

استخدام النمذجة السيزمية في التمثيل ثلاثي الأبعاد لبيئة الترسيب في دوري البرمي والترياسي، ولتشكيلة الكوراشينا دولوميت في مرحلة ما بعد الميوسين في السلسلة التدمرية - منطقة الشاعر

د. رياض طيفور*

رباح شاهين**

(تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2020. قُبِلَ للنشر في 15 / 11 / 2020)

□ ملخص □

طبقت النمذجة السيزمية (Seismic modeling) على البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد (3D) بهدف التمثيل ثلاثي الأبعاد لبيئة الترسيب في دوري البرمي والترياسي، ولتشكيلة الكوراشينا دولوميت في مرحلة ما بعد الميوسين في الجزء الشمالي من السلسلة التدمرية - منطقة الشاعر. استخدمت في هذه الدراسة خاصية الممانعة الصوتية النسبية إلى جانب البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد. نفذت الدراسة على أربع مراحل رئيسية تضمنت الآتي: (1) التفسير السيزمي، (2) بناء النموذج الجيولوجي، (3) تجهيز خاصية الممانعة الصوتية النسبية، (4) النمذجة الهندسية (Geometrical modeling). مكّنت النمذجة السيزمية من معرفة تغيرات خواص الإشارة السيزمية (سعة، وتردد، و..... إلخ) على امتداد السطوح الزمنية المفسرة، وبالتالي أتاحت خيارات إضافية في التعامل مع البيانات السيزمية. أسهمت هذه الدراسة في بناء نماذج ترسيبية ثلاثية الأبعاد لفترات البرمي، والترياسي المبكر، والترياسي الأوسط. وأسهمت أيضاً في بناء نموذج ثلاثي الأبعاد يظهر وضع الطبقة الخازنة في مرحلة ما بعد الميوسين، ومواقع الاندساسات النارية الرئيسية التي حددها شاهين وآخرون عام 2018 م (Shaheen et al., 2018).

الكلمات المفتاحية: بيانات سيزمية، سيزموغرام صناعي، تفسير سيزمي، نمذجة سيزمية، نموذج جيولوجي، ممانعة صوتية، نمذجة هندسية، نموذج ترسيبي، اندساسات نارية.

*أستاذ- قسم الجيولوجيا- كلية العلوم - جامعة دمشق- دمشق- سورية. riadtafour@gmail.com
**طالب دكتوراه - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق- دمشق- سورية. rabahshaheen96@gmail.com

Using seismic modeling in 3D representation of the Permian Triassic depositional environment, and the Kurrachine Dolomite Formation in the post-Miocene Epoch, Palmyrides-Ash Shaer Area, Syria

Dr. Riad Taifour*
Rabah Shaheen**

(Received 31 / 8 / 2020. Accepted 15 / 11 / 2020)

□ ABSTRACT □

Seismic modeling was applied to 3D seismic data in order to represent the 3D Permian — Triassic depositional environment, and the Kurrachine Dolomite Formation in the post-Miocene Epoch, Palmyrides- Ash Shaer Area, Syria. The 3D seismic data and the relative acoustic impedance attribute (RAI) were used in this study. This study was carried out in four main stages which are: (1) Seismic interpretation, (2) Building the geological model in time domain, (3) Creating the relative acoustic impedance attribute, (4) Geometrical modelling. The seismic modeling provided information about the variations of the seismic wavelet properties (Amplitude, frequency ...etc.) along the interpreted horizons, thus it allowed additional options in dealing with the seismic data. As a result of this study, 3D sedimentary model was built for the Permian Period, Early Triassic Epoch, and the Middle Triassic Epoch. 3D model for the post-Miocene Epoch was also built and showed the 3D representation of the Kurrachine Dolomite Formation. It also showed the locations of the main igneous intrusions which were found out by Shaheen et al., 2018.

Keywords: Seismic data, Synthetic seismogram, Seismic interpretation, Seismic modeling, Geological model, Acoustic impedance, Geometrical modeling, Sedimentary model, Igneous intrusions.

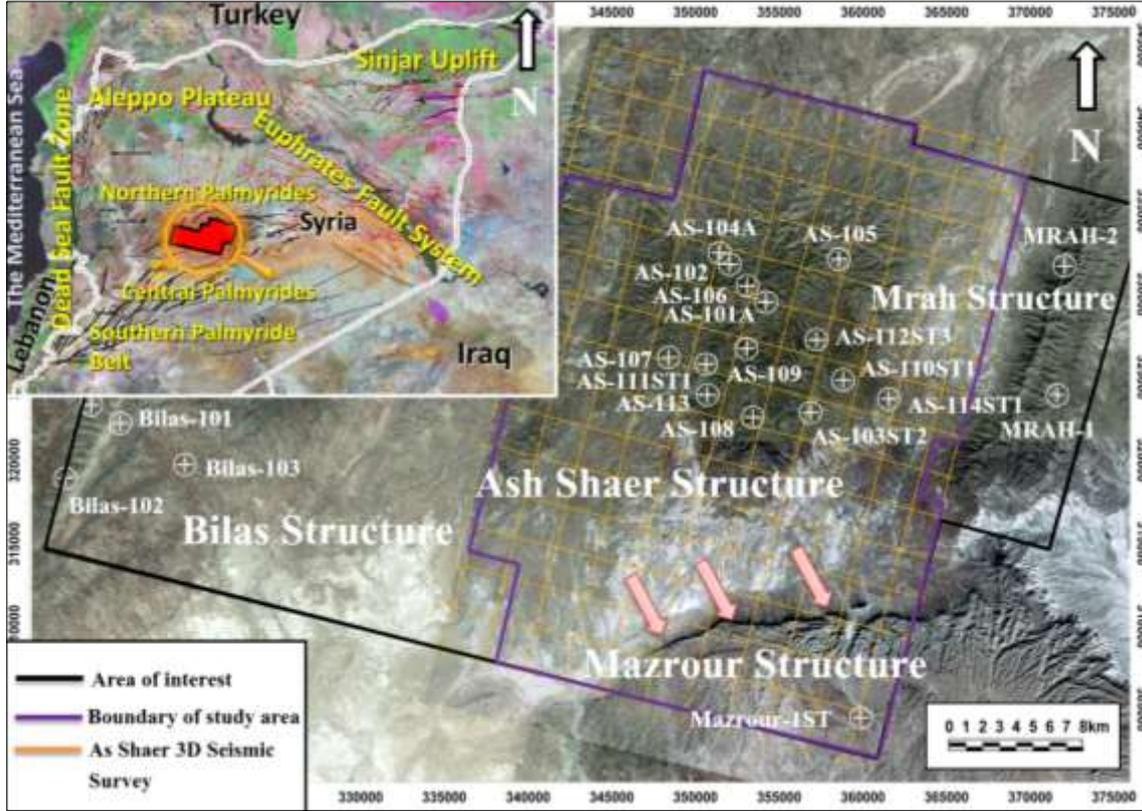
خطأ! لم يعط اسم للإشارة المرجعية.

* Professor, Faculty of Sciences, Geology Department, Damascus University, Damascus , Syria, e-mail: riadtaifour@gmail.com

** PhD Student, Faculty of Sciences, Geology Department, University of Damascus, Damascus, Syria, e-mail: rabahshaheen96@gmail.com

مقدمة:

تقع منطقة الشاعر في الجزء الشمالي من السلسلة التدمرية، وسط سوريا، في محافظة حمص، وتشكل جزءاً من كتلة البلعاس الناهضة (شكل 1). يشكل تركيب الشاعر بحد ذاته محدباً (Anticline)، بأبعاد تقريبية 27×20 كم، ومحور ذو منحى NNE. يبدي هذا المحدب على امتداد محوره زوتان (Culminations) شمالية وجنوبية. يُعدّ حقل الشاعر من الناحية الخزنية بمثابة قبة غازية (Gas cap) ضخمة نسبياً مع هالة نفطية (Oil rim) (Ebla internal) (report, 2010).



الشكل (1): صورة فضائية تظهر الموقع الجغرافي الإقليمي لمنطقة الشاعر (الخط باللون البنفسجي)، والتراكيب الرئيسية المجاورة لها، مع منطقة المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد التي نفذت في المنطقة (Shaheen et al., 2018).

تعدّ كل من تشكيلتي رمل الأمانوس (اختصاراً Amss) المترسبة في دور البرمي، والكوراشينا دولوميت (اختصاراً UKD-C₂) المترسبة في دور التركيب من التشكيلات الخازنة الرئيسية في منطقة الشاعر. تقسم طبقة الكوراشينا دولوميت إلى ثلاثة نطاقات؛ علوي (UKD) وأوسط (MKD) ومنتجبين، وأسفل (LKD) كتيمة. يمثل النطاق الأوسط من الكوراشينا دولوميت النطاق المنتج الأساسي في حقل الشاعر حالياً (Ebla internal report, 2010).

يكتنف تشكيلة رمل الأمانوس بعض الغموض ويعود ذلك إلى الآتي: (1) قلة الآبار المخترقة (اخترقتها البئر Mazrur-1ST فقط في الجزء الجنوبي الشرقي من منطقة الشاعر، وتحديدًا في الجزء الواقع جنوب فالح جبار). (2) عدم وجود تفسير سيزمي سابق في منطقة الشاعر يبين الوضع البنيوي والستراتغرافي لها، ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في تسليط الضوء على الوضع الترسبي لفترة توضع تلك التشكيلة.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن الأهمية العلمية لهذا البحث في كونه البحث الأول من نوعه في الجمهورية العربية السورية الذي استخدم تقنية النمذجة السيزمية في التمثيل السيزمي ثلاثي الأبعاد لمعالج بيئة الترسيب لدوري البرمي والترياسي في منطقة الشاعر. مكنت هذه الدراسة من بناء نموذج ترسيبي ثلاثي الأبعاد لدوري البرمي والترياسي في منطقة الشاعر، وبناء نموذج ثلاثي الأبعاد لفترة ما بعد الميوسين؛ يظهر وضع الطبقة الخازنة (الكوراشينا دولوميت) بعد تأثير الحركات التكتونية الانضغاطية، ومواقع الاندساسات النارية الرئيسة التي حددها شاهين وآخرون عام 2018 م في منطقة الشاعر. تكمن الأهمية العلمية لهذا البحث أيضاً في كونه يقوم على استخدام تقنيات حديثة، لاسيما تقنية النمذجة السيزمية، والخصائص السيزمية ثلاثية الأبعاد (Volume seismic attributes)؛ التي تعدّ وسيلة فعّالة وناجحة في إظهار التغيرات الجانبية في خصائص الانعكاسات سواء من خلال تطبيق هذه الخصائص على المقاطع السيزمية أو من خلال خرائط الخصائص السيزمية نفسها.

