

تحديد الخصائص الميكانيكية للصخر من خلال بيانات المسح الاهتزازي والقياسات البئرية

محمد الحميد * نبيه جرجس ** رامز ناصر ***

* طالب دراسات عليا في، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، قسم الهندسة البتروولية، جامعة البعث
** أستاذ في كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، قسم الهندية البتروولية، جامعة البعث
*** أستاذ في قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق

المخلص

قدم هذا البحث منهجيةً علميةً حديثةً للحصول على عوامل المرونة الميكانيكية، مثل معامل يونغ (E) ومعامل بواسون (ν) ومعامل القالب الصخري (K) ومعامل القص (G) ومعامل انضغاطية القالب الصخري (Cb)، بالاعتماد على تسجيلات المسح الاهتزازي السطحي ثلاثي البعد (3D) وعلى القياسات البئرية المنفذة على تشكيلتي الرطبة والملوسا في حقل العمر النفطي، وأستخدِمَ لذلك كل من البرمجيات: Petrel-Hampson Russel والذي يتضمن مجموعة من البرمجيات وهي: Strata -Emerge- Geoview-elog.

وحُسبت في البحث تغيرات قيم عوامل المرونة الميكانيكية لهذه التشكيلات ضمن بنية الوسط الصخري في حقل العمر النفطي، ووُضعت الأشكال المعبرة عنها، وكما وضع نموذج للممانعة الصوتية لمنطقة الدراسة وتغيرها مع العمق وتوزعها الأفقي على كامل المساحة وذلك من أجل الحصول على تصور أولى لبنية الصخور ونوعيتها قبل عمليات الحفر.

كلمات مفتاحية: المسح الاهتزازي، خصائص المرونة، حقل العمر، الترددات المنخفضة.

Determination of Geomechanics Properties for rock from seismic and well logging data

Mohammed Al Hmed*, Nabeih Gorgeous **Ramez Naser***

*Post graduate student at Department of Petroleum Engineering.

** professor Doctor at Department of Petroleum Engineering at Al Baath University.
specialization (practicability geophysics).

*** professor Doctor at College of Science Department of Geology at Damascus University.

Abstract

This research present a modern scientific methodology to obtain the elastic mechanical properties such as: Young's modulus(E),Poisson's modulus (ν), The bulk modulus(k) ,The shear modulus (G),The bulk compressibility(Cb) , based on the surface seismic survey(3D) and the well measurements that were made on Rutbah and mulussa formations in the Omar oil field ,and for this we used both software: (Petrel)- (Hampson-Russel) that it contain many software that we used such as: Strata -Emerge-Geoview-elog.

In this research, we calculated the mechanical properties changes of these formations within the structure of the rocky medium in AL-Omar oil field and we put the expressive shapes, and we made a model of acoustic impedance of the study area and its changes with depth and its horizontal distribution over the entire area was also developed in order to obtain a first perception of the structure and quality of rocks before drilling process.

Key words: seismic surveying, elastic properties, Omar field, low frequencies.

1- مقدمة:

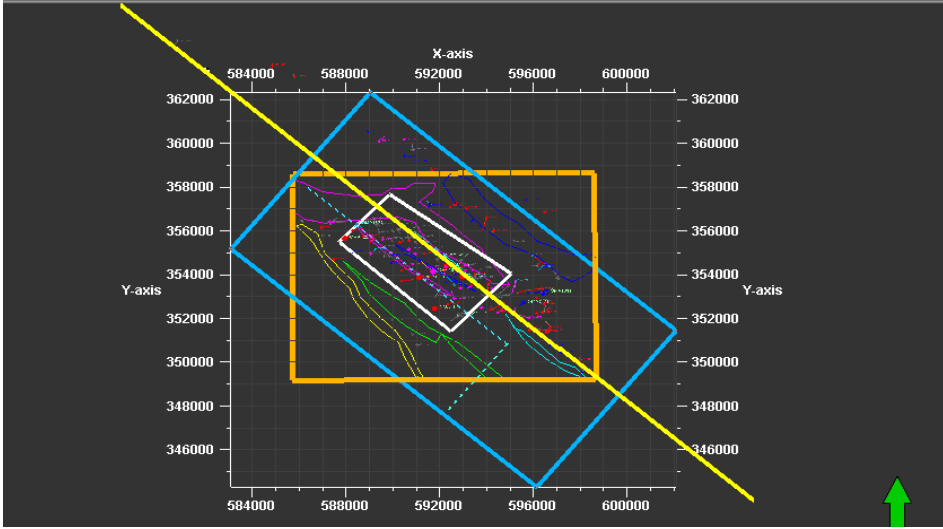
تمثل عمليات حفر الآبار الخطوة الأولى للحصول على المواد الهيدروكربونية (النفط والغاز)، حيث يسبق هذه المرحلة أعمال استكشافية ومسوحات جيوفيزيائية جيولوجية. تعتمد الجدوى الاقتصادية لعمليات الحفر على المعرفة المسبقة حول طبيعة الوسط الجيولوجي وأنواع صخوره وتواجد الاندساسات والتوضعات الرملية ضمنه، ومن هنا تأتي أهمية البحث في معرفة العوامل المرورية الميكانيكية لهذه الصخور والمتمثلة بكل من معامل يونغ (E) ومعامل بواسون (ν) ومعامل القالب الصخري (K) ومعامل القص (G) ومعامل انضغاطية القالب الصخري (Cb) المنتشرة على كامل المساحة المدروسة. كما تقوم الممانعة الاهتزازية وحساب قيمتها وتغيراتها مع العمق ووجود التشققات والفراغات والاندساسات الصخرية بدور كبير في عمليات الحفر فالمعرفة المسبقة لهذه العوامل المختلفة وتغيراتها في المنطقة المدروسة قبل إجراء عمليات الحفر تساعد وتسهل هذه العمليات اللاحقة، وتقدم جدوى اقتصادية كبيرة وتقلل من الفترة الزمنية التي تأخذها هذه العمليات، تُفدّ البحث ضمن حقل العمر النفطي في منخفض الفرات الذي يعتبر من أهم الحقول في الجمهورية العربية السورية ويقع ضمن الجزء المركزي للمنخفض.

2- أهمية البحث:

تبرز أهمية البحث بالاستفادة من التحديد المسبق للخصائص الميكانيكية للصخور المشكلة للبنية المدروسة، وذلك باستخدام معطيات وبيانات المسوحات الاهتزازية التي تجري قبل عملية الحفر، مما يمكننا من تجنب مشاكل الحفر المتمثلة بالتهدم أو ميلان البئر وإضافة إلى الحصول على أفضل معدل اختراق للدقاق والتنبؤ بمشاكل دخول الرمال إلى البئر أثناء عمليات الإنتاج، مما يتطلب تكاليفاً إضافية تقتضي بتنظيف البئر وانزال مصافي وتآكل المعدات الجوفية والسطحية الناتج عن الفعل الحثي للرمال، كل هذا يبين أهمية التحديد المسبق للخصائص الميكانيكية في عمليات الحفر والإنتاج وتجنب المشاكل المرافقة لها.

3 - حدود منطقة الدراسة ضمن حقل لعمر:

يبين الشكل (1) جزءاً من حقل العمر الذي تمت فيه عملية نشر للخصائص الميكانيكية، يبين الجزء الأزرق حدود حقل العمر، ويمثل الجزء الأبيض حدود منطقة الدراسة والحدود باللون الأصفر حدود سطح عدم التوافق buk، إضافةً الى توقيع جزء من الآبار الموجودة ضمن منطقة الدراسة، والفتوالق الرئيسية.

