

Tectonic Subsidence in the Syrian Coastal Range During Cretaceous

Dr. Abdulkarim Al-Abdalla *

(Received 24 / 10 / 2021. Accepted 18 / 8 / 2022)

□ ABSTRACT □

Investigation of tectonic subsidence of Cretaceous formations in the Syrian Coastal Range using three litho-stratigraphic columns, located in its northern, its southern parts and in the Lattakia-1 well, shows three stages of tectonic subsidence; during Albian, Cenomanian and Maastrichtian ages. The subsidence attained highest value in the northern Coastal Range. This study also shows the presence of an uplift stage from Coniacian to Campanian, The uplift attained highest value in the Lattakia-1 well. These stages contributed with sea level changes in sedimentation evolution of the Cretaceous basin, recorded highest value of sedimentation rate correspondent to tectonic subsidence stages. The highest value reached 45 m/My to 67 m/My during Cenomanian age. The stages recorded at studied curves in the Coastal Range are not only local, yet it affected by regional stages at the level of northern Arabian Plate. It was related to the opening of the Eastern Mediterranean in Lower Cretaceous and to the Ophiolitic Obduction and the following subsidence resultant of its loading at Upper Cretaceous.

Keywords: tectonic subsidence - Coastal Range-Cretaceous -sedimentary basin

* Associate Professor - Department of Geology-Faculty of Science- Tishreen University- Lattakia-Syria- abdul976@yahoo.fr

الهبوط التكتوني في السلسلة الساحلية السورية خلال الكريتاسي

د. عبد الكريم العبد الله*

(تاريخ الإيداع 24 / 10 / 2021. قُبِلَ للنشر في 18 / 8 / 2022)

□ ملخص □

بينت دراسة الهبوط التكتوني لتشكيلات الكريتاسي في السلسلة الساحلية السورية في ثلاثة أعمدة ليتوستراتغرافية، في شمالها وفي جنوبها وفي بئر اللاذقية¹، وجود ثلاث مراحل من الهبوط التكتوني مرّ بها حوض الكريتاسي؛ في الألبان والسينومانيان والماستريختيان، حيث بلغ الهبوط أعلى قيمه في شمال السلسلة الساحلية. كما بينت الدراسة وجود مرحلة من النهوض من الكونياسيان حتى الكامبانيان، حيث بلغ النهوض أعلى قيمه في بئر اللاذقية¹. إن هذه المراحل ساهمت مع تغيرات منسوب البحر في التطور الترسيبي لحوض الكريتاسي، فقد سجلت أعلى قيم لمعدلات الترسيب بشكل متوافق مع مراحل الهبوط التكتوني وبلغ أعلاها قيماً بين 45 م إلى 67 م في المليون سنة في السينومانيان. إن المراحل المسجلة على المنحنيات المدروسة في السلسلة الساحلية ليست مراحل محلية فقط بل هي متأثرة بمراحل إقليمية على مستوى شمال الصفيحة العربية فهي مرتبطة مع انفتاح حوض شرق المتوسط في الكريتاسي الأسفل والاعتلاء الأوفيووليتي وما تبعها من هبوط ناتج عن تحميل الأوفيووليت في الكريتاسي الأعلى.

الكلمات المفتاحية: الهبوط التكتوني - السلسلة الساحلية - الكريتاسي - حوض رسوبي.

* استاذ مساعد - قسم الجيولوجيا بكلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. abdul976@yahoo.fr

مقدمة:

الهبوط التكتوني هو هبوط قاع الحوض الرسوبي نتيجة سبب تكتوني. تساهم دراسة الهبوط التكتوني في فهم مراحل تشكل الحوض الرسوبي وتطورها التكتوني مع الزمن. إن تأثير التحميل الرسوبي على قاع الحوض يشكل 60-80% من الهبوط الملاحظ وما تبقى سببه تكتوني صرف (Brunet, 1989). فالتراكمات الكبيرة من الرسوبات والتي قد تصل لأكثر من 1000م من الطبقات الرسوبية (كما هي الحال في رسوبيات الكرييتاسي في السلسلة الساحلية السورية) والتي توضع في وسط مائي لا يتجاوز عمقه 50 م لا يمكن تفسير حدوثها إلا بوجود هبوط قاع الحوض الترسيبي، فالحوض بدون هبوط قاعه سيمتلئ وتتعرض طبقاته للحت ولن تصبح التراكمات الرسوبية ثخينة بالأصل. إن أصل الهبوط في الغالب تكتوني ناتج عن ترقق قشري و قد يكون الهبوط من أصل حراري (هبوط حراري). الهبوط 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 (Watts, 1978). 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 (Brunet, 1989).

أهمية البحث وأهدافه:

تمثل السلسلة الساحلية بموقعها في شمال غرب الصفيحة العربية ومناختها لحدودها، التي شهدت أحداثاً جيوديناميكية مفصلية، سجلاً مهماً نعتقد أنه احتفظ بمراحل التطور الجيولوجي خلال الكرييتاسي. إن تطبيق دراسة الهبوط التكتوني ستكشف النقاب عن المراحل التكتونية التي مر بها تطور الحوض الرسوبي في السلسلة الساحلية، وذلك اعتماداً على مجموعة من العلاقات والحسابات الرياضية التي تطبق على معطيات الأعمدة الليتوستراتغرافية، والتي تحدد في النهاية تغيرات قيمة الهبوط في الحوض خلال الزمن الجيولوجي. إن منحنيات الهبوط التكتوني تستخدم من قبل جيولوجي النفط من أجل تقدير زمن نضج المادة العضوية إن وجدت في تشكيلات المنطقة المدروسة. إن أهداف هذا العمل هي:

- 1- حساب الهبوط التكتوني في حوض السلسلة الساحلية خلال الكرييتاسي.
- 2- تحديد المراحل التكتونية الرئيسية التي مر بها الحوض الرسوبي.

طرائق البحث و موادّه:

تم الاعتماد في طريقة العمل على المعادلة الرياضية الأساسية لحساب الهبوط التكتوني (Steckler and Watts 1988; Steckler et al. 1978)، وعلاقة حساب الهبوط التكتوني الصرف (Brunet, 1981) والتي طبقت على معطيات الحفر والعمود الليتولوجي في عمودين ليتولوجيين لتشكيلات الكرييتاسي في شمال وجنوب السلسلة الساحلية وفي بئر اللاذقية 1 المنفذ من قبل الشركة السورية للنفط في جنوب غرب حوض نهر الكبير الشمالي:

$$Y = W_d + S_0 [(\rho_m - \rho_s) / (\rho_m - \rho_w)] - \Delta s l [\rho_m / (\rho_m - \rho_w)]$$

$$Y_t = S_0 [(\rho_m - \rho_s) / \rho_m] + W_d [(\rho_m - \rho_w) / \rho_m] - \Delta s l \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن: Y الهبوط التكتوني الكلي، Y_t الهبوط التكتوني الصرف، W_d (water depth) عمق المياه في الحوض أثناء ترسيب تشكيلة ما S[(ρ_m-ρ_s)/(ρ_m-ρ_w)] هو التحميل الرسوبي (Sediment loading)، (Δs l/ρ_m/ρ_m-ρ_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، Δs_l تغير منسوب البحر خلال الزمن الجيولوجي الذي ترسبت خلاله تشكيلة ما. لحساب الهبوط التكتوني قمنا بالآتي:

1- حساب ثخانة الرسوبات الأولية S_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 (Steckler et al. 1988):

$$S_0 = S(1-\emptyset)/(1-\emptyset_0) \dots\dots\dots(2)$$

حيث S الثخانة الحالية للطبقة أو التشكيلة المراد فك تراصها، \emptyset مسامية الطبقات الصخرية الحالية، \emptyset_0 المسامية الأولية للرسوبات. ويتم فك التراص للطبقات والتشكيلات الصخرية اعتباراً من أقدم تشكيلة في الأسفل إلى الأحدث في الأعلى، بعد حساب المسامية الحالية والمسامية الأولية للطبقات الصخرية:

- حساب المسامية الأولية للرسوبات \emptyset_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 (Athy 1930,):

$$\emptyset = \emptyset_0 e^{-cy} \dots\dots\dots(3)$$

حيث: \emptyset مسامية الطبقات الصخرية الحالية عند العمق y ، \emptyset_0 المسامية الأولية، c ثابت يتعلق بالتركيب الليتولوجي للصخر. أو تحسب من خلال منحنيات نظرية لتغير المسامية مع العمق لكل نوع صخري (Choquette and James 1987, bond and Kominz 1984). تبين العلاقة 3 بأن المسامية تتغير بشكل أسّي مع العمق، ولحساب المسامية على السطح نحتاج لمعرفة المسامية الحالية للطبقات الصخرية (\emptyset) التي يتم حسابها من معطيات دراسة الشرائح الصخرية وهي متوفرة في دراسة (Filak 2002) أو من خلال القياسات البئرية الصوتية في بئر اللاذقية I 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 (Raymer et al. 1980, Kamel, et al. 2002):

$$\emptyset = \Delta t_{log} - \Delta t_{ma} / \Delta t_f - \Delta t_{ma} \dots\dots\dots(4)$$

حيث: Δt_{log} تؤخذ من منحنى التسجيل الصوتي مباشرة، Δt_f وهي 189 للطفلة العذبة، 185 للطفلة المألحة، أما Δt_{ma} فتؤخذ من جدول خاص يمثل قيم Δt_{ma} لكل نوع صخري، فمثلاً تكون Δt_{ma} للحجر الكلسي 47.6 وللدولوميت 43.5 وللحجر الرملي 55.5 وللأنهدريت 50.

