



## مقارنة شكل الطي بين صخور عصري الكريتاسي والتيرشيري في طية جياكارا المحدبة شمال شرقي العراق باستخدام تحليل فورير الرياضي

صدام عيسى الخاتوني<sup>1\*</sup>، نوال محمد علي ال عبدالله<sup>2</sup>، محمود عبد الحق الصميدعي<sup>3</sup>

<sup>1</sup>،<sup>3</sup> قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

<sup>2</sup> المديرية العامة لتربية نينوى، الموصل، العراق.

### الملخص

تم تحليل ومقارنة طراز الطي في طية جياكارا المحدبة والتي تقع ضمن نطاق الطيات العالية في العراق التابع لحزام طيات وفوالق الزحف الزاكروسي بين صخور عصر الكريتاسي المتأخر المتمثل بـ (تكوين بخمة) وصخور عصر الباليوجين المتمثلة بـ (تكوين بلاسبي) باستخدام التحليلات التوافقية بأسلوب (تحليل فورير الرياضي). أظهرت الدراسة ان هناك اختلافات عمودية مع العمر وجانبية على المسارين المحددين في طراز الطي بين التكوينين بالرغم من التشابه الموجود في نوع الصخور والصلادة، مما يدل على تأثير الطية وتغير طرازها (شكل الطية) وظهر متطورا بشكل أكبر في تكوين بلاسبي بالمقارنة مع طراز الطية (شكلها) في تكوين بخمة. وهذا يشير إلى أن الطية قد تأثرت بشكل كبير بالفالق الليستري الدرزي والذي اثر بشكل كبير على تكوين بلاسبي مقارنة بتكوين بخمة وذلك بسبب إعادة التنشيط بحركة عكسية على ذلك الفالق أثناء وقت التصادم القاري بين الصفحتين العربية والأوراسية.

### معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 17- يوليو-2023

تاريخ المراجعة: 02- سبتمبر -2023

تاريخ القبول: 29- سبتمبر -2023

تاريخ النشر الالكتروني: 31- ديسمبر -2023

### الكلمات المفتاحية:

تكوين بخمة  
تكوين بلاسبي  
تحليل فورير  
العصر الكريتاسي  
الباليوجين

### المراسلة:

الاسم: صدام عيسى الخاتوني

Email: [saddammostafa@uomosul.edu.iq](mailto:saddammostafa@uomosul.edu.iq)

# Comparison of the Fold Shape Between Rocks of The Cretaceous and Tertiary Periods in The Chia Gara Anticline in Northeastern Iraq by Using Fourier Mathematical Analysis

Saddam Essa Al-khatony<sup>1\*</sup> , Nawal Mohammed Ali Al-Abdullah<sup>2</sup> , Mahmood Abdulhaq Alsumaidai<sup>3</sup> 

<sup>1,3</sup>Department of Geology, College of Science, University of Mosul, Mosul, Iraq.

<sup>2</sup> General Directorate of Nineveh Education.

## Article information

**Received:** 17- Jul -2023

**Revised:** 02- Sep -2023

**Accepted:** 29- Sep -2023

**Available online:** 31- Dec – 2023

### Keywords:

Bekhme Fn.

Pila Spi Fn.

Fourier analysis

Late Cretaceous

Paleogene

### Correspondence:

**Name:** Saddam Essa Al-khatony

**Email:** [saddammostafa@uomosul.edu.iq](mailto:saddammostafa@uomosul.edu.iq)

## ABSTRACT

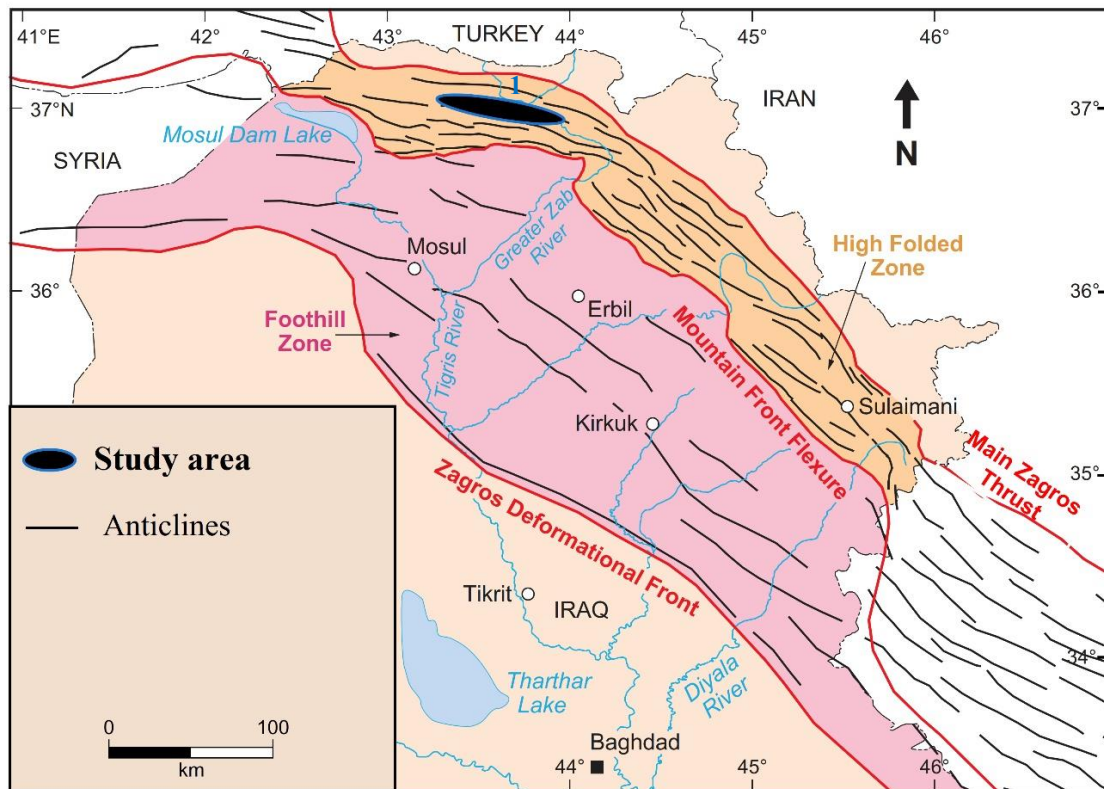
Analysis and comparison of fold style in the Chia Gara anticline, which is located in the high folded zone of Iraq have been done between the rocks of the Late Cretaceous (Bekhme Formation) and rocks of the Paleogene (Pila-Spi Formation) using the harmonic analysis of Fourier's mathematical method. The study on two traverse shows a difference vertically and laterally in the fold style between the two formations despite the similarity existing in the lithology and competence. This reveals that the fold being affected and changed its style in the Pila Spi Formation larger than the shape in the Bekhme Formation. This indicates that the fold was greatly affected by listric fault on the Pila Spi Formation than Bekhme Formation due to reactivation of the reverse movement on that fault during the time of collision (continental-continental) between Arabian and Eurasian plates.

DOI: [10.33899/earth.2023.141529.1113](https://doi.org/10.33899/earth.2023.141529.1113), ©Authors, 2023, College of Science, University of Mosul.

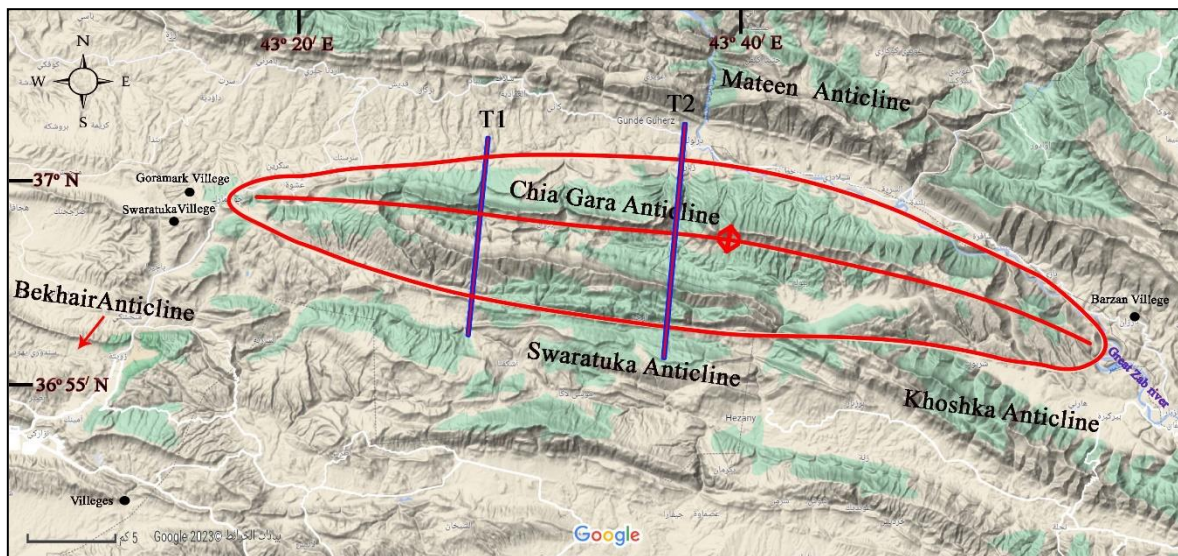
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## المقدمة

