

التحليل التركيبي والتكتوني لطية مندان المحدبة شمالي العراق

صدام عيسى مصطفى الخاتوني

قسم علوم الأرض

كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام ٢٠١٣/٢/٥ ، تاريخ القبول ٢٠١٣/٤/٩)

الملخص

تضمنت الدراسة تركيبية وتكتونية طية مندان المحدبة والتي تتكون طباقياً من تكوينات فتحة، انجانة، مقدادية (المايوسين الأوسط، المايوسين المتأخر والبلايوسين المبكر).

تبين من التحليل الهندسي والتركيبى للطية في ثلاثة مسارات مستعرضة مرتبة من الشمال الغربي الى الجنوب الشرقي أنها طية غير متناظرة بشكل عام في المسارات جميعاً، ومتكئة نحو الجنوب الغربي، وهي طية ذات غاطس جنوب شرقي وتتلاقى مع طية مقلوب من جهة الشمال الغربي. وظهر أيضاً أن محور الطية يتغير بعكس اتجاه عقرب الساعة من المسار الأول إلى المسار الثاني ثم باتجاه عقرب الساعة إلى المسار الثالث بسبب تعرض الطية لثلاثة فوالق مضريه.

أظهر تحليل فورير في المسارين الثاني والثالث أن شكل الطية في جناحها الشمال الشرقي يتغير من الشكل (شيفرونية الى شيفرونية جيبية) أما في جناحها الجنوب الغربي فشكلها يتغير من (جيبية الى قطع مكافئ والى نصف إهليجية) وسبب هذا التغير يعزى الى تعرض الطية إلى فالق لستيري فورلاندي اعتيادي وفالقي إزاحة مضريه في منطقة مساريها الثاني والثالث.

كما تبين أن طية مندان المحدبة متأثرة بفالقين لستيريين فورلانديي الاتكاء الأول تكون حركته معكوسة ويؤثر على الطية في منطقة المسار الأول فقط ثم ينحرف جنوباً والثاني يؤثر على الطية ككل في جناحها الشمالي بحركة اعتيادية وذلك من التحليل الهندسي للأجنحة في التكوينات الجيولوجية في المسار الثاني وبين المسارات الثلاثة. كشفت الملاحظات الحقلية وباستخدام المرئيات الفضائية و نموذج الارتفاعات الرقمية (Digital Elevation Model- DEM) عن وجود ثلاثة فوالق مضريه اثنان يساريين والثالث يميني. الأول فالق برده رش والثاني فالق شيخ خالق والثالث فالق كوما زرد. ولقد أكد التحليل الهندسي تأثير هذه الفوالق الثلاثة على تكوين طية مندان.

الكلمات الدالة: التحليل التركيبي والتكتوني، مندان، مسارات مستعرضة، طية.

The Structural and Tectonic Analysis of Mandan Anticline Northern Iraq

Saddam Essa Mustafa Al-khaton

Department of Geology
College of Science
University of Mosul

ABSTRACT

The study includes the structural and tectonic analysis of Mandan anticline. Mandan anticline consists of Fath'a, Injana and Muqdadiya Formations (Middle Miocene, Upper Miocene and Lower Pliocene age). Structural and geometric analysis of the three studied traverses revealed its generally asymmetry. It's verging towards the southwest, and it's plunging toward southeast, meet each other with Maqlob anticline from the northwest. Also the fold axis changes anticlockwise from the first traverse to the second traverse, and then clockwise to the third traverse, this is because the influence of fold to three strike-slip faults.

Fourier analysis shows that in traverse II and III the northeast limb of the fold changes from chevron to chevron sinusoidal shape. The southwest limb changes from sinusoidal, parabolic and semi ellipses. The reasons for these changes is attributed to influence of fold to normal listric foreland fault and two strike-slip faults at the second and third traverses.

The study shows also that the Mandan anticline influenced by two foreland listric faults. The first was reverse fault affects the fold in the first traverse only then swerves south. The second affects the fold as a whole at the northern limb. This is known from the geometric analysis of the formations at limbs in the second traverse and between the three traverses. Field observations, satellite images and the DEM (Digital elevation model) revealed existence of three strike –slip faults, two are sinistral and the third is dextral, namely Bardarash, Sheikh khalik and the Coma Zard faults.

Keywords: structural and tectonic analysis, Mandan, anticline, traverses revealed.

المقدمة

تقع طية مندان في الجزء الشمالي من العراق وشمال شرق مدينة الموصل على بعد ٤٥ كيلومتر. حيث تلي طيتي بعشيقية ومقلوب شرقا. وتمتد طية مندان محوريا باتجاه شمال غرب جنوب شرق وبطول ٢٢.٥ كيلومتر تقريبا كما وتنحصر بين خطي طول (٣٢.٩, ٣١, ٤٣) (٨.٥٠, ٤٣, ٤٥) شرقا ودائرتي عرض (١٢.١٠, ٣٠, ٣٦) (٨.٥٠, ٤٥, ٣٦) شمالا، (شكل 1b). وتقع الطية تكتونيا ضمن نطاق الطيات (folded zone) حسب تقسيم بولتن (Bolton, 1958)، ونطاق بطمة - الموصل للرصيف غير المستقر حسب تقسيمات (Al-Kadhimi et al., 1996)، والأحواض المعلقة لنطاق أقدام الجبال لشبه

السطيح الفورلاندي حسب تقسيم (Numan, 1997)، ونطاق أقدام الجبال من الرف غير المستقر حسب تقسيمات (Jassim and Goff, 2006) الذي هو امتداد لتقسيم (Buday and Jassim, 1987).

يحد طية مندان المحدبة عند النهاية الشمالية الغربية طية مقلوب ومن جهة الشمال الشرقي قضاء برده رش بينما يمر نهر الزاب الكبير بالقرب من الغاطس الجنوبي الشرقي ويقطع نهر الخازر الطية بالقرب من النهاية الشمالية الغربية (الشكل 1a).

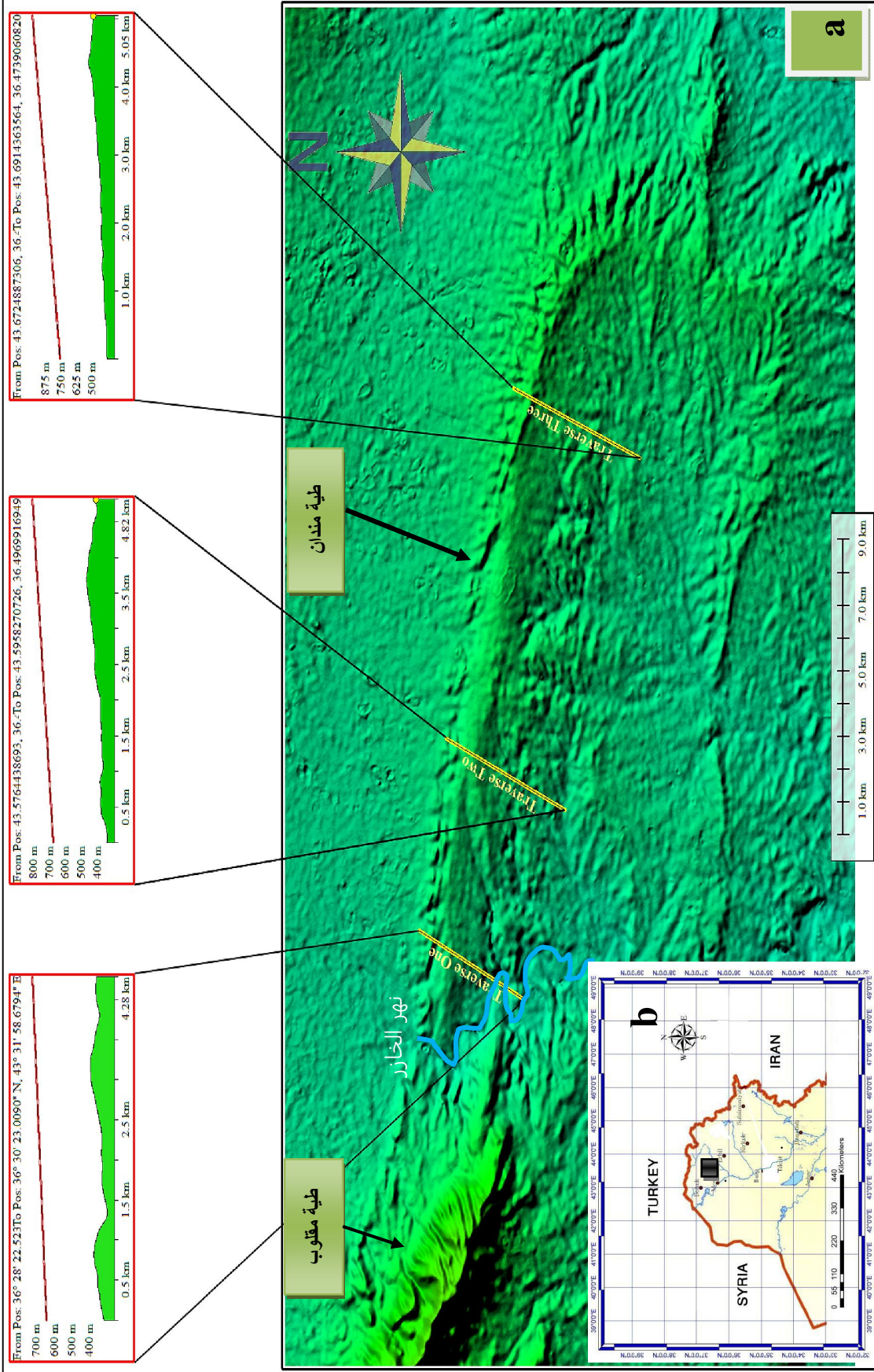
أما من الناحية الزلزالية فان طية مندان المحدبة تعد من المناطق التي لوحظ فيها وجود البؤرة الزلزالية وعلى مقربة من فائق الإزاحة المضربية وشدتها بين (٤.٥ - ٥) على مقياس ريختر حسب التقسيم الذي قامت به هيئة الأنواء الجوية للرصد الزلزالي (Al-Daghstani and Daood, 2005) مما يشير إلى احتمال وجود نشاط تكتوني حديث من هذه المنطقة مرتبطاً بصدع مندان. كما أشار (Kearey *et al.*, 2009) الى ترافق الهزات الارضية مع النشاط التكتوني الحديث لفوالق الازاحة المضربية.