- نطبق قيمة \emptyset المحسوبة من العلاقة 4 في العلاقة رقم 3 فنحصل على قيمة المسامية الأولية للرسوبات \emptyset_0 ، وذلك مع العلم أن الثابت c هو ثابت يعبر عن مقدار تناقص مسامية كل نوع صخري مع زيادة العمق بمقدار 1 كم ويعطى كنسبة مئوية. وهناك قيم محددة للمعامل c لكل نوع صخري مثل الحجر الكلسي 55.7 %، الدولوميت 31 %، الحجر الرملي 39 %، الغضار 51 %، الكونغولوميرا 27 % (Sclater and Christie 1980).

- نطبق قيمتا المسامية \emptyset و \emptyset_0 في العلاقة 2 فنحصل على ثخانة الرسوبات الأولية S_0 . لا بد من التنويه إلى أنه يتم تقسيم التشكيلة الممتلئة بعمر جيولوجي محدد إلى عدة مجالات بالاعتماد على تغيرات المسامية الحالية والليثولوجيا ثم يتم حساب المسامية والثخانة الأولية للرسوبات لكل مجال ضمن العمر الزمني.

2- حساب كثافة الرسوبات ρ_s بعد فك التراص للتشكيلات في كل عمر جيولوجي محدد، بعد أن يتم فك التراص لكل مجال صخري وحساب الشخانة الأولية له، وذلك بدءاً من الأقدم إلى الأحدث ، ومن ثم حساب قيمة الكثافة لكامل المجال: وذلك وفق العلاقة (Steckler et al. 1988):

$$\rho_s = \sum [\rho_w \varnothing_0 + \rho_{gi} (1 - \varnothing_0)] S_0 / S \dots\dots\dots(5)$$

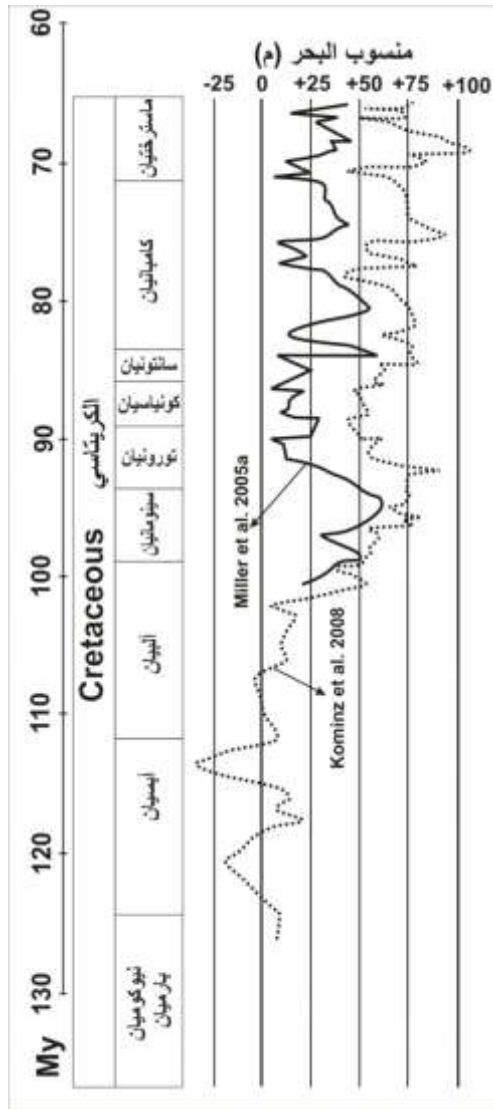
حيث: ρ_w كثافة الماء، وقيمتها ثابتة وتقدر ب 1.03 غ/سم³، ρ_{gi} هي كثافة الحبات الرسوبية وهي تكون معطاة في جدول خاص يوضح قيمها لكل نوع صخري ومثلاً تكون قيمتها للحجر الكلسي 2.71 غ/سم³ ، للغضار 2.72 غ/سم³ ، للمارل 2.715 غ/سم³ ، للكونغولوميرا 2.68 غ/سم³ ، للرمل 2.65 غ/سم³.

3- 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 3.25 غ/سم³، ρ_w كثافة الماء وتقدر ب 1.03 غ/سم³.

4- تحديد مقدار تغير منسوب البحر Δs 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 (Vial et al., 1977, Watts 1978 and 1982, Pitman 1978, Vial and Miller et al. 2005a, Kominz et al. 2008). تم في هذا العمل الاعتماد على منحنيات Miller et al. 2005a و Kominz et al. 2008 وأخذت القيم المتوسطة لهما لتقدير تغيرات منسوب سطح البحر خلال الكريتاسي (الشكل 1).

5- تحدد Wd عمق وسط الترسيب الذي تشكلت فيه طبقة أو تشكيلة رسوبية وتقدر بمجال بالمترا (المتوسط) من خلال سحنة الرسوبات الليتولوجية والباليونتولوجية للطبقة أو التشكيلة، واعتمد في تحديدها الدراسات الترسيبية والستراتغرافية السابقة في المنطقة (Mouty 1967, Filak 2002). أعطيت Wd قيمة متوسطة بين قيمتين دنيا وعليا وحُسيب على أساسها الهبوط التكتوني.

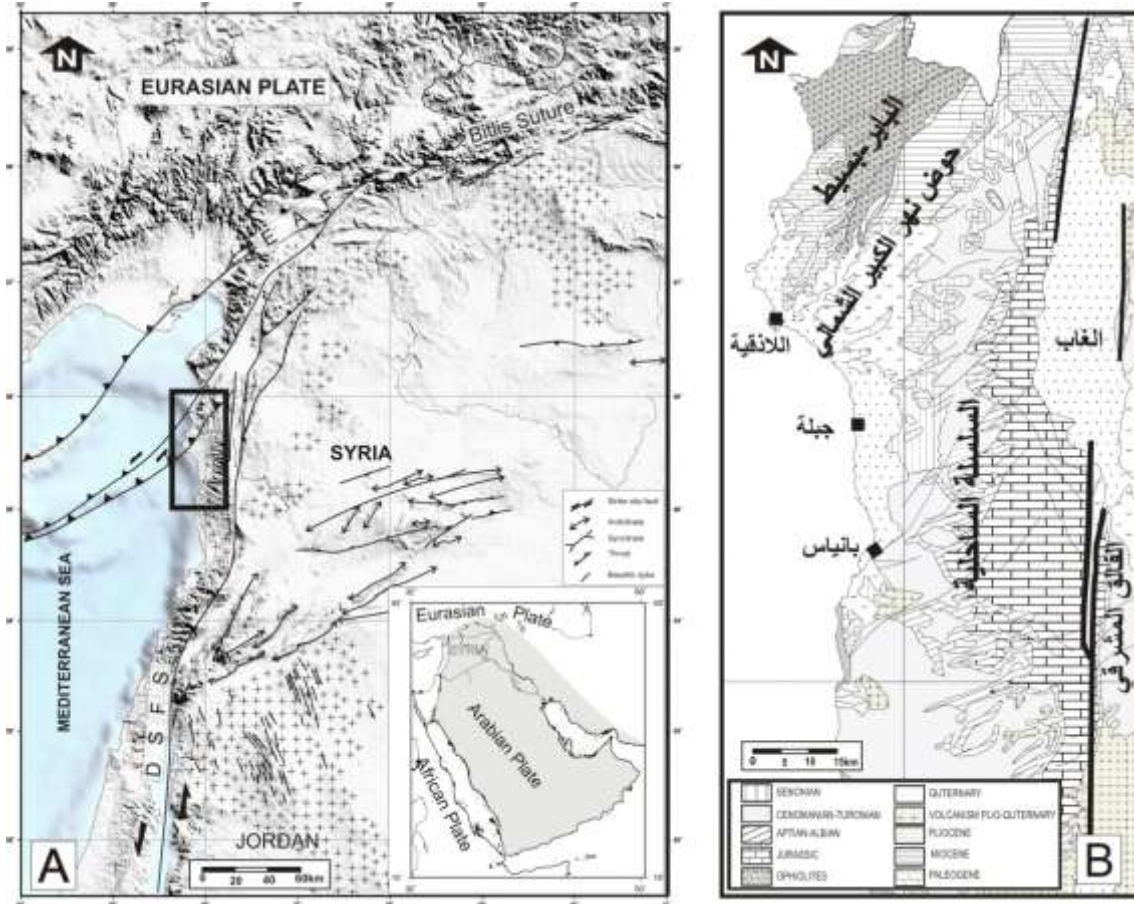
6- بعد إجراء كل الحسابات سابقة الذكر نعوض القيم في العلاقة 1 فنحصل على قيمة Y و Yt في فترة جيولوجية محددة. نقوم بتكرار تطبيق جميع الخطوات السابقة على كل تشكيلة ستراتغرافية ممثلة لعمر جيولوجي لنحصل على قيم الهبوط على كامل أدوار السلم الستراتغرافي للحوض، ونقوم برسم منحنى يربط تغير قيم الهبوط التكتوني مع الزمن الجيولوجي فنحصل على منحنى 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.



