محدداً، قد يتجاوز العشر ثواني، وبترددات متزايدة أو متناقصة، بشكل خطي أو لا خطي، بحسب الهدف منها. يُعاد توليد إشارة الرجَّاج ضمن مجال ترددي مساوياً إلى (8-80Hz) في الأعمال السيزمية التقليدية، وقد طُوّرتْ هذه التقنية للأغراض الاستكشافية عن التراكيب العميقة، النفطية والغازية، ليصبح المجال الترددي مساوياً إلى (5-90Hz). وفي التجهيزات الحديثة، ولأغراض الأعمال السطحية، زِيد عرض المجال الترددي إلى (3-120Hz) أو (3-150Hz)، كما في تقنية DX80 MD Sweep، [1]. وبهدف زيادة دقة التمييز، أصبح بالإمكانِ أيضاً، التحكم في القيمة العظمى والقيمة الصغرى للتردد، ليصبح المجال الترددي مساوياً إلى (30-170Hz) مثلاً، كما في تقنية EmphaSeis and BroadSeis، [13]، أو في تقنية MiniVib, MiniIVII، المستخدمة في دراسة التوضعات السطحية ولاسيَّما الرقيقة منها [15].

تُعاد محاكاة سلسلة إشارة الرجَّاج الطويلة زمنياً بتنفيذ عملية الارتباط الذاتي لها والحصول على إشارة كلاودر محددة الطول والطور والتردد التي تعطى بالعلاقة (4)،[12]، ويمكن استخدامها في توليد السيسموغرام الصنعي بمنهجية استخدام إشارة ريكر نفسها، أو غيرها من الإشارات السيزمية المعروفة.

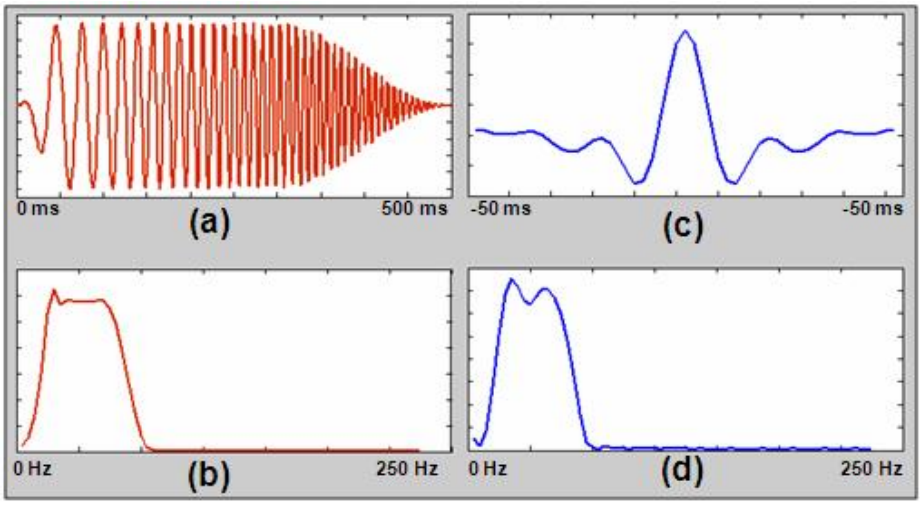
يتضمن الشكل (1) مثالاً على إشارة الرجّاج (a)، وطيفها السعوي (b)، وإشارة كلاودر الناتجة (c)، وطيفها السعوي (d).

$$Klauder\,(t) = real\left[\frac{Sin\,(\pi kt(T-t)}{(\pi kt)e^{2\pi i fot}}\right] \qquad (4)$$

إذْ: k=(f2-fl)/T: معدل تغيّر التردد مع الزمن(rate of change of frequency with time).

fo=(f2+fl)/2: التردد الوسطي (المركزي) لإشارة الرجَّاج (mid frequency of bandwidth).

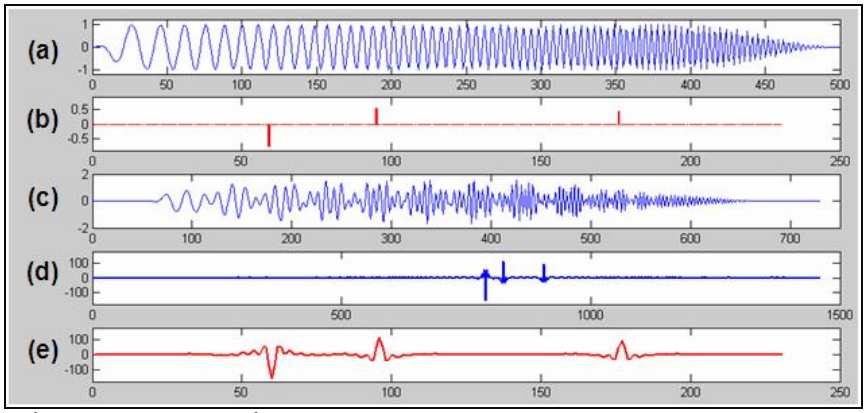
i=$\sqrt{-1}$: الرقم التخيلي (an imaginary number).



الشكل (1) إشارة الرجَّاج (a)، وطيفها السعوي (b)، وإشارة كلاودر الناتجة من الارتباط الذاتي لإشارة الرجَّاج (c)، وطيفها السعوي (d).

استُخدمت في هذا البحث إشارة الرجَّاج في إنتاج السيسموغرام الصنعي، علماً بأن عمليَة ثني إشارة الرجَّاج مع قيم معامل الانعكاس تنتج أثراً سيزمياً طويلاً، يتناسب مع طول سلسلة إشارة الرجَّاج المستخدمة؛ مما يؤدي إلى إزاحة العواكس زمنياً من جهة أولى، وإظهار الإشارات الناتجة على السيسموغرام، على شكل سلسلة أمواج متداخلة، عند كل تغيِّر في الممانعة الصوتية من جهة ثانية، ما يسبب صعوبة فرز العواكس وتتبعها على السيسموغرام الناتج بصيغته الأولية. مما يحتّم إجراء عملية الارتباط المتصالب بين الأثر السيزمي الناتج وإشارة الرجَّاج الأصلية التي تدعى بالإشارة المرجعية (Pilot Sweep)؛ وذلك بهدف ضغط سلسلة الأمواج الناتجة والحصول على إشارة تمثّل السطح العاكس، وتتناسب مع قيمة معامل الانعكاس [9]. هذا ويُزاحُ زمن تسجيل الأمواج الناتجة بنصف طول سلسة إشارة الرجَّاج لإعادة تموضع الإشارات المنعكسة في مواقعها الصحيحة بالنسبة إلى زمن الانعكاس.

يبيّن الشكل (2) آلية انتاج السيسموغرام الصنعي باستخدام سلسلة إشارة الرجَّاج.

