

استخدام طرائق إزالة التشوهات التكتونية في دراسة التطور التكتوني بدءاً بمرحلة الأردوفيسي الأعلى وانتهاءً بالزمن الحالي لمنطقة الورد في منخفض الفرات في سورية

الدكتور رياض طيفور*

الدكتور محمد السوقي**

رياح شاهين***

(تاريخ الإيداع 9 / 3 / 2015. قبل للنشر في 10 / 5 / 2015)

□ ملخص □

استُخدمت طريقة القص المائل (Inclined shear) في هذه الدراسة بوصفها طريقة أولية من طرائق إزالة التشوهات التكتونية (Restoration)، وذلك بهدف إزالة الإزاحة الناتجة عن تأثير الفوالق العادية التي تشكلت بفعل القوى التكتونية الشديدة التي ضربت منطقة الورد. إذ طبقت هذه الطريقة باستخدام برنامج 2D move على المقطع السيزمي العمقي (Inline A 2157) ذي الاتجاه شمال شرق - جنوب غرب، وعلى امتداد منطقة الدراسة. في حين استُخدمت طريقة القص الشاقولي (Vertical shear) بوصفها طريقة مكملة بهدف إزالة التشوهات التكتونية نهائياً، وتحديداً للتشكيلات الواقعة تحت سطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU) المتضمنة تشكيلات الخابور والضبيبات والمولوسا F والرطوبة.

أسهمت طريقتا القص المائل والقص الشاقولي؛ أو طريقة الإعادة إلى المرجع (Restore to datum)، في بناء مقاطع جيولوجية عدة مثلت التغيرات التكتونية لمنطقة الدراسة بدءاً بالأردوفيسي الأعلى، وانتهاءً بالزمن الحالي.

الكلمات المفتاحية: مقطع سيزمي، قص مائل، أفق الهدف، أفق المعايرة، طور تكتوني، انهدام، عدم توافق.

* أستاذ - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

** دكتور - الشركة السورية للنقط - دائرة التفسيرات - دمشق - سورية

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

Study of the Upper Ordovician - Current Time tectonic evolution of the Elward Area in the Syrian Euphrates Graben Using restoration techniques

Dr. Riad Taifour*
Dr. Mohammad Alsouki**
Rabah Shaheen***

(Received 9 / 3 / 2015. Accepted 10 / 5 / 2015)

□ ABSTRACT □

The inclined shear restoration technique was used in this research as the primary method to remove the effects of fault displacements. These displacements were resulted from the impact of the NE-SW trending extensional forces. The inclined shear restoration technique was applied to the NE-SW trending seismic section (Inline A2157) along the Elward Area, using 2D move software.

The vertical shear restoration technique was used as a complementary method to remove the effects of folding associated with faulting, especially to formations under the Base Upper Cretaceous Unconformity (BKU).

The inclined shear and the vertical shear restoration techniques contributed to build many geological sections according to depth seismic section (Inline A 2157). These sections showed the Tectonic setting of the study area from Upper Ordovician till current time.

Key words: Seismic section, Inclined shear, Target, Template, Tectonic phase, Rift, Unconformity.

*Professor, Department of geology, Faculty of sciences, Damascus University, Syria.

**Doctor, Syrian Petroleum Company, Damascus, Syria.

***Postgraduate Student, Department of geology, Faculty of sciences, Damascus University, Syria.

مقدمة:

استُخدمت طرائق إزالة التشوهات التكتونية في هذا البحث، وذلك بهدف دراسة التطور التكتوني خلال المرحلة الزمنية الممتدة من الأردوفيسي الأعلى وحتى الزمن الحالي لمنطقة الورد في منخفض الفرات. كذلك استُخدمت هذه الطرائق بهدف إيجاد تفسير لتساؤلات عدة تتعلق بغياب الجزء العلوي لتشكلية الرطبة، إضافةً إلى غياب تشكلية الجوديا من العمود الستراتيغرافي لحقل شمال الورد.

أنجزت هذه الدراسة بالتعاون مع الشركة السورية للنفط، وشركة الفرات للنفط خلال عام 2014 م، وذلك ضمن إطار التعاون العلمي بين تلك المؤسسات وقسم الجيولوجيا في كلية العلوم بجامعة دمشق. ويعود اختيار هذه المنطقة هدفاً للدراسة، نظراً إلى أهميتها الكبيرة، فهي تشكل جزءاً من منخفض الفرات الذي يُعدّ واحداً من أهم الخزانات الهيدروكربونية في منطقة الشرق الأوسط. يتم الإنتاج النفطي حالياً من هذه المنطقة من حقل شمال الورد النفطي، وتحديداً من تشكيلتي أسفل الرطبة والمولوسا F، إذ يقدر الاحتياطي الإجمالي للأولى بـ 130 مليون برميل، ولأخيرة بـ 9,3 مليون برميل (التقارير الداخلية لشركة الفرات للنفط، 1996 م).

لا تقتصر أهمية هذا البحث على أهمية المنطقة التي تجري عليها الدراسة فقط، بل تكمن أيضاً في اعتماد طرائق حديثة في التفسير السيزمي (Seismic interpretation)، تقوم على استخدام طرائق إزالة التشوهات التكتونية، وتحديداً طريقتي القص المائل والقص الشاقولي، أو طريقة الإعادة إلى المرجع.

تعمل طرائق إزالة التشوهات التكتونية على بناء موديل هندسي متكامل (Kinematic model) للطبقات الجيولوجية من زمن جيولوجي معين؛ يمثل ترسب تشكلية ما إلى الزمن الحالي (Chamberlin, 1910, 1919; Bucher, 1933; Dahlstrom, 1969a). فهذه الطرائق تقدم معلومات جيدة عن التاريخ التكتوني للمنطقة. وتُعدّ هذه الطرائق الوسيلة الأنسب والأفضل لمعرفة طريقة تشكل البنيات الجيولوجية (الطيّات والقوقال...). فهي تستطيع تفسير الحوادث التكتونية، وتحديد هندسة الطبقات الجيولوجية (طيّات وقوقال... الخ). فلذلك يعدّها كثير من المختصين أداة مهمة في الصناعة النفطية، لأنها تستطيع تخفيض مخاطر عمليات الاستكشاف النفطي من خلال إيجاد موديل بنيوي للمنطقة، يمكن من خلاله إزالة التشوهات التكتونية (الشكل الهندسي للبنية الجيولوجية في زمن الترسيب). وبالتالي تستطيع هذه الطريقة تقديم سيناريو عن مراحل تشكل البنيات الجيولوجية والأطوار التكتونية التي ضربت المنطقة عبر التاريخ الجيولوجي.

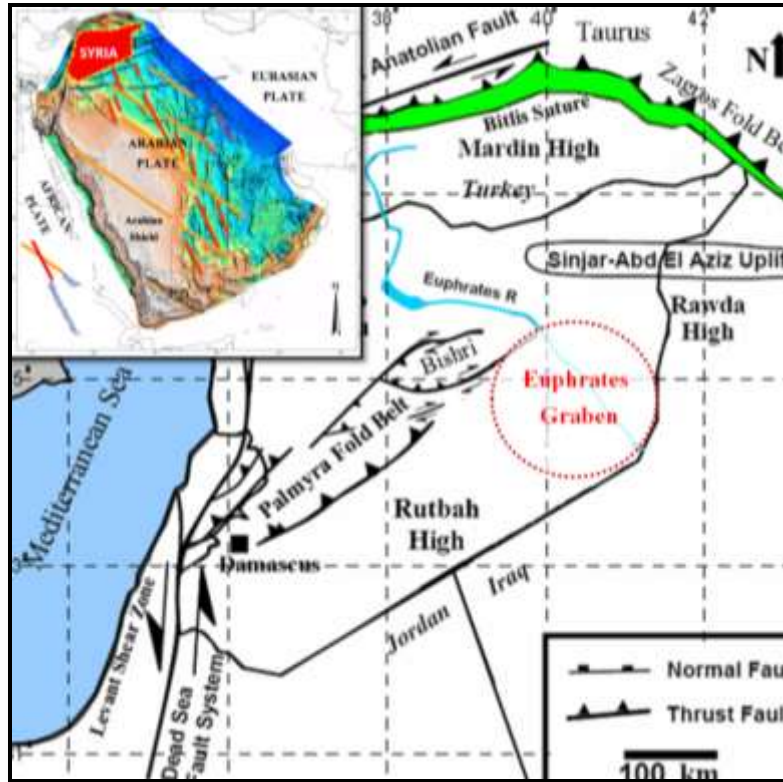
إن تأثير هذه الطريقة يقوم بشكل أساسي على التخلص من ظواهر الإزاحات والتشوهات المتعلقة بـ:

- (1) الطيّات المترافقة بالقوقال (Folding associated with faulting).
- (2) عمليات الانزلاق بين السطوح البينية للطبقات نتيجة عمليات الانضغاط (Flexural slip).
- (3) فقدان الحجم الناتج عن التراص والحت.

