التطور التكتوني للهامش الغربي للسلسلة التدمرية (محدب النبك، سورية) من خلال معطيات الإجهادات القديمة: المضامين الجيوديناميكية

عبد الناصر دركل
قسم الجيولوجيا – كلية العلوم – جامعة دمشق

تاريـخ الإيداع 2003/02/06
قبل للنشـر في 2003/07/13

الملخص

يعد محدب النبك أحد المحدبات الرئيسة في الناحية الغربية لنطاق الطـي التـدمري. وهـو محـدب لامتناظر يأخذ الاتجاه NE-SW، كما هو حال بقية محدبات الجزء الجنوبي من نطاق الطي التدمري. يبلغ طوله زهاء 70 كم ويتراوح عرضه مابين 3 و10 كم. يتألف العمود الطبقي في المنطقـة مـن صـخور بحرية المنشأ تعود للكريتاسي (بدءاً من السينوماني) والباليوجين، وصخور قارية المنشأ تعود للنيـوجين والرباعي. وقد هدف البحث إلى دراسة التطور التكتوني لهذا المحدب وذلك من خلال تحليـل التـشوهات التكسرية "brittle deformation"، وما يمكن أن تؤدي إليه من استنتاجات عن تطور الإجهادات القديمة "Paleostress evolution" في الناحية الغربية من نطاق الطي التدمري «ضمن القاري»، وربـط ذلـك بالتطورات التكتونية الإقليمية، وبخاصة العمليات الجيوديناميكية التي تمت على حدود الصفيحة العربية.

أجريت الملاحظات الحقلية للبنيات التكسرية في ثمانٍ وخمسين موقعاً انتشرت في الأجزاء المختلفـة لمحدب النبك، وشملت جميع الوحدات الطبقية المتكشفة. وقد تم من خلال معالجة المعطيات استنتاج ستين متجهة للإجهاد من خلال منظومات الصدوع ووضع واحد وثلاثون مخططاً بيانياً لمنظومات الشقوق. وقد أدى تحليل الإجهادات التي أثرت في المنطقة وتحديد الترتيب الزمني النسبي للأحـداث التكتونيـة إلـى معرفة مراحل الإجهادات الرئيسة الآتية:

1 ـ المرحلة الأولى (كريتاسي أعلى ؟)، شد (σ3) باتجاه NNW-SSE، ارتبط علـى الأرجـح بتكـوين الحوض الصدعي التدمري الذي تطور على هامش محيط التيتس الجديد خلال الكريتاسي.

2 ـ المرحلة الثانية (إيوسين): شد (σ3) باتجاه NNE-SSW يعزى إلى عمليات تكتونية شدية جرت على

الحدود الجنوبية للصفيحة العربية وتمثلت بانفتاح خليج عدن والبحر الأحمر.

3 ـ المرحلة الثالثة (نهاية الإيوسـين): ضـغط (σ1) باتجـاهي NNE-SSW و ENE-WSW يـرتبط بالإجهادات الضغطية التي تمت في تلك الفترة عند الحد الشمالي الشرقي للصفيحة العربيـة (نطـاق زاغروس).

4 ـ المرحلة الرابعة (نيوجين): ضغط (σ1) كان في البدء باتجاه WNW-ESE ليتحول بعد ذلـك إلـى اتجاه NW-SE، حيث ترافق هذا الإجهاد الضغطي مع تضيق الحوض التدمري الذي اسـتمر حتـى الرباعي.

5 ـ المرحلة الخامسة (رباعي): ضغط (σ1) باتجاه NNW-SSE ترافق بحدوث مركبة ضـغطية باتجـاه N-S نتيجة رد الفعل الآتي من كتلة جبال لبنان الـشرقية. وهـذا مـا أدى إلـى تطـور «الطيـات العرضانية» وإلى انحراف مسار محور محدب النبك عند تغريفه الجنوبي الغربي.

وقد قاد البحث إلى تحديد دوران باتجاه عقارب الساعة فيما بين الاتجاهـات الـضغطية النيوجينيـة والرباعية، واصطلح على تسمية هذه الاتجاهات الضغطية بـ "*الإجهاد الضغطي التدمري*". و يمكن أن نعد عموماً أن هذه الإجهادات تمثل منعكساً ضمن قاري للعمليات الجيوديناميكية الإقليمية التي كانـت تجـري عند حدود الصفيحة العربية، وذلك منذ الكريتاسي الأعلى.

الكلمات المفتاحية: السلسلة التدمرية، محدب النبك، التشوهات التكسرية، إعادة بنـاء الإجهادات القديمة، التطور التكتوني، الأحداث الجيوديناميكية.

Tectonic Evolution of The Western Edge of The Palmyride Chain (Annabk Anticline, Syria) From Paleostress Data: Geodynamical Implications

Abdul Nasser Darkal
Department of Geology – Faculty of Sciences – Damascus University

Received 06/02/2003
Accepted 13/07/2003

ABSTRACT

Annabk anticline lies in the westernmost side of the Palmyride chain, which is located in the northern Arabian Plate. It is a 70 km long, NE-SW oriented asymmetrical anticline, belonging to the southern part of the Palmyrides. The stratigraphical column cropping out in the domain of this anticline consists of Cretaceous and Paleogene strata of marine facies, together with Neogene and Quaternary continental deposits. The aim of this study is to investigate the tectonic evolution of this area, by reconstructing its paleostress history, through analysing the brittle deformations, which were recorded in the outcropping rocks. Field observation covered 58 sites where brittle structures were described and measured. 60 stress tensors were calculated and 31 joint system diagrams were plotted through data processing using Angelier Program. This led to the analysis of the stresses affecting the study area from late Cretaceous up to Quaternary, and thus enabled us to deduce the following successive stress regimes:

(1) a late Cretaceous (?) NNW-SSE extensional event, which linked to the opening of the intracontinental Mesozoic Palmyride aulacogene developing on the margin of the Neotethys ocean;

(2) an Eocene extensional event in NNE-SSW orientation, which could be correlated with the extension along the southern boundary of the Arabian plate (Gulf of Aden and Red Sea);

(3) two compressional events of late Eocene age (?) in NNE-SSW and ENE-WSW orientation, probably due to the compressional stress, which occured along the NE-boundary of the Arabian plate (Zagros Zone);

(4) a compressional event rotating from WNW-ESE to NW-SE orientation during Neogene;

(5) the rotation continued during the Quaternary and brought about a new compressional event in NNW-SSE orientation, which, in turn, caused a N-S oriented component of compression which may have resulted from the existence of the Anti-Lebanon block to the Northwest of the Annabk anticline.

The Neogene and Quaternary compressional events (the Palmyride compressional stress) accompanied the shortening and uplifting of the Palmyrides and related to the closing of the Neotethys along the Northern boundary of the northward moving Arabian Plate.

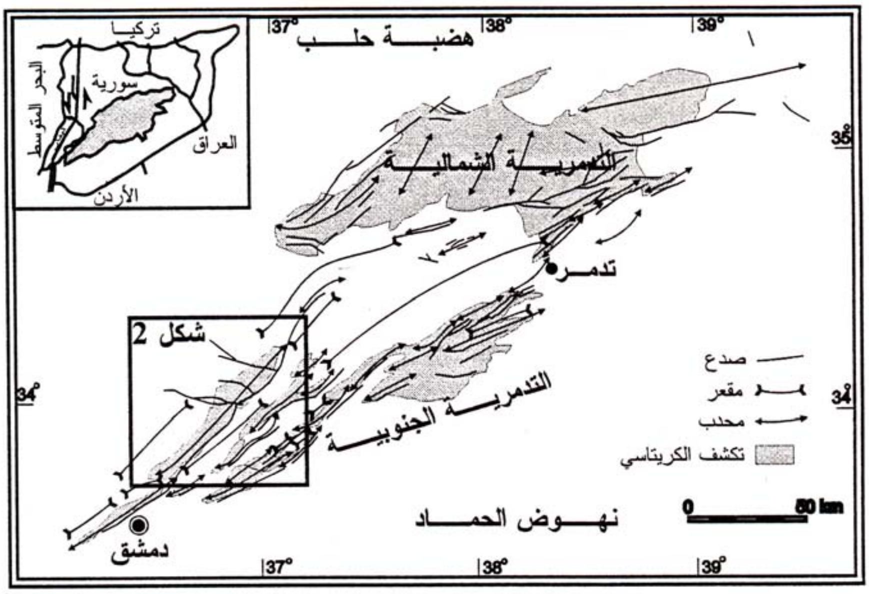
Words: Palmyride chain, Annabk anticline, Brittle deformation, Paleostress reconstruction, Tectonic evolution, Geodynamical events.

1 ـ المقدمة

ينتمي محدب النبك، موضوع هذا البحث، من الناحية البنيوية الإقليمية إلى الجزء الجنوبي من نطاق الطي التدمري، الذي يوجد وسط سورية آخذاً الاتجاه العام NE-SW (الشكل 1). وهو نطاق طي ضمن قاري "intracontinental fold zone" ارتبط تطوره بالأحداث التكتونية الجارية على الحدود الصفيحية المجاورة (Ponikarov, 1967; Barazangi et al.,1993; Brew et al., 2001). وينقسم تاريخ تطور هذا النطاق إلى مرحلتين رئيستين:

- مرحلة الهبوط وتكوين حوض صدعي "rift" خلال الميزوزوي، وهذه رافقت انفتاح حوض التيتس الجديد "Neotethys" الذي تطور على الهامش الشمالي للصفيحة العربية – الإفريقية خلال ذاك الحقب.

- مرحلة الانضغاط والنهوض خلال النيوجين والرباعي، مما أدى إلى عمليات الطي والتصدع المقلوب التي تميز بها هذا النطاق. ويرتبط ذلك بما جرى على الحدود الشمالية للصفيحة العربية من عمليات التصادم مع الصفيحة الأناضولية على امتداد نطاق التحام بيتلس، جراء انغلاق حوض التيتس الجديد.

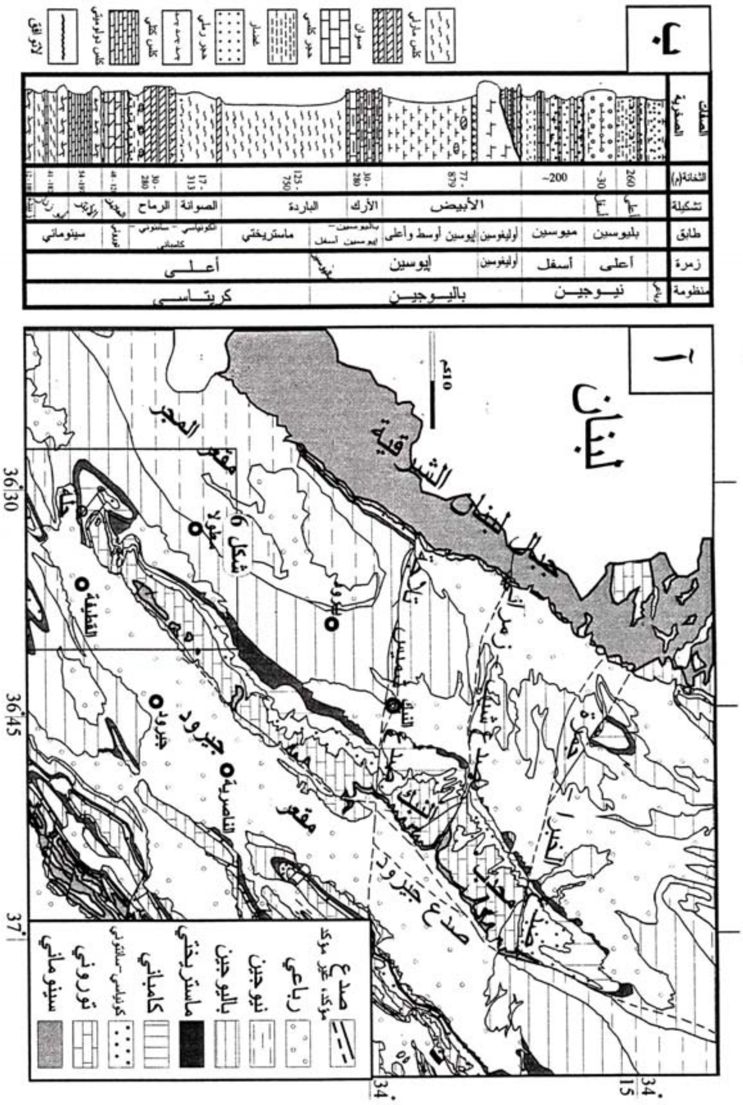


الشكل (1) خارطة بنيوية مبسطة للسلسلة التدمرية وموقعها الإقليمي (بحسب Ponikarov,1967)، مبيناً عليها موقع منطقة الدراسة (مربع).

محدب النبك محدب لامتناظر من النمط المائل "inclined anticline"، يأخذ الاتجـاه NE-SW وينقلب "vergence" نحو الجنوب الشرقي، كما هو حال بقية محدبات الجـزء الجنوبي من نطاق الطي التدمري. يبلغ طول هذا المحدب زهاء 70 كم ويتراوح عرضه مابين 3 و 10 كم، وذلك بحسب تكشف السطح العلوي للكريتاسي (الشكل 2 - آ). يميـل جناحه الشمالي الغربي عموماً بزوايا ميل صغيرة (15 – 20 درجة)، بينما يميل جناحـه الجنوبي الشرقي بزوايا متوسطة حتى الكبيرة (تصل إلى 80 درجة أحياناً)، وقد أصـيب هذا الجناح بصدع مقلوب موازٍ لمحور المحدب (صـدع جيـرود). كمـا أن صـدوعاً عرضانية تصيب هذا المحدب وتأخذ الاتجاه WNW-ESE بشكل عام (صـدع الخبـرا-جمرة، صدع شيب-زمراني وصدع شميس-تلاجة، بحسب Ponikarov, 1966)، وتستمر هذه الصدوع حتى جبال لبنان الشرقية.

يتألف العمود الطبقي في مجال هذا المحدب من صخور بحرية المنشأ تعود للكريتاسي (بدءاً من السينوماني) والباليوجين، ويغطيها بعدم توافق صـخور قاريـة المنـشأ تعـود للنيوجين والرباعي (Ponikarov, 1966) (الشكل 2 – ب). وتغلـب الـسحنة الكلـسية والدولوميتية على صخور طابقي السينوماني والتوروني، في حين تغلب السحنة الكلـسية الغضارية على صخور السينوني مع وجود تداخلات صوانية في طابق الكامباني. وكمـا هو الحال في بقية أجزاء نطاق الطي التدمري والبنيات الأخرى في سورية فإنه لايوجـد حد ليثولوجي واضح بين الكريتاسي والباليوجين. إذ يبدأ الباليوجين بطـابق الباليوسـين المؤلف بشكل رئيس من المارل مع تداخلات غضارية. أما طابق الإيوسين فتغلب عليـه السحنة الكلسية الغضارية التي تتخللها طبقات رقيقة من الصوان (إيوسين أسفل)، والسحنة الكلسية شبه الحوارية (إيوسين أوسط)، والسحنة الكلسية (إيوسين أعلـى). هـذا ويتـوج التشكيلات البحرية بالأوليغوسين الذي يتألف من طبقات كلسية مرخمة وجدار كلسي كتلي (جدار معلولا) يأخذ شكلاً مورفولوجياً مميزاً في المنطقة. تقسم التوضعات النيوجينية إلى:
- الميوسين المكون من رمال كوارتزية وأحجار كلسية ومارلية وكونغلوميرا، والبليوسين المؤلف من كونغلوميرا وحجر كلسي ومارل. وتملأ الرواسب الرباعية المنخفضات، وهي تتألف من رواسب بحيرية ونهرية وسيلية بشكل أساسي.