ومن ناحية الدراسات السابقة لهذه الطية، فقد وصفت الطية لأول مرة من قبل (العزاوي، ١٩٨٢) إذ قام بدراسة الطراز التكتوني لثلاث مناطق لنطاق الطيات البسيطة من العراق إذ سمى هذه الطية بطية مندان المحدبة وذكر بأنها طية غير متماثلة ومتكئة نحو الجنوب الغربي. في حين قام (العبادي، ٢٠١٢) بدراسة مورفوتكتونية للصدوع المضربية في نطاق فورلاندي العراق وذكر بأنه يوجد صدع مضربي يقطع طية مندان بالقرب من غاطسها الشمالي الغربي وبتجاه شمال شرق - جنوب غرب. بالإضافة إلى ذلك فقد قام (العبيدي، ٢٠١١) بدراسة العمليات الجيومورفولوجية وانعكاساتها على المظهر الأرضي في منطقة برده رش شمال العراق وذكر بان العمليات الجيومورفولوجية الظاهرية لازالت تحدث في منطقة الدراسة وأنها تقع مناخياً ضمن الأقاليم شبه الجافة والتي تتميز بوجود انهر جافة وأخرى رطبة مما يؤدي إلى تباين فعل العمليات الجيومورفولوجية تبعاً لذلك.

تمثل أسلوب البحث بجمع المعلومات الحقلية ومن ثم تبويبها وتحليلها مكتيباً باستخدام التحليلات التركيبية المكتيبية وكذلك برامج حاسوبية عديدة. فضلاً عن الاستعانة بالخرائط الطبوغرافية والجيولوجية وكذلك المرئيات الفضائية المتوفرة عن المنطقة وانموذج الارتفاعات الرقمية الـ (DEM). إذ تم اخذ قياسات مستويات التطبيق لطبقات التكوينات المنكشفة في الطية المتمثلة بـ (الميل والمضرب) (strike/dip) وكذلك تحديد أسطح التماس بين التكوينات الجيولوجية وتثبيتها على الخريطة الطبوغرافية باستخدام جهاز تحديد المواقع الجغرافية (GPS). وبالتالي إعداد خارطة جيولوجية تفصيلية لمنطقة الدراسة، فضلاً عن إيجاد ورسم البروفيلات التركيبية والمقاطع الجيولوجية للمسارات المحددة وتثبيت الخطيات المتمثلة بالفوالق التي يمكن رسمها على المقاطع الجيولوجية التركيبية والخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة.

٠٤٣,٣٥,١٨

٠٣٦,٣٠,١٢



٠٤٣,٣١,٣٢

٠٣٦,٣٠,١٢

٠٣٦,٣٥,١٨

٠٤٣,٣١,٣٢

الشكل ١: a-انموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لطية مندان المحدبة موضح عليها المسارات المختارة. b- خارطة العراق مثبت عليها منطقة الدراسة.

٠٣٦,٣٥,١٨

٠٤٣,٣٥,١٨

البرامج الحاسوبية: Software programs

استخدمت في هذه الدراسة البرامج الحاسوبية الجيولوجية الآتية:

١- برنامجي **Stereowin full and Georient 9.3**:

وهذان البرنامجان استخدمتا لإسقاط البيانات (القياسات الحقلية) لأسطح الطبقات والفواصل ومن ثم استخراج العناصر الهندسية للطية (محور الطية، المستوي المحوري، الزاوية الداخلية، الغطس، التماثل) وأنظمة ومجاميع الفواصل وتصنيف الطية هندسيا وتركيبيا وتكتونيا.

٢- برنامج **Global mapper 14**:

استخدم هذا البرنامج في إعداد الخارطة ذات التباين اللوني والتي محدد عليها المسارات التي تم تحديدها واختيارها والمقاطع الطبوغرافية لمنطقة الدراسة مع برنامج الفوتوشوب.

٣- برنامج **AutoCAD 2011**:

استعمل هذا البرنامج في المقاطع الجيولوجية التركيبية للمسارات المحددة والتي تميز التكوينات المنكشفة لكل مسار بدقة عالية.

٤- برنامج **Grapher**:

وهو برنامج رياضي إحصائي استخدم هذا البرنامج للمساعدة في رسم البروفيل التركيبي لمسارات الطية المحددة وإيجاد معاملات فورير الرياضية والتي تستخدم في تفسير شكل الطية ووضعها تكتونيا.

الطباقية: Stratigraphy

يظهر في طية مندان المحدبة ثلاث تكوينات جيولوجية يتراوح أعمارها من (المايوسين الأوسط - البلايوسين الأسفل) وهي (فتحة، انجانة ومقدادية) وفيما يلي وصف مقتضب لكل تكوين:

تكوين فتحة: Fat'ha Formation

يعود عمر هذا التكوين إلى (المايوسين الأوسط) (Bellen et al., 1959). وصف هذا التكوين في مقطعه المثالي الجديد في منطقة الفتحة عند اختراق نهر دجلة لسلسلة جبال (مكحول - حميرين) (Jassim et al., 1984). يتألف التكوين من دورات متعاقبة غير منتظمة من المارل الرمادي المخضر والمارل البني المحمر والجبس وهي ترسبات الحوض العميق سريع التجلس (sag basin). وتظهر مكاشف

هذا التكوين في منطقة الدراسة بشكل قليل في لب طية مندان المحدبة وهو أقدم تكوين منكشف في الطية ويرتبط بعلاقة توافقية مع تكوين انجانة الذي يعلوه، ولم يلاحظ سطحه السفلي لعدم انكشافه على السطح.

تكوين انجانة: Injana Formation

يعود عمر هذا التكوين إلى (المايوسين الاعلى) (Bellen *et al.*, 1959) وصف هذا التكوين في مقطعه المثالي التكميلي عند منطقة انجانة في جبل حميرين (Jassim *et al.*, 1984) حيث يتألف تكوين انجانة من تتابعات دورية من الحجر الرملي (sandstone) والحجر الغريني (siltstone) والحجر الطيني (claystone) وبشكل الحجر الطيني الجزء الأكبر من ترسبات هذا التكوين. تظهر صخور تكوين انجانة في المناطق المحيطة بطية مندان وبسمك حوالي (٢٥٢) متر، ولوحظ وجود تراكيب التطبق المتقاطع الحوضي والتطبق الاقفي النيمي والترقق الأفقي والتطبق الأفقي والمصمت، يحدد سطح التماس العلوي للتكوين مع تكوين مقداية بظهور أول طبقة من حجر الرمل الحصوي (Pebbly Sandstone) ويكون سطح التماس السفلي مع تكوين الفتحة واقعا في نهر الزاب.

تكوين مقداية: Muqdadiya Formation

يحوي التعاقب الصخري للتكوين على حجر الرمل الحصوي (Pebbly Sandstone) والحجر الغريني الطيني ويكون الحجر الرملي من النوع الهش وسهل التفتت ويعود عمر التكوين إلى البلايوسين المبكر (Early Pliocene) (Bellen *et al.*, 1959). ويظهر التكوين في منطقة مندان على شكل حزام يحيط بالطية. إن سطح التماس السفلي مع تكوين انجانة يكون متوافقا ويحدد بظهور أول طبقة من الحجر الرملي الحصوي، أما السطح العلوي فيحدد عادة بظهور أول طبقة من المدملكات (Conglomerates) والتي تعود إلى تكوين باي حسن (Bellen *et al.*, 1959).

الوصف العام للطية: General Description of Fold

تبين من خلال الملاحظات الحقلية والمرئيات الفضائية وكذلك الخريطة الطبوغرافية وانموذج الارتفاع الرقمي لطية مندان بأنها طية ذات امتداد محوري شمال غرب - جنوب شرق واحادي الغطس يقع الى الجنوب الشرقي بالقرب من نهر الزاب الكبير أما النهاية الشمالية الغربية فإنها تتلاقى مع طية مقلوب المحدبة. ويفصل بين طيتي مندان ومقلوب طية محدبة صغيرة وينفس الامتداد المحوري (العبادي، ٢٠١٢). يتراوح نصف الطول الموجي لطية مندان ما بين (٤.٩٢-٥.٣٥) كيلومتر ويصل أقصى ارتفاع لها حوالي (٥٣٩) متر فوق مستوى سطح البحر قرب قرية (داراتو). كما لوحظ من خلال القياسات الحقلية أن الجناح الجنوبي الغربي للطية اشد ميلا. وقد تم اختيار ثلاث مسارات مستعرضة على طول الطية

اعتمادا على كيفية تغير مضرب الطبقات والوديان التي تخترق الطية والتي يظهر بها أكثر انكشافا للطبقات (الشكل ٢). إذ تم في كل مسار إتباع ما يأتي:

- ١- اخذ قراءات لمستويات التطبيق لطبقات التكوينات المنكشفة على طول المسار.
- ٢- تحديد حدود التماس بين التكوينات المنكشفة وتثبيتها على الخارطة الجيولوجية المعدة في هذه الدراسة.
- ٣- اخذ صور للفواصل وحزوز الصفاح التي تمثل آثار للفوالق المتواجدة والمؤثرة على منطقة الدراسة.