1. 2 التطور التكتوني - ستراتيجرافي لمنخفض الفرات

يُعدّ التطور التكتوني والستراتيغرافي لمنطقة الدراسة جزءاً من تطور منخفض الفرات، الواقع في الجزء الشمالي للصحبة العربية، وبالقرب من حافة النقاء الصفيحتين العربية والأوراسية. أرجعت معظم الدراسات السابقة (Litak et al., 1997) تشكّل هذا المنخفض إلى زمن تورونيان-كونياسيان، وذلك نتيجةً للحركات التكتونية الشديدة. تضمنت هذه الحركات حدوث عمليات تصدع شديدة (Rifting)، وهبوطات (Subsidence) ترافقت في البداية مع عمليات البركنة. هذه العمليات كانت قد سببت تباعداً ملحوظاً بين مرتفع الرطبة الواقع إلى الجهة الجنوبية الغربية من منطقة

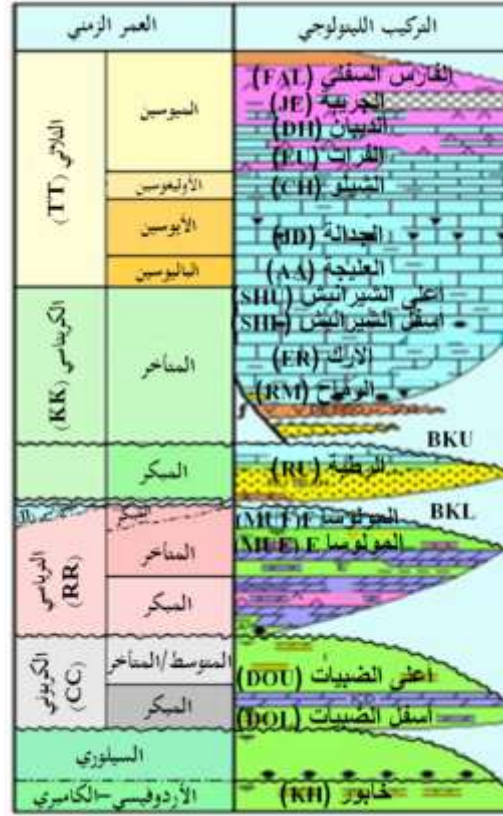
الدراسة، ومرتفع الروضة الواقع إلى الشمال الشرقي NE (مواقع هذه المرتفعات موضحة في الشكل (1)). بعدها بدأت مرحلة جديدة من عمليات الهبوط البطيئة التي استمرت حتى نهاية الكريتاسي، توقفت فيها الحركات التكتونية الشديدة، وأدت السماكات العالية لرسوبيات تشكيلية الشيرانيش الدور الأكبر في عمليات الهبوط ليأخذ منخفض الفرات بعدها الوضع التكتوني الزاهن المتمثل بوجود المنخفض المركزي (Deep Central Graben)، إضافةً إلى مجموعة منخفضات مجاورة محيطة بالمنخفض المركزي (Peripheral Grabens)، وبلوكات مقلوبة مفصولة عن بعضها بفوالق ذات رميات كبيرة (التقارير الداخلية للشركة السورية للنفط، 2011 م).



شكل (1): الخارطة التكتونية لسوريا تظهر الوحدات التكتونية الرئيسية في سوريا، كما تظهر موقع منخفض الفرات واتجاه الفوالق الرئيسية (عُذّل عن Alsouki & Taifour, 2014).

يُشير العمود الطبقي لمنطقة الدراسة (الشكل 2) إلى سيطرة الرسوبيات الحطامية على مقطع الباليوزويك المتوضع تحت مقطع الترياسي- الميوسيني، والمولف بشكل رئيسي من صخور كربوناتيّة وصخور المتبخرات المتداخلة مع كميات قليلة من توضعات رملية وغضارية صفاحية (Shales). أدت عمليات الشد التي حدثت خلال فترة الجوراسي، ومارافقها من عمليات حت، إلى تآكل كامل لتشكيلات الجوراسي، وإلى تآكل جزئي لتشكيلة المولوسا F في منخفض الفرات. إذ أنتجت هذه العمليات سطح عدم توافق يدعى بـ BKL وشكل بدوره الحد العلوي لتشكيلة المولوسا F (Best et al., 1993).

يُشير العمود الطبقي لشمال الصفيحة العربية التي يُشكل منخفض الفرات جزءاً منها إلى تأثيره بشكل كبير وواضح بمجموعة من العوامل المختلفة كالحواث التكتونية، تغييرات المناخ، وتغير منسوب البحار العالمي (Eustacy)، الذي حدث في الأحقاب: الأول والثاني والثالث. وبالتالي كان لهذه العوامل دور مهم في توزع الهيدروكربون في منطقة الصفيحة العربية عموماً، ومنطقة الفرات خصوصاً (Brew et al., 2001).



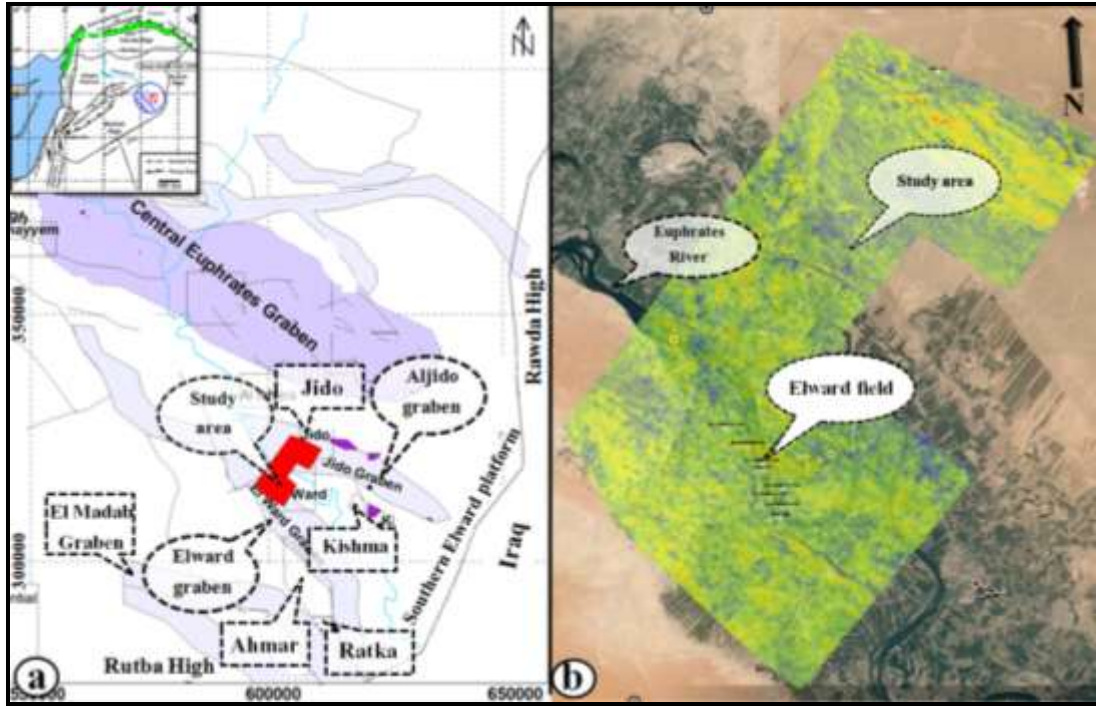
شكل (2): العمود الستراتيغرافي لمنطقة الدراسة يظهر التشكيلات الرسوبية الرئيسية (عُذ عن Molen, 2006).