تتناول الدراسة الحالية طية جياكارا المحدبة الواقعة شمالي العراق، شمال شرقي مدينة دهوك على بعد 36 كم، وتمتد باتجاه (شرق شمال شرق - غرب جنوب غرب) تقريبا، وبهذا فهي تتبع سلسلة جبال طوروس في تركيا من حيث الاتجاه. وتحد الطية من الشمال طية متين وتفصل بينهما طية مقعرة واسعة تملؤها ترسبات تكوين انجانة، ومن الجنوب والجنوب الشرقي تحدها طيتا سواراتوكا وخوشكا على التوالي بعلاقة انشلولونية يمينية، اما من الجهة الجنوبية الغربية فتحدها طية بيخير المحدبة بعلاقة انشلولونية يسارية. ويصل طول طية جياكارا المحوري قرابة 66 كم، واقصى عرض لها يبلغ 12 كم مقاسا من المرئيات الفضائية الحديثة. جغرافيا، تتحصر الطية المدروسة بين خطي طول (043° 02' 00" و 56' 00" شرقاً) وخطي عرض (36° 56' 00" و 37° 03' 00" شمالاً) (شكل 1). كما تعد طية جياكارا طية محدبة غير متماثلة تتكئ باتجاه الشمال الشرقي تقريبا وتعد ثنائية الغطس اذ ينتهي الغاطس الغربي عند قرية سواراتوكا، اما الغاطس الشرقي فينتهي قرب نهر الزاب الكبير (شكل 2).



شكل 1. خارطة تركيبية للجزء الشمالي من حزام الأوروغيني الزاكروسي توضح الاتجاه العام للطيات بالإضافة إلى تقسيمات حزام زاكروس. ومبينا عليها موقع منطقة الدراسة (طية جياكارا) المحدبة، عن (Zebari and Burberry, 2015) من الناحية التكتونية، تعد طية جياكارا واحدة من الطيات الكبيرة التي تقع ضمن نطاق الطيات العالية التابع لنطاق طيات وزحف زاكروس الغربي في جزئه العراقي. وهذا النطاق يقع ضمن حزام الأوروغيني الزاكروسي ( Zagros fold ) (thrust belt ZFTB Numan, 1997; Jassim and Goff, 2006; Fouad, 2015; Zebari and Burberry, ) (2015) (شكل 1).



شكل 2. مرئية فضائية لطية جياكارا المحدبة موضح عليها مواقع المسارات المختارة من (Google Earth 2023).

### اهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة الى تحليل شكل الطية (لطية جياكارا) المحدبة ومتابعة تطورها التكتوني عموديا عبر الزمن. وذلك من خلال استخدام الأسلوب الرياضي المسمى (تحليل فوريير الرياضي Fourier Analysis) او التحليل التناغمي (Harmonic Analysis) وهذا الاسلوب الرياضي يستعمل لتحليل تغيرات المنحنى وتحديد شكله بواسطة حساب معاملات خاصة تدعى بمعاملات فوريير (Fourier coefficients). ويعتمد تحليل فوريير على المعلومات المستنبطة من العناصر الهندسية للطية. وهذا الأسلوب الرياضي موضح بالتفصيل في (العزاوي، 2003).

يتم في هذا البحث تحليل شكل الطية بأسلوب فوريير الرياضي في كل من صخور عصري الكريتا سي الاعلى متمثلا بتكوين بخمة والبالوجين متمثلا بتكوين بلاسي في المسارين (1، 2). ومن ثم مقارنة شكل الطية بين صخور هذين العصرين واستقراء وضعها التكتوني. ومن الجدير بالذكر ان استخدام أسلوب فوريير الرياضي لتحليل شكل الطية عموديا مع العمر طرح لأول مرة في هذه الدراسة ضمن نطاق الطيات العالية في العراق.

### الدراسات السابقة لمنطقة الدراسة

خضعت منطقة الدراسة لبعض الدراسات التكتونية والتركييبية منها دراسة كل من عبدالله (2011) و (Aljumaily and Abdullah, 2019) اذ تضمنت كلتا الدراستين تحليل الطراز التركيبي للطية ومدى تغيراتها الجانبية والعمودية وأنماط الكسور ومحاور الاجهاد الرئيس المسبب لهذه الكسور، والتفسير الهندسي والديناميكي للطية والكسور الموجودة فيها. واقترح في كلتا الدراستين وجود فوالق لستيرية تحت الطية مؤثرة في تكوين الطية وأن تراكيب التكرس الهش الموجودة في الطية قد تكونت بنفس الإجهادات التي كونت الطية. فضلا عن إيجاد شكل الطية بتحليل فوريير لتكوين بلاسي فقط. إضافة إلى ما تقدم به (Doshi, 2019) في دراسته التحليل التكتوني للمظاهر الخطية في طية جياكارا من خلال استخدام المرئيات الفضائية، الذي استنتج ان معظم الخطيات ذات أصل تكتوني ومن المحتمل انها قد تطورت اثناء نمو الطية بسبب الضغط الإقليمي باتجاه (N-S) في المايوسين الأوسط. في حين ذكر (Sissakian et al., 2020) في دراستهم لتحديد الأصل التكتوني لطيتي متين وجياكارا من خلال استخدام الاشكال الجيومورفولوجية والتركييبية وجود نمو جانبي لكلتا الطيتين.

كما وقد تطرق كل من (Ameen, 1979) و (العزاوي، 2003) الى طية جياكارا عند دراستهم لطيات أخرى مجاورة وذكروا بأن لها علاقةً بهذه الطية بشكل او بآخر. فذكر (Ameen, 1979) ان انحناء جياكارا هو من ضمن الانحناءات الالبية العظيمة (Alpine Geoflexures) الخمسة التي استنتجها وهي (بيخير، جياكارا، سفين، درينديزيان وبيره مكرون)، أما تأثرها بفوالق لستيرية مختلفة الاتكاء فقد ذكرها (العزاوي، 2003) عند دراسته لطيات شمال العراق.

### جيولوجية منطقة البحث

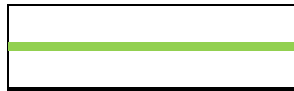
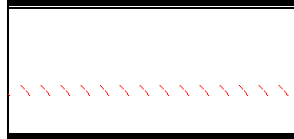
إن التكوينات الجيولوجية المنكشفة في منطقة البحث تمتد اعمارها من (الترياسي المتأخر الى المايوسين المتأخر)، وان حدودها الطباقية التوافقية وغير التوافقية هي كما جاءت في (Bellen et al., 1959; Jassim and Goff, 2006). اما عن سمك التكوينات في منطقة الدراسة فهي كما ذكرت في (عبدالله، 2011) وكما موضحة في الجدول (1) والخارطة الجيولوجية (شكل 3). ومن الجدير بالذكر بان تكويني كولوش وشرانش تنتشر مكاشفهما في منطقة الغاطس الغربي وكذلك