تحليل الطية: Fold Analysis

١- التحليل الهندسي للطية: Geometric Analysis of the fold

اعتمدت الدراسة الحالية في التحليل الهندسي لطية مندان المحدبة على تحديد ثلاث مسارات (الشكل ٢)، وهذه المسارات أظهرت اختلاف في هندسية الطية بعد تجميع البيانات لهذه المسارات وتحليلها باستخدام مخططات باي للإسقاط الفراغي (stereographic projection for π diagram) مع ملاحظة أن اتجاه المضرب مأخوذ مع عقرب الساعة من اتجاه الميل. وهذا التحليل يظهر المعاملات الهندسية للطية لتكوينات كل مسار على حدة وكما يأتي:

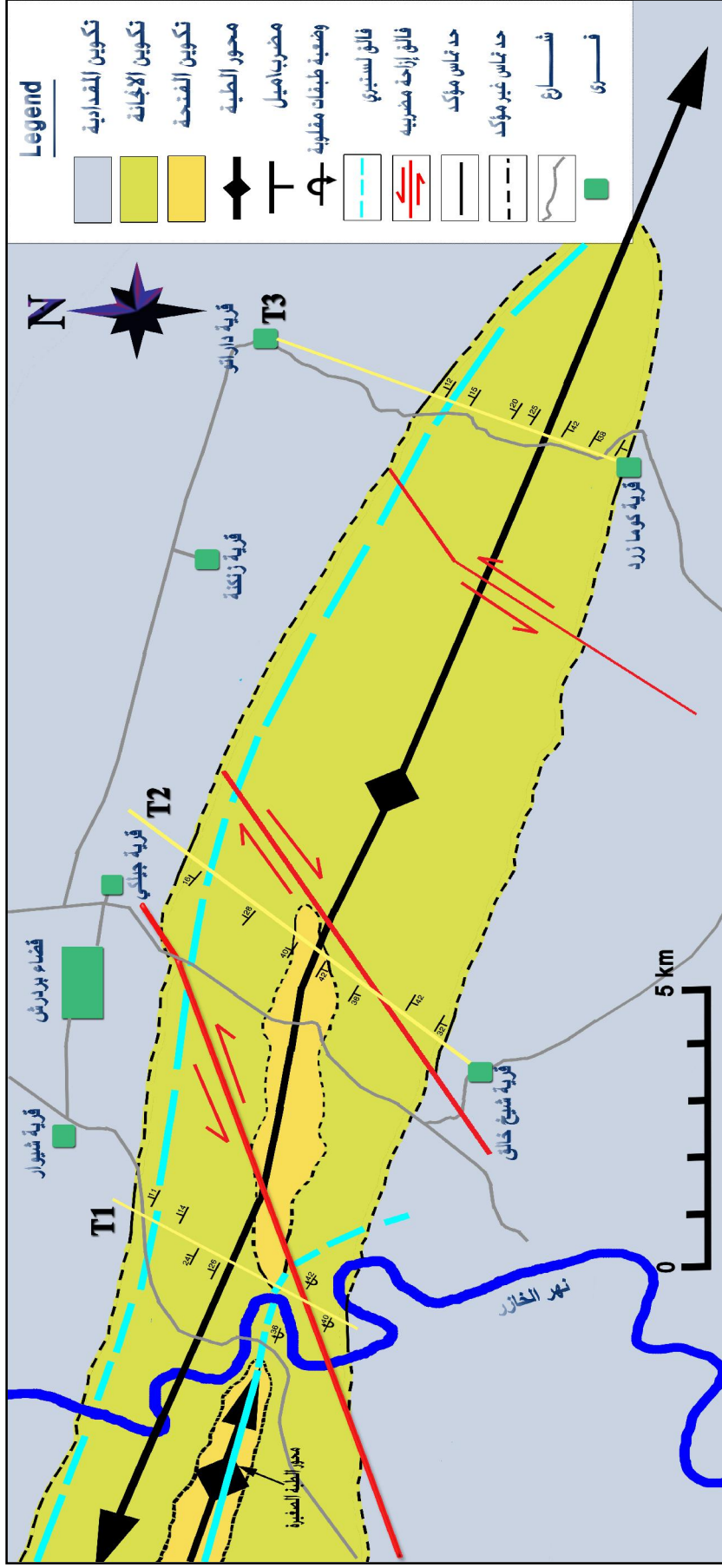
المسار الأول: (T1) Traverse One

يستعرض هذا المسار الطية بالقرب من النهاية الشمالية الغربية للطية ويمتد من منطقة جنوب غرب - شمال شرق بطول (٤.٦) كيلومتر مرورا بجسر مندان. تتكشف في هذا المسار التكوينات (فتحة، انجانة ومقدادية). ومن التحليل الهندسي للطية وجد أن الجناح الجنوب الغربي اشد ميلا من الجناح الشمال الشرقي ($36^\circ - 15^\circ$) على التوالي ولكنهما بنفس الاتجاه أي أن طبقات الجناح الجنوب الغربي مقلوبة بسبب تأثر هذا المسار بالفالق المعكوس الذي أثر على طية مقلوب ككل ويمتد إلى هذا المسار (الشكل ٤) كما سيأتي ذكره لاحقا. كما تبين أن مقدار الزاوية الداخلية هو (23°)، ووضعية محور الطية ($319/06$) (bearing/plunge)، ووضعية المستوي المحوري ($322/64$) (strike/dip) (الشكل ٣)، وهذا يجعل الطية غير متماثلة ومتكئة نحو الجنوب الغربي. ووفقا لذلك فإن الطية اعتبرت ضيقة (Tight) وشديدة الميل شبه أفقية حسب تصنيف (Fleuty, 1964) وطية أفقية حسب تصنيف (Reckard, 1971) وأفقية شديدة الميل حسب تصنيف (Roberts, 1982) وطية شبه اسطوانية حسب (Ramsay and Huber, 1987).

° ٤٣, '٤٥, " ٨

° ٤٣, '٣١, " ٣٢

° ٣٦, '٣٠, " ١٢



° ٤٣, '٤٥, " ٨

° ٣٦, '٤٥, " ٨

الشكل ٢: الخارطة الجيولوجية لطية مندان المحدبة.

المسار الثاني: (T2) Traverse Two

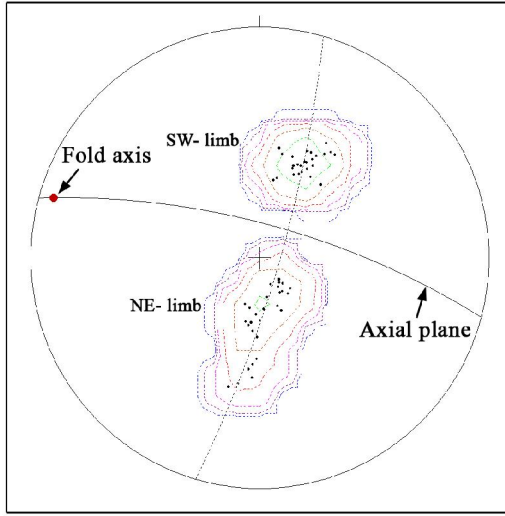
يقع المسار الثاني في وسط الطية تقريبا ويمتد من قرية (شيخ خالق) الواقعة على الجناح الجنوب الغربي إلى مقربة من قرية (جيلكي) في الجناح الشمال الشرقي للطية وبطول (٦.٢) كيلومتر. وتتكشف نفس التكوينات التي ذكرت في المسار الاول. ويظهر في هذا المسار أن تكوين فتحة يمثل لب الطية وينكشف في منطقة ضيقة جدا في وسطها. كما ويبلغ نصف الطول الموجي للطية وسعتها (٤.٩٢ - ٠.٩) كيلومتر على التوالي (الشكل ٥). ومن خلال التحليل الهندسي لهذا المسار وجد أن معدل ميل الجناح الجنوب الغربي أعلى من الجناح الشمال الشرقي ($38^\circ - 16^\circ$) على التوالي. وان مقدار الزاوية الداخلية يساوي (126°)، ووضعية محور الطية (٢٨٦/٠٨) (الغطس/الاتجاه)، ووضعية المستوي المحوري (١٠٥/٧٨) (الشكل ٣). وتبعاً لهذه العناصر الهندسية فان الطية غير متماثلة ومتكئة نحو الجنوب الغربي (الشكل ٤). وحسب تصنيف (Fleuty, 1964) شبه مسطحة وشبه أفقية قائمة. وطية أفقية قائمة حسب تصنيفي (Reckard, 1971 ; Roberts, 1982) وطية اسطوانية حسب تصنيف (Ramsay and Huber, 1987).

المسار الثالث: (T3) Traverse Three

يمتد هذا المسار من قرية (كوما زرد) الواقعة على الجناح الجنوب الغربي قاطعا الطية بالقرب من غاطسها الجنوب الشرقي إلى مقربة من قرية (داراتو) الواقعة على الجناح الشمال الشرقي وبطول (5.9) كيلومتر. أظهر التحليل الهندسي للطية باستخدام مخططات باي (Pi diagram) (الشكل ٣) أن معدل ميل الجناح الجنوب الغربي للطية أعلى من معدل ميل الجناح الشمال الشرقي إذ يبلغان ($50^\circ - 14^\circ$) على التوالي. ويبلغ نصف الطول الموجي للطية وسعتها (٥.٣٥ - ٠.٧٨) كيلومتر (الشكل ٥). ووجد أيضا أن قيمة الزاوية الداخلية (115°) ووضعية محور الطية (110/12) أما وضعية المستوي المحوري فبلغت (111/71). وبما أن ميل الجناحين غير متساوي فإن الطية غير متماثلة ومتكئة نحو الجنوب الغربي (الشكل ٤). وهي طية مفتوحة وطية طفيفة الغطس شديدة الميل حسب تصنيفي (Fleuty, 1964)، وطية طفيفة الغطس شديدة الميل حسب تصنيف (Roberts, 1982) وطية مائلة حسب (Reckard, 1971) وطية شبه اسطوانية حسب (Ramsay and Huber, 1987).