شكل هذا البحث حلاً لمشكلة أساسية تتعلق بالتعامل مع البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد، فعند دراسة البنيات والتراكيب غالباً توضع شرائح زمنية أفقية عند أزمنة محددة، ولكن أغلب البنيات والتراكيب متغيرة في الزمن (شاقولياً أي من زمن لآخر)، ولذلك شكلت النمذجة السيزمية أداة فعّالة في التعامل مع السطوح والبنيات بحيث يتم أخذ تغيراتها الزمنية بالحسبان. بناءً على ما سبق تتلخص الأهداف الرئيسة للدراسة بالآتي:

✚ تعزيز فهمنا للوضع الترسبي في منطقة الشاعر من خلال بناء نموذج ترسيبي ثلاثي الأبعاد لدوري البرمي والترياسي اللذان شهدا ترسيب التشكيلات الخازنة الرئيسة في منطقة الشاعر، والمتمثلتان بتشكيلي رمل الأمانوس والكوراشينا دولوميت.

✚ بناء تصور عن وضع الطبقات بعد تأثير الحركات التكتونية التي أدت إلى الوضع التكتوني الحالي في منطقة الشاعر، وذلك من خلال بناء نموذج ثلاثي الأبعاد لمرحلة ما بعد الميوسين يظهر وضع تشكيلة الكوراشينا دولوميت، ومواقع الاندساسات النارية الرئيسة التي حددها شاهين وآخرون في عام 2018 م.

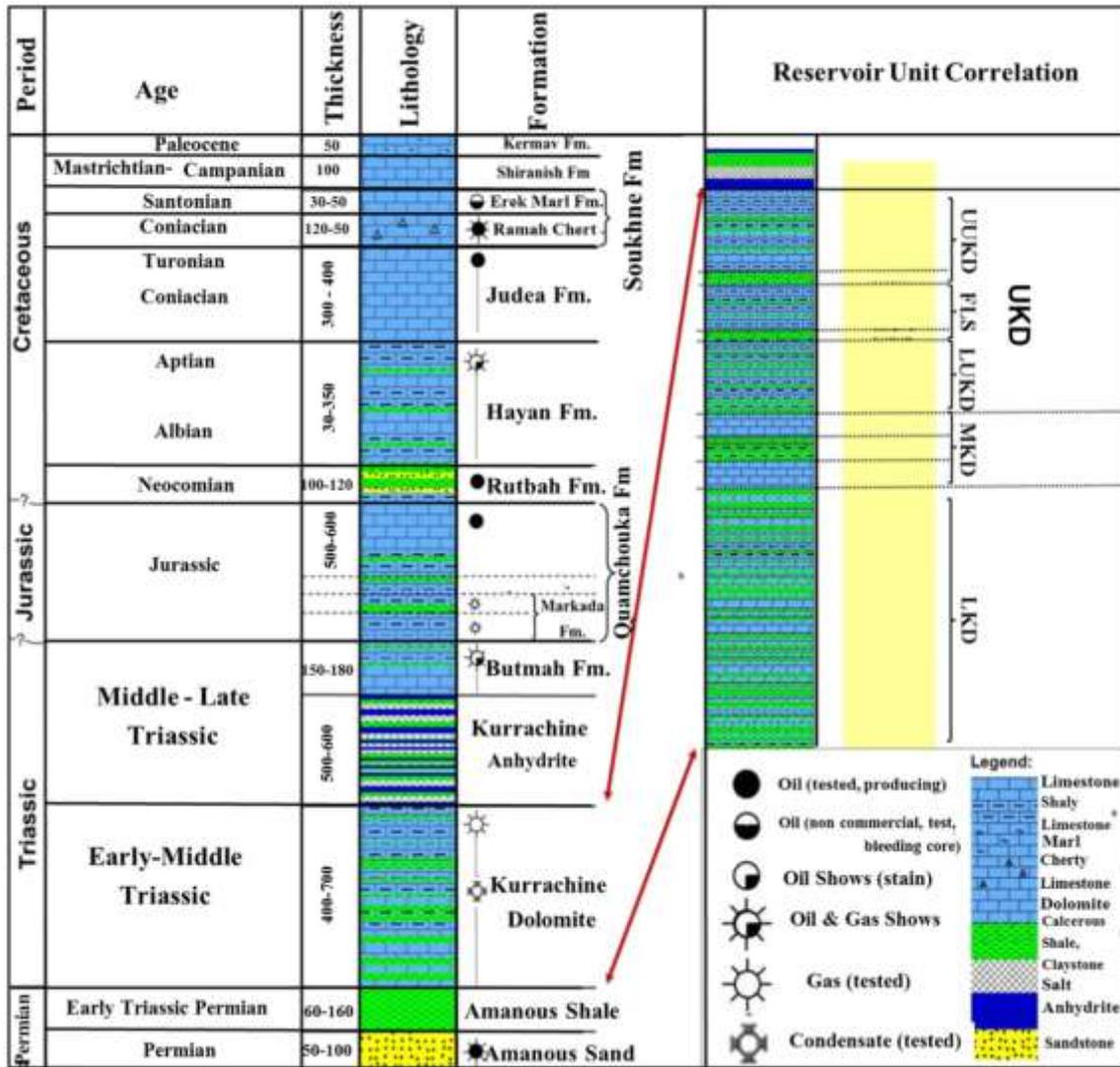
نفذت الدراسة باستخدام برنامج بترل (Petrel) أصدر 2016 م المُنصّب على محطة العمل (Workstation) في دائرة التطوير في مكاتب شركة إيبلا للنفط في دمشق. ونفذت على أربع مراحل رئيسة تضمنت الآتي: (1) التفسير السيزمي، (2) بناء النموذج الجيولوجي الزمني، (3) تجهيز خاصية الممانعة الصوتية النسبية، (4) النمذجة الهندسية (Geometrical modeling).

الوضع الجيولوجي العام للسلسلة التدمرية (الوضع التكتوني-الستراتغرافي):

تقع السلسلة التدمرية في الجزء المركزي من سوريا، وقد فُسرت على أنها حزام طيات تكونت ضمن الصفيحة العربية (Arabian Plate). يمتد هذا الحزام لأكثر من 400 كم، بعرض تجاوز 100 كم (Ebla internal report, 2016). يحد هذا الحزام شمالاً هضبة حلب، ويحده جنوباً نهوض الرطبة؛ الذي بدوره يشكل تركيب قبيبي (Domal Structure) واسع الامتداد. وبحسب نمط الالتواء، يقسم حزام الطي التدمري إلى نطاقين رئيسيين هما (Searle, 1994):

1- النطاق التدمري الجنوبي (The Southern Palmyride belt)؛ هو عبارة عن سلسلة من الطيات السلمية (En echelon Folds) الضيقة، اللامتناظرة، ذات اتجاه انقلاب (vergence) جنوب شرق.

2- النطاق التدمري الشمالي (The Northern Palmyrides): يتميز هذا النطاق بوجود عديد من المحدثات الواسعة الامتداد، وضعيفة الميول كمحدثات الشومرية والبلعاس والشاعر والبشري. تحدد هذه الجبال جنوباً بفالق جحار الانزياحي الجانبي اليميني (Dextral strike slip fault)، ومن الشمال بفالق البشري الانزياحي الجانبي اليميني. يعدّ جبل الشاعر من التراكيب الأكثر أهمية في المنطقة، وعلى مستوى التدمرية عموماً. يتكون هذا الجبل من ثلاثة محدبتات رئيسية، إذ يتركز المحذب الأكبر في المنتصف (NPA group, 2007). يؤثر فالق جحار الانزياحي اليميني على التوضعات العميقة، وعلى توضعات الرباعي، ويفصل النطاق التدمري الشمالي عن الجزء المركزي من السلسلة التدمرية والنطاق التدمري الجنوبي (Ponikarov, 1966). يبين الشكل (2) التشكيلات الصخرية المكونة للعمود الستراتغرافي في الجزء الشمالي من السلسلة التدمرية، وتكوينها الليتولوجي.



الشكل (2): التشكيلات الصخرية المكونة للعمود الستراتغرافي في الجزء الشمالي من السلسلة التدمرية-منطقة الشاعر (Ebla internal) (report, 2008).

