

تقييم النشاط الجيومورفوبيئي لمنطقة سانت كاترين

هند محمد حسني عيد

طالبة ماجستير - قسم الجغرافيا- كلية الآداب- جامعة دمياط.

المستخلص

تناول هذا البحث أثر النشاط الجيومورفوبيئي على خصائص الظاهرات الجيومورفولوجية بمنطقة سانت كاترين، وتم ذلك بتطبيق مجموعة من المؤشرات الكمية، والتي تشمل: مؤشر التماسك، مؤشر الانحدار العام، مؤشر الارتفاع النوعي مؤشر عامل عدم التماثل، مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي، نسبة عرض أرضية الوادي إلى ارتفاع الوادي، مؤشر طول المجرى ودرجة انحداره، مؤشر التكامل الارتفاعي، المؤشر النسبي للنشاط التكتوني، وذلك بهدف تحديد الأحواض المتأثرة بالتراكيب البنيوية؛ حيث تضم المنطقة جميع أنماط الانكسارات سواء المصاحبة لانكسار البحر الأحمر والتي تأخذ المحور شمالي جنوبي، أو المصاحبة لنشأة خليج السويس والتي تأخذ الاتجاه شمالي غربي، أو المصاحبة لنشأة خليج العقبة والتي تأخذ الاتجاه شمالي شرقي، كما تنتشر بالمنطقة القواطع النارية والتي تتفق مع توجيه الانكسارات لها، وتتحكم تلك التراكيب البنيوية في توجيه الأودية والمجاري المائية وخصائصها التضاريسية، كما تدين أغلب الظاهرات الجيومورفولوجية في المنطقة بنشأتها لعامل البنية الجيولوجية، لتظهر في صورة القواطع النارية، الحافات الصاعدة، الأودية الصاعدة، الأودية الخانقية، المنعطفات الصاعدة.

الكلمات المفتاحية:

المؤشرات الجيومورفولوجية البنيوية؛ القواطع النارية؛ الحافات الصاعدة

تاريخ المقالة:

تاريخ استلام المقالة: 22 ديسمبر 2021

تاريخ استلام النسخة النهائية: 22 يناير 2022

تاريخ قبول المقالة: 13 مارس 2022



Evaluation of the geomorphostructural activity of St. Catherine area

Hind Mohamed Hosny Eid

Master Student-Department of Geography- Faculty of Arts-
Damietta University.

Abstract

This research tackled the impact of geomorphostructural activity on the characteristics of geomorphological features of St. Catherine area. A group of quantitative index, including Kc Index, Global Slope Index, Specific Elevation Index, Asymmetry Factor, Topographic Symmetry Factor, Ratio of Valley Floor Width to Valley, The Stream Gradient Index, Hypsometric Integral, and Index Relative Active Tectonic (IRAT), has been applied in order to identify the basins affected by structures, the area includes all types of faults accompanied with, the Red Sea, north-south axis, the Gulf of Suez, northwest direction, and the gulf of Aqaba, northeast direction. Dykes which are consistent with direction of faults spread throughout the area. These structures control the orientation of valleys, streams and their terrain characteristics. Most of the geomorphological features come out of the geological structure factor. It takes a shape of dykes, composite scarps, faulted valley, gorges valley, and faulted meander

.Keywords: Structural Geomorphology Index _Dykes_ Composite Scarps

Article history:

Received 22 December 2021

Received in revised form 22 January 2022

Accepted 13 March 2022

1. مقدمة

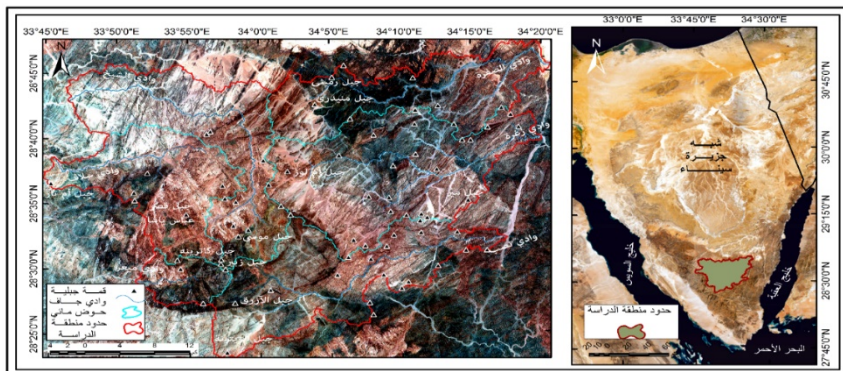
تهتم الجيومورفولوجيا البنيوية Structural Geomorphology بدراسة نظام الصخور وما يرتبط بها من توزيع للانكسارات والالتواءات ودراسة خصائصها وما تعكسه من أشكال على سطح الأرض، كما تهتم بدراسة أثر البنية Structural في تشكيل تضاريس سطح الأرض وتطورها، والعلاقة بين العوامل التكتونية التي تميل إلى بناء التضاريس الأرضية وبين العوامل الخارجية التي تؤدي إلى عملية الهدم، وقد لعبت العمليات التكتونية دورًا أساسيًا في نشأة الأشكال البنيوية كافة؛ فهي المسؤولة عن تكوين السلاسل الجبلية في المنطقة، حيث تعد منطقة سانت كاترين جزءًا من هذه السلاسل الجبلية التكتونية الناشئة، كما أن نظام المجاري المائية يكون حساسًا لعمليات النشاط التكتوني Neo-tectonics في المناطق النشطة تكتونيًا، حيث تسهم الصدوع في تحديد مجاري الأودية في المنطقة، وتعمل على تهيئة المجال أمام عوامل التعرية وعملياتها في ممارسة نشاطها على طول خطوط مناطق الضعف البنيوي.

يهتم التحليل الكمي البنيوي Analyses Structural Quantitative بدراسة أشكال التضاريس والظواهر الجيومورفولوجية وعلاقتها بالبنية الجيولوجية، وتعني البنية هنا طبيعة الصخور من جهة، وكيفية تنظيمها الهندسي من جهة، فالبنية عنصر أساسي في جيومورفولوجية المنطقة؛ حيث تفرض تأثيرها على التضاريس وتنتج التضاريس البنيوية، وتعد الجبال إحدى الظواهر الأرضية التي تشكلت نتيجة رفع تكتوني، ويختلف ارتفاع المنطقة تبعًا لشدة حركة الرفع والتي تؤثر على انحدارها ودفعها إلى أعلى خلال عمرها الجيولوجي، كما أن حدوث النشاط التكتوني يقود إلى تسارع العمليات الجيومورفولوجية المتمثلة في التعرية والإرساب.

2. موقع منطقة الدراسة ومساحتها:

تقع منطقة الدراسة بالجزء الأوسط من جنوب سيناء، ما بين خليجي العقبة والسويس كما يتضح من الشكل (1)، وترتب على موقعها الجغرافي تأثيرها بالحركات التكتونية القديمة والتي تتبع البحر الأحمر عمريًا ونظاميًا، وخليج العقبة عمريًا واتجاهًا، مما أدى إلى تأثيرها بالفواصل المتعامدة والمائلة على اتجاهات الانكسارات وتكوين السلاسل الجبلية الأكثر تضررًا وارتفاعًا وانحدارًا، وهي مختلفة عمريًا وجيومورفولوجيًا ومورفولوجيًا وإن كانت تشترك في أصل النشأة كما تختلف في العامل والعملية والمرحلة التطورية، وتمتد منطقة الدراسة فلكيًا بين دائرتي عرض 28° 22' 59" و 19° 47' 28" شمالًا، وخطي

طول 35° 44' 33"، وترتب على موقعها الفلكي اختلاف المدى الحراري 1511.34 كم²، الذي كان له أثر كبير في نشأة العديد من الظواهر المميزة، كما أنها تتلقى كميات كبيرة من الأمطار في فصل الخريف التي تؤدي إلى حدوث السيول المفاجئة.



المصدر: من عمل الطالبة اعتمادًا على المرئية الفضائية سنتينال-2 بدقة 10م والخريطة الطبوغرافية مقياس رسم 1:50000 باستخدام برنامج ENVI5.3. شكل (1) موقع منطقة سانت كاترين.

3. أسباب اختيار الدراسة:

1. أهمية منطقة سانت كاترين وموقعها حيث تعد جزءًا من الدرع العربي النوبي الذي يتميز بتاريخ جيولوجي مميز.
2. أهمية دراسة موضوعات البنية لمعرفة مدى تأثير نشاطها على الظواهر الجيومورفولوجية.
3. قلة الدراسات الجغرافية المتعلقة بالبنية الجيولوجية وتأثيرها على الظواهر الجيومورفولوجية.

