



الخوانق كوحدات جيومورفولوجية (دراسة تحليلية لمنطقة مختارة بين جبلي توني بابا وكاكاز عش بأستخدام التقنيات الجيومكانية الحديثة)

م.د. بسمة علي عبد الحسين
قسم الجغرافية، كلية الآداب، الجامعة العراقية، العراق
البريد الالكتروني: basmaaliabduihussein@aliraqia.edu.iq

المخلص

يتناول هذا البحث دراسة الخوانق كوحدات جيومورفولوجية ضمن منطقة مختارة بين جبلي توني بابا وكاكاز عش جنوب شرق محافظة السليمانية، اعتماداً على التحليل المورفومتري الكمي باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج الارتفاع الرقمية (DEM). يهدف البحث إلى تحليل الخصائص الشكلية للخوانق وتفسير آليات نشأتها وتطورها في ضوء العوامل الجيولوجية، التكتونية، والمناخية. اعتمدت الدراسة على تحليل مقاطع عرضية منتخبة للأودية، وتطبيق مؤشرات مورفوتكتونية شملت عمق الخانق، زاوية انحدار الجوانب، معامل الشكل العرضي (V)، ونسبة عرض قاع الوادي إلى ارتفاعه (Vf)، وربط نتائجها بالأشكال المرصودة ميدانياً. فأظهرت النتائج تبايناً واضحاً في الخصائص المورفومترية بين الأجزاء العليا والوسطى والسفلى لمنطقة الدراسة، ارتبط مباشرة بالتباين الصخري بين تكويني المقدادية وباي حسن وبينت الدراسة أن الخوانق ذات الشكل V الحاد والضيقة تتوافق مع مقاطع تسود فيها قيم منخفضة لمعامل الشكل و(Vf)، ما يدل على سيادة النحت الرأسي، في حين ترتبط الخوانق ذات الشكل U والمقاطع المنفتحة بقيم مرتفعة لهذه المؤشرات، معبرة عن مرحلة نضج جيومورفولوجي متقدمة. ويخلص البحث إلى أن تطور الخوانق في المنطقة نتاج تفاعل معقد بين التحكم البنيوي والتباين الصخري والظروف المناخية شبه الجافة، مع تأكيد كفاءة التقنيات الجيومكانية في تفسير هذه الظواهر بدقة مكانية عالية.

الكلمات المفتاحية: الخوانق النهرية، المؤشرات المورفوتكتونية، جبل توني بابا، التحليل المورفومتري للخوانق.

Gorges as Geomorphological Units (An Analytical Study of Selected Valleys from Mounts Toni Baba and Kakazash Using Modern Geospatial Techniques)

Dr. Basma Ali Abdul Hussein
Department of Geography, College of Arts, Al-Iraqia University, Iraq
Email: basmaaliabduihussein@aliraqia.edu.iq

ABSTRACT

This study investigates gorges as geomorphological units within a selected area between Mounts Toni Baba and Kakazash in southeastern Sulaymaniyah Governorate, using quantitative morphometric analysis based on Geographic Information Systems (GIS) and Digital Elevation Models (DEM). The research aims to analyze the morphological characteristics of gorges and to interpret their genesis and evolution in relation to geological, tectonic, and climatic factors. The study is based on the analysis of selected valley cross-sections and the application of key morphotectonic indices, including gorge depth, side slope gradient, cross-sectional shape ratio (V), and the valley floor width-to-height ratio (V_f), with the results directly correlated to field-observed gorge forms. The findings reveal clear spatial variations in morphometric properties between the upper, middle, and lower parts of the study area, closely linked to lithological contrasts between the Muqdadiya and Bai Hassan formations and to differences in stream energy. The results indicate that narrow, deeply incised V-shaped gorges correspond to low values of the shape and V_f indices, reflecting the dominance of vertical incision, whereas U-shaped and more open gorges are associated with higher index values, representing a more advanced stage of geomorphological maturity. The study concludes that gorge development in the area is the result of a complex interaction between structural control, lithological variability, and semi-arid climatic conditions, highlighting the effectiveness of geospatial techniques in providing high-resolution geomorphological interpretation.