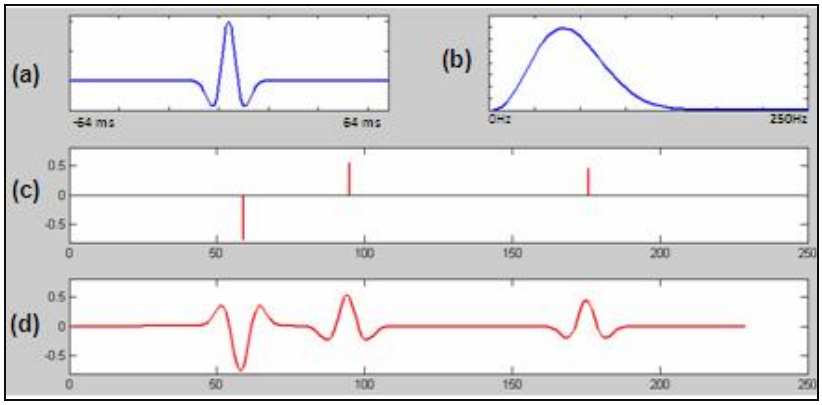


الشكل (2) آلية توليد السيسموغرام الصنعي باستخدام إشارة الرجَّاج، (a): إشارة الرجَّاج، (b): قيم معامل الانعكاس، (c): السيسموغرام الناتج من عملية الثني بين إشارة الرجَّاج وقيم معامل الانعكاس، (d): ناتج عملية الارتباط المتصالب بين إشارة الرجَّاج وناتج عملية الثني، (e): السيسموغرام النهائي.

كما استخدمت إشارة ريكر (المعادلة 5) كإشارة ذات طور صفري [12]، في بناء السيسموغرام الصنعي، إلى جانب إشارة الرجَّاج .

$$Ricker(t) = (1 - 2\pi^2 f^2 t^2) e^{-\pi^2 f^2 t^2} \qquad (5)$$

يبيِّن الشكل (3) مثالاً على إشارة ريكر عند التردد المسيطر65Hz، وبفاصل تقطيع 1ms (a)، وطيفها السعوي الموافق (b)، ومثالاً على توزع قيم معامل الانعكاس (c)، ونتيجة عملية الثني والسيسموغرام الناتج (d).



الشكل (3) إشارة ريكر(a)، وطيفها السعوي (b)، وتوزع قيم معامل الانعكاس (c)، والسيسموغرام الناتج من عملية الثني بين قيم معامل الانعكاس والإشارة السيزمية (d).

النماذج النظرية ومناقشة النتائج

نُفّذتْ هذه المرحلة عبر الخطوتين الآتيتين:

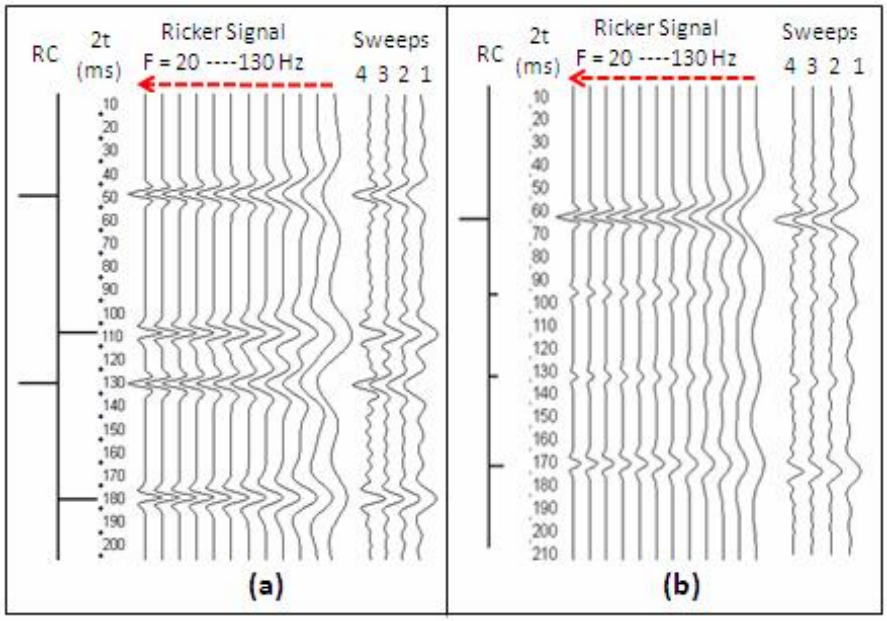
1- في الخطوة الأولى بُنيت ثلاثة نماذج، يعود كل منها لأثر سيزمي مفرد، لاختبار دقة تمثيل السيسموغرام الصنعي للحالة الجيولوجية، من حيث السعات المسجلة، وأزمنة التسجيل، واختبار دقة التمييز، ومدى صلاحية الإشارة السيزمية، وضبط بارامتراتها، ولهذا الغرض استُخدمت إشارة ريكر بتردد ضمن المجال (20-130Hz) وبفاصل تقطيع (1ms)، وإشارة الرجَّاج ضمن المجالات الترددية: (8-80Hz)، (5-90Hz)، (3-150Hz)، (30-170Hz) وبفاصل تقطيع (1ms).

2- وفي الخطوة الثانية اختيرت أفضل إشارة من الخطوة الأولى وطُبّقتْ على ثلاثة نماذج أخرى، أكثر تعقيداً، لدراسة تأثير تغير السماكة ومعامل الانعكاس في صورة المقطع السيزمي الناتج، ومن ثم دُرست العلاقة بين تغير سماكة الطبقة وتغير معامل الانعكاس مع زمن التسجيل المضاعف. علماً بأنه، عُدَّت الإشارة السيزمية المسجلة على السيسموغرام الصنعي، ذات سعة حقيقية، ولا تخضع لعوامل التخامد.

نقدم فيما يأتي توصيفاً دقيقاً لمجموعة من النماذج المختارة، والمجسدة للإشارة المستخدمة مع السيسموغرامات الناتجة عن كل حالة من الحالات الآتية:

نموذج (1): تضمَّن هذا النموذج بناء السيسموغرام الصنعي لحالة الطبقات كبيرة السماكة نسبياً، وذلك باستخدام إشارة ريكر، وإشارة الرجَّاج، إذْ بلغت أقل سماكة (30m) في كلتا الحالتين (a,b) من الشكل (4). إذْ تمثِّل الحالة (a) تعاقب طبقتين مختلفتين بالممانعة الصوتية، وقيم معامل الانعكاس متساوية بالقيمة المطلقة (0.45)، ومختلفة بالإشارة من الأعلى إلى الأدنى، أما الحالة (b)، فقد تضمنت تغيراً في قيم معامل الانعكاس، فكان أقلها (0.1)، وأكبرها بالقيمة المطلقة (0.43).

