

تحليل الإجهادات القديمة للصخور الكريتاسية في خارطة الحفة (السلسلة الساحلية - شمال غرب سورية)

الدكتور محمد القاضي*

الدكتور محمد توفيق يونس**

سامر البب***

(تاريخ الإيداع 6 / 4 / 2010. قُبِلَ للنشر في 30 / 5 / 2010)

□ ملخّص □

أجريت هذه الدراسة على الصدوع الظاهرة ضمن الصخور الكريتاسية، في الجزء الشرقي والمركزي من رقعة الحفة في السلسلة الساحلية - شمال غرب سورية. تهدف هذه الدراسة إلى إعادة بناء الإجهادات القديمة منذ الأبتى حتى الماستريختي، من خلال تحليل معطيات الصدوع التكتونية بطريقة INVD من برنامج Angelier، ومن ثم وضع هذا التطور وتفسيره ضمن إطاره الجيودينامي العام.

تم تعيين طورين تكتونيين إقليميين: الأول: طور شدّي ذو اتجاه شمال غرب - جنوب شرق في توضعات الألبى - السينوماني، والذي تم تحديده بصدوع عادية مرافقة للترسيب اتجاهها شمال شرق - جنوب غرب. إن هذا الطور مرتبط مع الانفتاح النشط للنيوتيتس في شرق المتوسط. الثاني: طور شدّي ذو اتجاه شمال شرق - جنوب غرب في توضعات التوروني، والذي تم تحديده عن طريق صدوع عادية مرافقة للترسيب اتجاهها شمال غرب - جنوب شرق. يرتبط هذا الطور مع الطور الشدّي الإقليمي في شمال الصفيحة العربية، المترافق مع انهدامات إقليمية مثل انهدامي الفرات في سورية والأزرق في الأردن.

الكلمات المفتاحية: الحفة - كريتاسي - صدوع - إجهادات قديمة - طور شدّي.

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

** أستاذ مساعد - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

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

Paleo-Stress Analyses of Cretaceous Sediments in Alhaffa Sheet (Coastal Range - Nw of Syria)

Dr. Mohamad Alkadi *
Dr. Mohamad Toufik Younes **
Samer Alub ***

(Received 6 / 4 / 2010. Accepted 30 / 5 / 2010)

□ ABSTRACT □

This study deals with revealed faults on Cretaceous sediments in eastern and central parts of Alhaffa area – Coastal Range - NW of Syria. This study's aim is to reconstitute the paleo-stress since Aptian to Maastrichtian, which was based on INVD method from Angelier's program to analyses fault slip data and replace it in its general geodynamic frame. Two regional tectonic events were determined: 1- NW-SE extension in Albian - Cenomanian deposits, which was determined by NE-SW syndepositional normal faults. This event is related to the reactivation of opening of Neo-Tethys in Eastern Mediterranean, 2- NE-SW extension in Turonian deposits, which were determined by NW-SE syndepositional normal faults. This event is related to a regional extensional event in the northern Arabian plate which is associated with regional rifting as Euphrates (Syria) and Azraq (Jordan).

Key words: Alhaffa, Cretaceous, Faults, Paleo, stress, extension.

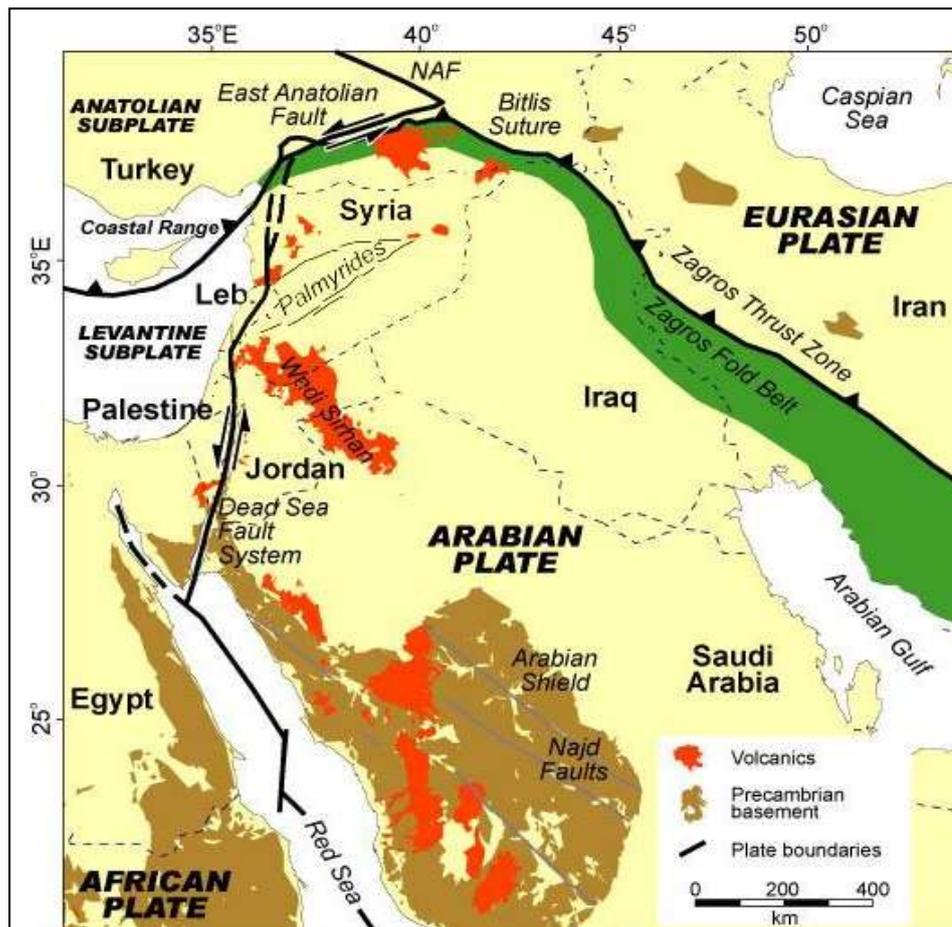
* Professor , Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Damascus, Syria.

**Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Damascus, Syria.

مقدمة:

تقع سورية ضمن الجزء الشمالي الغربي من الصفيحة العربية، بجوار الخط الرئيس لتصادم الصفيحة العربية مع الصفيحة الأوراسية. ويلاحظ هذا التصادم من خلال الحدود النشطة للصفائح المتاخمة لسورية باتجاه شمال وشمال شرق [11] و [6] (الشكل 1). تقسم سورية تكتونياً إلى نطاقين بنيويين ضمن منحدر السطيحة ذات الركيزة ماقبل الكامبري إلى: نطاق داخلي مستقر نسبياً يضم نهوض الرطبة ومنخفض جبل العرب، ونطاق خارجي متحرك نسبياً يضم نهوض حلب، ونطاق الطي التدمري وسنجار- عبد العزيز، ونظام انهدام شرقي البحر المتوسط، والسلاسل الجبلية ما بعد السطيحة المطوية، ومنحدر السطيحة العربية، ومقدمة حفرة ما بين النهرين [12].