وبناء على تقسيمات (Al-Maleh and Mouty, 1988) فإن التشكيلات المتكشفة هـي تشكيلات الزبيدة، أبو زنار والأبتر (سينوماني)؛ الحلابات (توروني)؛ الرماح، الـصوانة والباردة (سينوني – باليوسين)؛ الأرك (إيوسين أسفل)؛ الأبيض (إيوسين أوسـط وأعلـى وأوليغوسين) (الشكل 2 – ب). يحيط بمحدب النبك من الشمال الـشرقي مقعـرا يبـرود (المجر) وكودن، اللذان يفصلانه عن سلسلة جبال لبنان الشرقية.أما من الجنوب الـشرقي فيحيط به مقعر جيرود.



الشكل (2) منطقة الدراسة

آ ـ الخارطة الجيولوجية لمنطقة محدب النبك (بحسب Ponikarov 1963)،

ب ـ تشكيلات العمود الطبقي لمنطقة الدراسة (بحسب Ponikarov 1966 و Al Maleh and Mouty 1988)،

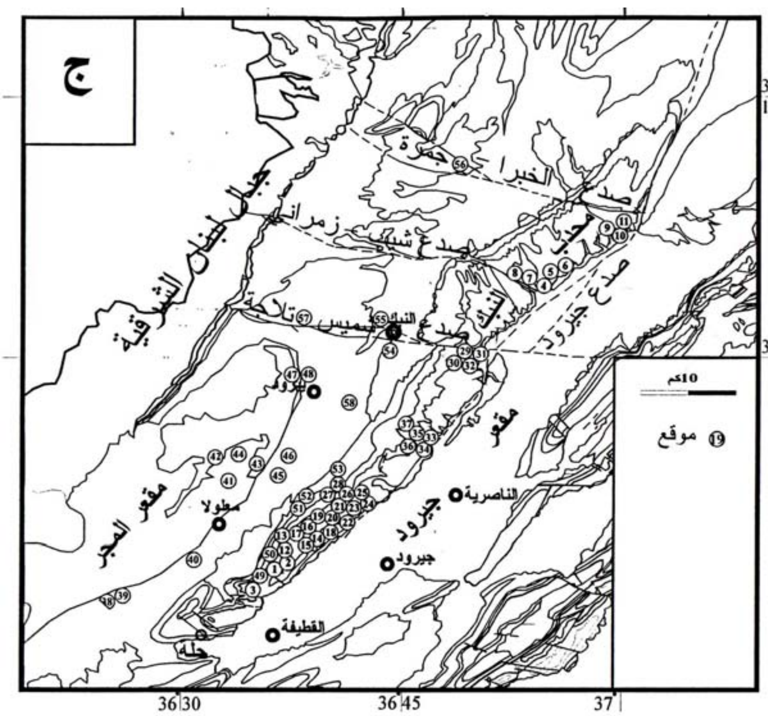
وعموماً تأخذ محاور هذه المقعرات الاتجاه NE-SW، أي بشكل موازٍ لمحدب النبك. إن ما يعطي الدراسة التكتونية لهذا المحدب أهمية خاصة هو وقوعه في الناحية الغربية (الهامش الغربي) لنطاق الطي التدمري، بجوار سلسلة جبلية أخرى هي سلسلة جبال لبنان الشرقية (الشكل 1 والشكل 2 - آ). وهذا يمكن أن يعطي معلومات مهمة عن التطور التكتوني لهذه الناحية من نطاق الطي التدمري وعن علاقته التكتونية ببنية سلسلة جبال لبنان الشرقية، وهو ما يشكل الهدف الرئيس لهذا البحث.

تعتمد دراسة التطور التكتوني لمحدب النبك في هذا البحث على تحليل التشوهات التكسرية "Brittle deformation"، وما يمكن أن تؤدي إليه من استنتاجات عن تطور الإجهادات القديمة "Paleostress evolution" ، وذلك في إطار تتالي الأحداث التكتونية المحلية والإقليمية التي مرت بالمنطقة، وربط ذلك بالعمليات الجيوديناميكية التي جرت على حدود الصفيحة العربية. ولقد أدى تطبيق مثل هذه الطرائق في مناطق مختلفة من العالم إلى استنتاجات مهمة عن تطورها التكتوني (Bouaziz et al., 1998; Saintot et al., 1998).

2 ـ المنهجية

اعتمد البحث على الدراسة الحقلية للبنيات التكسرية (الصدوع "faults" والشقوق "joints") بالدرجة الأولى، بالإضافة إلى دراسة بنيات الطي. ولقد أجريت الملاحظات الحقلية في ثمانٍ وخمسين موقعاً انتشرت في الأجزاء المختلفة لمحدب النبك (الشكل 2 ـ ج)، وشملت جميع الوحدات الطبقية المتكشفة في مجاله (بدءاً من السينوماني حتى الرباعي). تم في كل موقع وصف البنيات التكسرية وقياس الوضعيات الفراغية لسطوحها وسطوح التطبق بواسطة البوصلة الجيولوجية، حيث تراوح عدد القياسات في كل موقع مابين العشرة والسبعين قياساً. وقد صنفت هذه البنيات إلى مجموعات "sets" ومنظومات "systems". وبالنسبة للصدوع فقد حددت طبيعة الحركة "sense of motion"من خلال علائم الحركة الموجودة على سطوحها (مثل الخدوش "striations" وكسور قص ريدل "Riedel shear" والتدرجات "steps" وغيرها)، بالإضافة إلى قياس زاوية الخدوش "pitch".

وبهدف تحليل الإجهادات القديمة فقد عولجت هذه المعطيات الحقلية بواسطة الحاسوب باستخدام برنامج "Angelier" (Angelier, 1979; 1984; 1990; 1991). وبنتيجة ذلك أمكن إسقاط هذه المعطيات على شبكة شميت "Schmidt net" (نصف الكرة الأسفل "lower hemisphere") وتحديد محاور الإجهادات الرئيسة $\sigma1$ (إجهاد الضغط) و$\sigma 2$ (الإجهاد المتوسط) و $\sigma3$ (إجهاد الشد) بطريقة رياضية.



الشكل (2) منطقة الدراسة
ج ـ مواقع إجراء القياسات في المنطقة

تم خلال الدراسة الحقلية أيضاً تمييز صدوع معاصرة للترسيب "synsedimentary faults". وتساهم هذه الصدوع في تحديد أعمار الحركات التكتونية التي أدت إلى نشوئها. وقد ميزت هذه الصدوع بناء على تحديد الاختلافات في ثخانة الطبقات على جانبي الصدع، وعلى تناقص مقادير رمياتها بين أجزائها السفلى والعليا. وبالإضافة إلى ذلك فقد تم تمييز البنيات التكسرية التي نشأت قبل الإمالة "pre-tilting" التي حدثت للطبقات جراء الطي، من تلك التي نشأت بعد الإمالة. واعتمد في ذلك على تحديد علاقة الوضعية الفراغية لسطوح البنيات التكسرية ولخدوش الصدوع بالوضعية الفراغية للطبقات المصابة بهذه البنيات. كما أمكن في بعض الحالات التمييز النسبي بين البنيات التكسرية الأقدم من تلك الأحدث، وذلك من خلال الملاحظة الحقلية لتقاطع سطوح وخدوش تلك البنيات. إضافة إلى ذلك درس تقاطع اتجاهات خدوش الانزلاق الطبقي "bedding slip" في بعض المواقع، ووظفَ كقرينة لاستنتاج معلومات عن التعاقب الزمني النسبي بين اتجاهات إجهادات الضغط التي أثرت عبر التاريخ الجيولوجي للمنطقة. وفي هذا الإطار فقد تم

أيضاً تمييز الكسور جديدة التشكل "neoformed"، وهي التي تعـزى نشـأتها للحـدث التكتوني المستنتج من دراستها، عن الكسور معادة النشاط "reactivated"، وهـي التـي نشأت في إطار حدث تكتوني ما، وأعيد نشاطها جراء حدث تكتوني لاحق. وفضلاً عـن ذلك فقد درست طيات صغيرة بحجم التكشفات وقورنت هندسيتها بالإجهادات المـستنتجة من البنيات التكسرية بهدف الوصول إلى صورة أكثر وضوحاً عـن التطـور التكتـوني للمنطقة.

3 ـ النتائج والمناقشة

تم من خلال معالجة المعطيات استنتاج ستين متجهة للإجهاد من خـلال منظومـات الصدوع ووضع واحد وثلاثون مخططاً بيانياً لمنظومات الشقوق، كما تم تحديد الوضـعية الفراغية لطيات درست في بعض المواقع بطريقة دائرة "π". وأدى ذلك بالنتيجـة إلـى تحديد اتجاهات الإجهاد الرئيسة التي أثرت في المنطقة وتطورها فيما بـين الكريتاسـي الأعلى والرباعي، حيث تم التمييز ما بين الإجهادات التي تلت إمالـة الطبقـات (جـراء الطي) أو رافقتها، والإجهادات التي سبقت الإمالـة. وسـنبدأ أولاً بتحليـل الإجهـادات الضغطية التي تلت الإمالة لأن تأثيرها كان الأكبر والأوضح في إنشاء البنيات الحالية في منطقة البحث، لنعود بعد ذلك لتحليل الإجهادات الضغطية التي سبقت الإمالة.

3 – 1 - ضغوط ما بعد الإمالة

3-1-1- الإجهاد الضغطي التدمري

(σ1 : WNW-ESE, NW-SE حتى NNW-SSE)

سنصطلح هنا على تسمية الإجهاد الضغطي (σ1) باتجـاه WNW-ESE و NW-SE و NNW-SSE بـ "الإجهاد الضغطي التدمري" "Palmyride compressional stress" (PCS)، على أساس أن هذا الاتجاه من الضغط أدى الـدور الـرئيس خـلال النيـوجين والرباعي في عمليات الطي في النطاق التدمري، بالإضافة إلى تكوين البنيات التكـسرية المختلفة المرافقة (منظومات صدوع وشقوق).

منظومات صدوع الانزياح الجانبي "Strike slip fault systems"

قيست في المواقع 15، 19، 20، 21، 29، 35، 36، 48، 55 و57 (التي تتـراوح أعمار تكشفاتها مابين التوروني والأوليغوسين) منظومات صدوع انزياح جـانبي. وقـد أعطى تحليل هذه المنظومات اتجاهات للـضغط (σ1) تراوحـت مـابين WNW-ESE و W-SE و NNW-SSE (الشكل 3). وعموماً فقد تبين أن صدوع هذه المنظومات إمـا

جديدة التشكل"neoformed" ، أو معادة النشاط "reactivated" بدءاً من سـطوح شـقية "joint surfaces" أو سطوح صدعية "fault surfaces" أقدم.

ففي الموقع 20 تبين بدراسة منظومة صدوع الانزياح الجانبي ($\sigma1$: NW-SE) أنها تكونت بعد الإمالة (شكل 3 - آ). غير أنه لوحظ أن بعـض الـسطوح الـصدعية ذات الانزياح اليميني"Dextral strike slip" العائدة لهذه المنظومة معادة النـشاط بـدءاً مـن صدوع انزياح جانبي يميني أقدم تعود إلى مرحلة ما قبل الإمالة. ودليل ذلـك أن هـذه السطوح الصدعية تميزت بجيلين من الخدوش، يوازي أولهمـا خـط ميـل "dip line" الطبقات، في حين يكون الثاني أفقياً. مما يعني أن الجيل الأول ناتج عن حـدث تكتـوني "tectonic event" سابق للإمالة، في حين حدث الثاني بعد الإمالة. وقد أكدت الملاحظـة الحقلية لتقاطع هذين الجيلين من الخدوش أن الأول أقدم من الثاني. وهذا دليـلٌ علـى أن اتجاه الضغط NW- SE أدى إلى نشوء تشوهات تكسرية سبقت الطي (فقرة 3-2-3)، ثم أعيد نشاط هذه التشوهات مرة ثانية بعد حدوث الطي بإجهاد ضغطي موازٍ لسابقه.

وفي الموقع 21 وجدت منظومة صدوع انزياح جانبي ($\sigma1$: WNW-ESE ، الشكل 3 – ب)، حيث تبين حقلياً وبيانياً أن سطوحها موروثة "inherited" عن منظومتي صـدوع عادية أقدم، أعيد نشاطهما نتيجة الضغط التدمري الأحدث على شـكل صـدوع انزيـاح جانبي. إذ إن خدوش الانزياح الجانبي قاطعة لخدوش التصدع العادي الأقدم. ولقد وجدت ظاهرة مشابهة في الموقع 35، حيث إن سطوح إحدى مجموعتي صدوع الانزياح الجانبي الناتجة عن ضغط ($\sigma1$) باتجاه NNW-SSE (شكل 3 – ج) تمثل إعادة نـشاط لـصدوع عادية ولشقوق أقدم.

أما في الموقع 48 فإن زوايا الميل متوسطة القيمة التي تتميز بهـا بعـض الـسطوح الصدعية (شكل 3 - د) تشير إلى أنها موروثة عن سطوح صدعية أو شقية أقدم.

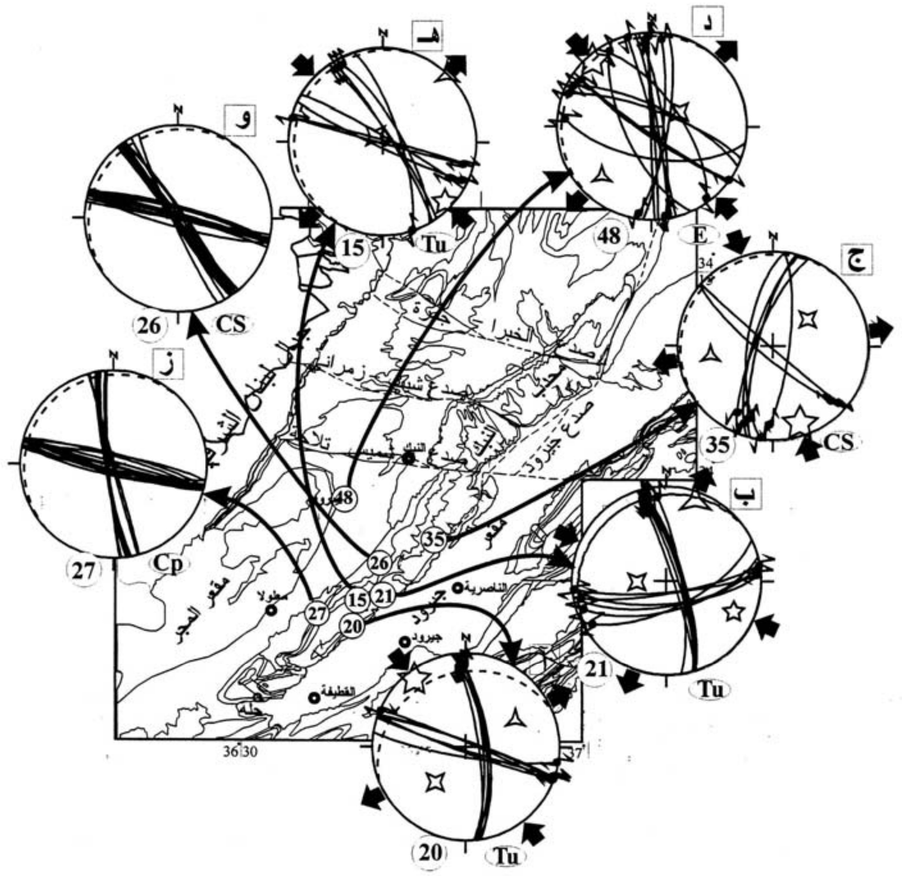
إن إعادة نشاط الصدوع لم تقتصر على الصغيرة منها فقط، أي تلك التي تلاحظ فـي مجال التكشفات، بل تجاوزتها فيما يبدو إلى الصدوع الكبيرة التي تلاحظ على الخـرائط الجيولوجية. فقد بينت دراسة الموقعين 57 و 58 أن بعض الصدوع العرضانية على بنية محدب النبك والتي نعتقد بـأن مركبتهـا الحركيـة الرئيـسة هـي التـصدع العـادي (فقرة 3-3-1) أعيد نشاط بعضها بشكل صدوع انزياح جانبي يمينـي جـراء الإجهـاد الضغطي التدمري. ففي الموقع 57 يرجح أن صدوع الانزيـاح الجـانبي ذات الاتجـاه WNW-ESE التي تصل مساحة الأجزاء المتكشفة منها إلى ما يزيد على 20 م^2، والتـي أصابت صخور الإيوسين-أوليغوسين تنتمي لأحد هذه الصدوع العرضانية الموضحة على الخارطة الجيولوجية للمنطقـة (صـدع شـميس-تلاجـة بحـسب Ponikarov,1966. شكل 2 - آ). غير أن مركبة الحركة العادية الأقدم ليست واضحة على هـذه الـسطوح، حيث نعتقد بأن آثارها أزيلت بالكامل من خلال مركبة الحركة الجانبية الجديدة. وإن مـا

يؤكد ذلك هو ذاك الصدع المعاصر للترسيب الإيوسيني الذي وجد في الموقع 58. فقد تبين بالملاحظة الحقلية للكتل المزاحة بهذا الصدع بأنه صدع عادي (فقرة 3-3-1)، غير أن ملاحظة سطحه بينت وجود خدوش انزياح جانبي، مما يعني أن إعادة نشاط حصلت لهذا الصدع جراء الإجهاد الضغطي التدمري وحولته من صدع عادي نشأ خلال الإيوسين إلى صدع انزياح جانبي خلال النيوجين والرباعي.