يلاحظ من دراسة السيسموغرام الناتج، أن الإشارات المسجلة كلّها تتناسب طرداً مع قيم معامل الانعكاس للطبقات المختلفة، أي إنه في حال كانت الطبقات ذات سماكات معتبرة فإن معظم الترددات المستخدمة مناسبة، وتعطي تمييزاً جيداً للسطوح العاكسة، سواءً باستخدام إشارة ريكر أو إشارة الرجَّاج، وهذا يتوافق مع الدراسات المتخصصة ذات الشأن كلّها.



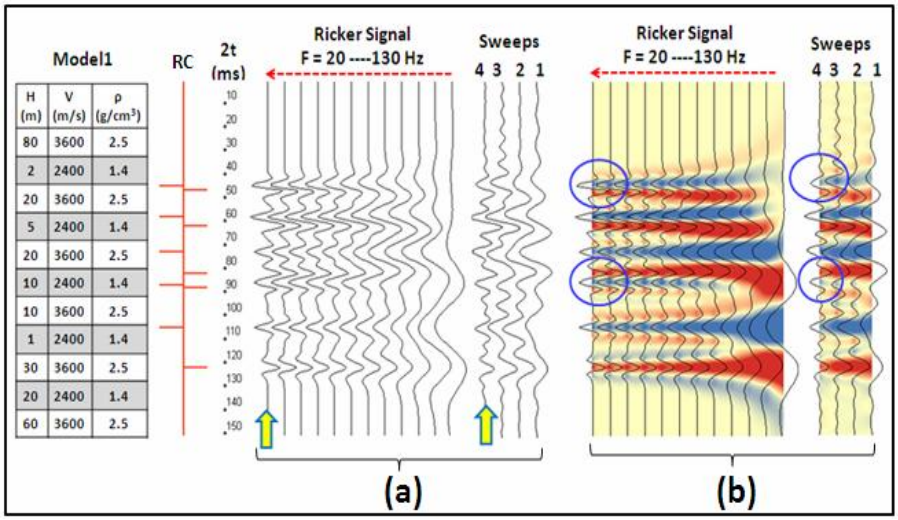
الشكل (4) النموذج (1)- السيسموغرام الصنعي لحالة التطبقات ذات السماكات الكبيرة، وذلك باستخدام إشارة ريكر بتردد (20-130Hz) وإشارة الرجَّاج بالمجالات الترددية: 1:(8-80Hz), 2:(5-120Hz), 3:(3-150Hz), 4:(30-170Hz). الحالة (a): قيم معامل الانعكاس ثابتة ومتساوية بالقيمة المطلقة ومتعاكسة بالإشارة، الحالة (b): قيم معامل الانعكاس متغيرة.

نموذج (2): يتألف النموذج من إحدى عشرة طبقة، تتناوب فيها من الأعلى إلى الأدنى طبقات من الحجر الرملي، بسرعة (3600m/s) وكثافة ($2.5g/cm^3$)، مع تطبقات من الفحم الحجري، بسرعة (2400m/s) وكثافة ($1.4g/cm^3$). وبهذا تكون قيم معامل الانعكاس متعاكسة بالإشارة ومتساوية بالقيمة المطلقة، وتساوي (0.45). وهنا تتفاوت سماكة الطبقات ويكون أقلها (1m) للفحم الحجري.

يبيِّن الشكل (5) تفصيلاً للبيانات المستخدمة وللسيسموغرام الصنعي الناتج وفقاً للآلية المشار إليها أعلاه.

يلاحظ على (الشكل 5-a) أن دقة التمييز شبه متكافئة باستخدام إشارة ريكر، أو إشارة الرجَّاج عند الترددات العالية. إذْ تفقد هذه الإشارات دقة التمييز عند الطبقات الرقيقة (1m, 2m) التي يبلغ سمكها أقل من ربع الطول الموجي، ولاسيّما عند انخفاض قيمة التردد، علماً بأن قيم معامل الانعكاس متساوية بالقيمة المطلقة ومتعاكسة بالإشارة. ولكن باستخدام التثميل اللوني (الشكل 5-b) في نظم المعلومات الجغرافية للنموذج نفسه، يلاحظ

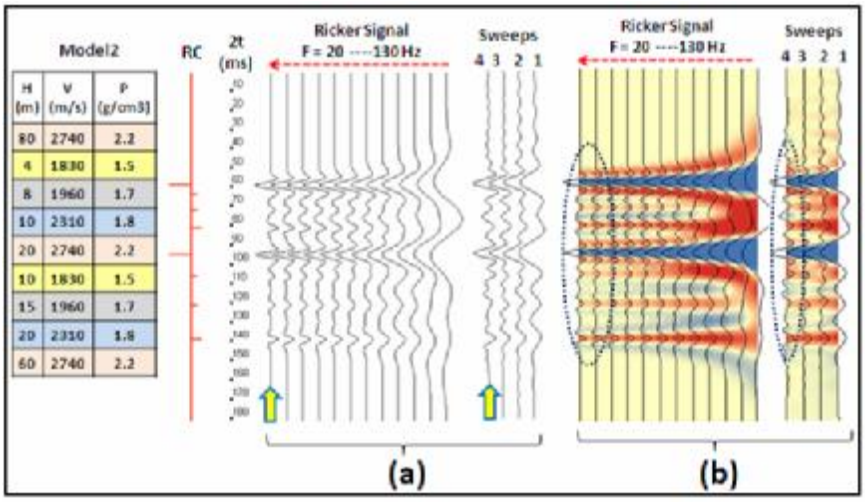
أن دقة التمييز تزداد حتى عند تلك التطبقات الرقيقة، وذلك سواءً باستخدام إشارة ريكـــر بالترددات العالية (120,130Hz)، أو إشارة الرجَّاج في المجال الترددي (30-170Hz).



H (m)	V (m/s)	ρ (g/cm³)
80	3600	2.5
2	2400	1.4
20	3600	2.5
5	2400	1.4
20	3600	2.5
10	2400	1.4
10	3600	2.5
1	2400	1.4
30	3600	2.5
20	2400	1.4
60	3600	2.5

الشكل (5) النموذج (2) السيسموغرام الصنعي لتطبقات من الفحم الحجري، باستخدام إشـــارات سيزمية بمواصفات الإشارات المستخدمة في النموذج (1) نفسها.

نموذج (3): يتألف النموذج من تسع طبقات صخرية، وهي من الأعلى إلى الأدنى كما يأتي: طبقة غضار، يليها رمل مشبع بالغاز ثم رمل مشبع بالنفط ثم رمل مـــشبع بالمـــاء، وتتكرر هذه الطبقات مرة أخرى بسماكات مختلفة، إذ تبلغ أقل سماكة للرمل المشبع بالغاز (4m)، وأكبر سماكة للغضار (80m). أمَّا السرعة السيزمية فبلغت أقلها للرمل المـــشبع بالغاز وأكبرها كانت للغضار (القيم التفصيلية مرفقة بالشكل 6). وبهذا فقد راوحت قـــيم معامل الانعكاس بين أكبر قيمة مطلقة (0.37) عند تماس الغضار مـــع الرمـــل المـــشبع بالغاز، وأصغر قيمة عند تماس الرمل المشبع بالغاز مع الرمل المشبع بالنفط التي بلغـــت (0.1). حُسبَ وولِّدَ السيسموغرام الصنعي لهذا النموذج وفقاً للآليـــة المـــذكورة أعـــلاه، وبالإشارات المستخدمة في النموذج (1) نفسها، وكانت النتيجة كما في الشكل (6).