يتضح مما تقدم ذكره من التحليل الهندسي للطية بالاعتماد على عناصرها الهندسية السابقة الذكر في ثلاث مسارات مستعرضة، بأن طية مندان المحدبة هي طية غير متماثلة ومتكئة نحو الجنوب الغربي شبه أفقية - مفتوحة وشديدة الميل (Fleuty, 1964) وطية أفقية - مائلة (Reckard, 1971) وأفقية شديدة الميل طفيفة الغطس (Roberts, 1982) وطية اسطوانية - شبه اسطوانية (Ramsay and Huber, 1987). فضلا عن انقلاب اتجاه محور الطية من اتجاه الجنوب الشرقي (110°) في المسار الثالث قرب منطقة الغطس، إلى الشمال الغربي (286°) في المسار الثاني، وهذا

طبيعي لقرب المسار الثاني من المسار الأول الواقع في منطقة النهاية الشمالية الغربية للطية مع وجود انحراف أكثر لاتجاه المحور باتجاه الغرب وهذا يعلل تأثر منطقة المسار الثاني بوجود فالق إزاحة مضريه يميني (Dextral - strike-slip fault) والذي سيرد ذكره لاحقاً، ثم يعود لينحرف باتجاه الشمال أكثر (٣١٩°) في المسار الأول وهذا يعلل بسببين الأول أن تكوين الانجاعة يستمر بالانكشاف ليحيط بطية مقلوب من جهة الجناح الشمالي الشرقي والسبب الثاني هو تعرض منطقة المسار الأول إلى فالق إزاحة مضريه يساري (Sinistral - strike-slip fault).



رقم المسار : T2

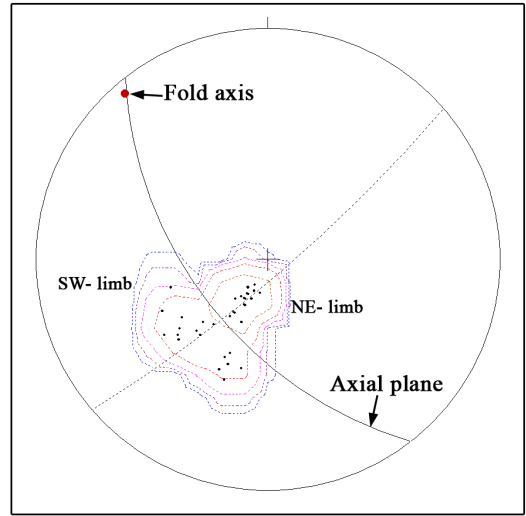
وضعية محور الطية : 286/08

وضعية المستوي المحوري : 105/78

مقدار الزاوية الداخلية بين الجناحين : ١٢٦

معدل ميل الجناح الشمال الشرقي : ١٦

معدل ميل الجناح الجنوب الغربي : ٣٨



رقم المسار : T1

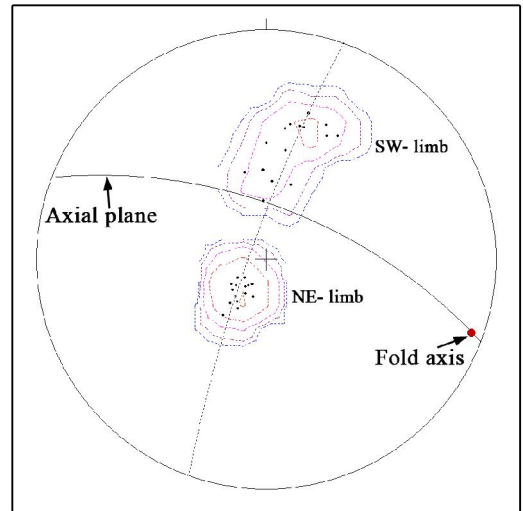
وضعية محور الطية : 319/06

وضعية المستوي المحوري : 322/64

مقدار الزاوية الداخلية بين الجناحين : ٢٣

معدل ميل الجناح الشمال الشرقي : ١٥

معدل ميل الجناح الجنوب الغربي : ٤٢



رقم المسار : T3

وضعية محور الطية : 110/12

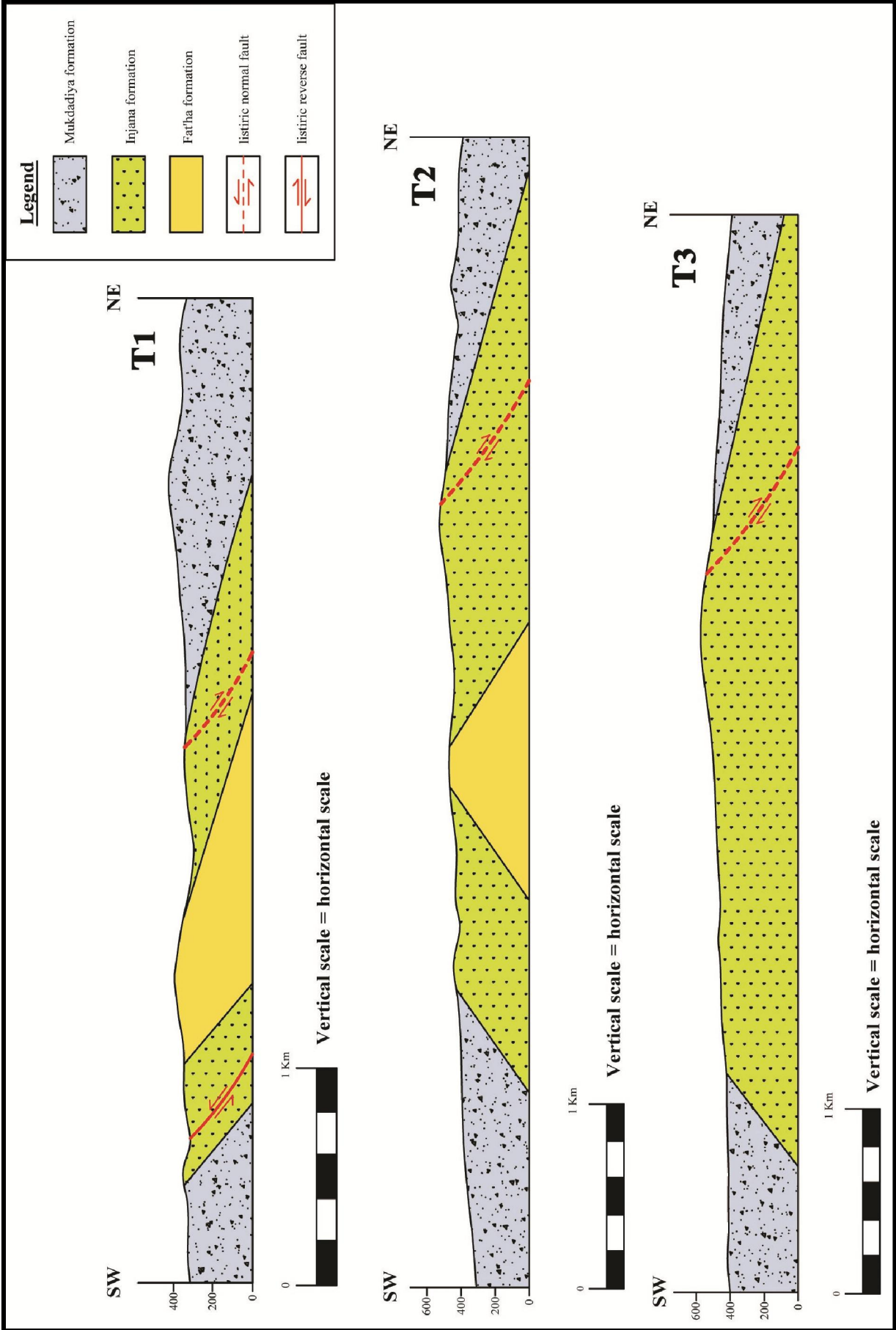
وضعية المستوي المحوري : 111/71

مقدار الزاوية الداخلية بين الجناحين : ١١٥

معدل ميل الجناح الشمال الشرقي : ١٤

معدل ميل الجناح الجنوب الغربي : ٤٦

الشكل ٣: أشكال باي للمسارات الثلاثة (T1, T2, T3) والعناصر الهندسية المستخرجة.



الشكل ٤ : المقاطع الجيولوجية التركيبية للمسارات الثلاثة المختارة في منطقة الدراسة.

تحليل فوريير الرياضي: Fourier analysis

إن تحليل فوريير هو عبارة عن التمثيل الرياضي لشكل الطية بواسطة بعض الدوال المثلثية المتناغمة (الجيب والجيبتام)، وهو أسلوب رياضي رقمي يستعمل لالتقاط التغيرات التي تحدث على منحنى الطية لربع الطول الموجي بين (نقطة المفصل ونقطة الانقلاب)، ومن ثم تحديد الشكل بواسطة معاملات خاصة تدعى بمعاملات فوريير التي تحسب بمعادلات خاصة أعدت لهذا الغرض، ويمكن تطبيقها في مخطط هدلستون (Hudleston, 1973a) للحصول على شكل الطية (الشكل 5a). وهذه الطريقة الرياضية وصفت بشكل تام من قبل (Headings, 1963 ; Kreyszig, 1967) في (Al-Azzawi and Al-khatony, 2010) وإجراءاتها وتطبيقاتها موضحة في (Ramsay and Huber, 1987) و (العزاوي، ٢٠٠٣). ويمكن إيجاد معاملات فوريير وذلك برسم البروفيل التركيبي للطية باستخدام طريقة بصك (Busk, 1959). ثم رسم المحاور العمودية الثلاثة المسماة بمحاور ستابلر وهي (Y_3, Y_2, Y_1) بقياسها مباشرة من البروفيل التركيبي، (الشكل 5b) (Ramsay and Huber, 1987 ; Stabler, 1968) و (العزاوي، ٢٠٠٣). وتحويلها إلى قيم (Y_i) القياسية، باستخدام المعادلة:

$$[Y_i = (y * \pi) / (2 * AQW)]$$

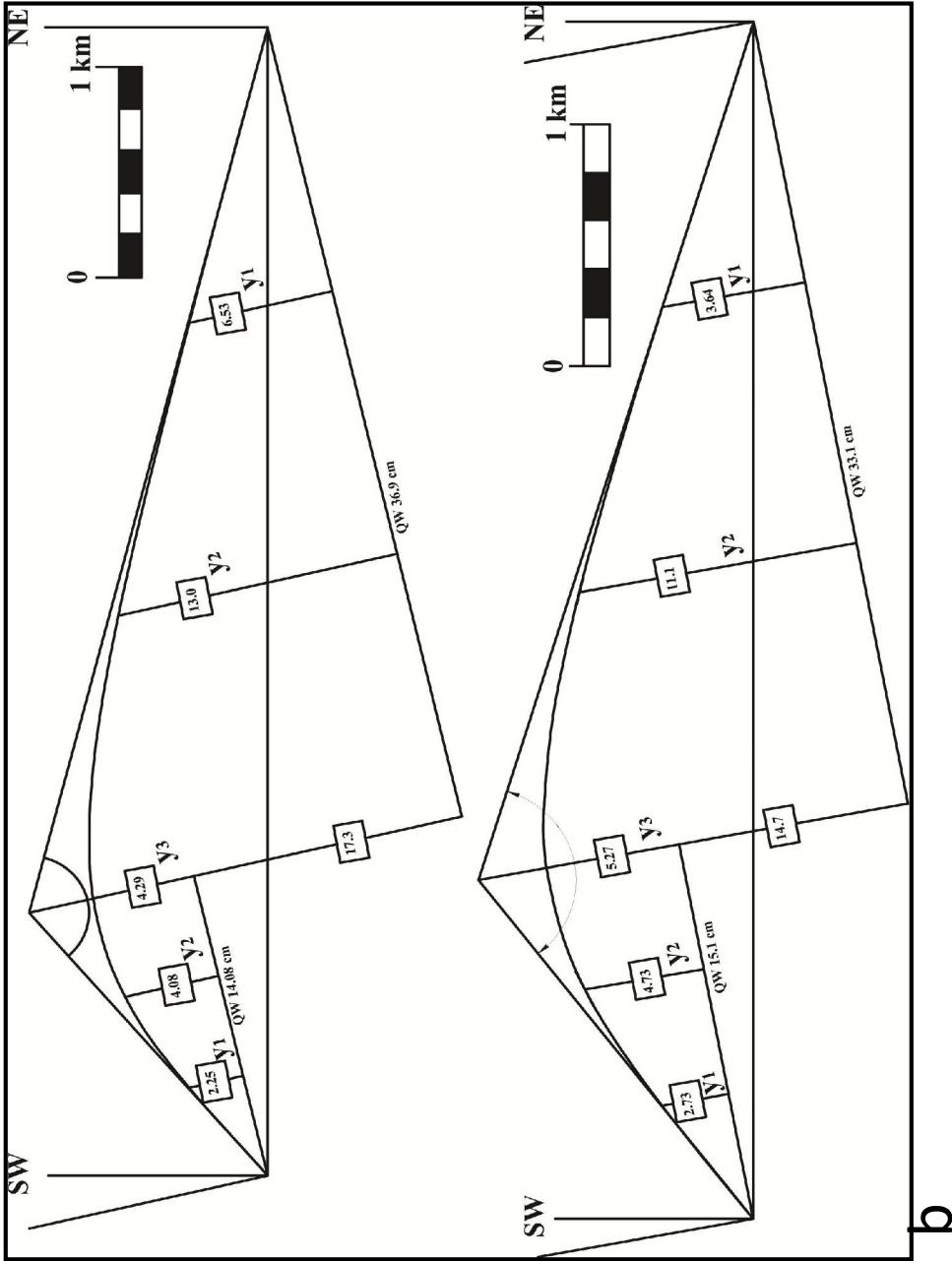
وبعدها يتم إيجاد معاملات فوريير الرياضية وهي: (b_5, b_3, b_1) بالمعادلات التالية:

$$b_1 = (Y_1 + \sqrt{3}Y_2 + Y_3) / 3 \quad b_3 = (2Y_1 - Y_3) / 3 \quad b_5 = (Y_1 - \sqrt{3}Y_2 + Y_3) / 3$$

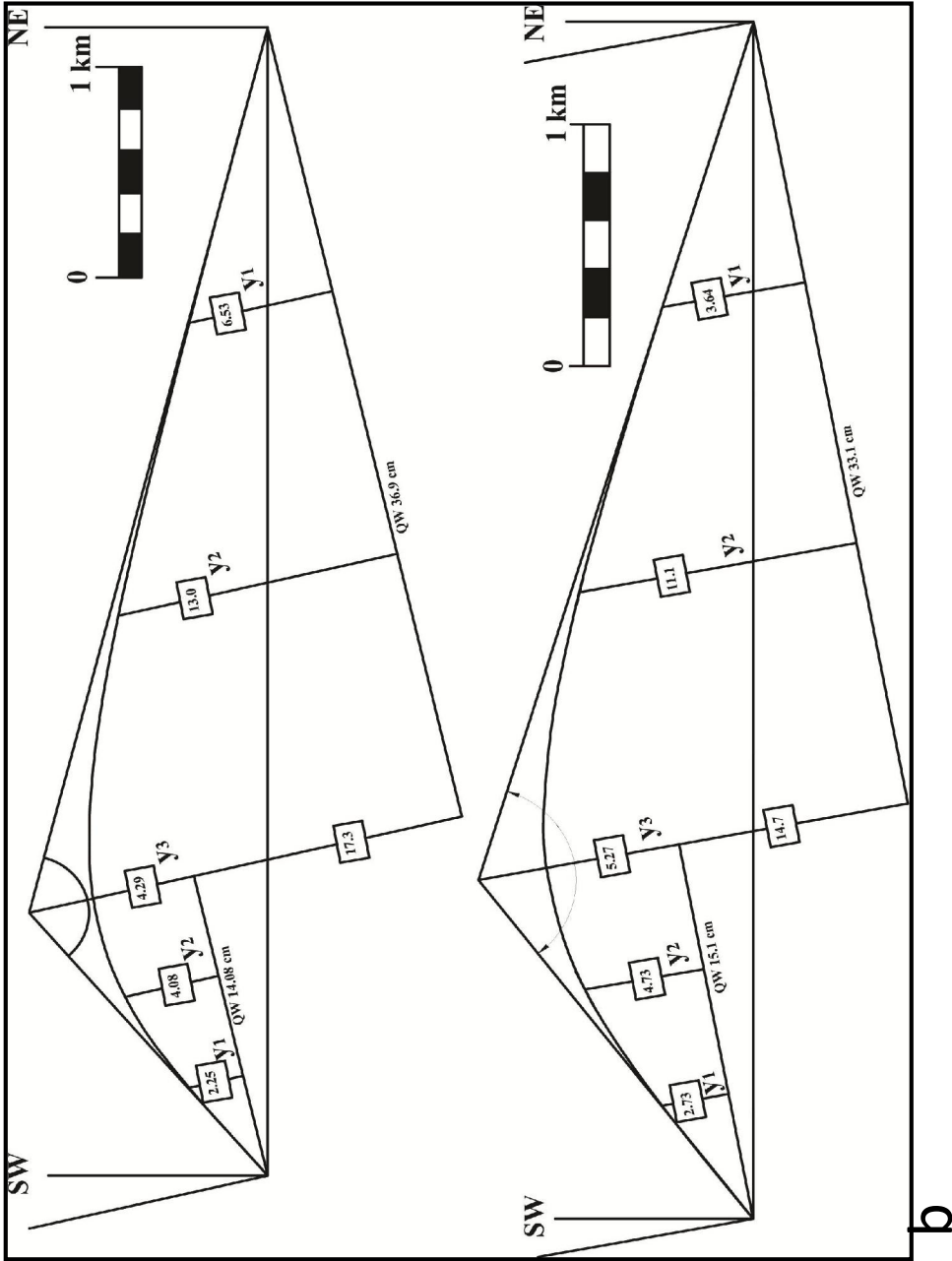
لقد تم تطبيق التحليل على ربع الطول الموجي (QW) للطية أي كل جناح على حدا للمسارين الثاني والثالث (T2, T3) ويظهر (الجدول ١) نتائج التحليل لشكل الطية والتي ستناقش لاحقاً. ومن الجدير بالذكر بأن أسلوب تحليل فوريير قد طبق في الدراسات السابقة على التكوينات ذات الصخرية الصلبة مثل البلاسي لأنه محاط من الأسفل والأعلى بتكوينات ذات صخرية غير صلبة مثل جركس وفتحة ولكن في هذه الدراسة لعدم انكشاف تكوين بلاسي فقد طبقت على تكوين انجانة لاحتوائه على مكونات صخرية صلبة مثل الحجر الطيني (mudstone) والحجر الغريني (siltstone) صورة (١) فضلا عن انه محاط بتكوينات ذات مكونات غير صلبة مثل فتحة.

الجدول ١: نتائج تحليل فوريير.

رقم المسار	الجناح الشمالي الشرقي	الجناح الجنوبي الغربي
المسار الثاني (T2)	شيفرونية	قطع مكافئ - نصف اهليجية
المسار الثالث (T3)	شيفرونية - جيبية	جيبية - قطع مكافئ



a



b

الشكل ٥: a- تصنيف هندستون لإيجاد شكل الطية بواسطة معاملات فورير عن
 b- تحليل فورير الرياضي ومحاور ستابلر للمسارين (T2, T3). (Hudleston, 1973 a)



صورة (١) توضح طبقات الحجر الغريني (Siltstone) السمكة والصلبة في تكوين انجانة.

