Tectonic Subsidence in the AL-Qaryatayn Area

Moussa Shemalli *
Dr. Abd ALkrim ALabdalla **
Dr. Samer ALbub ***

(Received 18 / 6 / 2025. Accepted 17 / 9 / 2025)

□ ABSTRACT □

We conducted a study of tectonic subsidence in the Al-Qaryatayn area based on well data provided by the General Petroleum Corporation (Al-Qaryatayn Well) from a depth of 100m to 3250m. The study covered ages from the Upper Cretaceous to the Middle Triassic. The results revealed a significant and continuous subsidence phase during the Triassic (S1), linked to the Permian-Triassic rifting event—one of the most important global tectonic events—with a high sedimentation rate (57.2 m/My).

In the Jurassic, a dominant phase (S2) reflected relative tectonic stability, ending with an uplift of the sedimentary basin floor. Initially, this phase coincided with thermal subsidence but concluded with local uplifts represented by very long wavelengths. This local tectonic event extended along the Palmyride Belt in its northern and southern segments, with a relatively low sedimentation rate (3.6 m/My).

Subsequently, a major and continuous subsidence phase began in the Cretaceous (S3), associated with the formation of rift systems in the region, such as the Euphrates Graben. This event represents a regional tectonic episode affecting the structure of the Palmyride Belt and adjacent formations, with a moderately high sedimentation rate (14.15 m/My) compared to the Triassic rate.

Keywords: Tectonic subsidence – Sedimentation rate – Sedimentation basin.

Copyright **:**Latakia University Journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Ph.D Student– Department of Geology- Faculty of Science- Lattkia University (Formerly Tishreen) – Lattkia-Syria. mousa.shemaly@tishreen.edu.sy**
****Associate Professor – Department of Geology– Faculty of Science- Lattkia University (Formerly Tishreen) –Latakia-Syria –Abdalkarim.Alabdalla@tishreen.edu.sy**
*****Associate Professor – Department of Geology – Faculty of Science -Lattkia University (Formerly Tishreen) Latakia-Syria. Samer.albub@tishreen.e**

الهبوط التكتوني في منطقة القريتين

موسى فؤاد شمالي*

د. عبد الكريم العبد الله**

د. سامر البب***

(تاريخ الإيداع 18 / 6 / 2025. قبل للنشر في 17 / 9 / 2025)

□ ملخّص □

قمنا بدراسة الهبوط التكتوني في منطقة القريتين وفق المعطيات البئرية المتوفرة في المؤسسة العامة للنفط لبئر القريتين من عمق 100م حتى 3250م، ضمت الأعمار من الكريتاسي الأعلى حتى الترياسي الأوسط، حيث بينت هذه الدراسة وجود مرحلة هبوط مستمرة وكبيرة في الترياسيS1 ترتبط بمرحلة الإنهدام البرمي – الترياسي الذي يعتبر من أهم الأحداث التكتونية العالمية، وبمعدل ترسيب كبير (57.2 m/My)، أما في الجوراسي سادت مرحلة رئيسة S2 تعكس استقرار نسبي في الهبوط لتنتهي في نهوض قاع حوض الترسيب، وهي في البداية تتوافق مع مرحلة هبوط حراري لتنتهي هذه المرحلة بنهوضات محلية تتمثل بطي طويل جداً، هذا الحدث التكتوني المحلي على أمتداد السلسلة التدمرية بجزئيها الشمالي والجنوبي، وبمعدل ترسيب صغير نسبيا (3.6 m/My)، لتبدأ مرحلة هبوط مستمرة وكبيرة في الكريتاسي S3، ارتبطت بمرحلة تشكل الإنهدامات في المنطقة مثل انهدام الفرات، حيث يعتبر حدث تكتوني إقليمي على مستوى بنية السلسلة التدمرية، والبنيات المجاورة، وبمعدل ترسيب كبير نوعا ما (14.15 m/My) مقارنة مع معدل الترسيب في الترياسي.

الكلمات المفتاحية: الهبوط التكتوني، معدل الترسيب، حوض الترسيبي.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

*طالب دكتوراه- قسم الجيولوجيا- كلية العلوم- جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- اللاذقية-سوريا. mousa.shemaly@tishreen.edu.sy-

** أستاذ مساعد-قسم الجيولوجيا- كلية العلوم- جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً)- اللاذقية- سوريا. Abdalkarim.Alabdalla@tishreen.edu.sy

***أستاذ مساعد- قسم الجيولوجيا- كلية العلوم -جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً)- اللاذقية- سوريا Samer.albub@tishreen.edu.

مقدمة:

الهبوط التكتوني هو هبوط قاع الحوض الرسوبي نتيجة سبب تكتوني، و تساهم دراسة الهبوط التكتوني في فهم مراحل تشكل الحوض الرسوبي وتطورها التكتوني مع الزمن. حيث أن تأثير التحميل الرسوبي على قاع الحوض يشكل 60- 80% من الهبوط الملاحظ وما تبقى سببه تكتوني صرف حسب [1]. فالتراكمات الكبيرة من الرسوبات والتي قد تصل لأكثر من 1000م من الطبقات الرسوبية (كما هو الحال في رسوبيات الترياسي والجوراسي والكريتاسي في منطقة القريتين التابعة للجزء الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية)، والتي توضعت في وسط مائي يتراوح عمقه 0-60م لا يمكن تفسير حدوثها إلا بوجود هبوط قاع الحوض الترسيبي، فالحوض بدون هبوط قاعه سيمتلئ وتتعرض طبقاته للحت ولن تصبح التراكمات الرسوبية ثخينة بالأصل، وإن أصل الهبوط في الغالب تكتوني ناتج عن ترقق قشري و قد يكون الهبوط من أصل حراري (هبوط حراري)، والهبوط التكتوني هام جداً في المجالات القارية حيث يساهم في تشكيل الأحواض الرسوبية الكبيرة، أما الهبوط الحراري فيلاحظ بوضوح في المجالات المحيطية حيث يفسر هبوط الليثوسفير المحيطي مع الزمن بالابتعاد عن العرف المحيطي المرتبط بانخفاض الحرارة، وبالتالي زيادة عمق الأحواض الرسوبية المحيطية حسب [2]، حيث إن منحنيات الهبوط التكتوني التي تمثل نمذجة لتطور الحوض الرسوبي تقدم صورة عن المراحل المتعاقبة من مراحل شدّ تسبب الانهدامات أو مراحل ضغط توقف الهبوط مع نهوض في قاع الحوض أو بدونه حسب [1].