وبالنتيجة فإن الإجهاد الضغطي النيوجيني والرباعي الذي أثر في اتجاه NW-SE بشكل عام، والذي أدى إلى نشوء محدب النبك، كان من نتائجه، بالإضافة إلى تكوين صدوع انزياح جانبي جديدة التشكل، إعادة نشاط سطوح صدعية أو شقية أقدم، وتحويلها إلى صدوع انزياح جانبي.

منظومات الصدوع المقلوبة "reverse fault systems"

بين تحليل منظومات الصدوع المقلوبة التي وجدت في المواقع 12، 18، 19، 32، 37، 41، 43، 44، 45، 46 و48 (التي تتراوح أعمار تكشفاتها ما بين التورونى والرباعي) اتجاهات للضغط تراوحت بين WNW-ESE و NW-SE و NNW-SSE، أي بشكل مماثل لتلك الناتجة عن تحليل صدوع الانزياح الجانبي آنفة الذكر. غير أنه اتضح أن هذه الصدوع المقلوبة جديدة التشكل، تكونت بعد عملية الطي أو رافقتها، ولم يكن هناك من دلائل على أنها معادة النشاط. ولقد استنتج حدوث دوران باتجاه عقارب الساعة ما بين الاتجاهات الضغطية آنفة الذكر.



الشكل (3) إسقاط منظومات صدوع الانزياح الجانبي والشقوق التي أعطى تحليلها ضغطاً (σ1) باتجاه الإجهاد الضغطي التدمري (شبكة شميت - نصف الكرة الأسفل) وذلك في مواقع مختلفة موضحة على الخارطة الجيولوجية للمنطقة.

الرموز: الرقم ضمن الدائرة الصغيرة: الموقع، الرموز ضمن الإهليلجات الصغيرة المرفقة بشبكة شميت تشير إلى العمر الستراتغرافي لتكشفات الموقع:Cn: سينوماني، Tu: توروني، Cs: كونياسي-سانتوني، Cp: كامباني، Ma: ماستريختي، E: إيوسين، Ne: نيوجين، Qu: رباعي. الخطوط المستمرة في شبكة شميت: الدوائر الكبيرة الممثلة لسطوح الصدوع أو الشقوق، الخطوط المتقطعة في شبكة شميت: التطبق، النجمة الخماسية: σ1، النجمة الرباعية: σ2، النجمة الثلاثية: σ3، الأسهم الصغيرة في شبكة شميت: الحركة النسبية للصدوع، الأسهم الكبيرة في شبكة شميت: اتجاه الإجهاد.

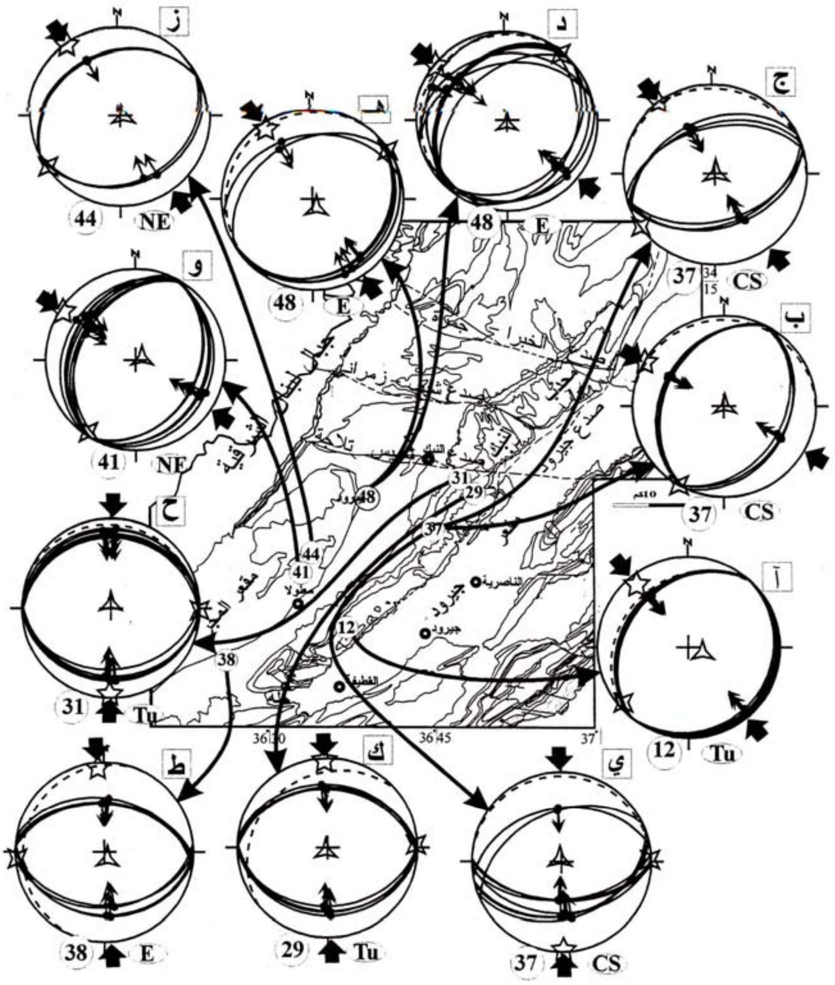
ففي الموقع 48 الذي تتألف تكشفاته من صخور الإيوسين وجدت منظومتا صدوع انزياح جانبي نشأت أولاهما عن ضغط ($\sigma1$) باتجاه NW-SE (الشكل 4 - د)، في حين نشأت الثانية جراء ضغط باتجاه NNW-SSE (الشكل 4 – هـ). وقد تبين بالملاحظة الحقلية لتقاطع سطوح هاتين المنظومتين وخدوشهما أن المنظومة الأولى أقدم من الثانية.

أما دراسة الموقعين 32 (توروني) و37 (كونياسي- سانتوني) فقد بينت أن في كل منهما منظومتي صدوع مقلوبة أعطى تحليل أولاهما اتجاهاً للضغط هو WNW-ESE (الشكل 4 - ب)، في حين أعطى تحليل ثانيهما اتجاهاً للضغط NW-SE (الشكل 4 - ج). وبالمقارنة مع شكل تقاطع خدوش الانزلاق الطبقي الذي لوحظ في الموقع 12 رجح أن يكون اتجاه الضغط WNW-ESE أقدم من اتجاه الضغط NW-SE. ومن ناحية أخرى فإن تحليل منظومتي الصدوع المقلوبة اللتين وجدتا في الموقعين 12 و 19 بين أن الوضعية الفراغية لمجموعة الصدوع المائلة نحو الشمال الغربي تماثل الوضعية الفراغية للطبقات تقريباً (الشكل 4 - آ)، مما يرجح أن نشوء هذه المنظومة معاصر للإمالة على الأرجح، وهذا يعني أن الاتجاه الضغطي الرئيس الذي تزامن مع الإمالة وسببها هو NW-SE.

تعود الطبقات الكلسية والمارلية البحيرية المتكشفة في الموقعين 41 و 44 إلى عمر النيوجين. وقد أعطى تحليل منظومتي الصدوع المقلوبة اللتين وجدتا فيهما اتجاهين لـ $\sigma1$ هما WNW-ESE و NNW-SSE على التوالي (الشكل 4 – و، الشكل 4 – ز). أما في الموقع 43، الذي يتألف تكشفه من طبقات غضارية كلسية تعود للدور الرباعي، فقد وجدت صدوع مقلوبة تأخذ خدوشها الاتجاهين NW-SE و NNW-SSE. مما يشير إلى أن الدوران باتجاه عقارب الساعة بين هذين الاتجاهين الأخيرين حدث بعد بدء الدور الرباعي، وأن اتجاه الضغط NNW-SSE يعود من ثم لعمر الرباعي.

إن مجمل الملاحظات الحقلية ودراسة المخططات البيانية للصدوع المقلوبة في المواقع آنفة الذكر، وحقيقة أن الإجهادات الضغطية المستنتجة WNW-ESE و NW-SE وNNW-SSE قد أصابت كل التشكيلات المتكشفة في منطقة الدراسة تقريباً بدءاً من الصخور الكريتاسية حتى رواسب النيوجين والرباعي تبين ما يأتي:

- حدثت هذه الاتجاهات من الضغط في أثناء عملية الإمالة وبعدها، أي أنها السبب الرئيس في نشوء الطي.
- ساد الاتجاهان الضغطيان WNW-ESE و NW-SE خلال النيوجين، واستمر ثانيهما زمناً ما من الرباعي. أما الاتجاه الضغطي NNW-SSE فيعود للرباعي.
- حدوث دوران باتجاه عقارب الساعة بين هذه الاتجاهات الضغطية على الترتيب.

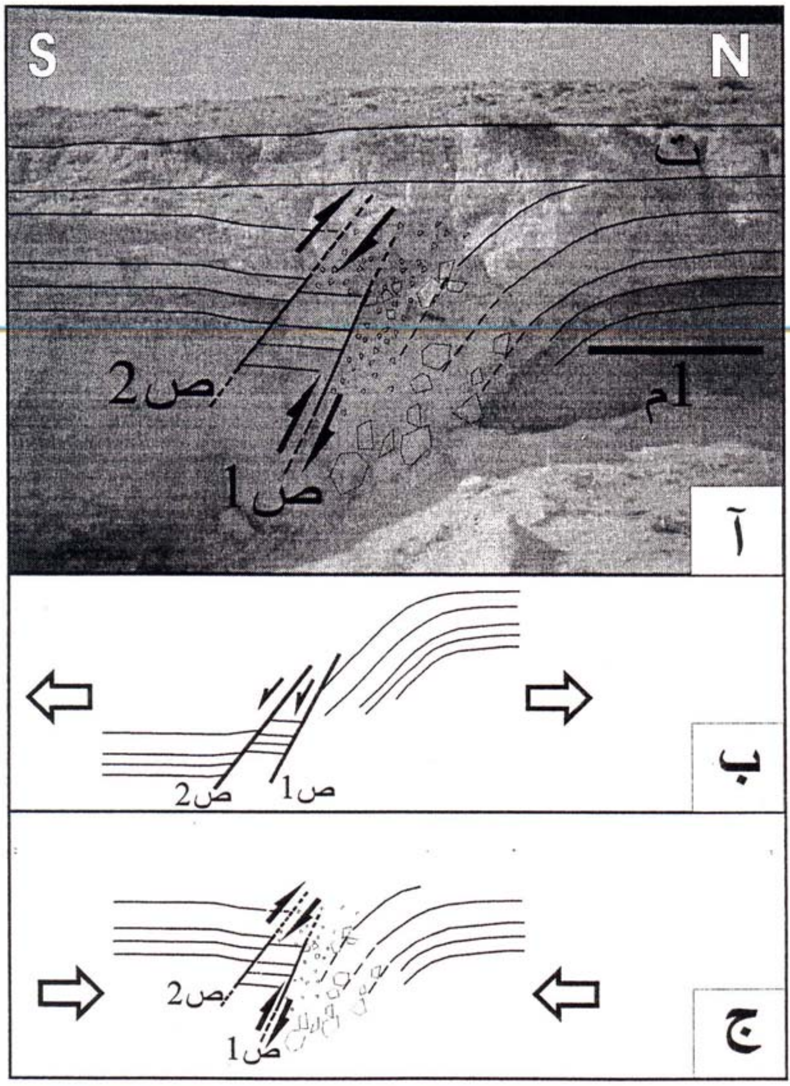


الشكل (4) إسقاط منظومات الصدوع المقلوبة التي أعطى تحليلها ضغطاً (σ1) باتجاه الـضغط التدمري (المخططات البيانية: آ، ب, ج، د، هـ، و، ز) وباتجاه N-S (المخططـات البيانية: ح، ط، ك، ي). الرموز نفسها المستخدمة في الشكل (3).

3-1-2- ضغط ($\sigma1$) باتجاه N-S (إجهاد الطيات العرضانية)

إن منظومات أخرى من الصدوع المقلوبة وجدت في المواقع 31،29، 37 و38 التي تتراوح أعمار تكشفاتها مابين التوروني والإيوسين الأعلى، حيـث كـشف تحليـل هـذه المنظومات عن اتجاه آخر للضغط حدث بعد إمالة الطبقات وهو N-S (شكل 4 – ح، ط، ي، ك). وقد تعذر تحديد العلاقة الزمنية النسبية بين هذه الصدوع وبين الصدوع الأخرى الناتجة عن الإجهاد الضغطي التدمري استناداً إلى الملاحظة الحقلية المباشرة لـسطوحها. غير أن ما يؤكد حدوث هذا الاتجاه الضغطي في مراحل ما بعد الطي، وأنه أحـدث مـن الإجهاد الضغطي التدمري هي ظاهرة التصدع المقلوب التي وجدت في الموقع 47 الـذي تتكشف فيه توضعات رملية وكلسية رملية تعود للميوسين (الشكل 5 - آ). لـوحظ هنـا صدع مقلوب مضاعف قدرت رميته بحدود المتر، ويأخذ اتجاه E-W تقريباً، مما يـشير إلى أنه ناتج عن ضغط باتجاه N-S على الأرجح. غير أن ملاحظة شكل الانحناء الـذي عانت منه طبقات الكتلة السفلية (foot wall) للصدع يشير إلـى أن هـذه البنيـة مـرت بمرحلتين للتطور، حدث في أولاهما شد أدى إلى تكون صدع عادي أي إلى هبوط الكتلة العلوية (hanging wall) وسحب (drag) طبقات الكتلة السفلية نحو الأسفل (الـشكل 5 – ب)، بينما تميزت المرحلة الثانية بضغط أدى إلى إعادة نشاط الصدوع التي تكونت فـي المرحلة الأولى إنما بشكل مقلوب، مما أدى إلى تحرك الكتلة العلوية نحو الأعلى لتتراكب فوق طبقات الكتلة السفلية (الشكل 5 - ج).