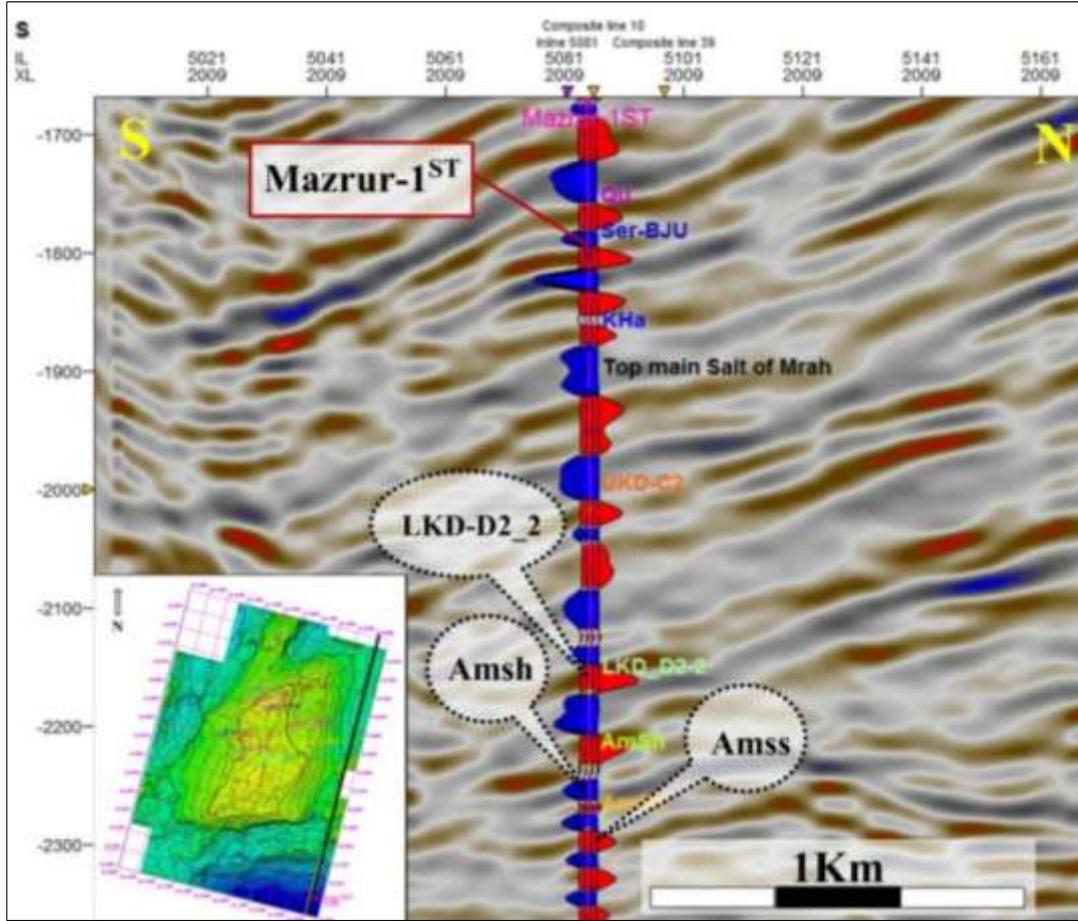
تتراوح ثخانة النطاق العلوي (UKD) في تشكيلة الكوراشينا دولوميت في منطقة الشاعر ضمن المجال 200-300 م، ويتألف من متوالية رسوبية (Sequence) مكونة من دورات متعاقبة من الحجر الكلسي، والدولوميت، والغضار،

والأنهدريت (شكل 2). ينقسم هذا النطاق إلى وحدتين الأولى علوية (UUKD)، والثانية سفلية (LUKD)، إذ تتمتع الوحدة الأولى بمواصفات خزنية أفضل مقارنةً بالوحدة السفلية، ويفصل بين الوحدتين طبقة من الحجر الكلسي الكتيم (FLS). تتراوح ثخانة النطاق الأوسط من الكوراشينا دولوميت (MKD) بين 20-30 م، ويتألف من الحجر الكلسي متغير الدلمة، ويفصل عن النطاق العلوي طبقة كريمة من الغضار. تتصل النطاقات الثلاثة (MKD، وLUKD، وUUKD) بالطبقة المائية، وهي منفصلة بالنسبة للهيدروكربون، وبالتالي فإن مستويات التقاء النفط - ماء، والغاز - نفط مختلفة بين هذه النطاقات. يمثل النطاق MKD المجال المنتج الأساسي حالياً في حقل الشاعر (Ebla internal) (report, 2010).

اخترقت توضعات رمل الأمانوس في منطقة الشاعر في البئر Mazrur-1ST فقط، وتتكون بشكل رئيس من الحجر الرملي (Sandstone)، والحجر السلتي (Siltstone)، والغضار الصفحي (Shale)، والحجر الغضاري (Claystone).

طرائق البحث ومواده:

تبلغ مساحة منطقة الدراسة 920 كم²، متضمنةً حقل الشاعر الواقع شمال غرب مدينة تدمر بحوالي 40 كم. اعتمدت هذه الدراسة على بيانات المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد (3D) (شكل 1)؛ الذي نفذته شركة بتروكندا خلال عامي 2008-2009 في منطقة الشاعر. كان منحى الخطوط الطولية (Inlines) لشبكة المسح هو WNW-ESE، وكانت قيمة التغطية 100 (In-line 10 * Cross-line 10). بلغت المساحة العاكسة المشتركة (Bin size) 25 م² (25 meters * 25 meters). استخدم الرجاء مصدراً للطاقة، وفي الأماكن شديدة الوعورة، التي لا يصلها الرجاء، استخدم الديناميت مصدراً للطاقة. تراوحت قيمة التردد لإشارة الرجاء من 6 إلى 64 هرتز. طول السويب (Sweep) 16 ثانية. قطبية الإشارة للبيانات المعالجة هي قطبية عادية معيارية (SEG standard). فاصل التقطيع (Sample rate) للإشارة المسجلة هو 2 ميلي ثانية. استمرارية العواكس جيدة فوق معظم المنطقة الممسوحة. أدى المحتوى الترددي المنخفض للإشارة السيزمية (10 هرتز) إلى قدرة تمييز شاقولية منخفضة، لذلك تم إعادة معالجة البيانات السيزمية من قبل شركة Baker-RDS، باستخدام تقنية تقوية الترددات العالية (EHF technique)، هذا أدى إلى تحسين التردد المسيطر للإشارة السيزمية، وضمن نطاق الطبقة الخازنة، إلى 25 هرتز (Shaheen et al., 2018). استندت هذه الدراسة على القياسات الجيوفيزيائية البئرية (قياسات كل من قطر البئر (HCAL)، والإشعاعية (GR)، والكثافة (RHOZ)، والصوتية (ΔT)) في آبار حقل الشاعر البالغة 14 بئراً (AS-101A, 102, 103ST2, 104A,)، التي تتوزع بين إنتاج غازي ونفطي، وآبار غير منتجة. واعتمدت أيضاً على القياسات الجيوفيزيائية البئرية في البئر Mazrur-1ST (إحدى آبار حقل مزورر المحفورة في الزاوية الجنوبية الشرقية من المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد لمنطقة الشاعر، وهي البئر الوحيدة التي اخترقت تشكيلة رمل الأمانوس في منطقة الدراسة)، وذلك بهدف إجراء الربط الصحيح بين البيانات البئرية والبيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد لمنطقة الشاعر. وتم من أجل ذلك إنشاء سيزموغرام صناعي (Synthetic seismogram) أدى إلى انتقاء صحيح للعواكس المقابلة لسطوح التشكيلات، وتحديد سطحي كل من تشكيلة الكوراشينا دولوميت وتشكيلة رمل الأمانوس بوصفهما التشكيلتان الهدف. ومن خلال المضاهاة لحظ أن نسبة التطابق جيدة بين السيزموغرام الصناعي والبيانات السيزمية (نسبة التطابق تفوق 75 %) (شكل 3).



الشكل (3): السيزموغرام الصناعي في البئر Mazrur-1ST، تشير الرموز LKD-D_{2,2} و Amsh و Amss إلى العواكس المقابلة لسطوح كل من الجزء السفلي لتشكيلة الكوراشينا دولوميت، والغضار الصفحي لتشكيلة الأمانوس، وتشكيلة رمل الأمانوس على الترتيب.

تم في هذه الدراسة استخدام البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد في منطقة الشاعر، والنموذج الجيولوجي الزمني لنفس المنطقة، واستخدمت خاصية الممانعة الصوتية النسبية (RAI) في هذه الدراسة التي تمثل مجموع الساعات المقطعة بانتظام؛ التي تحسب بتكامل الأثر السيزمي، وتطبيق المصفي Butterworth filter بهدف تقليل الضجيج منخفض السعة. تحسب هذه الخاصية من القيمة Z ؛ التي تمثل الممانعة الصوتية؛ التي يُعبر عنها رياضياً بجداء كثافة التشكيلة الصخرية (ρ) بسرعة الموجة الطولية (V) للتشكيلة نفسها (المعادلة 1) (Alsouki, 2014):

$$(1) \text{ المعادلة } \quad Z = \rho \cdot V$$

وبناءً على الشكل الرياضي للأثر السيزمي العقدي $F_{HI}(t)$ الذي يعبر عنه بالمعادلة (2) (Taner et al., 1979):

$$(2) \text{ المعادلة } \quad F_{HI}(t) = f(t) + if * (t)$$

$f(t)$: الجزء الحقيقي للأثر السيزمي العقدي. $f * (t)$: الجزء التخيلي للأثر السيزمي العقدي.

برهن تانر أن الممانعة الصوتية النسبية (RAI)، يمكن أن تحسب من البيانات السيزمية بتكامل الجزء الحقيقي للأثر السيزمي، أي كما في المعادلتين (3، 4) (Schlumberger, 2007):

$$(3) \text{ المعادلة } \quad f(t) = \frac{1}{2} \frac{\Delta\rho V}{\rho V}$$

ρV : الممانعة الصوتية (V سرعة الموجة الطولية، ρ كثافة التشكيلة). $\Delta\rho V$: معدل تغير الممانعة الصوتية

المعادلة (4)

$$\ln(\rho V) = 2 \int_{t=0}^{t=T} f(T) dt$$

تعتمد هذه الخاصية على التباين الصوتي الظاهري، وتُعدّ خرائطها إحدى الوسائل المهمّة في دراسة السحنات المختلفة وتحديدها، وكذلك تحديد حدود المتواليات الرسوبية، وسطوح عدم التوافق، واللاتوافقات، ويمكن أن تشير هذه الخاصية إلى المسامية أو إلى المائع في الخزان.