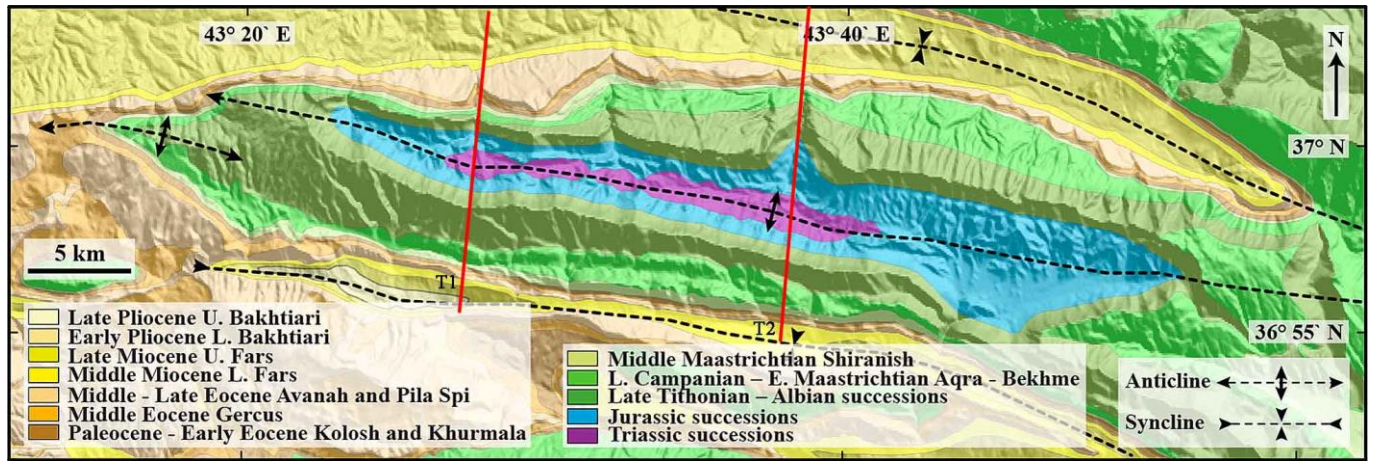
بامتداد محدود نحو الجناح الجنوبي للطية وذلك يعود للوضع التكتوني اذ انهما ترسبا في نطاق خلف البروز backbulge depozone التابع لنظام حوض فورلاند زاكروس خلال الكريتاسي المتأخر والبايوسين المبكر (Znad and Al-Jumaily, 2019 و (Znad et al.,2020)

جدول 1: يوضح التكوينات المنكشفة في منطقة البحث (طية جياكارا) المحدبة مع اعمارها وبيئة ترسيبها.

الصخرية	العمر Age (متر)	التكوين Formation
صخور رملية وصخور طينية مع وجود المارل والسجيل.		انجانة Injana
يتألف من المارل والسجيل وتتخلله طبقات من الصخور الجيرية المارلية وصخور اخرى طينية	-212 497	فتحة Fat'ha
يتألف جزئه الاسفل من طبقات من صخور جيرية سميكة وصلدة ومتدلثة احيانا. أما الجزء العلوي من التكوين هو عبارة عن صخور جيرية طباشيرية (Chalky Limestone).	-318 565	بلاسيبي Pila Spi
يتألف من السجيل الارجواني والاحمر، ومارل رملي، وحصوي، وصخور رملية حصوية ومدملكات مع عدسات الجبسوم	-320 546	جركس Gercus
يتألف من صخور طينية وصخور مارلية وغرين ورمال		كولوش Kolosh
طبقات نحيفة من الصخور الجيرية الطينية والمارل المزرق، ويضم صخور الأنهايديريت والكلوكونايت وأحيانا طبقات من الصخور الرملية وطبقات نحيفة من المدملكات	202	شرانيش Shiranish
يتألف من صخور دولوميتية ثانوية تحل محل الصخور الجيرية العضوية ويحتوي ايضا على المدملكات القاعدية في الجزء الاسفل.	---	بخمة Bekhme
يتألف من الصخور الجيرية السميكة وغالبا ما تكون متدلثة،	362	قمجوقة Qamchuqa
يتألف من المارل المزرق والمارل البني بالتناوب مع طبقات من الصخور الجيرية الطينية	20	سارمورد Sarmord
صخور جيرية اوليتية ورملية ((Oolitic Sandy Limestone في جزئه العلوي والسفلي مع وجود صخور جيرية عضوية فتاتية (Detrital Organic Limestone) في وسط التكوين	--	گراگو Garagu
طبقات نحيفة من الصخور الجيرية مع وجود السجيل الكلسي (Calcareous shale) ويحتوي على طبقات من الصخور الطينية أيضاً مع وجود المارل والسجيل في الجزء العلوي	25	جياكارا Chia Gara
جيرية وجيرية دولوميتية وسجيل مع وجود طبقات طينية	20	بارسرين Barsarin
الجزء السفلي صخور جيرية قيرية متطبقة تتخللها اطيان ومتناوبة مع السجيل القيري. الجزء الوسطي صخور جيرية دولوميتية متطبقة وغنية بالمتحجرات. الجزء العلوي صخور جيرية وطبقات نحيفة دولوميتية قيرية مع وجود طبقات من السجيل الاسود	20	ناوكليكان Naokelekan
صخور جيرية دولوميتية سوداء، مع صخور دولوميتية قيرية. واحياناً تتخلله صخور جيرية عضوية	62	سكانيان Sehkaniyan

تعاقب من حجر جيرى دولوميتي وطباشيري متناوب مع السجيل الكريتاسي وأحيانا سجيل ومارك	60	الجوراسي المتوسط _المبكر	Sarki ساركي
تتابع من السجيل الرصاصي والمخضر مع احتوائه على طبقات من الصخور الجيرية الاولييتية (Oolitic Limestone) ودولومايت وقطع البريشيا المعاد التبلور	67	الجوراسي المبكر	Zewa زيوا
تعاقب من طبقات الحجر الجيري المدلمت مع طبقات من السجيل الصفائحي وقطع البريشيا معادة التبلور والمتبخرات	----	الترياسي المتاخر	قره جين Kurra Chine

	توافق (Conformity)
	عدم توافق (Unconformity)



شكل 3. خارطة جيولوجية لطيبة جياكارا المحدبة عن (Doski, 2019) موضح عليها مسارات الدراسة الحالية.

### طريقة العمل

وظفت البيانات والمعلومات الذي استخدمت في هذه الدراسة والمقاسة من العمل الحقل في طيبة جياكارا المحدبة بالإضافة الى البيانات التي جمعت من دراسات سابقة منها (عبدالله، 2011) في تحليل شكل الطي وذلك من خلال معاملات أدخلت في دالة رياضية وهذه المعاملات سميت بمعاملات فورير الرياضية (التحليل التناغمي) والذي استخدمه (العزاوي، 2003) في تحليل شكل الطية رياضيا عند دراسته لطيات نطاق الفورلانند، وحذا حذوه في ذلك كل من (الحبيطي، 2008؛ الخاتوني، 2009، 2019؛ الصميدعي، 2010، 2020 وعبدالله، 2011) في دراساتهم لمناطق متفرقة لاستنتاج الطراز التكتوني الذي ادى الى تكوين وتطور شكل الطيات.

استخدمت مستويات التطبيق لرسم المقطع التركيبي (Structural profile) بطريقة بصك وكما وردت في (Busk, 1987 in Ramsay and Huber, 1929)، بعد تحديد حدود التماس بين التكوينات الجيولوجية وتثبيت زاوية ميل لكل التكاوين عند حد التماس (جدول 1). وقد تم اعتماد السطح العلوي لتكويني بلاسبي (عصر الباليوجين) وبخمة (العصر الكريتاسي) لتمثيل شكل الطية في المسارين المختارين (1و2) وذلك كون هذين التكوينين يعدان من التكوينات ذات الصخور الصلدة (Competent Rocks) والتي لها القابلية على التشوه بأسلوب الطي الموازي (Parallel folding)،

مقارنة شكل الطي بين صخور عصري الكريتاسي والتيرشيري في طية جياكارا المحدبة شمال شرقي العراق باستخدام تحليل فورير الرياضي

وقد حافظت على سمكها أثناء الطي، اما التكوينات الاخرى فهي هشة ولا يمكن تطبيق هذه الطريقة في الصخور الهشة (Ramsay and Huber, 1987).

جدول 2: يوضح قياسات الميل لكلا الجناحين وعلى المسارين المحددين لتكويني بخمة (الكريتاسي المتأخر) وبلاسي (الباليوجين)

المسار	التكوين	معدل ميل الجناح الشمال الشرقي	معدل ميل الجناح الجنوب الغربي
الاول	بخمة	35	34
	بلاسي	31	36
الثاني	بخمة	68	47
	بلاسي	74	52

### تحليل فورير لإيجاد شكل الطية:

بعد رسم المقطع التركيبي لطي جياكارا في المسارين المختارين تم تحليل شكلها الخارجي رياضياً بالأسلوب التناغمي (Harmonic analysis) أو أسلوب فورير (Fourier analysis) وان الخطوات المتبعة في تحليل فورير وبحسب ما ذكر في (العزاوي 2003) و (Al-Azzawi and Numan, 2019) عن (Ramsay and Huber, 1987) تتلخص باختصار بما يأتي:

ان إيجاد شكل الطي مبني على تحليل ربع الطول الموجي لمقطع الطية، إذ يقسم نصف الطول الموجي الى قسمين ، كل منهما يمثل ربع طول الموجة (اي جناح الطية) وذلك بتصنيف الزاوية الداخلية بين المماسين المقامين على مقطع الطية (مماس لكل من جناحي الطية) من نقطة الانقلاب أو الانكشاف. علماً ان الفرق بين نقطتي الانقلاب والانكشاف لا يتجاوز (1%) (Stowe, 1988). ويُدرّج المقطع حتى يصبح المحور العمودي له بموازاة منصف الزاوية بين المماسين المقامين. وتقسم قاعدة ربع الطول الموجي الظاهري (Apparent Quarter Wavelength) (AQW) بعد التدوير الى ثلاثة اقسام متساوية بوساطة أعمدة موازية لمنصف الزاوية بين المماسين. وبعد قياس أطوال تلك الأعمدة الثلاثة ( $Y_1, Y_2, Y_3$ ) من المقطع التركيبي (العزاوي، 2003) و (Al-Azzawi and Numan, 2019)، يتم تحويلها الى قيم ستابلر القياسية (Stabler, 1968) للتخلص من تأثير مقياس الرسم (Ramsay and Huber, 1987) وتطبيق المعادلة القياسية:

$$\pi Y_i = (y_i^*) / (2 * AQW)$$

حيث ان  $Y_i$  تمثل قيم محاور ستابلر القياسية،  $AQW$  هي قاعدة ربع الطول الموجي، وبعدها يتم حساب معاملات فورير ( $b_1, b_3, b_5$ ) من قيم ستابلر القياسية بالمعادلات الآتية التي وضعها ستابلر (Stabler, 1968).