ونظراً لأن صخور هذا التكشف تعود للميوسين فإن مرحلتي التـصدع المـستنتجتين تعودان على الأرجح إلى البليوسين والرباعي. ونعتقد أن مرحلة الشد من مرافقات عملية الطي، تلتها مرحلة الضغط التي نرجح أنها تعود إلى الرباعي. وعلاوة على ذلك كان من الواضح أن مرحلتي التصدع هاتين أحدث من الاتجاه الضغطي NW-SE، بدليل وجـود خدوش انزلاق طبقي تأخذ ذاك الاتجاه وموجودة على سطوح الطبقـات المتـأثرة بهـذا الصدع.



الشكل (5)

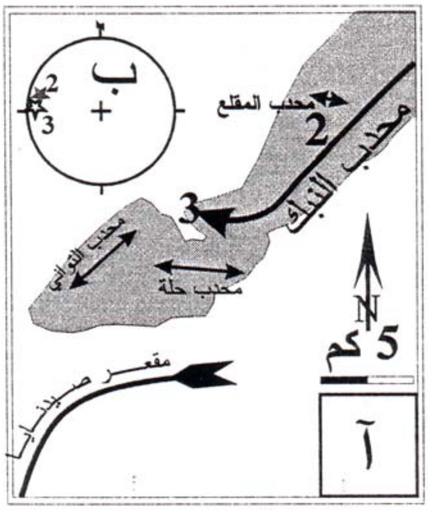
آ - صورة حقلية باتجاه الغرب للصدع المقلوب المـضاعف (ص1، ص2) فـي الموقـع 47، والذي أصاب الطبقات الرملية والكلسية الرملية الميوسينية (ت: تربة زراعية).

ب – مرحلة الشد والتصدع العادي (بليوسين ؟) ،

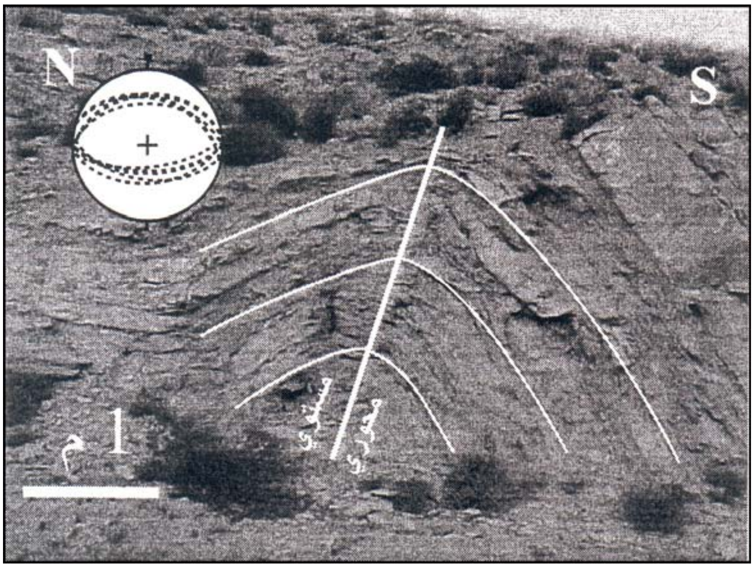
ج – مرحلة الضغط وإعادة نشاط الصدوع بشكل مقلوب (رباعي).

الطيات الثانوية العرضانية

لقد بينت الملاحظات الحقلية ودراسة الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة أن محـور محدب النبك ينحرف عند تغريقه الجنوبي الغربي عن اتجاهـه العـام NE-SW، ليأخـذ الاتجاه شرق-غرب. وقد ترافق هذا الانحراف بتشكل محدبات عرضانية ثانويـة تتجـه محاورها شرق – غرب بشكل عام (الموقعان 2 و 3)، ولم يلاحظ مثلهـا فـي الأجـزاء الوسطى والشمالية للمحدب. وهي من نمط المحـدبات المائلـة "inclined anticlines" التي تتميز بمستوٍ محوري منقلب "vergence" بزوايا صغيرة نحو الجنوب. ولا يتجاوز عرض هذه الطيات أكثر من 20 م. وإن المحدب ذا الاتجاه E-W المتكشف في الموقع 3 يمثل جزءاً من الأنف "nose" الجنوبي الغربي لمحدب النبك، والذي ينحـرف محـوره محلياً في مجال هذا الموقع عن اتجاهه العام NE-SW ليصبح باتجـاه E-W (شـكل 6، شكل 7).



الشكل (6) آ- انحراف النهاية الجنوبية لمحور محدب النبك لتصبح باتجاه E-W، والمحـدبات العرضانية المجاورة ذات الاتجاه E-W أيضاً (محدبي حلة والمقلـع). لاحـظ انحـراف محور مقعر صيدنايا بالاتجاه نفسه.
ب- مسقط محوري المحدبين المدروسين في الموقعين 2 و 3، حيث وقعا بطريقة دائرة "π" على شبكة شميت (نصف الكرة الأسفل). انظر الـشكل 2-آ لمعرفـة موقـع هـذه الخارطة.



الشكل (7) صورة حقلية للمحدب المدروس في الموقع 3 الذي يأخذ محوره الاتجاه E-W (قارن مع الشكل 6 – ب)، نظرة باتجاه الشرق. تتكشف فـي هـذا الموقـع طبقـات كلـسية تورونية، ويبين المخطط البياني المرفق وضعية الطبقات في الموقع.

بناء على هذه الملاحظات فإنه يمكن استنتاج أن ظاهرة الالتواء الشديد المفاجئ الـذي تبديه طبقات التوروني الدولوميتية عند التغريق الجنوبي لمحدب النبـك (تلـك الظـاهرة الملاحظة إلى الجنوب من طريق دمشق – حمص) ليـست إلا جناحـاً لمحـدب ثـانوي عرضاني باتجاه شرق-غرب (اصطلحنا على تسميته محدب حلة). ولم تؤيـد الملاحظـة الحقلية وجود صدع باتجاه شرق – غرب على امتداد هذا الطي (صدع غير مؤكد بحسب Ponikarov, 1963). وقد لوحظ أيضاً أن محور مقعر صيدنايا ينحرف في جزئه المجاور لتغريق محدب النبك عن اتجاهه العام NE-SW ويصبح باتجاه E-W تقريباً (شكل 6).

ترتبط نشأة مظاهر الطي الثانوي هذه وكذلك الانحراف الموصـوف أعـلاه لمحـور محدب النبك ومحور مقعر صيدنايا باتجاه الضغط ($\sigma1$): N-S آنف الذكر والنـاتج عـن حدث تكتوني لاحق للطي. ولو أنه من غير المستبعد أن يكون بدء تكون هـذه المظـاهر يعود بمراحله الأولية على الأقل إلى ما قبل الطي حيث حدث الإجهاد الـضغطي باتجـاه NNE-SSW (فقرة 3-2-1) لكن لا تتوافر أدلة واضحة على ذلك .

وعموماً فإن دراسات الإجهادات القديمة التي تمت في الأجزاء الوسـطى والـشرقية والشمالية من نطاق الطي التدمري لم تشر إلى وجود مثل هذا الإجهاد ($\sigma1$: N-S)، في

حين أشارت إلى حدوثه في محدب قاسيون (Darkal et al., 1999; Darkal, 2002). يعني ذلك أن الأجزاء الغربية فقط من نطاق الطي التدمري (محدبي النبك وقاسيون) تأثرت بهذا الاتجاه من الضغط. وليس سبب ذلك واضحاً تماماً. ولعل ذلك يمكن أن يعزى إلى العلاقة التكتونية بين نطاق الطي التدمري وبنية سلسلة جبال لبنان الشرقية التي تجاوره من الغرب، والواقعة إقليمياً في مجال الانحراف الحابس "restraining bend" للصدع المحول المشرقي (Chaimov et al., 1992). وهكذا فإن حدوث الإجهاد الضغطي التدمري NW-SE خلال النيوجين، وبخاصة بعد تحوله إلى اتجاه NNW-SSE خلال الرباعي، قد تسبب في نشوء مركبة ضغطية اتجاهها N-S في الأجزاء الغربية من نطاق الطي التدمري، نتيجة رد فعل ديناميكي من جانب كتلة جبال لبنان الشرقية على هذا الضغط.

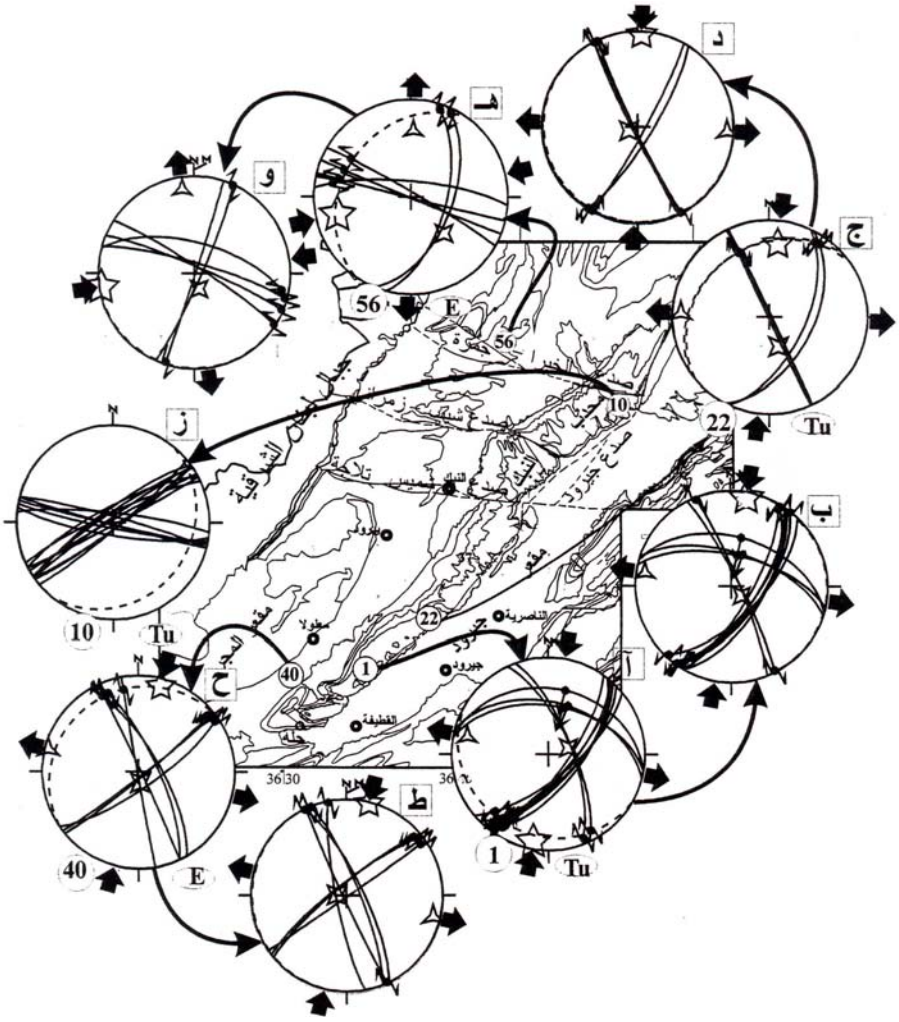
غير أن تفسيراً آخر يمكن أن يؤخذ بالحسبان أيضاً وهو أن هذا الاتجاه الضغطي نتج عن التأثير التكتوني لبنيات قديمة موروثة من المراحل السابقة وبخاصة منها الصدوع ذات الاتجاه E-W (الصدوع الإيوسينية مثلاً)، حيث يمكن أن تكون هذه البنيات أدت إلى تغيرات محلية لاتجاه الضغط التدمري (NW-SE حتى NNW-SSE) الذي انحرف في جوارها وأصبح باتجاه N-S. ورغم ذلك فإن معطيات البحث ترجح أن مركبة الضغط باتجاه N-S نتجت عن التأثير الديناميكي لجبال لبنان الشرقية كما ذكر آنفاً، وذلك لأن توزع المواقع التي أعطى تحليلها هذا الاتجاه الضغطي لايرتبط دوماً بوجود مثل هذه البنيات القديمة.

بذلك يمكن اعتبار أن الضغط N-S لا يمثل مرحلة إقليمية مستقلة، بل مركبة ضغطية تولدت من الإجهاد الضغطي التدمري خلال الرباعي. وبالنتيجة فإن الضغط باتجاه N-S تبع حدوث إجهاد الضغط التدمري أو عاصره (كمركبة). وفي كلتا الحالتين فإن ذلك يعني استمرار الدوران لاتجاهات الإجهادات الضغطية باتجاه عقارب الساعة.

3-2- ضغوط ما قبل الإمالة

3-2-1- الإجهاد الضغطي NNE-SSW

لقد وجد في المواقع 1، 17، 19، 22 و 40 (التي تتراوح تكشفاتها ما بين التورونى والإيوسين) منظومات صدوع انزياح جانبي وصدوع مقلوبة أشار تحليلها إلى اتجاه للضغط هو NNE-SSW (الشكل 8 – آ، ج، ح). وكان من الواضح سواء بالملاحظة الحقلية أم من خلال الإسقاط على شبكة شميت أن هذا الإجهاد يعود لمراحل ما قبل إمالة الطبقات (الشكل 8 - ب، د، ط). ونظراً لأن أحدث التكشفات التي سجل فيها هذا الاتجاه من الإجهاد الضغطي تعود للإيوسين فيرجح أنه يعود إلى نهاية الإيوسين. ولقد سجل مثل هذا الاتجاه من الإجهادات الضغطية السابقة للطي في مجال محدب قاسيون الذي يقع إلى الجنوب من محدب النبك (Darkal et al.,1999).



الشكل (8) إسقاط منظومات صدوع الانزياح الجانبي والصدوع المقلوبة والشقوق التي أعطـى تحليلها ضغطاً سابقاً للإمالة (σ1) باتجاه NNE-SSW (المخططات البيانية: آ، ب، ج، د، ح، ط) وباتجاه ENE-WSW (المخططات البيانية: هـ، و، ز). الرمـوز نفسها المستخدمة في الشكل (3).