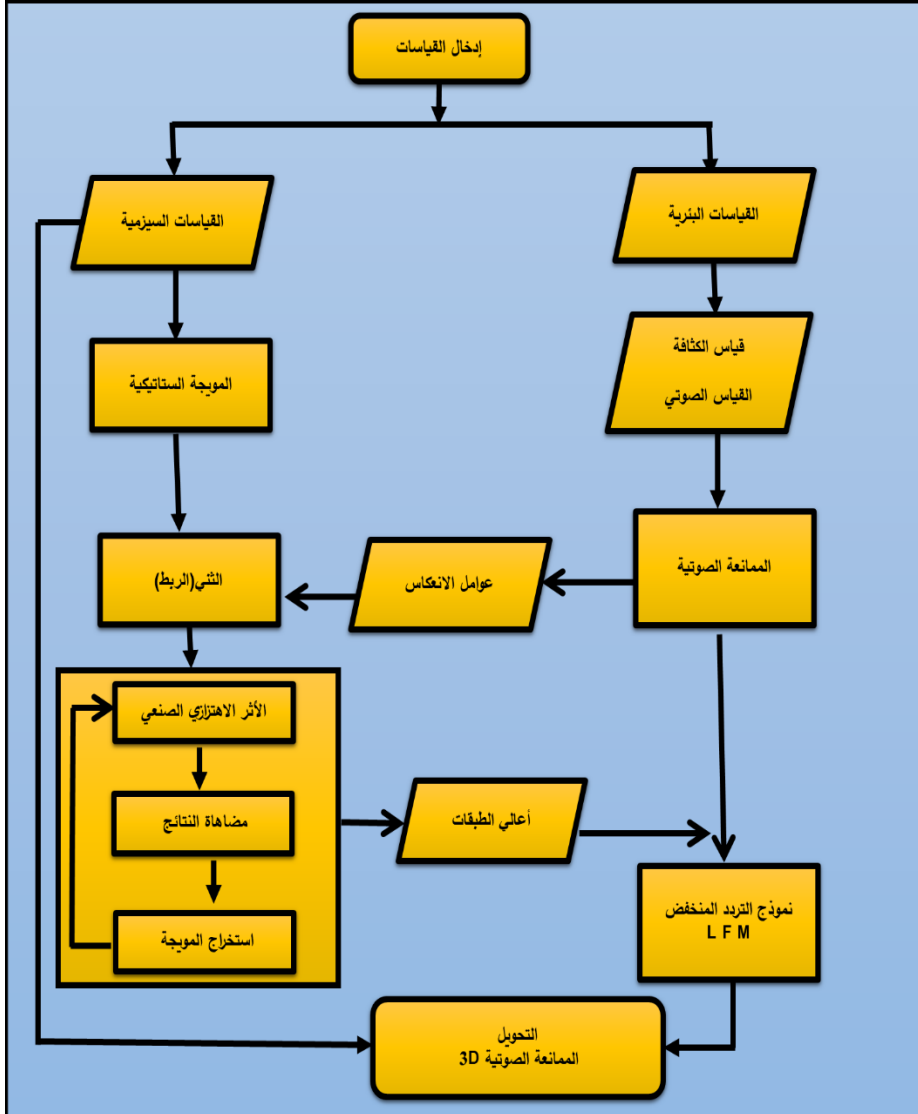


الشكل (1) حدود حقل العمر ومنطقة الدراسة ضمنه وتوزع جزء من الآبار والفتوالق الرئيسية في منطقة الدراسة.

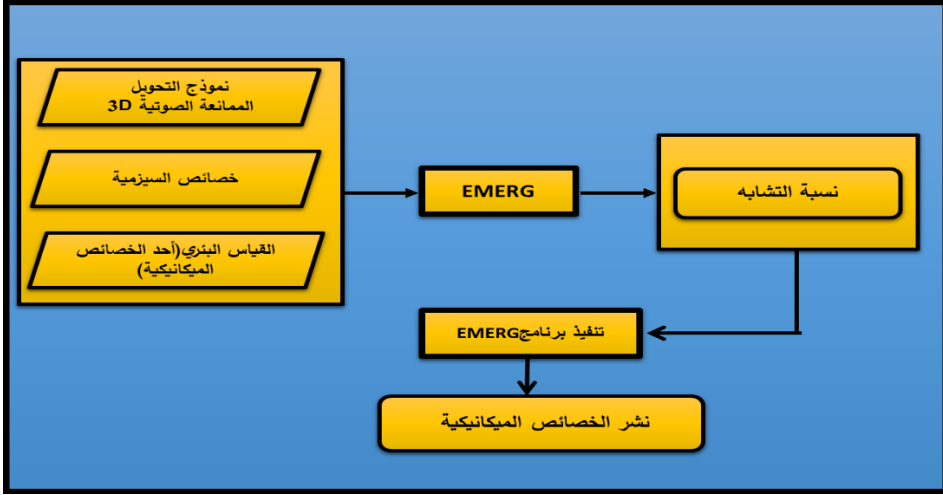
4- طريقة البحث وخطواته:

تمّ البحث من خلال مجموعة من الخطوات، بدايةً تمّ حساب الخصائص الميكانيكية من خلال القياسات البئرية، ومن ثمّ بدأً بعمليات التحويل الاهتزازي (seismic inversion) [1] من خلال إنشاء نموذج التردد المنخفض باستخدام برنامج (Strata) ويدعى هذا الموديل موديل التردد المنخفض للممانعة الصوتية (model based inversion) من أجل القيام بعملية الثني العكسي (Deconvolution) للبيانات الاهتزازية وتحويلها الى ممانعة صوتية ومكاملة هذه الممانعة مع نموذج التردد المنخفض وفق برنامج (Strata) للحصول على نموذج الممانعة الصوتية ثلاثية البعد ومكاملة هذه النتائج مع الخصائص

الاهتزازية الأكثر ملائمة مع القيم المحسوبة للخواص الميكانيكية ونشر تلك الخصائص ضمن الحقل المدروس ويتم توضيح خطوات العمل من خلال المخطط الخوارزمي في كل من الأشكال (1) (2) .



الشكل (2) مخطط يبين خطوات الحصول على نموذج الممانعة الصوتية المحول.



الشكل (3) مخطط يبين خطوات نشر الخصائص الميكانيكية من خلال برنامج (Emerge) تتلخص خطوات إجراء البحث وفق التالي:

1- تحديد الخصائص الميكانيكية من خلال القياسات البئرية:

تم حساب الخصائص الميكانيكية من خلال القياسات البئرية لمجموعة من الآبار بالاعتماد على قيم سرع الأمواج الطولية والعرضية وفق العلاقات التالية: [5]

$$E_{dyn} = \frac{\rho \cdot v_s^2 \cdot (3 \cdot v_p^2 - 4 \cdot v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$v_{dyn} = \frac{(v_p^2 - 2 \cdot v_s^2)}{2(v_p^2 - v_s^2)} \dots \dots \dots (2)$$

$$Kb = \frac{E}{3(1-2 \cdot v)} \dots \dots \dots (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1+v)} \dots \dots \dots (4)$$

$$C_B = \frac{1}{Kb} \dots \dots \dots (5)$$

حيث:

v_p : سرعة الأمواج الطولية.

v_s : سرعة الأمواج العرضية.

E_{dyn} : معامل يونغ.

v_{dyn} : معامل بواسون.

Kb : معامل القالب الصخري.

G: معامل القص.

Cb: معامل انضغاطية القالب الصخري.

بالنسبة للآبار التي تحوي على القياس الصوتي ثنائي القطب (القياس الذي يقيس سرعة الأمواج الطولية والعرضية معاً) فيتم تطبيق العلاقات السابقة فوراً، أما في الآبار التي لا تحوي هذا القياس فقد تم وضع علاقة ربط بين سرعة الأمواج الطولية والامواج العرضية بالعلاقة مع الليتولوجيا وذلك بالاعتماد على بيانات الآبار التي تمت فيها القياسات الصوتية ثنائية القطب (وهي 4 آبار فقط)، كالتالي:

• التشكيلات الرملية: $V_p - 513.19$ ، $V_s = 0.7299$.

• التشكيلات الغضارية: $V_p - 53.49$ ، $V_s = 0.5542$.

ويتم تطبيق كل علاقة وفق المجال المناسب لها ومن ثم تطبيق العلاقات (1-2-3-4) و(5) وحساب الخصائص الميكانيكية.

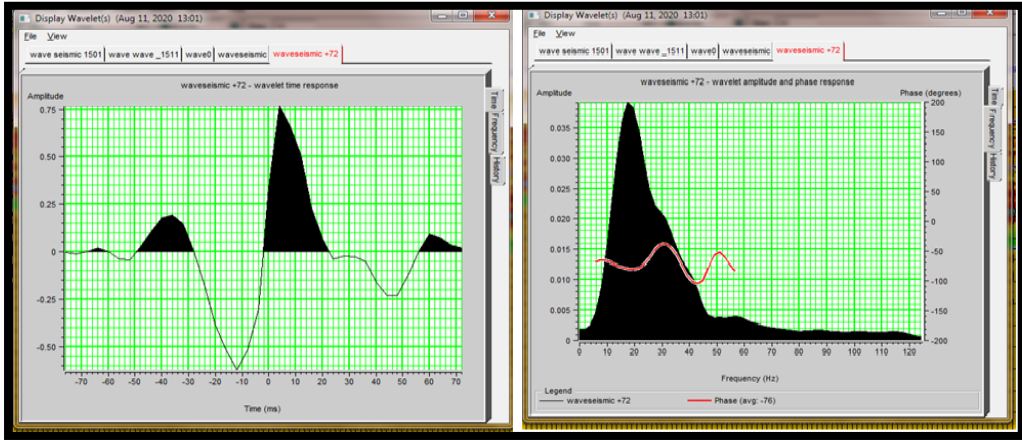
وسنعرض فيما يلي حساب الخصائص الميكانيكية لأحد الآبار وهو البئر OMA1321:

الجدول (1) يبين حساب البارامترات الميكانيكية المحسوبة للبئر OMA1321					
معامل الانضغاطية C_B (1/GPA)	معامل القص G_d (GPA)	المعامل الحجمي K_d (GPA)	معامل بواسون ν_d	معامل يونغ E_d (GPA)	العمق m
0.0211	17.65	39.59	0.30	46.11	3350
0.0204	17.14	48.87	0.34	46.04	3375
0.0239	23.09	43.67	0.27	58.89	3400
0.0248	25.47	40.28	0.23	63.11	3425
0.0189	26.29	52.76	0.28	68.53	3450
0.0356	14.35	28.01	0.28	36.77	3475
0.0452	21.57	22.09	0.13	48.83	3500
0.0351	3.04	28.48	0.37	8.82	3526
0.0516	22.87	19.34	0.075	49.23	3550
0.0259	20.64	38.58	0.25	51.69	3575
0.0298	13.69	33.55	0.32	36.17	3600
0.0155	1.69	64.34	0.48	5.03	3625
0.0168	1.75	59.29	0.48	5.21	3650
0.0146	1.83	68.14	0.48	5.46	3675

0.0401	28.41	24.93	0.08	61.77	3700
0.0392	13.16	25.46	0.27	33.69	3725
0.0427	14.66	23.36	0.24	36.37	3750
0.0221	27.02	45.14	0.25	67.59	3775

2- كيفية استخراج الموجة (Wavelet extraction): [1]

تعتبر الموجة سلسلة الربط بين القياس الاهتزازي والقياسات البئرية، حيث تعبر الممانعة الصوتية عن جداء الكثافة الصخرية مع سرعة الأمواج ($\rho * v$). ويتم استخدام الموجة للحصول على الأثر الاهتزازي الصناعي (Synthetic seismogram)، بعد ثنيها مع عوامل الانعكاس التي حصلنا عليها من قيم الممانعة الصوتية، ويبين الشكل (3) الموجة المستخرجة في مجال الزمن وفي مجال التردد:



الشكل (4) الموجة في مجال الزمن والتردد المستخرجة من القياسات السيزمية ضمن حقل الدراسة

ويمكن الحصول على الموجة من طرائق عدة منها:

1- استخراج الموجة باستخدام القياسات الاهتزازية وتسمى الطريقة الإحصائية (Statistical method)، حيث يتم تحديد الطيف السعوي من خلال البيانات الاهتزازية بينما الطور لا يحدد من خلال البيانات السيزمية وإنما من خلال المستخدم.

2- استخراج الموجة باستخدام القياسات البئرية. [2]

3- باستخدام الموجة المصممة ضمن البرنامج (HAMPSON-RUSSEL) بحيث

يتم اختيار مجال الزمن والتردد ليتناسب مع القياسات.

تعتمد عمليات التحويل بشكلٍ جوهري على نموذج التثبي، كما هو معروف بأن الأثر الاهتزازي ناتج عن ثني الأمواج المرسلّة من المصدر على السطح مع عوامل الانعكاس للطبقات الأرضية كما في العلاقة (6): [4]

$$S(t) = W(t) * R \quad \dots\dots\dots (6)$$

حيث:

S(t): الأثر الاهتزازي.

W(t): الموجة (Wavelet).

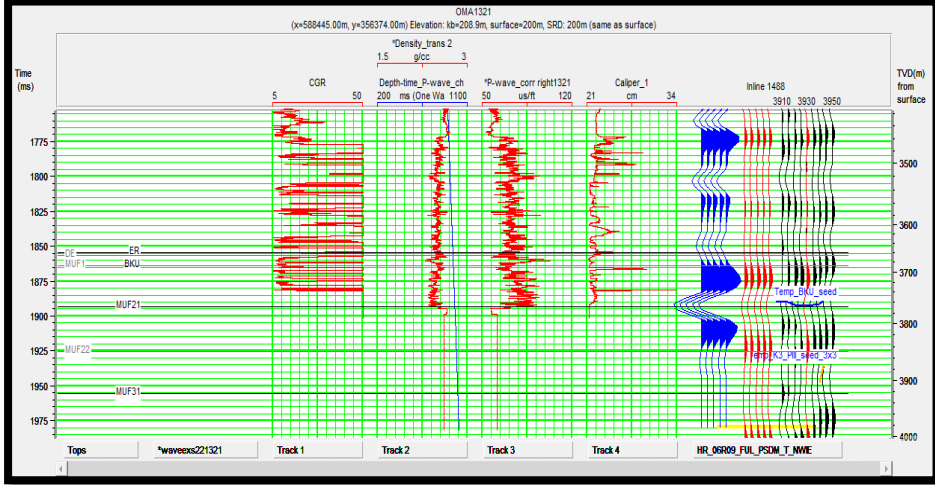
R: عوامل الانعكاس للطبقات.

لذلك من الضروري الحصول على الموجة المناسبة التي تعطي عمليات تحويل دقيقة، لقد قمنا في بحثنا باستخراج الموجة من خلال القياسات الاهتزازية ضمن نافذة زمنية تُحدد بالمجال (1500-2220) ميلي ثانية والتي تقع ضمن منطقة الدراسة في تشكيلتي الرطبة والملوسا وقمنا بتطبيقها على آبار الدراسة للتأكد من دقتها وصلاحيتها للعمل من خلال إنشاء الأثر الاهتزازي الصناعي وقد أعطت نسب تطابق جيدة بين الأثر الاهتزازي الصناعي والأثر السيزمي الاساسي، حيث تم استخدام موجة بطول 150 ميلي ثانية ويطور اصغري.

3- عمليات التصحيح وإنشاء الأثر الاهتزازي الصناعي: [2]

بدايةً يتم ادخال البيانات الاهتزازية والبئرية الى برنامج (ELOG) والقيام بتحرير البيانات أي القيام بإزالة القيم الخاطئة التي تؤدي الى إعطاء نتائج خاطئة (حيث يوجد ضمن القياسات البئرية) القياس الصوتي وقياس الكثافة) قيم غير منطقية أو مجالات لم يتم القياس فيها ويعطي الجهاز عندها قيم سالبة)، والهدف من عمليات التصحيح هو الحصول على تطابق جيد بين الأثر الاهتزازي الصناعي والاثر الاهتزازي الحقيقي، حيث توجد العديد من العوامل التي تخلق اختلافاً بين الأثر الاهتزازي الصناعي والتسجيلات

الاهتزازية ومن أهم هذه الأمور هو اختلاف المقياس الزمني بينهما وسيتم تصحيحه من خلال (checking shot) باستخدام منحنيات التحويل (زمن - عمق).
وبعد استخراج الموجة المناسبة نقوم بإنشاء الأثر الاهتزازي الصناعي للبئر OMA1321 كما في الشكل (5) ويتمثل باللون الأزرق، بينما الأثر الاهتزازي باللون الأحمر الأثر المأخوذ من القياسات الاهتزازية:



الشكل (5) الأثر الاهتزازي الصناعي للبئر OMA1321

4 نموذج التحويل الاهتزازي (seismic inversion model):

إن عملية التحويل المستخدمة هي (post stack) ويعبر نموذج التحويل الاهتزازي المستخدم عن تحويل البيانات الاهتزازية ثلاثية البعد الى ممانعة صوتية ثلاثي البعد والتي تعبر عن خصائص المكنم الخزنية والميكانيكية وقد استخدم من أجل هذا التحويل خوارزمية التحويل (model based inversion) باستخدام برنامج (-HAMPSON RUSSEL) الذي يحوي مجموعة من البرمجيات ضمنه وقد استخدمنا كل من البرمجيات (EMERGE)-(ELOG)-(GEOVIEW)-(STRATA) خلال عمليات إنشاء نموذج التحويل ونشر الخصائص الميكانيكية ضمن منطقة الدراسة.

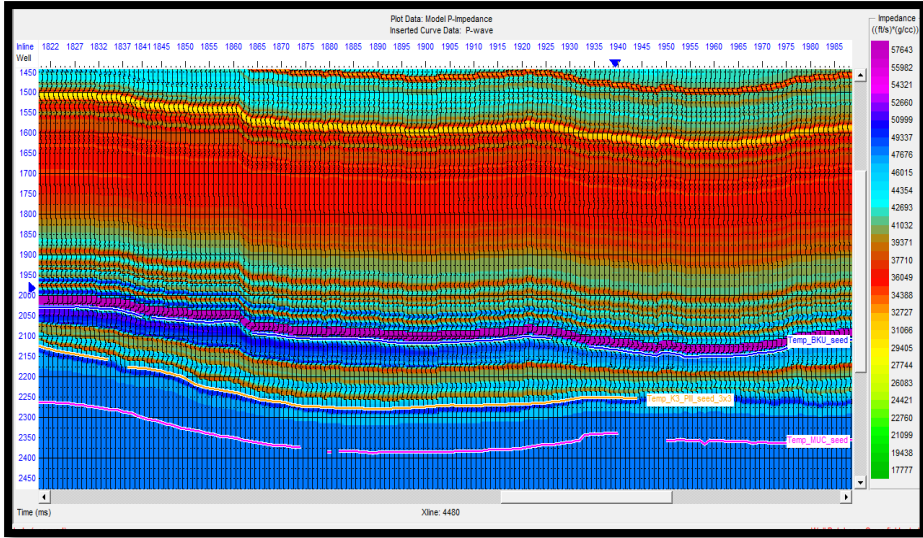
تتقسم عملية إنشاء نموذج التحويل الاهتزازي إلى ممانعة صوتية ثلاثية البعد الى مرحلتين:

1- إنشاء نموذج الممانعة الصوتية ذو التردد المنخفض من خلال القياسات البئرية (low frequency model).