Keywords: Fluvial gorges, Morphotectonic indices, Mount Toni Baba, Morphometric analysis of gorges.

**المقدمة :-**

تُعدّ الخَوَاقِ الجبلية من أبرز الأشكال الجيومورفولوجية التي تعكس التفاعل الديناميكي بين العوامل البنوية والمناخية والمائية عبر فترات زمنية طويلة. وتمثل هذه الأشكال تضاريسياً شاهداً على العمليات التكتونية القديمة والحديثة ، ولدراستها أهمية كبيرة في مجال الجيومورفولوجيا البنوية ، لما لها من دلالات مكانية وزمنية تعكس تطور سطح الأرض وتفاعله مع القوى الداخلية والخارجية .

تضم هذه المنطقة مجموعة من الأودية العميقة ، التي تشكلت ضمن بيئة بنوية معقدة تتأثر بالحركات الأرضية والانحدارات الشديدة والأنماط الهيدرولوجية المتغيرة . ولم تحظ هذه الخَوَاقِ بدراسة ميدانية أو رقمية وافية رغم أهميتها الجغرافية والبيئية ، مما يجعل هذا البحث مساهمة في الكشف عن خصائصها وتفسير منشأها. وبتبني منهجاً علمياً دقيقاً يعتمد على التحليل الرقمي الطبوغرافي باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS) . كما يسعى إلى تصنيف هذه الخَوَاقِ بناءً على خصائصها الشكلية ، وتحليل علاقتها بالتركيب الجيولوجي العام .

مشكلة البحث

على الرغم من الأهمية الجيومورفولوجية والبيئية للخَوَاقِ ، لا تزال هناك فجوة في الفهم التفصيلي لآليات تشكيلها وتطورها في البيئات الجبلية المعقدة بالعراق ، خاصة في جبلي توني بابا وكاكازءش لذا تمحورت المشكلة بالاتي :-

- 1- إلى أي مدى يتحكم التباين الصخري والعوامل التكتونية في مراحل تطور الخَوَاقِ النهرية، ولاسيما التوازن بين النحت الرأسي والنحت الجانبي؟
- 2- ما الخصائص المورفومترية المورفوتكتونية للخَوَاقِ النهرية في منطقة جبلي توني بابا وكاكازءش، وكيف يتباين توزيعها المكاني في ضوء البنية الجيولوجية؟
- 3- ما فاعلية توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاع الرقمية في بناء نموذج تفسيري كمي لتطور الخَوَاقِ كوحدات جيومورفولوجية مستقلة؟

فرضية البحث :-

- 1- تتحكم العوامل التكتونية والتباين الصخري بدرجة التعميق وشكل المقاطع العرضية للخَوَاقِ، بما يحدد سيادة النحت الرأسي في بعض القطاعات مقابل النحت الجانبي في قطاعات أخرى، دلالة على اختلاف مراحل التطور الجيومورفولوجي.
- 2- توجد فروق مكانية ذات دلالة جيومورفولوجية في الخصائص المورفومترية والمورفوتكتونية للخَوَاقِ النهرية في منطقة جبلي توني بابا وكاكازءش، تعكس تأثير التباين الصخري والبنية الجيولوجية في توجيه تطورها.
- 3- يساهم توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاع الرقمية والمؤشرات المورفوتكتونية في بناء نموذج تفسيري كمي دقيق يوضح آليات نشأة وتطور الخَوَاقِ النهرية كوحدات جيومورفولوجية مستقلة.