النتائج والمناقشة:

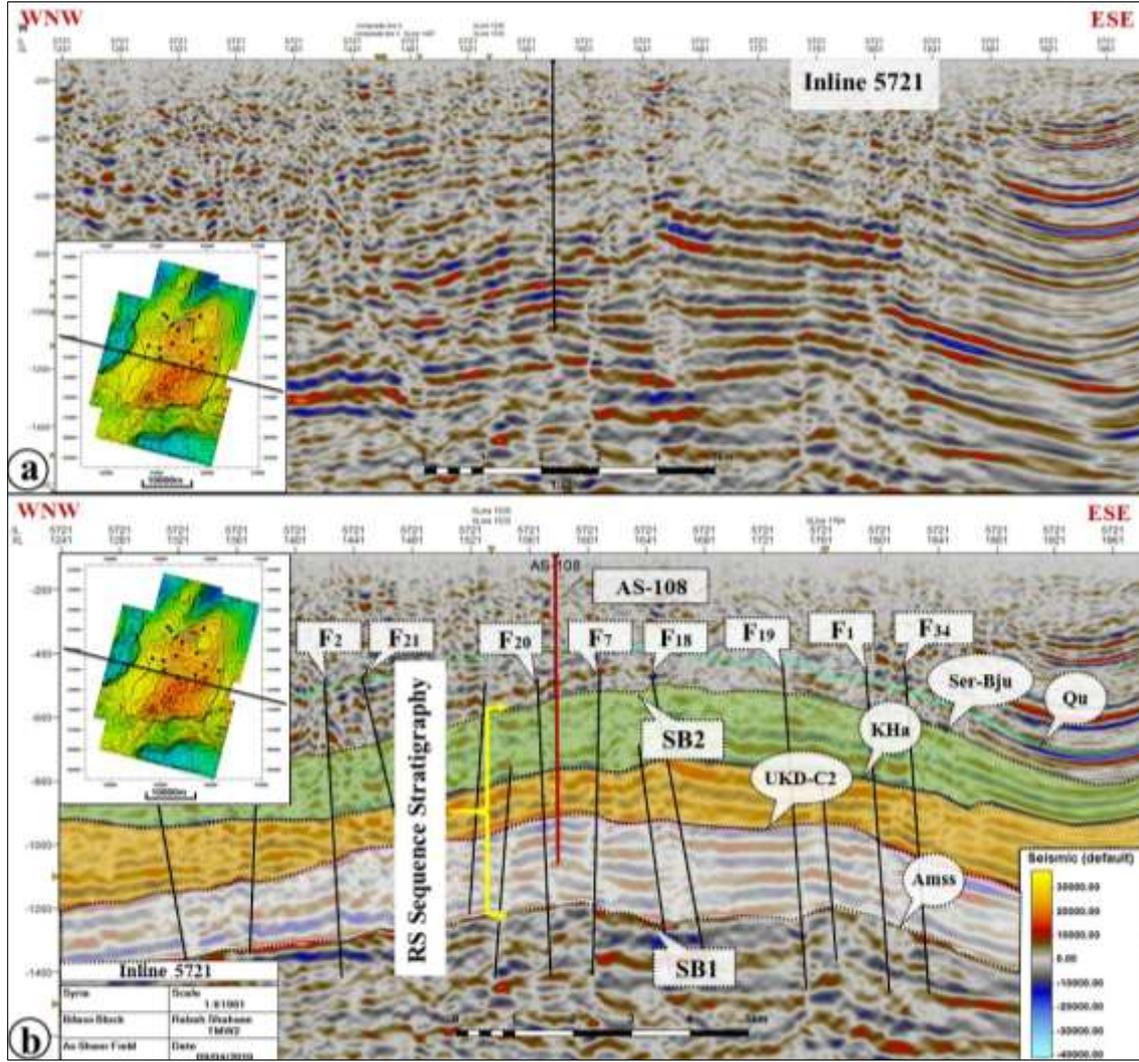
نفذت جميع مراحل النمذجة السيزمية في مجال الزمن، وكان الهدف الرئيس من ذلك هو التخلص من التشوهات التي قد يسببها نموذج السرعة في تحويل السطوح المفسرة والمكعب السيزمي من مجال الزمن إلى مجال العمق. نفذت الدراسة على أربع مراحل رئيسة تضمنت الآتي:

التفسير السيزمي

فسرت خمسة سطوح سيزمية (Surfaces) رئيسة؛ تضمنت كل من سطح تشكيلة الكمشوكا (Qu) (استخدم سطحاً للمقارنة وتدقيق التفسير للسطح الواقع تحته)، وسطح عدم توافق قاعدة الجوراسي العلوي (Ser-Bju)، وسطح الملح في تشكيلة الكوراشينا أنهدرت (أو سطح الكوراشينا هاليت (KHa)، وسطح تشكيلة الكوراشينا دولوميت (UKD-C₂)، وسطح تشكيلة رمل الأمانوس (Amss) (شكل 4). وإلى جانب تلك السطوح فسّر 71 فالقاً (فسرت على المقاطع الشاقولية، ورسمت حدودها (Boundaries) على الشرائح الزمنية الأفقية).

بحسب ميتشم وقل عام 1977 م (Mitchum & Vail, 1977)، تعرّف المتواليّة الرسوبية (Sequence) بأنها تتابع رسوبي متوافق نسبياً من الطبقات المرتبطة منشئاً، والمحددة بسطوح عدم التوافق أو بالسطوح الترسيبية المترابطة. حددت المتواليّة RS في منطقة الشاعر من الأسفل بسطح عدم توافق دور البرمي (سطح تشكيلة رمل الأمانوس) (SB₁)، ومن الأعلى بسطح عدم توافق قاعدة الجوراسي العلوي (سطح تشكيلة السيرجلو) (SB₂) (شكل 4). قامت هذه الدراسة على التمثيل ثلاثي الأبعاد لبيئة الترسيب لدوري البرمي والترياسي في منطقة الشاعر، والتي شهدت توضع الجزء الأعظم من المتواليّة RS (البرمي، والترياسي المبكر، والترياسي الأوسط).

أظهرت السطوح والفوالق المفسرة الوضع الحالي للطبقات، وقد ساعد ذلك في بناء نموذج ثلاثي الأبعاد لمرحلة ما بعد الميوسين يظهر وضع تشكيلة الكوراشينا دولوميت من الميوسين إلى الزمن الحالي. أكد التفسير السيزمي الجديد على أن تركيب الشاعر بحد ذاته محدباً واسعاً، بأبعاد تقريبية 20×27 كم، ومحور نو منحى NNE. أثر على ذلك المحذب فوالق الإزاحة الجانبية التي لم تظهر رميتها الشاقولية بوضوح على البيانات السيزمية (شكل 4).



الشكل (4): (a) المقطع السيزمي Inline 5721 قبل التفسير السيزمي. (b) المقطع نفسه بعد التفسير.

بناء النموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر

استخدمت السطوح الزمنية المفسرة (Qu, Ser-Bju, KHa, UKD-C₂, & Amss)، والفوالق المفسرة (71 فالقاً) في بناء النموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر (الشكل 5). وبناءً على السطوح المستخدمة حددت النطاقات الآتية:

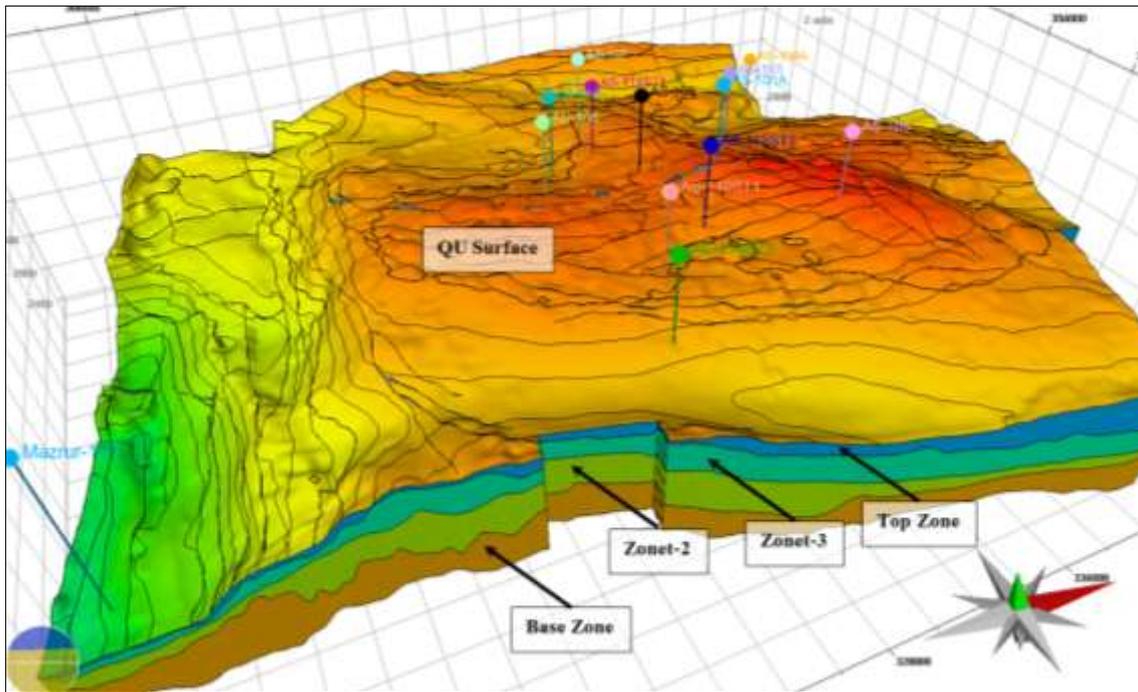
(1) النطاق الأول (Base Zone): يتحدد من الأسفل بالسطح Amss، ومن الأعلى بالسطح UKD-C₂. يتضمن تشكيلة الكوراشينا دولوميت ولذلك تركزت عليه النمذجة السيزمية؛ لاسيما في مرحلة بناء النموذج ثلاثي الأبعاد لمرحلة ما بعد الميوسين، وهذا ما سيوضح لاحقاً.