2- عملية التحويل النهائية للبيانات الاهتزازية.

4-1 نموذج الممانعة الصوتية ذو التردد المنخفض (low frequency model):

كما هو معروف بأن القياسات الاهتزازية السطحية تقيس الترددات التي تتراوح بين (10-75) هرتز ولا تقوم بتسجيل الترددات الأقل من 10 هرتز ويعتبر تسجيل هذه الترددات من الأمور الهامة فهي تعطينا معلومات عن الطبقات تحت السطحية لذلك من الضروري إنشاء نموذج يشمل هذه الترددات، حيث يتم الحصول على هذه الترددات يدوياً من خلال القياسات البئرية باستخدام قياس الكثافة والقياس الصوتي ومن خلال جدائهما نحصل على الممانعة الصوتية، حيث يتم ادخال بيانات الآبار (القياس الصوتي وقياس الكثافة) والممانعة الصوتية لها وإدخال أعالي، وباستخدام برنامج (STRATA) نقوم بعملية الفلترة للترددات الأكبر من 10 هرتز والإبقاء على الترددات الأصغر من 10 هرتز ضمن النموذج وبذلك نكون قد حصلنا على نموذج للممانعة الصوتية من أجل الترددات الصغيرة ويدعى هذا النموذج (Initial Model) ذو التردد المنخفض كما في الشكل (6) الذي يعبر عن مقطع شاقولي ضمن منطقة الدراسة. [3]

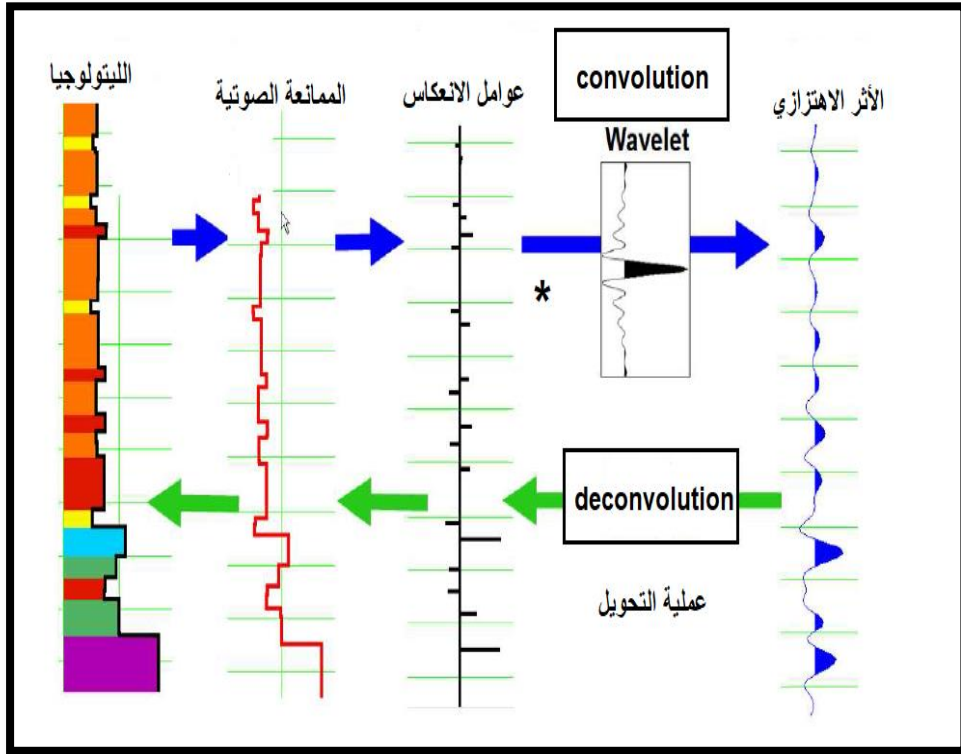


الشكل (6) يبين نموذج الممانعة الصوتية ذو التردد المنخفض (Initial Model) في منطقة الدراسة

2-4 عملية التحويل النهائية للبيانات الاهتزازية (النموذج النهائي للممانعة الصوتية المحولة):

يتم إنشاء نموذج الممانعة الصوتية المحول ثلاثي البعد النهائي من خلال مكاملة نموذج التردد المنخفض الذي حصلنا عليه (low frequency model) والذي يعبر عن نموذج الممانعة الصوتية من خلال القياسات البئرية عند الترددات الأقل من 10 هرتز مع البيانات الاهتزازية ثلاثية البعد بعد القيام بعملية ثني عكسي للبيانات الاهتزازية (deconvolution) مع الموجة النهائية المستخرجة (wavelet) باستخدام خوارزمية التحويل (model based inversion) ضمن برنامج (Strata)، وكما هو معروف بأن الأثر الاهتزازي يكون ناتج عن إرسال موجة (wavelet) تتفاعل مع الممانعة الصوتية للطبقات ومن خلال إجراء عملية ثني عكسي (deconvolution) للبيانات الاهتزازية نحصل على الممانعة الصوتية من خلال عوامل الانعكاس ويوضح الشكل (7)

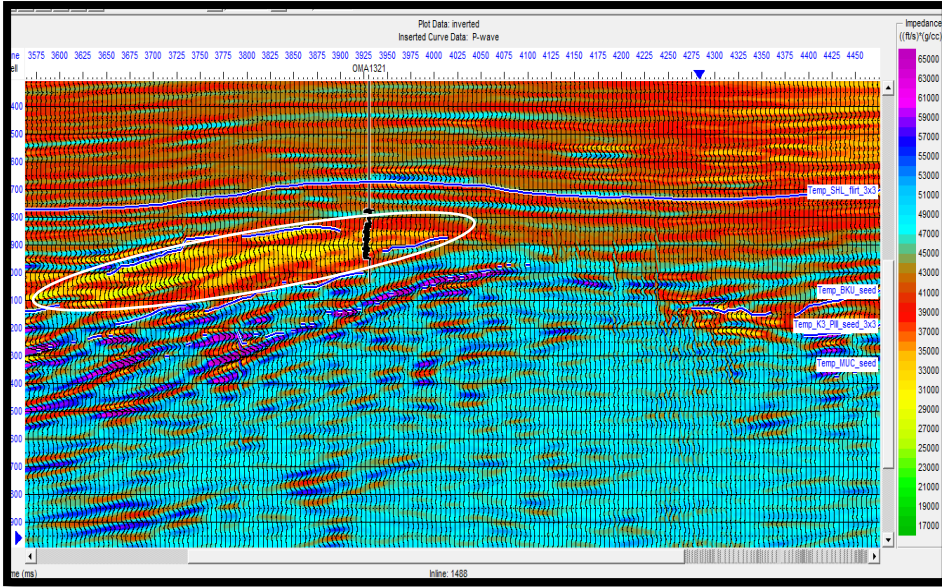
كل من عملية التثبي (convolution) لإنشاء الأثر الاهتزازي والتثبي العكسي (deconvolution) للحصول على الممانعة الصوتية من القياسات الاهتزازية:



الشكل (7) مخطط بسيط لكل من عملية التثبي (convolution) للموجة المستخرجة والتثبي العكسي (deconvolution) لها. [3]

بعد إجراء عملية التثبي العكسي للبيانات الاهتزازية باستخدام الموجة المستخرجة النهائية نحصل على نموذج للممانعة الصوتية، وذلك باستخدام خوارزمية التحويل (model based inversion) وبالمكاملة بين نموذج التردد المنخفض والنموذج الناتج نحصل على نموذج الممانعة الصوتية النهائي المحول كما في الشكل (8)، حيث نلاحظ أن قيم الممانعة الصوتية ضمن الموديل المحول وفق خوارزمية (based inversion) تتغير ضمن المجال $(65000-17000) \text{ (g/cm}^3\text{)} * \text{ (ft/s)}$ ويلاحظ وجود أجزاء من الموديل تكون أقل تجانساً ويعزى ذلك الى المحتوى العالي من الغضار الذي يسبب

حساسية أقل لقراءة سرعة الأمواج، بينما نجد وجود تجانس في الموديل عند القيم العالية للممانعة الصوتية (اللون الأزرق) وذلك بسبب الارتباط الجيد بين الحبيبات الصخرية المكونة للصخر، بحيث تصبح التشكيلات أكثر تماسكاً وانضغاطاً عند الأعماق الكبيرة، وتدل القيم المنخفضة للممانعة كما في المنطقة باللون الأصفر إلى احتمالية تواجد المواد الهيدروكربونية ونستدل على ذلك من خلال ملاحظة أن الطبقة باللون الاصفر تقع ضمن طبقة الرطبة والملوسا والتي تعتبر التشكيلات الخازنة في الحقل.