أهداف البحث :-

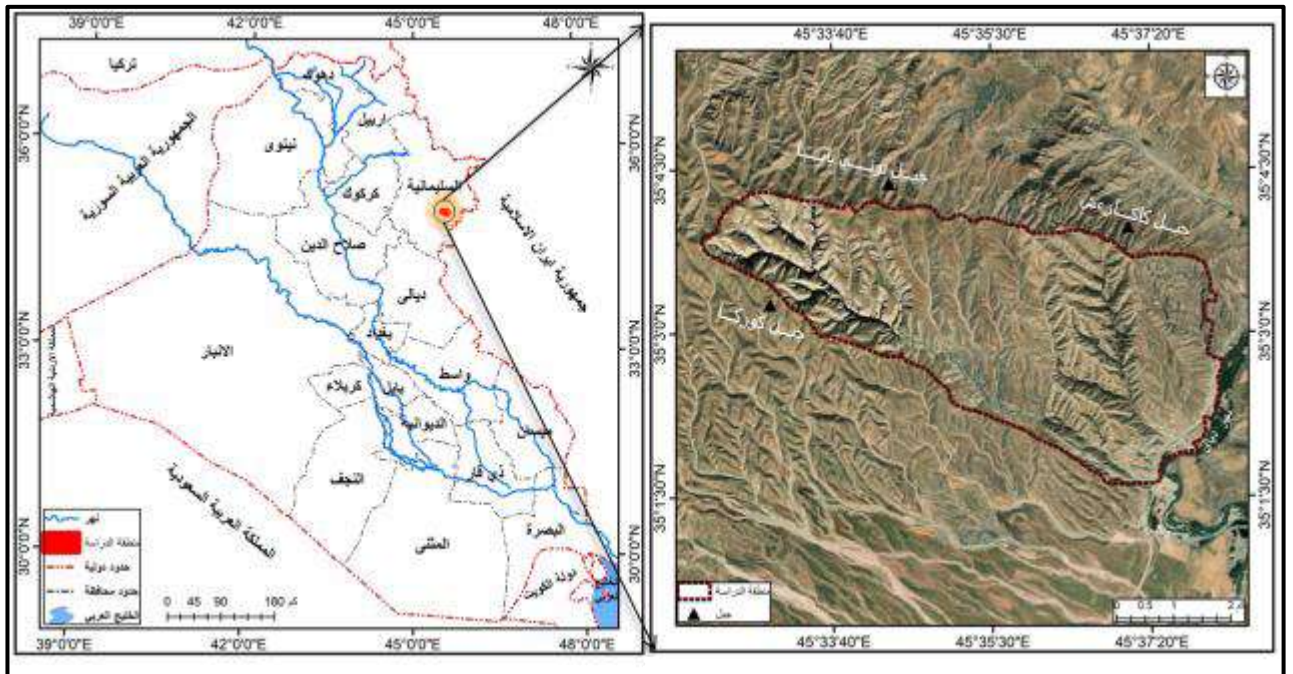
1. التعرف على التوزيع المكاني وأنماط التجمع للخَوَاقِ ضمن الأودية المختارة في جبلي توني بابا وكاكازءش.
2. تحديد وفهم العوامل الجيولوجية المتحكممة في تشكيل الخَوَاقِ (مثل نوع الصخور ومقاومتها، وجود التراكم الخطية) .
3. التحليل المورفومتري الكمي للخَوَاقِ المختارة، بما في ذلك الأبعاد (الطول، العرض، العمق)، شكل المقطع العرضي (U-shaped، V-shaped) ، انحدار القاع .
4. تقييم الدور المحتمل للعوامل التكتونية الحديثة في تعميق الأودية وتشكيل الخَوَاقِ، باستخدام المؤشرات المورفومترية التكتونية .
5. تطبيق وتوظيف التقنيات الجيومكانية الحديثة (نظم المعلومات الجغرافية GIS ، الاستشعار عن بعد RS ، ونماذج الارتفاع الرقمية DEM) في جميع مراحل التحليل وتقديم النتائج.

6. تصنيف الخوانق بناءً على خصائصها المورفولوجية وعوامل التكوين الرئيسية.