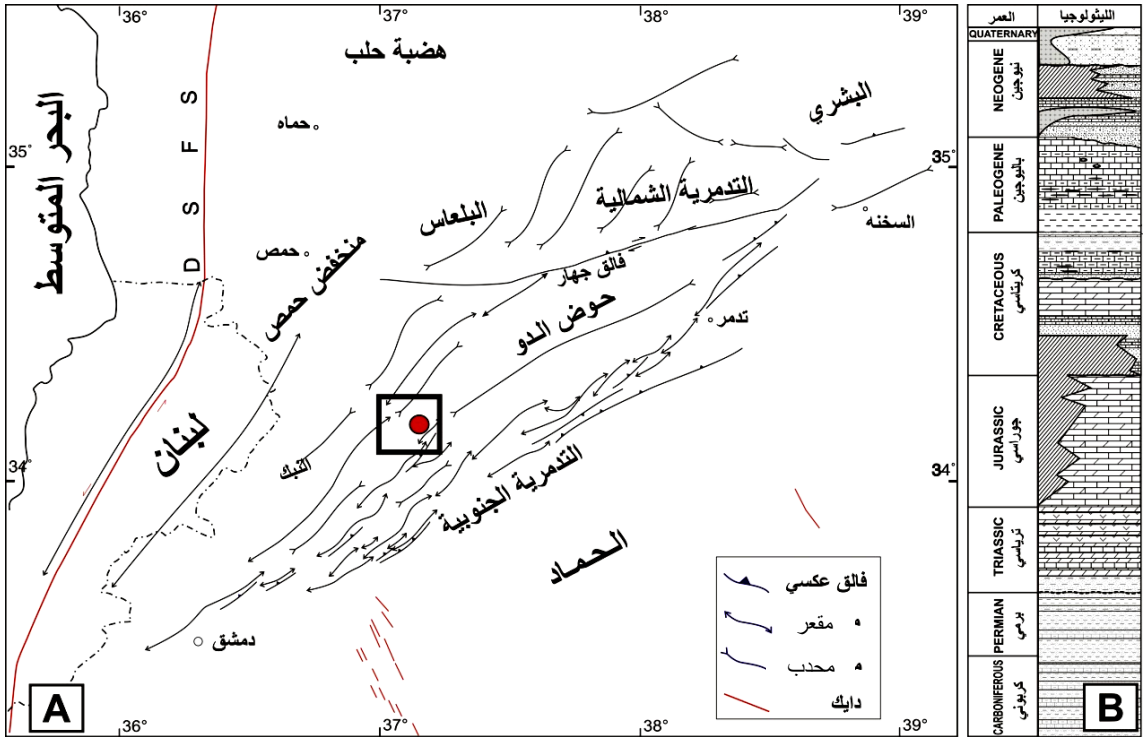
إن السلسلة التدمرية حالياً هي البنية الضغطية الرئيسية في شمال الصفيحة العربية في سوريا باتجاه NE-SW وتمتد على 400 كم من حدود لبنان–سوريا في الجنوب الغربي حتى انهدام الفرات في الشمال الشرقي، وفي الباليوزوي الأعلى وحتى الميزوزوي، شكلت التدمرية حوضاً ضمن قارياً اتجاه NE-SW يضم في مركزه 11 كم من رسوبات الفانيروزويك هذه السماكة تترجم الإنخفاس الهام في حوض التدمرية وخصوصاً في البرموترياسي وفقا ل [3]، وإن موروفولوجية التدمرية الحالية هي ناتجة عن انقلاب للحوض القديم للتدمرية، و دراسة الهبوط التكتوني فيها يظهر المراحل التي مرت بها خلال تاريخها الجيولوجي.

الإطار الجيولوجي العام:

تقع منطقة القريتين في الجزء الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية الشكل1، وتبعد عن مدينة دمشق حوالي 120كم، يحدها من الشمال الغربي سلسلة جبال القلمون، ويحدها من الجنوب الشرقي سلسلة جبل غراب.

تكتونياً تقع منطقة القريتين في جنوب غرب منخفض حوض الدو، على الطرف الشمالي من سلسلة الجبال التدمرية الجنوبية، ونجد فيها بنيات ذات اتجاه شمال شرق– جنوب غرب مثل محدبات التالية: مكسر النمر، روس الطوال، المحسة، صوانة المحسة، جبيل، حزم الغربيات، مهين، المخرش.

توجد في المنطقة أيضاً فوالق رئيسة تأخذ اتجاه البنية العامة لسلسلة التدمرية NE-SW الشكل1، كما نجد فوالق ثانوية ذات اتجاه E-W، إلى الجنوب الشرقي من محور المحدبات نجد فوالق الدثر العكسية التي تميز السلسلة التدمرية الجنوبية.

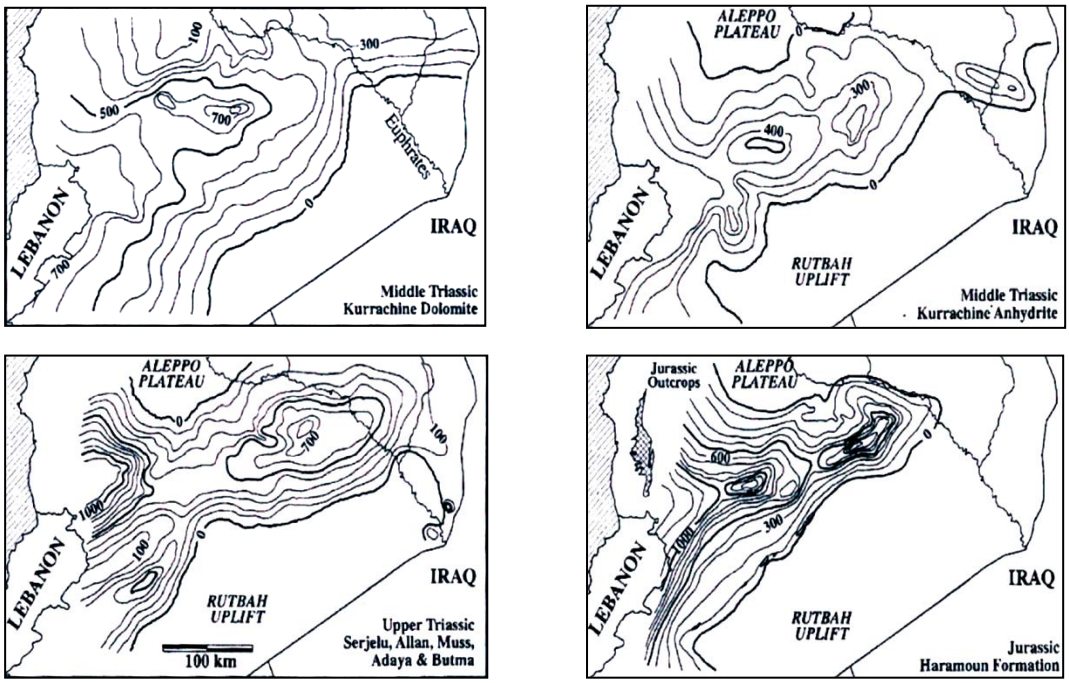


الشكل (1): خارطة بنيوية لشمال غرب الصفيحة العربية حسب [4]، تبين الوحدات البنيوية الرئيسية في غرب سورية وموقع منطقة البحث.

ستراتغرافياً: تظهر المعطيات ما تحت السطحية أن الكامبري والسيلوري الاسفل موجودين تحت التدمرية، ويتكونان من حجر رملي وغضار لبحر قليل العمق بسماكة كلية من 1.5 حتى 5 كم، أما الكربوني فيتوضع بعدم التوافق على السيلوري الأسفل في شرق التدمرية. يكون البرمي نسبياً سميك بالنسبة لصفحة حلب و نهوض الرطبة بسبب انخفاس في حوض التدمرية (200 م حتى أكثر من 800 م) .

تسارع الانخفاس في التدمرية خلال الترياسي حيث توضع أكثر من 1000م من الرسوبات حسب [5]، و تصل حتى 1500م في بلوك البشري الشكل2، يتكون الترياسي من حجر رملي في الأسفل مع كربونات ومتبخرات في الأعلى، يكون اتجاه محور حوض الترياسي في التدمرية NE-SW، ويكون مفتوحاً نحو حوض المشرق حيث تصل سماكة الترياسي لأكثر من 2200م، و يتكشف الجوراسي على السطح كصخور كربوناتية وتصل سماكتها حتى 1000م في البلعاس كما في [6]، تزداد سماكة الجوراسي نحو الغرب شكل2 لتصل لأكثر من 2500 م في لبنان حسب [5]، و هذه السماكة العالية فسرت كنتيجة لمتابعة الانخفاس الترياسي كما جاء في [3,7,6,8]، تعرضت رسوبات الجوراسي للحت بشكل كبير بسبب مرحلة تعرية في نهاية الجوراسي و بداية الكريتاسي ولكنها بقيت محفوظة في مركز التدمرية. يتوضع الكريتاسي الأسفل بعدم توافق على رسوبات الجوراسي الأوسط والأعلى في. إن فترة الحت في نهاية الجورسي ساهمت بإعطاء سحنة حطامية رملية حمراء من عمر النيوكوميان (تشكيلة شريفا). في جنوب غرب التدمرية فتداخل مستويات بازلتية مع المستويات الرسوبية من عمر الأبسيان حسب [9] ذات التركيب الكلسي الدولوميتي والحجر الرملي، و تشير رسوبيات الألبيان الكربوناتية إلى تجاوز جديد في المنطقة وهي مكونة من دولوميت مارني مع تداخلات من الأنهدريت والكلس بسماكة عظمى 150 م حسب أيضاً [9]، و يتكشف الكريتاسي الأعلى بشكل واسع في التدمرية ويتكون من عدة تشكيلات الجوديا من عمر سينومانيان –تورونيان