(2) النطاق الثاني (Zonet-2): يتحدد من الأسفل بالسطح UKD-C₂، ومن الأعلى بالسطح KHa.

(3) النطاق الثالث (Zonet-3): يتحدد من الأسفل بالسطح KHa، ومن الأعلى بالسطح Ser-Bju.

(4) النطاق العلوي (Top Zone): يتحدد من الأسفل بالسطح الزمني Ser-Bju، ومن الأعلى بالسطح Qu.

يعطي النموذج الجيولوجي الجديد الوضع الحالي للطبقات وللنطاقات المحددة بها في منطقة الشاعر (وضع الطبقات في مرحلة ما بعد الميوسين إلى الزمن الحالي). بني النموذج الجديد بحيث تطابقت حدوده مع حدود المسح السيزمي ثلاثي الأبعاد في منطقة الشاعر، وبني على أساس إنشاء شبكة ثلاثية الأبعاد من الخلايا الشبكية (Grid cells) حيث تعمل النمذجة السيزمية على تحويل البيانات السيزمية أو الخصائص السيزمية إلى خواص تحتسب في كل خلية من الخلايا الشبكية. يعرض الجدول (1) أهم خصائص الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي الزمني الجديد لمنطقة الشاعر.

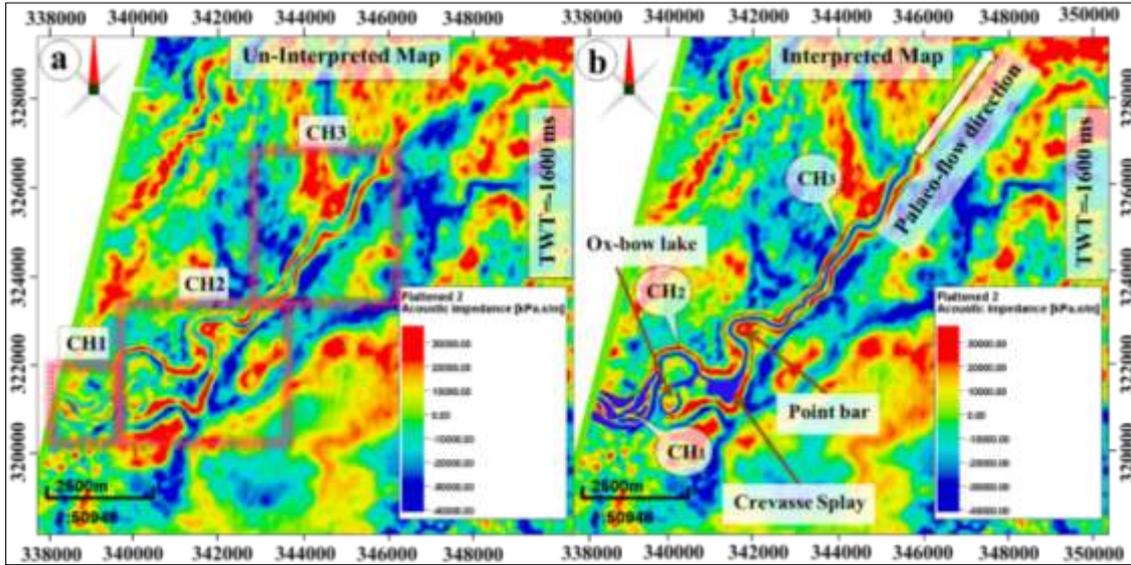


الشكل (5): النموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر.

الجدول (1): خواص الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر.

Statistics for 3D grid	
Description	Value
Is depth converted ?	No
Number of iconized horizons:	5
Number of iconized zones:	4
Number of faults:	71
Grid cells (nI x nJ x nK)	1337 x 1658 x 4
Grid nodes (nI x nJ x nK)	1338 x 1659 x 5
Total number of grid cells:	8866984
Total number of grid nodes:	11098710
Rotation angle:	0.01347753

بناءً على خارطة الممانعة الصوتية النسبية عند الزمن $TWT = -1600$ ms، حددت قناة نهريّة ضخمة CH في الجزء الغربي من منطقة الشاعر، وضمن تلك القناة ميزت كل من القناة النهريّة المجدولة CH_1 (Braided CH_1)، والقناة النهريّة المتعرجة CH_2 (CH_2 Meandering channel)، والقناة النهريّة المستقيمة CH_3 (CH_3 Straight channel) (شكل 7).



الشكل (7): خارطة خاصية الممانعة الصوتية النسبية لتشكيله رمل الأمانوس عند الزمن $TWT = -1600$ ms (أشير إلى موقع هذه الخارطة بالخط الأصفر المقطع في الشكل (1)):

(a): الخارطة غير المفسرة.

(b): الخارطة المفسرة؛ CH_1 ، CH_2 ، CH_3 الأفتنية النهريّة المجدولة، والمتعرجة، والمستقيمة على الترتيب.

إلى جانب تحديد المعالم الترسيبية لدور البرمي، استخدمت خاصية الممانعة الصوتية في النمذجة السيزمية؛ بمعنى تم احتساب قيمة الممانعة الصوتية النسبية في كل خلية من خلايا الشبكة ثلاثية الأبعاد للنموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر.

النمذجة الهندسية (Geometrical modeling)

تهدف النمذجة الهندسية إلى تحويل البيانات السيزمية (أو الخصائص السيزمية المستخلصة منها) إلى خاصية (Property) يتم احتسابها في كل خلية من خلايا الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي، ويكلمات أخرى تعدّ صلة الوصل بين البيانات السيزمية (أو الخصائص السيزمية) وخلايا الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي (Schlumberger, 2016). تكون عادةً عدد خلايا الشبكة أقل بكثير من خلايا المكعب السيزمي لأن الأخير هو خلايا آثار سيزمية، وأما الأولى فهي خلايا سطوح مفسرة وفوالق (مقارنة الجدولين 1، 2). تقوم النمذجة الهندسية على عدة طرائق تشمل الآتي (Schlumberger, 2016):

1- الطريقة الأقرب (Closest):

كل خلية سيزمية تسهم في احتساب قيمة خلية الخاصة (Property Cell) الأقرب إليها (أو الأكثر مركزية). تعدّ هذه الطريقة سريعة جداً، وغير ملائمة عندما تكون الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي بقدرة تمييز أقل من البيانات السيزمية. تعدّ ملائمة في حالة الحجوم المنفصلة (على سبيل المثال السحنات).

2- التخليق (Interpolate):

تسهم الخلايا السيزمية الأربع الأقرب من مركز كل خلية في الشبكة ثلاثية الأبعاد، وبشكل موزون، في احتساب قيمة الخاصة في تلك الخلية. هذه الطريقة سريعة جداً وملئمة للشبكات التي تكون بقدرة تمييز منخفضة قليلاً. عملية التخليق تجعل هذه الطريقة غير ملائمة في حالة التعامل مع حجوم منفصلة.

3- التقاطع (Intersecting):

تسهم كل الخلايا السيزمية التي تقطع خلية الخاصة في احتساب المتوسط فيها، وتكون قيمة مساهمة كل خلية غير مصححة بالنسبة لحجم التقاطع الكلي. تستخدم طرق 'most of' or 'median' في حالة الحجوم المنفصلة.

4- الضبط (Exact):

تشبه الطريقة السابقة وتختلف عنها في إجراء التصحيح الحجمي. تأخذ وقت طويل ولكنها تعطي نتائج أدق من كل الطرائق السابقة.

الجدول (2) خصائص البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد في منطقة الشاعر.

Statistics for AS-Shaer Seismic	
Number of inlines:	1500
Number of crosslines:	1069
Inline length:	26687.33
Inline interval:	24.97
Crossline length:	37428.49
Crossline interval:	24.99
Inline rotation from north:	104.45
Inline range:	5001 to 6500 step 1
Crossline range:	1001 to 2069 step 1
Seismic type:	3D
Number of samples per trace:	750
Number of cells total:	1202625000
Inline interval:	24.968973
Crossline interval:	24.988138
Sample interval:	4

تقوم النمذجة الهندسية على استخدام الطرائق السابقة، وبعضاً من تلك الطرائق تعتمد على عدة خوارزميات في حساب المتوسط (على سبيل المثال تعتمد طريقة التقاطع على حساب كل من المتوسط الحسابي (Arithmetic mean)، والمتوسط التوافقي (Harmonic mean)، والمتوسط الهندسي (Geometric mean)، ومتوسط الجذر التربيعي (Root mean square)، والحد الأدنى (Minimum)، والحد الأعلى (Maximum)، والسائد (Most of)، والجمع (Sum)، والوسيط (Median)) (الجدول 3).

الجدول (3) خوارزميات المتوسط الحسابي المتاحة في عملية النمذجة السيزمية (Schlumberger, 2016).