حدود منطقة الدراسة :-

تقع منطقة الدراسة فلكياً بين دائرتي عرض (35.4.19 N °) (35.1.0 N °) وقوسي طول (45.32.8 E °) و (45.38.13 E °) وهي بذلك تقع في جنوب شرق محافظة سلیمانية بين قضائي دربندخان وكلار . تبلغ بذلك مساحته (26.7 كم²) ، تتجه أغلب المجاري المائية في الاحواض المختارة والتي تنبع من مرتفعات توني بابا وكاكازءش باتجاه جنوب الشرق لتصب في نهر ديبالي (سيروان) ، يلاحظ الخريطة (1).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر :- من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة العراق الادارية مقياس 1:1000000 ، وزارة الموارد المائية ، المديرية العامة للمساحة، العراق ، بغداد، ٢٠٠٧ .

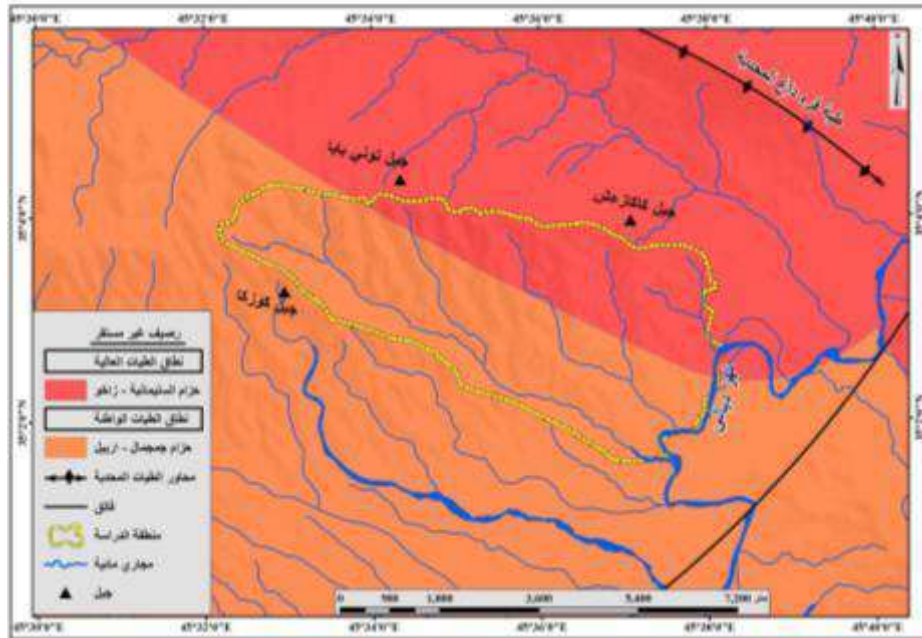
الخصائص الطبيعية المؤثرة في نشوء الخوانق

تمثل الخوانق من أهم الظواهر الجيومورفولوجية التي تتسم بالتعقيد في منشأها وتطورها، حيث تنشأ نتيجة تفاعل طويل الأمد بين مجموعة من الخصائص والعوامل الطبيعية التي تعمل بتداخل زمني ومكاني دقيق. يتطلب تشكيل هذه الظواهر الجيومورفولوجية ظروفاً بيئية وجيولوجية خاصة تؤمن الأرضية اللازمة لتطورها، مما يجعل دراستها مدخلاً مهماً لفهم العلاقات الديناميكية بين العوامل الطبيعية المختلفة.

تتداخل في تكوين الخوانق عوامل متعددة يأتي في مقدمتها الخصائص التكتونية كونها عامل تحكم أساسي، لا سيما في المناطق الجبلية الفتية ، حيث تؤدي عمليات الرفع والانكسار إلى توليد بيئة طبوغرافية ملائمة لتكوين الخوانق . فضلاً عن الطبوغرافية الحادة التي توفر فرق ارتفاع كافٍ لتسريع الجريان المائي ، وبالتالي تعزيز قدرة النهر على النحت العمودي. كما يلعب النوع الصخري دوراً جوهرياً، إذ تُقاوم الصخور وحسب صلابتها العمليات الجيومورفولوجية ، ما يُضفي على جوانب الخانق طابعاً حاداً. إلى جانب ذلك، تبرز الحركات التكتونية ، إن تحليل هذه الخصائص لا يقتصر على الفهم الوصفي ، بل يتعداه إلى التفسير السببي الذي يعتمد على أدوات وتقنيات حديثة مثل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مما يسمح بفهم أعمق للعلاقات التفاعلية بين المكونات الطبيعية. ومن هذا المنطلق، فإن دراسة الخصائص الطبيعية المؤثرة في نشوء الخوانق لا