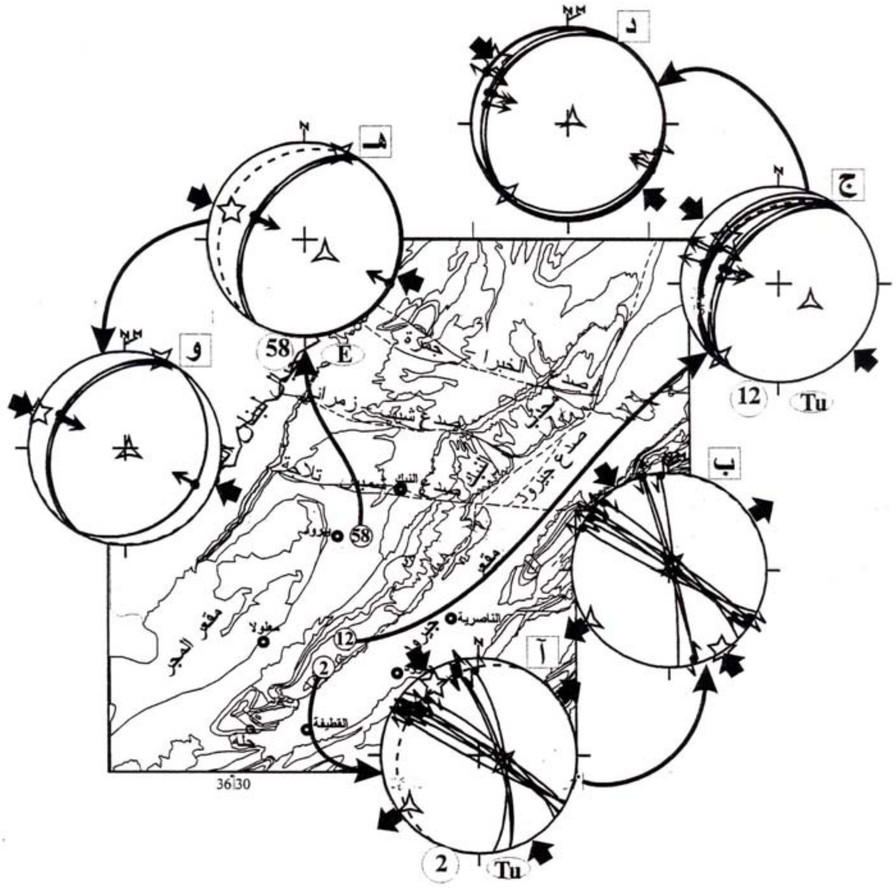
3-2-2- الإجهاد الضغطي ENE-WSW

أعطى تحليل منظومة صدوع الانزياح الجانبي التي وجدت فـي الموقـع 56 (الـذي تتكشف فيه صخور الإيوسين الأدنى) اتجاهاً للضغط هـو ENE-WSW. ويلاحـظ فـي الشكل 8 – هـ، و؛ أن هذا الإجهاد سابق للإمالة. ولقد تبين من الدراسات المشابهة التي أجريت في الأجزاء الأخرى من نطاق الطي التـدمري (Darkal et al, 1999; Darkal, 2002) حدوث هذا الاتجاه من الضغط فيها، مما يشير إلى تأثيره في المستوى الإقليمي. وبالمقارنة الإقليمية مع أجزاء مختلفة من نطاق الطي التدمري يرجح أن عمر هذا الإجهاد يعود إلى نهاية الإيوسين أيضاً.

3-2-3- الإجهادات الضغطية WNW-ESE، NW-SE و NNW-SSE (الإجهاد الضغطي التدمري السابق للإمالة)

إن تحليل منظومات صدوع الانزياح الجانبي والصدوع المقلوبة التـي قيـست فـي المواقع 2، 12، 39 و58 (التي تتراوح تكشفاتها ما بين التوروني والإيوسـين الأعلـى) أعطى اتجاهات للضغط السابق للإمالـة هـي WNW-ESE، NW-SE و NNW-SSE، أي بالاتجاهات نفسها المستنتجة آنفـاً للإجهـاد الـضغطي التـدمري اللاحـق للإمالـة (فقرة 3-1-1).

ففي الموقعين 2 و 39 أوضحت الملاحظة الحقلية لصدوع الانزياح الجانبي، وكـذلك شكل إسقاطها على شبكة شميت (الشكل 9 - آ) أن الخدوش توازي خط ميل الطبقات. أما في الموقع 12 فقد بدت مجموعة الصدوع المقلوبة التي تكون زاوية ميلها أقل من زاويـة ميل الطبقات ظاهرياً بشكل صدوع عادية (الشكل 9 - ج). وذلك بسبب تغير قيمة زاوية ميلها واتجاه ميلها بعد الإمالة التي تعرضت لها الطبقات جراء الطي. ويمثل الشكل (9 - د) إعادة الصدوع إلى وضعها الأصلي الذي كانت عليه قبل إمالة الطبقات. وكذلك يلاحظ في الموقع 58 من خلال المخطط البياني أن إحدى مجموعتي الصدوع مائلة بشكل خفيف جداً نحو الشرق (قريبة من الوضع الأفقي)، بينما كانت المجموعة الأخرى من الـصدوع مائلة نحو الغرب بزوايا متوسطة، في حين أن الطبقات خفيفة الميل نحو الغرب (الشكل 9 – هـ)، مما يؤكد أن جملة الصدوع المقلوبة هذه نشأت بإجهاد ضـغطي سـابق لإمالـة الطبقات (الشكل 9 – و).



الشكل (9) إسقاط منظومات صدوع الانزياح الجانبي والصدوع المقلوبة التي أعطى تحليلها ضغطاً ($\sigma1$) سابقاً للإمالة باتجاه الإجهاد الضغطي التدمري. الرموز نفسها المستخدمة في الشكل (3).

إن حقيقة كون التشوهات التكسرية المشار إليها في هذه الفقرة ناتجة عن الاتجاهات الضغطية (WNW-ESE، NW-SE و NNW-SSE)، وأن تكونها بدأ قبل إمالة الطبقات بالطي، وبخاصة أنها أصابت التشكيلات الصخرية حتى الإيوسين الأعلى (أي أن عمر تكونها أحدث من الإيوسين)، تؤدي إلى الاستنتاج بأن الإجهاد الضغطي التدمري، الذي أدى إلى تكوين البنية الرئيسة في منطقة الدراسة (محدب النبك)، بدأ تأثيره بتكوين تشوهات تكسرية سبقت عملية الإمالة. ونظراً لأن الشواهد الحقلية والمقارنات الإقليمية ترجع حدوث الطي التدمري إلى النيوجين والرباعي، فإنه يرجح أن هذه التشوهات

التكسرية السابقة للطي نشأت خلال الأوليغوسين المتأخر أو النيوجين المبكـر ، أي قبـل إمالة الطبقات مباشرة. ولقد استمر الإجهاد الضغطي نفسه خـلال النيـوجين والربـاعي متسبباً بالطي وبتكون التشوهات التكسرية المعاصرة له واللاحقة.

3-3- اتجاهات الشد المستنتجة من دراسة الصدوع العادية

3-3-1- شد ($\sigma3$) باتجاه NNE-SSW حتى NE-SW (إجهاد الصدوع العرضانية)

لقد استنتج حدوث شد ($\sigma3$) باتجاه NNE-SSW حتى NE-SW من دراسة مظـاهر التصدع العادي التي وجدت في المواقع 7، 17، 29، 38، 41، 45، 51 و 52 (الـشكل 10 – آ، ب، ج).

يوجد الموقع 7 في مجال نواة محدب النبك على امتداد أحـد الـصدوع العرضـانية لمحدب النبك (صدع شيب-زمراني، الشكل 2 - ج)، حيث الصخور السينومانية الكلسية المتداخلة مع المارل. أما الموقع 29 فيوجد على امتداد صدع عرضاني آخر هو صـدع شميس-تلاجة (الشكل 2 - ج) ، وتتألف تكـشفاته مـن صـخور التـوروني الكلـسية الدولوميتية. ولقد لوحظت في هذين الموقعين سطوح صدعية مستوية إلى حد مـا، زادت مساحة الأجزاء المتكشفة منها على بضعة عشرات من الأمتار المربعـة. ولقـد بينـت الملاحظة الحقلية المباشرة لهذه السطوح بأنها ذات مركبةٍ حركةٍ عاديةٍ بشكل أساسي. كما أن تحليل هذه المنظومات الصدعية بين أن اتجاه $\sigma3$ هو NNE-SSW (الشكل 10 - آ). إن وجود هذين الموقعين على امتداد الصدوع العرضانية الرئيسة لمحدب النبـك، وكـون سطوح الصدوع المتكشفة كبيرة نسبياً ومن اتجاه الصدوع العرضانية نفسه تقريباً، قادنـا إلى استنتاج أن الحركة الأصلية على امتداد هذه الصدوع العرضـانية تمثلـت بتـصدع عادي، وما حركة الانزياح الجانبي التي طرحت من خلال التفسيرات الإقليمية لبعض هذه الصدوع (Chaimov et al., 1993; Kopp et al.,1994) إلا إعادة نشاط لها في مراحل لاحقة (انظر مايأتي). وقد توضح من خلال الملاحظة الحقلية في الموقع 29 أن منظومة الصدوع العادية أحدث من منظومة صدوع مقلوبة موجودة في الموقـع نفـسه وتعـزى لإجهاد ضغطي باتجاه N-S (فقرة 3 – 1 - 2، الشكل 4 - ك). ونظراً لأن هذا الإجهاد الضغطي (N-S) حدث بعد إمالة الطبقات أي بعد الطي، لذا نعتقـد أن الإجهـاد الـشدي NNE-SSW حدث على الأرجح خلال الرباعي، مما يرجح أنه من المظاهر الناتجة عـن الطي. ويتعزز هذا الاعتقاد بكون أعمار التشكيلات المصابة بهذا الاتجاه من الشد تتراوح ما بين السينوماني والنيوجين (الشكل 10 – ب). ومن ناحية أخـرى تظهـر الخارطـة الجيولوجية للمنطقة أن الصدوع العرضانية أدت إلى إزاحـة نـسبية للـصدع التراكبـي الرئيس في المنطقة (صدع جيرود، الشكل 2 - آ) الذي يعد مرافقاً لعملية الطي نفـسها،

مما يقدم دليلاً إضافياً على أن هذه الصدوع العرضانية نشطت في مراحل تالـت عمليـة الطي.

أما في المواقع 17، 38 و 45 فإن الشد كان باتجـاه NE-SW (الـشكل 10 – ج)، حيث وجد في الموقع 45 الذي تعود تكشفاته إلى الإيوسين بأن منظومة الصدوع العاديـة أحدث من منظومة الصدوع المقلوبة

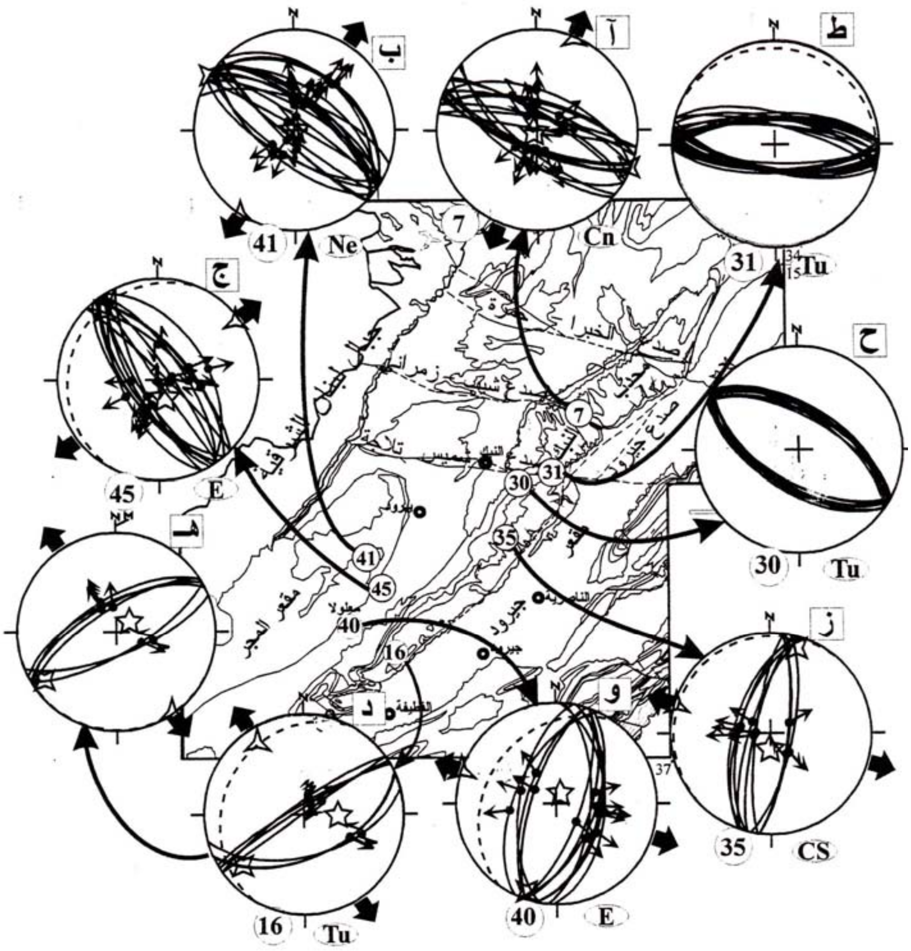
(σ1 : NW-SE) والتي لوحظ أنها لاحقة للإمالة أيضاً، بدليل تقاطع سطوح هـاتين المنظومتين مع بعضهما. وهذا دليل واضح على أن الإجهاد الـشدي (NE-SW) يعـود لمراحل مابعد الطي (بليوسين ؟ - رباعي) أيضاً.

- صدوع عادية نشطة "Active normal faults":

بينت دراسة الموقع 52 وجود صدع عادي باتجـاه WNW-ESE أي مـن اتجـاه الصدوع العرضانية نفسه. لقد أصاب هذا الصدع صخور الماسـتريختي برميـة تعـادل المترين تقريباً، كما أصاب كل طبقات التوضعات الرباعية التي تعلوها في إطار التكشف (شكل 11). وإلى الجنوب من هذا الصدع بنحو خمسة عشر متراً لوحظ صدع عادي ثانٍ أصاب الجزء الأسفل من التوضعات الرباعية نفسها برمية تعادل متراً واحداً تقريباً. غير أن مقدار هذه الرمية تناقص حتى انعدم في الأجزاء العليا من التكشف مما يعني أنه صدع معاصر للترسيب نشط خلال الرباعي. ورغم أن هذه الملاحظـة تـشير إلـى أن كـلا الصدعين قد نشط خلال الرباعي، غير أن نشاط الصدع الثاني المذكور أقدم نـسبياً مـن نشاط الصدع الأول الموضح في الشكل (11)، بدليل أن الأخير يـصيب كامـل المقطـع الرباعي المتكشف في هذا الموقع، في حين لا يصيب الصدع الثاني سوى الجزء الأسـفل من المقطع.

- الصدوع العادية المعاصرة للترسيب الإيوسيني

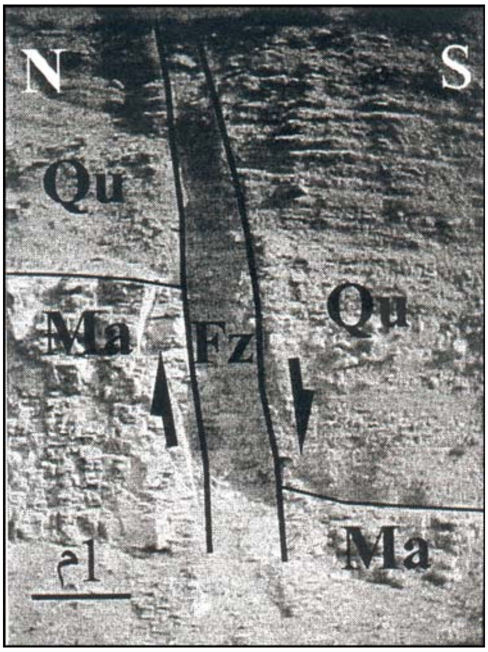
أظهرت دراسة تكشفات الصخور الإيوسينية في الموقعين 48 و 58 وجـود صـدوع عادية معاصرة للترسيب تأخذ الاتجاه WNW-ESE. ففي الموقـع 48 (الـشكل 2 - ج) لوحظ أن الجزء الأسفل من تكشف الطبقات الكلسية العائدة للإيوسين الأعلى مزاح بصدع عادي اتجاهه WNW-ESE وبرمية تقدر بـ 2 م تقريباً، في حين انعدمت هذه الرمية في الأجزاء الوسطى والعليا من التكشف. إن المظاهر البنيوية المرافقة لهذا الصدع والمتمثلة بكسور قص ريدل (Riedel shear) وبآثار الخدوش على سطحه، إضـافة إلـى انزيـاح عادي واضح للطبقات، تؤكد أنه ذو مركبة تصدع عادي.