الشكل 1: تغيرات منسوب سطح البحر خلال الكريتاسي. حسب (Miller et al. 2005a ، Kominz et al. 2008).

الإطار الجيولوجي:

تقع منطقة الدراسة في شمال غرب سورية ضمن وحدة السلسلة الساحلية. حيث يشمل شمال غرب سورية ثلاث وحدات بنيوية رئيسية وهي السلسلة الساحلية ومنطقة البايير- بسيط وحوض نهر الكبير الشمالي، التي تحد من الشرق الصدع المشرقي وانهدام الغاب (الشكل 2). تتميز منطقة البايير-بسيط بوجود صخور المعقد الأوفوليوتي المعنلي على شمال السطيحة الرسوبية العربية Arabian Platform وذلك خلال زمن الماسترخيتان (Parrot, 1977). يمثل حوض نهر الكبير الشمالي حوض نيوجيني رسوبي يتوضع بعدم توافق على التوضعات الأقدم عمراً. تتكشف في منطقة جنوب الحوض صخور رسوبية تتراوح أعمارها الجيولوجية بين الماسترخيتان الأعلى والميوسين الأوسط مروراً بالبالوجين. أما التشكيلات الأقدم فتخترقها مجموعة من الآبار تصل حتى الجوراسي مثل بئر اللادقية 1 (الشكل 2).



الشكل 2: موقع منطقة البحث. A-خارطة بنيوية لشمال غرب الصفيحة العربية (Al-Abdalla, 2008) -B- خارطة جيولوجية تبين الوحدات البنيوية الرئيسية في غرب سورية لمنطقة البحث معدلة عن الخارطة الجيولوجية 1/20000 لـ (Ponikarov, 1966).

تشكل السلسلة الساحلية محدباً N-S غير متناظر محدد من الشرق بالصدع المشرقي وانهدام الغاب. إن السلسلة هي محدب وحيد الميل والجناح الشرقي لمحدب السلسلة قصير وغائب في مستوي انهدام الغاب. تميل التشكيلات الرسوبية في هذه السلسلة نحو الغرب بحدود 10° - 20° . هذه التشكيلات مصابة بشبكة من الصدوع متعددة الاتجاهات، وأغلبها صدوع عادية NE-SW موازية لحوض نهر الكبير الشمالي. في شمال السلسلة تميل الطبقات نحو الشمال الغربي وتغيب تحت توضعات النيوجين في حوض نهر الكبير الشمالي.

الستروغرافيا:

قسم الكريتاسي في السلسلة الساحلية إلى وحدات ليتوستراتغرافية (Mouty, 1967)، وكل وحدة قسمت إلى تحت وحدات من قبل Filak 2002 (الجدول 1):

- تشكيلة باب جنة: 10-30م من عمر الألبسيان الأسفل وتتكون من مارن وكلس مارني أخضر اللون، قسمت من قبل Filak, 2002 إلى قسمين: قسم أسفل BJ1 كربوناتي مميز لوسط ترسيب قاري بحيري وقسم أعلى BJ2 غضاري يحدد وسط ترسيب لاغوني بحري هامشي.

- تشكيلة عين البيضا: 100-120م من عمر الألبسيان مكونة من تعاقب كلس غضاري ومارن ودولوميت ومارن دولوميتي، و في جنوب الساحلية يوجد فيها مستوي بازلتي بثخانة 50م. قسمت 2002 من قبل Filak إلى قسمين:

قسم أسفل AB1 كلسي بيوكلاستي مميز لوسط ترسيب شاطئ علوي قليل العمق، وقسم أعلى AB2 ذو وسط ترسيب أقل عمقاً من القسم السابق مكون من الكلس والدولوميت.

الجدول 1: تقسيمات الكريتاسي في السلسلة الساحلية السورية.

العمود الليثولوجي Filak 2001	الرمز على الخرائط 1/50000	التشكيلات			العمر
		حسب Filak 2001	حسب معطي 1967		
			جنوب الساحلية	شمال الساحلية	
S1+2	C6 ²	شيرانيش	-	-	ماسترختيان
AT2	C6 ¹	S2 السخنة/ أرك؟	-	-	كامبانيان سانتونيان كونياسيان
AT1		S1 السخنة/ رماح؟			
BA4	C5	AT2	-	-	تورونيان
BA3		AT1			
BA2	S4B	BA4	الحنفية	باب عبد الله	سينومانيان أوسط-أعلى
BA1		BA3			
SL4		BA2			
SL3		BA1			
SL2	S4S	SL4	صلنفة	صلنفة	سينومانيان أسفل-أوسط
SL1		SL3			
AB2		SL2			
AB1		SL1			
BJ2	C3	AB2	البلاطة	عين البيضا	الألبيان
BJ1		AB1			
	C2	BJ2	باب جنة	باب جنة	الأبسيان
		BJ1			

- تشكيلة صلنفة: من عمر السنومانيان الأسفل- أوسط وهي بثخانة 150-200م مؤلفة من مستوي مارني مع جيودات سيليسية ومستوي كلسي مارني غني بمستويات سيليسية ومستوي آخر كلسي غني بالروديست. قسمت من قبل Filak,2002 إلى أربعة أقسام: قسم سفلي SL1 مارني (مارن صلنفة) غني بالبلاكتون الطافي مميز لتعمق رئيسي في الحوض الرسوبي، القسم SL2 مكون من كلس حطامي ذو سيليس، قسم SL3 مكون من كلس غضاري ذو سيليس، وقسم علوي SL4 مكون من كلس حطامي (جدار صلنفة). إن المرور السريع من كلس ذو سيليس في القسم SL2 إلى كلس غني بالبلاكتون القاعي يميز تناقص عمق وسط الترسيب تدريجياً.

- تشكيلة باب عبد الله: من عمر سينومانيان أوسط- أعلى بثخانة 150-250م مكونة من تعاقب مستويات مارنية كلسية تحوي الأمونيت والسيليس وجدارين من الكلس الكتلي الغني بالروديست. قسمت من قبل (Filak,2002) إلى أربعة أقسام: قسم سفلي BA1 كلسي غضاري (مارن باب عبد الله) ذو أمونيت مميز لتعمق جديد في الحوض الرسوبي، القسم BA2 مكون من كلس حطامي على شكل جدار بارز في الطبيعة يميز نقص عمق حوض الترسيب، القسم BA3 مكون من مارن ذو سيليس عقدي عموماً مشيراً لتعمق جديد في الحوض الرسوبي، والقسم العلوي BA4