تمثل فقط محاولة لتفسير ظاهرة جيومورفولوجية ، بل تسهم أيضاً في فهم أوسع للنظام البيئي – الجيولوجي الذي تتشكل فيه هذه الظواهر . إذ إنها تتموضع تكتونياً ضمن نطاق الطيات العالية (High folded zoon) في الجزء الشمالي الشرقي منها وهي جزء من حزام السليمانية – زاخو ونطاق الطيات الوائنة (Low Fold Zone) والمتمثل بحزام ججمال – أربيل والذي يمثل ثلثي المنطقة المتبقية وبأتجاه شمال غرب جنوب شرق وهي تمثل جزء من الجناح الجنوبي لطية قره داغ المحدبة، تلاحظ الخريطة (2) ، تدل علامات الترسيب كتموجات السطح وكرات الطين والحصى لنظام التدرج التصاعدي في حجم الحبيبات على أن الرواسب نشأت في نظام نهري بمياه عذبة .

الخريطة (2) البنية التركيبية لمنطقة الدراسة

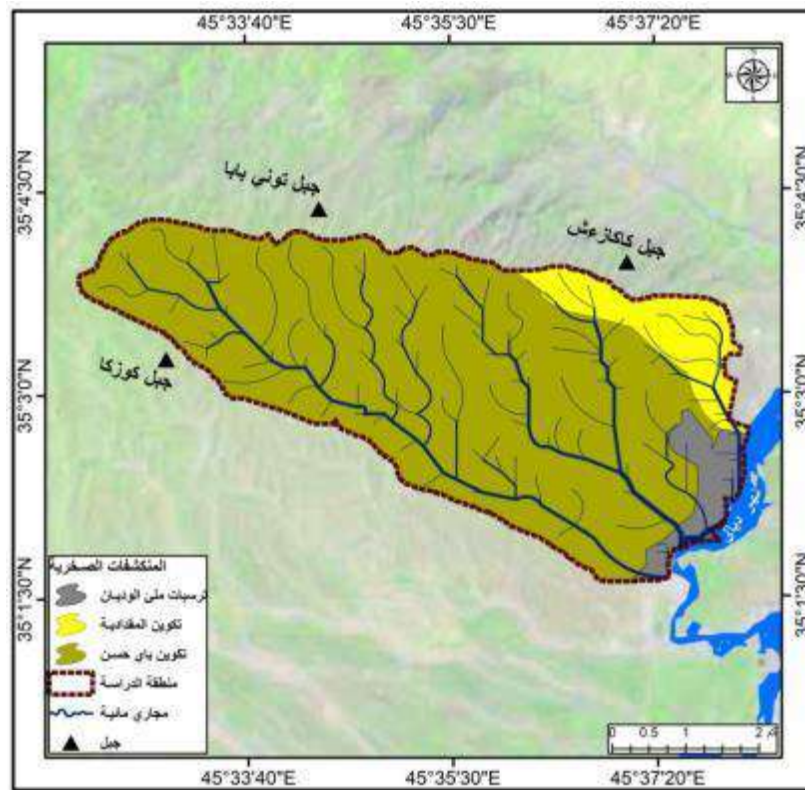


المصدر:- من عمل الباحثة بالاعتماد على : خريطة العراق البنيوية مقياس 1:1000000 ، المنشأة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين ، وزارة الصناعة والمعادن ، بغداد ، العراق ، الطبعة الثانية ، 1996.