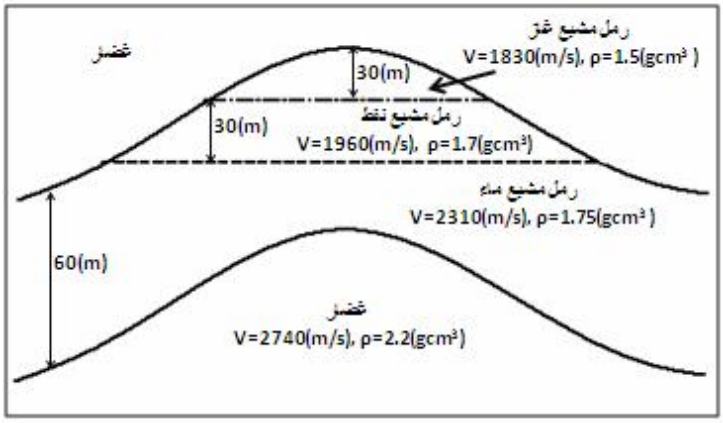
الشكل (6) النموذج (3) السيسموغرام الصنعي لطبقات مشبعة بالفحوم الهيدروجينية، باستخدام إشارات سيزمية بنفس مواصفات الإشارات المستخدمة في النموذج (1).

يلاحظ من دراسة السيسموغرام الناتج لهذا النموذج، أن الإشارات المسجلة تفقد دقة التمييز عندما يكون معامل الانعكاس صغيراً جداً، وسماكة الطبقة قليلة نسبياً (4m)، ولاسيّما عند انخفاض قيمة التردد، وذلك باستخدام إشارة الرجَّاج، أو إشارة ريكر (الشكل 6-a)، ولكن باستخدام التشميل اللوني في نظم المعلومات الجغرافية للنموذج نفسه (الشكل 6-b)، يلاحظ تحسن دقة التمييز حتى عند القيم الصغيرة لمعامل الانعكاس، أو القيم المنخفضة لسماكة الطبقة، وذلك سواءً باستخدام إشارة ريكر بالترددات العالية (120,130Hz)، أو إشارة الرجَّاج في المجال الترددي (30-170Hz).

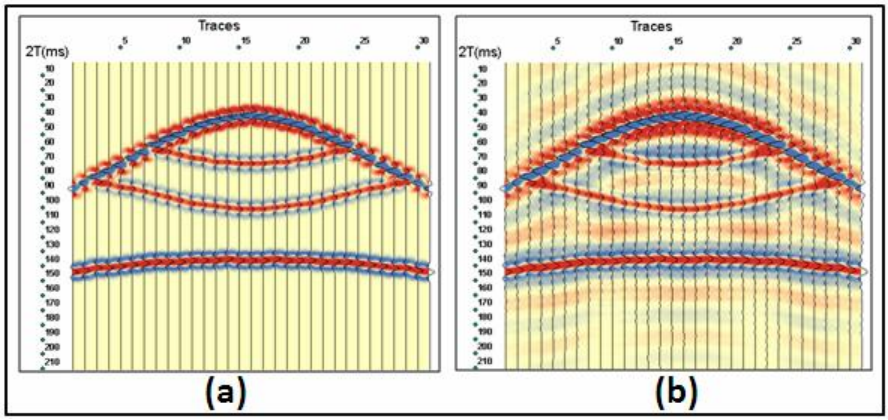
نستنتج من دراسة النماذج الثلاثة السابقة، أن أفضل الإشارات التي يمكن أن تعكس الصورة السيزمية الحقيقية في حال الطبقات الرقيقة، أو في حال قيم معامل الانعكاس المنخفضة، هي الاشارات ذات الترددات العالية. ومن هذا المنطلق اختيرت إشارة ريكر بتردد (120Hz)، وإشارة الرجَّاج بالمجال الترددي (30-170Hz)، لبناء السيسموغرام الصنعي للنماذج الثلاثة الآتية:

نموذج (4): يمثِّل هذا النموذج تركيباً تقليدياً للفحوم الهيدروجينية مؤلفاً من طبقتي غضار تحصران بينهما طبقة رمل مشبعة بالغاز في أعلاها ومشبعة بالنفط في وسطها ومشبعة بالمياه في أسفلها. راوحت القيم المطلقة لمعامل الانعكاس بين أدنى قيمة (0.1) لتماس الرمل المشبع بالنفط مع الرمل المشبع بالماء، وأعلى قيمة (0.37) لتماس الغضار بالرمل المشبع بالغاز، (القيم التفصيلية للسرعة والكثافة مرفقة بالشكل 7). بُني السيسموغرام الصنعي لهذا النموذج باستخدام إشارة ريكر وإشارة الرجَّاج، وكانت النتائج

كما في الشكل (8). هذا وقد بيّنت العلاقة بين أزمنة تسجيل الأمـــواج، وتغيِّـــر ســـماكة الطبقات لهذا النموذج، وكانت النتيجة كما في الشكل (9).



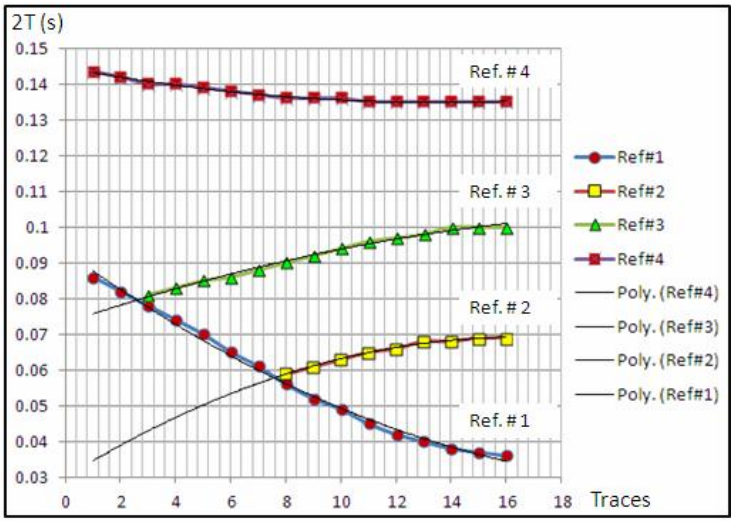
الشكل (7) النموذج (4) تركيب تقليدي للفحوم الهيدروجينية مؤلف من طبقتي غضار تحصران بينهما طبقة رمل مشبعة بالغاز في أعلاها، ومشبعة بالنفط في وســطها، ومــشبعة بالمياه في أسفلها.