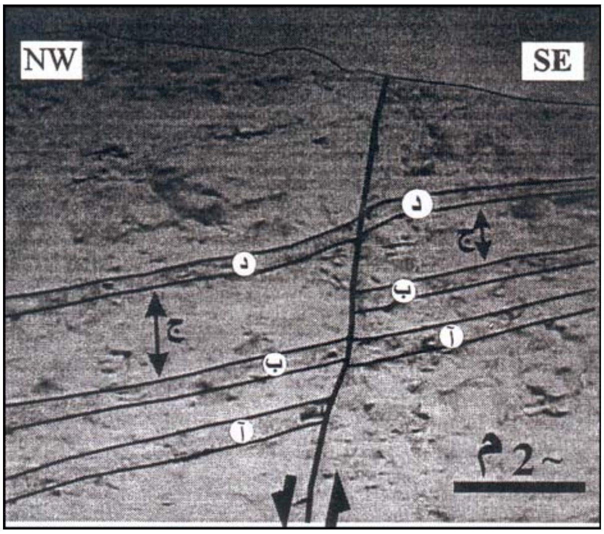
الشكل (10) إسقاط منظومات الصدوع العادية والشقوق التي أعطى تحليلها شداً (σ3) باتجـاه NNE-SSW حتى NE-SW (المخططات البيانية: آ، ب, ج، ح، ط) وباتجاه NW-SE حتى WNW-ESE (المخططات البيانيـة: هـــ، د، و، ز). الرمـوز نفـسها المستخدمة في الشكل (3).

أما في الموقع 58 فإن الطبقات الكلسية الغضارية ذات التداخلات الـصوانية العائـدة للإيوسين الأسفل مزاحة بصدع عادي تسبب برمية قدرت في الجزء الأسفل من التكـشف بزهاء متر تقريباً، في حين انعدمت تقريباً نحو الأعلى (الشكل 12). غير أن دراسة سطح

هذا الصدع بينت أن المركبة الحركية الأخيرة لهذا الصدع هي مركبة انزيـاح جـانبي يميني. وهذا دليل واضح على إعادة نشاط الصدع العادي الإيوسيني بشكل انزياح جـانبي يميني خلال النيوجين والرباعي جراء الإجهاد الضغطي التدمري. مما يؤكد أن المركبـة الحركية الأصلية لهذا الصدع هي مركبة التصدع العادي هو الـسحب "drag" الظـاهر بجوار الصدع في الطبقة الصوانية العليا (الطبقة د في الشكل 12)، إضـافة إلـى شـكل الانزياح العادي الواضح للطبقات، وازدياد ثخانة الطبقـات الكلـسية الغـضارية التـي عاصرت نشاط الصدع، وذلك في الكتلة الهابطة منه (الطبقات ج في الشكل 12). ولقـد بينت دراسة هذا الموقع أنه بالإضافة إلى هذا الصدع توجد صدوع انزياح جانبي يمينـي نشأت بعد إمالة الطبقات وتأخذ اتجاهه نفسه، مما يشير بوضوح إلى عملية إعادة النـشاط الموصوفة آنفاً لهذا الصدع.



الشكل (11) صورة حقلية للصدع العادي النشط الموجود في الموقع 52. نظرة باتجاه الشرق.
Ma: ماستريختي، Qu: رباعي، Fz: نطاق صدعي.



الشكل (12) صورة حقلية للصدع المعاصر للترسيب الإيوسيني في الموقع 58. نظـرة باتجـاه الشمال الشرقي. قارن بين مقدار الرمية للطبقتين آ، ب من جهة وللطبقة د من جهة أخرى، ولاحظ ازدياد ثخانة الطبقات ج في الكتلة العلوية (الكتلة الهابطـة) مقارنـة معها في الكتلة السفلية. لاحظ السحب "drag" في الطبقة د.

إن دراسة الصدوع العادية آنفة الذكر تؤدي إلى استنتاج أن الصدوع العرضانية على محدب النبك كانت في بدء تشكلها من نمط الصدوع العادية، وقد تكرر نشاطها أكثر من مرة خلال الرباعي وربما خلال النيوجين أيضاً، بدليل وجود آثار هذا النـشاط واضـحة على الرواسب الرباعية. ويحتمل من ثم أنها من نمط الصدوع النـشطة "active faults"، ويتطلب تأكيد ذلك جمع معطيات أكثر كانت خارج هدف هذا البحـث وإطـاره. ومـن الواضح أيضاً أن هذه الصدوع يمكن أن تمثل إعادة نشاط لـصدوع أقـدم تعـود إلـى الإيوسين. غير أن الارتباط الإقليمي مختلف في الحالتين، حيث يبدو أن الإجهاد الـشدي ($\sigma3$) ذا الاتجاه NNE-SSW حدث في المرحلة الإيوسينية بالارتباط مع الإجهاد الـشدي الذي ساد عند الحدود الجنوبية للصفيحة العربية (انفتاح خليج عدن والبحر الأحمر). أمـا `حدوث هذا الإجهاد الشدي في الاتجاه ذاته خلال النيوجين والرباعي فيعد ظاهرة مرافقة للطي وناتجة عنه، جراء حدوث تبادل بين محوري ($\sigma1$) و ($\sigma2$) في أثناء تأثير الإجهاد الضغطي التدمري، مما أدى إلى حدوث شد في الاتجـاه المعامـد ($\sigma3$: NNE-SSW) وتسبب بإعادة نشاط صدوع عادية قديمة كانت قد نشأت في الإيوسين.

ولقد أشارت الملاحظات الحقلية إلى أن إعادة نشاط بعض هذه الصدوع حدث بـشكل آخر أيضاً. فقد أدى الضغط التدمري ($\sigma1$: NW-SE) إلى تحويل بعض الصدوع العادية الإيوسينية (ذات الاتجاه WNW-ESE) إلى صدوع انزياح جانبي (يميني).

3-3-2- شد ($\sigma3$) باتجاه NNW-SSE حتى WNW-ESE

بينت الملاحظات الحقلية لمنظومات الصدوع العادية في المواقع 16، 19، 21 و 30 (ذات التكشفات الصخرية الدولوميتية التورونية) وتحليلها في المخططات البيانية حـدوث شد ($\sigma3$) باتجاه NNW-SSE، وأن هذه المنظومات تعود بنشأتها إلى ماقبل إمالة الطبقات (الشكل 10 – د، هـ). وهذه تعزى إلى مراحل الشد التي سادت في الكريتاسي الأعلـى على الأرجح.

أما في المواقع 35، 39 و 40 فقد وجدت منظومات صدوع عادية أعطـى تحليلهـا اتجاهاً للشد

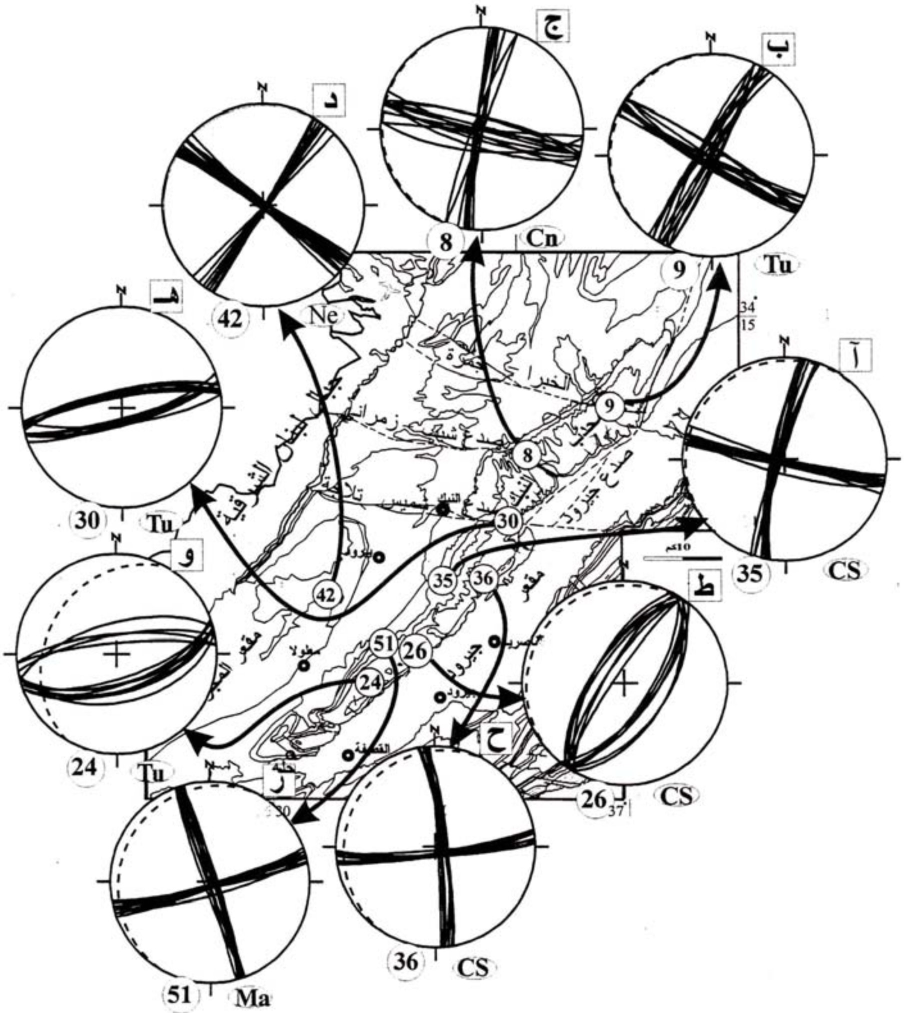
WNW-ESE (الشكل 10 – و، ز) يعود إلى مراحل ما بعد الإمالة. وتـرتبط هـذه المنظومات الصدعية على الأرجح بعلاقة منشئية مع منظومات الشقوق المتعامدة المرافقة للطي (فقرة 3 – 4 –1)، وهي من ثم ناتجة عن عملية الطي نفسها.

3-4- منظومات الشقوق

3-4-1- منظومات الشقوق الناتجة عن الطي التدمري

بينت دراسـة المواقـع 2، 4، 8، 9، 11، 28، 31، 32، 33، 35، 42، 49 و 54 (التي تشمل تكشفاتها معظم صخور العمود الطبقي المتكشف في منطقـة الدراسـة مـن السينوماني حتى البليوسين) وجود منظومات شقوق متعامدة. وبشكل عـام تأخـذ إحـدى مجموعتي هذه المنظومات الاتجاه NNE-SSW موازية بذلك محور محدب النبك تقريبـاً (شقوق طولانية)، بينما تأخذ المجموعة الأخرى الاتجاه WNW-ESE، أي أنهـا تتعامـد تقريباً مع محور محدب النبك (شقوق عرضانية). مما يشير إلى أن منشأ هذه المنظومات يرتبط على الأرجح بعملية الطي (الشكل 13 – آ، ب، ج، د). وقد وجد في بعض المواقع أن مجموعات الشقوق المنتمية لهذه المنظومات المتعامدة توازي منظومات صدوع عادية تأخذ اتجاه هذه الشقوق نفسه، مما يشير إلى منشأ مشترك لمنظومات الـشقوق المتعامـدة ولمنظومات الصدوع العادية تلك. ففي الموقع 35 الذي تتكشف فيه صخور كلسية مارلية تعود للكونياسي – سانتوني، تبين أن مجموعة الشقوق الموازية لمحور المحدب تـوازي منظومة صدوع عادية لوحظت في الموقع أيضاً وتأخذ الاتجـاه نفـسه (الـشكل 13 - آ والشكل 10 - ز). أما في الموقع 8 الذي تتكشف فيه صخور السينوماني الكلـسية فقـد لوحظ أن إحدى مجموعتي الشقوق توازي منظومة الصدوع العادية التي لوحظـت فـي الموقع 7 المجاور وذات الاتجاه WNW-ESE (الشكل 13 - ج والشكل 10 - آ). وتؤكد

مجمل هذه الملاحظات المنشأ الشدي لمنظومات الشقوق المتعامدة وعلى علاقتها مع عملية الطي في المنطقة.



الشكل (13) إسقاط منظومات الشقوق المدروسة في مواقع مختلفة من منطقة الدراسة. الرموز نفسها المستخدمة في الشكل (3).

لقد أعيد نشاط بعض السطوح المنتمية لمنظومات الشقوق المتعامدة جراء الحركات التكتونية اللاحقة لنشأتها. ففي الموقع 9 الذي تتكشف فيه صخور التورونى الكلسية الدولوميتية وجد أن بعض شقوق المجموعة المعامدة لمحور الطي قد أعيد نشاطها بشكل نطاقات بريش تكتوني يتراوح عرضها مابين متر وبضعة أمتار. ويعزى ذلك على الأرجح إلى نشاط لاحق للصدع العرضاني (صدع الخبرا – جمرة) الذي أصاب المنطقة، والذي يوجد الموقع 9 على امتداده (الشكل 2 - ج، الشكل 13 - ب).

تتوضح العلاقة المنشئية التي تربط هذا النمط من منظومات الشقوق المتعامدة بالطي في الموقع 42 الذي تتألف تكشفاته من صخور كلسية بحيرية عضوية عائدة للبليوسين (الأعلى على الأرجح) وتمثل قمم التلال النيوجينية الواقعة إلى الشمال الغربي من بلدة معلولا (الشكل 13 – د). مما يشير إلى استمرار هذا النمط من التشقق المرافق للطي حتى البليستوسين على الأقل، ويؤكد بالمقابل أن عملية الطي استمرت حتى البليستوسين. ومايلفت النظر في المخطط البياني الذي يمثل منظومة الشقوق في هذا الموقع (الشكل 13 – د) دوران هذه المنظومة باتجاه عقارب الساعة بقيمة 10 ـ 20 درجة، وذلك بالمقارنة مع منظومات الشقوق المتعامدة الأخرى التي درست في التكشفات الأقدم آنفة الذكر (لأشكال 13 – آ، ب، ج). الأمر الذي يعزز ما ذكر آنفاً عن دوران إجهادات الضغط التدمري باتجاه عقارب الساعة خلال النيوجين والرباعي، بخاصة وأننا نعد أن منشأ منظومات الشقوق هذه يعد من مرافقات الطي.

إن منظومات شقوق القص العادية "normal shear joints" ذات الاتجاه العام WNW-ESE، والتي وجدت في المواقع 13، 22، 30، 31 و51 (شكل 10– ح، ط) تتوافق مع منظومات الشقوق المتعامدة آنفة الذكر ومع منظومات صدوع عادية وجدت في بعض المواقع (الشكل 10 – آ، ب)، مما يؤكد المنشأ الشدي لمنظومات الشقوق المتعامدة وشقوق القص العادية المذكورة هنا. أما في الموقع 26 فقد لوحظت منظومة شقوق قص عادية ذات اتجاه NNE-SSW (الشكل 13 - ط) أي أنها توازي مجموعات الشقوق الطولانية العائدة لمنظومات الشقوق المتعامدة آنفة الذكر.