والسخنة من عمر كونياسيان – كامبانيان والشيرانيش من عمر الكامبانيان – ماسترختيان. يتكون الباليوجين من عدة تشكيلات مثل عليجي من عمر الباليوسين – أيوسين أسفل والجدالا من عمر الإيوسين الأوسط–أعلى، وهو من سحنة كلسية حوارية مع عدة مستويات جدارية واضحة في الطبيعة حسب [9]، و يوجد النيوجين حصرياً في المقعرات وأهمها مقعر منخفض الدّو في مركز التدمرية، هذه التوضعات القارية من عمر الميوسين الأسفل – أوسط تكون بعدم توافق زاوي على الصخور القدم، وهو مكون من حجر رملي وكونغلوميرا وكربونات حمراء اللون مترافقة مع حص ومارل حسب [9].



الشكل2: خارطة تساوي سماكة رسوبيات الترياسي والجوراسي في السلسلة التدمرية حسب [10].

أهمية البحث وأهدافه:

تمتلك منطقة الدراسة أهمية كونها تتميز بموقعها والتي تعد جزء من التدمرية الجنوبية، ولما ما تحتويه من تشكيلات منتجة للمواد الهيدروكربوناتية، حيث تساعد دراسة الهبوط التكتوني في تحديد مراحل تطور الحوض الرسوبي عبر الأزمنة الجيولوجية، والذي يعتبر قيمة مضافة لفهمنا للتطور ونضوج المادة العضوية، بالإضافة لتحديد فهم كامل عن توضع الرسوبات وتشكيلاتها. يهدف البحث إلى:

1- حساب الهبوط التكتوني في حوض القريتين اعتمادا على معطيات البئرية لبئر القريتين.

2- تحديد المراحل الرئيسية التكتونية التي مر بها الحوض الرسوبي في المنطقة.

طرائق البحث و مواده:

تم الاعتماد في طريقة العمل على المعادلة الرياضية الأساسية لحساب الهبوط التكتوني حسب [11,12]، وعلاقة حساب الهبوط التكتوني الصرف حسب [13]، والتي طبقت على معطيات الحفر والعمود الليتولوجي في عمود ليتولوجي لتشكيلات من الترياسي حتى الكريتاسي في منطقة القريتين المنفذ من قبل الشركة السورية للنفط:

$$Y = W_d + S_0 [(\rho_m-\rho_s) / (\rho_m-\rho_w)] - \Delta sl \ [\rho_m / (\rho_m-\rho_w)]$$
$$Y_t = S_0 [(\rho_m-\rho_s) /\rho_m] + W_d [(\rho_m-\rho_w) /\rho_m]- \Delta sl \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث أن: Y الهبوط التكتوني الكلي، Y_t الهبوط التكتوني الصرف، W_d (water depth) عمق المياه في الحوض أثناء ترسيب تشكيلة ما، $S[(\rho_m-\rho_s)/(\rho_m-\rho_w)]$ هو التحميل الرسوبي (Sediment loading)، $\Delta sl(\rho_m/\rho_m-\rho_w)$ ويقصد به تحميل منسوب البحر (Sea-level loading)، S_0 ثخانة الرسوبات الأولية، ρ_w كثافة ماء البحر، ρ_m كثافة المعطف، ρ_s كثافة الرسوبات, Δsl تغير منسوب البحر خلال الزمن الجيولوجي الذي ترسبت خلاله تشكيلة ما.

لحساب الهبوط التكتوني قمنا بالآتي:

حساب ثخانة الرسوبات الأوليةS_0 عن طريق عملية فك التراص (Backstripping)، أي نقوم بإعادة ثخانة الوحدات الستراتيغرافية الحالية إلى سماكاتها الأصلية قبل التراص، وبمعنى آخر تحديد الثخانة الأولية للرسوبات عند ترسبها في الحوض الرسوبي. وتحسب من خلال العلاقة حسبما جاء في [12]:

$$. S_0 = S(1-Ø)/(1-Ø_0) \ldots\ldots\ldots(2)$$

حيث S الثخانة الحالية للطبقة أو التشكيلة المراد فك تراصها، Ø مسامية الطبقات الصخرية الحالية، $Ø_0$ المسامية الأولية للرسوبات. ويتم فك التراص للطبقات والتشكيلات الصخرية اعتبارا" من أقدم تشكيلة في الأسفل إلى الأحدث في الأعلى، بعد حساب المسامية الحالية والمسامية الأولية للطبقات الصخرية:

حساب المسامية الأولية للرسوبات $Ø_0$: يقصد بالمسامية الأولية مسامية الرسوبات عندما كانت قرب السطح أي عند ترسبها وقبل تعرضها للهبوط أو أي عوامل أخرى (كثقل الرسوبات) تؤدي لتصلبها ولتناقص هذه المسامية، ويتم حسابها من خلال العلاقة كما في [12-11]:

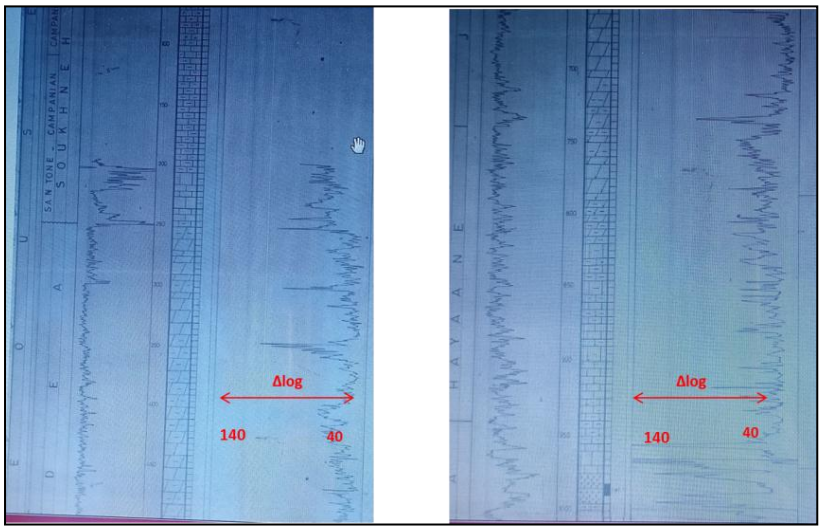
$$Ø = Ø_0 \, e^{-cy} \ldots\ldots\ldots(3)$$

حيث: Ø مسامية الطبقات الصخرية الحالية عند العمق y، $Ø_0$ المسامية الأولية، c ثابت يتعلق بالتركيب الليتولوجي للصخر. أو تحسب من خلال منحنيات نظرية لتغير المسامية مع العمق لكل نوع صخري حسب [15-14]، و تبين العلاقة3 بأن المسامية تتغير بشكل أسي مع العمق، ولحساب المسامية على السطح نحتاج لمعرفة المسامية الحالية للطبقات الصخرية(Ø) التي يتم حسابها من معطيات دراسة الشرائح الصخرية وهي متوفرة في دراسات ترسيبية متعددة في المنطقة من أهمها دراسة [16]، أو من خلال القياسات البئرية الصوتية في بئر القريتين والمتمثلة بمنحني (sonic log)، الذي يسجل Δt المقاس بالميكروثانية/قدم، وهو مدرج من 40 إلى 140 من اليمين إلى اليسار، وبما أن سرعة الأمواج الصوتية في الصخر ترتبط مع المسامية بعلاقة عكسية قمنا بتطبيق العلاقة التالية كما جاء في [18-17]:

$$Ø = \Delta t_{log_} \Delta t_{ma}/\Delta t_{f_}\Delta t_{ma} \qquad \ldots\ldots(4)$$