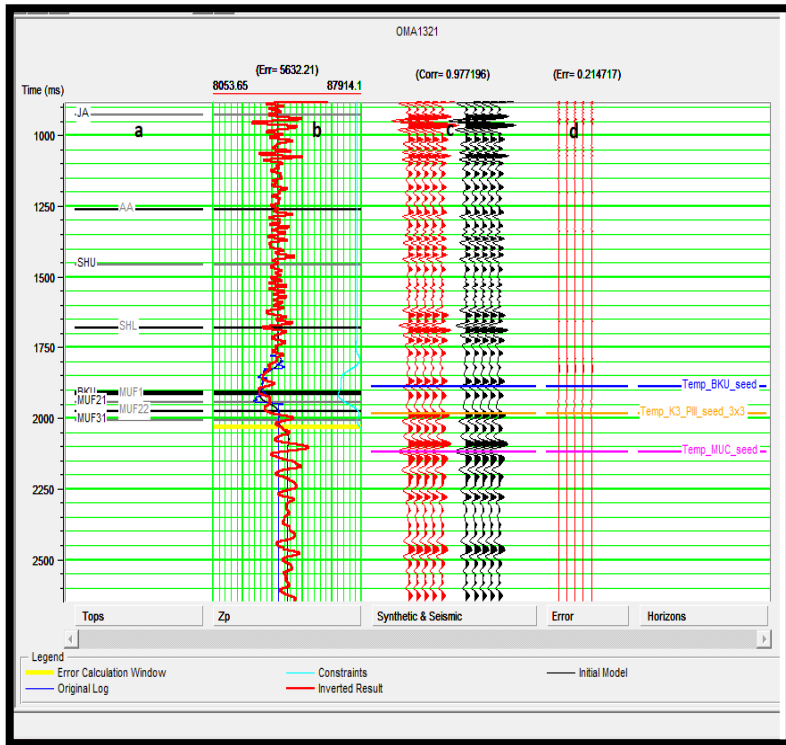
الشكل (8) يبين النموذج المحول النهائي للممانعة الصوتية باستخدام خوارزمية التحويل

(Model Based Inversion) ضمن الحقل المدروس في منطقة اختراق البئر OMA1321

5 تحليل عمليات التحويل (Inversion analysis):

يقصد بتحليل عمليات التحويل التأكد من مدى دقة النموذج المحول للممانعة الصوتية الاهتزازية وذلك من خلال مقارنتها مع الممانعة الأصلية المحسوبة لأحد الآبار ووضع نسبة التطابق بينهما وقد كانت نسب التطابق في البحث جيدة، وأجريت عملية تحليل التحويل لجميع آبار الدراسة وسنعرض نتائج عملية التحليل للبئر OMA1321 كما في الشكل (9) حيث يمثل المسار (a) أعالي الطبقات ويمثل المسار الثاني (b) مجموعة

من المنحنيات منها المنحني باللون الأزرق الممانعة المأخوذة من القياسات البئرية التي تم تحديدها لكل بئر من ابار الدراسة بينما يمثل المنحني باللون الأسود قيمة الممانعة الصوتية المأخوذة من نموذج الممانعة ذو التردد المنخفض ويمثل المنحني باللون الأحمر قيم الممانعة من النموذج المحول النهائي وبالانتقال للمسار الثالث (c) المؤلف من نوعين من الأثر الاهتزازي (الأثر الاهتزازي باللون الأحمر مأخوذ من النموذج المحول النهائي بينما الأثر الاهتزازي باللون الأسود مأخوذ من القياسات الاهتزازية)، ويمثل المسار الأخير (d) قيمة الخطأ في السرعة بين الأثر الاهتزازي والاثر الاهتزازي الصناعي.



الشكل (9) تأكيد التطابق لعملية التحويل عند البئر OMA1321 (a) أعالي الطبقات، (b) يمثل المنحني الأزرق الممانعة من القياسات البئرية والمنحني الأسود من الموديل الأولي ذو التردد المنخفض (Initial Model) والمنحني الأحمر الممانعة من الموديل المحول النهائي، (c) الأثر

الاهتزازي باللون الاسود والاثر المأخوذ من الموديل المحول النهائي بالأحمر (d) الخطأ في السرعة بين الأثر الاهتزازي والاثر المأخوذ من الموديل.

- اعتماداً على الشكل السابق ووجد أنّ نسبة التطابق بين قيم الممانعات الثلاث هي 92.05% وكانت قيمة الخطأ في السرعة بين الأثر الاهتزازي المسجل والاثر الصناعي المأخوذ من النموذج المحول (0.2147) وكانت نسبة التطابق بين الأثر الاهتزازي المسجل والاثر الاهتزازي المأخوذ من النموذج 97.71% أي أن النسب جيدة والتطابق مقبول.

وأجريت بعملية التحليل للنموذج الاهتزازي لبقية الآبار، للتأكد من صحة النموذج الاهتزازي الذي حُصِلَ عليه وكانت النتائج جيدة كما في المخطط البياني الذي يبين نسب التطابق بين قيم الممانعات الثلاثة:



الشكل (10) تحليل عمليات التحويل (Inversion analysis) لآبار الدراسة.

6 - التنبؤ بقيم الخصائص الميكانيكية من خلال بيانات المسح الاهتزازي:

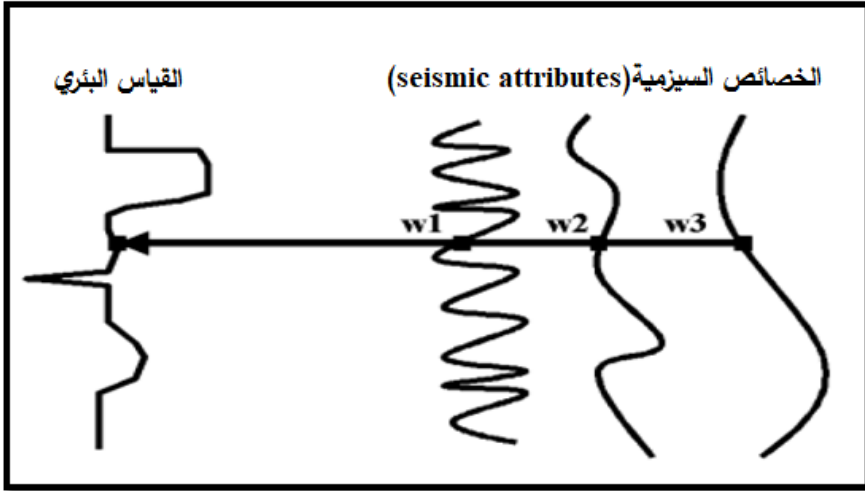
تمّ هذا الجزء من البحث من خلال استخدام برنامج (EMERGE) الذي يقوم بنشر الخصائص الميكانيكية للصخور من خلال التكامل بين كل من نموذج الممانعة الصوتية

المحول النهائي باستخدام خوارزمية التحويل (model-based inversion) والخصائص الاهتزازية الملائمة إضافة إلى القياس البثري للبارامتر المراد نشره ، مثلاً معامل يونغ أو بواسون، ولكن من أجل الحصول على نتائج أكثر دقة وواقعية، فإننا لا نستخدم القياس السيزمي نفسه وإنما الخصائص الاهتزازية (seismic attributes) لإثبات تعطي نتائجاً أفضل من استخدام القياس الاهتزازي نفسه وتعرف الخصائص الاهتزازية (seismic attributes) بأنها عبارة عن خوارزميات تقوم بقياس خصائص معينة في الأمواج الاهتزازية مثل المطال والطور والتردد وغيرها وهذه الخصائص يمكن قياسها بشكل لحظي في الزمن أو من خلال نافذة زمنية، كما يمكن قياسها من أثر اهتزازي واحد. والهدف الرئيسي من هذه الخرائط هو الحصول على معلومات دقيقة عن الوضع البنيوي أو الستراتغرافي أو الليتولوجي لمنطقة الدراسة ويمكن أن تصنف خرائط الخصائص الاهتزازية الى نوعين:

1- الخرائط المبنية على أساس السطح المفسر (Grid based).

2- الخرائط الاهتزازية المبنية على أساس الحجم (volume based).