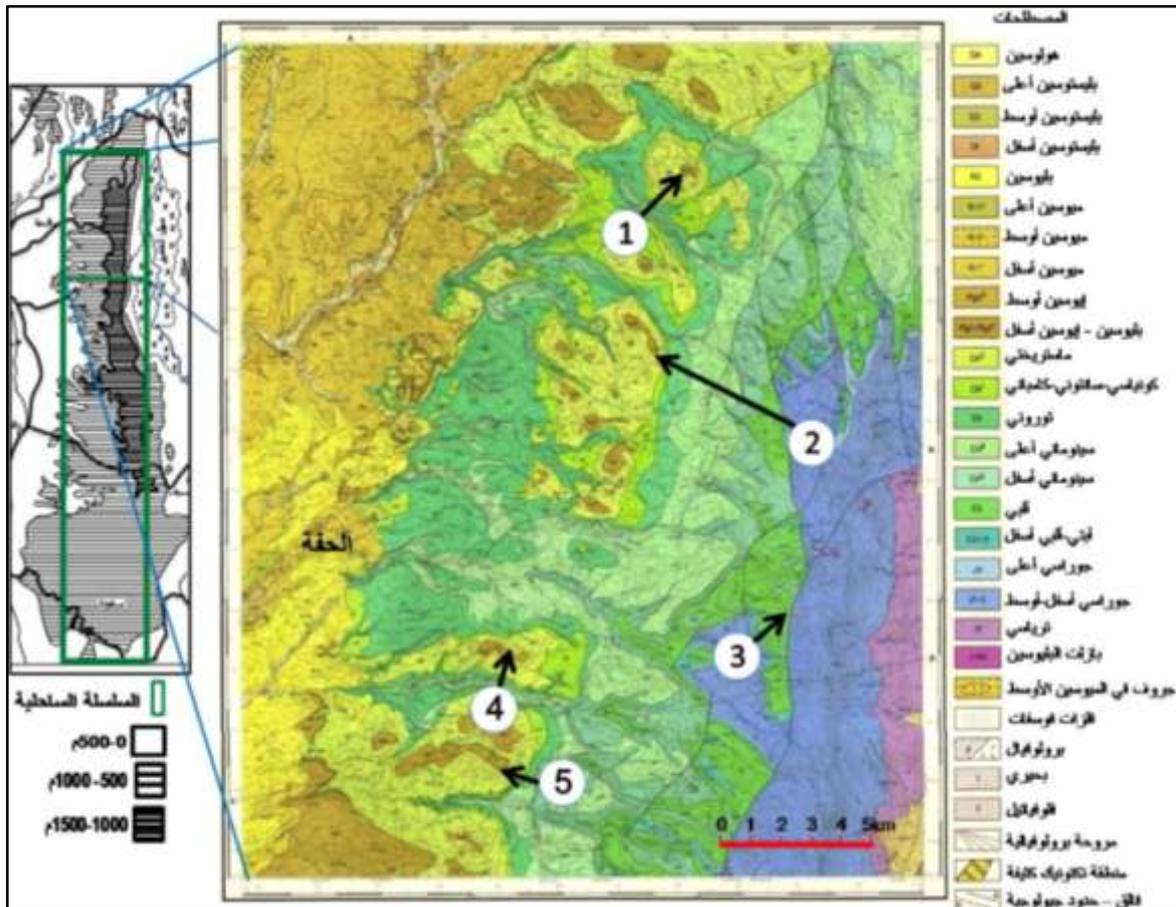
الشكل 1:

الخارطة البنيوية للصفحة العربية والوضع الجيوديناميكي مع حدودها التكتونية [6]

تشكل السلسلة الساحلية إحدى الوحدات التكتونية المكونة لجيولوجية سورية، وتقع إلى الشمال الغربي منها ضمن مجموعة الكتل الجبلية الواقعة في الطرف الشمالي الغربي للصفحة العربية. وصنفت على أنها سلسلة ساحلية قوسية [13]، في حين عدّها آخرون جزءاً من القوس السوري الذي تطور في الكريتاسي العلوي والبايوجين [7] و [15]، فيما عدّ Gomez نهوض السلسلة الساحلية تمّ في السينوزوي - أعلى الميوسين الأعلى، ومرتبباً بنشوء الصدع الشرقي في سورية [1] و [9].

منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في الجزء الشمالي من السلسلة الساحلية على بعد 40 كم شمال شرق مدينة اللاذقية، بين خطي عرض $35^{\circ} 30' 00''$ جنوباً و $35^{\circ} 45' 00''$ شمالاً وخطي طول $36^{\circ} 00' 00''$ غرباً و $36^{\circ} 15' 00''$ شرقاً، بمساحة 625 كم² (الشكل 2). وتقع ضمن خريطة اللاذقية - حماة (I-37-XIX; I-36-XXIV) مقياس 1:200000 [13]، بحسب تقسيمات الخرائط الجيولوجية لسورية. تتصف هذه المنطقة طبوغرافياً بالتعقيد وعدم الانتظام، فهي منطقة جبلية ذات انحدارات شديدة عامة، وتتألف هذه الجبال، متطاولة الشكل، من قمم مميزة على شكل مجموعات منفصلة عن بعضها بوديان عميقة اتجاهها شرق-غرب وشمال-غرب-جنوب شرق.



الشكل 2: منطقة الدراسة ومواقع القياسات: 1- سلمى (SALMA)، 2- الخوّارات (KH)،

3- باب جنة (BJ)، 4- عين التينة (AT)، 5- عين ليلون (AL)

أهمية البحث وأهدافه:

تهدف هذه الدراسة إلى عرض أهم المعطيات التي تمّ التوصل إليها في مجال دراسة التطور التكتوني للصخور الكريستالية في رقعة الحفة، وذلك من خلال توصيف التشوهات التي أصابت هذا القسم الشمالي من السلسلة الساحلية انطلاقاً من تحليل التشوهات التكرسية ولاسيما تجمعات الصدوع.

يسعى هذا العمل إلى إعادة بناء حالة الإجهادات القديمة المتتابعة بغية المساهمة في تحديد الاتجاهات العامة للقوى التكتونية المؤثرة ضمن منطقة الدراسة، وبالتالي اقتراح نموذج للتطور التكتوني لرقعة الحفة في الإطار الجيودينامي العام.

طرائق البحث ومواده:

ارتكزت هذه الدراسة على 380 قياساً للصدوع في خمسة مواقع (الشكل 2)، شملت 33 جملة قياس وغطت توضعات الكريتاسي من عمر الألبى حتى الماستريختي (الجدول 1) و(الشكل 6). في حين لم تمكننا الطبيعة السحنية الغضارية من أخذ قياسات ضمن طابق الأبتى. وصفت سحنات هذه الصخور حقلياً بدقة، وتم تدقيق أعمارها وتحديد عانديتها إلى الدور الكريتاسي، ثم أخذت القياسات التكتونية ضمن هذه الصخور، مع مراعاة تسلسل الأعمار الجيولوجية في أخذ هذه القياسات. اعتمدت هذه الدراسة على دراسة الدالات التكتونية للتشوهات التكتونية، واهتم هذا التحليل بالبنى الميللمترية حتى الكيلومترية في مستويات ستراتغرافية مختلفة عائدة للدور الكريتاسي، إذ تشكل الصدوع البنى المدروسة الرئيسية.

اعتمد التحليل الحقلي على دراسة دالات العناصر البنيوية (اتجاهاتها، وخصائصها الجيومترية بالنسبة للطبقات ولانزياحاتها النسبية)، إذ يسهم تحليل البنى الصغيرة في تفسير البنى الكبيرة، وبالتالي في تفسير الوضع التكتوني لمنطقة الدراسة. يبين التحليل التكتوني، وجود بنى متقاطعة من أعمار مختلفة في مواقع الدراسة. وهناك عدة معايير تسمح بتحديد التاريخ الدقيق للأطوار التكتونية الذي يعتمد على دراسة الصدوع العادية المرافقة للتربيب وعدم التوافق الزاوي، وإنشاء تسلسل زمني نسبي بين هذه الأطوار الذي يرتكز على الصدوع الموروثة وحديثة التشكل، ودالة التقاطع والخواص الجيومترية للصدوع [1].

بدأ الباحث الفرنسي Jacques Angelier منذ العام 1979 بمحاولات لوضع برامج لمعالجة المعطيات التكتونية حاسوبياً، ثم طور في العام 1990 مجموعة طرق وبرامج لمعالجة هذه المعطيات تسمح بفرز هذه المجموعات، إضافة إلى تطبيق عمليات مختلفة كالتحليل الإحصائي، وحساب مصفوفة الإجهادات. تعد الطريقتان R4DT (بحث رباعي الأبعاد) و INVD (العكس المباشر) الأهم من بين هذه الطرق [4]، وترتكز على حساب المصفوفة المتوسطة للإجهاد الذي يعتمد على مبدأ إنقاص المعامل الإيجابي، مركزين الاهتمام على اتجاه عمل الفوالق، حيث تقلل الزاوية بين التحزز الحقيقي والإجهاد التماسي.

اعتمد تحليل الصدوع في منطقة الدراسة على طريقة INVD التي تقوم على حل تحليلي لنظام معادلات بتفاضل جزئي في محاور الإحداثيات الثلاثة، إذ يُختصر تحديد المصفوفة المتوسطة للإجهادات بحل نظام خطي ل 4 معاملات مثلثية بأربعة مجاهيل. يمكن عرض الإجهادات هندسياً عبر إهليلج للإجهادات، إذ تشكل σ_1 ، σ_2 و σ_3 محاور الإجهادات الأساسية، وتحليلياً عبر مصفوفة الإجهادات التي يسمح برنامج Angelier بإجراء الحسابات الضرورية على مستوى كل صدع. يمثل المحور σ_1 الإجهاد الأعظمي، ويشكل زاوية بحدود 30° مع التحزز (Stria)، ويتواجد ضمن مستوي عمودي على مستوي الصدع ماراً بالتحزز (مستوي الحركة). بينما يمثل المحور σ_2 الإجهاد الوسطي ضمن مستوى الصدع وعمودياً على التحزز، في حين يعبر المحور σ_3 عن الإجهاد الأصغري، ويشكل زاوية بحدود 60° مع التحزز ويوجد في مستوي الحركة.