حيث: Δt_{log} تؤخذ من منحني التسجيل الصوتي للبئر(معطيات بئر القريتين المتوفرة لدى المؤسسة العامة للنفط)(الشكل3 عينة من المعطيات من سجل بئر القريتين وفقا ل[19])، Δt_f وهي 189 للطفلة العذبة غالباً، 185 للطفلة المالحة، أما Δt_{ma} فتؤخذ من جدول خاص يمثل قيم Δt_{ma} لكل نوع صخري، فمثلاً تكون Δt_{ma} للحجر

الكلسي47.6 وللدولوميت 43.5 وللحجرالرملي 55.5 وللأنهدريت 50 (في حال أكثر من نوع في التشكيلة المأخوذة، فإنه تأخذ القيمة المتوسطة لـ Δtma).



الشكل3: عينة من لمعطيات سجل بئر القريتين، وفقا ل [19].

نطبق قيمة Ø المحسوبة من العلاقة 4 في العلاقة رقم 3 فنحصل على قيمة المسامية الأولية للرسوبات $Ø_0$، وذلك مع العلم أن الثابت c هو ثابت يعبر عن مقدار تناقص مسامية كل نوع صخري مع زيادة العمق بمقدار 1كم ويعطى كنسبة مئوية، وهناك قيم محددة للمعامل c لكل نوع صخري مثل الحجر الكلسي 55.7%، الدولوميت31%، الحجر الرملي39%، الغضار51%، الكونغلوميرا 27%، (في حال اكثر من نوع من الصخور ضمن التشكيلة أو الوحدة المأخوذة والتي تعكس جزء معين السجل الصوتي فإننا نأخذ القيمة المتوسطةC) حسب [11-12].

نطبق قيمتا المسامية Ø و $Ø_0$ في العلاقة 2 فنحصل على ثخانة الرسوبات الأولية S_0، لا بد من التنويه إلى أنه يتم تقسيم التشكيلة الممثلة بعمر جيولوجي محدد إلى عدة مجالات بالاعتماد على تغيرات المسامية الحالية والليثولوجيا ثم يتم حساب المسامية والثخانة الأولية للرسوبات لكل مجال ضمن العمر الزمني.

1- حساب كثافة الرسوبات ρs بعد فك التراص للتشكيلات في كل عمر جيولوجي محدد، بعد أن يتم فك التراص لكل مجال صخري وحساب الثخانة الأولية له، وذلك بدءا" من الأقدم إلى الأحدث ، ومن ثم حساب قيمة الكثافة لكامل المجال: وذلك وفق العلاقة وفقاً ل [12].

$$\rho s = \sum[\ \rho_w Ø_0 + \rho_{gi}\ (1- Ø_0)\ ]\ S_0 \ /\ S_0 \quad \text{.....(5)}$$

حيث: ρ_w كثافة الماء، وقيمتها ثابتة وتقدر ب 1.03 غ/سم^3، ρ_{gi} هي كثافة الحبات الرسوبية، وهي تكون معطاة في جدول خاص يوضح قيمها لكل نوع صخر ومثلاً تكون قيمتها للحجر الكلسي 2.71 غ/سم^3 للغضار2.72غ/سم^3، للمارل2.715 غ/سم^3، للكونغلوميرا2.68غ/سم^3، للرمل2.65 غ/سم^3.

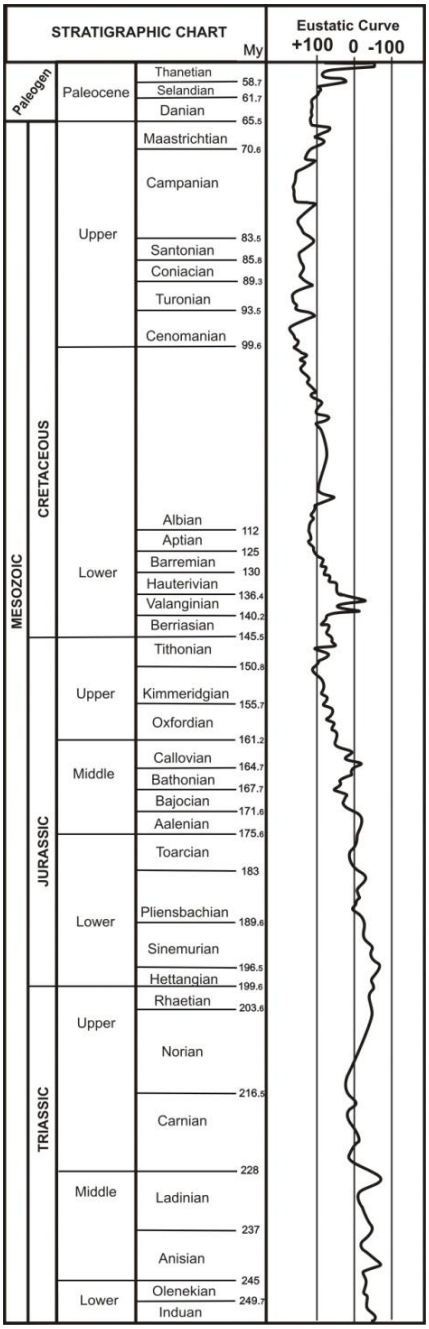
2- حساب مقدار التحميل الرسوبي الموضح في العلاقة 1 وهو: $S_0\ [\ (\rho_m-\rho_s)\ /\ (\rho_m-\rho_w)\ ]$ حيث: ρ_m كثافة المعطف وتقدر ب 3.25غ/سم^3. ρ_w كثافة الماء وتقدر بـ 1.03 غ/سم^3.

3- تحديد مقدار تغير منسوب البحر Δsl خلال الزمن الجيولوجي الذي ترسبت خلاله تشكيلة ما، ويكون موجباً إذا كان منسوب البحر أعلى من المنسوب الحالي للبحار والمحيطات، ويكون سالباً إذا كان أقل من المنسوب الحالي للبحار والمحيطات. تعود التغيرات في منسوب سطح البحر عالمياً إما لتغير في حجم مياه المحيطات أو لتغير في حجم الأحواض المحيطية التي ترتبط بالبركنة في مناطق الأعراف المحيطية، وانتشار قيعان المحيطات، وذوبان الصفائح الجليدية أو نموها حسب [20-24]، حيث تم في هذا العمل الاعتماد على المنحنيات هذه وأخذت القيم المتوسطة لهما لتقدير تغيرات منسوب سطح البحر خلال الميزوزوي الشكل4.

4- تحدد Wd عمق وسط الترسيب الذي تشكلت فيه طبقة أو تشكيلة رسوبية وتقدر بمجال بالمتر (المتوسط) من خلال سحنة الرسوبات الليتولوجية والباليونتولوجية للطبقة أو التشكيلة، واعتمد في تحديدها الدراسات الترسيبية والستراتغرافية السابقة في المنطقة وفقاً ل [25]، و أعطيت Wd قيمة متوسطة بين قيمتين دنيا وعليا وحُسِب على أساسها الهبوط التكتوني، تم تقسيم السجل البئري إلى وحدات متشابهة من حيث شكل السجل وقيمته، والتي تعكس ليتولوجيا متشابه من حيث التركيب والأستمرار، لنقوم ونحسب الهبوط التكتوني لكل تشكيلة.