الفوالق: Faults

تعد الفوالق من تراكيب التكسر الهش التي تتواجد مع الطيات، وقد درست هذه التراكيب في طية مندان المحدبة وفي المسارات الثلاثة المحددة. وهناك نوعين من الفوالق الرئيسية التي تواجدت في طية مندان المحدبة وهي فوالق الإزاحة المضربية (Strike - Slip Faults) والفوالق اللستيرية (Listric Normal Faults):

فوالق الإزاحة المضربية: Strike Slip Faults

أكدت الدراسة الحالية وباستخدام المرئيات الفضائية التابعة لـ (Google Earth Image, 2008) وانموذج الارتفاعات الرقمية التابع لبرنامج (Global Mapper v.14) وجود ثلاثة فوالق إزاحة مضربية ذات المقياس المتوسط أحدها لوحظ من قبل (العبادي، ٢٠١٢) والذي يؤثر في الطية بشكل مستعرض ومائل على محور الطية بالقرب من نهايتها الشمالية الغربية والمسمى في الدراسة الحالية بفالق برده رش. ولوحظت هذه الفوالق من خلال المشاهدات الحقلية لحركتها المتمثل بحزوز الصفاح (Slickensides) الموازية لمضرب الفالق صورة (٢) وإزاحة حدود التماس للتكوينات الجيولوجية (تغير اتجاه مضربها). وقد وجد بأن هذه الفوالق الثلاثة تميل عن محور الطية واثنين منها مقترنة أما الآخر فهو موازيا لأحد الفالقين المقترنين وفيما يلي وصف لكل منها:



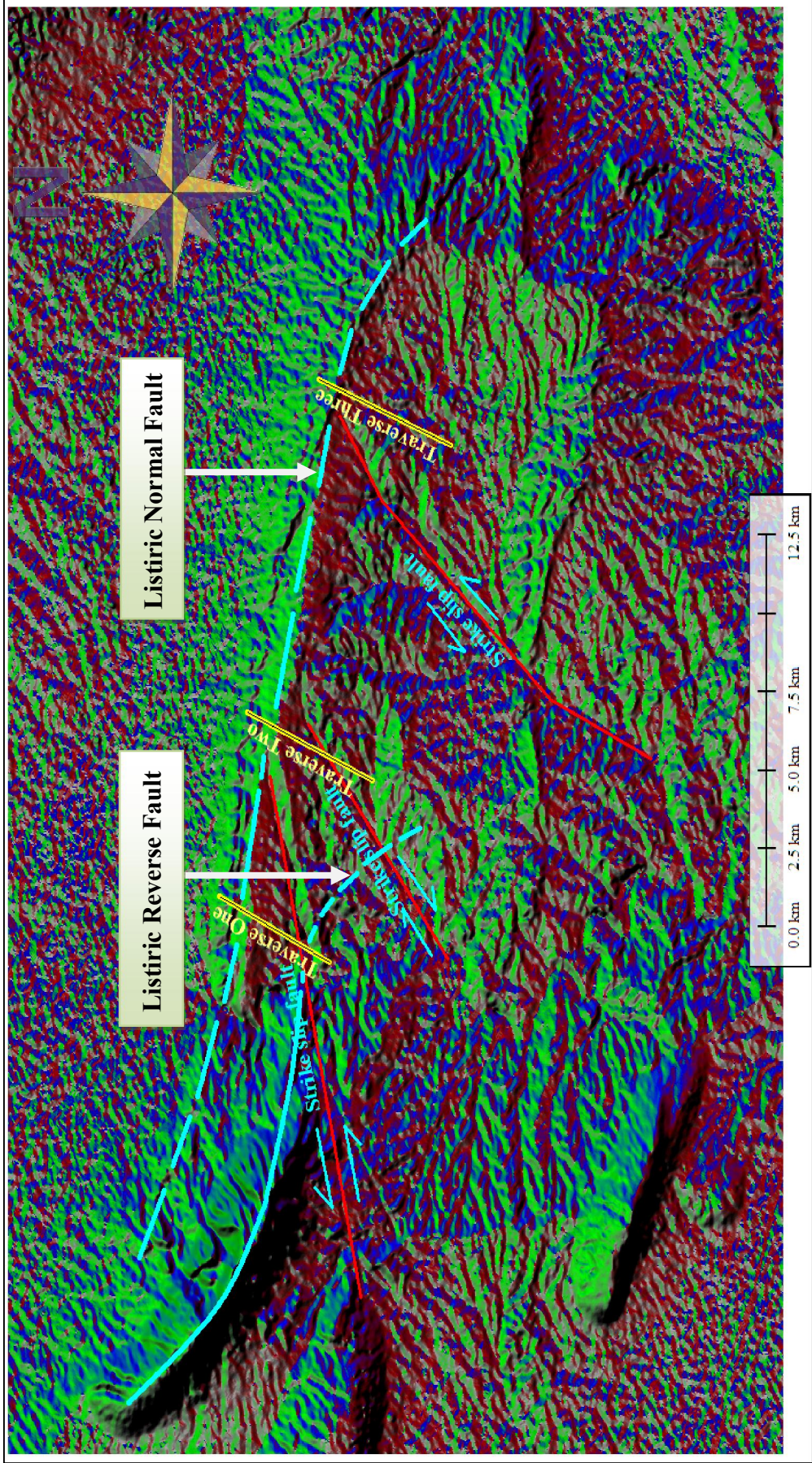
صورة (٢) حزوز الصفاح على طبقات الحجر الرملي (Sandstone) في تكوين انجانة.

a- فالق برده رش: Bardarash Fault

ذُكر هذا الفالق بشكل عام من قبل (العبادي، ٢٠١٢) على أنه فالق إزاحة مضريه يساري الحركة وهو يتزامن مع تكون الطية. وقد تبين في هذه الدراسة أنه يقطع المسار الأول (T1) للطية بشكل مائل على محورها مارا بنهر الخازر بالقرب من النهاية الشمالية الغربية وسمي بالفالق برده رش لأنه ينتهي بقضاء برده رش الواقع على الجناح الشمالي الشرقي للطية ويستمر باتجاه الجنوب الغربي حتى يصل الغاطس الشرقي لطيه بعشيقية ويكون اتجاهه العام شمال شرق - جنوب غرب بطول ١٤.٣ كيلومتر، وتكون حركته يسارية (Sinistral) (الشكل ٧). وقد أدى هذا إلى حدوث تشويه في الطبقات لكلا الجناحين وبالتالي إلى حدوث تدوير في مضرب الطبقات لكلا الجناحين وبدرجة أكبر الجناح الشمالي الشرقي من اتجاه (٢٨٨°) إلى (٢٦٠°) ثم (٣١٠°) في المسار الأول أي أن الفالق أدى إلى تغيير اتجاه مضرب الطبقات على جانبي مستواه. (الشكل ٨) كما أنه أثر على اتجاه محور الطية.

b- فالق شيخ خالق: Shaikh Khalik Fault

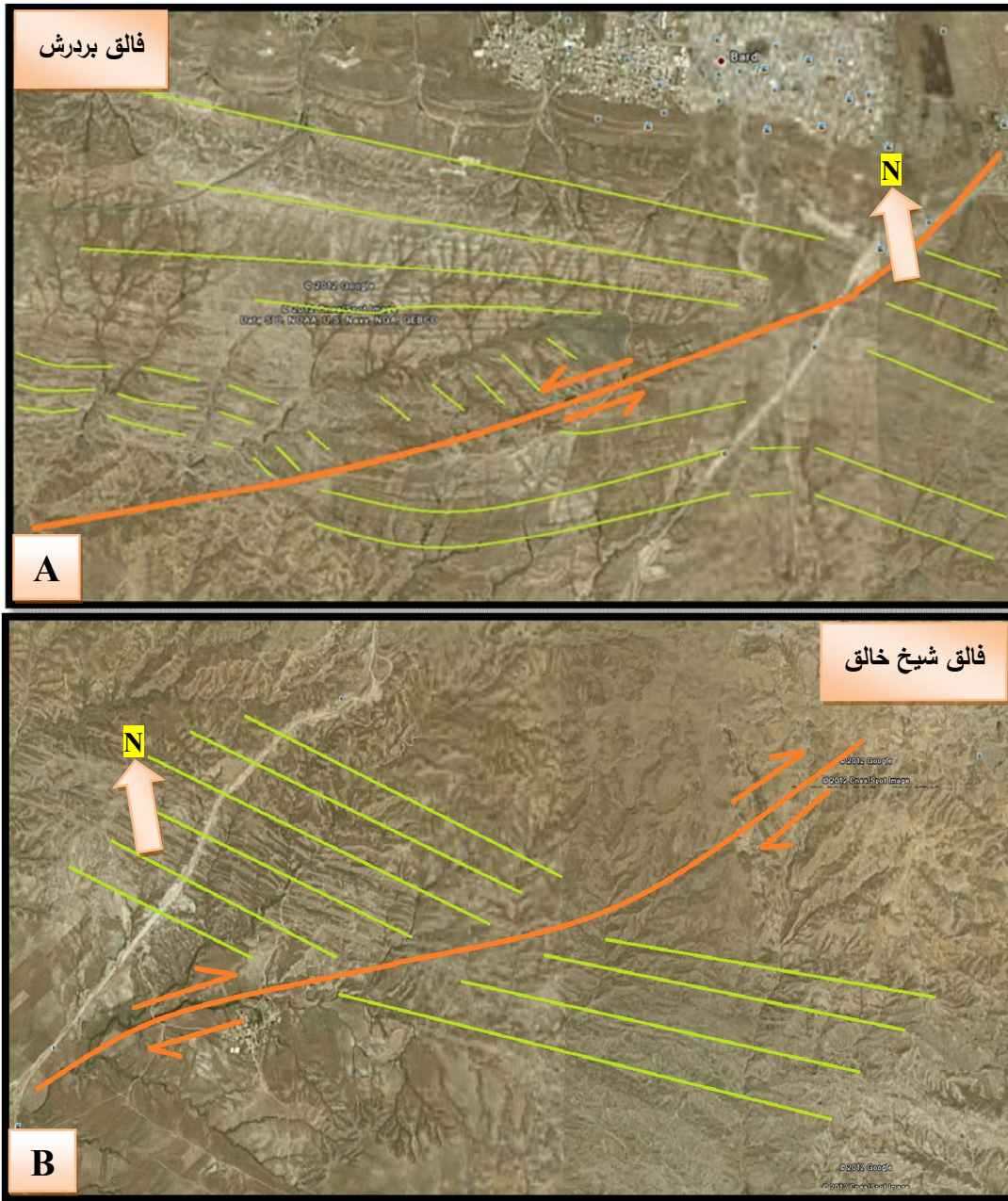
يمر هذا الفالق بالقرب من قرية شيخ خالق الواقعة على الجناح الجنوب الغربي وينتهي مع بداية الجناح الشمال الشرقي للطية أي انه لا يقطع الطية بشكل مستعرض ويتقاطع مع المسار الثاني (T2). ويمتد شمال شرق - جنوب غرب أيضاً بطول ٧.٨٦ كيلومتر، ويمتاز بحركة مضريه يمينية (Dextral) (الشكل ٧). كما يؤثر على وضعية الطبقات في الجناح الجنوب الغربي بتغيير مضربها من غرب - شمال غرب إلى شمال غرب، (الشكل ٨).