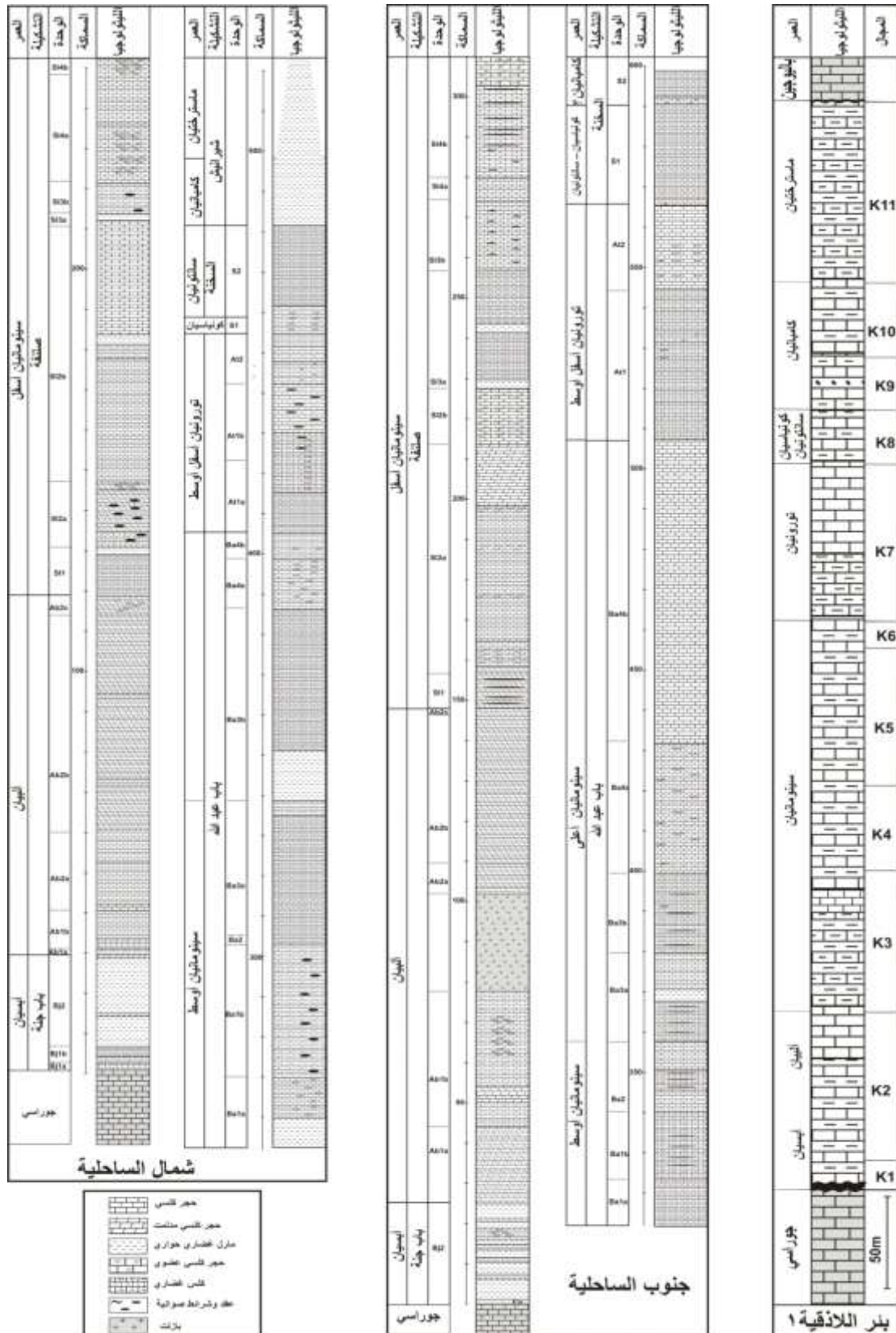
- مكون من كلس حطامي (جدار علوي). إن المرور السريع من مارن ذو سيليس في القسم BA3 إلى كلس حطامي يميز تناقصاً جديداً في عمق وسط الترسيب حتى قمة القسم BA4 حيث تلاحظ شبكة من جذور النباتات محددة مرحلة من الطفو.
- تشكيلة عين التينة: من عمر التورونيان أسفل- أوسط، تم تسميتها من قبل (Filak,2002)، وهي ذات ثخانة متغيرة وتتكون من وحدة غضارية كلسية AT1 غنية بالأمونيت والبلانكتون ووحدة كلسية حطامية غنية في قمته بالروديست AT2 والتي تميز وسط قليل العمق.
- تشكيلة السخنة: تم استخدام هذه التسمية من قبل (Filak,2002) وهي من التسميات المستخدمة من قبل جيولوجي البترول، وهي غائبة محلياً في بعض مناطق السلسلة الساحلية، ثخانتها العظمى 40م من عمر الكونياسيان - سانتونيان-كامبانيان وهي مكونة من كلس وكلس فوسفاتي. قسمت حسب Filak,2002 إلى قسم سفلي كلسي بيوكلاستي S1 ينتهي بسطح حتي قد يسبب محلياً غياب هذا الجزء من التشكيلة وقد يطال الحث التورونيان وحتى السينومانيان، وقسم علوي كلسي حطامي فوسفاتي. إن وسط ترسيب هذه التشكيلة هو وسط بحري مفتوح.
- تشكيلة شيرانيش: تم استخدام هذه التسمية من قبل (Filak,2002) وهي من التسميات المستخدمة من قبل جيولوجي البترول، من عمر كامبانيان- ماسترختيان، بثخانة 100م حتى 200م وقد تصل إلى أكثر من 400م مكونة من مارن متورق غني بالمستحاثات الطافية، تميز وسطاً بحرياً مفتوحاً وعميقاً نسبياً.

النتائج والمناقشة:

اعتمدت في هذا العمل معطيات الأعمدة الليثولوجية (الشكل 3) المقامة في جنوب وشمال السلسلة الساحلية ومعطيات الحفر في بئر اللاذقية 1 الذي يخترق تشكيلات السلسلة الساحلية الموجودة تحت رسوبيات حوض نهر الكبير الشمالي النيوجينية (Leonov et al. 1985). يبين الشكل 3 تقسيمات الكريتاسي وتشكيلاته ووحداته الصخرية وتحت الوحدات الصخرية المحددة من قبل Mouty 1967 و Filak 2002 وذلك في جنوب وشمال السلسلة الساحلية، كذلك الأمر بالنسبة لمجالات الكريتاسي في بئر اللاذقية 1 التي تم تحديدها بناءً على التغيرات في منحنى التسجيل البئري الصوتي Sonic log وعلى العمر الجيولوجي.

ليتوستراتغرافية تشكيلات الكريتاسي في شمال السلسلة الساحلية: قسم الكريتاسي لثمان وعشرين تحت وحدة صخرية (Filak 2002) والتي اعتمدت كمجالات لحساب المسامية الأولية التي تعدّ الخطوة الأولى اللازمة لإجراء بقية الحسابات اللازمة لتحديد الهبوط التكتوني. توزعت المجالات الثماني والعشرون كالاتي (الشكل 3 و الجدول 2): 3 في الأبيسان (مارل وكلس مارلي أخضر اللون)، 5 في الألبيان (كلس غضاري ومارن ودولوميت ومارن دولوميتي)، 14 في السينومانيان (تعاقب كلس حطامي وكلس غضاري ذو سيليس ومستويات مارلية كلسية)، 3 في التورونيان (غضار كلسي وكلس حطامي)، 2 في الكونياسيان-سانتونيان-كامبانيان (كلس عضوي حطامي ومارل وكلس فوسفاتي) و 1 في الماسترختيان (كلس غضاري ومارل متورق).

ليتوستراتغرافية تشكيلات الكريتاسي في جنوب السلسلة الساحلية: قسم الكريتاسي في جنوب السلسلة الساحلية إلى خمس وعشرين تحت وحدة صخرية (Filak 2002) والتي اعتمدت كمجالات لتطبيق الحسابات اللازمة. توزعت المجالات الخمسة والعشرون كالاتي (الشكل 3 و الجدول 3): 1 في الأبيسان، 4 في الألبيان، 14 في السينومانيان،



الشكل 3: الأعمدة الليثولوجية في منطقة البحث والمعتمدة في عمليات حساب الهبوط التكتوني. الأعمدة في شمال وجنوب السلسلة الساحلية مأخوذة من معطيات (Mouty, 1967 و Filak 2002) أما بئر اللاذقية 1 فهي من بيانات الشركة السورية للنفط 1982.

و3 في التورونيان، 2 في الكونياسيان-سانتونيان-كامبانيان و 1 في الماسترختيان (الجدول2). إن التركيب الصخري في هذه الأعمار والمجالات مشابه لما وصف في تشكيلات شمال الساحلية. ليتوستراتغرافية تشكيلات الكريتاسي في بئر اللاذقية1: اخترقت بئر اللاذقية1 مجموعة من التشكيلات الرسوبية من الجوراسي حتى النيوجين. تقع رسوبات الكريتاسي في المجال العمقي بين 3166-2550م. تم تقسيم الكريتاسي لأحد عشر مجالاً على أساس معطيات التسجيلات الصوتية في البئر التي استخدمت في حساب المسامية الحالية للصخور وهي موزعة كالتالي (الشكل3، الجدول4): K1-K2 من عمر الأبيسان-أليبان، K3 حتى K6 من عمر من السينومانيان، K7 يعود للتورونيان، K8 يعود إلى الكونياسيان-سانتونيان، K9-K10 من عمر الكامبانيان و K11 يعود للماسترختيان. يتكون الأبيسان-أليبان من الحجر الكلسي والغضار الكلسي والمارل الدولوميتي. أما السينومانيان فيتكون من الحجر الكلسي والكلسي الغضاري والمارل وشرائط وعقد من الصوان. أما التورونيان فيحتوي على المارل والحجر الكلسي والحجر الرملي، ويتكون الكونياسيان والسانتونيان من الحجر الكلسي والكلس الغضاري، ويتألف الكامبانيان من الحجر الكلسي والغضار الكلسي والفوسفاتي مع الصوان. أما الماسترختيان فيحتوي على الحجر الكلسي الغضاري والدولوميتي.