5- بعد إجراء كل الحسابات سابقة الذكر نعوض القيم في العلاقة1 فنحصل على قيمة Y و Yt في فترة جيولوجية محددة. نقوم بتكرار تطبيق جميع الخطوات السابقة على كل تشكيلة ستراتغرافية ممثلة لعمر جيولوجي لنحصل على قيم الهبوط على كامل أدوار السلم الستراتغرافي للحوض، ونقوم برسم منحني يربط تغير قيم الهبوط التكتوني مع الزمن الجيولوجي، فنحصل على منحني الهبوط الذي يفسر ويحدد تاريخ تطور الحوض الرسوبي وأهم المراحل التكتونية التي مر بها. وهنا لابد من التنويه إلى أن قيمة الهبوط التكتوني Y قد تكون موجبة وتعني هبوط نحو الأسفل وقد تكون سالبة وتعني هنا نهوض لقاع الحوض.

ملاحظة: بئر القريتين هي البئر الوحيدة المتوفرة في المنطقة، وقد أخترقت التشكيلات من كامبانيان العائد للكريتاسي الأعلى حتى طابق الأنسيان العائد للترياسي الأوسط بشكل مستمر، وهي كافية للدراسة الهبوط التكتوني على مستوى منطقة القريتين، حسب الدراسات العالمية والمحلية التي ذكرناها سابقاً، والتي سوف نذكرها لاحقاً حسب الحاجة لها.



الشكل4: تغير منسوب البحر خلال الزمن الجيولوجي حسب [21].

النتائج والمناقشة:

في هذا العمل اعتمدت معطيات بئر القريتين الشكل1 كأساس وممثل لليوستراتغرافية المنطقة، وذلك كونها تخترق التشكيلات الجيولوجية من الباليوجين حتى الترياسي الأسفل، ولعدم وجود أي صدع أو طي يعقد الترتيب الستراتغرافي للتشكيلات في الحوض، كما أن الطبقات المخترقة في البئر هي أفقية مما يعني أن سماكة التشكيلات الواردة في معطيات الحفر هي سماكات حقيقية، ولا تحتاج إلى تصحيحات مما يسهل عملية تطبيق حساب الهبوط التكتوني على العمود الليتولوجي في بئر القريتين.

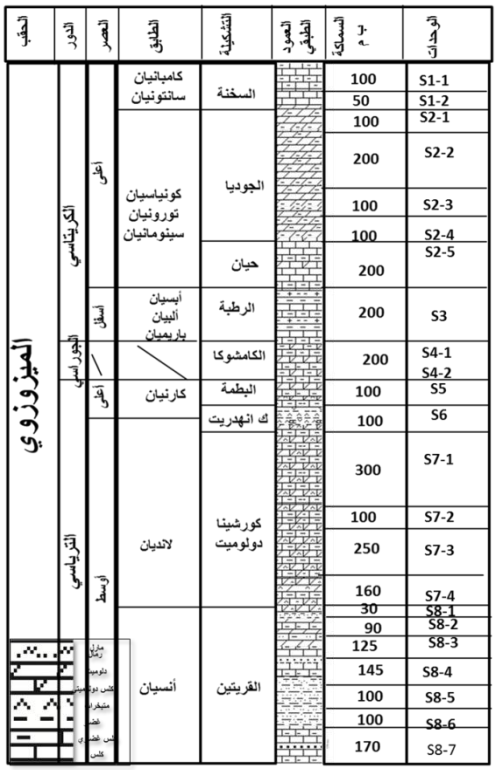
تحتاج عملية الحساب هذه إلى تقسيم العمود الليتولوجي في بئر القريتين إلى مجالات تتم عليها عملية حساب الهبوط التكتوني الواردة في طريقة العمل، وتم الاعتماد في هذا التقسيم على التغيرات في منحني التسجيل البئري الصوتي وعلى العمر الجيولوجي للتشكيلات. تم تقسيم العمود الليتولوجي في البئر إلى 23 مجال: 13 مجال في الترياسي، 2 مجال في الجوراسي، 8 مجال في الكريتاسي (الشكل5).

ليتوستراتغرافية بئر القريتين: اخترقت بئر القريتين مجموعة من التشكيلات الرسوبية تعود في أعمارها من الباليوجين حتى الترياسي الأسفل بعمق حفر 3250 متر، حسب معطيات بئر القريتين في المؤسسة العامة للنفط، حيث قسمت التشكيلات إلى مجالات اعتمادا علىSONIC(شكل السجل البئري Δlog وتغيراته بالنسبة لتشكيلات) وهي كالتالي الشكل5 :

الترياسي (1650-3250م): قسم لثلاثة عشر مجال. يتكون الترياسي الأوسط من غضار والرمل وكلس ودولوميت وأنهدريت التي تراوحت نسبها المئوية 30 و 25 و 20و 20و 5% على التوالي. ويتكون الترياسي الأعلى أيضاً من الحجر الكلسي والدولوميت وأنهدريت وغضار التي تراوحت نسبها المئوية 45 و 40 و 10و 5% على التوالي، حسب معطيات بئر القريتين (المؤسسة العامة للنفط).

الجوراسي (1450-1650م): قسم لمجالان فقط. يتكون من كلس دولوميتي وكلس غضاري تتوزع نسبها المئوية على 75 و 25% على التوالي.

الكريتاسي (100-1450م): قسم لثمانية مجالات. فيتألف الكريتاسي الأسفل من كلس وغضار تتوزع نسبها المئوية 75و 25% على التوالي، أما الكريتاسي الأعلى يتألف من كلس ودولوميت وغضار بنسب 40و 40و20% على التوالي.



الشكل5: العمود الليتوستراتغرافي في بئر القريتين موضحاً عليه المجالات المستخدمة كأساس في حساب الهبوط التكتوني،(الباحث).

حساب الهبوط التكتوني:

قمنا بتطبيق طريقة العمل المذكورة سابقاً على مجالات العمود الليتولوجي في بئر القريتين، حيث تم فك تراص الوحدات الصخرية في العمود الليتولوجي من الأسفل (الترياسي الأوسط) إلى الأعلى (السينونيان)، كذلك تم تحديد عمق الترسيب وتغيرات منسوب سطح البحر الموافق لكل وحدة صخرية وحساب كثافة الرسوبات وأخيراً تطبيق العلاقة (1) لحساب هبوط قاع حوض الترسيب في كل عمر جيولوجي. يوضح الجدول1 ما يلي:

تراوحت قيم مسامية الطبقات الصخرية (Ø) المحددة بالعلاقة (4) في العمود الليتولوجي لبئر القريتين ما بين 1% و 19% في الطبقات الصخرية ذات العمر الترياسي الأوسط في الأعماق التي تزيد عن 2000م تقريباً، بينما تزيد هذه المسامية لتصل حتى 23% في الطبقات الصخرية التي تقل أعماقها عن 2000م والتي تعود للكريتاسي والجوراسي والترياسي الأعلى. أما مسامية الرسوبات ($Ø_0$) المحددة بالعلاقة (2) فتضاعفت قيمها عن قيمة مسامية الطبقات الصخرية (Ø) بنسب تتراوح بين 50-120%.

1- تراوحت الزيادة في سماكة الرسوبات (S_0) بعد فك تراص الطبقات الصخرية بين 2% و 150% والتي تلعب المسامية الأولية والعمق والتركيب الليتولوجي دوراً في زيادة قيمتها (مثلاً الغضار أو الشيل يزيد من قيمة سماكة الرسوبات بعد فك تراصها).

2- حددت قيم كثافة الرسوبات بحسب العلاقة (5) وسطياً بحدود 2.52غ/سم3. أظهرت المجالات (S1-S8) قيماً منخفضة للكثافة (2.30, 1.71غ/سم3) تعود لزيادة قيم المسامية الأولية في هذه المجالات بشكل ملحوظ، ولزيادة نسبة الغضار.