تميز هذه المحاور ثلاثة أنماط لأنظمة الإجهاد التكتونية: شديدة وضغطية وإزاحية. تظهر علاقة متناظرة بين هذه الصدوع بالنسبة لمحور الإجهاد الشاقولي الذي يكون σ_1 بالنسبة للصدوع العادية، ويكون σ_2 بالنسبة للصدوع الإزاحية، ويكون σ_3 بالنسبة للصدوع العكسية. يمكن أن تتوافق هذه الأنظمة مع فتحات شد تكون عمودية على σ_3 أو بنيات درزية التي تكون محاورها موازية لـ σ_1 . يعتمد تأثير الصدوع على اتجاهاتها بالنسبة لمحاور الإجهادات الرئيسة وعلى شكل إهليلج الإجهاد، وبالتالي يعتمد على المعامل $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ ومقاومة الصخر للانزلاق على مستوي الصدع، ونورد فيما يلي مثلاً على تحليل جملة من الصدوع العادية في الموقع ARAMO2 من منطقة الدراسة باستخدام برنامج Angelier [3] و [4] و [5].

```

*****
* PROGRAMME TENSOR, OPTION INVD PRE=9 PON=1 REF. 2 J.ANGELIER *
* .SITE ARAMO2 SEL=CPS POI=0-9 AGE=1****(1) NBR= 6 TOT= 6 *
*****

INVDIR( 1) ECH= 1.11 R= 0.05
LAMBDA= 0.78 ( 0.87) TAUMAX= 0.85
S1= 0.94 S2=-0.16 S3=-0.77

SOLUTION INVDIR (NO 1) LAMBDA= 0.78
.AXE SIGMA 1 D= 206. P= 74
.AXE SIGMA 2 D= 21. P= 16
.AXE SIGMA 3 D= 111. P= 1
[(RAPPORT PHI= 0.358 [(S2-S3)/(S1-S3)]

! SOLUTION PSIDIR AXES OK
LAMBDA= 0.87 TAUMAX= 0.86
S1= 0.93 S2=-0.14 S3=-0.79
.AXE SIGMA 1 D= 206. P= 74
.AXE SIGMA 2 D= 21. P= 16
.AXE SIGMA 3 D= 111. P= 1
[(RAPPORT PHI= 0.380 [(S2-S3)/(S1-S3)]

NUMERO POIDS SIGMA SIGMN TAU TAUST RMU RUP OBL ANG
(NUMBER WEIGHT) <----- x100 -----> (%) (%) (deg) (deg)
7 60 ! 55 58 39 40 68- 79 1.0 .9
19 38 39 127 60 64 50- 81 1.0 .10
11 20 22 278 74 75 27- 80 1.0 .11
!!62 63 !!89 52 15 33 64- 72 1.0 .15
1 44 34 104 57 57 55- 79 1.0 .16
10 9 20 618 75 76 12- 77 1.0 .17

n= 6 SIGMA SIGMN TAU TAUST RMU RUP <75 OBL ANG <45
<-t= 6. <----- x100 -----> (%) <--(%)--> (deg) <-deg
MOYENNE/MEAN 78 -46 58 54 206 43 34 39 18 9
ECART-/S.DEV 3 20 16 21 199 24 13 19 21 6
ang: (<45) n0,t0= 5 5 (!! ) n1,t1= 1 1 (!) n2,t2= 0 0
rup: (<75) n0,t0= 5 5 (!! ) n1,t1= 1 1 (!) n2,t2= 1 1
03INVD09206.174.1 21.015.8111.4 1.40.38018.2 43.10911 6. 6ARAMO2 2

```

مثال على تحليل جملة من الصدوع العادية المقاسة في ARAMO2 باستخدام طريقة INVD

تعود جملة الصدوع المقاسة في مثال ARAMO2 (الرقم 9 من الجدول 1) إلى موقع الخوّارات الواقع في الجزء المركزي من خارطة الحفة (الشكل 6).

تمّت معالجة كامل مواقع الدراسة ممثلة بـ 33 جملة صدوع بنفس الطريقة، وجمعت النتائج التي حصلنا عليها في الجدول 1، الذي تضمّن معلومات عن رقم واسم وإحداثيات الموقع، إضافةً إلى العمر، التركيب الليثولوجي وعدد

الصدوع المقاسة، بينما حصلنا من معالجة المعطيات بطريقة INVD على اتجاه وميل محاور الإجهادات الأساسية الثلاثة σ_1 ، σ_2 و σ_3 ، بالإضافة إلى المعامل Φ والزاوية α .

النتائج والمناقشة:

1- الدراسة الحقلية:

شملت الدراسة الحقلية 33 جملة قياس ضمن حدود رقعة الحفة (الجدول 1)، وحددت العناصر التالية لكل جملة:

- 1- الوضع الجغرافي والجيولوجي والبنوي، العمر الزمني، والتركيب الليثولوجي للصخور المدروسة.
- 2- وضع البنى على موقع القياس، وميول الطبقات، وأنماط الصدوع وانزياحاتها النسبية، وكذلك خصائصها الجيومترية بالنسبة للطبقات، إضافة إلى عمر البنى الملاحظة، في حال وجود عدة أنماط منها.
- 3- دالات العناصر البنيوية: سمتها، ميولها، وموقع توضع التحزرات في حالة الصدوع.

تم تحديد أعمار التوضعات المتكشفة في منطقة دراسة اعتماداً على المستحاثات الدالة بعائديتها إلى دور الكرياسي، ومكنت الدراسة الحقلية ليثولوجياً من تمييز خمس سحنات رئيسة شملت هذه التوضعات وهي: الغضارية، الكلسية المدلمنة، الكلسية العضوية، الكلسية الفوسفاتية، والمارلية.

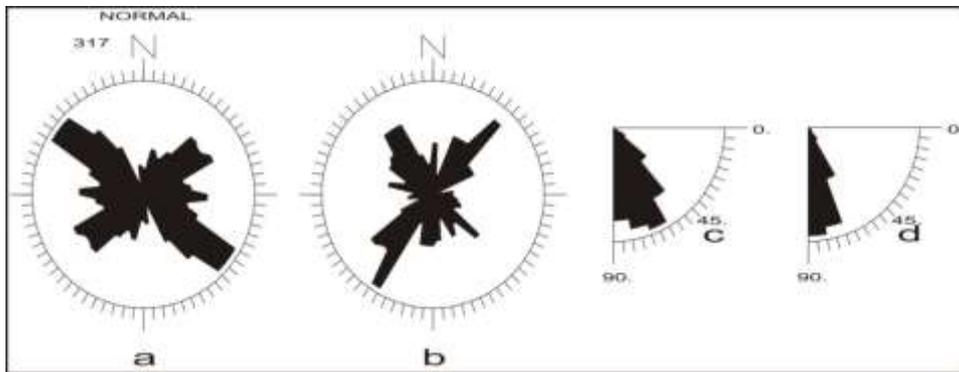
شكلت مناطق التكتشف مثل المقالع، مقاطع الطرق، الجروف الجبلية والوديان مواقع أخذ القياسات. وقد بلغ العدد المتوسط للصدوع المقيسة في كل موقع ثمانية صدوع، وبدت هذه القياسات كافية والنتائج التي تم الحصول عليها متجانسة.

2- التحليل التكتوني:

1-2- هندسة الصدوع المدروسة:

A- الصدوع العادية: أظهرت الصدوع العادية المدروسة في رقعة الحفة (317 صدع) أنها موزعة فراغياً ضمن مجموعتين رئيسيتين (الشكل 3 - a):

- مجموعة الصدوع ذات الاتجاه شمال غرب - جنوب شرق $300^\circ - 335^\circ$.
 - مجموعة الصدوع ذات الاتجاه شمال شرق - جنوب غرب $40^\circ - 65^\circ$.
- ومجموعتين ثانويتين ذات اتجاه شمال - جنوب وشرق غرب.