الشكل ٧: انموذج الارتقاعات الرقمية لطيهه مندان المحببة ميين عليها الفوالق المضربية السنيرية واتجاهاتها وحركتها نسبة الى الاتجاه العام للطية.

c- فالق كوما زرد : Coma Zard Fault

يعد فالق (كوما زرد) فالق إزاحة مضريه يساري الحركة يقطع الطية في جناحها الجنوبي بالقرب من غاطسها الجنوب الشرقي ويعتقد أن إزاحته قليلة بحيث لم يؤثر على الطية بشكل كبير بدليل عدم تأثر الجناح الشمالي بحركته وكذلك اتجاه مضرب الطبقات، سمي بهذا الاسم لان موقعه بالقرب من قرية (كوما زرد) الواقعة على الجناح الجنوب الغربي ويستمر تأثيره بنفس الاتجاه حتى قرابة طية عين الصفرة جنوبا. ويصل طوله إلى حوالي ١٤.٩ كم، (الشكل ٧).



الشكل ٨: مرئيات فضائية لطية مندان من الـ (Google Erath, 2010).

- A- التواء الطبقات على جانبي فالق برده رش وتغير مضربها في الجناح الشمالي للطية للمسار (T1).
- B- تغير اتجاه مضرب الطبقات على جانبي فالق شيخ خالق في الجناح الجنوبي للطية للمسار (T2).

الفوالق اللستيرية: Listiric Faults

تعرف الفوالق اللستيرية بأنها فوالق ذات ميل متغير بشكل تدريجي، إذ يكون سطح الفالق منحني (Ramsay and Huber, 1987). درس نعمان والعزاوي (Numan and Al-Azzawi, 1993) و(العزاوي، ٢٠٠٣) الفوالق اللستيرية في نطاق الفورلاندي في العراق، واستنتج الباحثان وجود هذه الفوالق من خلال دراستهما لاتكاء الطيات في نطاق الفورلاندي. وقد ذكرا في تلك الدراسة وجود نوعين من الفوالق لكل نوع اتجاه اتكاء واتجاه ميل معاكس للنوع الأخر. فالنوع الأول يكون اتكاءها باتجاه الشمال أو الشمال الشرقي أي أنها تميل باتجاه الجنوب أو الجنوب الغربي وتسمى الفوالق اللستيرية الدرزية. أما النوع الثاني فيكون اتكاءها باتجاه الجنوب أو الجنوب الغربي أي أنها تميل باتجاه الشمال أو الشمال الشرقي وتسمى بالفوالق اللستيرية الفورلاندية. وقد اقترح الباحثان نماذج لبعض الطيات الناتجة من حركة الفوالق اللستيرية والتي بدورها أثرت على عملية الطي (الشكل ٩). أظهرت الدراسة الحالية لطيه مندان بان الطية قد تأثرت بنوعين من الفوالق اللستيرية وفيما يأتي وصف لكل نوع:

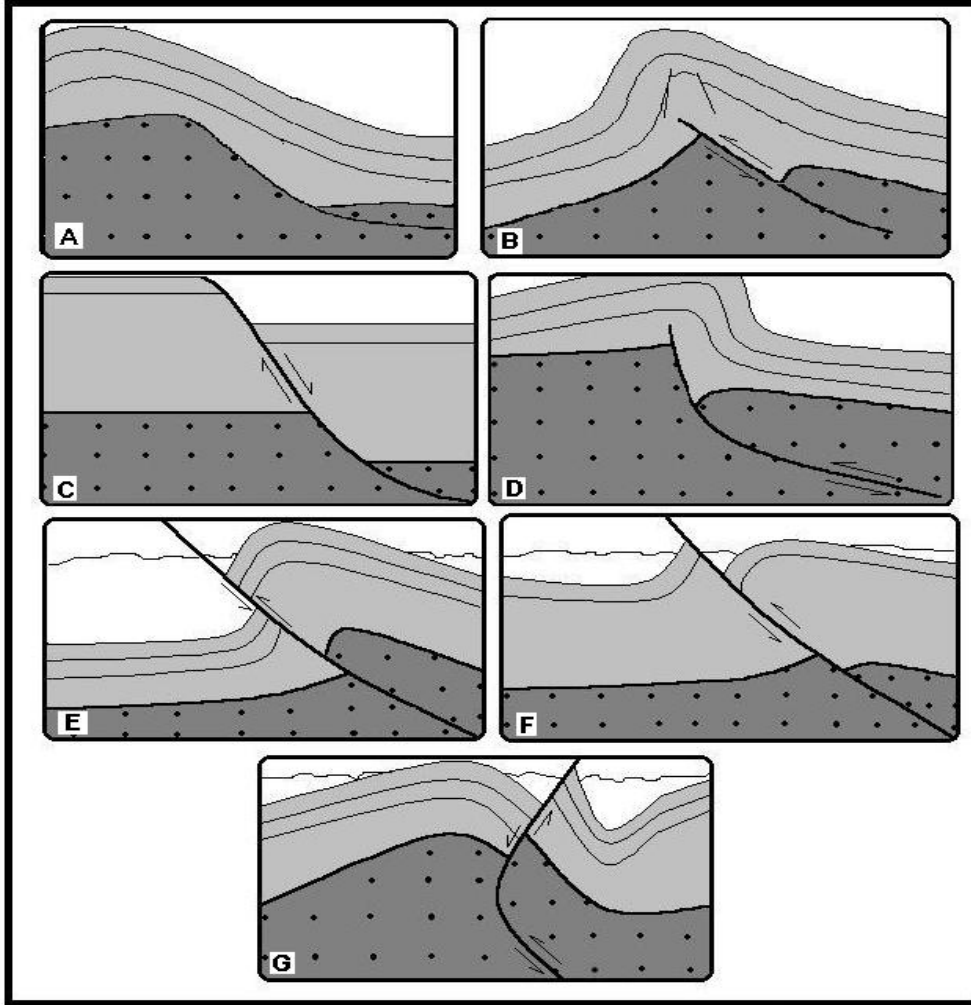
النوع الأول:

فالق لستيري فورلاندي الاتكاء بحركة معكوسة، إذ أن هذا الفالق قد اثر على طية مقلوب بأكملها بشكل مواز لمحورها مما أدى إلى قلب ميل الطبقات المتواجدة على الجناح الجنوبي الغربي للطية وامتد تأثيره الى طية مندان في منطقة المسار الأول بالقرب من النهاية الشمالية الغربية للطية ثم ينحرف باتجاه الجنوب الشرقي بعد منطقة المسار الأول وبذلك أدى إلى قلب ميل طبقات الجناح الجنوبي الغربي بنفس ميل الطبقات المتواجدة على الجناح الشمالي الشرقي (الشكل ٧). كما أشير إليه من قبل دائرة المسح الجيولوجي والتعدين العراقية في الخارطة الجيولوجية (Geosurv, 1997) لشمال العراق قطاع (اربيل - مهاباد) المعدة من قبلهم على أن هذا الفالق قد ضرب طية مقلوب في جناحها الجنوب الغربي والنهاية الشمالية الغربية لطيه برده رش (طية مندان المحدبة) وأطلقوا على هذا النوع من الفوالق بالفالق الزاحف وهو مرادف للتسمية الحالية (فالق لستيري فورلاندي الاتكاء بحركة معكوسة) لنفس الفالق ويعتقد بأنه من نوع (E) في الاشكال المقترحة من قبل (Numan and Al-Azzawi, 1993) واعيد تنشيط الحركة على سطحه مما أدى الى تغير في وضعية الطبقات في الجناح الجنوبي الغربي (ال شكل ٩).

النوع الثاني:

فالق لستيري فورلاندي الاتكاء أيضا ولكن بحركة اعتيادية إذ يؤثر في تكوين انجانة المحيط بطية مقلوب في الجناح الشمال الشرقي بشكل موازي لمحورها ويمتد تأثيره على نفس التكوين والجناح لطيه مندان وبشكل موازي لمحورها أيضا بحيث أدى إلى تغير ميل طبقات الجناح الشمالي الشرقي للطية وعلى المسارات الثلاثة (الشكل ٧). إذ أن طبقات تكوين انجانة القريبة من مفصل الطية

(اقرب إلى لب الطية) يصل ميلها (32°) في حين أن الميل يصل (11°) تقريبا لنفس التكوين في أماكن أخرى. كما أن التحليل الهندسي للجزء المنكشف من تكوين فتحة في المسار الثاني أظهر بأن الطية تقريبا متناظرة (40° SW - 38° NE) (الشكل ٣)، أي يعكس عدم تأثير تكوين الفتحة بهذا الفالق. فضلا عن ذلك فقد ثبت من خلال الدراسة الجيوفيزيائية الجذبية تحت السطحية وجود هذا الفالق (مناقشة شخصية مع معن حسن عبدالله الماجد، ٢٠١٣). ويعتقد بأن هذا الفالق يمثل النوع (A) في الاشكال المقترحة من قبل (Numan and Al-Azzawi, 1993) (الشكل ٩).