3- إن عمق عمود الماء في الوسط الترسيبي (W_d) متغير من تشكيلة صخرية لأخرى. لقد تم وضع قيمتين لعمق عمود الماء لضمان الدقة في الحسابات، قيمة دنيا و قيمة عليا، أي مجال من العمق، وأخذ القيمة الوسطية له لكل تشكيلة رسوبية. بينت الدراسات السابقة أن وسط الترسيب في معظمه بحري في منطقة البلاتفورم في بيئة نيريتية عليا وسفلى و بأعماق لا تتجاوز الـ 200م لعمود الماء.

4- شهد منسوب البحر تغيرات هامة تراوحت من أقل من 50م عن مستوى البحر الحالي في الترياسي الأسفل إلى أكثر من 150م عن مستوى البحر الحالي في الكامبانيان.

5- تبين قيم الهبوط التكتوني المتوسطة المحسوبة بناء على العلاقة (1) وكل الحسابات اللازمة الداخلة في هذه العلاقة، وجود قيم هبوط موجبة في الترياسي الأوسط والأعلى وفي الكريتاسي، بينما كانت قيمة الهبوط سالبة في الجوراسي، القيم الموجبة تعني هبوط قاع حوض الترسيب نتيجة سبب تكتوني كالصدوع العادية المرافقة لمرحلة تكتونية شدّية، والقيم السالبة تعني نهوض لقاع حوض الترسيب المتزامن مع مرحلة تكتونية ضغطية.

الجدول1: القيم المحسوبة والمستخدمة في حساب الهبوط التكتوني.

العمر الزمني	الوحدات	Yب m	Sب m	Φ	Φ_0	S_0 مب	Ps ب gr/cm³	Wd مب	تغيرات منسوب البحر ΔSL ب m	الهبوط التكتوني الصرف Yt ب m	الهبوط التكتوني الكلي Y ب m
سانتونيان كامبانيان	S1-1	400	100	0.185	0.230	105.78	2.30	50	67.5	19.99	51.04
سانتونيان كامبانيان	S1-2	500	50	0.239	0.315	55.60					
سينومانيان تورونيان	S2-1	550	100	0.145	0.176	103.84	2.52	30	76	159.11	194.07
سينومانيان تورونيان	S2-2	650	200	0.069	0.089	204.38					
سينومانيان تورونيان	S2-3	850	100	0.196	0.264	109.21					
سينومانيان تورونيان	S2-4	950	100	0.016	0.024	100.82					
سينومانيان تورونيان	S2-5	1050	200	0.116	0.194	219.44					
باريميان أبسيان	S3	1250	200	0.085	0.166	219.54	2.43	10	8	79.35	83.03
جوراسي أوسط	S4-1	1450	150	0.003	0.007	150.54	2.71	5	50	-31.93	-8.93
جوراسي أسفل أوسط	S4-2	1600	50	0.046	0.109	53.53	2.58	10	50	-46.96	-23.96
كارنيان	S5	1650	100	0.058	0.124	107.53	2.55	10	4	37.657	39.49
لاندنيان كارنيان	S6	1750	100	0.069	0.154	110.02	2.75	5	-10	44.20	39.60
لاندنيان	S7-1	1850	300	0.077	0.189	341.54	2.98	10	-10	159.22	154.62
لاندنيان	S7-2	2150	100	0.013	0.037	102.51					
لاندنيان	S7-3	2250	250	0.122	0.354	340.08					
لاندنيان	S7-4	2500	160	0.236	0.650	348.79					
أنسيان	S8-1	2660	30	0.115	0.325	39.31	1.71	10	-90	1226.	1184.6
أنسيان	S8-2	2690	90	0.032	0.113	98.20					
أنسيان	S8-3	2780	125	0.079	0.204	144.61					
أنسيان	S8-4	2905	145	0.157	0.767	525.43					
أنسيان	S8-5	3050	100	0.104	0.343	136.37					
أنسيان	S8-6	3150	100	0.194	0.664	239.92					
أنسيان	S8-7	3250	170	0.129	0.616	385.29					

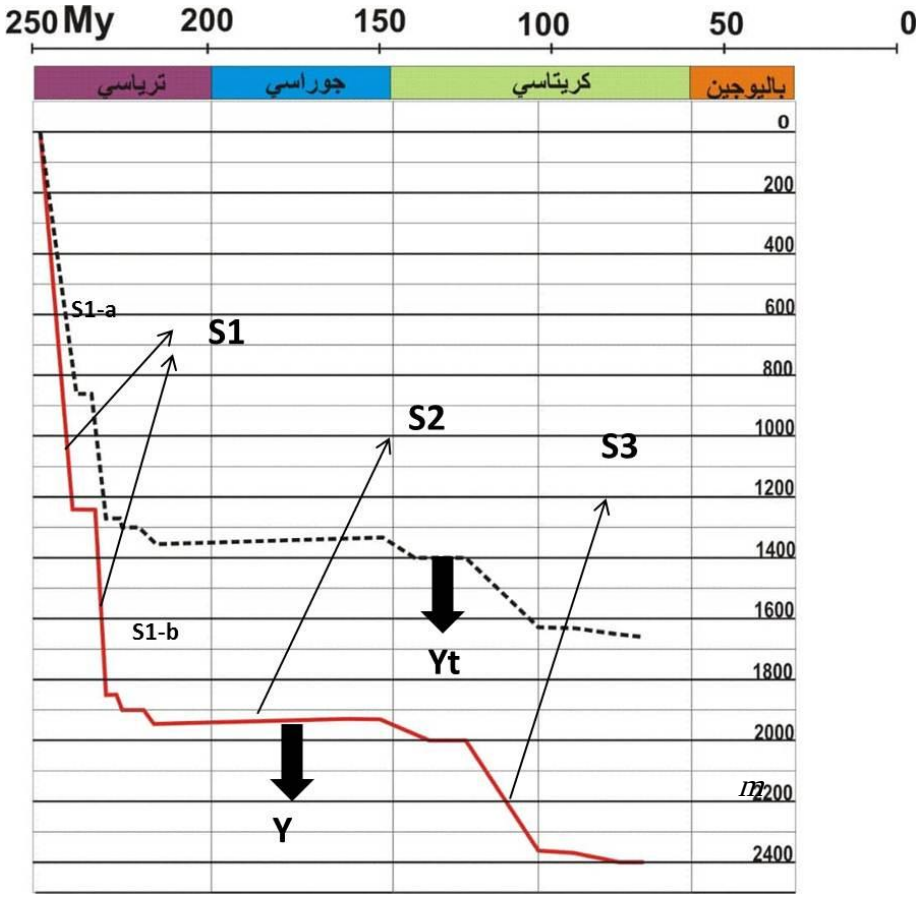
منحني الهبوط التكتوني خلال الزمن الجيولوجي: يبين الشكل6 التطور البنيوي للحوض الرسوبي في جنوب حوض التدمرية منذ التريـاسي الأسفل حتى السينونيان، حيث يوضح هذا الشكل الهبوط التكتوني لقاعدة التريـاسي خلال المراحل التكتونية المختلفة التي مرت بها المنطقة. يبين منحني الهبوط التكتوني في الشكل6 ما يلي:

1- وجود ثلاث مراحل رئيسة لتطور الحوض الرسوبي وهي S1,S2,S3، تعكس ثلاث أعمار على التوالي الترياسي والجوراسي والكريتاسي.