4. مشكلة الدراسة:

تتأثر أحواض منطقة سانت كاترين بالتراكيب البنيوية وخاصة المصاحبة لنشأة خليج العقبة والتي من أهمها الانكسارات Faults والقواطع النارية Dykes التي تنتشر بشكل كثيف بين الشقوق والفواصل، لذا تتمثل مشكلة البحث في تقييم النشاط البنيوي في المنطقة من خلال مجموعة من المؤشرات الجيومورفولوجية والأدوات المفيدة في تقييم النشاط التكتوني، ونظرًا لظهور الأدوات الجيومورفولوجية الجديدة والمتطورة التي ساعدت في الحصول على معدلات نسب التعرية والنحت (Keller and Pinter, 2002 P121)، وقد تم استخدام هذه المؤشرات الجيومورفولوجية باعتبارها أدوات استطلاعية للكشف عن العمليات الجيومورفولوجية المرتبطة بالعمليات التكتونية النشطة التي تقوم بدورها

بوصفها عاملاً أساسياً في ارتفاع البنيات المكونة للجبال وانخفاضها، فمن خلال المؤشرات الجيومورفولوجية يمكن معرفة شكل الأرض الناتج عن العمليات التكتونية النشطة وتمييز المناطق التي تشوهت بفعل العمليات التكتونية (موسى، 2018، ص 151 نقلاً عن Chen et al, 2003)، ورصد أنماط الظواهر الجيومورفولوجية البنيوية.

5. تساؤلات الدراسة:

1. كيف يمكن تقييم أثر النشاط البنيوي في المنطقة؟
2. ما أنماط الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة عن النشاط البنيوي؟

6. فرضيات الدراسة:

- تأثير النشاط البنيوي على خصائص أحواض التصريف ومجاريها.

7. المصطلحات الواردة في الدراسة:

- المؤشرات الجيومورفولوجية البنيوية: مجموعة من الأدوات الجيومورفولوجية التي تستخدم في تقييم العمليات الجيومورفولوجية المرتبطة بالنشاط التكتوني، عن طريق القياس الكمي للظواهر الطبيعية وتحليل خصائصها التضاريسية، بهدف تحديد المناطق التي تعرضت لتشوه تكتوني ومعرفة شكل الأرض الناتج عن العمليات التكتونية النشطة (Keller and Pinter, 2002, P121).

• جيومورفولوجيا تكتونية Tectonic Geomorphology:

أحد فروع علم الجيومورفولوجيا، يهتم بدراسة تأثير العمليات التكتونية على أشكال سطح الأرض، فهناك العديد من المظاهر الأرضية تدين في نشأتها للأنشطة الجوفية مثل الحافات الصدعية، الاندساسات البركانية، العقد الحلقية (تراب، 2011، ص 128).

8. أهداف الدراسة:

1. تقييم النشاط البنيوي في منطقة الدراسة.
2. إنتاج خريطة توضح مدى الفاعلية التكونية بأحواض التصريف.
3. تفسير العلاقة بين البنية الجيولوجية والظواهر الجيومورفولوجية المرتبطة بها.

9. منهجية الدراسة وأساليبها:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي في وصف الأشكال الجيومورفولوجية، وتحليل نماذج الارتفاعات الرقمية، والمرئيات الفضائية والخرائط الطبوغرافية، كما اعتمدت كذلك على المنهج التاريخي في دراسة الحركات التكتونية والصدوع التي تعرضت لها

المنطقة وأثرت على أحواضها وأوديتها، وبذلك اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأساليب المتمثلة في الآتي:

- الأسلوب الكمي: وذلك من أجل الحصول على القياسات والمعاملات الإحصائية الخاصة بشكل الحوض وانحداره، وإيجاد الارتفاع النوعي للتضاريس، وقياس انحدار جانبي الحوض وقياس التماثل الطبوغرافي بالحوض، وقياس عرض أرضية الوادي إلى ارتفاع الوادي، وجميعها مؤشرات كمية يمكن من خلالها تحديد الأحواض التي يظهر بها أثر البنية بوضوح.
- الأسلوب التقني: يتمثل في استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، لبناء قواعد البيانات الجغرافية وعمل نماذج التقييم وتطبيق المؤشرات الجيومورفولوجية ومعالجة المراثيات الفضائية وتحليلها ، لذا تم الاعتماد على برنامج Arc GIS10.6 ، وبرنامج ENVI 5.3 .
- الأسلوب الميداني: تم استخدام هذا الأسلوب في جمع القياسات الميدانية ودراسة الظواهر البنيوية، حيث تمت الدراسة الميدانية على مرحلتين: الأولى: دراسة استطلاعية وكانت بتاريخ 2019/3/25، والثانية: استمرت ستة أيام في الفترة من 2021/9/17 حتى 2021/9/22.

10. الدراسات السابقة:

تتنوع الدراسات حول منطقة سانت كاترين بين الجيولوجية والجغرافية، والتي جاءت على النحو التالي:

جاءت دراسة (Shimron,1980) والتي تناولت مراحل نمو صخور حُقب ما قبل الكامبري بسيناء وتطورها ، ودراسة (Oweiss,1988) وقد تناولت جيولوجية منطقة سانت كاترين، ودراسة (EL-Masry et al,1992) تناولت دراسة التطور الجيولوجي لقاطع كاترين الحلقى ودراسة (EL-Shafei and Kusky,2003) تناولت التطور التكتوني لحزام فيران وسلاف، في حين تتمثل الدراسات الجغرافية في دراسة (رمضان، 1987) التي تناولت جيومورفولوجية حوض وادي فيران، ودراسة (رشوان، 1994) التي تناولت جيومورفولوجية حوض وادي دهب، ودراسة (التركمانى، 1999) وقد تناولت دراسة جيومورفولوجية مروحة وادي ميعر، ودراسة (عبد الفتاح،2010) تناولت جيومورفولوجية منطقة جبل كاترينا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ويتضح مما سبق قلة الدراسات الجغرافية التي تناولت الجيومورفولوجية البنيوية لمنطقة سانت كاترين التي تعد

منطقة جديرة بالدراسة، ومن هنا جاء هذا البحث ليحلل النشاط الجيومورفوبيئي ومدى تأثيره على الظواهر الجيومورفولوجية.

11. نتائج الدراسة:

يجب الإشارة إلى أن دراسة المؤشرات الجيومورفولوجية البنيوية تعد عملية صعبة وتستغرق وقتاً طويلاً إذا ما تمت حقلياً، ونظراً لإمكانية ربط الظواهر الخطية والمؤشرات بالظواهر الأرضية المتباعدة ومقارنتها، بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية والمرئية الفضائية التي وفرت البيانات اللازمة لهذه الدراسة، نظراً لذلك اعتمدت الدراسة على استخدام نموذج SRTM والخرائط الطبوغرافية لمنطقة سانت كاترين في استخراج البيانات المطلوبة لحساب المؤشرات الجيومورفوبيئية، وهي كالتالي:

1.11 مؤشر التماسك (1) K_c :

يشير مؤشر التماسك إلى شكل الحوض، من حيث اقترابه من الشكل الدائري أو أنه يأخذ الشكل المستطيل، فكلما اقتربت قيمته من (1) دل ذلك على اقتراب الأحواض من الشكل المستدير، وهذا يعني أن هناك تماسكاً قوياً وجيداً.

تتوزع قيم مؤشر التماسك في ثلاث فئات كما يتضح من الشكل (2) حيث تنعدم الفئة الأقل من 1 والتي تمثل الأحواض مرتفعة التماسك، في حين تمثل الأحواض متوسطة التماسك 46.80% مما يدل على أن تأثير النشاط التكتوني على هذه الأحواض متوسط، وتمثل الفئة 1.55 فأكثر الأحواض منخفضة التماسك، وهذا يدل على أن الأحواض في هذه الفئة تأخذ شكلاً أكثر استطالة وتكون ضعيفة التماسك.

2.11 مؤشر الانحدار العام (2) IG (Global slope index):

يوضح مؤشر الانحدار العام تضاريس الحوض سواء أكانت تضاريس شديدة جداً أم ضعيفة، وتتوزع قيم مؤشر الانحدار العام في

(1) تم حساب مؤشر التماسك داخل قاعدة البيانات الجغرافية عن طريق عمل Field Calculator

$$= 0.28 * [Perimeter] / [Area] \text{ Sqr} \quad (\text{عنا، 2006، ص 44})$$

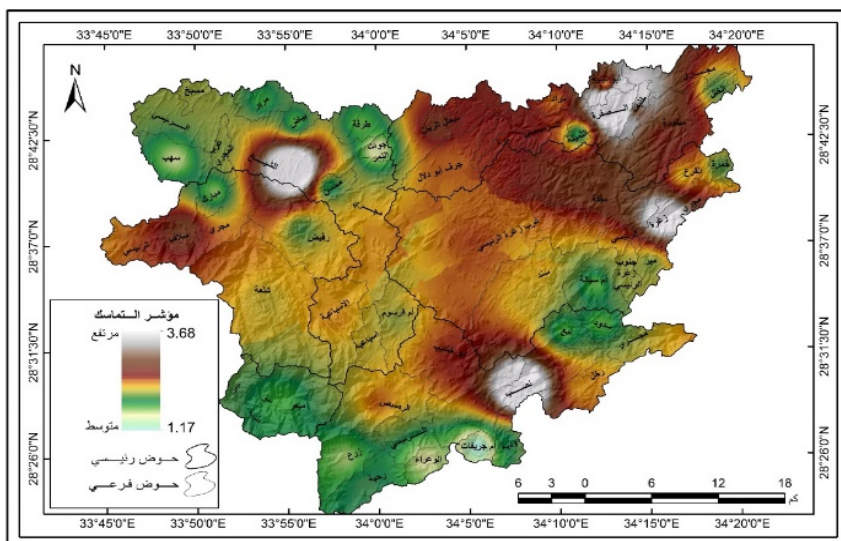
(2) تم حساب مؤشر الانحدار العام داخل قاعدة البيانات عن طريق عمل Field Calculator

$$= \text{الارتفاع المتوسط} / \text{طول المستطيل المعدل}$$

حيث إن: الارتفاع المتوسط = الارتفاع عند 5% من طول المجرى - الارتفاع عند 95% من المجرى

$$= \text{طول المستطيل المعدل} = [Kc] * [Area] \text{ Sqr} / (1.28 + ([Kc] / 1.28)^2) \quad (\text{عنا، 2006، ص 47})$$

أربع فئات كما يتضح من الشكل (3) حيث تمثل الفئة الأقل من 10 م/كم الأودية ذات التضاريس الهينة وعددها 10 أحواض، وتشكل نسبة 21.27% ، في حين تمثل الأحواض متوسطة التضاريس 29.78% وعددها 14 حوضاً، في حين تمثل الأحواض شديدة التضاريس وشديدة التضرس جداً 25.53% ، 23.40% وعددها 12 حوضاً على التوالي، وبذلك يمكن القول بأن أحواض منطقة سانت كاترين تتسم بتضاريس شديدة جداً، مما يعني أن النشاط التكتوني له تأثير كبير على انحدار الأودية في اتجاه المصب.