الشكل (8) السيسموغرام الصنعي للنموذج (4) باستخدام إشارة ريكر (a) بتــردد (120Hz)، وإشارة الرجَّاج (b) بالمجال الترددي (30-170Hz).

يلاحظ على الشكل (8)، أن نتيجة حساب السيسموغرام بكلتا الإشارتين متشابهة، علماً بأن إشارة ريكر تعطي مقطعاً سيزمياً أكثر وضوحاً، وتمييزاً أفضل للــسطوح العاكــسة، لكن لو أخضعنا السيسموغرام الناتج من إشارة الرجَّاج لبعض التــصفية لحــصلنا علــى النتيجة نفسها تقريباً. يلاحظ أيضاً، أن تمثيل السطوح العاكسة للرمــل المــشبع بــالفحوم

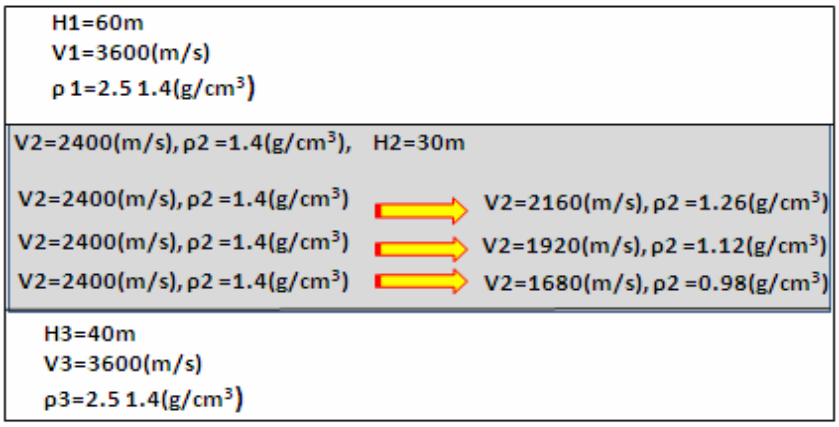
الهيدروجينية، سواء كان مشبعاً بالغاز أو النفط أو الماء، يخضع لتأخير زمني يتناسب طرداً مع السماكة (الشكلان 9 ,8)، علماً بأن معامل الانعكاس ثابت بكل طبقة، وأن سطحي التماس بين الغاز والنفط، والنفط والماء أفقيان (الشكل 7)، وهذا ناتج من حقيقة أنَّ الموجة السيزمية تخضع لامتصاص كبير من قبل الطبقات المشبعة بالفحوم الهيدروجينية المخمدة للأمواج التي تتصف عموماً بسرعة أمواج منخفضة نسبياً. الأمر الذي يعطي نتائج مخادعة على المقاطع السيزمية الزمنية؛ مما يحتّم بهذه الحالة الانتباه عند تحويل هذه المقاطع إلى مقاطع عمقية.



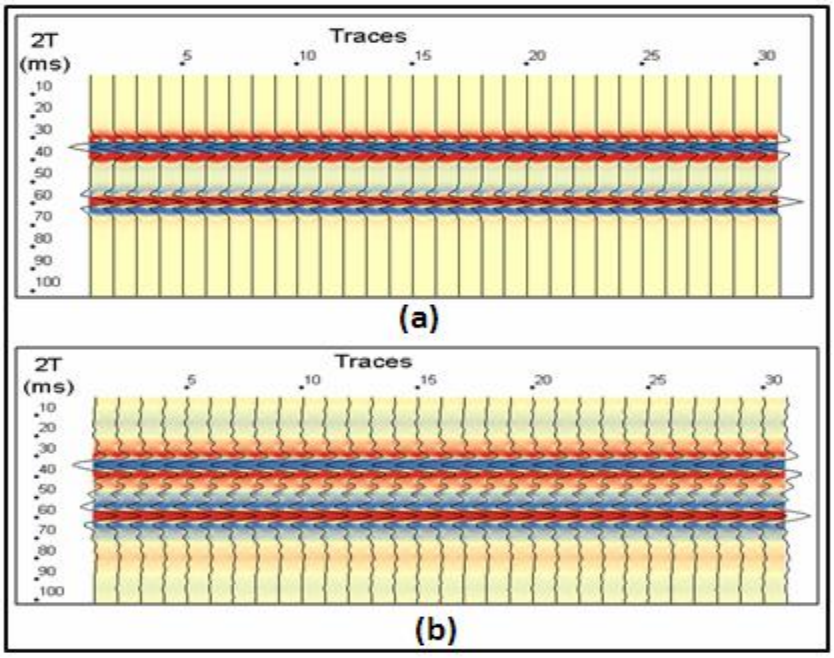
الشكل (9) تمثيل أزمنة تسجيل الأمواج المنعكسة من السطوح العاكسة للنموذج (4)، وذلك بدءاً من الأثر الأول حتى الأثر (16)، Ref.#1: غضار – رمل مشبع بالغاز، Ref.#2: رمل مشبغ بالغاز – رمل مشبع بالنفط، Ref.#3: رمل مشبع بالنفط – رمل مشبع بالماء، Ref.#4 رمل مشبع بالماء- غضار.

نموذج (5): يمثِّل هذا النموذج تركيباً مؤلفاً من طبقة فحم حجري بسماكة ثابتة تبلغ (30m) محصورة بين طبقتين من الحجر الرملي. يهدف هذا النموذج لاختبار التغير الجانبي للسرعة والكثافة ضمن طبقة الفحم الحجري، ولهذا بُني السيسموغرام الصنعي لهذا النموذج باستخدام الإشارات المستخدمة للنموذج (4) نفسها، وذلك لأربع حالات (1-4) كما في الشكل (10)، وكانت النتيجة كما في الشكلين (11, 12).

1) السرعة والكثافة ثابتتان لطبقة الفحم الحجري ($V=2400m/s, \rho = 1.4\ g/cm^3$).
2) تتناقص السرعة والكثافة لتصبحا في أقصى اليمين أقل من الحالة (1) بنسبة (10%).
3) تتناقص السرعة والكثافة لتصبحا في أقصى اليمين أقل من الحالة (1) بنسبة (20%).
4) تتناقص السرعة والكثافة لتصبحا في أقصى اليمين أقل من الحالة (1) بنسبة (30%).