2. منطقة الدراسة

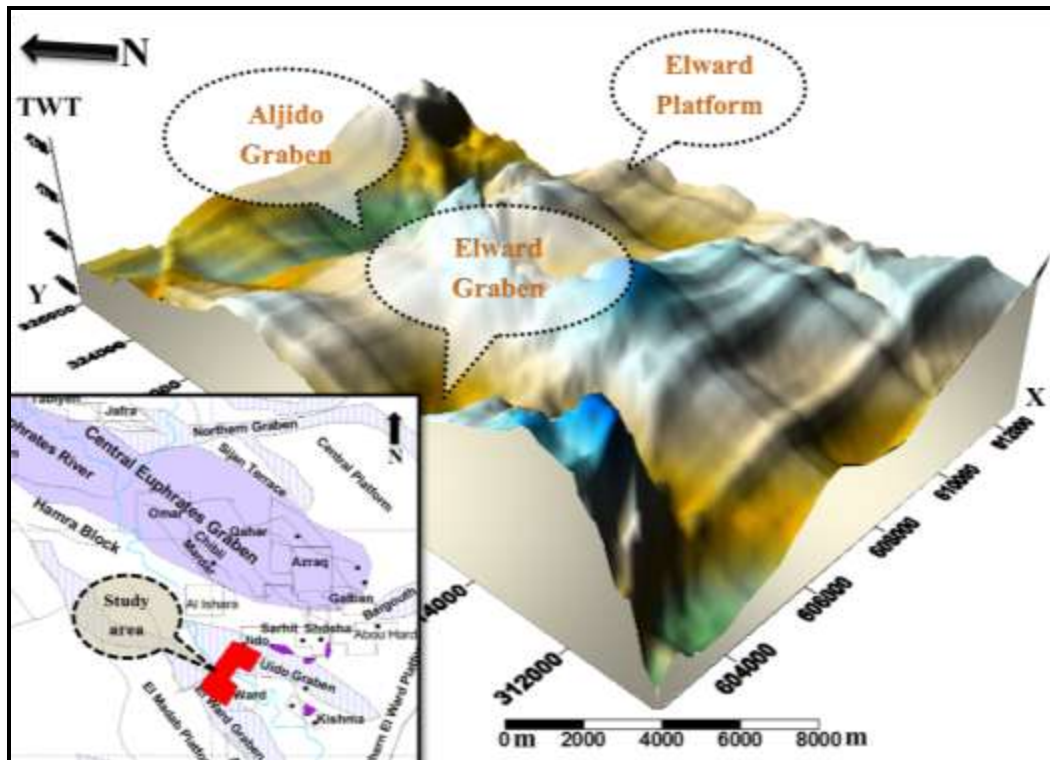
تقع منطقة الدراسة في أقصى جنوب شرق سورية ضمن منخفض الفرات، وتحديداً غرب منطقة الكشمة والصفصاف، وإلى الشمال من حقل رتقة وأحمر، وجنوب حقل الجيدو (الشكل 3-a). تتوضع هذه المنطقة على ارتفاع تقديري 220 متراً فوق سطح البحر، وبمساحة تبلغ 225 كم² متضمنة حقل شمال الورد النفطي؛ الذي يقع إلى الجنوب من نهر الفرات كما يظهر في الشكل (3-b). تم اكتشاف هذا الحقل من خلال بئر شمال الورد - 101 الاستكشافي، وذلك في آذار من عام 1986 م. إذ جرى تغطية هذا الحقل بالمسوحات السيزمية ثلاثية الأبعاد التي نفذت عام 1987 وبمساحة تصل إلى 105 كم².

يُظهر الشكل (4) الوضع التكتوني الحالي لمنطقة الدراسة، المتمثل بوجود ثلاثة عناصر بنيوية رئيسية هي:

1. منخفض الورد (Elward Graben) الذي يشغل قسماً من الجزء الجنوبي الغربي لمنطقة الدراسة، ويمتد باتجاه شمال غرب- جنوب شرق NW-SE.
2. منخفض الجيدو (Aljido Graben) يشغل قسماً من الجزء الشمالي والشمالي الشرقي لمنطقة الدراسة، ويمتد أيضاً باتجاه شمال غرب- جنوب شرق NW-SE.
3. رصيف الورد (Elward Platform) الذي يشكل منطقة ناهضة نسبياً تشغل قسماً من الجزء الشرقي لمنطقة الدراسة، ويمتد على جزء من حافتها الغربية حقل شمال الورد النفطي.



الشكل (3): (a) موقع وامتداد منطقة الدراسة على الخارطة التكتونية لسورية. (b) صورة فضائية تظهر موقع وامتداد منطقة الدراسة بالنسبة لحقل شمال الورد ونهر الفرات (أعدت هذه الخرائط من قبل الباحث بناءً على الإحداثيات الجغرافية المتوفرة لسورية ولمنطقة الورد تحديداً).



الشكل (4): شكل تخطيطي تقريبي ثلاثي الأبعاد يوضح العناصر البنيوية الرئيسية في منطقة الدراسة (أعد هذا النموذج من قبل الباحث بناءً على القيم الزمنية TWT لعاكس المولوسا F، وباستخدام برنامج Surfer 8).

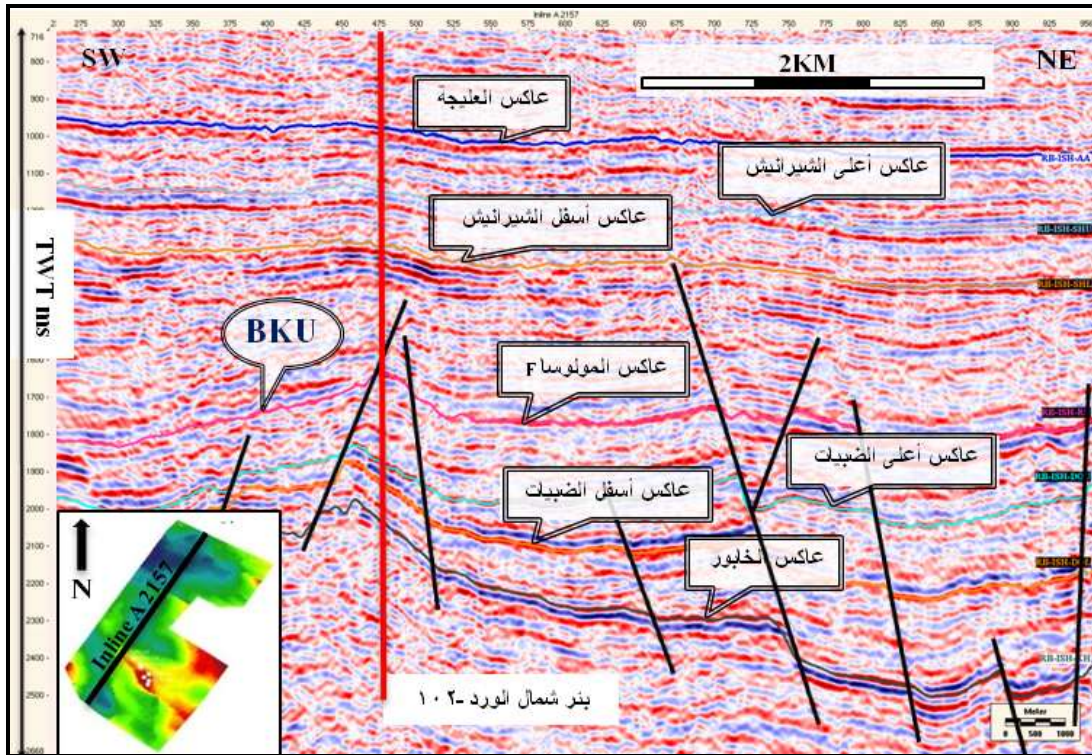
طرائق البحث ومواده :

شكّل المقطع الجيولوجي ذو المنحى شمال شرق - جنوب غرب (الناتج عن تحويل المقطع السيزمي الزمني المفسر، الذي يحمل الرقم Inline A 2157، إلى مقطع عمقي)، المادة الرئيسة؛ التي طُبقت عليها طريقتا القص المائل والقص الشاقولي أو طريقة الإعادة إلى المرجع، وذلك باستخدام برنامج 2D move. وقد شكّلت المقاطع الجيولوجية الناتجة عن تطبيق الطرائق المختلفة في إزالة التشوهات التكتونية، وسائل ناجحة في إظهار الوضع التكتوني لمنطقة الدراسة خلال مراحل زمنية متتابعة، بدءاً بالأردوفيسي الأعلى وانتهاءً بالوقت الحالي.