الصيغة الرياضية	الوصف	الخوارزمية
$P_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$	يستخدم عند التعامل مع خواص بتروفيزيائية كالمسامية، والأشباع، ونسبة النطاقات الخازنة إلى كامل الكتلة الصخرية (N/G) لأنها متغيرات مضافة (Additive Variables). يعدّ صحيحاً فقط في حالة النفوذية الأفقية الثابتة في كل طبقة في النموذج الجيولوجي. تبلغ النفوذية المتغيرة قيمة مرتفعة جداً، وعندها تكون النفوذية المحسوبة بطريقة المتوسط الحسابي هي النفوذية الأخفض التي يكون لها التأثير الأكبر على النفوذية الفعالة (Effective Permeability) (سلسلة قوتها بقوة أضعف حلقاتها).	المتوسط الحسابي (Arithmetic mean)
$P_A = \left(\frac{\sum P_i^{-1}}{N} \right)^{-1}$	يعطي النفوذية الشاقولية الفعالة إذا كان الخزان مقسماً إلى تحت نطاقات (layers) بنفوذية ثابتة في كل تحت نطاق. يعمل بشكل جيد في التوزيعات العادية للقياس البشري (normal distributions). يستخدم عند التعامل مع النفوذية لأنه حساس للقيم الأقل. لا يتعرف على القيم السالبة.	المتوسط التوافقي (Harmonic mean)
$P_A = \left(\prod_{i=1}^N P_i \right)^{\frac{1}{N}}$	يعمل على تقدير النفوذية بشكل جيد إذا لم يكن لها ارتباط مكاني والقياس البشري موزع بشكل طبيعي (normal distributions). حساس للقيم الأخفض التي يكون لها تأثير أكبر على النتائج. لا يتعرف على القيم السالبة.	المتوسط الهندسي (Geometric mean)
$P_A = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n}}$	يُحيز نحو القيم العالية	متوسط الجذر التربيعي (Root Mean Square)
-	ينتمي القيمة الأدنى من القياس لإدراجها في الخلية	الحد الأدنى (Minimum)
-	ينتمي القيمة الأعلى من القياس لإدراجها في الخلية	الحد الأعلى (Maximum)
-	(متاح فقط للقياسات المنفصلة) يحدد القيمة المنفصلة الأكثر تمثيلاً في القياس لإدراجها في الخلية	الاسناد (Most of)
-	بفرز القيم المدخلة ويحدد قيمة المركز، على سبيل المثال إذا كان هناك 7 قيم مدخلة، يتم فرزها حسب القيمة، ثم يحدد القيمة المدخلة رقم 4. بالنسبة للمتوسط الهندسي والمتوسط التوافقي، تستخدم فقط في حالة القياسات الأكبر من الصفر.	الوسيط (Median)

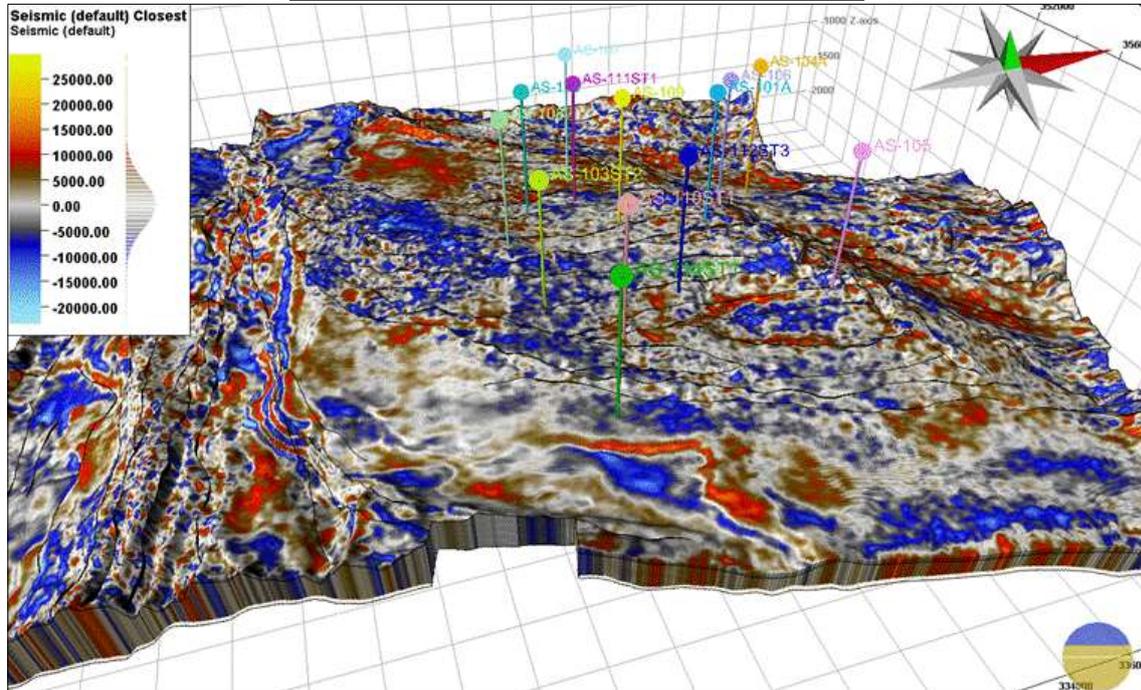
طبقت في هذه الدراسة جميع طرائق النمذجة الهندسية المذكورة سابقاً، وطبقت جميع خوارزميات المتوسط الحسابي الخاصة بكل طريقة. كان الهدف الرئيس من ذلك هو انتقاء الطريقة الأفضل، وبناءً على النتائج المبينة في الجدول (4)، تعدّ الطريقة الأقرب هي الطريقة الأفضل في التعامل مع البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد الخاصة بمنطقة الشاعر، لاسيما أنها أعطت تبيانياً مقبولاً في خواص الإشارة السيزمية من خلية إلى أخرى في الشبكية ثلاثية الأبعاد للنموذج الجيولوجي (بكلمات أخرى يعدّ التباين الكبير في سعة الإشارة السيزمية من خلية إلى أخرى في الشبكية ثلاثية الأبعاد للنموذج الجيولوجي، والذي نتج عن الطريقة الأقرب، معياراً كميّاً في اعتمادها كأفضل الطرائق). وبناءً على ما سبق تُمدجت البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد لمنطقة الشاعر، ونمدجت أيضاً خاصية الممانعة الصوتية النسبية المستخلصة منها (الشكلين 8، 9).

تعطي النمذجة السيزمية تغيرات خواص الإشارة السيزمية من خلية إلى أخرى على امتداد السطوح والنطاقات المنمذجة في النموذج الجيولوجي الزمني. يجب أن نتذكر دائماً أن السطوح والنطاقات تعرضت خلال تاريخها الجيولوجي إلى

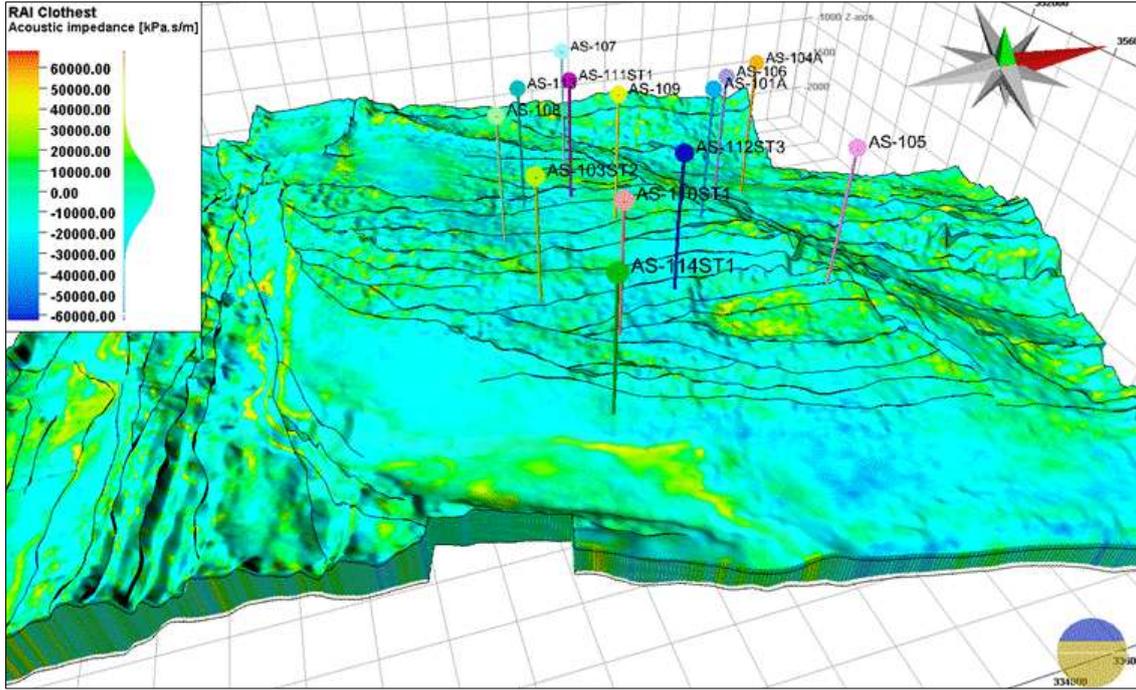
الحركات التكتونية التي أثرت على المنطقة، لاسيما في فترة الانقلاب الميوسيني، وبالتالي فإن نمذجتها على وضعها الحالي (الوضع الذي فسرت به على البيانات السيزمية) لن يعطي الوضع الحقيقي لبيئة الترسيب، لذلك كان لابد من التخلص من تأثير الحركات التكتونية عليها أو على الأقل تخفيض تأثير التكتونيك قدر المستطاع. تم ذلك من خلال عملية التسطيح (Flattening) للسطح Ser-Bju كونه يمثل الحد العلوي للمتوالية RS في منطقة الشاعر. تم التسطيح في النموذج الجيولوجي الزمني بعد النمذجة السيزمية، وعلى أساس ذلك وضعت النماذج الترسيبية لمنطقة الدراسة (فترة البرمي، والرترياسي المبكر، والرترياسي الأوسط).

الجدول (4): نتائج النمذجة الهندسية للبيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد في منطقة الشاعر.