الشكل ٩ : الموديلات المقترحة لبعض الطيات الناتجة عن حركة الفوالق اللستيرية

عن (Numan and Al-Azzawi, 1993).

المناقشة والاستنتاجات

تُعد طية مندان المحدبة من الطيات المهمة لموقعها التكتوني ضمن نطاق طيات الفورلاندي في العراق، وعليه فقد تمت دراسة طية مندان من الناحية التركيبية والهندسية وذلك من خلال ثلاث مسارات مستعرضة وكما يأتي:

التحليل الهندسي: Geometric analysis

من خلال التحليل الهندسي للطية وبإيجاد شكل باي للمسارات الثلاثة، تم إيجاد تماثل الطية، واتكائها، واتجاه المحور وغطاسها فضلاً عن إيجاد وضعية المستوي المحوري. لقد تم في هذا الإجراء توضيح هندسية الطية وطرزها بشكل جلي، وقد تكشّف للباحث تأثير الطية بنوعين من الفوالق النوع الأول الفوالق المضربية والتي أثرت في تغير مضارب الطبقات ومحور الطية والنوع الثاني الفوالق اللستيرية الفورلاندية التي أدت إلى تغيير في ميل الطبقات بين الأجنحة وكذلك قلب في وضعية بعض الطبقات. ففي منطقة المسار الأول تتأثر الطية بفالق لستيري فورلاندي معكوس الحركة الفالق أدى إلى قلب الطبقات باتجاه الجنوب الغربي ثم ينحرف باتجاه الجنوب بعد منطقة المسار الأول أي أنه لا يمتد إلى بقية الطية بدليل عدم تأثير منطقة المسار الثاني بهذه الحركة. وفي الجناح الشمال الشرقي للطية ككل فإن الميل في وسط الطية يصل إلى 50° وهذا أكثر بكثير من أطراف الجناح حيث يصل الميل إلى 10° وهذا يشير إلى تأثير الطية بفالق لستيري فورلاندي اعتيادي الحركة موازٍ للطية وهذا ما تم أثباته بطرق جيوفيزيائية جذبية حيث أن الفالق يضرب الطية في جناحها الشمال الشرقي.

تحليل فوريير الرياضي: Fourier analysis

اتجه البحث في هذا التحليل الى دراسة شكل الطية وتطوره في مناطق مختلفة من الطية ومن خلال المسارين (T1, T2) من المسارات الثلاثة المذكورة سابقاً. واستخدم تحليل فوريير الذي أظهر أن شكل الطية، الذي هو مقياس لتطورها، واطناً في منطقتي الغاطسين وعالياً في وسط الطية وهذا ينسجم مع توزيع شدة الطية. أي أن المسار الثاني يعكس أعلى تطور لاسيما جناحها الجنوبي الغربي الذي يمثل الميل الأكبر والتطور الأعلى. كما وظهر الجناح الجنوبي الغربي للمسار الثالث أقل تطوراً من مكافئه في المسار الثاني الذي يكشف فيه تكوين فتحة كدليل على عملية الرفع التكتوني العالية. ويعتقد الباحث أن ظهور هذا الجناح بهذا التطور العالي سببه تأثير الفالق ألمضربي (فالق شيخ خالق) الذي أثر على الطية بأسلوب الانضغاط المستعرض (Transpression) وأدى إلى تطور الطية في الجناح الشمالي الشرقي بدرجة أكبر من مكافئه.

تراكيب التكسر الهش (الفوالق): Brittle Failure Structures (Faults)

كشفت الدراسة الحالية في طيه مندان أيضاً عن وجود ثلاث فوالق مضربيه اثنان يسارية والأخر يميني. فالق برده رش وهو فالق مضربي يساري الحركة وفالق شيخ خالق المضربي اليميني الحركة. ويُعتقد أنه يرتبط من حيث المنشأ مع فالق برده رش ويشكلان نظام قصي وهو مطابق لنظام الفواصل (hko-a) وأن محور الإجهاد الأعظم (δ_1) يتطابق مع القوة القادمة من جهة الشمال الشرقي الناتجة عن التصادم القاري بين الطبقيين العربي والاوراسي. أما الفالق المضربي الثالث فهو فالق كوما زرد يساري الحركة والذي يمتد لمسافة كبيرة حتى يصل إلى مقربة من طية عين الصفرة باتجاه الجنوب وينعكس إلى مقربة من الجناح الشمالي الشرقي لطيّه مندان باتجاه شرق - شمال شرق ثم ينهي تقريبا عند نفس الجناح بمعنى أنه لا يقطع

الجناح المذكور. وإن حركة هذه الفوالق المضربية قد أدت إلى تغيير في اتجاه مضرب محور الطية من اتجاه الجنوب الشرقي (110°) في المسار الثالث قرب منطقة الغطس إلى الشمال الغربي (286°) في المسار الثاني وهذا طبيعي لقرب المسار الثاني من المسار الأول الواقع في منطقة النهاية الشمالية الغربية للطية مع وجود انحراف أكثر لاتجاه المحور باتجاه الغرب وهذا يعلل تأثر منطقة المسار الثاني لوجود فالق شيخ خالق المضربي اليميني، ثم يعود لينحرف باتجاه الشمال أكثر (319°) في المسار الأول وهذا سببه فالق برده رش المضربي اليساري.

المصادر العربية

- العبادي، علاء نبيل ٢٠١٢. مورفوتكتونية الصدوع المضربية في نطاق الفورلانند - العراق. أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل. ١٤٢ صفحة.
- العزاوي، نبيل قادر ٢٠٠٣. التطور التركيبي لشكل طيات نطاق الفورلانند في العراق ومدلولاته التكتونية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل. ١٤٢ صفحة.
- العزاوي، نبيل قادر ١٩٨٢. دراسة مقارنة في الطراز التكتوني للطيات لثلاث مناطق في قطاع الطيات البسيطة في العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل.
- العبيدي، مهند حمدون ٢٠١١. العمليات الجيومورفولوجية وانعكاساتها على المظهر الأرضي في منطقة برده رش شمال العراق. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التربية، جامعة الموصل، ١٠٩ صفحة.

المصادر الاجنبية

- Al-Azzawi, N. K., and Al-Khatony, S. E., 2010. The Structural Analysis and Tectonic Interpretations of Shaikan Anticline-Northern Iraq, Iraqi Jour. of Earth Science, Vol. 10, No. 1, pp. 31 - 52.
- Al-Daghstani, H. S., Daood, M. T. 2005. Correlation Between Seismic Activity and Tectonic Elements in Nineveh Governorate, Iraqi Jour. Earth Science, Vol. 5, No. 2, pp. 1 - 8.
- Al-Kadimi, J. A. M.; Sissakian, V. K.; Fattah, A. S. and Deikran, D. B., 1996. Tectonic Map of Iraq, Scale 1:1000000, 2nd edition, GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Bellen Van, R. C.; Dunnington, H. V.; Wetzel, R. and Morton, D. M. 1959. Lexique stratigraphique International. Fascicule 10a Iraq, pp. 1 - 333.
- Bolton, C. M. 1958. Geological Map-Kurdistan Series, Sheet 4 Rania Site Investigation, Co. No. 276, NIMCO.

- Buday, T., and Jassim, S. Z., 1987. The Regional Geology of Iraq, Vol. 2, Tectonism, Magmatism, and Metamorphism, Directorate of Geological Survey and Mineral Investigation, Baghdad, 352 p.
- Busk, H. G., 1929. Earth Flexures: Their Geometry and Their Representation and Analysis in Geological Section with Special Reference to the Problem of Oil Finding. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fleuty M.J, 1964 The Description of Folds, Proc. Geol Ass London, Vol. 75, p. 470 - 488.
- Geosurv, 1997. Geological Map of Arbeel and Mahabad Quadrangles. State Establishment of Geological Survey and Mining. National library Deposit No. (237/1997) Baghdad, Iraq. Sheets NJ-38-14 and NJ-38-15.
- Headings, J., 1963. Mathematical Methods in Science and Engineering, Arnold, London, 628 p.
- Hudleston, P. J., 1973a. Fold Morphology and Some Geometrical Implications of Theories of Fold Development. Tectonophysics, Vol. 16, pp. 1 - 46.
- Jassim, S. Z., and Goff J.C. 2006. Geology of Iraq. Published by Dolin, parghe and Musem, Brno Czech Republic, 2006. 337 p.
- Jassim, S. Z. and Karim, S., 1984. Final Report on Regional Geology Survey of Iraq. Vol. 4, Paleogeography. SOC. Baghdad.
- Kearey , P., Klepeis, K.A. j Vine , F.J . 2009. Global Tectonics . John Wiley and Sons., Publications UK. 482 p.
- Kreyszig, E., 1967. Advanced Engineering Mathematics, Wiley, New York, 2nd ed . 898 p.
- Numan, N. M. S. 1997. A Plate Tectonic Scenario for the Phanerozoic Succession in Iraq. Journal of Geology Sociality. Iraq, Vol. 30 No.2.
- Numan, N. M. S., and Al-Azzawi, N. K., 1993. Structural and Geotectonic Interpretation of Vergence Directions of Anticlines in the Foreland Fold of Iraq. Abhath Al - Yarmouk ("Pure Science and Engineering", Yarmouk University, Jordan), pp. 57 - 73.
- Ramsay, J. G., and Huber, M. I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology: Vol. 2, Folds and Fractures, Academic Press, London, UK, 700 p.
- Rickard, M. J., 1971. A Classification Diagram for Fold Orientation; Geol., Vol .198. pp. 22 - 26
- Roberts, J. L., 1982. Introduction to Geological Maps and Structures, New York, 332 p.
- Stabler, C. L., 1968. Simplified Fourier Analysis of Fold Shape, Tectonophysics, Vol. 6, No. 4, pp. 343 - 350.