حساب الهبوط التكتوني: تم تطبيق طريقة العمل المذكورة أعلاه على مجالات الأعمدة الليتولوجية الكريتاسية المقامة في شمال وجنوب السلسلة الساحلية وبئر اللاذقية1، حيث تم فك تراص الوحدات الصخرية في الأعمدة الليتولوجية من الأسفل إلى الأعلى. كذلك تم تقدير عمق الترسيب وتغيرات منسوب سطح البحر الموافق لكل تشكيل صخرية وحساب كثافة الرسوبات وأخيراً تطبيق العلاقة (1) لحساب هبوط قاع حوض الترسيب في كل عمر جيولوجي. توضح الجداول2 و3 و4 الآتي:

- تراوحت قيم مسامية الطبقات الصخرية (\emptyset) المحددة بالعلاقة (4) في الأعمدة الليتولوجية المدروسة ما بين 0.4% و 30%. أما مسامية الرسوبات الأولية (\emptyset_0) المحددة بالعلاقة (2) فتضاعفت قيمها عن قيمة مسامية الطبقات الصخرية (\emptyset) بنسب تتراوح بين 25% حتى ما يزيد عن 150% (الشكل4).
- تراوحت الزيادة في ثخانة الرسوبات (S_0) بعد فك تراص الطبقات الصخرية بين أقل من 2% إلى أكثر من 70% والتي تلعب المسامية الأولية والعمق والتركيب الليتولوجي دوراً في زيادة قيمتها.
- حسبت قيم كثافة الرسوبات بحسب العلاقة (5) بين 1,9 و 2,7 وكانت القيمة المتوسطة لها في جميع الأعمدة بحدود 2.36 غ/سم³. تعود القيم المنخفضة للكثافة لزيادة قيم المسامية الأولية أو لزيادة نسبة الغضار.
- تبين قيم الهبوط التكتوني المتوسطة المحسوبة بناء على العلاقة (1) وكل الحسابات اللازمة الداخلة في هذه العلاقة، وجود قيم هبوط كلي موجبة في تشكيلات الكريتاسي بلغ مجموعها 211م في شمال السلسلة الساحلية و133م في جنوب السلسلة الساحلية و 131م في بئر اللاذقية1، كما بينت وجود نهوض بلغ 18,99م و 19,31م في شمال السلسلة الساحلية وجنوبها على التوالي وذلك في الكونياسيان-سانتونيان-كامبانيان، أما في بئر اللاذقية1 فكان مقدار النهوض 77م في التورونيان-سينونيان. تعني القيم الموجبة لـ Y في لجداول 2 و3 و4 هبوط قاع حوض الترسيب نتيجة سبب تكتوني كالصدوع العادية المرافقة لمرحلة تكتونية شديدة والقيم السالبة لها تعني نهوض لقاع حوض الترسيب المتزامن مع مرحلة تكتونية ضغطية.

الجدول 2: قيم ونتائج حساب الهبوط الكلي والهبوط التكتوني في تشكيلات الكريتاسي في شمال السلسلة الساحلية.

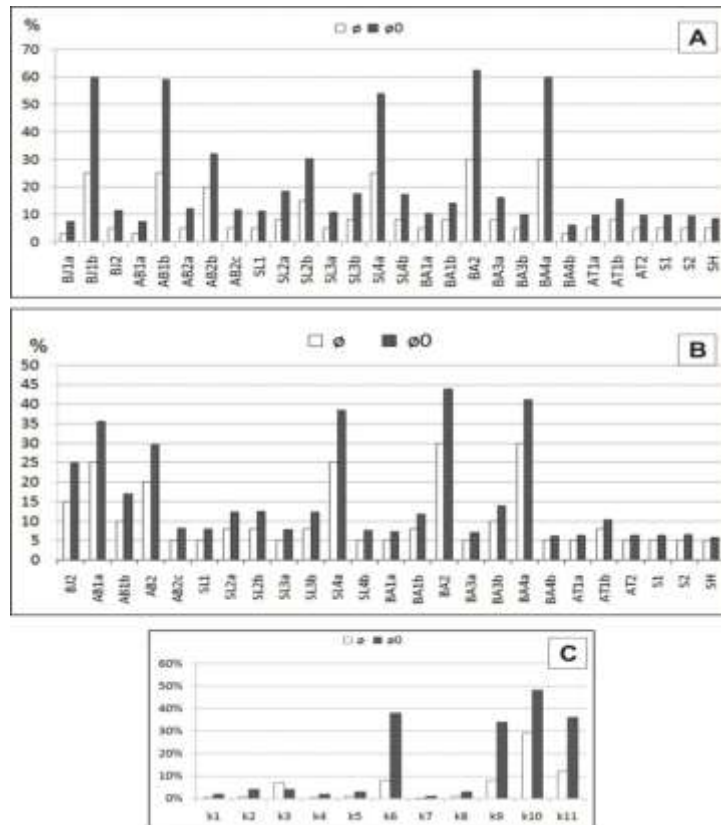
العمر	الوحدة	المسامية الحالية θ (%)	المسامية الأولية θ_0 (%)	الثخانة الحالية S (m)	الثخانة الأولية S_0 (m)	كثافة الرسوبات ρ_s g/cm ³	Δs Kominz et al. 2008	Δs Miller et al. 2005a	متوسط عمق الماء dw (m)	المتوسط Y	المتوسط Yt
أبيسيان	BJ1a	3	7.46	2	2.1	2.27	10	10	5	6	4
	BJ1b	25	59.7	3	5.58						
	BJ2	5	11.35	25	26.98						
أبيان	AB1a	3	7.34	2	2.1	2.218	15	15	30	59	40.2
	AB1b	25	59.1	8	14.66						
	AB2a	5	12	20	21.6						
	AB2b	20	32	55	64.8						
	AB2c	5	11.65	5	5.37						
سينوسانيان	SL1	5	11.17	12	12.82	2.244	50	50	60	68	46
	SL2a	8	18.26	25	28.15						
	SL2b	15	30.3	60	73.2						
	SL3a	5	10.7	5	5.3						
	SL3b	8	17.37	25	27.8						
	SL4a	25	53.8	15	24.3						
	SL4b	8	17.17	5	5.54						
كورونيان	BA1a	5	10.37	16	19.94	2.364	75	75	50	6.9	4.6
	BA1b	8	14.2	32	34.3						
	BA2	30	62.5	5	9.45						
	BA3a	8	16	30	32.8						
	BA3b	5	9.75	42	44.3						
	BA4a	30	59.7	10	17.5						
	BA4b	3	5.94	10	10.3						
تورونيان	AT1a	5	9.53	27	28.5	2.503	55	15	50	16.35	11.19
	AT1b	8	15.52	10	10.95						
	AT2	5	9.63	12	12.6						
كونيانيان سانتونيان كامبانيان	S1	5	9.61	4	4.2	2.55	70	40	50	-18.99	-14.55
	S2	5	9.43	24	25.3						
ماسترخت	SH	5	8.6	200	209	2.44	75	35	60	55.72	38

الجدول 3: قيم ونتائج حساب الهبوط الكلي والهبوط التكتوني في تشكيلات الكريتاسي في جنوب السلسلة الساحلية.