إضافة إلى الأنماط السابقة من منظومات الشقوق فقد وجدت في المواقع 14، 26، 27، 28 و50 منظومات شقوق قطرية "diagonal joint system". وبتحليل دوائرها الكبيرة "great circles" على شبكة شميت يتبين أنها تتوافق مع إجهادات ضغط ($\sigma 1$) تتجه WNW-ESE حتى NW-SE (الشكل 3 – و، ز). أي أنها تتوافق مع ما اصطلحنا عليه "الإجهاد الضغطي التدمري" الذي استنتج من دراسة منظومات الصدوع المقلوبة وصدوع الانزياح الجانبي (فقرة 3-1-1 وفقرة 3-2-3).

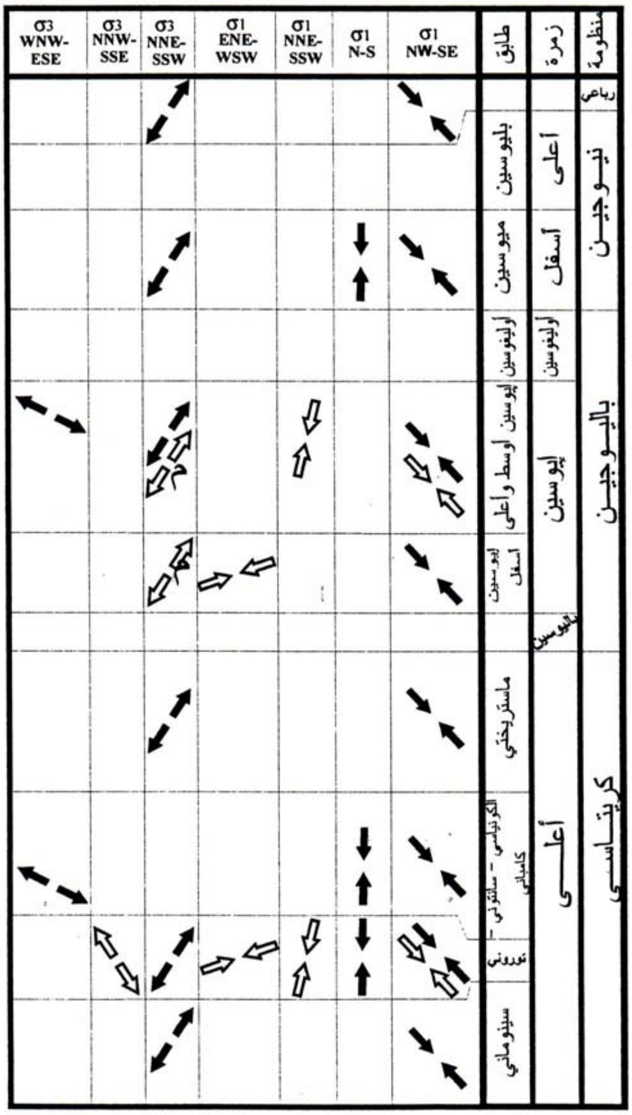
3-4-2- منظومات الشقوق السابقة للطي التدمري

بينت دراسة المواقع 24، 30، 36 و 51 (التي تتراوح تكشفاتها ما بين التورونى والماستريختي) وجود منظومات شقوق ليست على علاقة هندسية من حيث وضعيتها الفراغية مع محدب النبك. ففي الموقعين 36 و51 وجدت منظومتا شقوق متعامدتين تأخذ مجموعتاهما الاتجاهين NNW-SSE و ENE-WSW (الشكل 13 – ز، ح). وعلاوة على ذلك فقد تبين في الموقع 51 أن هذه المنظومة أقدم من منظومة شقوق قص عادية مرافقة للطي تتجه WNW-ESE. ويرجح من خلال الملاحظة الحقلية ومن إسقاط هذه المنظومات على شبكة شميت أنها سابقة لإمالة الطبقات. أما في الموقعين 24 و 30 فقد وجدت منظومتا شقوق قص عادية تأخذ كل منهما الاتجاه ENE-WSW (الشكل 13 – هـ، و) نتجتا عن شد باتجاه ($\sigma3$: NNW-SSE)، أي بشكل يتوافق مع منظومتي شقوق الشد اللتين وجدتا في الموقعين 36 و 51 الموصوفين سابقاً. وفضلاً عن ذلك فإن منظومة شقوق القص العادية التي وجدت في الموقع 30 تتوافق مع منظومة صدوع عادية وجدت في الموقع نفسه وتأخذ الاتجاه نفسه (فقرة 3-3-2)، مما يؤكد المنشأ الشدي لمنظومات الشقوق المتعامدة ومنظومات شقوق القص العادية ومنظومات الصدوع العادية المذكورة في هذه الفقرة، وأنه يعود إلى مراحل ماقبل الإمالة. ولا يستبعد أن يكون هذا الإجهاد الشدي ($\sigma3$: NNW-SSE) قد رافق الإجهاد الضغطي ($\sigma1$: ENE-WSW) الذي ساد في نهاية الإيوسين، ونفترض في هذه الحالة حدوث تبادل مؤقت بين محوري ($\sigma1$) و($\sigma2$) في تلك الفترة.

ومن ناحية أخرى فإن منظومة الشقوق القطرية التي وجدت في الموقع 10 الذي تتكشف فيه صخور التوروني (الشكل 8 – ز) تتوافق مع إجهاد ضغطي باتجاه ($\sigma1$:ENE-WSW)، أي مع الإجهاد الضغطي المستنتج من تحليل صدوع الانزياح الجانبي السابقة للإمالة والتي قيست في الموقع 56 (الشكل 8– هـ).

4 ـ التطور التكتوني لمحدب النبك بالعلاقة مع التطورات التكتونية الإقليمية

تعرضت منطقة محدب النبك خلال تاريخ تطورها لاتجاهات مختلفة من إجهادات الضغط والشد (الشكل 14). وقد تم في إطار هذا البحث تحديد العمر النسبي للأحداث التكتونية التي مرت بالمنطقة من خلال الدلائل الجيولوجية الحقلية ومن خلال المقارنات الإقليمية. وتمثل هذه الأحداث بشكل عام انعكاسات للأحداث التكتونية الإقليمية التي جرت على حدود الصفيحة العربية (Brew et al., 2001).



الشكل (14) اتجاهات أنظمة الإجهاد (σ1: ضغط و σ3: شد) المستنتجة من خلال هذا البحـث، وذلك بحسب التشكيلات التي سجلت بها. الأسهم البيض: إجهادات سابقة للطـي، الأسهم السود: إجهادات مرافقة أو لاحقة للطي، م: شد معاصر للترسيب.

يقود تحليل الإجهادات المنفذ في إطار هذا البحث إلى استنتاج أن المنطقة قد تعرضت منذ الكريتاسي الأعلى وحتى الرباعي لمراحل الإجهاد الآتية:

- **المرحلة الأولى (كريتاسي أعلى ؟)، شد (σ3) باتجاه NNW-SSE:**

لقد وجدت البنيات الشدية الناتجة عن هذه المرحلة في صخور طابق التوروني، مما يشير إلى أن هذا الاتجاه من الشد حصل على الأرجح في الكريتاسي الأعلى (شكل 15-آ). وبالمقارنة يتضح أن هذا الإجهاد الشدي ساد إقليمياً في مختلف الأجزاء الشمالية والجنوبية للنطاق التدمري (Darkal et al., 1999; Darkal, 2002). وبذلك فهو يرتبط بتطور الحوض الصدعي التدمري خلال الكريتاسي، ذاك الحوض ضمن القاري، المتطاول باتجاه شمال شرق-جنوب غرب، والذي نشأ على هامش محيط التيتس الجديد.

- **المرحلة الثانية (إيوسين) شد (σ3) باتجاه NNE-SSW:**

إن اتجاه الشد الذي كان سائداً في الكريتاسي انحرف خلال الباليوجين ليصير باتجاه NNE-SSW في الإيوسين (شكل 15 – ب). كما ساد هذا الشد الإيوسيني (الصدوع العادية المعاصرة للترسيب الإيوسيني) في أجزاء أخرى من النطاق التدمري. غير أن اتجاه الشد في الأجزاء الوسطى والشمالية من هذا النطاق يبدو منحرفاً أكثر باتجاه الشرق (σ3: ENE-WSW: Darkal, 2002). ومن المحتمل أن تكون عمليات الشد هذه مرتبطة بعمليات تكتونية جرت على الحدود الجنوبية للصفيحة العربية تمثلت بانفتاح خليج عدن والبحر الأحمر، مما أدى إلى نشوء إجهادات شد في الأجزاء الداخلية من الصفيحة وبخاصة النشطة منها آنذاك وأهمها المنطقة التدمرية.

- **المرحلة الثالثة (نهاية الإيوسين) ضغط (σ1) باتجاهي NNE-SSW و ENE-WSW**

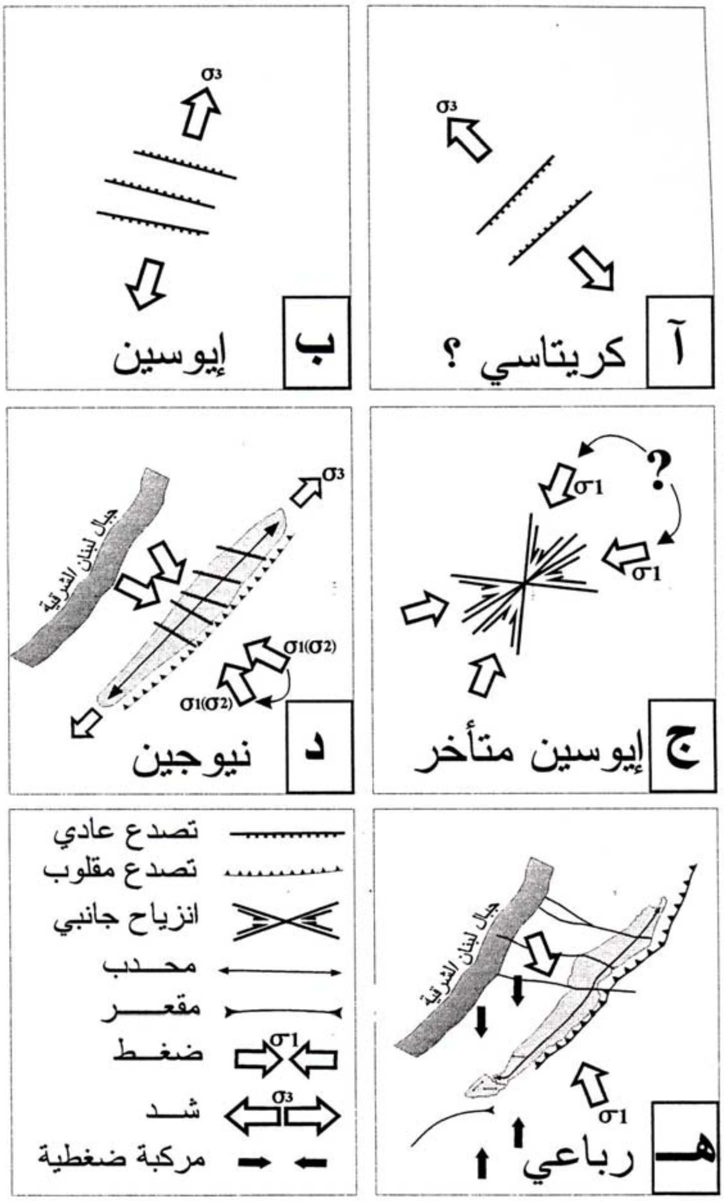
إن اتجاه الشد (σ3: NNE-SSW) الذي كان سائداً خلال المرحلة السابقة (إيوسين) انعكس عند نهاية الإيوسين ليصير اتجاهاً للضغط (σ1: NNE-SSW). غير أن اتجاهاً آخر للضغط (σ1: ENE-WSW) سجل في الفترة نفسها أيضاً (شكل 15– ج)، ولم تتضح العلاقة النسبية بين هذين الاتجاهين عبر معطيات هذا البحث. وتشير معطيات الدراسات المشابهة (Drakal et al., 1999; Drakal, 2002) إلى انتشار هذا النمط من الإجهادات الضغطية على مستوى النطاق التدمري. ونرجح أن حدوثها في النطاق التدمري يرتبط إقليمياً بإجهادات ضغطية ذات اتجاه مشابه سادت في تلك الفترة عند الحد الشمالي الشرقي للصفيحة العربية (نطاق طي زاغروس)، والذي مثل جزءاً من حوض التيتس الجديد المنغلق تدريجياً جراء الانغراز (Brew et al., 2001).

- المرحلة الرابعة (ميوسين) ضغط (σ1) باتجاه WNW-ESE حتى NW-SE

لقد اقتصرت إجهادات المراحل التكتونية السابقة قبل النيوجينية على تكـوين بنيـات تكسرية في التشكيلات الصخرية دون إحداث إمالة عامة للطبقات، أي دون تكوين طيـات إقليمية الامتداد. غير أن الدلائل الجيولوجية المختلفة تشير إلى أن عمليات الطي الإقليمي بدأت مع فجر النيوجين وذلك جراء تضيق الحوض التدمري الميزوزوي باتجـاه معامـد لتطاوله (Ponikarov,1967; Chaimov et al., 1992; 1993) وأدت بالنتيجة إلى نهوض السلسلة الجبلية التدمرية الحالية وتكوينها. وقد ترافقت تشوهات الطي هـذه مـع تكـوين بنيات تكسرية (انضغاطية أو شدية) جديدة التشكل، و مع إعادة النشاط لبنيات تكسرية أقدم نشأت خلال المراحل السابقة. بينت دراسة هذه البنيات التكسرية أن الإجهاد الضغطي بدأ باتجاه WNW-ESE، ليتحول بعد ذلك للاتجاه NW-SE، وكل ذلك خلال النيوجين (شكل 15 – د). أي بدوران يقارب الـ 15 – 20 درجة باتجاه عقارب الساعة. ولقـد اسـتنتج مثل هذا الدوران في أجزاء أخرى من نطاق الطي التدمري (Darkal, 2002)، مما يشير إلى حدوث هذا الدوران على مستوى النطاق التدمري بكامله.

- المرحلة الخامسة (رباعي): ضغط (σ1) باتجاه NNW-SSE حتى N-S

إن تحولاً ثانياً لاتجاه الضغط حدث خلال الرباعي، حيث تحول الاتجـاه النيـوجيني NW-SE إلى NNW-SSE (شكل 15 – هـ). وهذا يعد استمراراً لعملية الدوران آنفـة الذكر. ولقد ولد هذا الاتجاه الجديد من الضغط مركبةً ضغطيةً باتجاه N-S. وعلى مايبدو فإن حدوث هذه المركبة اقتصر على الأجزاء الغربية لنطاق الطي التدمري. ويمكـن أن يعود سبب نشوء هذه المركبة إلى وجود كتلة جبال لبنان الشرقية إلى الشمال الغربي مـن منطقة الدراسة (شكل 15 – هـ)، أو إلى وجود بنيات (صدوع) قديمـة موروثـة مـن المراحل التكتونية السابقة (فقرة 3-1-2). وهذا ما أدى إلى تكوين بنيات تكسرية نتيجـة هذا الإجهاد، وإلى انحراف الجزء الجنوبي الغربي من محور محدب النبك ليصبح باتجاه E-W، إضافةً إلى تكوين طيات عرضانية بذاك الاتجاه (الشكلان 6، 7).



الشكل (15) المراحل الخمس الرئيسة لتطور الإجهادات فـي منطقـة البحـث خـلال الـزمن الجيولوجي الممتد ما بين الكريتاسي الأعلى والرباعي.