الطرائق المنهجية المعتمدة

1 تجهيز المقطع السيزمي:

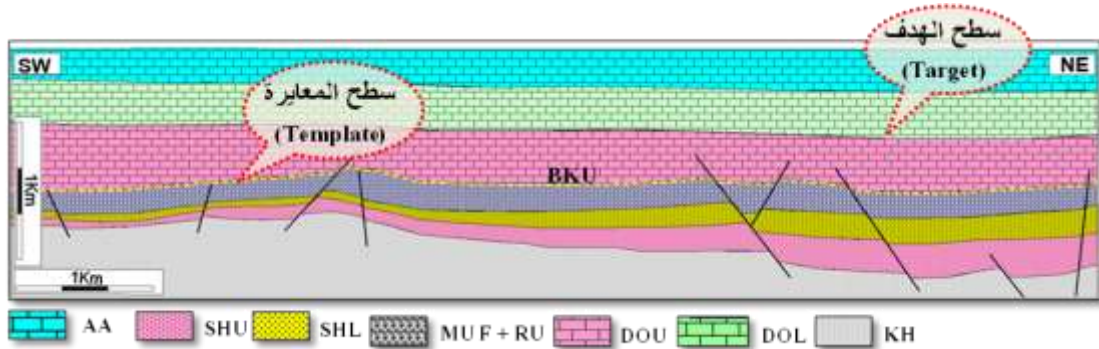
يؤدي حسن اختيار المقطع السيزمي الزمني، الذي ستطبق عليه الطرائق المختلفة في إزالة التشوهات التكتونية، وذلك بعد تحويله إلى مقطع عمقي، دوراً أساسياً في نجاح تلك الطرائق. لا بد أن يكون هذا المقطع موازياً للحركات التكتونية الرئيسية التي أثرت على منطقة الدراسة (تتمثل في منطقة دراستنا بالحركات التكتونية الشديدة). كذلك لا بد أن يُظهر هذا المقطع وبوضوح تغيرات السماكة لمختلف الطبقات الرسوبية، إضافةً إلى الفوالق المهمة التي سببت تغييراً ملحوظاً في الوضع الستريغرافي والتكتوني لتلك الطبقات. استناداً إلى ذلك تم انتقاء المقطع السيزمي الزمني المفسر (Inline A 2157) ذي المنحى شمال شرق - جنوب غرب (الشكل 5).



شكل(5): المقطع السيزمي الزمني ذي الرقم Inline A 2157، يظهر عدداً من العواكس التي جرى متابعتها على امتداد منطقة الدراسة (موقع هذا المقطع وامتداده موضح في الزاوية اليسارية السفلى من الشكل).

تم انتقاء هذا المقطع بعد أن جرت - وباستخدام برنامج Geoframe - عملية المتابعة والتفسير لثمانية سطوح سيزمية تعود لتشكيلات أسفل الضيبات (DOL) وأعلى الضيبات (DOU) والمولوسا F (MUF) وأسفل

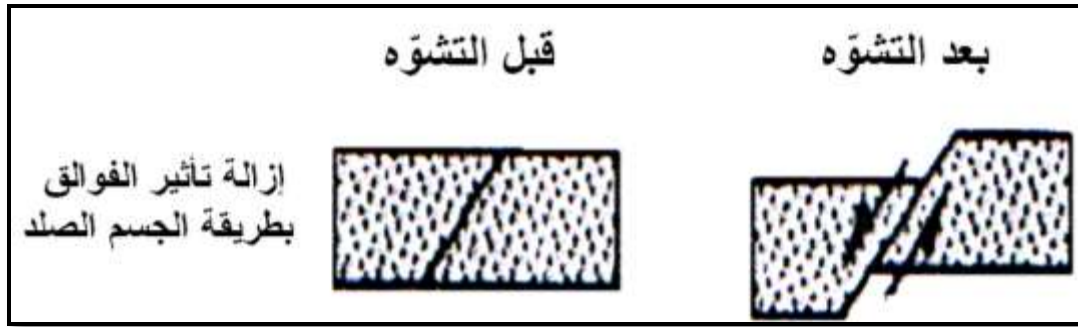
الشيرانيش (SHL) وأعلى الشيرانيش (SHL) والعليجة (AA) والشيلو (CH). هذه التشكيلات كانت قد ترسبت في منطقة الورد في الفترة الزمنية الممتدة من الأوردوفيسي الأعلى ولغاية الأوليغوسين. بعد ذلك تم تحويل المقطع السيزمي الزمني المبين في الشكل (5) إلى مقطع عمقي، وبناءً على ذلك تم الحصول على المقطع الجيولوجي المبين في الشكل (6).



شكل (6): المقطع الجيولوجي الناتج عن تحويل المقطع السيزمي الزمني الوارد في الشكل (5) إلى مقطع سيزمي عمقي.

2 تطبيق طريقة القص المائل:

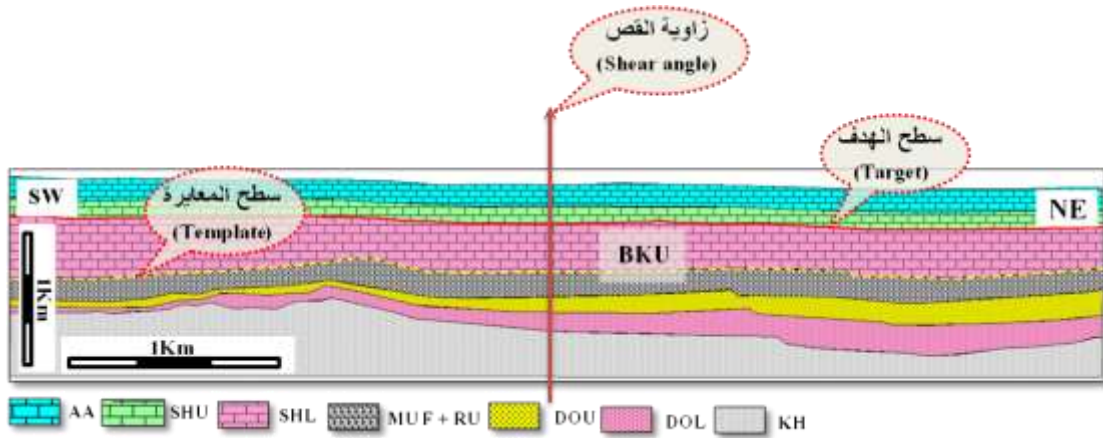
تبدأ عملية إزالة التشوهات التكتونية، بإزالة تأثير التشوهات الناجمة عن انزياح البلوكات بتأثير الفوالق. لذلك طُبقت هذه الطريقة بوصفها مرحلةً أوليّةً من مراحل إزالة التشوهات التكتونية، وذلك قبل مرحلة إزالة تشوهات الطي الناتجة عن العوامل التكتونية الإنضغاطية. تُسمى هذه الطريقة في بعض المراجع العلمية إزالة تأثير الفوالق بطريقة الجسم الصلب (Rigid-body displacement) (الشكل 7).



شكل (7): مبدأ إزالة تأثير الفوالق بطريقة الجسم الصلب (غدل عن Midland Valley, 2000).

إذا كان التشوه ناتجاً عن انزياح الجسم أو البلوك الصلب، فإن المقطع يمكن إعادته بسهولة عبر تحريك أحد البلوكات على طول خط الكسر. وهنا بالطبع يفترض المحافظة على أطوال وزوايا البلوكات الصلدة للطبقات الممتلئة بالسطوح السيزمية في المقطع السيزمي. وهذه الطريقة تصلح للتطبيق على المقاطع السيزمية التي تتعرض بلوكاتها الفالقية إلى تشوهات داخلية. أي بعبارة أخرى تطبق هذه الطريقة في المناطق المعرضة لحركات تكتونية شديدة كما هو الحال في منطقة دراستنا. في حين لا يصلح تطبيق هذه الطريقة على الطبقات المعرضة لحركات تكتونية انضغاطية (طيات) (Verrall, 1981; Gibbs, 1983; Withjack and Peterson, 1993). وتندرج هذه الطريقة في برنامجنا 2D move تحت اسم القص المائل.