العمر	الوحدة	المسامية الحالية θ (%)	المسامية الأولية θ_0 (%)	الثخانة الحالية S (m)	الثخانة الأولية S_0 (m)	كثافة الرسوبات ρ_s g/cm ³	Δs Kominz et al. 2008	Δs Miller et al. 2005a	متوسط عمق الماء dw (m)	\bar{Y} المتوسط	\bar{Y}_t المتوسط
أبسيان	BJ2	15	24.9	25	28.9	2.59	10	10	5	-1.34	-0.91
ألبان	AB1a	25	35.6	20	22.59	1.91	15	15	30	55.99	38.2
	AB1b	10	16.9	8	8.66						
	AB2	20	29.6	40	45.45						
	AB2c	5	8.1	3	3.1						
سينومانيان	SL1	5	7.9	10	10.31	2.63	50	50	60	24.29	14.69
	SL2a	8	12.2	55	57.63						
	SL2b	8	12.5	2	2.1						
	SL3a	5	7.7	12	12.35						
	SL3b	8	12.3	15	15.73						
	SL4a	25	38.4	10	12.17						
	SL4b	5	7.5	25	25.67						
سينومانيان	BA1a	5	7.3	10	10.24	2.61	75	75	50	17.65	11.8
	BA1b	8	11.8	40	41.72						
	BA2	30	43.8	17	21.17						
	BA3a	5	7	50	51.07						
	BA3b	10	13.9	30	31.35						
	BA4a	30	41.2	32	38.09						
	BA4b	5	6.2	74	74.9						
تورونيان	AT1a	5	6.3	35	35.75	2.65	55	55	50	14.1	10.12
	AT1b	8	10.2	9	9.3						
	AT2	5	6.3	12	12.25						
كونياسيان سانتونيان كامبانيان	S1	5	6.3	26	26.55	2.65	70	70	50	-19.31	-13.21
	S2	5	6.5	15	15.32						
ماسترخت	SH	5	5.8	150	151.5	2.63	75	75	60	21.43	14.65

الجدول 4: قيم ونتائج حساب الهبوط الكلي والهبوط التكتوني في تشكيلات الكريتاسي في بئر اللاذقية 1

العمر	المجال (m)	المسامية الحالية ϕ (%)	المسامية الأولية ϕ_0 (%)	الفتحة الحالية S (m)	الفتحة الأولية S_0 (m)	كثافة الرسوبات ρ_s g/cm ³	متوسط Δs	متوسط عمق الماء dw (m)	Y المتوسط	Yt المتوسط
أبسيان	3155- 3166	0.40	2	11	11.1	2.64	10	5	-6.5	-4.5
أبيان	3070- 3155	0.80	4	85	88	2.64	15	30	52.1	22
سينومانيان	2980- 3070	7	4	90	127	2.38	70	60	64.5	43.1
	2935- 2980	0.40	2	45	46					
	2850- 2935	1	3	85	87					
	2840- 2850	8	38	10	15					
تورونيان	2766- 2840		1	74	76	2.65	55	50	-9.97	-6.8
كونياسيان - سانتونيان	2706- 2766	1	3	60	61	2.65	70	50	-35.9	-24.5
كامبانيان	2686- 2706	8	34	20	27.8	2.73	75	60	-31.8	-21.7
	2650- 2686	29	48	36	49.1					
ماستريخت	2550- 2650	12	36	100	138	2.1	80	60	14.6	9.8



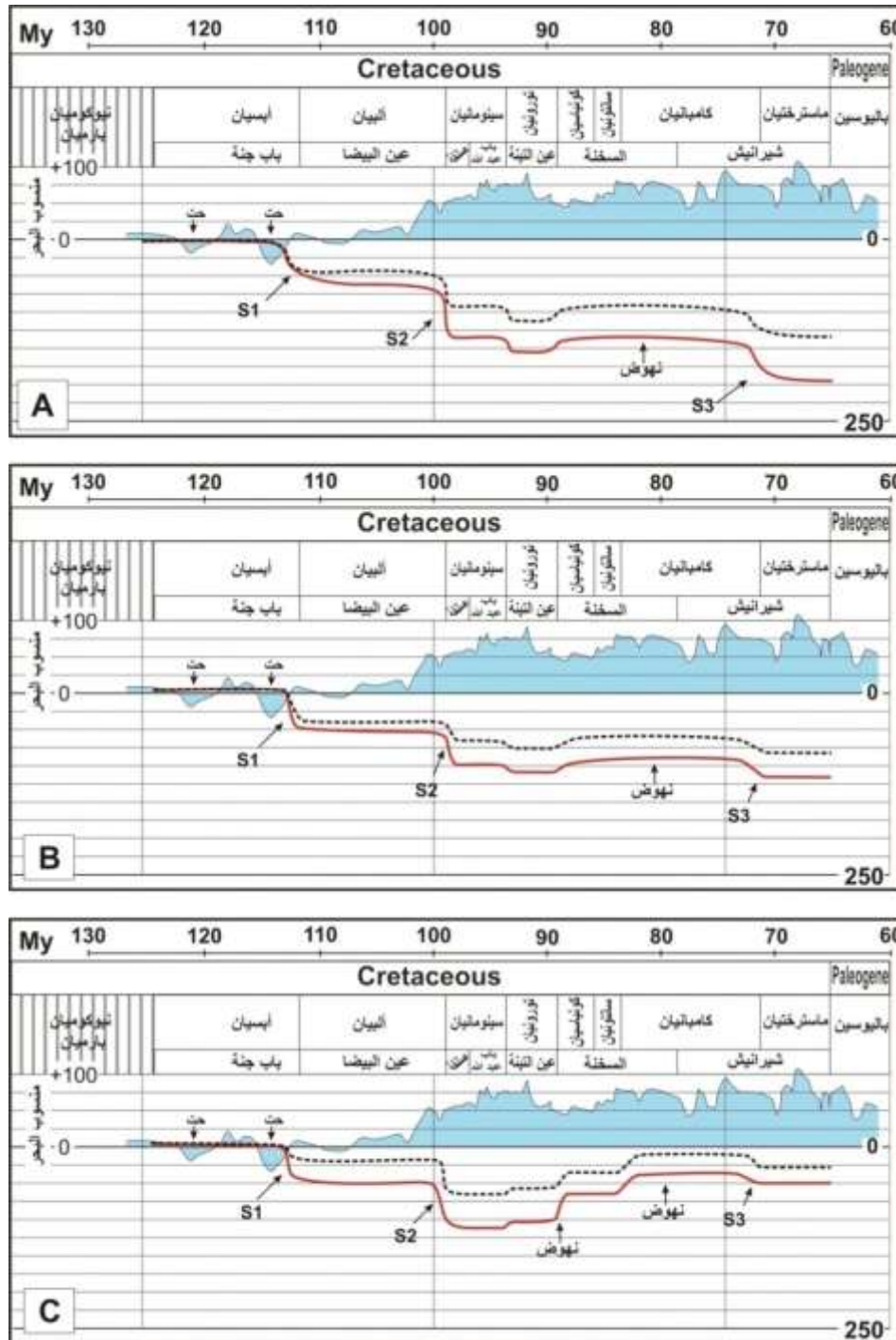
الشكل 4: قيم المسامية الحالية ϕ والمسامية الأولية ϕ_0 في الوحدات الصخرية لـ: A- شمال السلسلة الساحلية و B- جنوب السلسلة الساحلية و C- بئر اللاذقية 1.

منحنيات الهبوط التكتوني والتطور الجيولوجي:

يبين الشكل 5 منحنيات الهبوط التكتوني المحسوبة من معطيات ثلاثة أعمدة في تشكيلات الكريتاسي من السلسلة الساحلية، والتي تعكس التطور البنيوي للحوض الرسوبي. لرسم منحنى الهبوط التكتوني نقوم بتحديد محورين الأفقي يعبر عن الزمن الجيولوجي بالمليون سنة والشاقولي يعبر عن العمق بالمتر. نحدد وفقهما قيمة الهبوط التكتوني لقاعدة الحوض الرسوبي. يوضح الشكل 5 الهبوط التكتوني لقاعدة الحوض في زمن الأسيان خلال المراحل التكتونية المختلفة التي مرت بها المنطقة. يبين منحنى الهبوط التكتوني (الشكل 5) وجود ثلاث مراحل من الهبوط التكتوني في كافة الأعمدة المدروسة (S1, S2, S3):

S1- و S2 : تعبران عن هبوط تكتوني تدريجي خلال الألبان والسينومانيان على التوالي، وقد تستمر S2 حتى التورونيان (الشكل 5-A-B). يسبق S1 مرحلة استقرار في الأسيان تراوحت بين هبوط أو نهوض طفيفين جداً (6 متر أو أقل). بلغت قيمة الهبوط خلال المرحلتين S1 و S2 تقريباً 134م في شمال السلسلة الساحلية و 100م في جنوبها و 116م في بئر اللاذقية 1.