أما كبنية جيولوجية وتركيب صخري فتعود المنطقة إلى زمنين الأول الميوسين المتأخر – البليوسين والمتمثل بتكوين المقدادية والذي يقع ضمن نطاق الطيات العالية المقعرة بمساحة تبلغ (2.2 كم²) إذ يتألف من تعاقب الطفل (الطين الصخري) ذي اللون الرمادي المصفر إلى البني مع الحجر الرملي الحصى الرمادي والغرين (السلت) البني إلى الرمادي . وبعض طبقات الحجر الرملي تكون حصوية ، وتزداد وفرة الحصى باتجاه الأعلى . إضافة إلى ذلك، تتميز طبقات الحجر الرملي بوجود التطبق المتقاطع وكرات الطين . تبلغ سماكة التكوين 400 م ويتموضع في شمال شرق منطقة الدراسة ، تلاحظ الخريطة (3) . يعلو تكوين المقدادية بصورة توافقية تكوين باي حسن ، ويحدد من خلال الظهور الأول لطبقات الكونكلومريت السمكية المحتوية على لباب الحصى . ويمثل التكوين بيئة نهريّة (جريان مائي عذب) ، أما الزمن الثاني البليوسين – البلايستوسين فيضم تكوين باي حسن وهو من أحدث التكوينات بمساحة تبلغ (23.2 كم²)، حيث يظهر مكشوفاً في الجزء المتبقي من المنطقة بأكثر من ثلثي مساحتها يتألف التكوين من كونكلومريت رملي سمكية وخشنة تتعاقب مع طفلات بنية سمكية وطبقات رقيقة من الحجر الرملي أما المواد اللاحمة كلسية مع أرضية مكونة من حبيبات الكوارتز (1) p23 Ma'ala, K. A. The geology of Sulaimaniya Quadrangle (geology of Sulaimaniya Quadrangle) تبلغ السماكة الظاهرة حوالي (500)متر. ويعلو تكوين باي حسن بشكل غير

توافقي رواسب العصر الرباعي (الهولوسين) والتي تتمثل بترسبات ملئ الوديان بمساحة (1.3 كم²) ، وهي بيئة نهريّة ذات رواسب مياه عذبة، وذلك بالاستناد إلى البنى الترسيبية الموجودة مثل التطبيق المتقاطع، علامات التمدج، وكرات الطين وتتحول باتجاه المركز إلى الرمال والغرين . هذا التباين في البنية الصخرية يؤدي إلى تباين المقاومة يساهم في توجيه مياه الأنهار نحو تعرية الأجزاء الضعيفة (الطين والغرين) ، مما يؤدي إلى تعميق المجاري النهريّة ونشوء الخوانق، خاصة عند وجود طبقات صلبة تُبطئ من عملية التعرية الجانبية وتوجيهها بصورة عمودية .

الخريطة (3) البنية الجيولوجية لمنطقة الدراسة

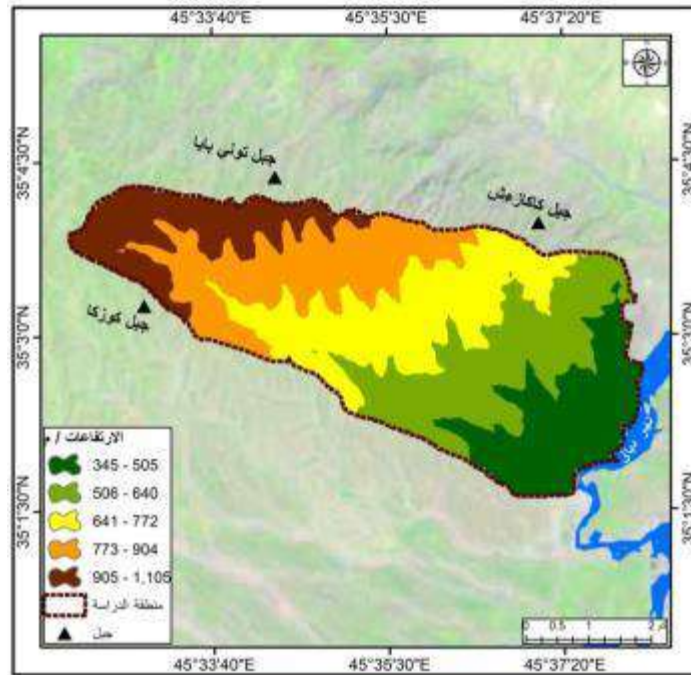


المصدر :- Ma'ala, K. A. (2007). The geology of Sulaimaniya Quadrangle, NI – 38 – 3 (G.H.M. – 10). State Company of Geological Survey and Mining (GEOSURV), Department of Geological Survey, Baghdad