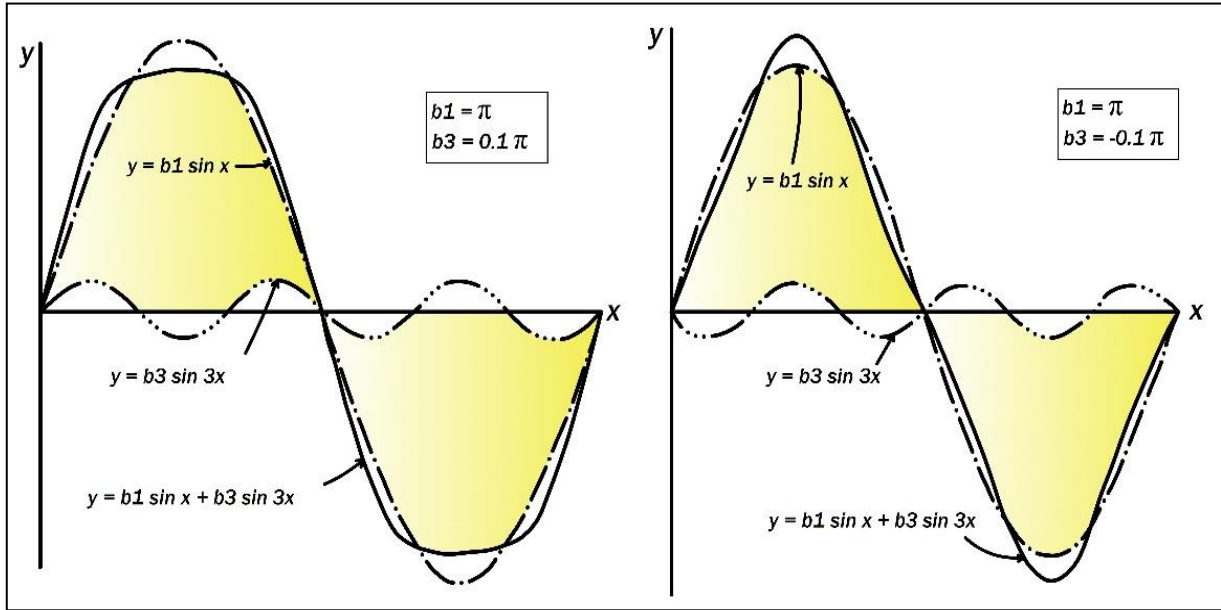
$$b_1 = (Y_1 + \sqrt{3}Y_2 + Y_3)/3$$

$$b_3 = (2Y_1 - Y_3)/3$$

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

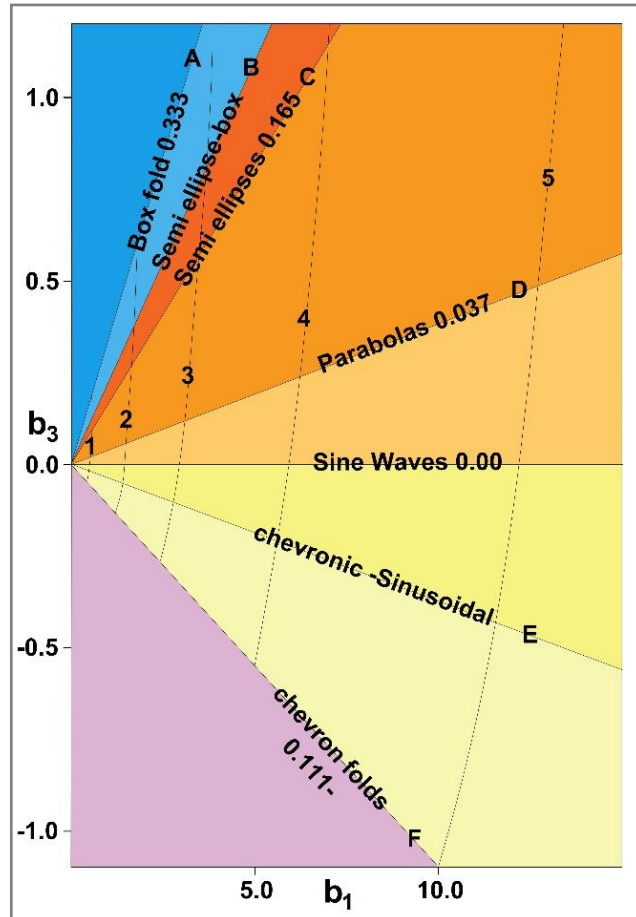
إن للمعاملين  $b_1, b_3$  تأثيراً كبيراً على الشكل العام لسعة الطية، فقيمة  $b_3$  الموجبة ترفع المنحنى عند الاجنحة فتقلل من قيمة  $b_1$  مؤدية بذلك الى توسيع منطقة المفصل، وفي هذه الحالة تميل الطية الى الشكل الصندوقي. بينما القيمة

السالبة للمعامل  $b_3$  تعمل على خفض المنحنى عند الاجنحة فتضيق منطقة المفصل وايضا زيادة في استقامة اجنحتها، وبالتالي تميل الطية لأن تكون شيفرونية (Ramsay and Huber, 1987) (شكل 4).



شكل 4. تأثير المعاملين  $(b_1, b_3)$  على شكل الطية. عن (Ramsay and Huber, 1987).

وبما أن قيمة  $b_5$  قليلة التأثير في تغيير شكل الطي، اقتصر مخطط (Hudleston, 1973a) البياني لتصنيف شكل الطية على المعاملين  $b_1$  و  $b_3$  فقط. إذ يمثل المعامل  $b_1$  المحور السيني ويمثل  $b_3$  المحور الصادي وتسمى اشكال الطي في هذا المخطط بالاعتماد على القيمة النسبية لـ  $(b_3/b_1)$ . والقيم النسبية الآتية (0.165, 0.037, 0.000, -0.111, 0.333) لها الأشكال الآتية (شيفرونية، جيبية، قطع مكافئ، شبه اهليجية، صندوقية) على التوالي كما في الشكل (5).

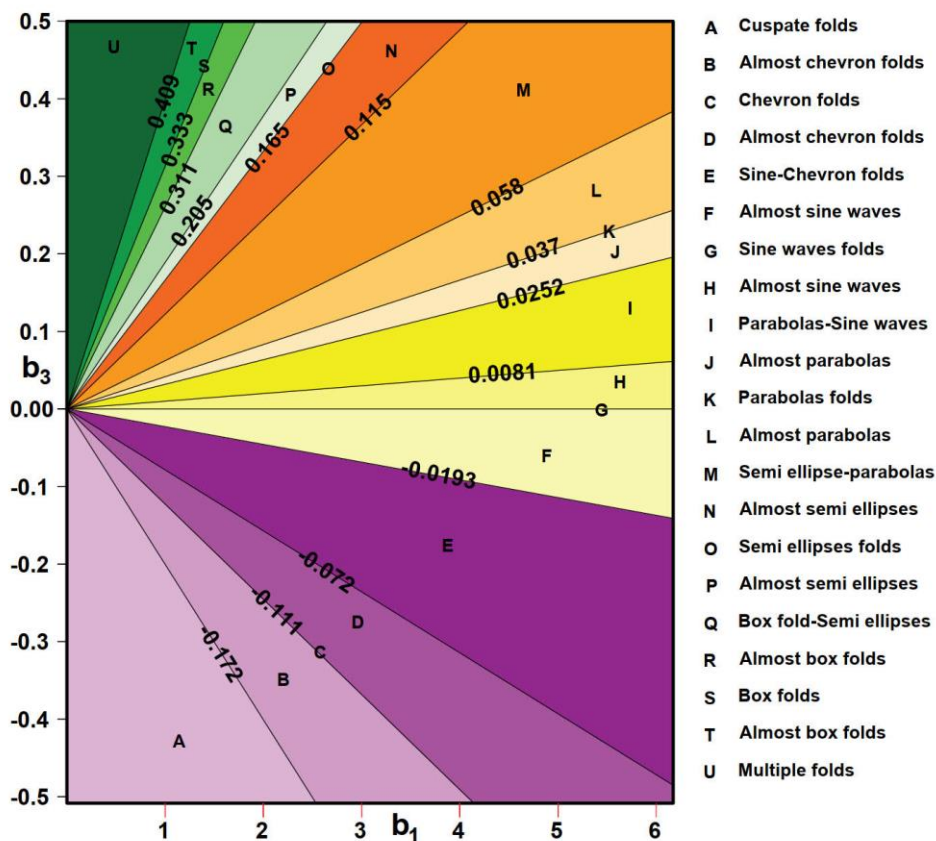


شكل 5. يمثل مخطط (Hudleston, 1973a) لأشكال الطي باستخدام معاملات فورير.