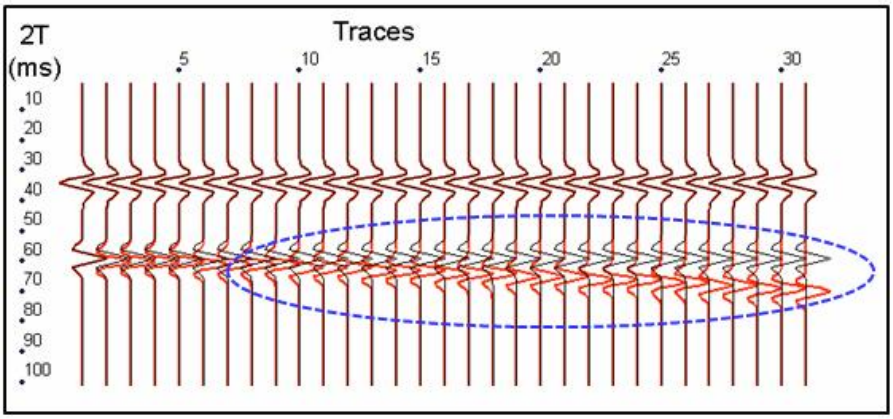


الشكل (10) النموذج (5) طبقة فحم حجري بسماكة (30m)، تخضع لتغير الــسرعة والكثافــة بنسب مختلفة، محصورة بين طبقتين من الحجر الرملي.



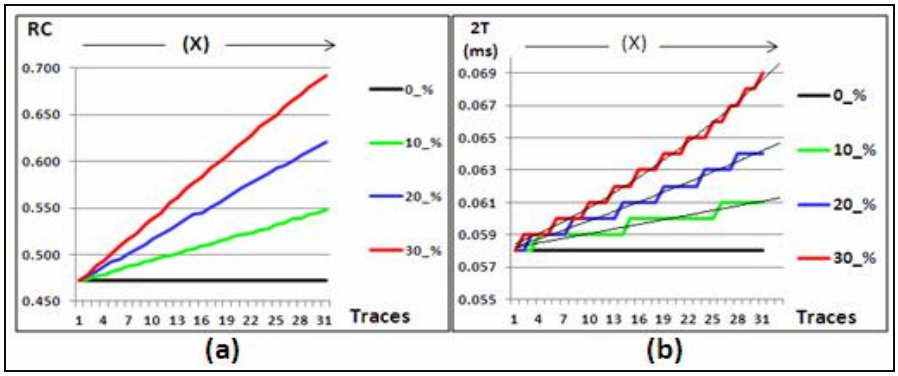
الشكل (11) السيسموغرام الصنعي للنموذج (5) باستخدام إشارة ريكر (a) بتــردد (120Hz) وإشارة الرجَّاج (b) بالمجال الترددي (30-170Hz). سماكة وسرعة وكثافة طبقة الفحم ثابتة (الحالة 1).

يلاحظ في الشكل (11)، أن استخدام إشارة ريكر، أو إشارة الرجّاج، يعطي تمثيلاً جيداً للسطوح العاكسة بحالة ثبات السرعة والكثافة والسماكة. ويلاحظ أيضاً، في حالة تناقص السرعة والكثافة لطبقة الفحم الحجري (ازدياد قيمة معامل الانعكاس)، أن زمن تسجيل الإشارة السيزمية يخضع لتأخير يتناسب طرداً مع تناقص السرعة والكثافة (الشكل 12).



الشكل (12) السيسموغرام الصنعي للنموذج (5) باستخدام إشارة ريكر بتردد (120Hz) مع سماكة ثابتة لطبقة الفحم وتغير السرعة والكثافة بنسبة 30% (الحالة 4).

يمثّل الشكل (13) رسماً تخطيطياً لتوضيح العلاقة بين قيم معامل الانعكاس وزمن تسجيل الإشارة السيزمية، في حال التغير الجانبي في قيم السرعة والكثافة لطبقة الفحم الحجري. من الطبيعي أن تكون قيمة معامل الانعكاس ثابتة عندما تكون السرعة والكثافة ثابتتين في الطبقة الواحدة، في حين تزداد هذه القيمة ازدياداً طردياً مع تناقص كل من السرعة والكثافة أو مع ازدياد الفرق بالممانعة الصوتية بين طبقتين (الشكل a-13). وبالسياق نفسه نلاحظ أن زمن التسجيل يكون ثابتاً عندما تكون السرعة والكثافة ثابتتين (الخط الأسود 0%)، في حين يزداد زمن التسجيل، أي تخضع الإشارة لتأخير زمني وبعلاقة شبه أسية مع تناقص السرعة والكثافة، أو مع ازدياد قيمة معامل الانعكاس في الطبقة الواحدة، كما في الحالات: (10%, 20%, 30%) من الشكل (b-13).



الشكل (13) النموذج (5) العلاقة بين قيم معامل الانعكاس والتغيّر الجانبي للسرعة والكثافة لطبقة الفحم الحجري (a)، والعلاقة بين زمن الانعكاس وتغيّر السرعة والكثافة للطبقة نفسها (b).

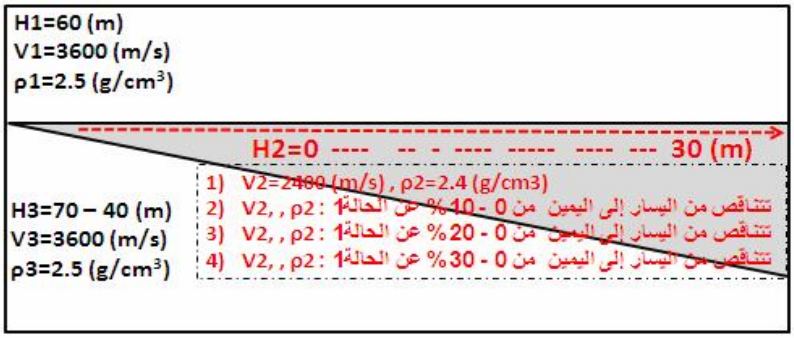
نموذج (6): يمثّل هذا النموذج تركيباً مؤلفاً من طبقة فحم حجري متغيرة السماكة بدءاً من الصفر في اليسار حتى (30m) في أقصى اليمين (الشكل 14). يهدف النموذج لاختبار التغيّر الجانبي للسرعة والكثافة، فضلاً عن تغيّر السماكة لطبقة الفحم الحجري، ولهذا بُني السيسموغرام الصنعي لأربع حالات مشابهة للنموذج (5)، وكانت النتائج كما في الشكلين (15, 16).