Method	Averaging Method	Results
Closest	Closest	Acceptable
Interpolate	Interpolate	Acceptable
Intersecting	Arithmetic	Unacceptable
	Harmonic	Unacceptable
	Geometric	Unacceptable
	RMS	Acceptable
	Most of	Acceptable
	Sum	Acceptable
	Minimum	Unacceptable
	Maximum	Unacceptable
Exact	Median	Unacceptable
	Arithmetic	Unacceptable
	Harmonic	Unacceptable
	Geometric	Unacceptable
	RMS	Acceptable
	Most of	Acceptable



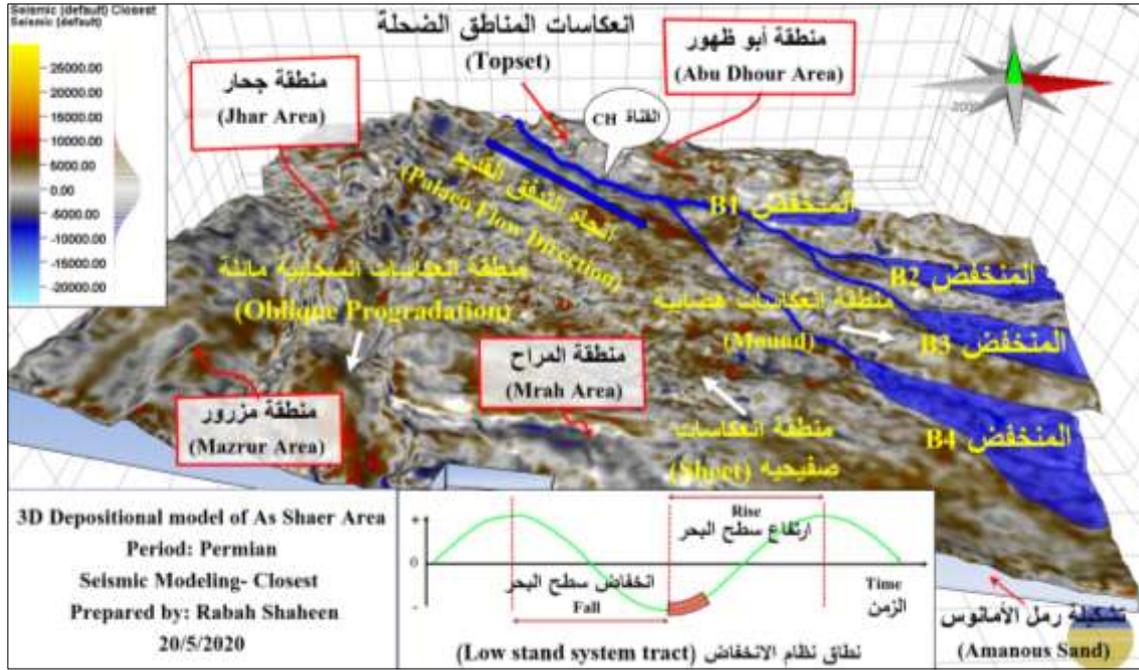
الشكل (8): النطاق الأول (Base Zone) في النموذج الجيولوجي الزمني بعد النمذجة السيزمية باستخدام الطريقة الأقرب.



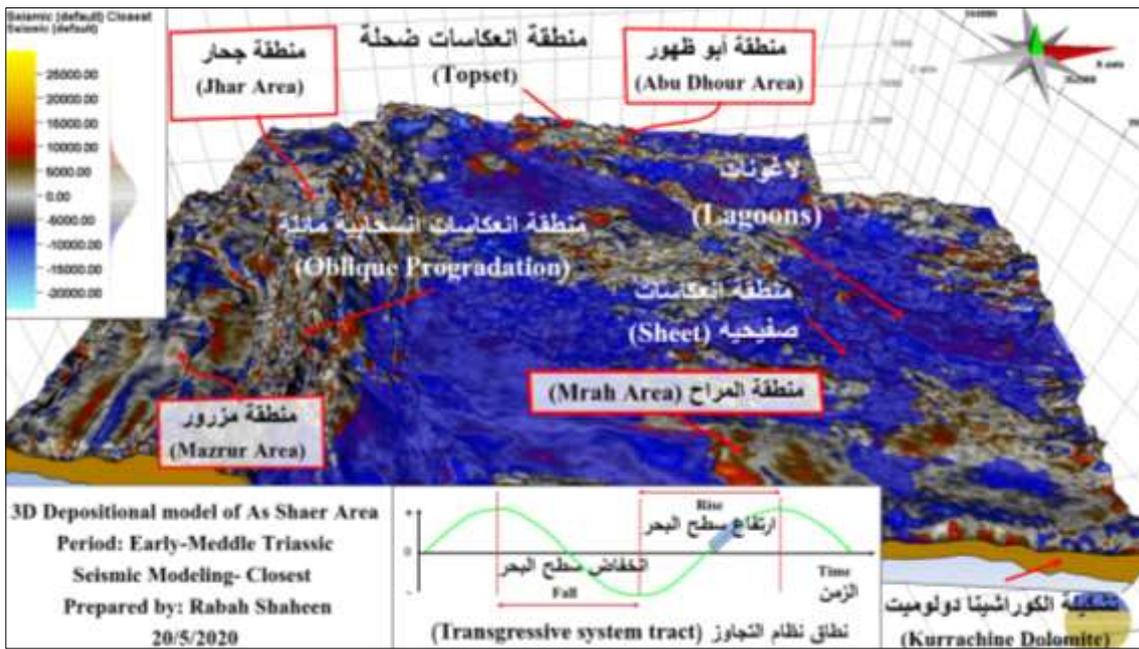
الشكل (9): النطاق الأول (Base Zone) في النموذج الجيولوجي الزمني بعد نمذجة خاصية الممانعة الصوتية النسبية باستخدام الطريقة الأقرب.

يجب التذكير أنه وباستخدام النمذجة السيزمية تحدد خواص الإشارة السيزمية في كل خلية من خلايا الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي. وبناءً على ذلك تدرج البيانات السيزمية على أنها خاصة من خواص النموذج الجيولوجي بحيث تفعّل بشكل مباشر على السطوح والنطاقات المكونة له، وتعامل مثلها مثل المسامية والنفوذية وغيرها من الخصائص البتروفيزيائية.

وضع النموذج الترسيبي لدور البرمي في منطقة الشاعر بناءً على المعلومات المستخلصة من خارطة الممانعة الصوتية النسبية الظاهرة في الشكل (7). بني النموذج الجديد من تفعيل البيانات السيزمية على سطح تشكيلة رمل الأمانوس في النموذج الجيولوجي، وذلك بعد تسطيح السطح Ser-Bju (شكل 10). وبحسب الطبوغرافيا السطحية للنموذج الجديد حددت أربعة منخفضات رئيسية ($B_{1,2,3,4}$ Depressions) تتركز في الجزء الشمالي والشمالي الغربي من منطقة الشاعر. وضع النموذج الترسيبي لفترة الترياسي المبكر في منطقة الشاعر من تفعيل البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد على السطح الزمني UKD-C₂، وعلى النطاق الأول في النموذج الجيولوجي الزمني، وذلك بعد تسطيح السطح Ser-Bju (شكل 11).

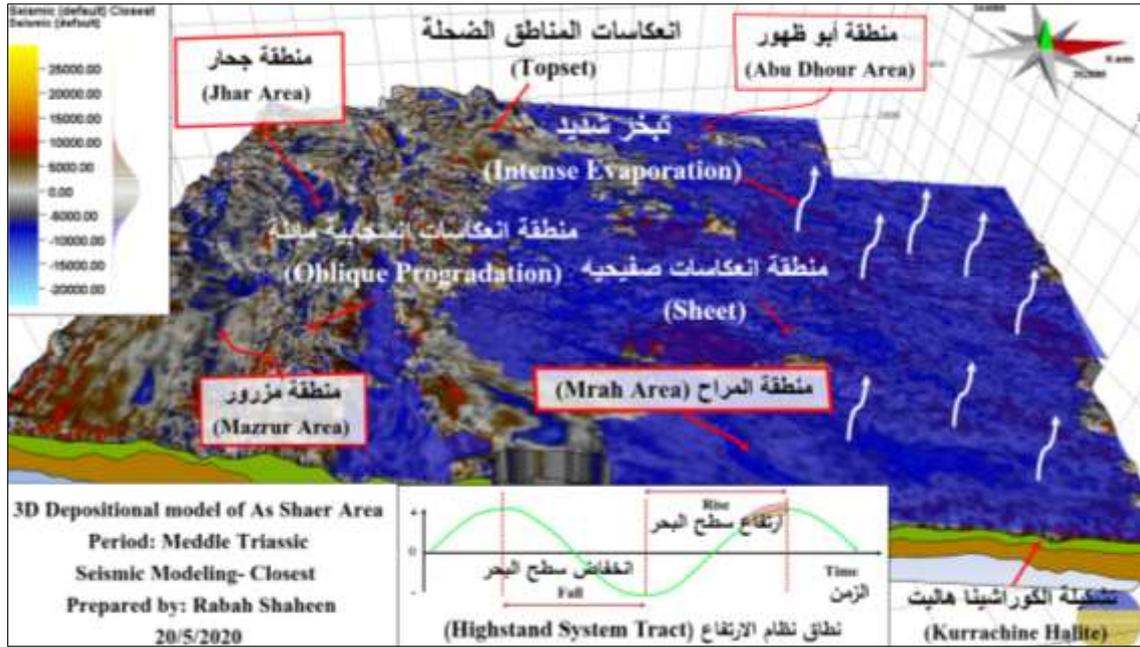


الشكل (10): النموذج الترسيبي ثلاثي الأبعاد لدور البرمي في منطقة الشاعر.



الشكل (11): النموذج الترسيبي ثلاثي الأبعاد لفترة التركاسي المبكر في منطقة الشاعر.

أخيراً وضع النموذج الترسيبي لفترة التركاسي الأوسط في منطقة الشاعر (شكل 12). بني هذا النموذج من تفعيل البيانات السيزمية ثلاثية الأبعاد على السطح KHa وعلى النطاقين الأول والثاني في النموذج الجيولوجي الزمني، وذلك بعد تسطيح السطح Ser-Bju.



الشكل (12): النموذج الترسبي ثلاثي الأبعاد لفترة الترياسي الأوسط في منطقة الشاعر.