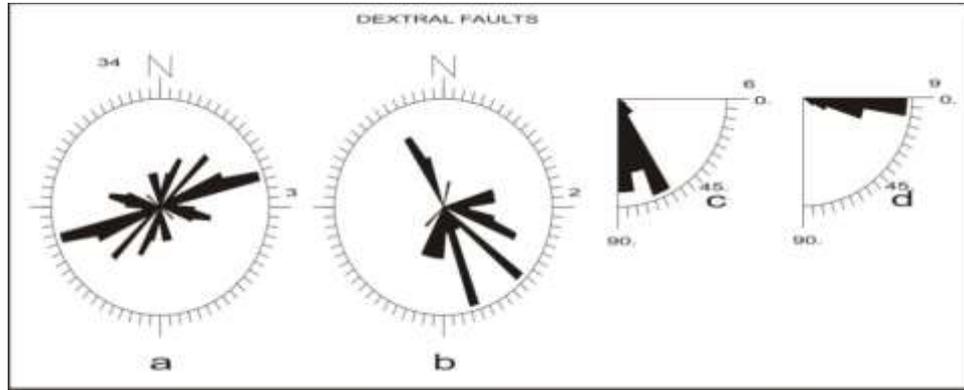


الشكل 3: هندسة الصدوع العادية، حيث a: وردة اتجاه الصدوع، b: وردة اتجاه سمت ميول الصدوع، c: وردة زوايا ميول الصدوع، d: وردة زوايا ميول زاوية التحرز (زوايا البيتش)

تُظهر هذه الصدوع عموماً اتجاهات ميول رئيسة نحو الشمال الشرقي والجنوب الغربي والشمال الغربي، مع اتجاهات ميول أقل أهمية نحو الجنوب والجنوب الشرقي (الشكل 3 - b). أما زوايا ميول هذه الصدوع فتتراوح بين 45° و 90° (الشكل 3 - c)، في حين تتراوح قيم زوايا التحزز عن الأفق (Pitch) بين 65° و 90° (الشكل 3 - d).

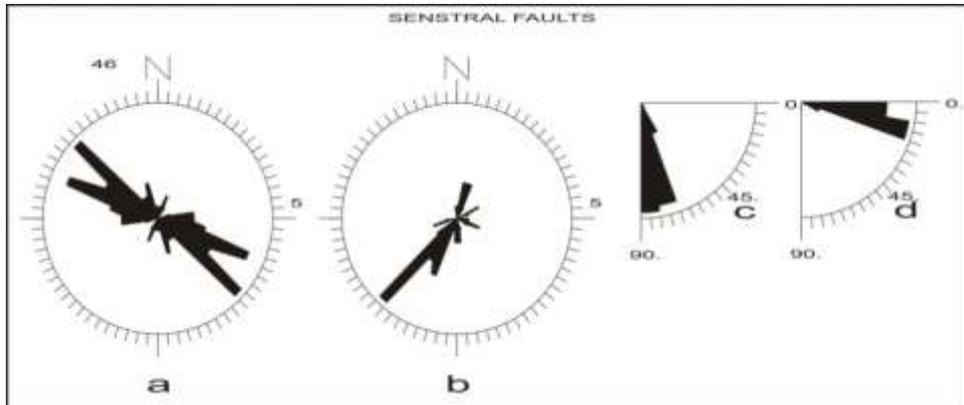
B- الصدوع الإزاحية: أظهرت الصدوع الإزاحية المدروسة (34 صدع يميني، و46 صدع يساري) (الشكلين 4 و5) التوزع الفراغي التالي:

• أظهرت الصدوع الإزاحية اليمينية اتجاهاً رئيسياً هو شمال شرق - جنوب غرب ($60^\circ - 70^\circ$)، وأربع اتجاهات فرعية 20° ، 40° ، 110° ، 175° (الشكل 4 - a)، مع اتجاهات ميول نحو الجنوب والجنوب الشرقي (الشكل 4 - b). أما زوايا ميول هذه الصدوع فتتراوح بين 70° و 90° (الشكل 4 - c)، في حين تراوحت قيم زوايا التحزز بين 0° و 20° (الشكل 4 - d).



الشكل 4: هندسة الصدوع الإزاحية اليمينية

• أظهرت الصدوع الإزاحية اليسارية اتجاهاً رئيسياً هو شمال غرب - جنوب شرق مع ذروتين أعظمتين هما 290° و 310° ، مع اتجاهين فرعيين 25° و 155° (الشكل 5 - a)، مع اتجاهات ميول نحو الجنوب الغربي (الشكل 5 - b). أما زوايا ميول هذه الصدوع فتتراوح بين 70° و 90° (الشكل 5 - c)، في حين تراوحت قيم زوايا التحزز بين 0° و 20° (الشكل 5 - d).



الشكل 5: هندسة الصدوع الإزاحية اليسارية

2-2- تحليل الإجهادات: نظمت نتائج القياسات السابقة بعد معالجتها باستخدام برنامج Angelier [5] في جدول واحد، تضمنت معطيات عن الموقع وعمر الصخور المصدّعة، مع اتجاهات وميول محاور الإجهادات الأساسية σ_1 و σ_2 و σ_3 ، بالإضافة إلى المعاملين α و θ ، التي أخذت من تحليل الصدوع بواسطة برنامج Angelier، وهي التي وضع تحتها خط في المثال السابق (الموقع ARAMO2) (الجدول 1).
تمّت بعد ذلك معالجة القياسات من خلال عملية إسقاط ستريوغرافي (شبكة شميدت) لتقييم حالة الاجهادات القديمة المسببة لهذه البنى.

الجدول 1: نتائج القياس والتحليل التكتوني للصدوع في منطقة الدراسة

رقم الموقع	اسم الموقع	الإحداثيات	العمر	التركيب الليثولوجي	عدد الصدوع	اتجاه σ_1 وميل σ_1	اتجاه σ_2 وميل σ_2	اتجاه σ_3 وميل σ_3	θ	α	النظام
1	SALMA1	N 35° 41' 47" E 36° 06' 53"	C ₆ ²	مازل، كلس وصوان	4	190/67	81/08	348/22	0,12	7	شذّي
2	SALMA2	N 35° 42' 41" E 36° 08' 50"	C ₆ ¹	كلس	8	213/68	60/20	327/09	0,46	9	شذّي
2	SALMA2	N 35° 42' 41" E 36° 08' 50"	C ₆ ¹	كلس	5	323/16	156/74	54/04	0,54	55	إزاحي
3	SALMA3	N 35° 42' 05" E 36° 08' 40"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	19	320/72	138/18	228/01	0,36	12	شذّي
3	SALMA3	N 35° 42' 05" E 36° 08' 40"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	5	107/78	228/06	319/10	0,12	12	شذّي
4	SALMA4	N 35° 41' 28" E 36° 09' 30"	C ₅	كلس عضوي مدلمت	4	182/74	68/07	336/14	0,39	4	شذّي
5	SALMA5	N 35° 42' 05" E 36° 07' 28"	C ₅	كلس عضوي مدلمت	4	24/72	265/09	172/16	0,36	3	شذّي
6	BABABD	N 35° 37' 44" E 36° 10' 13"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	11	90/05	193/68	358/22	0,29	12	إزاحي
6	BABABD	N 35° 37' 44" E 36° 10' 13"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	8	83/72	318/11	225/15	0,07	11	شذّي
7	BABABD1	N 35° 37' 50" E 36° 09' 48"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	10	80/08	201/75	349/12	0,29	17	إزاحي
7	BABABD1	N 35° 37' 50" E 36° 09' 48"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	6	113/65	314/23	221/08	0,17	9	شذّي
8	ARAMO	N 35° 38' 10" E 36° 09' 10"	C ₅	كلس عضوي مدلمت	18	248/80	133/05	42/09	0,45	15	شذّي
9	ARAMO2	N 35° 38' 20" E 36° 09' 15"	C ₅	كلس عضوي مدلمت	13	87/78	342/03	251/12	0,18	18	شذّي
9	ARAMO2	N 35° 38' 20" E 36° 09' 15"	C ₅	كلس عضوي مدلمت	6	206/74	21/16	111/01	0,38	09	شذّي
10	MAGDALS	N 35° 36' 30" E 36° 08' 20"	C ₆ ¹	كلس وفوسفات	12	281/70	130/18	38/09	0,31	14	شذّي
11	ALKLAIA	N 35° 38' 10" E 36° 08' 20"	C ₆ ²	كلس مارلي	9	345/70	252/01	161/20	0,25	20	شذّي
11	ALKLAIA	N 35° 38' 10" E 36° 08' 20"	C ₆ ²	كلس مارلي	6	186/66	11/24	280/02	0,26	11	شذّي
12	ALKALAA	N 35° 38' 15" E 36° 08' 24"	C ₆ ²	كلس مارلي	6	295/67	47/09	141/20	0,45	22	شذّي
12	ALKALAA	N 35° 38' 15" E 36° 08' 24"	C ₆ ²	كلس مارلي	4	159/19	315/69	67/08	0,72	6	إزاحي
13	KH8	N 35° 37' 43" E 36° 11' 25"	C ₄ ^S	كلس قاسي	6	40/76	133/01	223/14	0,29	9	شذّي
13	KH8	N 35° 37' 43" E 36° 11' 25"	C ₄ ^S	كلس قاسي	4	255/18	120/66	350/16	0,57	4	إزاحي
13	KH8	N 35° 37' 43" E 36° 11' 25"	C ₄ ^S	كلس قاسي	5	352/70	229/11	136/17	0,25	6	شذّي
14	KH9	N 35° 37' 32" E 36° 10' 08"	C ₄ ^B	كلس مدلمت	12	258/76	37/11	129/09	0,27	17	شذّي
15	BJ1	N 35° 32' 26" E 36° 10' 14"	C ₃	كلس مدلمت	4	46/37	152/20	264/46	0,18	21	إزاحي
16	BJ2	N 35° 35' 35" E 36° 11' 45"	C ₃	كلس مدلمت	4	360/70	169/20	260/04	0,36	24	شذّي