1) السرعة والكثافة ثابتتان لطبقة الفحم الحجري ($V=2400m/s, \rho = 1.4\ g/cm^3$)

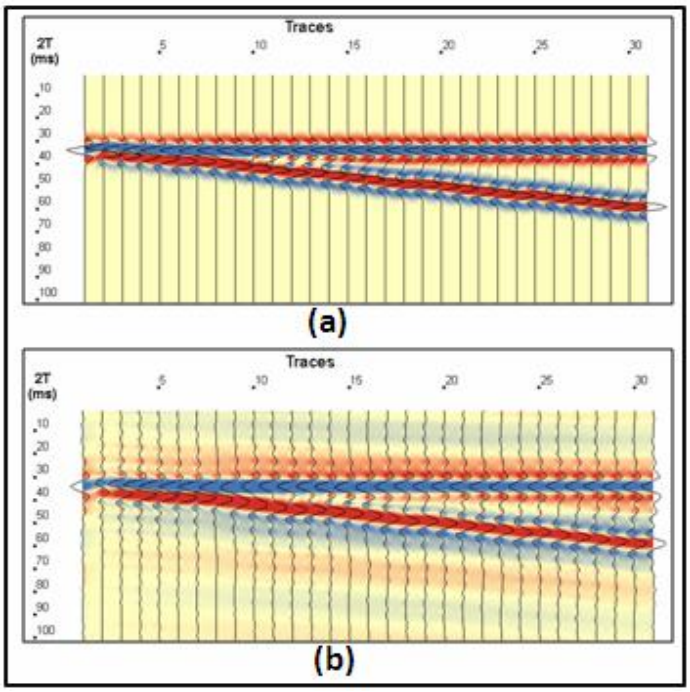
2) تتناقص السرعة والكثافة لتصبحا في أقصى اليمين أقل من الحالة (1) بنسبة (10%).

3) تتناقص السرعة والكثافة لتصبحا في أقصى اليمين أقل من الحالة (1) بنسبة (20%).

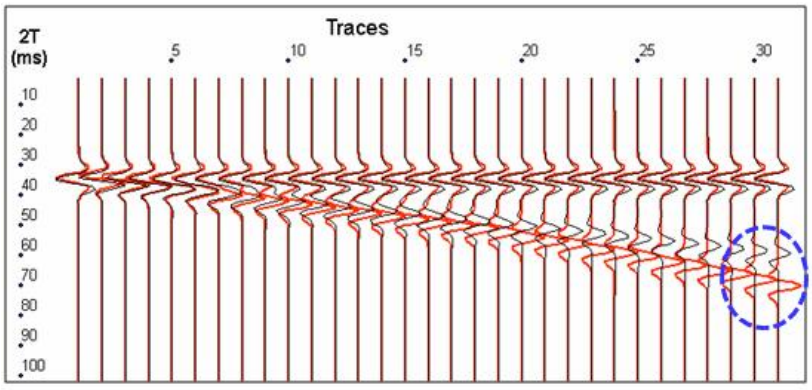
4) تتناقص السرعة والكثافة لتصبحا في أقصى اليمين أقل من الحالة (1) بنسبة (30%).



الشكل (14) النموذج (6) طبقة فحم حجري متغيرة السماكة (0-30m)، تخضع لتغير في السرعة والكثافة بنسب مختلفة، محصورة بين طبقتين من الحجر الرملي.



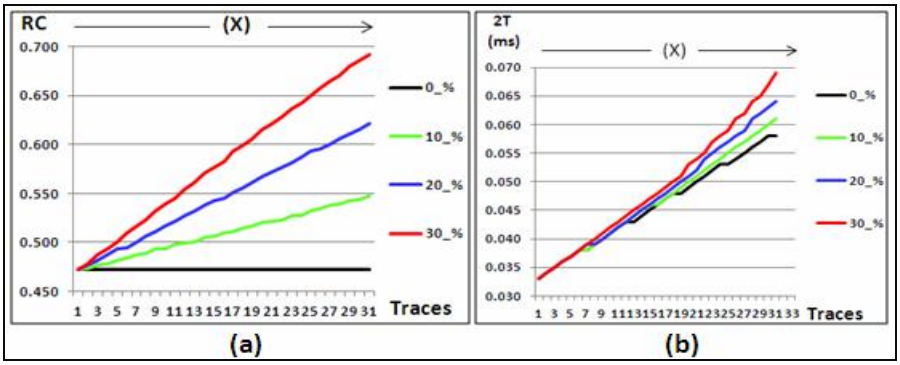
الشكل (15) السيسموغرام الصنعي للنموذج (6) باستخدام إشارة ريكر (a) بتــردد (120Hz) وإشارة الرجَّاج (b) بالمجال الترددي (30-170Hz). سماكة طبقة الفحم متغيرة، أمَّا السرعة والكثافة فهي ثابتة (الحالة 1).



الشكل (16) السيسموغرام الصنعي للنموذج (6) باستخدام إشارة ريكر بتــردد (120Hz) مــع سماكة وسرعة وكثافة متغيرة لطبقة الفحم (الحالة 4).

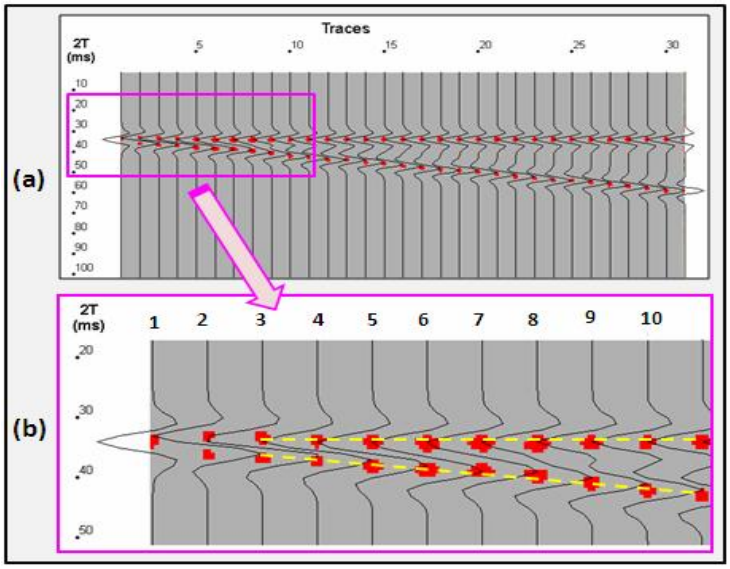
يلاحظ أن استخدام إشارة ريكر أو إشارة الرجَّاج، يعطي تمثيلاً جيداً للسطوح العاكسة بشكل عام (الشكل 15)، وفي حالة تغيّر السرعة والكثافة، فإن زمن تسجيل الإشارة السيزمية يخضع لتأخير يتناسب طرداً مع تناقص السرعة والكثافة (الشكل 16).

يمثِّل الشكل (17) رسماً تخطيطياً لتوضيح العلاقة بين قيم معامل الانعكاس، والتأخير الزمني الناتج من التغير الجانبي لقيم السماكة والسرعة والكثافة لطبقة الفحم الحجري. يلاحظ أن قيمة معامل الانعكاس تكون ثابتة عندما تكون السرعة والكثافة ثابتتين حتى لو تغيرت سماكة الطبقة، وتزداد قيمة معامل الانعكاس ازدياداً طردياً مع تناقص كل من السرعة والكثافة، كما في الشكل (17-a). وبالسياق نفسه يلاحظ أن زمن تسجيل الإشارة الواردة من السطح السفلي لطبقة الفحم الحجري يتناسب طرداً مع سماكة هذه الطبقة، ولكن يخضع زمن التسجيل إلى تأخير يتناسب مع تناقص السرعة والكثافة وبعلاقة شبه أسية، كما في الحالات: (10%, 20%, 30%) من الشكل (17-b).