❖ الأساس الرياضي لعملية نشر الخصائص ضمن برنامج (EMERGE): يمثل الشكل التالي عملية الربط التي يقوم بها برنامج (EMERGE) بين كل من القياس البثري المراد نشره (مثل معامل يونغ) مع كل من الخصائص الاهتزازية المستخدمة ومنها نموذج الممانعة المحول النهائي الذي حصلنا عليه ولنفترض أنه تم استخدام 3 خصائص الاهتزازية (w_1, w_2, w_3) :



الشكل (11) الأساس الذي يقوم عليه برنامج (EMERGE)

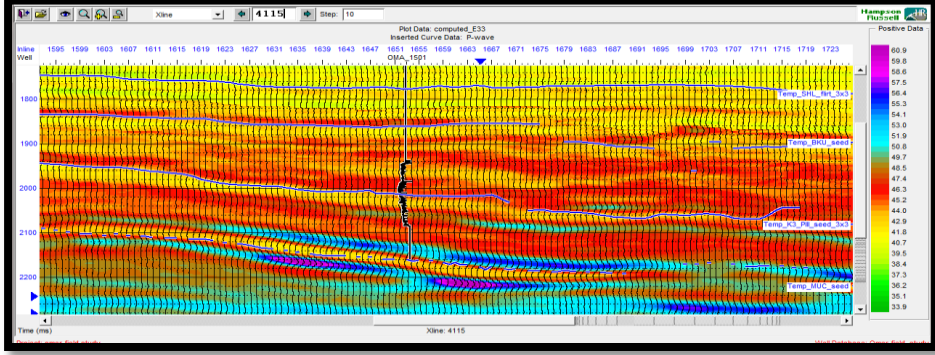
6-1 توزيع معامل يونغ (E) خلال القياسات الاهتزازية:

❖ تحديد الخصائص الاهتزازية الأكثر ملائمة (attribute):

تم استخدام 4 خصائص من الخصائص الاهتزازية التي تحقق تطابق مع القياس البئري لمعامل يونغ وتعطي نسبة تطابق مساوية لـ 81% بين قيم يونغ المحدد من خلال القياسات البئرية مع قيم يونغ المستنتجة من خلال القياسات الاهتزازية.

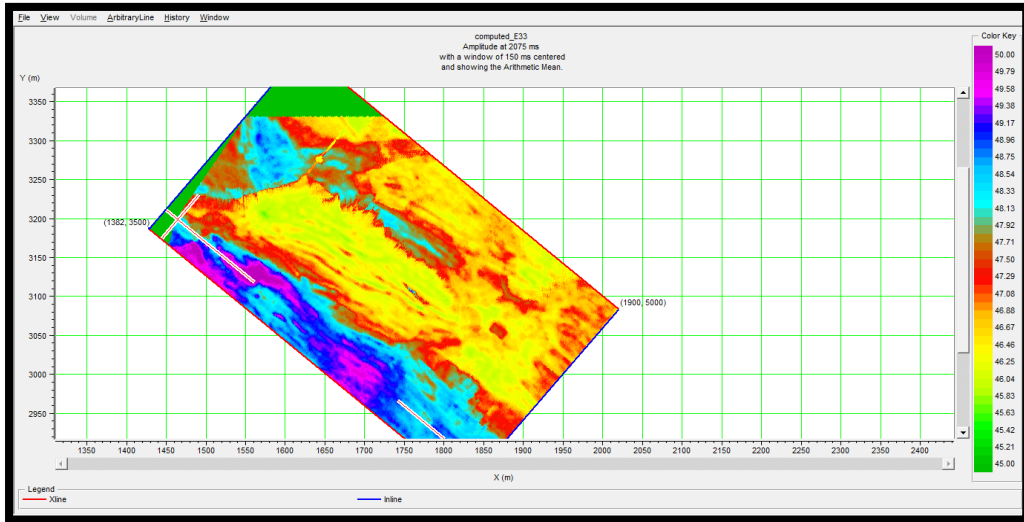
بعد تحديد الخصائص الاهتزازية الأقل نسبة خطأ والتي تحقق نسبة تطابق جيدة بين القيم المستنتجة من القياسات السيزمية والقيم المحددة من خلال القياسات البئرية يقوم برنامج (EMERGE) بعملية الربط والتكامل بين نموذج الممانعة الصوتية المحول النهائي والخصائص الاهتزازية المختارة ذات نسبة الخطأ الأقل وقيم معامل يونغ المحسوبة من خلال القياسات البئرية ويعمل على نشر قيمة معامل يونغ خلال القياسات الاهتزازية ضمن حقل العمر ويبين الشكل (12) نشر قيم معامل يونغ ضمن منطقة الدراسة، ونلاحظ من خلال خرائط نشر معامل يونغ بأن قيمته تزداد مع العمق وهذا منطقي لأن معامل يونغ يعبر عن نسبة الإجهاد إلى التشوه، ومع ازدياد العمق يزداد الإجهاد ويقل التشوه لأنه بزيادة العمق يصبح النسيج الصخري أكثر تماسكاً بسبب

انضغاط الصخر بتأثير وزن العمود الليثولوجي، فإذا طبقنا إجهاداً معيناً لإحداث تشوه بقيمة (X) في الطبقات السطحية فإننا نحتاج لقيمة أكبر من الإجهاد لإحداث نفس التشوه وذلك بالنسبة للطبقات الأكثر عمقاً:



الشكل (12) نشر قيم معامل يونغ بوحدة GPa من خلال البيانات الاهتزازية ضمن موقع اختراق البئر OMA1501

❖ سوف نعرض فيما يلي نشر لمعامل يونغ على ضمن حقل العمر عمق معين، حيث يمثل الشكل (13) نشر لقيم معامل يونغ على عمق 3845 متر أي عند طبقة الملوسا.



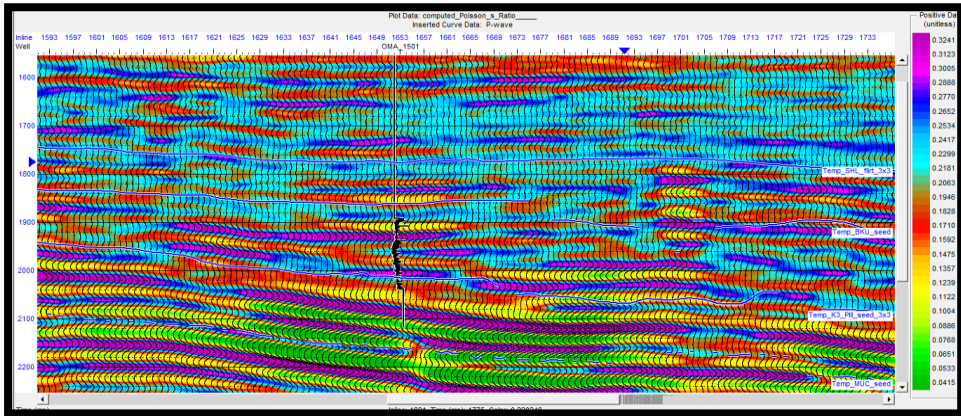
الشكل (13) خريطة نشر معامل يونغ بوحدة GPa ضمن حقل العمر خلال طبقة الملوسا على عمق 3845 متر.

6-2 نشر معامل بواسون (ν) خلال القياسات الاهتزازية:

❖ تحديد الخصائص الاهتزازية الأكثر ملائمة (attribute) لتحديد الخصائص الميكانيكية:

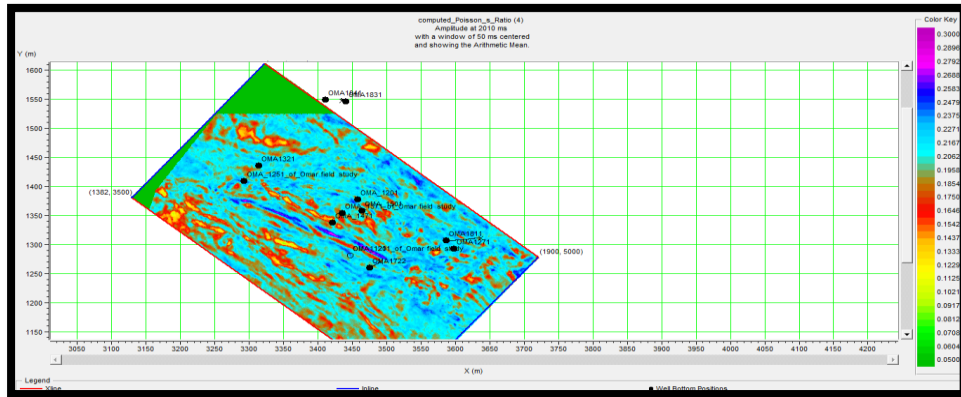
تم استخدام 3 خصائص من الخصائص الاهتزازية والتي تحقق أكثر تطابق مع قيم معامل بواسون المحسوبة من القياسات البئرية وذلك لكل من الآبار (-OMA1321 OMA1201-OMA1371-OMA1471-OMA1511) وكانت نسبة التطابق مساوية ل 99% بين قيم معامل بواسون المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من القياسات البئرية.