الاستنتاجات والتوصيات:

أسهمت هذه الدراسة، ومن خلال استخدام النمذجة السيزمية، في التمثيل ثلاثي الأبعاد لبيئة الترسيب في دوري البرمي والترياسي في الجزء الشمالي من السلسلة التدمرية -منطقة الشاعر. شكلت الطريقة الأقرب (إحدى طرق النمذجة الهندسية) طريقة ناجحة في إظهار خصائص الإشارة السيزمية في كل خلية من خلايا الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر.

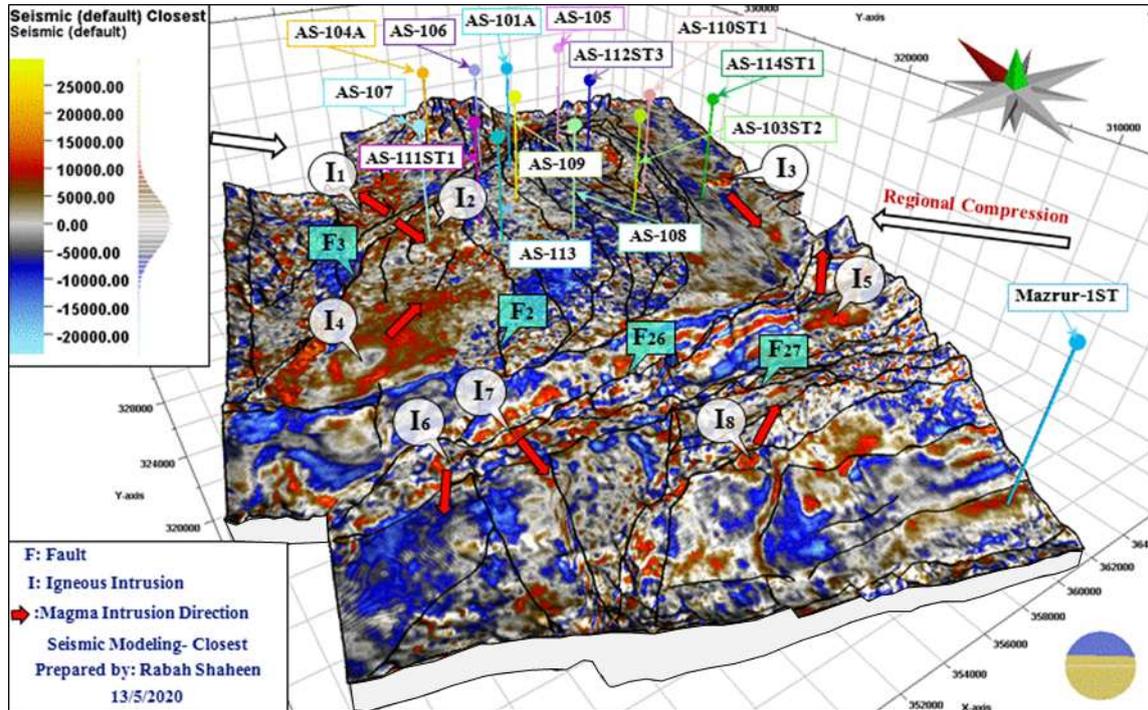
خلال دور البرمي، وبناءً على خارطة الممانعة الصوتية النسبية (شكل 7)، أدت الألفية النهرية دوراً رئيساً في ترسيب وتشكيله رمل الأمانوس، لاسيما في الجزء الغربي من منطقة الشاعر (منطقة القناة CH التي قدر طولها المتعرج بحوالي 12900 متراً، وعرضها الوسطي بحوالي 325 متراً). وبناءً على المعلومات المستخلصة من النموذج الترسبي لدور البرمي (شكل 10)، شكلت الأجزاء الجنوبية من منطقة الشاعر (منطقة فالق جحر وبالالاتجاه جنوباً نحو تركيب مزور) مناطق ناهضة نسبياً، وبالتالي كانت أكثر عرضةً لعمليات الحت. تنخفض المنطقة تدريجياً باتجاه شمال - شمال شرق وتشكل أربعة منخفضات محلية (أشير إليها بالرموز B₁, B₂, B₃, B₄ في الشكل (10)). وفي تلك المرحلة شكلت الأجنحة الشرقية (تركيب المراح) والغربية (تركيب أبو ظهور) من منطقة الشاعر مناطق ناهضة نسبياً.

بناءً على النموذج الترسبي الظاهر في الشكل (11)، وعلى معطيات آبار منطقة الدراسة، بقيت الأجزاء الجنوبية من منطقة الشاعر (منطقة فالق جحر وبالالاتجاه جنوباً نحو تركيب مزور)، وكذلك منطقتي المراح وأبو ظهور ناهضة نسبياً خلال فترة الترياسي المبكر، ولكن بارتفاع أقل مما كانت عليه في دور البرمي. وخلال تلك الفترة ازدادت مساحات الغمر المائي؛ ربما كان ذلك نتيجة بدايات تجاوز بحري (Transgression) أثر على المنطقة، وشكل بيئة ترسيبية لاغونية أدت إلى توضع ثخانات كبيرة من الحجر الدولوميتي والكلسي العائدين إلى تشكيله الكوراشينا دولوميت (بحسب آبار منطقة الشاعر تجاوزت ثخانتها 300 متراً).

بناءً على النموذج الترسبي الظاهر في الشكل (12)، وعلى بيانات آبار منطقة الشاعر، استمر التجاوز البحري خلال فترة الترياسي الأوسط، وازدادت مساحات الغمر المائي، وخلال تلك الفترة حافظت المناطق الجنوبية على نهوضها ولكن بارتفاع أقل بكثير مما كانت عليه سابقاً. شهدت تلك الفترة عمليات تبخر شديدة أدت إلى ترسيب ثخانات كبيرة من الملح العائد إلى تشكيلة الكوراشينا هاليت (KHa).

لم تقتصر عمليات النمذجة السيزمية على بناء النماذج الترسبية فحسب، بل واستخدمت أيضاً في بناء نموذج ثلاثي الأبعاد لفترة ما بعد الميوسين يبين وضع الطبقة الخازنة (الكوراشينا دولوميت) في منطقة الشاعر (شكل 13). بني النموذج الجديد بتفعيل البيانات السيزمية على السطح UKD-C₂ وعلى النطاق الأول (المتضمن تشكيلة الكوراشينا دولوميت) في النموذج الجيولوجي الزمني. بني مع الإبقاء على وضع السطح Ser-Bju (الحد العلوي للمتوالية الرسوبية RS في منطقة الشاعر) على حاله أي بدون تسطيح، وذلك لأن تشكيلة الكوراشينا دولوميت كانت مترسبة خلال تلك الفترة، ومتأثرة بالحركات التكتونية، لاسيما القوى التكتونية الانضغاطية التي أثرت خلال الانقلاب الميوسيني. حددت على النموذج الجديد مواقع الاندساسات النارية الرئيسة I_{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} التي اكتشفت من قبل شاهين وآخرون عام 2018 م، وقد ساعد في تحديدها ظهور القيم العالية في سعة الإشارة السيزمية ضمن خلايا الشبكة ثلاثية الأبعاد في النموذج الجيولوجي الزمني وذلك على امتداد السطح UKD-C₂ (شكل 13).

أتاحت النمذجة السيزمية مرونة عالية في التعامل مع البيانات السيزمية حيث مكنت من التعامل معها مثلما يتم التعامل مع أية خاصة بتروفيزيائية؛ بمعنى يمكن نشرها وتوزيعها (نمذجتها) على أية نطاق أو سطح في النموذج الجيولوجي.



الشكل (13): نموذج زمني ثلاثي الأبعاد لمرحلة ما بعد الميوسين يظهر وضع النطاق الأول من النموذج الجيولوجي الزمني لمنطقة الشاعر، وتظهر عليه مواقع الاندساسات النارية الرئيسة I_{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} (تشير الأسهم الحمراء إلى اتجاه اختراق الماغما من كل اندساس).

References:

- [1] Alsouki, M., Taifour, R., Alhamad, O. Delineating the fluvial channel system in the Upper Triassic Formation of the Elward Area in the Syrian Euphrates Graben using 3-D seismic attributes. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, Vol.(4) 2014, 123-132.
- [2] Ebla internal report. Ash Shaer Fracture Study, Tectonostratigraphic Model. Ebla Petroleum Company, 2008, 10-20.
- [3] Ebla internal report. Palmyrides structural geology workshop, Ebla Petroleum Company, Vol.(4) 2016, 7-12.
- [4] Ebla internal report. Reserves report, Geology overview. Ebla Petroleum Company, 2010, 21-23.
- [5] Mitchum, R. M., Vail, P. R. Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, part 7: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In C. E. Payton, Editor, *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, Vol.(26) 1977, 135–144.
- [6] NPA group. Surface Geology study for Ebla Gas Project, Ebla Petroleum Company, Vol.(4) 2007, 2-8.
- [7] Ponikarov, V.P. The geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, scale 1:200 000. Ministry of Industry, Syrian Arab Republic, 1966.
- [8] Schlumberger. Interpreter's Guide to Seismic Attributes. 2007. http://www.rocksolidimages.com/pdf/attrib_revisited.htm. Accessed 22 June 2007.
- [9] Schlumberger. Petrel help center. Petrel software, 2016.
- [10] Searle, M.P. Structure of the intraplate eastern Palmyride Fold Belt, Syria. *Geological Society of America Bulletin*, Vol.(106) No.(10) 1994, 1332-1350.
- [11] Shaheen, R., Taifour, R., Al-Ezzo, A. Seismic analysis of the igneous intrusions in the Ash Shaer Area in the Northern Palmyrides, Syria and their impacts on petroleum system. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol.(11) No.(13) 2018,1-20.
- [12] Taner, M. T., Koehler, F., Sheriff, R. E., 1979. Complex Seismic trace analysis. *Geophysics*, Vol.(44) 1979, 1041-1063.