بالنتيجة وبعد تطبيق طريقة القص المائل وبزاوية قص (Shear angle) 90 درجة تم الحصول على المقطع الجيولوجي المبين في الشكل (8). بعد تطبيق هذه الطريقة ولأجل المتابعة في تطبيق الطرائق اللاحقة من إزالة التشوهات التكتونية، تم تحديد معاملين اثنين: الأول هو الأفق (السطح) الهدف (Target)، الذي سيتم إرجاع الطبقات الرسوبية إليه. الثاني هو أفق (سطح) المعايير (Template)، وهو الأفق (السطح)، الذي سيتم التطابق بينه وبين الأفق (السطح) الهدف من خلال استخدام طرائق إزالة التشوهات التكتونية. في حالتنا هذه تم اختيار سطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU) المشكل للحد العلوي لتشكيلة الرطبة باعتباره أفق معايرة، كونه يمثل مرحلة فاصلة بين فترة الهدوء التكتوني التي سادت منطقة الفرات، ومرحلة الانهدام الشديدة التي ضربت المنطقة. في حين تم اختيار أفق (سطح) تشكيلة أسفل الشيرانيش (SHL) باعتباره أفقاً (سطحاً) هدفاً بوصفه بداية لدخول منطقة الفرات مرحلة الهدوء التكتوني كما يظهر في الشكل (8).



شكل (8): المقطع الجيولوجي الناتج عن تطبيق طريقة القص المائل (أعدّ وجّه من قبل الباحث بناءً على المقطع الوارد في الشكل (6)، وباستخدام برنامج 2D move).

قبل المتابعة في تطبيق الطرائق الأخرى في إزالة التشوهات التكتونية، جرى احتساب قيمة الأطوال للطبقات الرسوبية الواقعة تحت سطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU)، بعبارة أخرى جرى - باستخدام برنامج 2D move - احتساب أطوال الخطوط الممثلة لأعالي التشكيلات الواقعة تحت سطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU)، وذلك على المقطع الجيولوجي الوارد في الشكل (8)، فكانت النتائج كما يظهرها الجدول (1). وبما أن طريقة القص المائل هي طريقة أولية في إزالة التشوهات التكتونية (تحافظ على أطوال الطبقات دون تغيير)، لذلك فإن قيم الأطوال المقاسة في هذه المرحلة هي أطوال أصلية للطبقات (الجدول 1).

جدول (1): قيم الطول للطبقات بعد تطبيق طريقة القص المائل

| التشكيلة | الطول الأصلي (Km) |
|--------------------|-------------------|
| الرطوبة (RU) | 16.12 |
| أعلى الضببات (DOU) | 16.18 |
| أسفل الضببات (DOL) | 16.16 |
| الخابور (KH) | 16.19 |

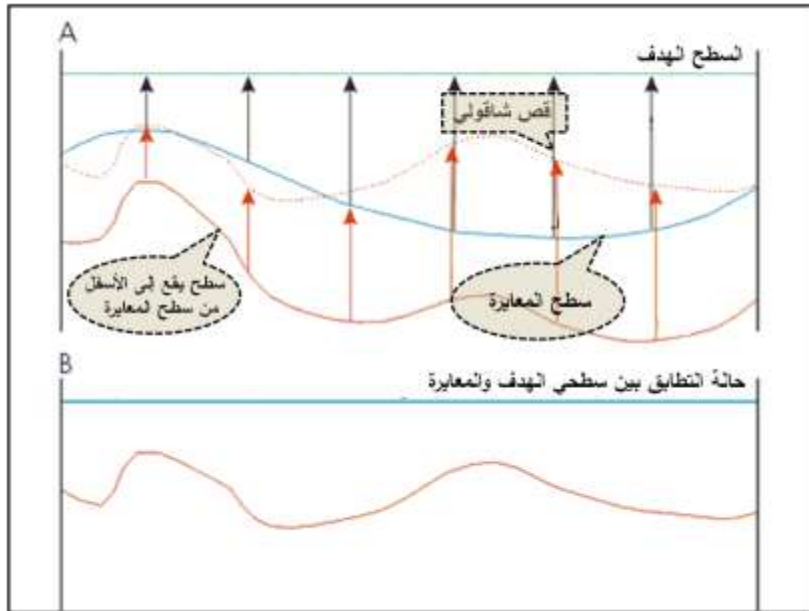
3 تطبيق طريقة القص الشاقولي:

بعد إزالة التشوهات الناجمة عن انزياح البلوكات بتأثير الفوالق، جرى استكمال عملية إزالة التشوهات التكتونية، وذلك بإزالة تشوهات الطي، لذلك أُجري في هذه المرحلة تطبيق طريقة القص الشاقولي. تُستخدم هذه الطريقة في حالة البنيات الجيولوجية التي تعرضت إلى تشوهات مهمّة، وذلك بسبب القوى التكتونية الشديدة التي يحدث فيها تغيرات مهمة في الطول والسماكة (Midland Valley, 2000). وتعتمد هذه الطريقة على معاملي أفق (سطح) الإرجاع وأفق (سطح) المعايرة (تم تحديدهما في المرحلة السابقة).

تقوم الخوارزمية المعتمدة في هذه الطريقة على مبدئين أساسيين هما:

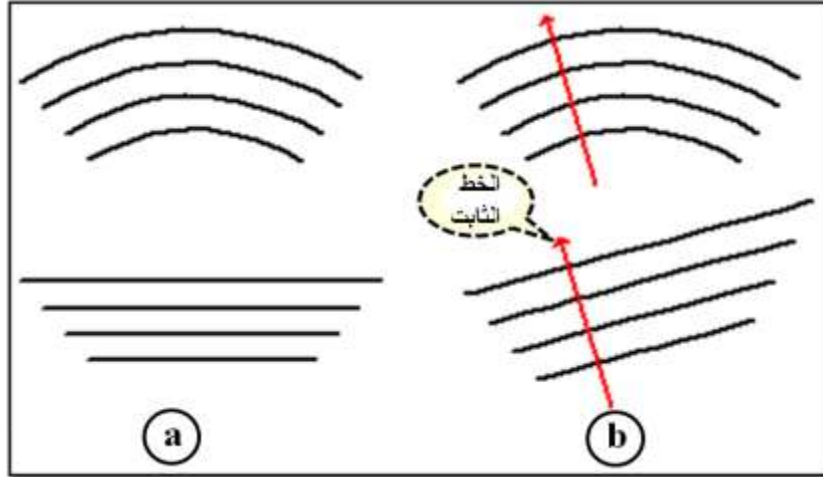
1- المحافظة على مساحة الطبقات قبل عملية إزالة التشوهات التكتونية وبعدها، أي في الحالتين المشوهة وغير المشوهة.

2- المحافظة على الطول الخطي (Line-length) للطبقات بين الحالتين المشوهة وغير المشوهة، ويكون مقدار الضياع في هذا الطول أعظماً عندما يتم التعامل مع طبقات مائلة بشكل حاد (الشكل 9).



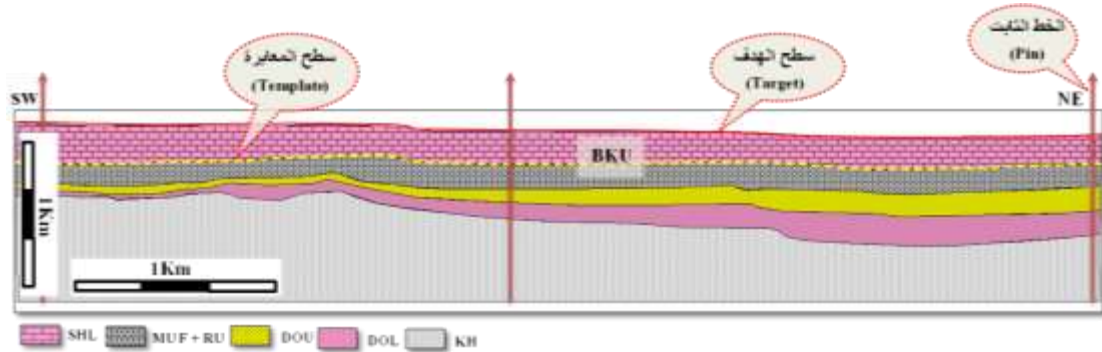
الشكل (9): مخطط توضيحي لتطبيق خوارزمية القص الشاقولي (Vertical Shear): (A) الطبقات قبل تطبيق طريقة القص الشاقولي. (B) الطبقات بعد تطبيق طريقة القص الشاقولي (عُدل عن Midland Valley, 2000).

يتطلب تطبيق هذه الطريقة تحديد الخط الثابت (Pin line) الذي يتم اختياره عادةً بشكل معامد للتطبيق، وعند مركز الالتواء (الشكل 10).