إزاحي	25	0,65	286/15	181/45	290/42	5	كلس مدلمت	C ₃	N 35° 35' 32'' E 36° 11' 25''	ZNBORA2	17
شدي	12	0,35	328/00	58/5	235/85	4	كلس مدلمت	C ₃	N 35° 35' 32'' E 36° 11' 25''	ZNBORA2	17
شدي	11	0,32	291/20	198/09	85/68	8	كلس مدلمت	C ₃	N 35° 35' 30'' E 36° 12' 12''	BJ3	18
شدي	14	0,12	220/33	128/03	34/57	9	كلس مدلمت	C ₃	N 35° 35' 30'' E 36° 12' 12''	BJ3	18
شدي	10	0,33	117/07	26/04	268/82	9	كلس مدلمت	C ₃	N 35° 35' 00'' E 36° 11' 25''	BJ4	19
شدي	12	0,15	205/04	296/09	93/80	5	كلس مدلمت	C ₄ ^B	N 35° 33' 24'' E 36° 05' 44''	AT1	20
شدي	14	0,33	152/17	60/05	314/73	6	كلس مدلمت	C ₄ ^B	N 35° 33' 24'' E 36° 05' 44''	AT1	20
شدي	7	0,26	323/01	233/03	80/87	8	كلس مدلمت	C ₄ ^B	N 35° 33' 28'' E 36° 05' 40''	AT2	21
شدي	3	0,33	238/04	147/09	350/80	7	كلس مدلمت	C ₄ ^B	N 35° 33' 22'' E 36° 05' 49''	AT3	22
شدي	6	0,22	44/11	313/05	198/78	7	فوسفات كلسي	C ₆ ¹	N 35° 34' 13'' E 36° 04' 57''	AT4	23
شدي	6	0,34	310/07	219/06	86/81	11	كلس مارلي	C ₆ ²	N 35° 34' 09'' E 36° 05' 06''	AT5	24
شدي	10	0,4	83/10	352/6	230/78	7	كلس عضوي مدلمت	C ₅	N 35° 33' 42'' E 36° 05' 51''	AT6	25
شدي	6	0,34	310/7	219/6	86/81	11	كلس مارلي	C ₆ ²	N 35° 34' 03'' E 36° 05' 02''	AT7	26
شدي	15	0,31	160/14	68/7	312/75	8	فوسفات كلسي	C ₆ ¹	N 35° 33' 10'' E 36° 05' 13''	AT8	27
شدي	6	0,37	55/00	145/4	325/86	10	فوسفات كلسي	C ₆ ¹	N 35° 33' 10'' E 36° 05' 13''	AT8	27
شدي	6	0,28	231/6	324/22	127/67	10	مارل كلسي	C ₄ ^S	N 35° 32' 12'' E 36° 07' 52''	AT9	28
إزاحي	8	0,42	01/08	238/76	93/11	18	كلس مدلمت	C ₄ ^S	N 35° 32' 12'' E 36° 07' 52''	AT9	28
إزاحي	14	0,3	331/9	88/70	238/17	9	كلس عضوي مدلمت	C ₅	N 35° 32' 14'' E 36° 06' 32''	AL1	29
شدي	6	0,37	45/12	311/18	167/68	5	فوسفات كلسي	C ₆ ¹	N 35° 32' 13'' E 36° 06' 29''	AL2	30
شدي	10	0,44	6/4	98/20	265/69	6	كلس مارلي	C ₆ ²	N 35° 31' 52'' E 36° 05' 35''	AL3	31
شدي	6	0,18	93/17	360/11	239/70	4	كلس مارلي	C ₆ ²	N 35° 31' 52'' E 36° 05' 35''	AL3	31
إزاحي	13	0,47	276/14	80/75	185/4	8	كلس مدلمت	C ₄ ^S	N 35° 31' 31'' E 36° 09' 40''	AL4	32
شدي	11	0,42	222/3	132/10	330/79	12	كلس مدلمت	C ₄ ^S	N 35° 31' 21'' E 36° 10' 35''	AL5	33

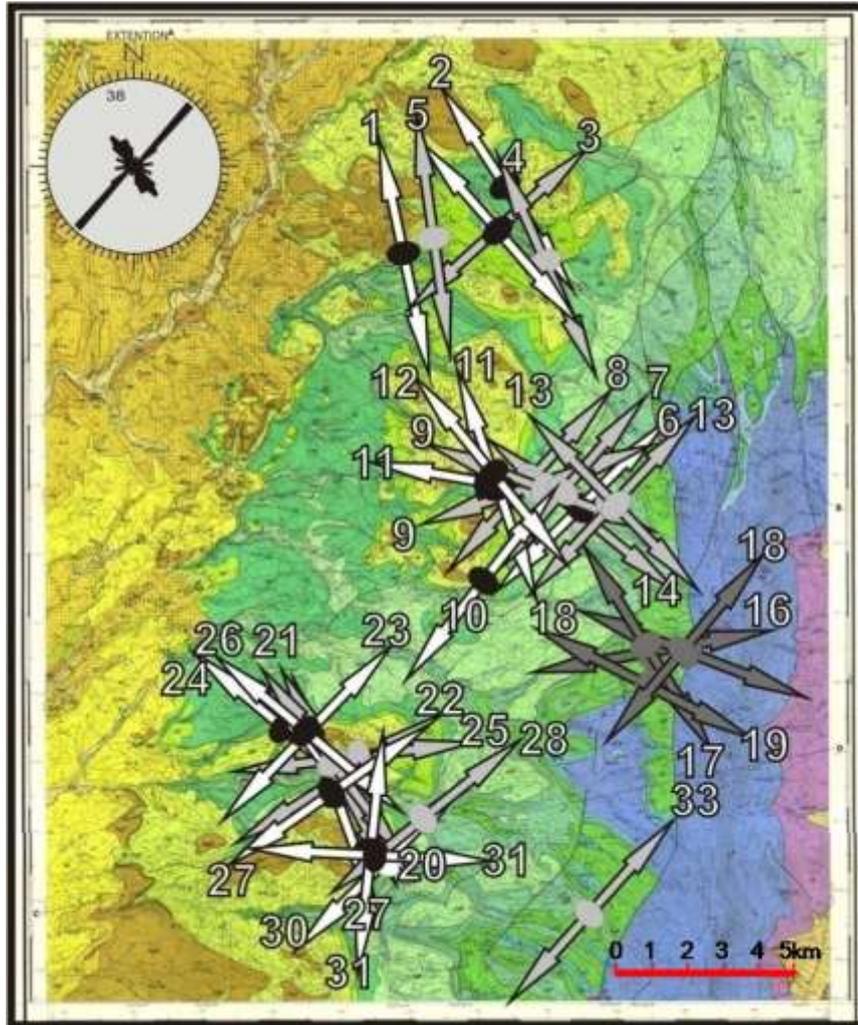
C₃ - طابق الألبني، C₄^S - طابق السينوماني الأسفل، C₄^B - طابق السينوماني الأعلى،
C₅ - طابق التوروني، C₆¹ - طوابق الكونياسي والسنتوني والكامباني، C₆² - طابق المستريختي

هذا وقد قُيِّمت هذه الإجهادات تبعاً لكونها شديدة أو ضعيفة كما يلي:

A - تحليل الإجهادات الشديدة:

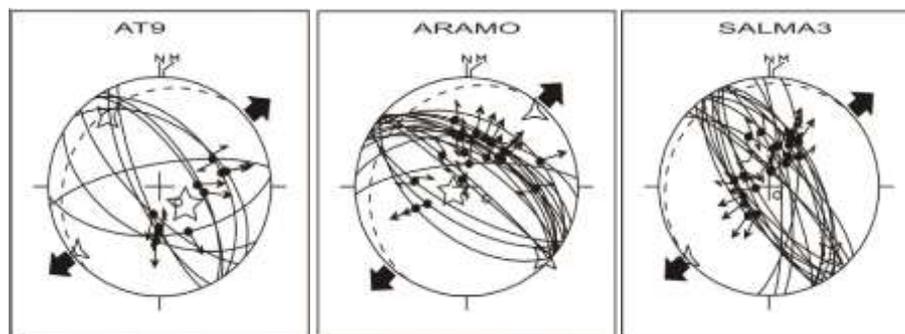
تحليل اتجاهات الإجهادات الشديدة: يبين (الشكل 6) الممثل لاتجاهات الشد σ_3 الناتجة عن تحليل الصدوع

العادية في رقعة الحفة وجود اتجاهين رئيسيين للشد في منطقة الدراسة:



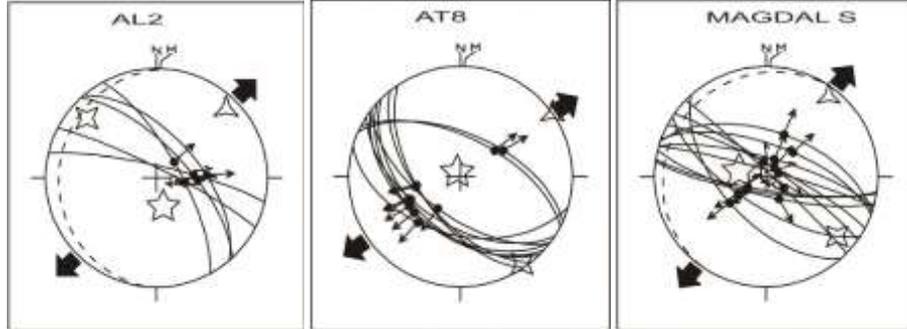
الشكل 6: خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة مع اتجاهات الشد σ_3 في مواقع القياس: \longleftrightarrow ضمن صخور الألبى \longleftrightarrow ضمن صخور السينوماني والتوروني \longleftrightarrow ضمن صخور الكونياسى، السنونى، الكامبانى والمستريختى مع وردة اتجاه الشد العامة لجميع مواقع القياس

1- اتجاه الشد شمال شرق - جنوب غرب ($45^\circ - 50^\circ$)، وهو عموماً اتجاه مسيطر في الصخور العائدة لطبقي السينوماني والتوروني من الكريتاسى الأعلى (الشكل 7).



الشكل 7: مواقع قياس تمثل اتجاه الشد شمال شرق - جنوب غرب ($45^\circ - 50^\circ$) في صخور الكريتاسى الأعلى

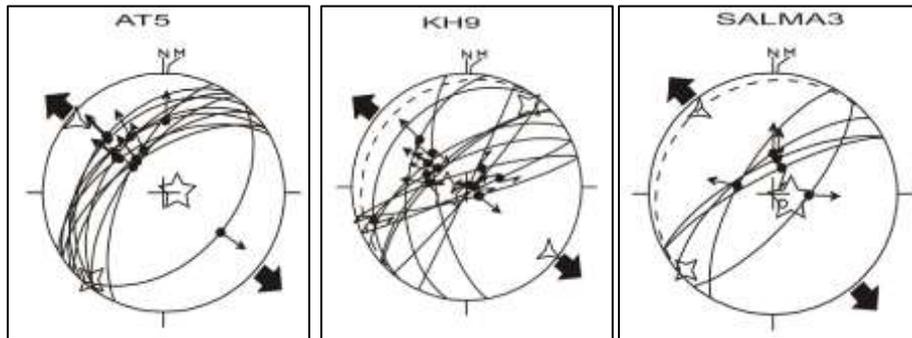
بينما يكون هذا الاتجاه أقل تمثيلاً للصخور العائدة لطوايق الكونياسي، السنطوني، الكامباني، والمستريختي من الكريتاسي الأعلى (الشكل 8).



الشكل 8: مواقع قياس تمثل اتجاه الشدّ شمال شرق - جنوب غرب (45° - 50°) في صخور الكريتاسي الأعلى

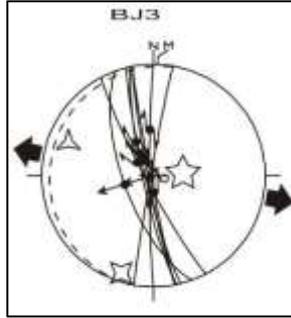
تتميز الصدوع العادية في هذه التشكيلات باتجاه رئيسي شمال غرب - جنوب شرق بقيمة وسطية تتراوح بين 110° و 140° ، وبميلول لسطوحها تتراوح بين 60° و 80° ، أما آثار الحركة على سطوح هذه الصدوع (زاوية التحزّز أو زاوية البيتش Pitch) فتتراوح ما بين 70° و 90° ، وهذا يدل على أنها صدوع عادية صرفة [2].

2- اتجاه الشدّ شمال غرب - جنوب شرق (135° - 150°): يوجد هذا الاتجاه في جميع الطوايق المدروسة من الألبني حتى المستريختي، حيث تتميز الصدوع العادية في هذه الصخور باتجاه رئيسي شمال شرق - جنوب غرب بقيمة وسطية تتراوح بين 20° و 65° ، وبميلول لسطوحها تتراوح بين 55° و 80° ، أما زاوية التحزّز فتتراوح وسطياً ما بين 70° و 90° ، وهذا يدل على أنها صدوع عادية صرفة (الشكل 9):



الشكل 9: مواقع قياس تمثل اتجاه الشدّ شمال غرب - جنوب شرق (135° - 150°) في صخور الكريتاسي

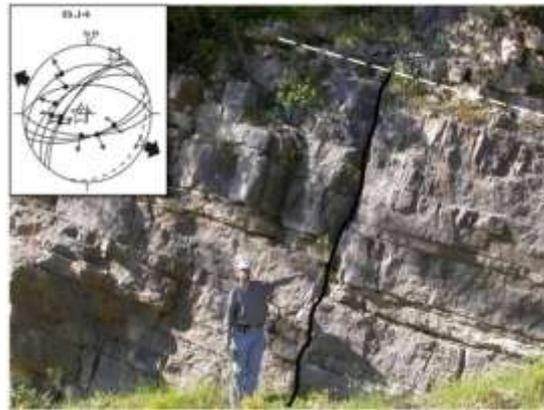
3- اتجاهات شد ثانوية شرق - غرب تقريباً: تتوزع جغرافياً في الجزء الجنوبي من رقعة الحفة، أما جيولوجياً فتقع على مقربة من نطاقات الصدوع ذات الاتجاه شمال - جنوب ضمن صخور طابق الألبني المحاذية لانهدام الغاب. تتميز الصدوع العادية في هذه الصخور باتجاه رئيسي شمال - جنوب بقيمة وسطية تتراوح بين 0° و 40° ، وبميلول لسطوحها تتراوح بين 65° و 85° ، أما زاوية التحزّز فتتراوح ما بين 70° و 90° ، وهذا يدل على أنها أيضاً صدوع عادية صرفة (الشكل 10).



الشكل 10: مواقع قياس تمثل اتجاه الشد شرق - غرب في صخور الكريتاسي الأسفل

2- تحديد أعمار الإجهادات الشدية: يتم ذلك بشكل رئيسي عن طريق الصدوع المرافقة للترسيب (إذ يشير الخط المنقط إلى نهاية الصدع). وهي صدوع عادية تشكلت خلال فترة الترسيب، إذ يسبب نشاط هذه الصدوع تغيرات في سماكة التسلسل الرسوبي، أو حتى غياب بعض الطبقات من جانب إلى آخر من الصدع، وكذلك حدوث عدم توافقات محلية داخلية. وتشكل هذه الصدوع إحدى الطرائق الأكثر موثوقية لتأريخ الأطوار التكتونية الشدية بدقة، وتعميم عمر محدد لتجمعات الصدوع العادية، أو للطور الشدي عندما تكون المعايير المرافقة للترسيب مؤكدة جيداً [2]. تم تحديد مثل هذه الصدوع في التشكيلات التالية:

1- في الصخور العائدة لتشكيلة عين البيضاء C₃ - كريتاسي أسفل: تتميز هذه الصدوع باتجاهات شمال شرق - جنوب غرب من 20° إلى 65°، وتتميز بجيومترية صدوع عادية صرفة (الشكل 11):

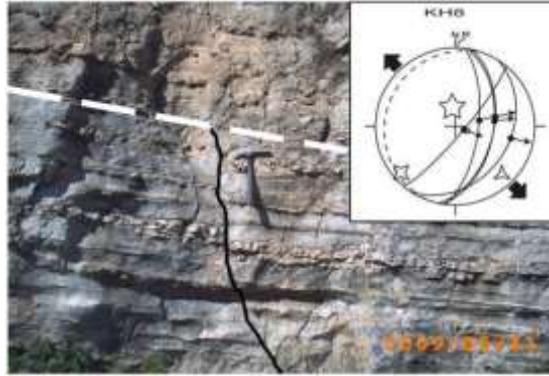


الشكل 11: صدوع مرافقة للترسيب في صخور تشكيلة عين البيضاء (الألبي)

إن تحليل هذه الصدوع المرافقة للترسيب أعطت اتجاه شد شمال غرب - جنوب شرق، على نحو يتوافق مع اتجاه الشد الرئيسي (135° - 150°)، وهذا يعطي عمر الألبي لاتجاه الشد المحسوب.