المصدر: الأشكال من 2-8 من عمل الطالبة اعتماداً على نموذج SRTM بدقة 29.4م، باستخدام Arc GIS 10.6.

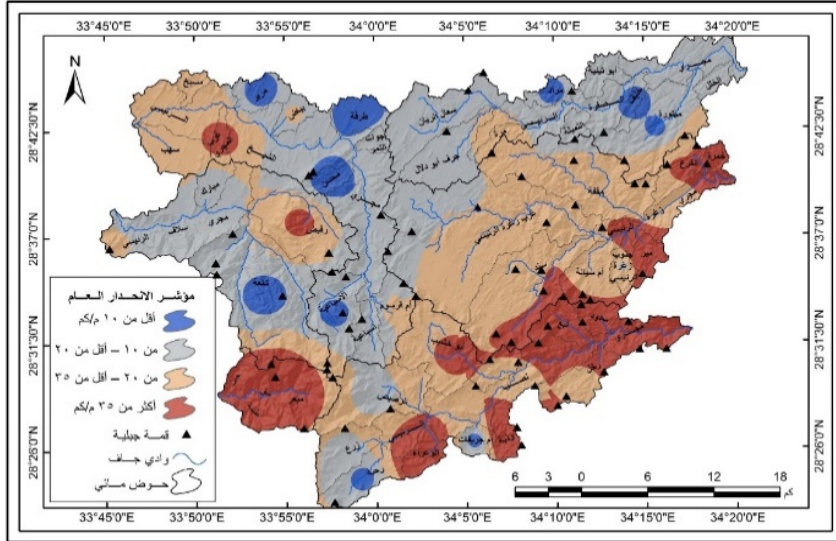
شكل (2) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقاً لمؤشر التماسك.

3.11 مؤشر الارتفاع النوعي⁽³⁾ (DS) Specific elevation index

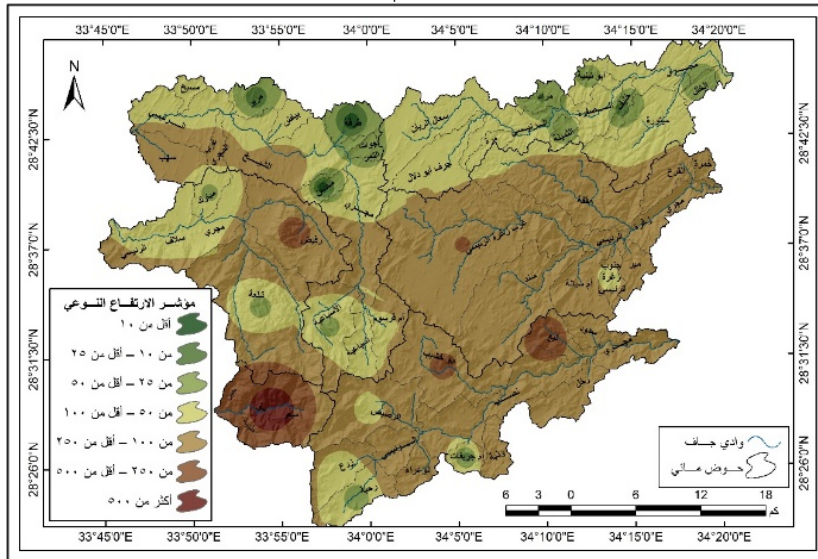
يستخدم مؤشر الارتفاع النوعي لمعرفة تطور تضاريس حوض التصريف ما بين التضاريس الشديدة جداً والضعيفة؛ فإذا كانت قيمة المؤشر مرتفعة دل ذلك على عدم تآكل المناطق المرتفعة، أما إذا كانت قيمة المؤشر منخفضة دل ذلك على أن المنطقة قد أثرت عليها عوامل التعرية.

(3) يتم حساب مؤشر الارتفاع النوعي داخل قاعدة البيانات عن طريق عمل Field Calculator $[IG] * [Area] Sqr$ (عنا، 2006، ص 47)

فكما يتضح من الشكل (4) تأثير النشاط التكتوني في 5 أحواض بنسبة 10.63% يظهر عاليًا وعاليًا جدًا طبقًا لهذا المؤشر، مما يدل على أن التضاريس الشديدة هي السائدة في هذه الأحواض ومنها حوض وادي ميعر.



شكل (3) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقًا لمؤشر الانحدار العام.



شكل (4) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقًا لمؤشر الارتفاع النوعي.

نبع، رفيض، أبو خشيب، وغرب زغرة الرئيس، مما يدل على أن هذه الأحواض تكون فيها التضاريس شديدة وشديدة جدًا، في حين أن هناك 28 حوضًا بنسبة 59.57% من الأحواض تأثير النشاط التكتوني بها متوسط وقريب من المتوسط ومنها الأسبوعية، أم قرسوم، الرصيص القرع، ميتورة... وغيرها، وإن كانت هذه الأحواض تتسم بصغر مساحتها بينما هناك 14 حوضًا يكون تأثير النشاط التكتوني بهم قريبًا من المنخفض والمنخفض جدًا، وهي حوض وادي الأسبوعية، تلعة، رحبة الثميلة... وغيرها.

4.11 مؤشر عامل عدم التماثل⁽⁴⁾ (Asymmetry Factor (AF):

يستخدم مؤشر عامل عدم التماثل لقياس انحدار جانبي الحوض بالنسبة للمجرى الرئيس في الحوض والنتيجة عن تأثير النشاط التكتوني وهو أحد المعايير المستخدمة في تقييم وجود ميل في المجرى الرئيس لنطاق حوض التصريف، أي إنه يقيس ميل جانبي الحوض بالنسبة للمجرى الرئيس في الحوض، والتي نتجت بفعل تأثيرها بالقوى والفاعلية التكتونية.

فكما يتضح من الشكل (5) هناك 6 أحواض بنسبة 12.76% يكون تأثير النشاط التكتوني فيها عاليًا حسب مؤشر عامل عدم التماثل، أي إنها أحواض شديدة الانحدار، مما يعني أن روافد الحوض تتعرض إلى تقوس (تحدب) أي تسبب انحناءً كبيرًا للروافد في الجانب الأيسر من الحوض وبالتالي تكون روافده أقصر في هذا الجانب من الجانب الأيمن وهذه الأحواض هي: الخلل، القرع، سدود، أم قرسوم، جوات التمر، مسبخ، في حين أن هناك 7 أحواض تمثل 14.89% من عدد الأحواض يكون تأثير النشاط التكتوني بها متوسطًا، وهذه الأحواض هي: ميتورة، مرة، رخل الرصيص، وذبة، أم جريفات، رحبة، في حين أن هناك 34 حوضًا بنسبة 72.34% من عدد الأحواض يكون تأثير النشاط التكتوني فيها منخفضًا، ومنها الأسبوعية، التلعة، ميعر، زرع، مقفة، سعال الريان وغيرها.