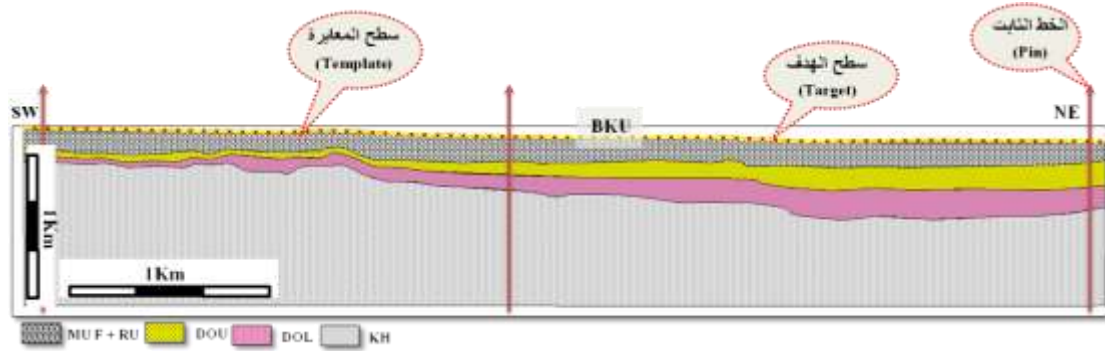
شكل (10): شكل توضيحي لإزالة التشوهات التكتونية عند اختيار الخط الثابت: (a) وضع الطبقات في حالة عدم تحديد خط ثابت. (b) وضع الطبقات في حالة تحديد الخط الثابت (عُذِل عن Midland Valley, 2000).

نُفذت هذه الطريقة على مرحلتين وذلك بهدف معرفة مراحل التشوه الذي تعرضت له الطبقات:
 -المرحلة الأولى: جرى فيها تطبيق القص الشاقولي بنسبة 50 %، بحيث لم يتم التطابق النهائي بين السطح الهدف (المتمثل بسطح تشكيلة أسفل الشيرانيش)، وسطح المعايرة (المتمثل بسطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU) كما يظهر واضحاً في الشكل (11).



شكل (11): المقطع الجيولوجي الناتج عن تطبيق طريقة القص الشاقولي بنسبة 50 % (أعدَ هذا المقطع من قبل الباحث بناءً على المقطع الجيولوجي الوارد في الشكل (8)، وباستخدام برنامج 2D move).

-المرحلة الثانية: جرى فيها تطبيق القص الشاقولي بنسبة 100 % إذ تم التطابق النهائي بين سطحي المعايرة والهدف كما يظهر في الشكل (12).

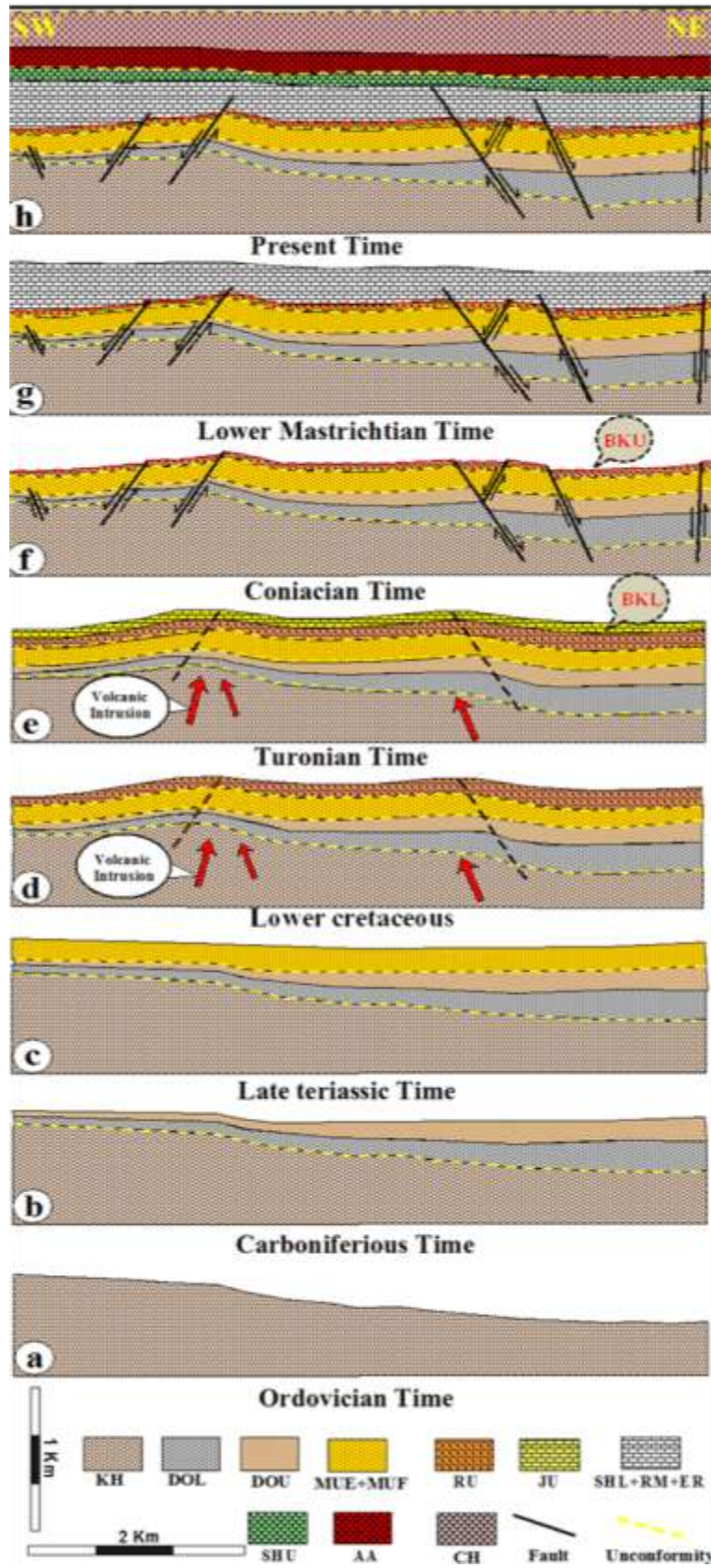


شكل (12): المقطع الجيولوجي الناتج عن تطبيق طريقة القص الشاقولي بنسبة 50% (أعد هذا المقطع من قبل الباحث بناءً على المقطع الجيولوجي الوارد في الشكل (11)، وباستخدام برنامج 2D move).

جرى في نهاية هذه المرحلة، وباستخدام برنامج 2D move، احتساب الأطوال النهائية للتشكيلات (أطوال الخطوط الممثلة لأعالي التشكيلات على المقطع الوارد في الشكل (12))، الواقعة تحت سطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU)، فكانت النتائج كما مبين في الجدول (2). وبإضافة مختلف التشكيلات المكونة للعمود الستراتيغرافي لمنطقة الدراسة، نتجت سلسلة المقاطع الجيولوجية المبينة في الشكل (13). تُمثل هذه المقاطع الوضع التكتوني لمنطقة الدراسة، وذلك لمختلف المراحل الزمنية بدءاً بالأردوفيسي الأعلى وانتهاءً بالوضع التكتوني الحالي.

جدول (2): قيم الطول للطبقات بعد تطبيق طريقة القص الشاقولي

| التشكيلة | الطول بعد تطبيق طريقة القص المائل (Km) |
|---------------------|--|
| الرطوبة (RU) | 16.01 |
| أعلى الضيبيات (DOU) | 16.15 |
| أسفل الضيبيات (DOL) | 16.13 |
| الخابور (KH) | 16.15 |



شكل (13): سلسلة المقاطع الجيولوجية تظهر التطور التكتوني لمنطقة الدراسة خلال المراحل الزمنية المتعاقبة (أنشئت هذه المقاطع من قبل الباحث بناءً على تطبيق طريقتي القص المائل والقص الشاقولي، وذلك باستخدام برنامج 2D move).

النتائج والمناقشة:

بناءً على سلسلة المقاطع الجيولوجية، الظاهرة في الشكل (13)، والناجمة عن تطبيق طرائق إزالة التشوهات التكتونية (القص المائل والقص الشاقولي)، أمكن الوقوف على العديد من النتائج العلمية والتطبيقية المهمة، المتضمنة ما يأتي:

✚ يُشير الشكل (13-a) إلى أن الميل العام لتشكيلة الخابور (KH)؛ العائدة إلى فترة الأوردوفيسي الأعلى، في أثناء الترسيب، هو من جهة الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي؛ أي باتجاه منخفض الجيدو. بدوره يُشير هذا الميل إلى أن الأجزاء الجنوبية الغربية لمنطقة الدراسة شكّلت خلال تلك الفترة مناطق ناهضة نسبياً مقارنةً بالأجزاء الشمالية الشرقية.