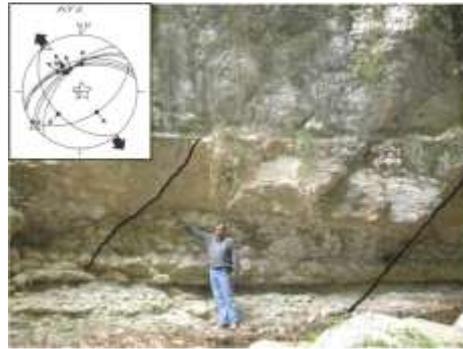
2- في الصخور العائدة لتشكيلة صلنفة C₄^S - كريتاسي أعلى: تتميز صدوع هذا الطابق بجيومترية مشابهة للصدوع المرافقة للترسيب من عمر الألبي، ولكن برميات ضعيفة.

إن تحليل هذه الصدوع أعطت اتجاه شد شمال غرب - جنوب شرق، وهو يتوافق أيضاً مع اتجاه الشد الرئيسي (135° - 150°)، ومع اتجاه الشد الناتج عن الصدوع المرافقة للترسيب من عمر الألبي، مما يعني استمرارية الشد شمال غرب - جنوب شرق من الكريتاسي الأسفل حتى بداية الكريتاسي الأعلى (الشكل 12):



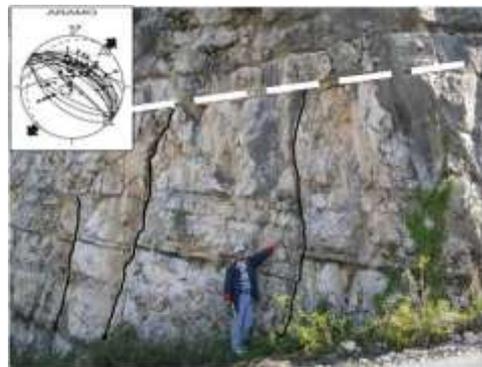
الشكل 12: صدوع مرافقة للترسيب في صخور تشكيلة صلنفة (السينوماني الأسفل)

3- في الصخور العائدة لتشكيلة باب عبد الله C_4^B - كريتاسي أعلى: لوحظ وجود صدوع يرجح أن تكون مرافقة للترسيب وذلك لتغير سماكة الطبقات بشكل طفيف على جانبي الصدوع. وتتميز هذه الصدوع باتجاهات مماثلة لسابقتها مع رميات ضعيفة، ويظهر تحليلها اتجاه شد موافق لاتجاهات الشد الناتجة عن الصدوع المرافقة للترسيب في صخور الألبني والسينوماني الأسفل (الشكل 13):



الشكل 13: صدوع مرافقة للترسيب في صخور تشكيلة باب عبد الله (السينوماني الأعلى)

4- في الصخور العائدة لتشكيلة عرامو C_5 - كريتاسي أعلى: تتميز هذه الصدوع باتجاهات شمال غرب - جنوب شرق ($100^\circ - 135^\circ$)، وينتج عنها اتجاه شد شمال شرق - جنوب غرب يتوافق مع الاتجاه الرئيسي ($45^\circ - 50^\circ$) المسيطر في الصخور العائدة للكريتاسي الأعلى (الشكل 14):



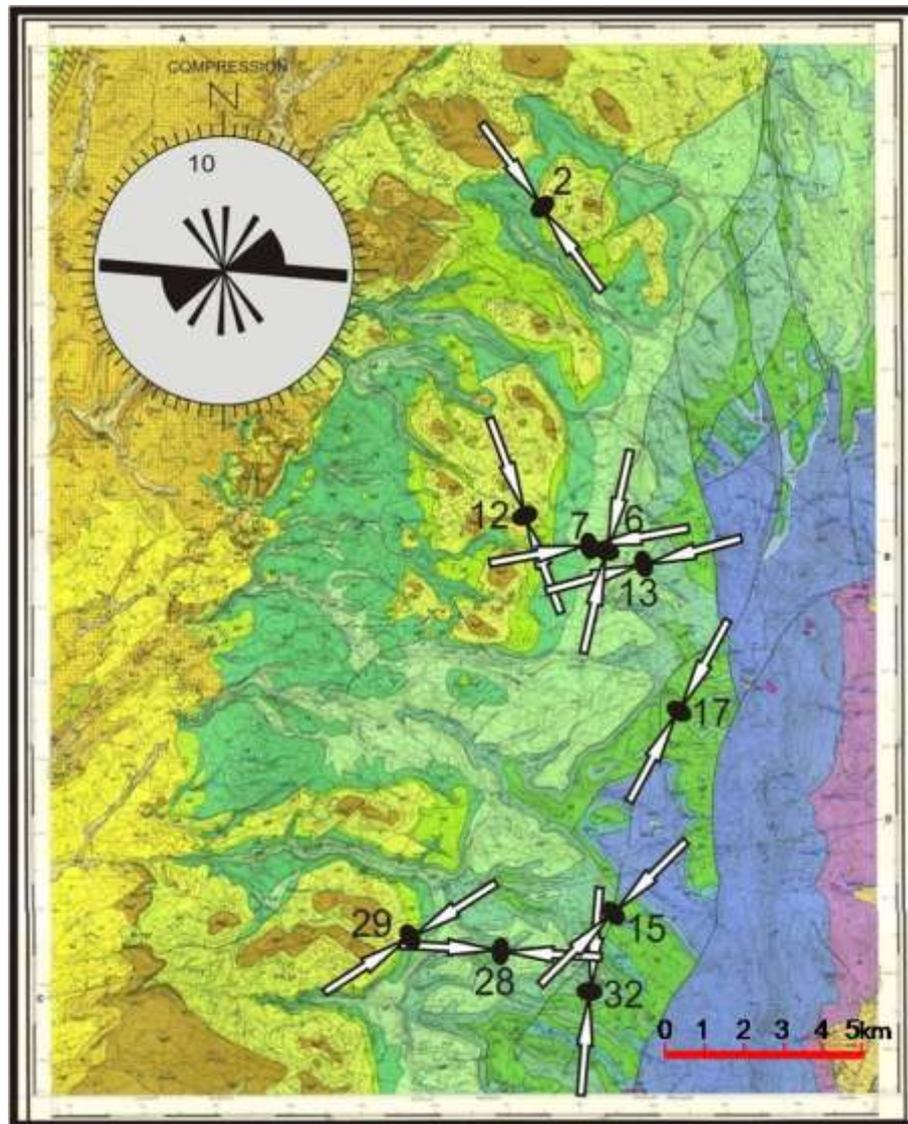
الشكل 14: صدوع سلمية مرافقة للترسيب في صخور تشكيلة عرامو (التوروني)

B- تحليل الإجهادات الضغطية:

على الرغم من كون الإجهادات الضغطية ذات عمر يمتد من النيوجين حتى الحالي في شمال غرب الصفيحة العربية [1] و [6] و [16]، قمنا بتحليل الإجهادات الضغطية الإزاحية المقيسة في رقعة الحفة في عشرة مواقع، حيث بيّنت وردة اتجاهات الضغوط σ_1 (الشكل 15) الاتجاهات التالية:

- 1- اتجاه ضغط رئيسي شرق - غرب من 80° حتى 95° .
- 2- اتجاهات ضغط ثانوية تتراوح من شمال غرب - جنوب شرق إلى شمال - جنوب.