(4) يتم حساب مؤشر عامل عدم التماثل داخل قاعدة البيانات عن طريق عمل Field

Calculator

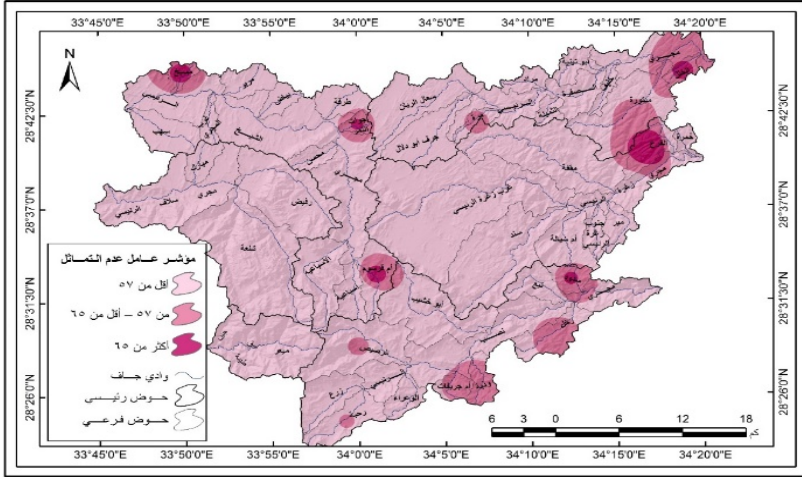
$$= 100 * ([AT] / [AR]) \text{ (Keller and Pinter, 2002, P125)}$$

حيث إن:

AR = مساحة الحوض في الجانب الأيمن من المجرى من المنبع إلى المصب

AT = مساحة الحوض الكلية بالكم²

بصفة عامة طبقاً لمؤشر عامل عدم التماثل فإن جميع الأحواض في منطقة سانت كاترين تتراوح ما بين 50 و 85 وهذه القيمة المرتفعة تدل على مدى تأثير الأحواض بالنشاط التكتوني، وارتفاع قيم هذا المؤشر تشير إلى شدة الانحدار بها، مما يعني أن روافد أحواض التصريف ستعرض لتدوير أو تقوس (تحذب) تكتوني؛ مما سيتسبب في حدوث انحناء أيسر للحوض وبهذا تكون الروافد يسار المجرى الرئيس أقصر مقارنة بروافد الجانب الأيمن (الأمين، 2018، ص 283).



شكل (5) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقاً لمؤشر عامل عدم التماثل.

5.11 مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي (5) Topographic Symmetry Factor (T)

يستخدم مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي لقياس مدى انحراف المجرى الرئيس للحوض عن المحور الرئيس، وتتراوح قيمته ما بين صفر -1 ، فكلما كانت قيمته قريبة من الصفر دل ذلك على التماثل الطبوغرافي، وكلما اقتربت من الواحد دل ذلك على عدم التماثل الطبوغرافي.

(5) تم حساب مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي داخل قاعدة البيانات عن طريق عمل

Field Calculator

$$= [Dd] / [Da] \quad (\text{Keller and Pinter, 2002, P127})$$

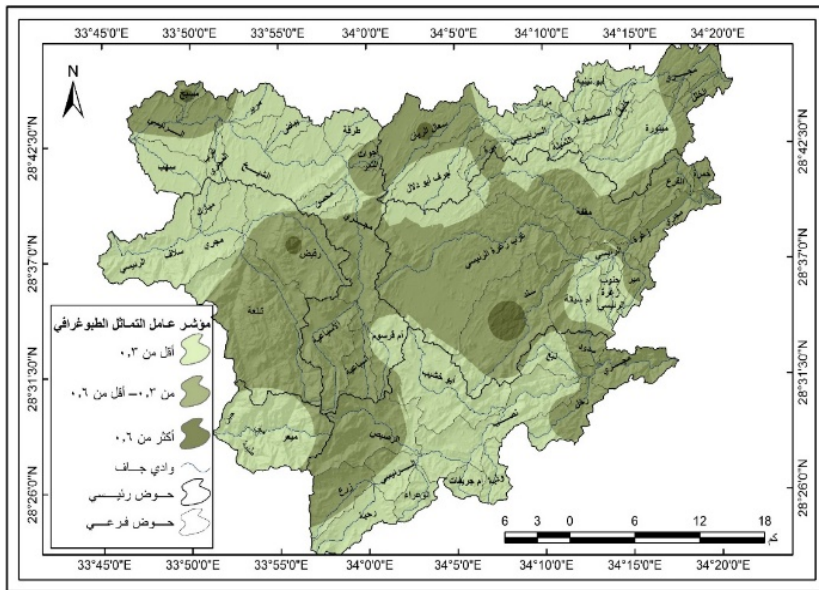
حيث إن:

Da = المسافة بين خط محور الحوض والمجرى الرئيس المتعرج في الحوض

Dd = المسافة بين خط محور الحوض ومحيط الحوض (خط تقسيم المياه)

ويعد مؤشر عامل التماثل الطبوغرافي من المؤشرات التي تقيم مقدار تباين المجرى المائي داخل حوضه، أي تبين نزوح المجرى الرئيس عن محور الحوض، انعكاساً لوجود عمليات تكتونية نشطة أو لوجود صدوع تحت سطحية أثرت في نزوح المجرى، وتتمثل قيم عامل التماثل الطبوغرافي من 0-1 وهذا يعكس الأحواض تامة التماثل أو المتعرجة نسبياً، فكلما اتجهت قيمة المؤشر نحو (0) اتجهت نحو التماثل، وكلما اتجهت نحو (1) اتجهت نحو اللاتماثل (النزوح)، مما يبين حالة التأثير بتعرج الطبقة تحت السطحية أو تصدعها، والذي يؤدي إلى نزوح المجرى الرئيس للحوض مع اتجاه الصدوع تحت السطحية.

فكما يتضح من الشكل (6) هناك 4 أحواض بنسبة 8.51% تزيد فيها قيمة المؤشر لأكثر من 0.6 وهي أحواض: رفيض، مسبخ، سعال الريان وسند، وتتميز جميعها بتأثر مجاري أوديتها بالصدوع تحت السطحية وهجرة المجرى الرئيس لهذه الأحواض عن محورها، في حين أن هناك 16 حوضاً تمثل 34.04% من الأحواض يكون تأثير الصدوع بها متوسطاً، ومنها: تلعة، والأسباعية، ومقفة، و27 حوضاً بنسبة 57.44% من الأحواض يكون تأثير الصدوع عليها منخفضاً، ومنها: طرفة، نبع وأبو تينية، وجميعها تتميز مجاريها بالتماثل الطبوغرافي وعدم نزوح المجرى الرئيس لهذه الأحواض عن محورها.



شكل (6) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقاً لمؤشر عامل التماثل الطبوغرافي.

6.11 نسبة عرض أرضية الوادي إلى ارتفاع الوادي (6) Ratio of (VF) Valley Floor width to valley

يستخدم مؤشر نسبة عرض أرضية الوادي إلى ارتفاع الوادي للمقارنة بين الأودية في منطقة المنبع، والتي تكون على شكل حرف V وبين الأودية في منطقة المصب، والتي تكون على شكل حرف U، ففي الحالة الأولى تكون الأودية في حالة استجابة لمعدل النشاط التكتوني وفي الحالة الثانية تكون الاستجابة لعمليات التعرية الجانبية.

يعكس هذا المؤشر مدى تأثير أشكال الأودية التي تكون بشكل حرف V و U بشدة العمليات التكتونية Tectonic Process والذي يوضح شدة عمليات التعرية والإرساب، أي يبين النسبة أو الفرق بين أرضية الوادي التي بشكل حرف V، والتي تشكلت استجابة لارتفاع في معدل النشاط التكتوني لصخور القاعدة والذي أبرزت نتائجه من خلال شكل الوادي، وبين أرضية الوادي التي بشكل حرف U التي تشكلت بسبب التعرية الجانبية للأودية، والتي تعكس الخمول أو الفعالية التكتونية المنخفضة.

تتراوح قيم هذا المؤشر بين أكبر أو أصغر من 1، فالقيم الأقل من 1 تشير إلى شدة النشاط التكتوني، والذي ينعكس أثره على شكل الوادي ويأخذ شكل حرف V، في حين أن القيم المرتفعة عن 1 تشير إلى تكتونية ضعيفة ومن ثم انعكاسها على شكل الوادي الذي يأخذ شكل حرف U.

ويجب الإشارة إلى أن هذا المؤشر يعتمد على القطاعات العرضية للأودية لذلك تم عمل 47 قطاعاً عرضياً في الجزء الأوسط من الوادي حتى يصبح بالإمكان قياس عرض الأودية وارتفاع الجانبين الأيمن والأيسر بالإضافة لارتفاع قاع الوادي.

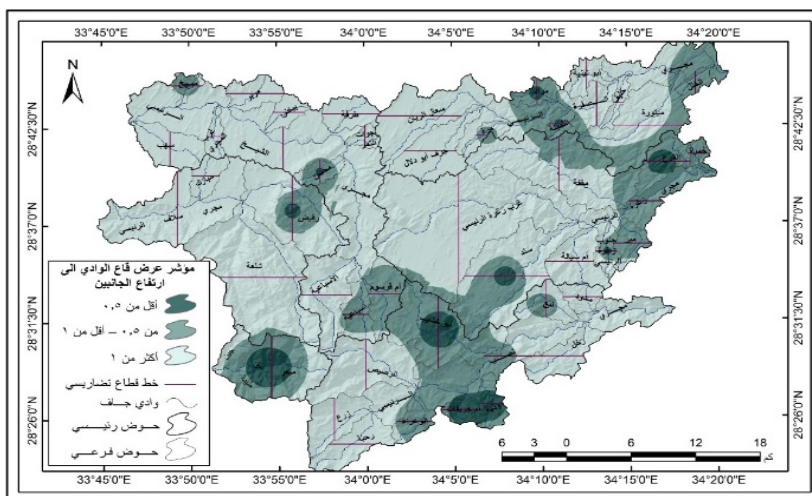
وكما يتضح من الشكل (7) أن 25 حوضاً في المنطقة منخفضة النشاط التكتوني؛ مما يعني أن التعرية الجانبية هي السائدة فيها كحوض سهب، مبارك و طرفة، في حين أن هناك 10 أحواض يكون تأثير النشاط التكتوني فيها متوسطاً؛ مما يعني أنها متعادلة تكتونياً من حيث عملية الرفع التكتوني وعمليات التجوية والتعرية كحوض نصب، الوعراء، وأم

(6) تم حساب مؤشر نسبة عرض أرضية الوادي إلى ارتفاع الوادي داخل قاعدة البيانات عن طريق عمل Field Calculator

$$Keller \text{ and } ([Erd] - [Esc]) + ([Esc] - [Eld]) / [Vfw] * 2 =$$
(Pinter,2002,P137)

حيث إن: $Vfw =$ عرض قاع الوادي. $Eld =$ ارتفاع الجانب الأيسر من الوادي. $Esc =$ ارتفاع قاع الوادي. $Erd =$ ارتفاع الجانب الأيمن من الوادي.