❖ بعد تحديد الخصائص الاهتزازية الأقل خطأ والتي تحقق نسبة تطابق جيدة بين القيم المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من خلال القياسات البئرية يقوم برنامج (EMERGE) بعملية الربط بين النموذج المحول للممانعة الصوتية مع الخصائص الاهتزازية ومع قيم معامل بواسون المحسوبة من القياسات البئرية، ويعمل على نشر قيمة معامل بواسون خلال القياسات الاهتزازية ضمن منطقة الدراسة في حقل العمر، كما في الشكل (14) الذي يبين نشر معامل بواسون:



الشكل (14) نشر قيم معامل بواسون من خلال البيانات الاهتزازية ضمن موقع اختراق البئر OMA1501

❖ سوف نعرض فيما يلي نشر لمعامل بواسون على ضمن منطقة الدراسة على أعماق مختلفة حيث يمثل الشكل (15) نشر لقيم معامل بواسون على عمق 3706 متر ضمن طبقة الملوسا.



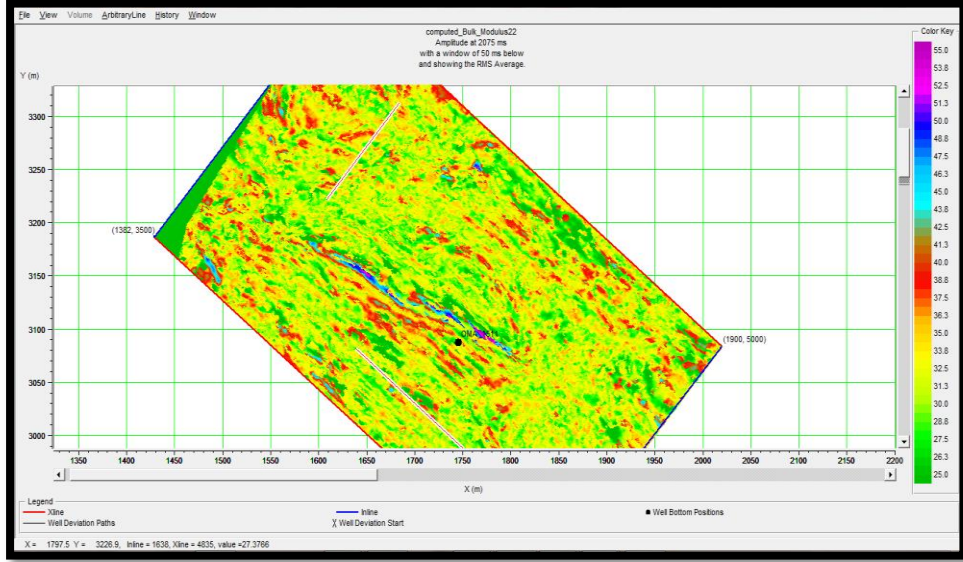
الشكل (15) خريطة نشر معامل بواسون ضمن حقل العمر خلال طبقة الملوسا على عمق 3706 متر

6-3 نشر معامل القالب الصخري (K) خلال القياسات الاهتزازية:

❖ الخصائص الاهتزازية الأكثر ملائمة (attribute) لتحديد الخصائص الميكانيكية: تم استخدام 3 خصائص من الخصائص الاهتزازية الأكثر تطابقاً مع قيم معامل القالب الصخري المحسوب من القياسات البئرية وكانت نسبة التطابق بين قيم معامل القالب الصخري المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من القياسات البئرية مساوية لـ 76%.

❖ بعد تحديد الخصائص الاهتزازية الأقل خطأ والتي تحقق نسبة تطابق جيدة بين القيم المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من خلال القياسات البئرية يقوم برنامج (EMERGE) بعملية الربط بين النموذج المحول النهائي للممانعة الصوتية مع الخصائص الاهتزازية ومع القياس البئري لمعامل القالب الصخري ويعمل على نشر قيمة معامل القالب الصخري خلال القياسات الاهتزازية على كامل منطقة

الدراسة كما في الشكل (16) الذي يبين نشر معامل القالب الصخري ضمن منطقة الدراسة:



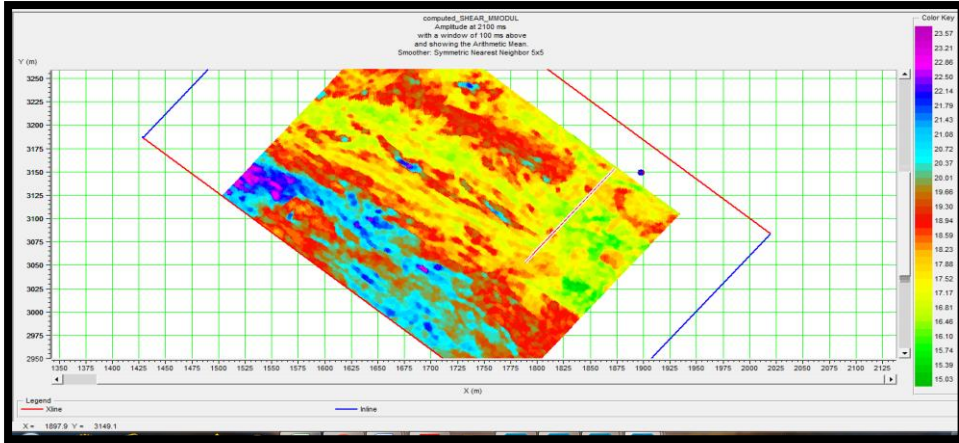
الشكل (16) خريطة نشر معامل القالب الصخري (K) بوحدة GPa ضمن منطقة الدراسة في طبقة الملوسا على عمق 3845 متر

6-4 نشر معامل القص (G) خلال القياسات الاهتزازية:

❖ الخصائص الاهتزازية الأكثر ملاءمة (attribute) لتحديد الخصائص الميكانيكية:

تم استخدام 5 خصائص من الخصائص الاهتزازية التي تعطي أكبر تطابقاً مع قيم معامل القص المحسوبة من القياسات البئرية، وكانت نسبة التطابق بين قيم معامل القالب القص (G) المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من القياسات البئرية مساوية لـ 74%، أي تم استخدام 5 خصائص من الخصائص الاهتزازية للبئر OMA1501 واستخدام نفس الخصائص للبئر OMA1371 وكذلك الأمر بالنسبة للبئر OMA120 والبئر OMA1251.

❖ بعد تحديد الخصائص الاهتزازية الأقل خطأً والتي تحقق نسبة تطابق جيدة بين القيم المستنتجة من القياسات السيزمية والقيم المحددة من خلال القياسات البئرية يقوم برنامج (EMERGE) بعملية الربط بين النموذج المحول النهائي للممانعة الصوتية مع الخصائص الاهتزازية ومع القياس البئر لمعامل القص (G) ويعمل على نشر قيمة معامل القص (G) خلال القياسات الاهتزازية ضمن منطقة الدراسة، كما في الشكل (17) الذي يبين نشر معامل القص (G):



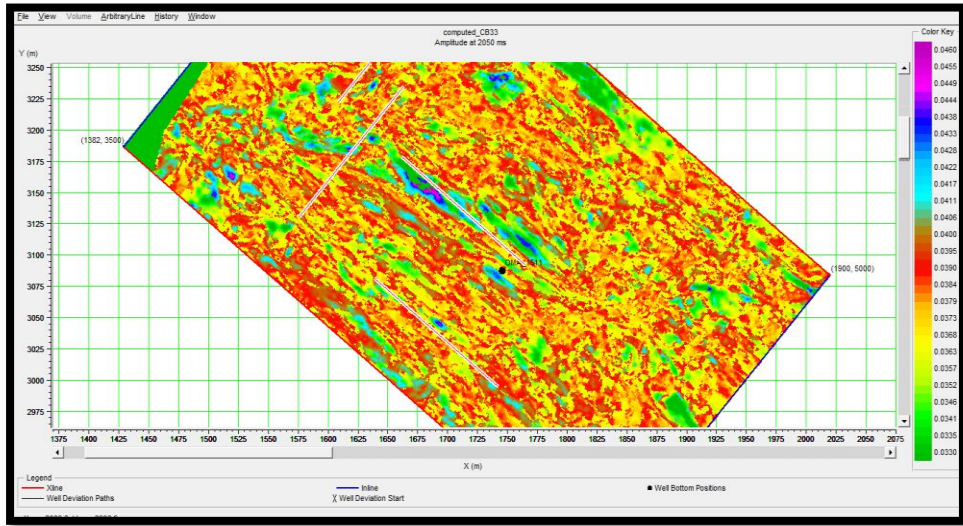
الشكل (17) خريطة نشر معامل القص (G) بوحدة GPa ضمن منطقة الدراسة في طبقة الملوسا على عمق 3891 متر.