لم تسمح المعطيات الحقلية بإيجاد علاقة نسبية بين هذه الاتجاهات لعدم مصادفتها في موقع واحد، ولكن يمكن القول، وبحسب نتائج الدراسات السابقة حول حقول الإجهاد الضغطية في شمال غرب الصفيحة العربية، أن هذه الإجهادات ناتجة عن التصادم العربي - الأوراسي وعن تشكّل الصدع المشرقي في زمن النيوجين [1] و [16].



الشكل 15: خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة مع اتجاهات الضغط σ_1 في مواقع القياس، مع وردة اتجاه الضغط العامة لجميع مواقع القياس

3- التطور التكتوني:

يتميز التطور التكتوني الكريتاسي في رقعة الحفة بأطوار شديدة حصرًا:

- طور شدي ذو اتجاه شمال غرب - جنوب شرق من عمر الألبى - السينوماني، وهذا يتوافق في الإطار الجيودينامي لشمال الصفيحة العربية، مع إعادة نشاط انفتاح محيط النيوتيتس في شرق المتوسط [8] و[14].
- طور شدي ذو اتجاه شمال شرق - جنوب غرب من عمر التوروني، وحتى نهاية الكريتاسي، ويتوافق هذا الشد مع طور تكتوني شدي إقليمي على مستوى شمال الصفيحة العربية، إذ تشكلت في هذه الفترة مجموعة من الأحواض الرسوبية الضخمة الانهدامية ذات الاتجاه شمال غرب - جنوب شرق والمتوافقة مع هذا الطور الشدي مثل انهدام الفرات ذي العمر توروني - ماستريختي، وحوض الأزرق في الأردن [7] و[10]، كما عدّ هذا الطور على علاقة بالترابك الافوليتي في شمال الصفيحة العربية [6]، إذ تمّ تحديد العمر المطلق لهذا الطور عن طريق دراسة الصدوع المرافقة للترسيب للمرة الأولى في إطار هذا البحث.
- أما بالنسبة للطور الضغطي فهو غير واضح في منطقة الدراسة لندرة الصدوع الناتجة عنه في منطقة الدراسة، إذ أنه طور نيوجيني ذي علاقة بالتصادم العربي - الأوراسي، وتشكّل الصدع المشرقي.

الاستنتاجات والتوصيات:

مما سبق نستنتج وجود طورين تكتونيين شديين:

- 1- طور شدي ذو اتجاه شمال غرب - جنوب شرق من عمر الألبى حتى السينوماني الأعلى، تم تحديده إحصائياً، وبالصدوع المرافقة للترسيب.
 - 2- طور شدي ذو اتجاه شمال شرق - جنوب غرب من عمر التوروني، تم تحديده إحصائياً، وبالصدوع المرافقة للترسيب.
- ونوصي بما يلي:
- 1- متابعة الدراسة بنفس المنهجية لتشمل كامل خرائط السلسلة الساحلية على امتدادها.
 - 2- البحث عن علاقات الربط التكتونية مع مرحلة التراكب الافوليتي في شمال غرب سورية القريبة من رقعة الدراسة.
 - 3- البحث عن بنيات النظام الضغطي وتحليلها تكتونياً إن وجدت.

المراجع:

- [1]- ALABDALLA, A. K. *Evolution Tectonique de la Plate-forme Arabe en Syrie depuis le Mésozoïque*. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Tectonique - Sciences de la Terre, Paris, 2008, 393.
- [2]- ANDERSON, A. *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Application to Britain*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1942, 206.
- [3]- ANGELIER, J. *Tectonic Analysis of Fault Slip Data Sets*. Geophysics J. Int. Res. 89, 1984, 5835-5848.
- [4]- ANGELIER, J. *Inversion of Data in Fault Tectonics to Obtain the Regional Stress III. A new rapid direct inversion method by analytical means*. Geophysics J. Int. Vol. 103, 1990, 363-376.
- [5]- ANGELIER, J. *Inversion Directe et Recherché 4-D, Comparaison Physique et Mathématique de deux modes de Détermination des Tenseurs des Pléocontraintes en Tectonique de Failles*. C. R. Acad. Sci. Tom. 312, Série II, Paris, 1991, 1213-1218.
- [6]- BREW, G.; BARAZANGI, M.; AL-MALEH, A. K.; SAWAF, T. *Tectonic and Geologic Evolution of Syria*. GeoArabia Bahrain, Vol. 6, N^o. 4, 2001, 573.
- [7]- BREW, G.; LUPA, J.; BARAZANGI, M.; SAWAF, T.; AL-IMAM, A.; ZAZA, T. *Structure and tectonic development of the Dead Sea Fault System and Ghab Basin in Syria*. Journal of the Geological Society London, , Vol. 158, 2001, 665–674.
- [8]- DERCOURT, J.; ZONENSHAIN, L. P.; RICOU, L. E.; KAZMIN, V. G.; LEPICHON, X.; KNIPPER, A. L.; GRANDJACQUET, C.; SBORTSHIKOV, I. M.; GEYSSANT, J.; LEPVRIER, C.; PECHERSKY, D.H.; BOULIN, J.; SIBUET, J. C.; SAVOSTIN, L. A.; SOROKHTIN, O.; WESTPHAL, M.; BAZHENOV, M. L.; LAUER, J. P.; BIJUDUVAL, B. *Geological Evolution of the Tethys Belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias*. Tectonophysics, Vol. 123, 1986. 241-315.
- [9]- GOMEZ, F.; KHAWLIE, M.; TABET, C.; DARKAL, A.N.; KHAIR, K.; BARAZANGI, M. *Neotectonics of the Northern Dead Sea Fault System in Lebanon and Syria*, based on S.A.R. imagery and high resolution D.E.M. data. Earth Planet. Sci. Lett. 241, 2006, 913-931.
- [10]- LITAK, R. K.; BARAZANGI, M.; BREW, G.; SAWAF, T.; AL-IMAM, A.; ALYOUSSEF, W. *Structure and Evolution of the Petroliferous Euphrates Graben System, Southeast Syria*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin Vol. 82, N^o. 6, 1998, 1173–1190.
- [11]- MCCLUSKY, S.; BALASSANIAN, S.; BARKA, A.; DEMIR, C.; ERGINTAV, S.; GEORGIEV, I.; URKAN, O.; HAMBURGER, M.; HURST, K.; KAHLE, H.; KASTENS, K.; KEKELIDZE, G.; KING, R.; KOTZEV, V.; LENK, O.; MAHMOUD, S.; MISHIN, A.; NADARIYA, M.; OUZOUNIS, A.; PARADISSIS, D.; PETER, Y.; PRILEPIN, M.; REILINGER, R.; SANLI, I.; SEEGER, H.; TEALEB, A.; TOKSÖZ, M. N.; VEIS, G. *Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus*. Journal of Geophysical Research, Vol. 105, N^o. B3, 2000. 5695–5719.
- [12]- PONIKAROV, V. *Tectonic Map of Syria 1:1000000*, V. O. Technoexport Moscow USSR, Contract N^o. 944, Ministry of Industry, S. A. R., 1964.
- [13]- PONIKAROV, V.; SHATSKY, V.; KAZMIN, V.; MIKHAILOV, I.; AISTOV, L.; KULAKOV, V.; SHATSKAYA, M.; SHIROKOV, V. *The Geological Map of Syria 1:200000, and Explanatory notes of sheets I-36-XXIV, I-37-XIX*, V. O. Technoexport Moscow USSR, Contract N^o. 944, Ministry of Industry, S.A.R., 1963.

- [14]- STAMPFLI, G. M.; MOSAR, J.; FAVRE, P.; PILLEVUIT, A.; VANNAY, J. C. *Permian-Triassic Evolution of the Western Tethyan Realm: the Neo-Tethys / east Mediterranean basin connection*. In, W. Cavazza, A.H.F. Robertson and P. Ziegler (Eds.), *Peri Tethyan rift/wrench basins and passive margins*. Memoires du Muséum National d'Historie Naturelle, Peri Tethys Memoir 6, Paris, 2001.
- [15]- WALLEY, C.D. *The Lebanon passive margin and the evolution of the Levantine Neotethys*. In Peri-Tethys Memoire 6, Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins, ZIEGLER, P.; CAVAZZA, W.; ROBERTSON A.; CRASQUIN-SOLEAU, S. (eds.),. Memoires du Muséum National d'Historie Naturelle, Paris, 2001, 407-439.
- [16]- ZANCHI, A.; CROSTA, G. P.; DARKAL, A. N. *Paleostress Analyses in NW Syria, constraints on the Cenozoic Evolution of the Northwestern Margin of the Arabian Plate*. Tectonophysics, Vol. 357, 2002, 255-278.