قرسوم، و12 حوضاً مرتفع النشاط التكتوني كحوض ميعر، أبي خشيب ورفييض.



شكل (7) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقاً لمؤشر عرض قاع الوادي إلى ارتفاع الجانبين.

7.11 مؤشر طول المجرى ودرجة انحداره (7) SL The Stream Gradient index:

يعكس هذا المؤشر العلاقة بين المناخ والنشاط التكتوني، حيث يستخدم لقياس تدرج المجرى المائي، وتوضيح التغيرات الجيومورفولوجية على القطاع الطولي للمجرى، كما أنه يعد من المتغيرات الهيدرولوجية لارتباطه بقوة السيل؛ إذ إن قوة السيل توضح مدى قصر أو طول المجرى المائي، وتقييم مقاومة الصخور لعمليات التعرية المائية، وبالتالي قياس قدرة السيل على تعرية قاع الوادي ونحته

(7) يتم حساب مؤشر طول المجرى ودرجة انحداره داخل قاعدة البيانات عن طريق

عمل Field Calculator

$$L * ([\Delta L] / [\Delta H]) =$$

حيث إن:

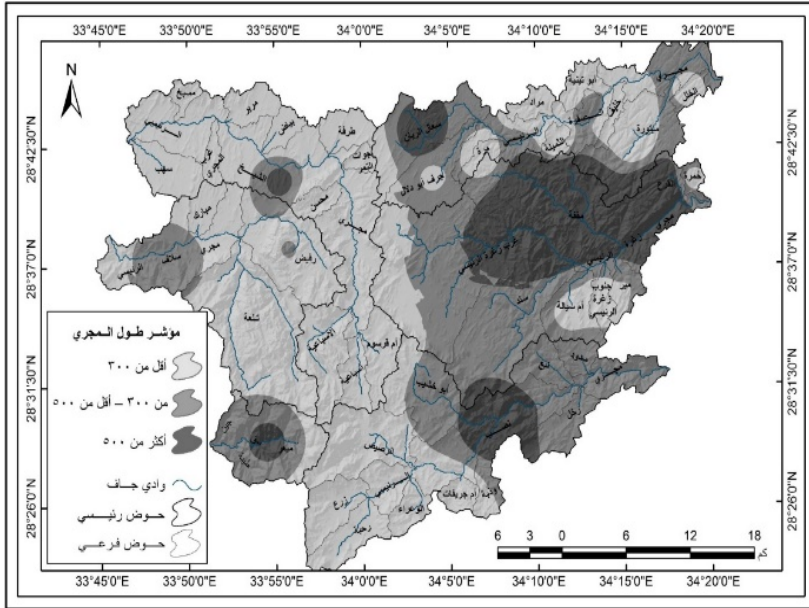
ΔH = فرق الارتفاع بين نقطة تقاطع المجرى مع خط الكنتور الأول عند المصب وخط الكنتور الذي يليه.

ΔL = فرق المسافة الأفقية الفاصلة بين تقاطع المجرى مع خط الكنتور الأول إلى نقطة تقاطعه مع الخط الذي يليه في منطقة المصب.

L = طول المجرى الرئيس.

ونقل المفتتات الصخرية, ومدى علاقتها بالنشاط التكتوني **Active Tectonic**, وبذلك يمكن التوصل إلى قياس مرحلة التوازن للمجري المائية.

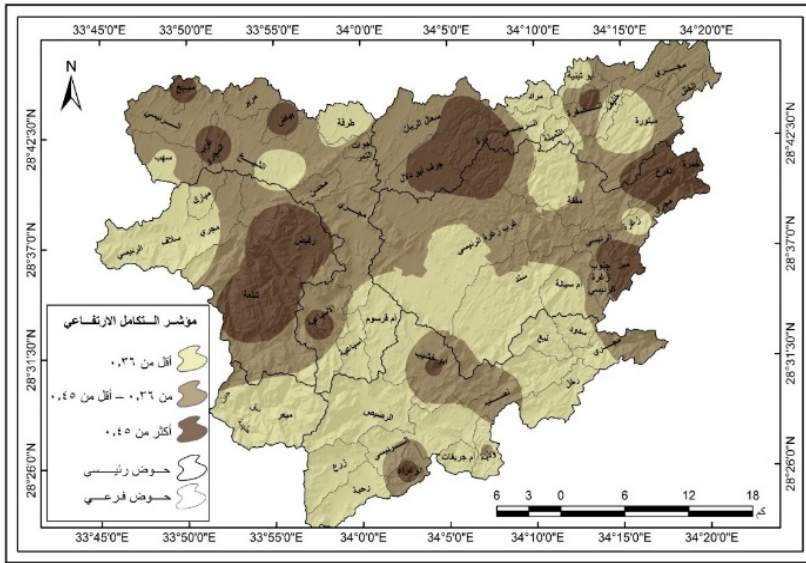
كما يتضح من شكل (8) أن المنطقة تضم 30 حوضاً منخفض النشاط كحوض رحبة، جوات التمر، مبارك، ويدل ذلك على وجود صخور هشّة قليلة المقاومة لعمليات التعرية، كما أن كمية التصريف المائي بهذه الأحواض تكون متقاربة، كما أن عملية الترسيب للمجري المائي تتراجع إلى الخلف باتجاه المنبع وتتشكل المروحة الفيضية عند أسفل واجهة الجبل، في حين الأحواض متوسطة النشاط يبلغ عدد 10 أحواض كحوض رفيض، نبع، سدود، وهناك 7 أحواض مرتفعة النشاط التكتوني كحوض الشيخ، زغرة، نصب، والتي يكون فيها تأثير النشاط التكتوني على تدرج طول المجرى مرتفعاً، وهذا يدل على وجود صخور صلبة تقاوم عمليات التجوية والتعرية في قاع المجرى المائي وارتفاع درجة انحدار المجرى كما أن هذه الأحواض تتميز بأن عملية الترسيب للمجري المائي تكون بعيدة عن واجهة الجبل، وأن شكل قناة المجرى الرئيس أسفل المنحدر تكون مستقيمة، وتتشكل المراوح الفيضية بعيدة عن المنحدر، كما أن كمية التصريف المائي بهذه الأحواض تكون متفاوتة فيما بينها وهذا يعد انعكاساً لمدى تأثير العامل التكتوني وسيطرته على هذه الأحواض.



شكل (8) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقاً لمؤشر طول المجرى.

8.11 مؤشر التكامل الارتفاعي⁽⁸⁾ Hi Hypsometric integral:

يستخدم مؤشر التكامل الارتفاعي لقياس تباين الارتفاع في المساحة الحوضية، كما أن قيمة هذا المؤشر تتأثر بمدى مقاومة الصخور لعمليات التعرية، طبقاً للتصنيف الذي أورده (Keller and Pinter, 2002) لهذا المؤشر- حيث قسم هذا التصنيف إلى ثلاثة تصنيفات الفئة الأولى (0.46-0.72) وتمثل الرتبة الأولى عالية التأثير بالنشاط التكتوني والفئة الثانية (0.36-0.45) تمثل الرتبة الثانية متوسطة التأثير، والفئة الثالثة (0.36 فأقل) منخفضة التأثير، ومن خلال الشكل(9) تبين أن 53% من أحواض التصريف حسب تصنيف مؤشر التكامل الارتفاعي تقع في الفئة الأولى منخفضة التأثير بالنشاط التكتوني، وأن 17.02% من الأحواض متوسطة التأثير، وأن 29.7% من الأحواض عالية التأثير بالحركات التكتونية، أي إن نشأتها تكتونية كما أنها متأثرة بشكل كبير بعمليات التعرية.



شكل (9) تصنيف أحواض التصريف بمنطقة سانت كاترين طبقاً لمؤشر التكامل الارتفاعي.