أما التصنيف الأحدث والأكثر تفصيلاً فهو تصنيف (Singh and Gairola, 1992). وقد تطور هذا التصنيف من الذي وضعه (Hudleston, 1973a)، فقد قسم الأنواع المذكورة في المخطط القديم الى (21) نوعاً. بحيث ان كل نوع يمثل شكلاً من أشكال الطية (شكل 6). أن دقة هذا التصنيف أعطته القدرة على تصنيف وتحديد شكل الطية بشكل دقيق، فإن أي تغير بسيط في منحنى الطية سوف يغير تسمية شكل الطية المدروسة.

كما أن طريقة التمثيل البيانية لمعاملات ونسب فورير في هذا التصنيف مشابهة تماماً للذي صممه (Hudleston, 1973a). وقد ارتأت الدراسة الحالية استخدام تصنيف هدلستون لأنه يعطي الشكل العام وهذا يكفي حسب مقياس الطية المدروسة.



شكل 6. التمثيل البياني لأنواع شكل الطية اعتماداً على معاملات فورير عن (Singh and Gairola, 1992).

### النتائج والمناقشة

يهدف تحليل فورير إلى إيجاد شكل الطي (Ramsay and Huber, 1987). ومن خلال مقارنة شكل الطي للتكوينات المنطوية في طية جياكارا المحدبة سيتبين لنا اختلاف بعمر الطي في التكوينات ومن الأقدم وإلى الأحدث والمتمثلة في هذه الدراسة بتكويني بخمة (الكريتاسي الاعلى) وبلاسي (بالوجين)، وضمن المسارين المحددين الأول والثاني على طول محور الطية، ومن ثم محاولة تفسير التباين في النتائج.

## نتائج تحليل فورير:

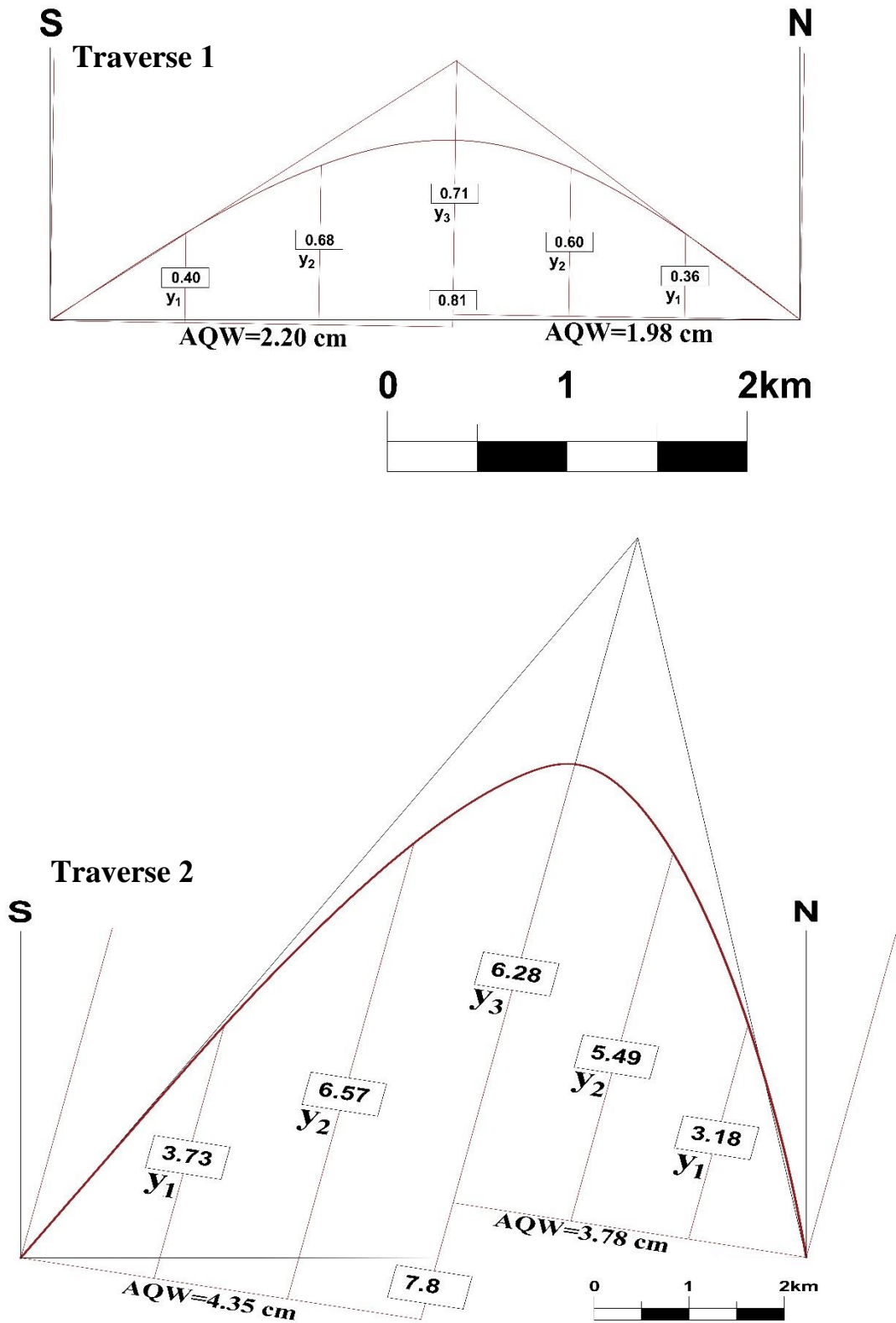
تم حساب معاملات فورير الرياضية المتمثلة بـ  $(b_1, b_3, b_5)$  ونسبها  $(b_3/b_1)$  وشكل الطي حسب وقوعها في مخطط (Hudleston,1973a) في كل من جناحي طية جياكارا المحدبة في المسارين (1، 2). لكل من تكويني بخمة وبلاسيبي اللذين يمتلكان صخوراً صلدة قابلة للانطواء بالطي المتوازي. يوضح الجدولان (3، 4) أطوال ربع الطول الموجي (AQW) ومحاور ستابلر القياسية  $(Y_1, Y_2, Y_3)$  وقيم معاملات فورير  $(b_1, b_3, b_5)$  ونسبها  $(b_3/b_1)$  وشكل الطي حسب وقوعها في مخطط (Hudleston,1973a) في كل من جناحي طية جياكارا المحدبة في المسارين المختارين، وكما هو مبين في الشكلين (7، 8).

الجدول 3: يوضح قيم نسبة فورير وتصنيف شكل الطي حسب (Hudleston,1973a) في المسار الاول لطية جياكارا.