الشكل (17) النموذج (6) العلاقة بين قيم معامل الانعكاس والتغيّر الجانبي للسرعة والكثافة والسماكة لطبقة الفحم الحجري (a)، والعلاقة بين زمن التسجيل وتغيّر السرعة والكثافة والسماكة للطبقة نفسها (b).

هذا وبهدف تقدير دقة التمييز الشاقولية، نُفّذت معايرة (Normalization) لكل أثر على حدة، إذْ قُسّمتْ قيمة السعة لكل عينة في الأثر السيزمي الواحد على قيمة السعة العظمى للأثر نفسه، وبنتيجة ذلك تم الحصول على قيم السعات المعايرة التي مكّنت من سهولة تمثيل سعات الأمواج المسجلة ومقارنتها من أعلى طبقة الفحم الحجري وأسفلها، وتبيّن أن الموجة تبلغ ذروة عظمى (في هذا النموذج) عندما تصطدم مع السطح العاكس وبغض النظر عن السماكة، وبناءً عليه حُوّل المقطع السيزمي إلى صورة باستخدام نظام المعلومات الجغرافي، وطُبّقتْ تصفية للسعات المنخفضة (أقل من 50% بالقيمة المطلقة)، فحصلنا على تمييز جيد للأمواج المنعكسة التي أمكن من خلالها تتبع السطوح العاكسة من أعلى طبقة الفحم الحجري وأسفلها، حتى سماكة أقل من الطول الموجي بعشر مرات، (الشكل 18).



الشكل (18) النموذج (6)- تتبع السطوح العاكسة من أعلى طبقة الفحم الحجري وأسفلها.

النتائـــج

بناءً على دراسة النماذج الستة المذكورة في هذا البحث التي تحاكي حـــالات حقيقيـــة لتوضعات الفحم الحجري، والفحوم الهيدروجينية، وبالاعتماد على بنـــاء السيـــسموغرام الصنعي باستخدام إشارة ريكر بمجال واسع من الترددات (20-130Hz)، وباستخدام إشارة الرجَّاج بمجالات ترددية متنوعة (5-170Hz)، نستنتج ما يأتي:

- إن السيسموغرامات الناتجة من إشارة ريكر وإشارة الرجَّاج متـــشابهة فـــي معظـــم النماذج خاصة عند استخدام الترددات العالية، هذا يعني أنه يمكـــن اســـتخدام إشـــارة الرجَّاج حتى في التطبقات الرقيقة والسطحية منها، باعتماد مجالات تردديـــة عاليـــة (30-170Hz).
- إن تغيّر سماكة الطبقة يؤدي إلى تغيّر في زمن تسجيل الإشارة الـــسيزمية، وبـــشكل طردي في حال ثبات السرعة والكثافة ضمن الطبقة الواحدة، لكن تنـــاقص الـــسرعة والكثافة في الطبقة الواحدة يؤدي إلى تأخير في أزمنة وصول الأمواج، وأن قيمة هذا التأخير تتناسب مع كمية تغيّر السرعة والكثافة بعلاقة شبه أسية.
- بفضل تحويل المقاطع السيزمية الزمنية إلى صور (Raster Images) باستخدام نظـــم المعلومات الجغرافية، والتمثيل اللوني لهذه الصور، والتحكم بالمقاييس اللونية، وتطبيق بعض أنواع التصفية المتاحة في هذه النظم، يمكن تتبع العواكس أو الحـــصول علـــى معلومات مهمة عن سعة الأمواج المنعكسة، حتى لو كانت سماكة الطبقة المقـــصودة أقل من الطول الموجي بعشر مرات.

REFERENES

1. **Bagaini C., Tim B., Adel El-Emam, Andreas Laake, 2010. Land Seismic Techniques for high-quality Data, Oilfield review Summer 2010:22, no. 2. Schlumberger. P33.**
2. **Drijkoningen G.G., 2003. Seismic Data Acquisition,TA3600, Section Applied Geophysics & Petrophysics, Delft University of Technology, P.O. Box 5028, 2600 GA Delft, The Netherlands. P.6-7, 76-77.**
3. **Gmur D, Kwiecinska B K. 2002. Facies analysis of coal seams from the Cracow Sandstone Series of the Upper Silesia Coal Basin, Poland. International Journal of Coal Geology 52: 29– 44**
4. **Hillier A., 2007. ArcGIS 9.3 manual, University of Pennsylvania, School of Design, Cartographic Modeling Lab.**
5. **Hunt B., R. Lipsman, J. Rosenberg, K. Coombes, J. Osborn, G. Stuck, 2001. A Guide to Matlab for Beginners and Experienced Users, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge, United Kingdom.**
6. **Krzywiec P., Aleksandrowski P., Florek R., Siupik J. 2004. Budowa frontalnej strefy Karpat zewnêtrznych na przykladzie mioceñskiej jednostki Zglobic w rejonie Brzeska–Wojnicza—nowe dane, nowe modele, nowe pytania, Przegl¹d Geologiczny, vol. 52, nr 11.**
7. **Krzywiec P., Florek R., Popadyuk I., 2009. polish-ukrainian carpathian subthrust prospects – selected problems, aapg European Region Annual Conference Paris-Malmaison, France, p.72**
8. **Kuoemierek J., Baran U., 2008. Subsurface structure of the Carpathians in the zone of the Przemyoel Sigmoid: interpretation of seismic sections and assessment of hydrocarbon prospects, Geologia - 34 _ Zeszyt 3 _ 365–384.**
9. **Larry. W. Braile, 2012. A short Course in Seismic reflection Profiling, Theory, Wave Propagation in Layered Media, Data Acquisition, Processing, nterpretation. Earth and atmospheric sciences Purdue University. P9-15.**
10. **Mirek, K. 2005. Interpretation of high resolution seismic data from the "piast" coalmine, poland, p143.**
11. **Qiuliang Yao, De-hua Han, 2008. Acoustic properties of coal from lab measurement, University of Houston, SEG Las Vegas 2008 Annual Meeting, p1815-1817.**
12. **Ryan Harold., 1994. Hi-Res Geoconsulting Ricker, Ormsby; Klauder, Butterworth, A Choice of Wavelets, CSEG Recorder. P8-9.**
13. **Wood Paul. 2011. Emphasizing Vibrations, CGGVeritas is applying new technology to extend seismic bandwidth and maximize production. Geophysics, Geo Expro, p70.**
14. **Yalmaz O., 1998. Seismic Data Processing. Society of Exploration geophysicists, Post office Box 702740/Tulsa,OK 74170-2740. P498-499.**
15. **Yordkayhun, S., Ivanova, A., Giese, R., Juhlin, C., Cosma, C., 2009. Omparison of surface seismic sources at the CO2SINK site, Ketzin, Germany. - Geophysical Prospecting, 57, 1, 125-139. P8.**