(8) يتم حساب مؤشر التكامل الارتفاعي داخل قاعدة البيانات عن طريق عمل Field Calculator

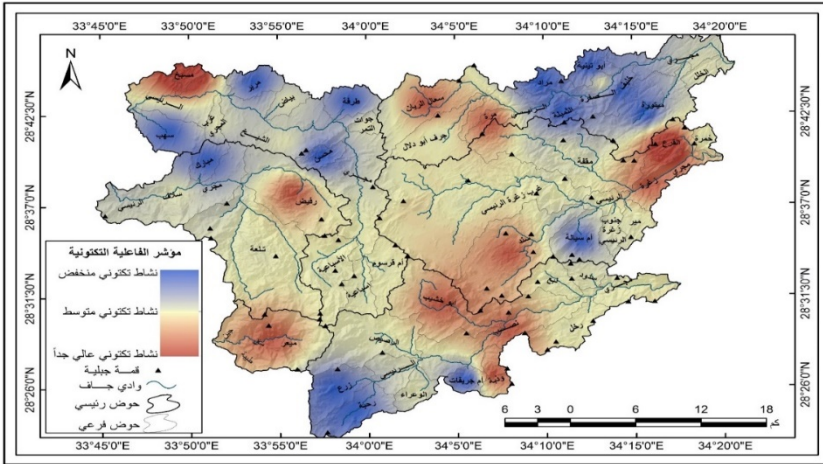
$$[H \text{ min} - H \text{ max}] / [H \text{ min} - H \text{ mean}] =$$

(Pinter,2002,P123)

= H mean = الارتفاع المتوسط- H min = أدنى ارتفاع في الحوض- H max = أقصى ارتفاع في الحوض.

9.11 المؤشر النسبي للنشاط التكتوني Index Relative Active Tectonic (IRAT)

يعتمد هذا المؤشر على تصنيف المؤشرات الجيومورفولوجية للنشاط التكتوني السابقة، حيث يعكس هذا المؤشر نسبة النشاط التكتوني لجميع المؤشرات بجميع الأحواض، وبذلك سيقود المؤشر النسبي للنشاط التكتوني إلى إعطاء نظرة شمولية عن تأثير قيم المؤشرات الجيومورفولوجية بالأنشطة التكتونية، ويتم ذلك من خلال تجميع نتائج قيم تصنيف المؤشرات الجيومورفولوجية السابقة في مصفوفة وإعطاء كل متغير قيمة معينة، ومن ثم اعتمدت الطالبة في درجات التصنيف على 4 قيم: القيمة 1 للأحواض ذات النشاط التكتوني العالي جداً، القيمة 2 للأحواض عالية النشاط، القيمة 3 للأحواض متوسطة النشاط، القيمة 4 للأحواض منخفضة النشاط، وتتراوح قيم التصنيف النهائي للمؤشرات التكتونية في الأحواض ما بين 2.87 بحوض طرفه، و 1.25 حوض وادي القرع بمتوسط عام قدره 2.18 وانحراف معياري 0.366، معني ذلك أنها تبعاً لتصنيف المؤشرات الجيومورفولوجية المتأثرة بالحركات التكتونية تعد ذات فاعلية عالية، وباستخراج القيمة التصنيفية النهائية لجميع الأحواض وعمل خريطة مجمعة نهائية للمؤشرات التكتونية للمنطقة كما يتضح من الشكل (10) تبين أن المنطقة متأثرة بنشاط تكتوني ذي فعالية عالية جداً ومتوسطة النشاط بنسبة 70.19% وتتأثر هذه الأحواض بالصدوع والتي تكونت الظاهرات الجيومورفولوجية البنيوية على إثرها.



المصدر: من عمل الطالبة اعتماداً على نموذج SRTM بدقة 29.04م، ونتائج تطبيق المؤشرات السابقة، باستخدام Arc GIS 10.6. شكل (10) مؤشر الفاعلية التكتونية بمنطقة سانت كاترين.

وللتأكد من صحة نتائج مؤشر الفاعلية التكتونية تمت الزيارة الميدانية لوادي نصب الذي يعد ذا نشاط تكتوني عالٍ جدًا ، وتم رصد أحد الفوالق على الحافة الصدعية الشرقية لجبل أبي خربة بمنطقة وادي نصب، كما يتضح من الصورة(1) ويلاحظ تأثر الفالق بعملية التوسيع Expand الناتجة عن التأثير بالحركات التكتونية والصدوع تحت السطحية.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/20، ناظرًا صوب الشمال الغربي
Long:34.14054667, Lat: 28.50736167، المنسوب 1195.67م.

صورة (1) فالق صخري بالحافة الصدعية لجبل أبي خربة.

10.11 أنماط الظواهر البنيوية في منطقة الدراسة:

تعد الأشكال البنيوية Structural Landforms هي نتاج التفاعل بين عمليات التعرية والتركيب الصخري وما تعرض له من حركات تصدع، ومن خلال الدراسة الميدانية تم رصد العديد من الظواهر البنيوية التي تضمها منطقة الدراسة ومن أهمها:

1.10.11 القواطع النارية Dykes:

تعد القواطع من الظواهر الجيومورفولوجية تكتونية المنشأ، وتبدو كسدود تظهر عندما تمتد تدفقات الماجما النارية عبر الشقوق الصخرية حيث تعرف بأنها أحد أشكال الثورانات البركانية التي تقطع الصخور الأقدم منها(تراب، 2011، ص 253)، وبدراسة مجموعة من القواطع

بمنطقة سانت كاترين يمكن تقسيمها مورفومتريًا إلى قواطع متوازية رأسية ومنحنية كما يلي:

وكما يتضح من العمل الميداني أن الكتلة الصخرية الموضحة في الصورة (2-أ) يقطعها مجموعة من القواطع الخطية المتجاورة التي نشأت عن قوى شد منتظمة، وتعد من القواطع القاعدية التي تتميز باللون الداكن وتتراوح نسبة السليكا فيها بين 45-52%، وتندرج زوايا انحدارها ما بين 13° - 112° كما يتراوح اتساعها ما بين 15-80سم، وقد اندست هذه القواطع في صخور الجرانيت القلوي، كما أن هذه القواطع حديثة العمر حيث تأخذ اتجاه الشرق والشمال الشرقي التي تتبع خطوط الانكسار المتزامنة مع نشأة خليج العقبة، ويتضح أنها تتعرض لعملية التجوية الميكانيكية لتظهر على شكل قواطع سلمية نتيجة تأثر بالفواصل الأفقية في القاطع، وأيضًا الموجودة في الصخر الأصلي كما يتضح من الصورة (2-ب) ، كما يلاحظ أن المفتتات الناتجة عن تجوية القاطع حجمها أصغر من حجم مفتتات صخر الجرانيت الأصلي؛ وذلك لأن نسيج معادنها دقيق لذلك نجد فرق في العمر والتكوين المعدني وعمليات التجوية، ويتضح أيضًا من الصورة (2-ب) زحزحة في مقدمة الكتلة الصخرية وبرزوز 35سم من القاطع للخارج لاعتبارها أحدث عمرًا، وربما نتيجة تأثرها بالحركات التكتونية وعمليات الشد. في حين تظهر القواطع الرأسية بشكل رأسي مع الكتل الصخرية، فكما يتضح من الصورة (3) يتعامد القاطع القاعدي بعرض 10م على صخر المونزوجرانيت.



أ



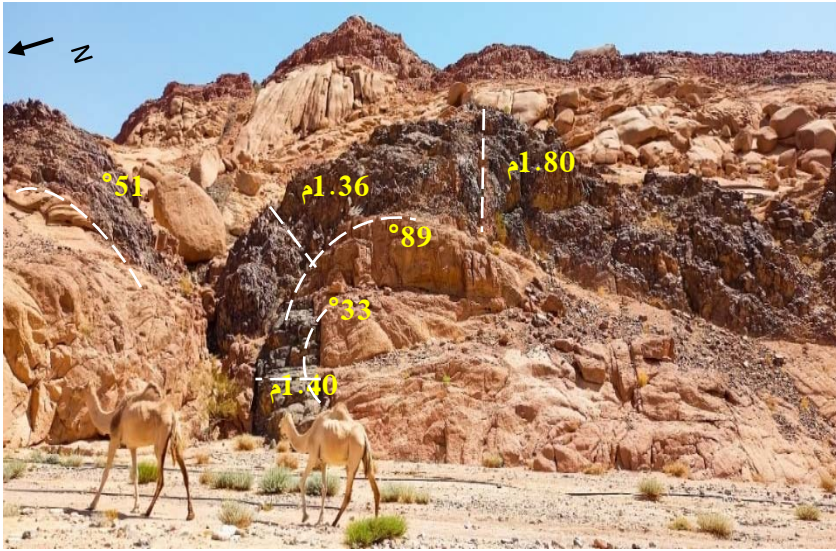
ب

مصدر الصورتين: الدراسة الميدانية، يوم 20/9/2021، ناظرًا صوب الجنوب الغربي Long:34.121465, Lat: 28.48499667، المنسوب 1204.34م. صورة(2) مجموعة من القواطع البازلتية القاعدية المتوازية بوادي نصب.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 20/9/2021، ناظرًا صوب الغرب، Long:34.15400333, Lat: 28.50786833، المنسوب 1152.53م. صورة(3) قاطع بازلتي يتعامد على صخور المونزوجرانيت بوادي نصب.