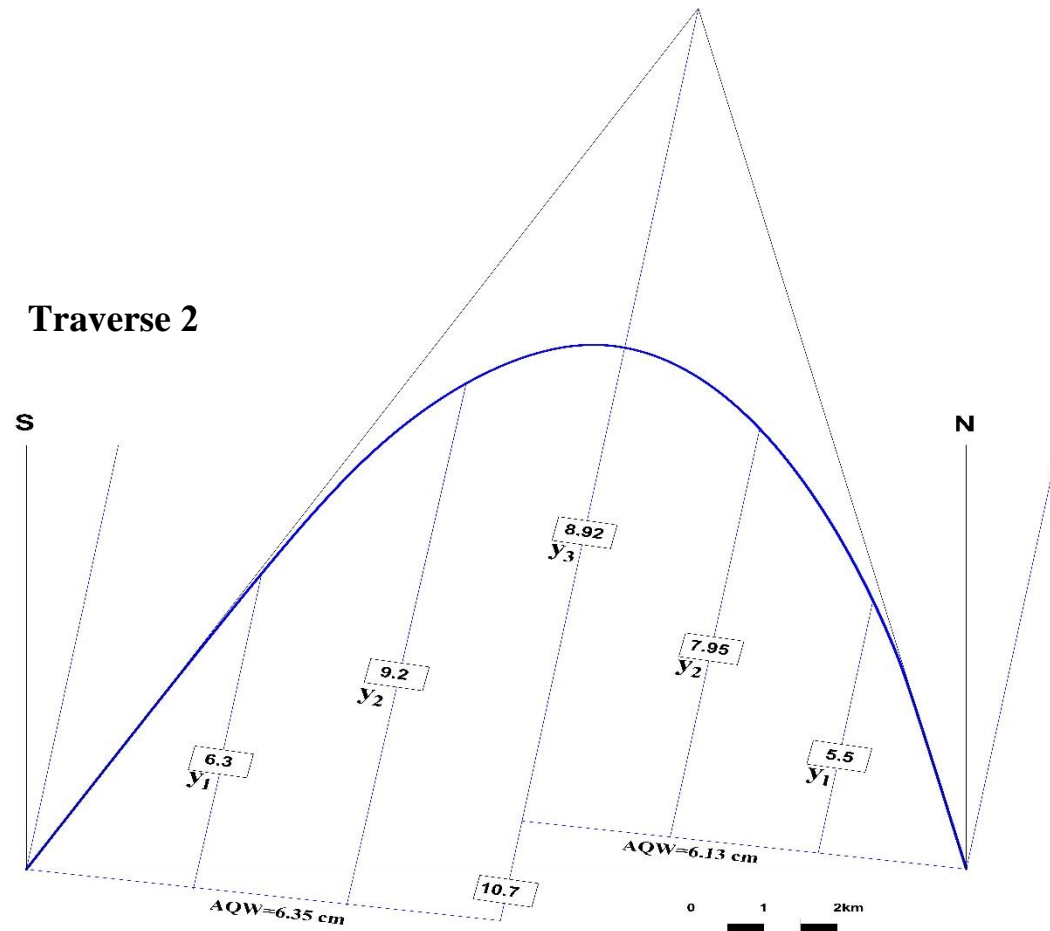
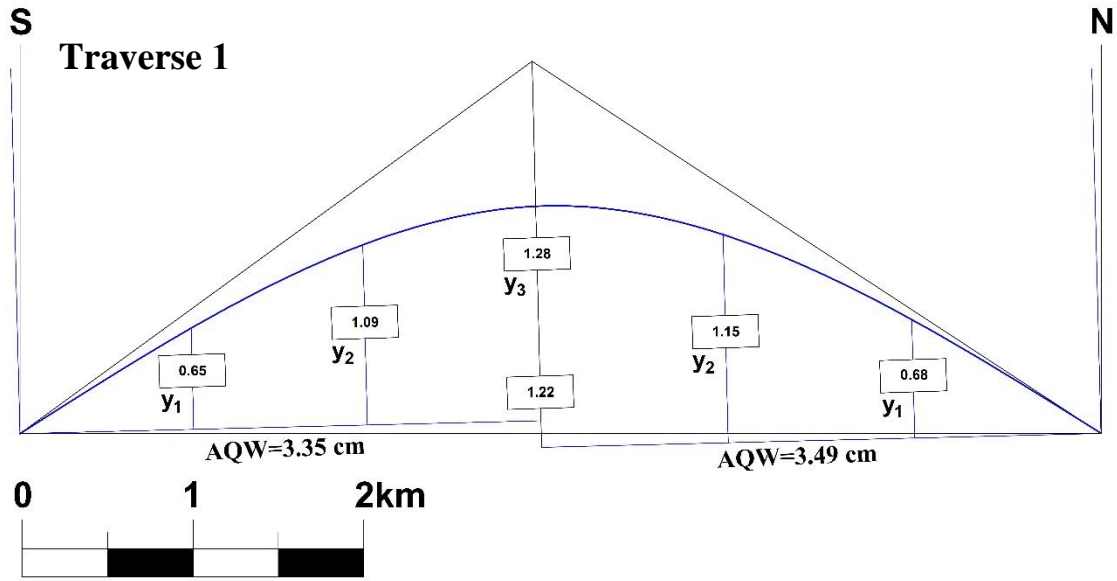
التكوين	الجناح	y1	y2	y3	AQW	Y1	Y2	Y3	b1	b3	b3/b1	نوع الطية
بلاسيبي	الشمالي	0.68	1.15	1.28	3.49	0.306	0.518	0.576	0.593	0.012	0.020	جيبية- قطع مكافئ
	الجنوبي	0.65	1.09	1.22	3.35	0.305	0.511	0.572	0.587	0.013	0.021	جيبية- قطع مكافئ
بخمة	الشمالي	0.36	0.6	0.71	1.98	0.286	0.476	0.563	0.558	0.003	0.005	جيبية
	الجنوبي	0.4	0.68	0.81	2.2	0.286	0.486	0.578	0.568	-0.002	-0.004	شفرونية - جيبية

الجدول 4: يوضح قيم نسبة فورير وتصنيف شكل الطي حسب (Hudleston,1973a) في المسار الثاني لطية جياكارا.

التكوين	الجناح	y1	y2	y3	AQW	Y1	Y2	Y3	b1	b3	b3/b1	نوع الطية
بلاسيبي	الشمالي	5.5	7.95	8.92	6.13	1.409	2.037	2.286	2.408	0.178	0.074	قطع مكافئ - اهليجية
	الجنوبي	6.3	9.2	10.7	6.35	1.558	2.276	2.647	2.716	0.157	0.058	قطع مكافئ - اهليجية
بخمة	الشمالي	3.18	5.49	6.28	3.78	1.321	2.281	2.610	2.628	0.011	0.004	جيبية
	الجنوبي	3.73	6.57	7.8	4.35	1.347	2.372	2.817	2.758	-0.041	-0.015	شفرونية - جيبية



شكل 7. البروفيل التركيبي لإيجاد معاملات فورير في تكوين بخمة على المسارين الأول والثاني.



شكل 8. البروفيل التركيبي لإيجاد معاملات فورير في تكوين بلاسي على المسارين الأول والثاني

وقبل الولوج في تفسير نتائج تحليل فورير الرياضي لشكل الطي لابد من التطرق قليلا الى ديناميكية الطي والتي تشير الى الآلية التي تشكلت بها الطية أو مجموع العمليات والحركات التكتونية التي ادت الى تشويه الصخور.

هناك نوعان رئيسان من الحركات التكتونية وهي: الحركات الشاقولية (Bending) والحركات الافقية (Buckling). وبناءً على هاتين الحركتين تقسم آلية الطي الفعال الى عمليتين رئيسيتين هما: الطي بالانثناء او ما يسمى