✚ يُشير تشكل سطح عدم التوافق فوق تشكيلة الخابور (أشير إليه بالخط الأصفر المتقطع في الشكل (13-b))، كذلك ظهور هذه التشكيلة بسطح غير مستوٍ، إلى تعرّض المنطقة إلى حوادث تكتونية مهمة خلال فترة الأوردوفيسي الأعلى، إذ أدت هذه الحوادث إلى حت وتعرية واسعة نتج عنها سطح عدم التوافق المذكور.

✚ أظهر الشكل (13-b) التزايد الكبير في سماكة تشكيلة أسفل الضبيات (DOL)؛ المترسبة في الكربوني المبكر، وذلك باتجاه الشمال والشمال الشرقي فوق تشكيلة الخابور، وهذا يدل على هبوط الحوض الترسيبي بالتزامن مع توضع تشكيلة أسفل الضبيات في حفرة أو منخفض صغير، وهو ما يعرف اليوم بمنخفض الجيدو؛ الواقع في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة.

✚ أوضح المقطع الجيولوجي في الشكل (13-b) تزايد سماكة تشكيلة أعلى الضبيات (DOU)؛ المترسبة في الكربوني المتأخر، بشكل ملحوظ باتجاه مراكز المنخفضات الصغيرة (منخفض الجيدو)، أي باتجاه الشمال والشمال الشرقي لمنطقة الدراسة وترققها بالاتجاه المقابل وهذا ما يظهر أيضاً في الشكل (14).

✚ إن تشكّل سطح عدم التوافق فوق تشكيلة الضبيات يؤكد على عمليات الحت والتآكل الكبيرة والشديدة التي اجتاحت منطقة الدراسة في المراحل اللاحقة لترسب هذه التشكيلة (الشكل 13-c).

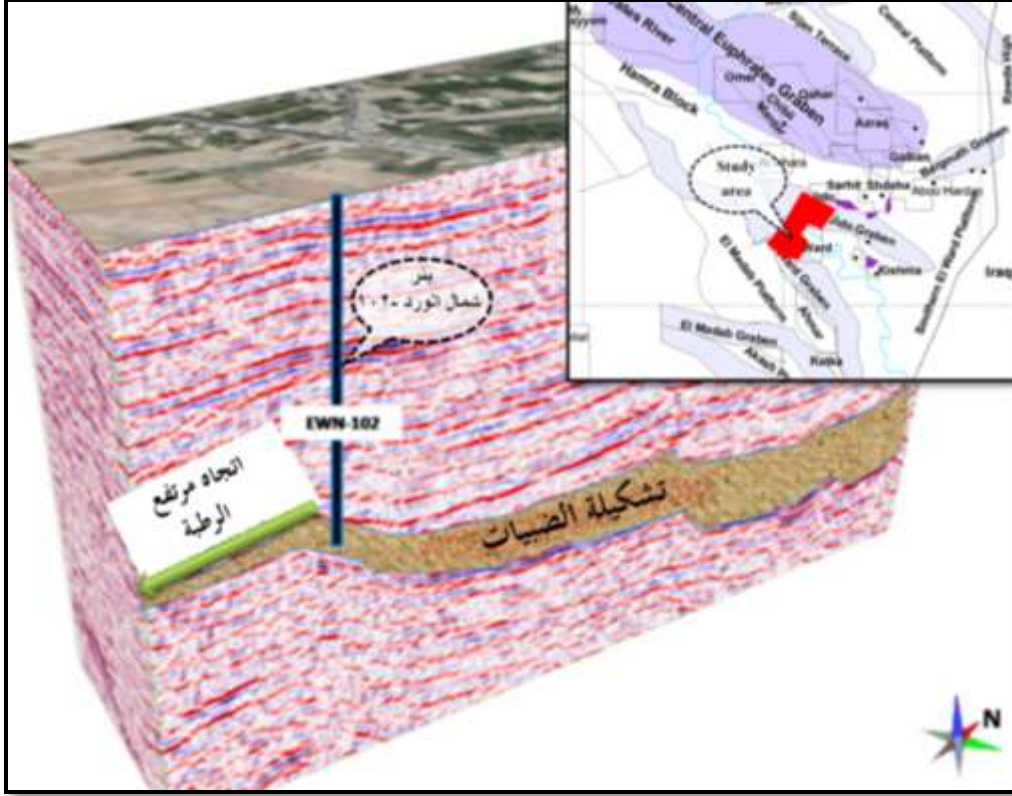
✚ في بدايات الترياسي المتأخر، وبحسب الشكل (13-c)، ترسبت تشكيلة المولوسا E (MUE)؛ المؤلفة بشكل رئيسي من الحجر الدلوميّ المترسب في بيئة بحرية عميقة. إذ تتراوح سماكة هذه التشكيلة في منطقة الدراسة بين 50 و70 متراً، وذلك بحسب معطيات آبار حقل شمال الورد (بئر شمال الورد-102 وبئر شمال الورد-107). تُشير السماكة القليلة لهذه التشكيلة إلى قصر المدة الزمنية للبيئة البحرية العميقة التي سيطرت على المنطقة خلال تلك الفترة.

✚ في أواخر الترياسي، وكما يُظهر المقطع الجيولوجي المبين في الشكل (13-c)، ترسبت تشكيلة المولوسا F (MUF). إذ يُشير ظهور هذه التشكيلة بسطح أفقي، وعدم ظهورها بفوالق عادية ذات رميات كبيرة، إلى فترة الهدوء التكتوني التي سادت منطقة الدراسة خلال تلك الفترة.

✚ يُلاحظ على المقاطع الجيولوجية المتتابعة، الواردة في الشكل (13)، غياب كامل لتوضعات الجوراسي، وهنا احتمال لإحدى فرضيتين:

- أن تكون منطقة الدراسة قد تعرضت إلى نهوض أدى إلى ابتعاد مياه البحار بالكامل، وعدم ترسب صخور الجوراسي.

- أن صخور الجوراسي توضع بالفعل، ولكن تعرضت بعدها إلى عمليات شديدة من الحت أدى إلى تآكلها كلياً، مع تآكل جزئي لتشكيلة المولوسا F مسببةً تشكل سطح عدم توافق قاعدة الكريتاسي المبكر (BKL).



شكل (14): نموذج ثلاثي الأبعاد يوضح تزايد سماكة تشكيلية الضبيات باتجاه الشمال والشمال الشرقي لمنطقة الدراسة، وتناقصها بالاتجاه المقابل أي باتجاه مرتفع الرطبة (أعد هذا النموذج وجّه من قبل الباحث، باستخدام برنامج Geoframe).

✚ يُظهر المقطع الجيولوجي في الشكل (13-d) بنيتين ناهضتين خفيفتين في منطقة الدراسة، تشكلتا بفعل حركات عمودية كانت قد حدثت خلال الكريتاسي المبكر. خلال تلك الظروف، وفي الوقت نفسه كانت تتوضع تشكيلية الرطبة الرملية (RU). وفي فترة التورونيان (Turonian) من الكريتاسي المتأخر، وكما يظهر في الشكل (13-e)، ترسبت تشكيلية الجوديا الكربوناتية (JU) فوق تشكيلية الرطبة.

✚ أشار المقطع الجيولوجي في الشكل (13-f) إلى أن فترة الكريتاسي المتأخر (Coniacian) شكّلت مرحلة مفصليّة في تاريخ منطقة الدراسة. فخلال تلك الفترة حدثت عمليات انهدام شديدة تمثلت بتشكيل فوالق ضخمة ذات رميات كبيرة، إذ انقسم السطح الواحد لكل طبقة إلى سطوح عدة يفصل فيما بينها فوالق عادية.

✚ يُشير تشكّل سطح عدم التوافق لقاعدة الكريتاسي المتأخر (BKU) فوق تشكيلية الرطبة (أشير إليه بالخط الأحمر المنقطع في الشكل (13-f))، إلى عمليات شديدة من الحت والتآكل حدثت خلال تلك الفترة، وأدت إلى اختفاء كلي لتشكيلة الجوديا الكربوناتية، وتآكل جزئي لتشكيلة الرطبة التي لم يبق منها سوى الرطبة السفلي، مخالفةً بذلك سطح عدم التوافق المذكور.