2- المرحلة الرئيسة S1 تعكس هبوط مستمر وكبير خلال الترياسي (الأوسط إلى الأعلى)، والذي يفسر السماكة الكبيرة لرسوبات والتي بلغت 1770م ضمن وسط مائي يتراوح تقريبا من 0 – 100م. تقسم المرحلة الرئيسة S1 إلى مرحلتين ثانويتين S1-a و S1-b، في نهاية المرحلة S1-a نلاحظ استقرار نسبي في الهبوط يعكس مرحلة استقرار نسبي في هبوط الحوض الترسيبي والذي عكس بداية تشكل تشكيلة كورشينا دولوميت ليستمر الهبوط بشكل مستمر في المرحلة S1-b وفق هبوط مستمر يرافقه استقرار نسبي في سماكة مياه البحر، ليكون في النهاية استقرار نسبي في الهبوط يعكس بداية تشكل تشكيلة كورشينا انهدريت ليعود أيضا استمرار الهبوط بشكل أكبر ليعكس تشكل تشكيلة البطمة وفي النهاية استقرار نسبي في هبوط الحوض الترسيب في نهاية الترياسي.

3- المرحلة S2 هي مرحلة استقرار نسبي في هبوط الحوض خلال الجوراسي، ونهوض في نهايتها في قاع حوض الترسيبي.

4- المرحلة S3 هي مرحلة هبوط على مرحلتين، في بدايتها هبوط بسيط يتبعه استقرار نسبي في الكريتاسي الأسفل (الأبسيان والألبيان)، تليها مرحلة هبوط كبيرة، في نهايتها استقرار نسبي طفيفة مع هبوط تدريجي طفيف الحوض أقل من قيمة هبوط حوض في المراحل التي سبقتها.



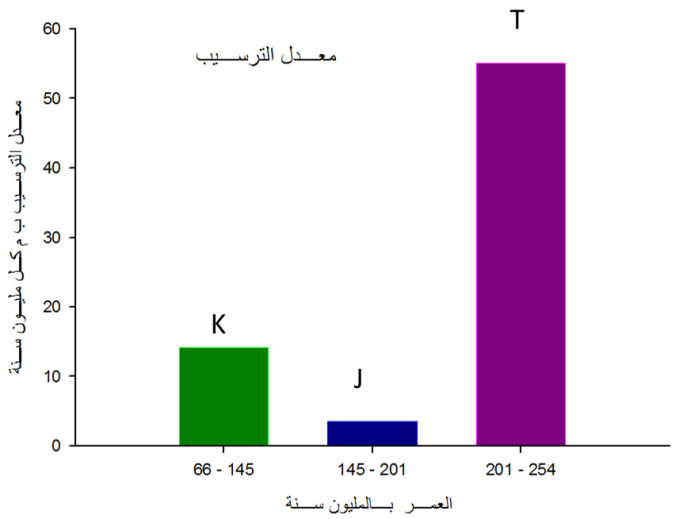
الشكل6: منحني الهبوط التكتوني Y، ومنحني الهبوط التكتوني الكلي Yt، ومحدد عليه المراحل الرئيسة لتغيرات قاع حوض الترسيب، (الباحث).

من الجدول1 نقوم بحساب السماكة الكلية الأولية لكل دور الترياسي والجوراسي والكريتاسي، ثم نقسم السماكة الكلية على المدة الزمنية لكل دور، فنحصل على معدل الترسيب بالمتر كل مليون سنة، كما هو موضح بالجدول (2)، نحول هذه القيم إلى منحني بياني كما هو موضح بالشكل(6)، ونقارنه مع منحني الهبوط التكتوني.

الجدول2: القيم المستخدمة في حساب معدل الترسيب.

الدور	العمرالزمني	السماكة الكلية الأولية للرسوبات	المدة الزمنية لكل دور	معدل الترسيب المدة الزمنية/ السماكة
الكريتاسي	66 – 145 My	1118.2m	79My	14.15 m/My
الجوراسي	145 – 201 My	204m	56 My	3.6 m/My
الترياسي	201 – 252 My	2922m	51 My	57.2m/MY

يبين الجدول2 والشكل7 أن قيم معدل الترسيب في دور الترياسي كبيرة، والذي يوافق مرحلة هبوط كبيرة ومستمرة في قاع الحوض الرسوبي خلال هذا الدور، أم قيم معدل الترسيب فهي صغيرة في دور الجوراسي، والذي يوافق مرحلة استقرار نسبي، والنهوض في قاع الحوض الرسوبي خلال نهاية هذا الدور سببت حت جزء من هذه التشكيلة، تزداد قيم معدل الترسيب في دور الكريتاسي والذي يوافق مرحلة هبوط في قاع الحوض الرسوبي خلال هذا الدور.



الشكل7: معدل الترسيب للتشكيلات الرسوبية في بئر القريتين، (الباحث).

منحني الهبوط التكتوني في إطار مراحل التطور التكتوني لسورية:

إن منحني الهبوط التكتوني المبين في الشكل6 والمراحل التكتونية المبينة عليه تتوافق مع التطور التكتوني في سوريا وحتى على مستوي شمال الصفيحة العربية:

من المعروف في زمن البرمي حتى الجوراسي حدث انفتاح مجالات النيو–تيتس التي رافقها هبوط تكتوني وتشكل أحواض باتجاه NW- SE في التدمرية حسب[26-27]، كذلك تركزت سماكة من رسوبات الجوراسي في مراكز ترسيب في البشري والبلعاس مما يشير لمتابعة الهبوط في زمن الجوراسي الأسفل تحت تأثير التطور الحراري للحوض الذي تبع مرحلة الانهدام الرئيسية في البرمي–ترياسي وفقاً ل [3,28,8,7].

في الجوراسي الأعلى، تم تسجيل مرحلة انسحاب بحرية مترافقة مع حت. حيث الجزء الأكبر من سوريا تحول إلى بيئة قارية في الكيمريدجيان الأعلى حسب [29]، إنها المرحلة المسؤولة عن حت وغياب جزء من رسوبات الجوراسي في شمال وجنوب التدمرية. إن هذه المرحلة التكتونية الهامة مسجلة أيضاً على منحني الهبوط التكتوني في بئر القريتين على شكل نهوض. أرجع باحثون هذه المرحلة الحتية إلى نهوضات محلية على شكل طي ذو طول كبير جداً في موجته كما في سيناء وشمال مصر وفقاً ل [30]، وفي جنوب شرق أوروبا حسب [31]، في نهاية الجوراسي، و في الكريتاسي الأسفل حدث تجاوز بحري إقليمي غطى الجزء الشمالي من البلاتفورم العربية بتوضعات نهرية ودلتاوية وكربونات لبحر قليل العمق، و في الواقع تسجيل المرحلة التكتونية الشدية هذه في الكريتاسي الأسفل على منحني الهبوط في منطقة الدراسة، و في التورونيان–السانتونيان–الكونياسيان حدد نهوض ممثل بوضوح على منحني الهبوط في حوض نهر الكبير الشمالي وفي الساحلية في أعلى الكريتاسي حسب [4]، ويرتبط بمرحلة الاعتلاء الأوفيوليتي على هامش الصفيحة العربية. هذا النهوض لم يظهر في بئر القريتين لبعده عن نطاق الاعتلاء. في الواقع تم تسجيل مرحلة تكتونية شدية في الكريتاسي الأعلى على منحني الهبوط في منطقة الدراسة وهي تتزامن مع تشكل انهدامات مثل انهدام الفرات.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- خلال دور الترياسي هناك مرحلة هبوط مستمرة رئيسة وكبيرة في قاع الحوض الترسيبي S1، تتوافق مع مرحلة الإنهدام البرمي الترياسي، التي تقسم إلى مرحلتين ثانويتين s1-1 و s1-2، والتي ترافقت مع معدلات ترسيب كبيرة (57.2 m/My).

2- في دور الجوراسي سادت مرحلة رئيسة S2 والتي عكست استقرار نسبي في هبوط قاع الحوض الترسيبي ونهوض قي قاع هذا الحوض، توافق مع مرحلة نهوضات محلية على شكل طي طويل جداً بعد مرحلة هبوط حراري في البداية، والتي ترافقت مع معدل ترسيب صغير (3.6 m/My).