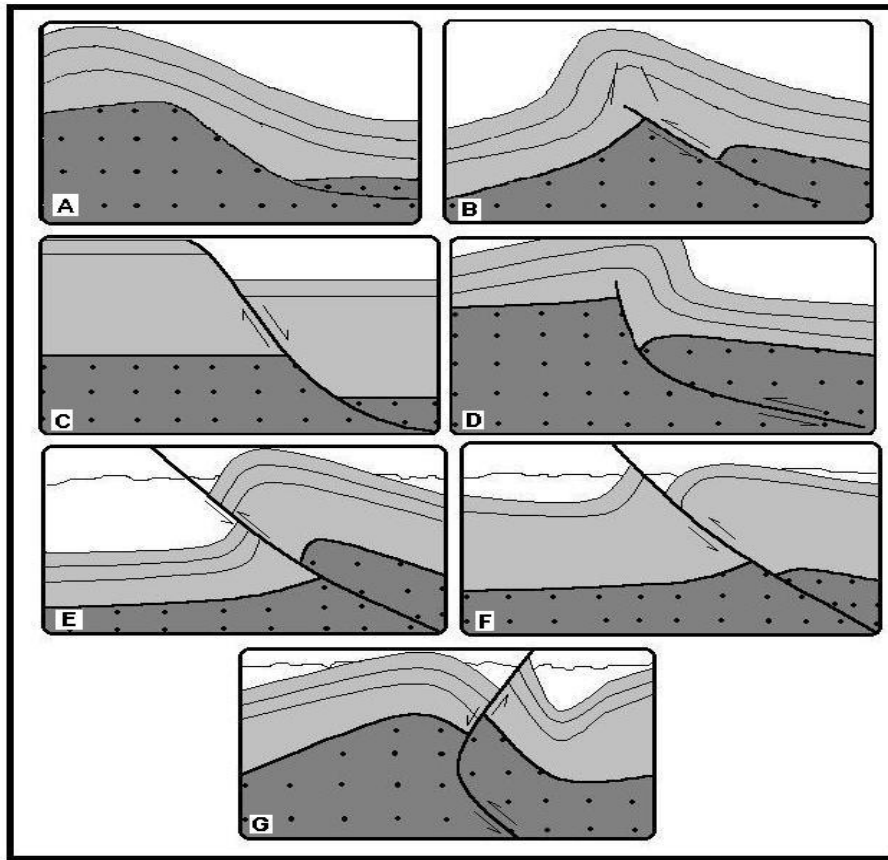
ميكانيكية السطح المحايد (Neutral-surface folding Mechanism)، والطي بالانزلاق أو ما يسمى بميكانيكية السطح الانزلاقي (Flexural-slip folding Mechanism). وان العديد من الباحثين حددوا آلية تكون الطيات مع الفوالق ومنهم (Summaruga,1997) وربطوا ذلك مع ميكانيكية الطي، فذكروا أن الطيات بالإمكان أن تتكون قبل تكون الفالق وذلك في آلية الانثناء (Buckling)، فعند زيادة القوى الأفقية المؤدية إلى الطي سوف يؤدي ذلك إلى تطور شكل الطية وزيادة ميل أحد جناحيها بإحداث فالق معكوس في ذلك الجناح (الأكثر ميلاً) وذلك لأن توزيع الاجهاد سيتطلب أحداث فالق معكوس في ذلك الجناح ليوافق استمرار النقل الحاصل فيه وبذلك تتكون طية من نوع (Fault intersect fold). والنوع الآخر من الطيات هي تلك الطيات المتكونة بتأثير الفوالق القديمة وهي تحصل في آلية الطي بالانزلاق لأن أسطح الضعف سوف تنزلق على بعضها وتؤدي إلى المساهمة في تكوين الطية. إذ أنه يمكن أن تتكون الطية في الحائط العلوي للفالق المعكوس حيث تتطوي الطبقات بسبب مرورها عبر هذا السطح فتتكون الطية من نوع (Fault-bend fold). أو ان يتزامن تكون الطية مع الفالق فتتكون طيات غير متناظرة يكون ميل أحد جناحيها أكبر من الآخر وتكون نهايات الفوالق تسبب تشوهاً في الطبقات الصخرية وتؤدي إلى طيها.

ولقد أصبحت آلية تكون الطيات في نطاق الفورلاند بتأثير الفوالق من المسلمات به في الجيولوجيا التركيبية، وان طيات نطاق الفورلاند هي من الطيات التي تتكون بعد إعادة الإزاحة على الفوالق اللستيرية كما أكد ذلك العديد من الباحثين عند دراستهم لانتطقة طيات وفوالق الفورلاند في الأحزمة الأروغينية التصادمية ومنهم (Sommaruga, 1997 and Kley et al.,1999) عند دراسته لنطاق الفورلاند لجبال الجورا، و (Glen and Backett,1997) في نطاق الفورلاند لحوض سدني- نيو ساوث ويلز و (Bastida et al.,1997) في نابي زيلير والجزء الشرقي من نطاق الفورلاند لجبال الأورال الجنوبية، وذكروا بأن وجود الطيات جنباً إلى جنب مع الفوالق في طية واحدة مثير للفتنة حول الأولوية لتكون أحدهما قبل الأخرى، وذلك لأن الطيات تمثل طور التشوه اللدن، بينما تمثل الفوالق طور التشوه الهش. ولذا اقترح الباحثون (في اعلاه) تكون الفوالق اللستيرية في مناطق الفورلاند بدايةً والتي قد تكونت في طور الاستطالة، وفيما بعد، في طور الانضغاط تشوهت الطبقات الصخرية بأسلوب لدن لتتكون الطيات مع إعادة الحركة على تلك الفوالق اللستيرية ولكن بشكل معكوس لإضفاء الشكل النهائي لتلك الطيات. أي أنها تكونت بديناميكية الطي الانزلاقي (Flexural-slip fold).

وبناءً على ما تم طرحه ومن خلال نتائج تحليل فورير الرياضي تبين ان شكل الطي لطيية جياكارا المحدبة عند تكوين بلاسبي (البالوجين) متطور أكثر من شكل الطي في تكوين بخمة (الكريتاسي العلوي) وذلك في كلا المسارين المحددين ولكن بدرجة أكبر في المسار الثاني الذي يتوسط الطية تقريباً. وهذا يفسر حدوث الطي الذي أدى إلى انثناء الطبقات بآلية الـ (Buckling) نتيجة الاجهادات الأفقية، ومع نمو الطية وازدياد انغلاقها وتطورها أدى إلى تطوير إجهادات إضافية وإعادة تنشيط الفالق بإزاحة معكوسة قاطعا للجناح الأمامي وذلك لأن توزيع الإجهادات على سطح الطبقة يستوجب ذلك. وأدى ذلك إلى تطور الطي بآلية الطي بالانزلاق على الفالق المعكوس درزي الاتكاء. وهذا ينسجم مع ما أشار إليه (رشيد، 2011). كما أشار المصدر نفسه انه في فترة ترسيب تكوينات (الكريتاسي الاعلى) كانت الحركة على هذا الفالق اعتياديةً، حائطه السفلي (تحت الجناح الشمالي للطية) بقي مرتفعاً فوق مستوى سطح البحر، وبذلك لم يحصل عليه ترسيب، فيما استمر الترسيب فوق الحائط المُعلّق للفالق والذي كان منخفضاً في تلك الفترة. وفي فترة الحركة

الانضغاطية انعكست الحركة على هذا الفالق إذ ارتفع الحائط المُعلّق نسبياً أعلى من الحائط القدمي مما أدى إلى ازدياد سمك بلاسبي والفتحة فوق الحائط القدمي (الجناح الشمالي للطية) مقارنة مع سمكها فوق الحائط المُعلّق للفاالق (الجناح الجنوبي للطية). هذا فضلاً عن تأثير الحركة العكسية لهذا الفالق على تغير اتجاه الاتكاء للطية نحو الشمال (درزي الاتكاء).

وبالنتيجة فإن تطور شكل الجناح الشمالي لتكوين بلاسبي أكثر من تكوين بخمة فهو وجود فالق لستيري في الجناح الشمالي أثر على تكوين بلاسبي بدرجة أكبر مما أدى إلى تطوّر شكل الطية وزيادة ميله في الجناح الشمالي وعدم تأثر أو تأثر بشكل غير ملحوظ تكوين بخمة بهذا الفالق، ويعتقد بأن الفالق اللستيري الذي أدى إلى ذلك يمثل أو قريب من النوع (B) في الأشكال المقترحة من قبل (Numan and Al-Azzawi, 1993) (الشكل 9).



شكل 9. الموديلات المقترحة لبعض الطيات الناتجة عن حركة الفوالق اللستيرية عن (Numan and Al-Azzawi, 1993).

وما يؤيد ذلك أيضاً هو تطور الجناح الشمالي لتكوين بلاسبي في المسار الثاني أكثر منه في المسار الأول أي أن ذروة تأثير الفالق كانت في منتصف الطية وتناقص تأثيره باتجاه الغاطس الغربي.

## الاستنتاجات

أن النتائج التي تم استحصالتها في هذه الدراسة من تطور طراز شكل الطية في تكويني بخمة (الكريتاسي الأعلى) والبلاسي (الايوسين الأوسط-الأعلى) للمسارين المحددين والمستعرضين على طول طية جياكارا، أن شكل الطية في تكوين بخمة يظهر أقل تطوراً من شكل الطية في تكوين بلاسي في المسارين، وهذا بالإضافة الى ظهور الطية في المسار الأول متماثلة تقريباً، بينما تظهر غير متماثلة بشكل كبير في المسار الثاني. هذه النتائج تسحبنا الى استنتاجين، وهذا ربما يعود إلى أحد من السببين او كلاهما:

الاستنتاج الأول: ان الطية تعرضت الى فالقين لستيريين الأول درزي يقع بالاتجاه الشمالي والآخر فورلاندي ويقع الى الجنوب من الأول. في عصر الكريتاسي المتأخر تأثرت التكوينات ومنها تكوين بخمة لحركة استطالة (بفالق اعتيادي) بالرغم من ان الطور العام هو انضغاطي كنتيجة حتمية لانغلاق التيشس، الا انه كانت هناك فوالق اعتيادية حدثت كاستجابة اعتيادية للنهوض العام للطبق العربي (Forebulge) مما ولد جهداً شديداً على الاقواس الخارجية للطبق ومن ضمنها تكوين بخمة (Znad et al., 2020). وهذا يتوافق مع استنتاج (رشيد، 2011، و Barno, 2014) حيث وجد ان تكوينات العصر الكريتاسي متأثرة بفالق اعتيادي. أما في عصر الايوسين الأوسط، فان الاجهادات الانضغاطية التي حدثت بسبب الاصطدام القاري-القاري أدت الى تنشيط الفوالق اللستيرية المذكوره أعلاه بحركة انضغاطية (بفالق معكوس). هذا الفالق طور جميع التكوينات (بخمة وبلاسي) وكان التأثير قليلاً في تكوين بخمة لانها قد عانت من الاستطالة في العصر الكريتاسي المتأخر والفالق المعكوس أزال تأثير الاستطالة وطور شكل طية تكوين بخمة الى طية شيفرونية جيبيية. أما تأثير الفالق المعكوس على تكوين بلاسي فكان بكامل اجهداته وطيّة تكوين بلاسي تطورت الى قطع مكافئ اهليجية في المسار الثاني.