أوضح احتساب أطوال تشكيلات الرطبة وأعلى الضيبيات وأسفل الضيبيات والخابور - قبل تطبيق طرائق إزالة التشوهات التكتونية وبعدها - بأن قيمة الشد، خلال الكريتاسي المتأخر، لم تتجاوز 1 % من طول التشكيلات الأصلية. بعبارة أخرى بعد أن جرى - باستخدام برنامج 2D move - احتساب أطوال الخطوط الممثلة لأعالي التشكيلات المذكورة أعلاه، قبل تطبيق طريقة القص الشاقولي وبعدها (الجدولين 1، 2)، وعلى اعتبار أن طريقة القص المائل طريقة أولية تحافظ على أطوال الطبقات ثابتة دون تغيير، تم تحديد قيمة التغير في أطوال هذه الخطوط (التغير الناتج عن تأثير قوى الشد الذي أثر على منطقة الدراسة خلال الكريتاسي المتأخر)، فكانت النتائج كما في الجدول (3).

الجدول (3): يظهر قيمة الشد وأطوال التشكيلات المختلفة قبل عمليات الشد وبعدها (جرى احتساب هذه القيم باستخدام برنامج 2D move).

| التشكيلة | الطول بعد الشد (km) | الطول قبل الشد (km) | قيمة الشد |
|---------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| الرطبة (RU) | 16.12 | 16.01 | 0.01 |
| أعلى الضيبيات (DOU) | 16.18 | 16.15 | 0.00 |
| أسفل الضيبيات (DOL) | 16.16 | 16.13 | 0.00 |
| الخابور (KH) | 16.19 | 16.15 | 0.00 |

يُشير المقطع الجيولوجي في الشكل (13-g) إلى أن النشاط التكتوني في فترة ترسب تشكيلة الرماح (RM) (فترة سانتونيان - كامبانيان) إلى حد ما كان ضعيفاً، وهذا ربما يتعلق بتحرر معظم الإجهادات الإقليمية في الفترة السابقة.

خلال فترة الكريتاسي المتأخر (الكامبانيان) ترسبت تشكيلة الأرك (ER) كما يظهر على المقطع الجيولوجي في الشكل (13-g). وبحسب آبار منطقة الدراسة فإنها ترسبت في بيئة بحرية أقل عمقاً من تشكيلة رماح. تتغير سماكة تشكيلة الأرك بشكل كبير في منطقة الدراسة، وذلك بسبب ترسبها بالتزامن مع ميل ودوران البلوكات الفالقية الناجمة عن الحركات التكتونية المولدة للتصدعات.

يُشير المقطع المبين في الشكل (13-g) إلى التشابه بين الظروف التكتونية والترسيبية التي سيطرت خلال ترسب تشكيلة الرماح، والظروف التكتونية والترسيبية التي سيطرت خلال فترة الماستريختيان المبكر التي رافقت ترسب تشكيلة أسفل الشيرانيش (SHL). في حين يُشير المقطع في الشكل (13-h)، إلى أن الجزء العلوي من تشكيلة الشيرانيش (SHU) المترسب خلال فترة الماستريختيان المتأخر لا يرتبط بحركة الفوالق، لأنه ترسب في مرحلة لاحقة من الانهدام.

في أواخر الأوليغوسين انحسر البحر كلياً عن منطقة الدراسة، ونشطت عمليات الحت والتآكل، وتشكل سطح عدم توافق في أعلى تشكيلة الشيلو كما يوضح المقطع في الشكل (13-h).

في فترة النيوجين، توضع وتوضع وبحسب العمود الستراتيغرافي المبين في الشكل (2)، الصخور التبخيرية (الانهدريت) لتشكيلات الديبان (DH) والحريية (JE) والفارس السفلي (FAL). تُشير الإنعكاسات السيزمية الواضحة وذات الاستمرارية الجيدة إلى عدم تعرضها لقوى تكتونية عنيفة في أثناء تشكلها وبعده، ولكن كانت تتعرض إلى حركات تكتونية ذات شدة خفيفة. وما زالت منطقة الدراسة حتى الآن عرضةً للنشاطات التكتونية.

الاستنتاجات والتوصيات:

بناءً على هذه الدراسة وما تضمنته من تطبيق لطرائق مختلفة في إزالة التشوهات التكتونية، والتي أدت إلى بناء سلسلة من المقاطع الجيولوجية أسهمت بدورها في الكشف عن عمليات الحث الشديدة التي تعرضت لها المنطقة خلال فترة تورونيان - كونياسيان. إذ كانت تلك العمليات سبباً رئيسياً في اختفاء الجزء العلوي لتشكلية الرطبة، وكذلك تشكلية الجوديا من العمود الستريغرافي لحقل شمال الورد. إضافةً إلى ما قدمته هذه الدراسة من إيضاح لمختلف المراحل التكتونية التي مرت بها منطقة الدراسة خلال الفترات الزمنية المتلاحقة فإننا نوصي بما يأتي:

- 1) تطبيق هذا النمط من طرائق إزالة التشوهات التكتونية على مقاطع أخرى، وفي أماكن أخرى، بما يعزز الفهم الأعمق والأشمل لمختلف الأطوار التكتونية التي مرت بها سورية، وما قد يرتبط بذلك من إجابة لتساؤلات عدة تتعلق بوجود تشكيلات معينة قد يشكل بعضها خزانات رئيسة في بعض من تلك الأماكن أو عدم وجودها.
- 2) نوصي باستخدام هذه الطرائق من أجل تخفيض مخاطر عمليات الاستكشاف النفطي عبر إيجاد موديل بنيوي للمنطقة، يمكن من خلاله إزالة التشوهات التكتونية (الشكل الهندسي للبنية الجيولوجية في زمن الترسيب).

المراجع:

1. الشركة السورية للنفط. (2011). التقرير الفني الجيوسيزمي لدراسة منطقة شرق الورد.
2. شركة الفرات للنفط. (1996). التقرير الداخلي عن البيانات الجيولوجية المتوفرة لحقول الفرات.
3. ALSOUKI, M.; TAIFOUR, R. *The tectono-depositional evolution of the Syrian Euphrates Graben Area using the 3D seismic data*. Arabian Journal of Geosciences, 2014, Online.
4. BEST, J.A.; BARAZANGI, M.; AL-SAAD, D.; SAWAF, T.; GEBRAN, A. *Continental margin evolution of the northern Arabian Platform in Syria*. Am Assoc Pet Geol Bull, VOL. 77, NO. 2, 1993, 173-193.
5. BREW, G.; BARAZANGI, M.; AL-MALEH, A.K.; & SAWAF, T. *Tectonic and geologic evolution of Syria*. GeoArabia, VOL. 6, No. 4, 2001, 573-616.
6. BUCHER, W. H. *The deformation of the earth's crust*. Princeton University Press, 1933, 518 p.
7. CHAMBERLIN, R. T. *The Appalachian folds of Central Pennsylvania*. Journal of Geology Chicago, VOL. 18, NO. 3, 1910, 228-251.
8. CHAMBERLIN, R. T. *The building of the Colorado Rockies*. Journal of Geology Chicago, VOL. 27, 1919, 225-251.
9. DAHLSTROM, C. D. *Balanced cross sections*. Canadian Journal of Earth Science, VOL. 6, NO. 4, 1969, 743-757.
10. GIBBS, A. D. *Balanced cross-section construction from seismic sections in areas of extensional tectonics*. Journal of Structural Geology, VOL. 5, NO. 2, 1983, 153-160.
11. LITAK, R.K.; BARAZANGI, M.; BEAUCHAMP, W.; SEBER, D.; BREW, G.; SAWAF, T.; & AL-YOUSSEF, W. *Mesozoic-Cenozoic evolution of the intraplate Euphrates fault system, Syria: implications for regional tectonics*. J. Geol. Soc., VOL. 154, No. 4, 1997, 653-666.
12. MIDLAND VALLEY. *3Dmove User Guide & Online help pages*. Midland Valley Exploration Ltd, 2000.

13. MOLEN, I. *Structural evaluation of the central Euphrates graben*. Syrian geological conference, 2006.
14. VERRALL, P. *Structural interpretation with application to North Sea problems*. Geological Society Course Notes, No. 3, 1981, Lectures 13-27.
15. WITHJACK, M. O.; & PETERSON, E. T. *Prediction or normal fault geometries- A sensitivity analysis*. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, VOL. 77, NO. 11, 1993, 1860-1873.