كما تنتشر القواطع المنحنية بشكل واسع في المنطقة وبخاصة جنوب منطقة سانت كاترين، والتي تنشأ عند حدوث خلل في قوى الشد على جانبي القاطع لتتخذ شكلاً منحنيًا، وتختلف درجة الانحناء وشدة تقوس القاطع تبعًا لقوى الشد التي لحقت به، فكما يتضح من الصورة (4) غزو قاطع لجانبي الكتلة الجبلية فيظهر قاطع من البازلت تصل درجة انحنائه إلى 33° ، ونلاحظ تغير مسار القاطع نتيجة تأثيره بانكسار أدى لتشوهه فينحني بدرجة 89° ، ويمتد لمسافة طويلة مشكلاً سدًا بازلتيًا أفقيًا ليظهر على شكل تموجات متعاقبة شديدة التقوس مما يشير إلى شدة القوى التي أثرت عليه.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/20، ناظرًا صوب الشرق،
 Long:34.11636833, Lat: 28.48676833، المنسوب 1290.21م.
 صورة (4) قاطع بازلت منحني في صخر المونزوجرانيت بوادي نصب.

11.10.2 الحافات الصدعية Composite Scarps:

تتكون الحافات الصدعية نتيجة قوى الشد والضغط التي تتعرض لها الطبقات الصخرية الصلبة فلا تستجيب لهذه الإجهادات فتتكسر، ومعظم النطاقات التي تظهر بها الحافات الصدعية مناطق ضعف جيولوجي (تراب، 2011، ص 137)، تنشأ الحافات الصدعية نتيجة حدوث الصدوع، ويمكن تقسيمها إلى نوعين، الحافات المركبة Composite Scarps وهي الحافات التي نتجت عن التصدع ثم تعرضت لعوامل التعرية، والحافات الصدعية Fault Scarps والتي نتجت عن حركات التصدع بشكل مباشر وتعد أحدث عمرًا.

تعد الحافات الصدعية من أهم الأشكال الأرضية المرتبطة بالصدوع والتي تنشأ نتيجة تحرك الصخور وتزحزحها نتيجة تعرضها للشد أو الضغط المصاحب للتصدع (محسوب، 2001، ص 32)، تتميز منطقة سانت كاترين بالكثافة الصدعية المرتفعة حيث تبلغ 6.54 كم/كم²، ويعد هذا النوع من الحافات حديث النشأة حيث تزامنت مع نشأة خليج العقبة ويلاحظ انتشار الحافات الصدعية عند المنابع العليا للأودية، فكما يتضح من الصورة (5) تظهر المنابع العليا لوادي الرصيص المتمثلة في الرتبة الخامسة وجود حافة صدعية والتي نشأت عن الصدوع المصاحبة لنشأة خليج العقبة التي تأخذ الاتجاه شمال شرق، وتتميز الحافات الصدعية بامتدادها بشكل مستقيم، كما أنها شديدة الانحدار فتظهر على شكل جرف كما يلاحظ انتشار الخدوش الطولية على واجهة الحافة نتيجة احتكاك الطبقات أثناء حدوث الانكسار، كما يرتبط بوجود هذه الحافات الأودية المعلقة التي تتعامد على محورها، كما يظهر أسفل الحافة رواسب وادية خشنة جلبتها السيول الجارفة أسفل الحافة.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/20، ناظرًا صوب الجنوب الغربي
 Long:34.00331667, Lat: 28.47479667، المنسوب 1607.38م.

صورة (5) حافة صدعية بوادي روتج.

كما يتضح من الصورة (6) فاصل بنيوي حديث من الناحية العمرية بالحافة الصدعية لوادي الروتج يبلغ طوله 4.5م واتساعه 16سم، تزامن تكوينه مع الأساس الصخري، كما يتأثر اتساعه Structural Expand نتيجة التأثير بحركة الصدوع تحت السطحية والنشاط البنيوي. كما يتضح من الصورة (7)، الحافة الصدعية لجبل أبي خربة 1785م والتي نشأت نتيجة صدع شمالي شرقي يقطع صخور الجرانيت القلوي.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/20، ناظرًا صوب الجنوب
Long:33.991666667, Lat: 28.473333333، المنسوب 1719 م.
صورة (6) توسيع الفواصل البنيوية في الحافة الصدعية بوادي روتج.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/20، ناظرًا صوب الشرق،
Long: 34.129755, Lat: 28.49896667، المنسوب 1217.74 م.
صورة (7) الحافة الصدعية لجبل أبو خربة.

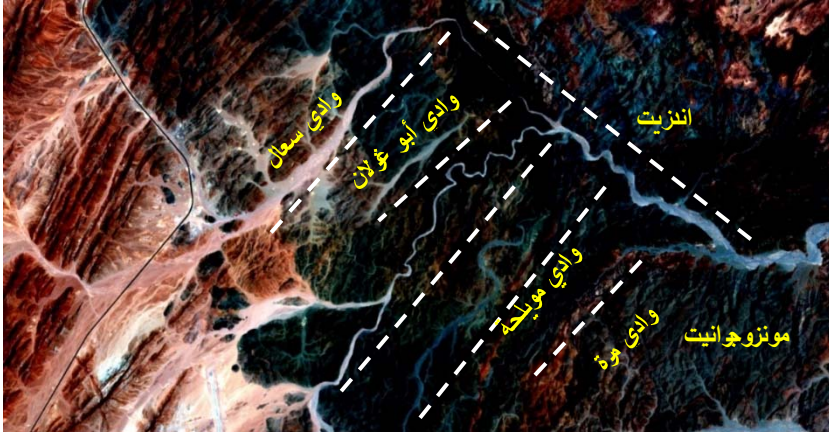
3.10.11 الأودية الصدعية Faulted Valley:

يرتبط هذا النوع من الأودية بخطوط الانكسار (تراب، 2011، ص 372)، ويعد العامل التكتوني هو المشكل الأساسي لهذه الأودية، حيث تتحكم الصدوع في اتجاهات المجاري الرئيسية للأودية، وخاصة روافد الرتبة الرابعة فأكثر، وقد أشارت (Ehlen, 1991, P.430) إلى ارتباط روافد الرتب الدنيا المحكومة تركيبياً بالفواصل Joints أكثر من ارتباطها بالصدوع.

تتأثر المجاري المائية بالتوجيه البنيوي وخاصة المجاري المائية ذات الرتبة الخامسة حيث تتفق أعداد المجاري وأطوالها مع الصدوع الشمالية الشرقية، مما يعني وجود علاقة ارتباطية قوية بينهما، كما توجد علاقة

ارتباطية قوية بين أطوال مجاري الرتبة الثانية والفواصل الصخرية تبلغ قيمتها 0.84، في حين توجد علاقة ارتباطية ضعيفة تبلغ قيمتها -0.04 بين أعداد المجاري المائية والفواصل الصخرية، إذن يمكن القول بأن الفواصل تعمل على زيادة أطوال المجاري لكن ليس بالضرورة أن تضم مناطق الفواصل مجاري مائية.

تنتشر الأودية الصدعية في جميع أرجاء المنطقة، والتي يعد العامل التكتوني هو المشكل الأساسي لها، ومن أمثلتها وادي الصفرة صورة (8) والتي يتضح فيها ارتباط الأودية بخطوط الانكسارات الحديثة وربما تكونت بالرباعي نظراً لأن أوديتها ذات مجارٍ صغيرة وعميقة، كما يلاحظ أن المجاري الرئيسية لهذه الأودية توازي خطوط الانكسار، في حين تظهر روافدها متعامدة ذات زوايا قائمة على اتجاه الصدع، وفي هذه الحالة تتكون نقط تجديد تركيبية **Strucural Knick Point**.



المصدر: من عمل الطالبة بالاعتماد على المرئية الفضائية Sentinel-2 بدقة 10م للنطاقات (2,3,4) باستخدام برنامج ENVI5.3.

صورة (8) مرئية فضائية توضح روافد وادي الصفرة الصدعية.

4.10.11 الأودية الخانقية **Gorges Valley**:

يمثل الخانق الجزء الضيق من المجرى المائي ويتميز بجوانبه الجرفية، حيث تنشأ الخوانق كأجزاء ضيقة من المجاري المائية ذات التكوينات الجيولوجية الأكثر صلابة، ولذا يواجه الوادي صعوبة في شق مجارٍ له خلالها، فتضيق قيعانها وتنشأ عن عملية التعميق الرأسي (تراب، 2011، ص 156).

عندما تشتد في الوادي سرعة المياه وتتكون الخوانق نتيجة اندفاع الحمولة النهرية بقوة بسبب زيادة طاقة النهر، يعظم تأثير التعميق الرأسي

للنهر على حساب التوسيع الجانبي، ومن العوامل المساعدة على ظهور الخوانق، ضعف التركيب الصخري لبعض أجزاء القاع فيسهل تعميقها عن بقية أجزاء المجرى، وتتبع الوادي لأحد الخطوط الانكسارية وبصفة خاصة الأغوار الانكسارية Grabens حيث يتمكن الوادي من اختراق بعض الحافات الصخرية فتركز طاقة المياه في الثغرة التي تمكن من اختراقها فيشتد تأثير التعميق الرأسي، وكما يتضح من الصورة (9) وادي روتج الخانقي الذي تتميز جوانبه بالانحدار الجرفي الذي يصل إلى 90° حيث تظهر شديدة الاستقامة، وتتميز هذه الجوانب بالارتفاع المنخفض الذي لا يزيد عن 20 مترًا، كما يتميز عرض الوادي بالانتساع المتدرج فيتراوح من 17م حتي 8م ويضيق نسبيًا كلما اتجهنا صوب المنبع، إذن يمكن القول إن العامل البنيوي هو المتحكم الرئيس في إظهار الوادي بهذا الشكل.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/20، ناظرًا صوب الغرب،
Long:33.992222222, Lat: 28.473055556، المنسوب 1717م.
صورة (9) مدخل وادي روتج الانكساري الخانقي.