3- في دور الكريتاسي سادت مرحلة رئيسة S3، والتي عكست مرحلتي هبوط قاع الحوض الترسيبي (أقل من قيمة الهبوط التكتوني في الترياسي)، وتتوافق مع مرحلة تشكل الإنهدامات مثل أنهدام الفرات، والتي ترافقت مع معدل ترسيب كبير نوعا ما (14.15 m/My) مقارنة مع معدل الترسيب في دور الترياسي.

يوصي البحث:

بالتوسع في حساب الهبوط التكتوني في كامل السلسلة التدمرية الجنوبية والشمالية ورسم خرائط تساوي الهبوط لكل مرحلة زمنية اعتمادا على معطيات الآبار، وتكامل النتائج مع بعضها لوضع تصور أدق عن مراكز الهبوط الرئيسة في هذه المنطقة ضمن إطارها الإقليمي.

References:

[1] M.F.Brunet, Méthode d'étude quantitative de la subsidence, Dans Dynamique et Methodes d `etude des Bassins Sedimentaires, Association des Sedimentologistes Français, pp. 87-98,(1989).

[2] A.B.Watts, An analysis of Isostasy of the world`s oceans, Journal of geophysical research, vol.83, pp.5989-6004, (1978).

[3] T.Chaimov, M.Barazangi, D.AL-saad, T.Sawaf, and A.Gebran, Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in southwestern intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria, Geological Society of America Bulletin, vol 104.6, pp.704-715, (1992).

[4] A.AL-Abdalla, Evolution Tectonique de la Plate-forme Arabe en Syrie depuis le Mésozoïque, Thèse Doct, Université de Paris6, PP.302, (2008).

[5] Z.R.Beydoun, Arabian plate hydrocarbon geology and potential-a plate tectonic approach: Am. Assoc. Petrol. Geol, Study in Geol, vol.33, pp.77, (1991).

[6] J.F.Salel, Tectonique de chevauchement et inversion dans la chaîne des Palmyrides et le Graben de l'Euphrate (Syrie) ; conséquence sur l'évolution de la plaque arabe. Mémoire de thèse à l'université de Montpellier 2, vol , pp.288, (1993).

[7] J.A.Best, Crustal evolution of the northern Arabian platform beneath the Syrian Arab Republic, Unpublished PhD thesis, Cornell University, Ithaca, pp.152, New York, (1991).

[8] R.K.Litak, M.Barazangi, W.Beauchamp, D.Seber, G.Brew, T.Sawaf, and W.AL-Yuossaf, Mesozoic-Cenozoic evolution of the intraplate Euphrates fault system, Syria: implications for regional tectonics. Journal of the Geological Society, vol.154, pp.653–666, London, (1997).

[9] V.P.Ponikarov, The geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, scale 1:200 000, Ministry of Industry, Syrian Arab Republic, (1966).

[10] T.Sawaf, Z.Tarek, Paleozoic and Mesozoic litho-stratigraphy of the northern Arabian Platform, Syria. IGCP, project 343, Damascus Conference, 2 September, p.8, Syria, (1996), In Arabic.

[11] M.S.Stekler, A.B.Watts, Subsidence of Atlantic-type continental margin off New York, Earth and Planetry Science Letters, Vol.41, pp.1-1, (1978).

[12] M.S.Steckler, A.B.Watts, and J.A.Thorne, Subsidence and basin modeling at the U.S. Atlantic passive margin, Geological Society of America, vol.1-2, pp.399-41, (1988).

[13] M.F.Brunet, Etude qualitative de la subsidence du bassin de Paris, Thèse 3 cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris6, pp.161,(1981).

[14] K.G.Miller, M.A.Kominz, J.V.Browning, J.D.Wright, G.S.Moutain, M.E.Katz, P.J.Sugarman, B.S.Cramer, N.Christie-Blick, and S.F.Pekar, The Phanerozoic record of global sea-level change, Journal Science, vol.310(5752), pp.1293–1298, (2005).

[15] P.W.Choquette, N.P.Jamas, Digenesis in limestone, the deep burial environment, Geosciences Canada, vol.14, pp.3-35, (1987).

[16] M.Mouty, K.Al-Maleh, Geological study of the Palmyrides chain. Syrian Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus, p.1-257, (1983), In Arabic.

[17] L.L.Raymer, E.R.Hunt, and J.S.Garder, An Improved Sonic Transit Time-to-Porosity Transform, SPWLA Trans, 21st Ann, Log. Symp, (1980).

[18] M.H.Kamel, W.M.Mabrouk, AND A.I.Bayoumi, Porosity Estimation Using a Combination of Wyllie-Clemenceau Equation in Shaly Sand Formation from Acoustic Logs, Journal of Petroleum Science and Engineering, vol.33, pp.241-251, (2002).

[19] General Petrolum Corporation, Syrian Ministry of oil, Records of Well All – Qaratayn, Damascus, (2003). In Arabic.
[20] P.RVial, R.M.JR.Mitchum, S.Thompson, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part4: global cycles of relative changes of sea level. In Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. Edited by C.E. Payton. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26, pp.201-225, (1977).
[21] P.R.Vail, R.M.JR.Mitchm, Global cycles of relative changes of sea-level from seismic stratigraphy, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 29, (1979).
[22] M.A.Kominz, J.V.Browning, K.G.Miller, P.J.Sugarman, S.Misintseva, and C.R.Scotese, Late Cretaceous to Miocene sea-level estimates from the New Jersey and Delaware coastal plain coreholes: An error analysis, Basin Research , vol.26, PP.211–22, (2008).
[23] K.G.Miller, M.A.Kominz, J.V.Browning, J.D.Wright, G.S.Moutain, M.E.Katz, P.J.Sugarman, B.S.Cramer, N.Christie-Blick, and S.F.Pekar, The Phanerozoic record of global sea-level change, Journal Science, vol.310(5752), pp.1293–1298, (2005).
[24] W.C.Pitman, Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins. Geological Society of America Bulletin, vol.89, pp.1389-1403, (1978).
[25] M.Mouty, Données nouvelles sur le Jurassique dans les Palmyrides, Syrian geological magazine, vol.2, pp.20-22, (1978). In Arebic.
[26] G.Brew, M.Barazangi, A.K.AL-maleh, AND T.Sawad, Tectonic and Geologic Evolution of Syria, GeoArabia, n 6, 4. pp.573-616, (2001).
[27] T.Sawaf, G.Brew, R.KLitak, and M.Barazangi, Geologic evolution of the intraplate Palmyride Basin and Euphrates fault system, Syria. In, W. Cavazza, A. Robertson and P. Ziegler (Eds.), PeriTethyan rift/wrench basins and passive margins, Memoires du Muséum National d'Historie Naturelle, PeriTethys Memoir 6, Paris, (2001).
[28] T.Chaimov, M.Barazangi, D.AL-saad, and T.Sawaf, Seismic fabric and 3-D upper crustal structure of the southwestern intracontinental Palmyride fold belt, Syria, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, vol.77, pp.2032-2047, (1993).
[29] M.Mouty, The Jurassic in Syria: an overview. Lithostratigraphic and biostratigraphic correlations with adjacent areas. In, S. Crasquin-Soleau and E. Barrier (Eds.), New data on PeriTethyan sedimentary basins. Memoires du Muséum National d'Historie Naturelle, Paris, PeriTethys Memoir 5, pp.159–168, (2000).
[30] M.L.Keeley, R.J.Wallis, The Jurassic System in the Northern Egypt: II, Depositional and tectonic regimes, Journal of Petroleum Geology, vol.14, pp.49–6, (1991).
[31] A.M.Nikishin, P.A.Ziegler, S.Cloething, R.A.Stephenson, A.V.Furne, P.A.Fokin, A.V.Ershov, S.N.Bolotov, M.V.Koraev, A.S.Alekseev, I.Gorbachev, E.V.Shipilov, A.Lankrejer, and I.V.Shalimov, Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: dynamics of sedimentary basin evolution. Tectonophysics, vol. 268, pp.23-63, (1996).