وقد اصطلحنا على تسمية الاتجاهات الضغطية النيوجينية والرباعية (المرحلتان الرابعة والخامسة) بالإجهاد الضغطي التدمري. وعموماً فإن هذا الإجهاد يمثل منعكساً ضمن قاري للعمليات الجيوديناميكية التي كانت تجري على حدود الصفيحة العربية، وبخاصة عمليات الانغراز والتصادم التي كانت تجري في تلك الفترة عند حدودها الشمالية (نطاق التحام بيتلس"Bitlis suture zone") والتي أدت إلى الإغلاق النهائي لمحيط التيتس الجديد في تلك المناطق.

وقد كان من جملة تأثيرات هذا الإجهاد تكوين بنيات شدية (صدوع عادية وشقوق) ناتجة عن عملية الطي أو إعادة نشاط لبنيات شدية تكونت جراء أحداث تكتونية سابقة.

5 ـ خلاصة واستنتاجات

خلص البحث إلى تحديد مجموعة من المعطيات الجديدة عن اتجاهات الإجهادات التي أثرت في المنطقة، وذلك بدءاً من الكريتاسي الأعلى وحتى الرباعي، إضافة إلى تمييز الإجهادات الرئيسة التي أثرت في مستوى النطاق التدمري عامة عن تلك التي اقتصر حدوثها على جزئه الغربي فقط. مما قاد إلى تحديد الصورة العامة للتطور التكتوني لهذا الجزء من نطاق الطي التدمري، حيث تبين أن المنطقة تعرضت لخمس مراحل من الإجهادات (أحداث تكتونية) تباينت فيما بينها اتجاهات الشد والضغط. وقد اصطُلح على تسمية الاتجاهات الضغطية النيوجينية والرباعية بـ "الإجهاد الضغطي التدمري".

وعموماً فإن هذه الإجهادات تمثل منعكساً ضمن قاري للعمليات الجيوديناميكية التي كانت تجري في تلك الفترة عند حدود الصفيحة العربية.

ومن جهة أخرى فقد أكدت هذه النتائج ضرورة تعميق البحوث الجيولوجية عموماً، والتكتونية خصوصاً بهدف الوصول إلى معرفة أفضل للتطور الجيولوجي لبنية النطاق التدمري، ولما يمكن أن تحمله هذه المعرفة من فوائد حتى على الصعيد الجيولوجي الاقتصادي. ويمكن أن نوجز المواضيع الرئيسة المفتوحة للتحري والبحث في المجال المذكور بما يأتي:

*** سبب الدوران المستنتج لإجهادات "الضغط التدمري" وربطه بالمعطيات التكتونية الإقليمية:**

نرجح حالياً أن يكون سبب دوران الاتجاهات الضغطية النيوجينية والرباعية باتجـاه عقارب الساعة مرتبطاً بتغير حصل لاتجاه حركة الصفيحة العربية وما رافق ذلـك مـن تغير لاتجاه الحركات النسبية فيما بين الكتل الداخلية المؤلفة للجزء الـشمالي مـن هـذه الصفيحة. منوهين إلى أن مثل هذه الحركات النسبية لم تؤخذ بالحـسبان فـي الدراسـات التكتونية التي جرت حتى الآن في شمال الصفيحة العربية. ونفترض هنا حدوث تغيير في اتجاه الحركات النسبية فيما بين الكتل الثلاث الرئيسة في هذه المنطقة وهي كتلة نهـوض الحماد (الرطبة) وكتلة هضبة حلب اللتان تحصران فيما بينهما الكتلة التدمرية المنضغطة والمؤلفة بشكل أساسي من الرواسب الحوضية الميزوزوية والباليوجينية. وبالإضافة إلـى ذلك لابد من التنويه إلى عدم وضوح الدور الذي أداه كل من الصدع المحـول المـشرقي وبنية الفرات الصدعية في التطور التكتوني للنطاق التـدمري. وهنـا نؤكـد أن إجـراء دراسات تكتونية تفصيلية وجيوفيزيائية (مغنطيسية قديمة) في مجال هذه البنيات المحيطة بالنطاق التدمري، يمكن أن يقدم إسهاماً كبيراً باتجاه تحديد حركاتها النسبية، وفي الوصول إلى معطيات عن التأثير الجيوديناميكي المتبادل بينها، وبخاصة خلال السينوزوي الأعلى.

*** العلاقـة بـين اتجـاهي الـضغط ($\sigma1$: NNE-SSW) و($\sigma1$: ENE-WSW) المسجلين عند نهاية الإيوسين:**

إن إيجاد دليل حقلي يبين العلاقة بين اتجاهي الضغط ($\sigma1$: NNE-SSW) و($\sigma1$: ENE-WSW) لم يكن ممكناً في إطار البحث الحالي. ولقد سجل هذان الاتجاهـان فـي صخور الإيوسين، ورجح بالمقارنة الإقليمية أنهما يعودان إلى نهاية الإيوسين. ونعتقد أن الوصول إلى معطيات أكثر وضوحاً عن هذه العلاقة يمكن أن يتم مـن خـلال دراسـات مقارنة تجرى في المناطق الأخرى من نطاق الطي التدمري ولاسيما في جزئه الجنوبي.

*** التمييز بين بنية النطـاق التـدمري وبنيـة جبـال لبنـان الـشرقية والعلاقـة الجيوديناميكية فيما بينهما:**

رغم ما تم التوصل إليه بنتيجة هذا البحث عن الدور الممكن لكتلة جبال لبنان الشرقية في توليد المركبة الضغطية باتجاه N-S في الجزء الغربي من النطاق التدمري، نعتقد بأن العلاقة الديناميكية بين هاتين البنيتين لا تزال مسألة مفتوحةً للحوار. ولن تتوضـح هـذه العلاقة بالتأكيد إلا من خلال تكثيف الدراسات التكتونية في كلتيهما، وعلى الأخص تلـك المتعلقة بالإجهادات القديمة. مؤكدين هنا أيضاً على أنـه ورغـم التـشابه فـي بعـض

الخصائص الجيولوجية والتكتونية لكلتا البنيتين، إلا أنهما تمثلان بنيتين مستقلتين، ولاسيما بعد حدوث التشوهات النيوجينية والرباعية. ومن ثم نعد أن محدب النبـك يمثـل الحافـة الغربية لنطاق الطي التدمري وليس جزءاً من جبال لبنان الشرقية كما اعتبره Ponikarov (1966)، وفي الوقت نفسه لا نعد أن جبال لبنان الشرقية تمثل جزءاً من نطـاق الطـي التدمري كما اعتبرها Searle (1994) وWalley (1998). إذ إنه وعلى الرغم مـن أن الرواسب الميزوزوية الموجودة في كل من النطاق التـدمري وجبـال لبنـان الـشرقية (والغربية كذلك) توضعت عموماً في إطار حوضين رسوبيين متصلين، ضـمن الإطـار العام للتطور التكتوني والترسيبي والباليوجغرافي للحوض المشرقي على هـامش محـيط التيتس الجديد، غير أن طبيعة الرواسب وثخاناتها تختلف فيمـا بينهمـا اختلافـاً كبيـراً (Al-Maleh and Mouty, 1988; Mouty, 2000; Brew et al., 2001; Mouty et al., 2002). أما الفرق الأساسي بين جبال لبنان الشرقية ونطاق الطـي التـدمري فيتجلـى بوضوح بدءاً من النيوجين، حيث بدء الانضغاط الإقليمي لمحتواهما الرسوبي. وهذا مـا أدى إلى نهوض كلتا البنيتين، مع وجود فرق واضح بين طبيعة التشوهات الحاصلة. فلقد بينت الشواهد الإقليمية والحقلية أن التشوهات الحاصلة في مجال نطاق الطي التدمري هي تشوهات انضغاطية بالدرجة الأولى، تمثلت بالطي والتراكب "folding and thrusting". ولم تثبت الملاحظات الحقلية إلى الآن وجود أية شواهد على حدوث انزياحات جانبية على امتداد الصدوع التدمرية الرئيسة، وبخاصة على امتداد الصدوع ذات الاتجـاه NE-SW ، ولايوجد في الواقع ما يدل على استمرار تشوهات الصدع المحول المـشرقي (اسـتمرار بعض صدوع الانزياح الجانبي) باتجاه نطاق الطي التـدمري، بالطريقـة التـي يراهـا Walley (1988). أما ما يمكن إثباته من انزياحات جانبية علـى امتـداد صـدوع مـن اتجاهات أخرى (الاتجاهات المعترضة علـى الطيـات: WNW-ESE حتـى NW-SE، (Chaimov et al., 1993; Kopp et al., 1994) فلا يمثل باعتقادنا إلا نتيجة مـن نتـائج الضغط التدمري نفسه (فقرة 3-3-1). أما جبال لبنان فقد تعرضت لنمطين مترافقين من التشوهات هما التشوهات الانضغاطية وتشوهات الانزياح الجانبي المترافقة مـع التطـور التكتوني للصدع المحول المشرقي (كحد صفيحي)، وذلك في إطار ما وصف بمـصطلح "الانحراف الحابس" "restraining bend" (Chaimov et al., 1992). لذلك فإننا نعـد أن هذا الاختلاف في طبيعة التشوه النيوجيني والرباعي هو معيار أساسي في التمييز ما بين هاتين البنيتين. ومن هنا فإن الصفات التكتونية لمحدب النبك (وبـشكل مـشابه محـدب قاسيون الذي يوجد أيضاً على الهامش الغربي للنطاق التدمري) تجعل منه جزءاً من نطاق الطي التدمري. فهو بنية انضغاطية بالدرجة الأولى من نمط الطيات التي أصيبت نواهـا بالصدوع التراكبية، ولم تبين الملاحظات الحقلية أية إشارات في حدوث انزياحات جانبية، بخاصة على امتداد جناحه الجنوبي المصاب بالصدع الطولاني الرئيس (صدع جيـرود)،

مثّله في ذلك مثل بقية طيات الجزء الجنوبي من النطاق التدمري. وبذلك نعد أنـه يمثـل المنطقة الحدودية مع بنية جبال لبنان الشرقية.

وكل ذلك يؤكد أهمية دراسة تطور الإجهادات القديمة في جبال لبنان الشرقية، وذلـك بهدف تحديد طبيعة التطور التكتوني في تلك السلسلة الجبلية وبيـان علاقتهـا بالبنيـات المجاورة، ولاسيما ببنية نطاق الطي التدمري.

REFERENCES المراجـع

Al-Maleh, A. Kh. and Mouty, M. (1988): The Sedimentologic and Paleogeographic evolution of the Palmyridian region during the Cretaceous. Geology of Jordan and adjacent areas; Proc. 3rd Jordanian Geol. Conf. Saffarini G.A. et al. (editors), Spec. Publ. 3, Jordanian Geological Association, pp. 213-244. (in Arabic).

Angelier, J. (1979): Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. Tectonophysics, 56, pp. 17-26.

Angelier, J. (1984): Tectonic analysis of fault slip data sets. J. Geophys. Res., 89, B7, pp. 5835-5848.

Angelier, J. (1990): Tectonique cassante et néotectonique. Ann. Soc. Géol. Belgique. t. 112, Fasc. 2, pp. 283 – 307.

Angelier, J. (1991): Inversion directe et recherche 4-D: Comparison physique et mathématique de deux modes de déterminations des tenseurs des paléocontraintes en tectonique de failles. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 312, Série II, pp. 1213 – 1218.

Barazangi, M.; Seber, D.; Chaimov, T.; Best, J.; Litak, R.; Al-Saad, D. and Sawaf, T. (1993) : Tectonic evolution of the northern Arabian plate in western Syria. Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region. E. Boschi et al. (eds.), pp. 117-140.

Bouaziz, S.; Barrier, E.; Angelier, J.; Tricart, P. and Turki, M. M. (1998): Tectonic evolution of the southern Tethyan margin in Tunisia. Peri-Tethys Memoir stratigraphy and evolution of Peri-Tethyan platforms. S. Carsquin-Soleau & E. Barrier (eds), Mem. Mus. nat. Hist. Nat., 177: pp. 215-236.

Brew, G.; Barazangi, M.; Al-Maleh, K. and Sawaf, T. (2001): Tectonic and geologic evolution of Syria. Geoarabia, V. 6, N°. 4, pp. 573- 616.

Chaimov, T. A.; Barazangi, M.; AlSaad, D.; Sawaf, T. and Gebran, A. (1992): Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from the seismic stratigraphy in the southwestern intracontinental Palmyride fold- thrust belt, Syria. Geol. Soc. Am. Bull. V. 104, pp. 704-715.

Chaimov, T. A.; Barazangi, M.; Al-Saad, D.; Sawaf, T. and Khddour, M. (1993): Seismic fabric and 3-D Structure of the Southwestern intracontinental Palmyride fold belt, Syria. The Am. Ass. of Pet. Geol. Bull. V. 77, N°, 12. pp. 2032-2047.

Darkal, A. N.; Bouaziz, S.; Barrier, E. (1999): Paleostress evolution in the Kassioun anticline. 39th Science week, Book 2, Supreme council of Sciences, Syria, pp. 227-246, (in Arabic).

Darkal, A. N. (2002): Paleostress evolution in the Mrah anticline, Northern Palmyride fold belt, Syria. Damascus University Jounal for the basic sciences, vol. 18, N°, 2, pp.149-175. (in Arabic).

Kopp, M. L.; Leonov, Yu. G. and Adjamian, J. (1994): deformation of the western Arabian plate as a result of strike-slip along the Levant fault. Geotektonika, Moscow, N°, 3. pp. 61-76.

Mouty, M. (2000): The Jurassic in Syria: an overview. Lithostratigraphic and biostratigraphic correlations with adjacent areas. Peri-Tethys Memoir 5: New data on Peri-Tethyan sedimentary basins. S. Crasquin-Soleau & E. Barrier (eds.), Mem. Mus. Natl. Hist. Nat., Paris 182, pp. 159-168.

Mouty, M.; Al-Maleh, A. Kh. and aboulaban, H. (2002): Le Crétacé Moyen de la Chaîne des Palmyrides (Syrie Centrale), Geodiversita, (in presse).

Ponikarov, V.P. (1963): The Geological map of Syria. Scale 1:200,000, sheets: I-36-XII; I-37-VII, I-37-XIV, I-36-XVIII;1-37-XIII. S.A.R., Ministry of Industry.

Ponikarov, V.P. (1966): The Geological map of Syria. Scale 1:200,000, Explanatory notes, sheets: I-36-XII; I-37-VII, I-37-XIV, I-36-XVIII;1-37-XIII, S.A.R., Ministry of Industry.

Ponikarov ,V.P. (1967) : The Geology of Syria, Scale 1:500,000, Explanatory notes, Part I, S.A.R. Ministry of Industry.

Saintot, A.; Angelier, J.; Ilyin, A. and Goushtchenko, O. (1998): Reconstruction of paleostress fields in Crimea and the North West Caucasus, relationship with major structures. Peri-Tethys Memoir3: stratigraphy and evolution of Peri-Tethyan platforms. S. Carsquin-Soleau & E. Barrier (eds). Mem. Mus. Nantl. Hist. Nat., 177: pp. 89-112.

Searle, M. (1994): Structure of the Palmyride fold belt, Syria. Geol. Soc. Am. Bull., 106, pp. 1332 – 1350.

Walley, C.D. (1988): A braided strike slip model for the Northern continuation of the Dead Sea Fault and its implications for the Levantine tectonics. Tectonophysics. V. 145. pp. 63 – 72.

Walley, C.D. (1998): Some outstanding issues in the geology of Lebanon and their importance in the tectonic evolution of the Levantine region. Tectonophysics, 298, pp. 37-62.