الاستنتاج الثاني: ان ظهور الطية كونها متماثلة تقريباً في المسار الأول وغير متماثلة في المسار الثاني، يدل على خفض اجهادات الفالق اللستيري الدرزي المسؤول على ميلان الطية باتجاه شمال شمال شرق. وهذا يدل أيضاً ان الفالق اللستيري الدرزي تقل حركته نحو غرب شمال غرب وهذا يتوافق مع نتائج تحليل فورير حيث ظهرت الطية في جناحها الشمالي الشرقي اقل تطوراً (جيبيية قطع مكافئ) مما هو عليه في المسار الثاني (قطع مكافئ اهليجية)

## المصادر

- Abdullah, N. M. R., 2011. Structural and tectonic analysis of the western part of Chia Gara anticline—Northern Iraq. M.Sc. Thesis, College of Science, University of Mosul, Iraq, 116p. (In Arabic).
- Al-Azzawi, N. K. and Numan N. M. S., 2019. The Structural Development of Folds Shapes in the Western Zagros Fold/Thrust Belt of Iraq Using Fourier Analysis. Iraqi National Journal of Earth Sciences, Vol. 19, No.2, pp. 26-41. <https://doi.org/10.33899/earth.2019.170283>
- Al-Azzawi, N. K., 2003. The Structural Development of Fold Shape in the Foreland Belt of Iraq. And Its Tectonic Implications, Unpublished Ph.D. Thesis, University. of Mosul, Iraq, 209p. (In Arabic).
- Al-hubiti, S. T., 2008. Tectonic Style Changes Along Bekhair Anticline Axis-Northern Iraq, Unpublished M.Sc. Thesis, University of Mosul, Iraq, 124p. (In Arabic).

- Aljumaily, Ibrahim, S. and Abdullah, Nazar, M., 2019. Inferred Inversely Reactivated Listric Fault at Chia Gara Anticline, Northern Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Sciences*, Vol. 19, No.2, pp.11-25. <https://doi.org/10.33899/earth.2019.170280>
- Al-khatony, S. E., 2019. Structural and Minor Structures of Qara Sard Anticline and Choplagh Syncline and Their Tectonic Implications Northeastern Iraq, Unpublished Ph.D. Thesis, College of Science, University of Mosul, Iraq, 249p. (In Arabic).
- Al-Sumaidaie, M. A., 2010. Structural and Tectonic Study of Brifka Anticline-Northern Iraq, Unpublished M.Sc. Thesis, College of Science, University of Mosul, Iraq, 126p. (In Arabic).
- Al-Sumaidaie, M. A., 2020. Structure and Tectonostratigraphy of Aqra Anticline, northeastern Iraq, Ph.D. Thesis, College of Science, University of Mosul, Iraq, 235p. (In Arabic).
- Ameen, M.S., 1979. Regional Investigation of Geoflexures and Tectonic Analysis in the Simple Folded Zone of Iraq (Unpublished M.Sc. thesis). Univ. of Mosul, 236p.
- Bastida, F., Aller, J., Puchkov, V.N., Juhlin, Ch., and Oslianski, A., 1997. A cross-section through the Zilair Nappe (southern Urals), *Tectonophysics*, Vol. 276, pp. 253-263. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00059-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00059-0)
- Doski, J. A. H., 2019. Tectonic analysis of lineaments in the Gara anticline, Kurdistan, northern Iraq. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*. 47(6):941–950. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00940-8>
- Fouad, S. F. A., 2015. Tectonic Map of Iraq, SCALE 1: 1000 000, 3rd Edition, 2012. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, Vol.11, No.1, P1-7 .
- Glen, R. A., and Beckett, J., 1997. Structure and tectonics along the inner edge of a foreland basin: the Hunter Coalfield in the northern Sydney Basin, New South Wales, *Australian Journal of Earth Sciences*, Vol. 44, PP. 853-877. <https://doi.org/10.1080/08120099708728359>
- Hudleston, P. J., 1973a. Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development, *Tectonophysics*, 16, 1-46. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(73\)90129-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(73)90129-7)
- Jassim, S. Z. and Goff, J. C., 2006. *Geology of Iraq*, Publication of Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, 341p .
- Kley, J., Monaldi, C.R., Salfity, J. A., 1999. Along-strike segmentation of the Andean foreland: causes and consequences, *Tectonophysics*, Vol. 301, pp.75-94. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)90223-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)90223-2)
- Numan, N. M., 1997. A plate tectonic scenario for the Phanerozoic succession in Iraq. *Iraqi Geological Journal*, 30(2), 85-110.
- Numan, N. M. S. and Al-Azzawi, N. K., 1993. Structural and geotectonic interpretation of vergence directions of the anticlines in the Foreland Folds of Iraq. *Abhath Al-Yarmouk (Pure Science and Engineering)*, Yarmouk University, Jordan, 2 (2). Pp.57-73.
- Ramsay, J. G., and Huber, M. I., 1987. *The techniques of modern structural geology: V.2, Folds and Fractures*, Academic Press, London, UK, 700p.



- Singh, R.A., and Gairola, V.K., 1992. Fold Shape in the vicinity of North Almora Thrust in District Chamoli, Garhwal Himalaya, *Journal of Himalayan Geology*, Vol. 3, No.2, pp. 121-129.
- Sissakian, V.K., Ghafur, A.A., Abdulhaq, H.A. & Omer H.O., 2020b. Indicating the Tectonic Origin of Gara and Mateen Anticlines Using Geomorphological and Structural Forms, Iraqi Kurdistan Region. *UKHJSE*, 4 (2), 84-100. <https://doi.org/10.25079/ukhjse.v4n2y2020.pp84-100>
- Sommaruga, A., 1997. Geology of the central Jura and the Molasse Basin: new insight into an evaporite- based foreland fold and thrust belt, *Mem. Soc. Neuchatel. Nat.*, XII, 1-176.
- Sommaruga, A., 1999. Decollement tectonics in the Jura foreland fold-and- thrust belt, *Marine and Petroleum Geology*, 16, 111-134. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(98\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(98)00068-3)
- Stabler, C. L., 1968. Simplified Fourier analysis of Fold Shape, *Tectonophysics*, Vol. 6, No. 4, pp. 343-350. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(68\)90049-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(68)90049-8)
- Stowe, C. W., 1988. Application of Fourier analysis for computer representation of fold profiles, *Tectonophysics*, Vol. 156, pp. 303-311.
- Van der Pluijm, B.A. and Marshak, S., 2004. *Earth structure: An introduction to structural geology and tectonics*. WCB/McGraw Hill, USA, 495p.
- Van Bellen, R.C., H.V. Dunnington, R. Wetzel and D.M. Morton, 1959-2005. *Lexique Stratigraphique International*. 03 10 Asia, (Iraq), 333p. Reprinted by permission of CNRS by Gulf Petro Link, Bahrain.
- Znad R.Kh., Al-Jumaily I.S., 2019 The Impact of Tectonic Setting on Distribution of Kolosh Formation during Paleocene –Lower Eocene in Northern Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Sciences* Vol. 19, No.1, pp. 22-34.
- Znad R. Kh., Al-khatony, S. E., Al-Sumaidaie, M. A., 2020 EFFECT OF TECTONIC SETTING ON DISTRIBUTION OF PELAGIC SEDIMENT UNIT (SHIRANISH FORMATION) IN ZAGROSFORL AND BASIN, IRAQI SEGMENT. *Iraqi Geological Journal* (<http://igj-iraq.org>).53 (2A), PP. 105-119
- Zebari, M. M., & Burberry, C. M., 2015. 4-D evolution of anticlines and implications for hydrocarbon exploration within the Zagros Fold Thrust Belt, Kurdistan Region, Iraq. *GeoArabia*, 20 (1), 161–188. <https://doi.org/10.2113/geoarabia2001161>