5.10.11 المنعطفات الصدعية Faulted Meanders:

تتعرض المجاري المائية لنظم انكسارية متعامدة فتصنع زوايا قائمة بين مجاريها، فيبدو نظام التصريف متعامدًا وتظهر بعض أجزاء المجاري المائية على شكل منعطفات قائمة الشكل (تراب، 2011، ص 348)، وفيما يلي دراسة لمجموعة من المنعطفات الصدعية بمنطقة سانت كاترين:

فكما يتضح من الصورة (10) تكون منعطف وادي مغيران نتيجة تقاطع صدع شمالي-شرقي مع آخر شمالي-جنوبي، ليفصل بين الجرانيت الفلوي والمونزوجرانيت، ويأخذ تقاطع الصدعان زاوية 87°، كما تظهر مجموعة من المنعطفات الدقيقة في شكل رعوس تتكون من صخر مونزوجرانيت المقاوم لعمليات التعرية ويحيط بها حجر رملي بوادي

الصفرة، كما يظهر من الصورة(11) منعطف صدعي بصخور السيانيت بوادي الرصيص والذي نشأ عن تعامد صدع شمالي جنوبي قديم النشأة مع آخر جنوبي شرقي.



المصدر: من عمل الطالبة بالاعتماد على المرئية الفضائية Sentinel-2 بدقة 10م للنطاقات (2,3,4) باستخدام برنامج ENVI5.3.
صورة (10) مرئية فضائية توضح منعطف وادي الصفرة الصدعي.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 20/9/2021، ناظرًا صوب الشمال،
Lat:28.46170333, Lon:34.00170833، المنسوب 1695.61م.
صورة(11) المنعطفات الصدعية بمنطقة سانت كاترين .

6.10.11 نقط تغير الانحدار:

تنشأ نقط تغير الانحدار على طول القطاع الطولي للأودية، وقد تم رصد هذه النقط على القطاع الطولي لوادي الفرعة الذي يمثل الرتبة الثالثة لوادي الشيخ، ويغلب على الوادي تكوين الجرانيت القلوي كما يتضح من الصورة (12)، مما يعني أن ظهور نقط تغير الانحدار لم تنتج عن مرور الوادي بتكوينات جيولوجية مختلفة وإنما بسبب تأثرها بالعوامل البنيوية كالشقوق والصدوع المتعامدة على الوادي، حيث تتميز هذه النقاط بشدة استقامتها، كما تتعامد النقط على اتجاه الفواصل.



المصدر: الدراسة الميدانية، يوم 2021/9/18، ناظرًا صوب الغرب
Long:33.96126333, Lat: 28.54784167، المنسوب 1827.11م.
صورة (12) نقطة تغير الانحدار بوادي الفرعة.

12. الخلاصة

يتضح من الدراسة الجيومورفوبنيوية لمنطقة سانت كاترين أن البنية الجيولوجية تحكمت في نشأة العديد من أشكال الظواهر البنيوية في المنطقة، والمتمثلة في: القواطع النارية، الحافات الصدعية، الأودية الصدعية، نقط تغير الانحدار، الأودية الخانقية، المنعطفات الصدعية، كما تعد المؤشرات الجيومورفولوجية من الأدوات المستخدمة في دراسة النشاط التكتوني؛ فمن خلالها يمكن الكشف عن العمليات الجيومورفولوجية المرتبطة بالعمليات التكتونية النشطة، وبتطبيق تلك

المؤشرات اتضح أن 70.19% من منطقة الدراسة متأثرة بنشاط تكتوني ذي فعالية عالية جدًا ومتوسطة النشاط. كما أن للنشاط التكتوني الدور الأعظم في تشكيل الأودية، ويظهر ذلك في هجرة بعض الأودية لمجاريها واختيارها مجاري جديدة، مما يترتب عليه الاتساع غير المتناظر للوادي على جانبي المجرى الرئيس، واتضح ذلك بتطبيق مؤشر عامل عدم التماثل الطبوغرافي حيث تبين أن أكثر الأحواض مرتفعة النشاط كحوض مسبخ، رفيض، سعال الريان وسند، مما يعني هجرة المجرى الرئيس لهذه الأحواض عن محورها، ووجود انحراف حاد في مجاري بعض الأودية وتغير حاد في نمط شبكة المجاري المائية ترتب عليه ظهور مجموعة من المنعطفات الصدعية نتيجة تقاطع الصدوع وخاصة صدوع خليج العقبة مع صدوع خليج السويس، كما تحكمت الصدوع في توجيه المجاري المائية، فيوجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية قوية بلغت قيمتها 0.55 و 0.61 بين أعداد المجاري والصدوع وأطوالها وخاصة ذات الاتجاه الشمالي الشرقي في المنطقة، كما أن الصدوع تحكمت في نشأة القواطع وتوزيعها، فالقواطع القديمة تأخذ الاتجاه شرقي-غربي، شرق الشمال الشرقي، في حين قواطع الزمن الثاني تأخذ اتجاه شمال غربي-جنوب شرقي ومعظمها لها صفة قاعدية، في حين تأخذ القواطع حديثة النشأة اتجاهين : شمالي شرقي-شمالي غربي، وهي غالبًا ما تكون عمودية وتمثل آخر نشاط للبراكين في سيناء، وتشمل جميع أنواع البازلت.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

الخرائط والأطالس

- 1- المساحة العسكرية (1989): الخرائط الطبوغرافية مقياس 50000:1
- 2- الهيئة العامة للبتروال (1987): الخريطة الجيولوجية كونكورال لوحة مقياس 500000:1
- 3- وزارة الصناعة والثروة المعدنية (1994): الخريطة الجيولوجية مقياس 250000:1
- 4- نموذج المساح الراداري للتضاريس SRTM وجاء في اثنتين من المرئيات، ذات دقة مكانية 29م، ومصدرها ([/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov))
- 5- المرئية الفضائية Sentinel-2 وجاءت في اثنتين من المرئيات بدقة مكانية 10م، ومصدرها ([/https://www.esa.int](https://www.esa.int))

الأبحاث

- 1- موسى، عواد (2018): دور النشاط التكتوني في تشكيل الأودية في منطقة جبل كاترينا بتطبيق المؤشرات الجيومورفولوجية، مجلة كلية الآداب، العدد 49، ص ص 151-202.
- 2- الأمين، رقية وآخرون (2018): النمذجة الرقمية للمؤشرات الجيومورفوتكتونية في حوض حسب باستخدام تقنية الجيوماتكس مجلة الفنون والآداب وعلوم الإنسانيات والاجتماع، العدد 20، ص ص 275-292.
- 3- التركماني، جودة (1999): جيومورفولوجية مروحة وادي ميعر غربي شبه جزيرة سيناء، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد 33 ص ص 243-288.

الرسائل الجامعية

- 1- عبد الفتاح، أمجد (2010): منطقة جبل كاترينا(جنوب شبه جزيرة سيناء) دراسة جيومورفولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا كلية الآداب، جامعة كفر الشيخ.
- 2- عناب، رضا (2006): تقدير خطر التعرية في حوض نيمفاد وأثرها على سد كدية مدار مقارنة متعددة المعايير، رسالة ماجستير، قسم علوم الأراضي، كلية العلوم، جامعة العقيد الحاج لخضر، الجزائر.
- 3- رشوان، خالد (1994): حوض وادي ذهب شبه جزيرة سيناء دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة المنيا.
- 4- رمضان، محمد (1987): حوض وادي فيران دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

الكتب

- 1- تراب، محمد (2011): الموسوعة الجيومورفولوجية، الجمعية المصرية للتغيرات البيئية، الإسكندرية.
- 2- محسوب، محمد (2001): جيومورفولوجية الأشكال الأرضية جامعة القاهرة.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- 1- El-Shafei, M. K., Kusky, T. M. (2003): Structural and tectonic evolution the Neoproterozoic Feiran – Solaf Metamorphic belt, Sinai Peninsula: implications for the closure of the Mozambique Ocean, Precambrian Research. 123, pp. 269-293.

- 2- Keller, E.A, Piner .N (2002): Active Tectonics Earthquakes,Uplift and landscape, 2nd.Ed, prentice Hall, New Jersey.
- 3- El-Masry, N. N., El-Kaliouby, B. A., Khawasik, S. M., El-Ghawaby, M. A. (1992): Reconsideration of the Geologic Evolution of Sant Catherine Ring dyke, South Sinai, Conf. Geol. Sinai Develop, Ismailia, pp. 229-238.
- 4 -Ehlen, J. (1991): Siginificant geomorphic and petrographic relations with joint spacing in Dartmoor Granit, Southwest England, Z.Geomorph.N.F., No.35, Stuttgart , pp.425-438.
- 5- Oweiss, K.A (1989): Geology of Gabel Saint Catherine Area Sinai Egypt, Ph.D. Thesis, Faculty of Science, Cairo University.
- 6- Shimron, A. E. (1980): Proterozoic Island Arc volcanism and Sedimentation in Sinai, Precambrian Research, 12, pp. 437-458.