S3- : تمثل هبوطاً تكتونياً لطيفاً في الماسترختيان (الشكل 5-C-B-A). ويسبق S3 دائماً مرحلة من النهوض الواضحة في منحنيات الهبوط الثلاثة وذلك من الكونياسيان حتى الكمبانان، وقد يبدأ النهوض من التورونيان (الشكل 5-C). لفهم وتفسير هذه المنحنيات والتطور في قاعدة الحوض الرسوبي لابد من معرفة الإطار الجيولوجي الإقليمي قبل الكريتاسي وأثناءه، أي منذ نهاية الجوراسي. ففي بداية الكيمريديجيان من الجوراسي الأعلى كان الجزء الأكبر من سورية بيئة قارية (Mouty, 2000)، ويعود ذلك ربما لانخفاض عالمي في مستوى البحار في نهاية التيتونيان (Fourcade et al., 1993; Guiraud, 1993)، و قد أرجع باحثون آخرون هذه المرحلة الحثية إلى نهوضات محلية على شكل طي ذو طول كبير جداً في موجته (Keeley et Wallis, 1991)، إن هذه الطيات معروفة على إطار إقليمي واسع كما في جنوب شرق أوروبا (Nikishin et al. 1996) في نهاية الجوراسي. هناك عامل آخر لا يمكن إغفاله له دور في تشكل الثغرة الستراتغرافية في نهاية الجوراسي وفي بداية الكريتاسي (نيوكوميان-بارميان) وهو البركنة من عمر الأوكسفورديان-كميريديجيان في لبنان والسلسلة الساحلية وفي أجزاء أخرى من المشرق (Mouty et al., 1992)، هذه البركنة والنهوض ناتجة عن نشاط معطفي متركز على الهامش المشرقي في نهاية الجوراسي وبداية الكريتاسي (Laws et Wilson 1997)، تراكفت هذه المرحلة من النهوض مع عملية حث أدت لغياب النيوكوميان والبارميان من أسفل الكريتاسي، وهي مستمرة بشكل لطيف في الأسيان ومسجلة في منطقة الدراسة على منحنيات الهبوط التكتوني (جنوب السلسلة الساحلية وبئر اللاذقية 1)، حيث النهوض لطيف جداً (عدة أمتار) في قاعدة الحوض (الشكل 5). تبين منحنيات الهبوط أن الغياب الجزئي لرسوبيات الأسيان في السلسلة الساحلية ناتج عن عاملين: تغيرات منسوب البحر والنهوض لقاعدة الحوض الرسوبي. بلغ معدل الترسيب (ثخانة الرسوبات الأولية S₀ لتشكيلة ما مقسمة على الزمن) لتشكيلة باب جنة بين 1,5 حتى 5م في المليون سنة (الشكل 6).

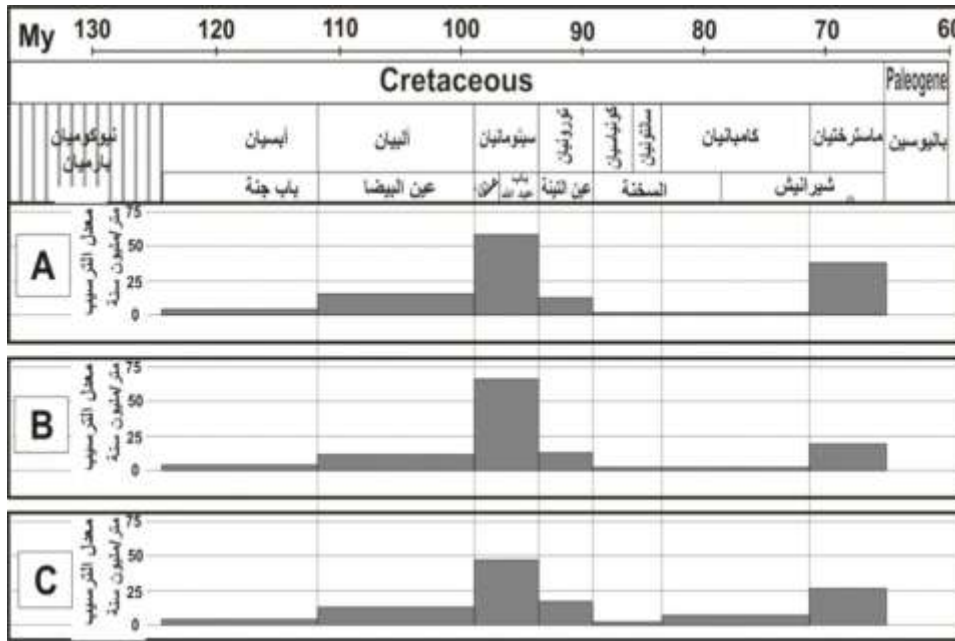


الشكل 5: منحنيات الهبوط الكلي (الخط المستمر) والهبوط التكتوني الصرف (الخط المتقطع) في: A- شمال السلسلة الساحلية B- جنوب السلسلة الساحلية و C- بئر اللاذقية 1.

في الألبان حدث تجاوز بحري إقليمي غطى الجزء الشمالي من السطحة العربية بتوضعات نهريّة ودلتاوية وكربونات لبحر قليل العمق (Sharland et al., 2001, Filak 2002). تبين منحنيات الهبوط أن التجاوز البحري المذكور يعود إلى هبوط قاع حوض الترسيب (50-60م) في السلسلة الساحلية (المرحلة S1) كعامل أساسي ولارتفاع منسوب البحر في نهاية الألبان (الشكل 5) كعامل أقل أهمية، مما يدعم ذلك وجود تجمعات فوالق عادية مرافقة للترسيب

مترافقة مع مرحلة شديدة من عمر الألبان (Al-Abdalla 2008) مرتبطة بانفتاح حوض شرق المتوسط في الكريتاسي الأسفل (Dercourt et al.1986). بلغ معدل الترسيب لتشكيلة عين البيضاء بين 11 حتى 15م في المليون سنة (الشكل6). يتابع تطور حوض الترسيب في السينومانيان تحت تأثير عاملي الهبوط التكتوني (40-70م) في السينومانيان (المرحلة S2) وارتفاع منسوب البحر بشكل ملحوظ (الشكل5)، الأمر الذي ساهم بزيادة معدل الترسيب الذي بلغ لتشكيلتي صلنفة ويا ب عبد الله ما بين 45 حتى 67م في المليون سنة (الشكل6). في الواقع إن المرحلة التكتونية الشديدة التي حددت من قبل (Al-Abdalla 2008) في الألبان حتى السينومانيان الأسفل، هي مستمرة في السينومانيان الأوسط-الأعلى بحسب منحنيات الهبوط (الشكل5).

يتراوح تطور الحوض في التورونيان بين هبوط طفيف جداً كما شمال وجنوب الساحلية (15م أو أقل) ونهوض طفيف جداً (10م) كما في بئر اللاذقية1، مع هبوط في منسوب البحر في نهاية التورونيان عما كان عليه في السينومانيان (الشكل5)، بمعدل ترسيب لتشكيلة عين التينة بين 12 حتى 16م في المليون سنة (الشكل6).



الشكل6: معدل الترسيب في تشكيلات الكريتاسي: A- شمال السلسلة الساحلية

B- جنوب السلسلة الساحلية و C- بئر اللاذقية 1.

يشهد الكونياسيان-سانتونيان-كامبانيان مرحلة من النهوض والمسجلة على منحنيات الهبوط (الشكل5)، والتي تلعب دوراً مع تغيرات منسوب البحر بين هبوط وارتفاع في تشكل سطوح حثية هامة وعدم توافقات في السلسلة الساحلية والمحددة من قبل (Filak,2002). وهذا ما أعطى قيماً متدنية لمعدل الترسيب لتشكيلة السخنة بين 1,5 حتى 8م في المليون سنة (الشكل6). في الإطار الإقليمي نجد أن التورونيان حتى السانتونيان مميز بعدم توافقات، ويحدد بحجر رملي من عمر الكونياسيان في التدمرية (Salel,1993 ; Ponikarov, 1966)، وفي هضبة حلب وفي عفرين يغيب الكونياسيان تماماً (Ponikarov, 1966) و جزئياً في الساحلية (Filak 2002, Rusky 1978). إن هذه الثغرة الستراتغرافية معروفة على مقياس الصفيحة العربية خصوصاً في جزئها الشرقي، حيث تنتشر بنايات ناهضة مطوية

طويلة الموجة. إن هذه المرحلة من النهوض هي نتيجة لبدية الاعتلاء الأوفيووليتي على الهامش الشرقي للصفحة حيث نهضت وانقلبت عدة أحواض (Sharland et al., 2001). يتابع قاع الحوض بالهبوط في الماسترخيتان (الشكل 5) لكن بوتيرة أقل شدة (المرحلة S3)، مع زيادة بمعدل الترسيب لتشكيلة شيرانيش بين 19 حتى 38م في المليون سنة (الشكل 6). نعتقد أن هذا الهبوط ناتج عن تحميل الغطاء الأوفيووليتي على هامش السطحية في شمال السلسلة الساحلية، وذلك بشكل مشابه لتشكّل الأحواض الانحنائية في شمال شرق الصفحة العربية (Sharland et al., 2001) تحت تأثير تحميل الغطاء الأوفيووليتي.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال دراسة الهبوط التكتوني لتشكيلات الكريتاسي في السلسلة الساحلية السورية في ثلاثة أعمدة ليتوستراتغرافية في شمالها وفي جنوبها وفي موقع بئر اللاذقية I تبين الآتي:

- 1- تحديد ثلاث مراحل من الهبوط التكتوني مرّ بها حوض الكريتاسي؛ في الألبان والسينومانيان والماسترخيتان.
- 2- تحديد مرحلة من النهوض من الكونياسيان حتى الكامبانان، وربما تكون هناك مرحلة طفيفة من النهوض في الألبان؟
- 3- إن العوامل المؤثرة في التطور الترسبي لحوض الكريتاسي مرتبطة بهبوط قاع حوض الترسيب أو نهوضه مع تغيرات منسوب البحر مع الزمن.
- 4- سجلت معدلات الترسيب أعلى قيمها في الألبان والسينومانيان والماسترخيتان وبلغ أعلاها في السينومانيان، بشكل موافق لمراحل الهبوط التكتوني في الحوض الرسوبي.
- 5- إن المراحل المسجلة على المنحنيات المدروسة في السلسلة الساحلية ليست مراحل محلية فقط بل هي متأثرة بمراحل تطور إقليمية على مستوى شمال الصفحة العربية فهي مرتبطة مع انفتاح حوض شرق المتوسط في الكريتاسي الأسفل ومرحلة الاعتلاء الأوفيووليتي وما تبعها من هبوط ناتج عن تحميل الغطاء الأوفيووليتي في الكريتاسي الأعلى. يوصي البحث الآتي:

- 1- مقارنة تطور المتاليات الرسوبية في السلسلة الساحلية خلال الكريتاسي مع منحنيات الهبوط التكتوني.
- 2- تحديد مسامية تشكيلات الترياسي والجوراسي وكذلك الباليوجين في السلسلة الساحلية، التي تعد الأساس في حساب الهبوط التكتوني لتكتمل صورة تطور الحوض الرسوبي للسلسلة الساحلية خلال الميزوزوي والسينوزوي، وتقدير زمن نضج المادة العضوية في ضوء ذلك.

References:

- AL-ABDALLA A. *Evolution Tectonique de la Plate-forme Arabe en Syrie depuis le Mésozoïque*. Thèse Doct. Université de Paris6-2008.302p.
- ATHY L.F. *Density, Porosity and compaction of sedimentary rocks*. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1930. Vol14, pp1-24
- BOND G.C. AND KOMINZ M.A. *Construction of tectonic subsidence curves for the early Paleozoic miogeocline, southern Canadian rocky mountains. Implications for subsidence mechanisms, age of breakup and crustal thinning*. Geology, 1984 . vol 95, pp 155-173
- BRUNET, M.F. *Etude qualitative de la subsidence du bassin de Paris*. Thèse 3 cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 1981.161p.

- BRUNET, M.F. *Méthode d'étude quantitative de la subsidence*. Dans *Dynamique et Methodes d'étude des Bassins Sedimentaires*, Association des Sedimentologistes Français. 1989. 6. pp. 87-98
- CHOQUETTE P.W. AND JAMES N.P. *Digenesis in limestone, the deep burial environment*. Geosciences Canada, 1987. vol 14, pp 3-35.
- DERCOURT J., ZONENSHAIN L.P., RICOU L.E., KAZMIN V.G., LE PICHON X., KNIPPER A.L., GRANDJACQUET C., SBORTSHIKOV I.M., GEYSSANT J., LEVRIER C., PECHERSKY D.H., BOULIN J., SIBUET J.-C., SAVOSTIN L.A., SOROKHTIN O., WESTPHAL M., BAZHENOV M.L., LAUER J.P. AND BIJU-DUVAL B. *Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias*. Tectonophysics, 1986. v123: p.241-315.
- FILAK J. M. *Les plates-formes carbonates d'âge crétacé moyen à supérieur de la Chaîne Côtière de Syrie*. Thèse Doct. Université de Provence-Aix Marseille I. 2002. 323p.
- FOURCADE E., AZEMA J., CECCA F., DERCOURT J. GUIRAUD R., SANDULESCU M., RICOU L.E., VRIELYNCK B. AND PETZOLD M. In Dercourt J., Ricou L.E. & Vrielynck B. (ed.); *Atlas Tethys Palaeoenvironmental maps*. Explanatory Notes. Gauthiers Villars edit. 1993. p.113-134.
- GUIRAUD R. *Mesozoic rifting and basin inversion along the northern African Tethyan margin: an overview*. In: Mac- Gregor, D.S., Moody, R.T.J., Clark-Lowes, D.D. (Eds.), *Petroleum Geology of North Africa*. Geol. Soc. London Spec. Publ. 1998, 132, p.217–229
- KAMEL, M.H., MABROUK, W.M. AND BAYOUMI, A.I. *Porosity Estimation Using a Combination of Wyllie-Clemenceau Equation in Shaly Sand Formation from Acoustic Logs*, Journal of Petroleum Science and Engineering , 2002. vol33 ,241-251.
- KEELEY M.L., AND WALLIS R.J. *The Jurassic System in the Northern Egypt: II, Depositional and tectonic regimes*, Journal of Petroleum Geology, 1991. 14, p.49–64.
- KOMINZ, M.A., 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* .2008. 20:211–226.
- LAWS E.D. AND WILSON M. *Tectonics and magmatism associated with the Mesozoic passive continental margin development in the Middle East*. Journal of the Geological Society, London, 1997. 154, 3, p.459–464.
- LEONOV Y. *Geology of Nahr Alkabir Alsh mali Depression*. Report on Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus. 1985.
- MILLER, K.G., KOMINZ, M.A., BROWNING, J.V., WRIGHT, J.D., MOUNTAIN, G.S., KATZ, M.E., SUGARMAN, P.J., CRAMER, B.S., CHRISTIE-BLICK, N., AND PEKAR, S.F., *The Phanerozoic record of global sea-level change: Science*, v. 2005a, 310, p. 1293–1298.
- MOUTY M. *Results of the stratigraphical study of the Alaouite Mountains*. Rapport inédit du Ministère des pétroles . 1967
- MOUTY M. *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, 2000 . p.159–168.
- MOUTY M., DELALOYE M., FONTIGNIE D., PISKIN O. AND WAGNER J.J. *The volcanic activity in Syria and Lebanon between Jurassic and Actual*. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 1992. 72, 1, p.91-105.

- NIKISHIN A.M., ZIEGLER P.A., CLOETHING S., STEPHENSON R.A., FURNE A.V., FOKIN P.A., ERSHOV A.V., BOLOTOV S.N., KORAEV M.V., ALEKSEEV A.S., GORBACHEV I., SHIPILOV E.V., LANKREJER A. AND SHALIMOV I.V. *Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: dynamics of sedimentary basin evolution*. Tectonophysics. 1996, 268 p.23-63.
- PARROT J.F. *Assemblage ophiolitique du Baer-Bassit et termeseffusifs de volcano-sédimentaire*. Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M, 1977. p72.
- PITMAN W.C. *Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins*. Geological Society of America Bulletin, 1978. v.89,pp1389-1403.
- 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.
- RAYMER, L.L., HUNT, E.R. AND GARDNER, J.S. *An Improved Sonic Transit Time-to-Porosity Transform, SPWLA Trans.* 1980, 21st Ann. Log. Symp.
- RUSKE. *The geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Al-Qrdaha, scale 1:50000*. Ministry of petroleum and resources of the Syrian Arab Republic. 1978.
- SALEL J.F. *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. 1993. 288p
- SCLATER J. G. AND CHRISTIE P.Q.F. *Continental stretching: an explanation of the post-mid-Cretaceous subsidence of the North Sea basin*. Journal of Geophysical Research, 1980. v85, pp.3711-3739.
- SHARLAND P. R., ARCHER R., CASEY D. M., DAVIES R. B., HALL S. H., HEWARD A. P., HOURBURY A. D., AND SIMMONS M. D. *Arabian plate sequence stratigraphy: GeoArabia*, 2001. Special Pub2.
- STECKLER M.S. AND WATTS A.B. *Subsidence of Atlantic-type continental margin off New York*. Earth and Planetary Science Letters. 1978. V41,pp1-13.
- STECKLER M.S. , WATTS A.B. AND THORNE J.A. *Subsidence and basin modeling at the U.S. Atlantic passive margin*. Geological Society of America. 1988.V1-2, pp399-416.
- VIAL P.R. AND MITCHUM R.M.JR. *Global cycles of relative changes of sea-level from seismic stratigraphy*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 29. 1979.
- VIAL P.R. MITCHUM R.M.JR. AND THOMPSON S. *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. 1977.
- WATTS A.B. *An analysis of Isostasy of the world's oceans*. Journal of geophysical research, 1978. v83,pp5989-6004.
- WATTS A.B. *Tectonic subsidence, flexure and global changes of sea level*. Nature, 1982. v 297, pp 469-474.