5-6 نشر معامل انضغاطية القالب الصخري (Cb) خلال القياسات الاهتزازية:

❖ تحديد الخاصية الاهتزازية الأكثر ملائمةً (multi attribute):

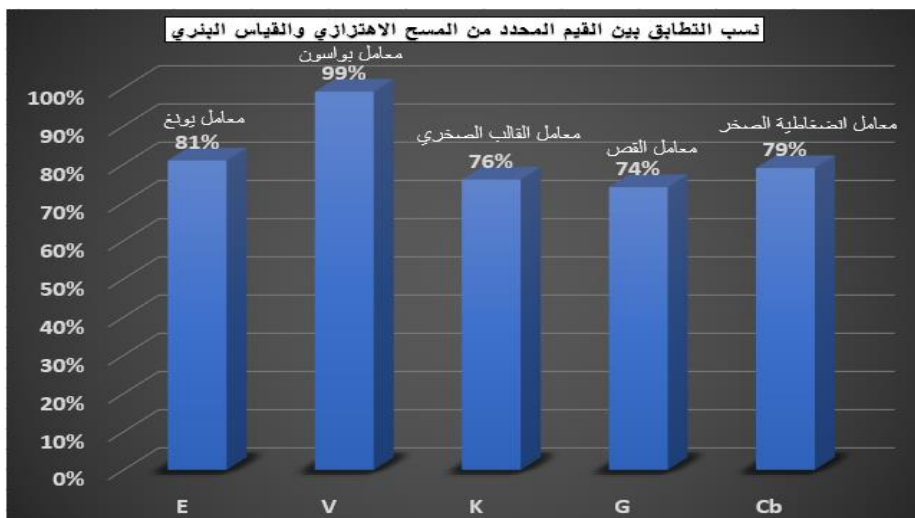
تم استخدام 5 خصائص من الخصائص الاهتزازية الأكثر تطابقاً مع قيم معامل انضغاطية القالب الصخري المحسوب من خلال القياسات البئرية وكانت نسبة التطابق بين قيم معامل انضغاطية القالب الصخري (Cb) المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من القياسات البئرية مساوية لـ 79%، أي تم استخدام 5 خصائص من الخصائص الاهتزازية للبئر OMA1501 واستخدام نفس الخصائص للبئر OMA1371 وكذلك الأمر بالنسبة للبئر OMA120 والبئر OMA1251.

❖ بعد تحديد الخصائص الاهتزازية الأقل نسبة خطأ والتي تحقق نسبة تطابقاً جيدة بين القيم المستنتجة من القياسات الاهتزازية والقيم المحددة من خلال القياسات البئرية يقوم برنامج (EMERGE) بعملية الربط بين النموذج المحول النهائي للممانعة الصوتية مع الخصائص الاهتزازية ومع القياس البئري لمعامل انضغاطية القالب الصخري (Cb) ويعمل البرنامج على نشر قيمة معامل انضغاطية القالب الصخري (Cb) خلال القياسات الاهتزازية على ضمن منطقة الدراسة كما في الشكل (18) الذي يبين نشر معامل انضغاطية القالب الصخري (Cb):



الشكل (18) خريطة نشر قيم معامل انضغاطية القالب الصخري (Cb) بوحدة 1/GPa ضمن منطقة الدراسة في تشكيلة الملوسا على عمق 3798 متر.

سنعرض فيما يلي نسب التطابق التي حصلنا عليها للخصائص الميكانيكية من القياسات الاهتزازية بالعلاقة مع القيم المحددة من القياسات البئرية كما في الشكل (19).



الشكل (19) نسب التوافق بين الخصائص الميكانيكية المحددة من القياسات الاهتزازية والقياسات البئرية.

7- مناقشة النتائج:

- 1- النتيجة الأهم في البحث أننا تمكنا من توزيع الخصائص الميكانيكية ضمن منطقة الدراسة وذلك لما لتحديدها من أهمية كبيرة في مختلف مجالات الصناعة النفطية ولما لها أهمية في تفادي مشاكل الحفر والإنتاج.
- 2- تمّ من خلال البحث وضع علاقة بين سرعة الأمواج الطولية والعرضية بالعلاقة مع الليتولوجيا من أجل حساب الخصائص الميكانيكية في الابار التي لا تحوي على القياس الصوتي ثنائي القطب فهو قياس مكلف ولم يتم تنفيذه سوى في 4 آبار في شركة الفرات (قياس مباشر لسرعة الأمواج الطولية والعرضية).
- 3- وُجِدَ بأن قيم الممانعة الصوتية ضمن الموديل المحول وفق خوارزمية (based inversion) تتغير ضمن المجال (17000-65000) (g/cc) * (ft/s) ويلاحظ وجود أجزاء من الموديل تكون أقل تجانس ويعزى ذلك الى المحتوى العالي من الغضار الذي يسبب حساسية أقل لقراءة سرعة الأمواج، بينما نجد وجود تجانس في الموديل عند القيم العالية للممانعة الصوتية وذلك بسبب الارتباط الجيد بين الحبيبات

الصخرية المكونة للصخر بحيث تصبح التشكيلات أكثر تماسكاً وانضغاطاً عند الأعماق الكبير.

4- وُجِدَ أن انشاء نموذج الممانعة الصوتية ثلاثي البعد المحول له أهمية كبيرة في عمليات الاستكشاف النفطي فهو يعبر عن خصائص الخزان ويعطينا صورة أوضح للمكمن من التسجيل الاهتزازي نفسه، إضافة الى سهولة تتبع سطوع الانعكاس ضمنه بالمقارنة مع التسجيل الاهتزازي.

5- وُجِدَ من خلال موديل الممانعة الصوتية المحول وجود قيم منخفضة للممانعة الصوتية وذلك يدل على تواجد الهيدروكربون لأنّ الممانعة الصوتية تعبر عن جداء كل من الكثافة وسرعة الأمواج الصوتية و ضمن منطقة الخزان النفطي تكون قيم السرعة قليلة وبالتالي يتوافق ذلك مع قيم منخفضة للممانعة الصوتية ونستدل على ذلك من خلال المقاطع الشاقولية للممانعة (المناطق باللون الاصفر) كما في الشكل (8) والتي إشارات الى وجود قيم منخفضة للممانعة الصوتية ومناطق انخفاض القيم يترافق مع مكان الخزان النفطي ومن أجل التأكد نلاحظ تطابق وجود المنطقة الصفراء (التي تدل على احتمالية تواجد الهيدروكربون) مع مكان أخذ القياسات البئرية التي لا تتفد الا مقابل المجال المنتج للهيدروكربون.

8 المقترحات والتوصيات:

1- يُوصى بنمذجة الطريقة المطبقة في الحقل لتسهيل استنتاج الخصائص الميكانيكية وتوفير الوقت والجهد على إعداد دراسات مشابهه للحصول على تلك الخواص بحيث يسهل تطبيق الطريقة والاستفادة منها في مختلف مجالات الصناعة النفطية مثل تلافي مشاكل الحفر وحساب قيم الاجهادات وتلافي مشاكل الإنتاج المتمثلة بدخول الرمال الى قاع البئر.

2- يُوصى بتعميم هذه المنهجية على كامل الحقل والحقول المجاورة والاستفادة من نتائجها.

- 3- يُوصى بالاستفادة من قيم الخصائص الميكانيكية في انشاء الموديل الجيولوجي الأرضي الذي يستخدم في كافة مجالات الصناعة النفطية سواءً في مجال الحفر أو الإنتاج أو المخزون أو الاستكشاف أو عمليات التحسين.
- 4- يُوصى بالاستفادة من منهجية البحث وقيم الخصائص الميكانيكية في نشر معامل قساوة الصخر (Brittleness) من أجل الحصول على أفضل عملية تشقيق هيدروليكي للطبقة بالاعتماد على قيمة معامل قساوة الصخر المنشورة خلال القياسات الاهتزازية.

المراجع

- 1- Hampson-Russell suite. 2013-**Guide to Post Stack Inversion**, CGG Company.
- 2- Al-Rahim, A, Hashem, H,2016- **Subsurface 3D Prediction Porosity Model from Converted Seismic and Well Data Using Model Based Inversion Technique**. Iraqi Journal of Science, Iraqi, p12.
- 3- Hampson, D. P., Suchlike, J. S., and Quirein, J. A. 2001-**Use of multi attribute transforms to predict log properties from seismic data**, Geophysics.
- 4- Harryandi, S,2017-**Facies Modeling Using 3D Pre-stack Simultaneous Seismic Inversion and Multi-Attribute Probability Neural Network Transformin The Wattenberg Field**, Colorado.
- 5- Al-Saho M.Ph.2019, **The Use of Geophysical Measurements to Study the stress state in the Investment Area of Al-Furat Petroleum Company**, Al Baath University, Syria.
- 6- AL-Furat petroleun company, **well logging and seismic data**.