أما بالنسبة للخصائص التضاريسية فتتباين في نسبة تضرسها إذ يتراوح ارتفاعها بين (1105م) فوق مستوى سطح البحر في الأجزاء الشمالية الغربية من منطقة الدراسة وهي مناطق منابع الأودية وتمثل قمة جبل توني بابا ، ويتدرج فيها الارتفاع لتصل إلى (345م) باتجاه جنوب شرق عند نهر ديالى (سيروان) وهي بطبيعة الحال مناطق مصبات الأودية ، تلاحظ الخريطة (4) تُسمت المنطقة إلى عدة أنطقة بلغت مساحة النطاق (345-505) (4.8 كم²) ما يعادل (18%) من المساحة الكلية ، أما النطاق الثاني والذي يتراوح بين (506-640) فوق مستوى سطح البحر بمساحة (6 كم²) وبنسبة (22.5%) من المساحة الكلية تلاه النطاق الثالث (641-772) (6.4 كم²) ما يعادل (24%) من المساحة الكلية وهو أكبر مساحة من النطاقات الأخرى ، أما النطاق الرابع (773-904) فبلغت مساحته (5.7 كم²) بنسبة (21.3%) وأخرها النطاق الأعلى ارتفاعاً (905-1105) بمساحة (3.8 كم²) ما يعادل (14.2%) من المساحة الكلية ، هذا لتباين الكبير في الارتفاعات بين قمة جبل

توني بابا (1105م) ومناطق المصب عند نهر ديالى (345م) يعد عاملاً أساسياً في تكوين الخوانق. لاسيما إن هنالك فرق طولي كبير يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية للمياه هذه الطاقة العالية تزيد من قدرة النهر على النحت الرأسى، وهو الشرط الجيومورفولوجي الأهم لتشكيل الخوانق العميقة. كما إن التدرج التضاريسي هذا يسرع من الجريان السطحي فيسهم في تسريع الجريان السطحي بفعل الميل الشديد، مما يزيد معدلات تآكل قاع الوادي مقارنة بالمناطق المنخفضة. وتؤدي سرعة الجريان العالية إلى تقطيع الهضبة أو السفوح.

الخريطة (4) أنطق الارتفاعات في منطقة الدراسة



المصدر :-من عمل الباحثة بالأعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بقدرته تمييزية 30*30 متر واستخدام برنامج Arc Gis 10.4

هذا وتُظهر البيانات المناخية المُقدمة نمطاً مناخياً شبه جاف ، يتسم بتباين موسمي حاد في درجات الحرارة وتوزيع مطري غير متوازن ، إضافة إلى مستويات عالية من التبخر وانخفاض واضح في الرطوبة النسبية خلال فصل الصيف. تتجلى هذه الخصائص بوضوح عند تحليل القيم الشهرية لمختلف العناصر المناخية، وهي عناصر ذات تأثير مباشر في تشكيل وبناء المظاهر الجيومورفولوجية لا سيما منها الخوانق ، فيمكن أن نلاحظ من الجدول (1) ، أن درجات الحرارة العظمى تتراوح بين (18.9 °م) في كانون الأول و(48.4م) في تموز، ما يعكس نطاقاً حرارياً سنوياً شديداً يتجاوز (29م) . كما تسجل درجات الحرارة الصغرى قيماً سلبية شتاءً، تصل إلى (-3.8م) في كانون الثاني، مما يشير إلى تكرار ظواهر الصقيع. هذا التباين الحراري الكبير، على المستويين اليومي والموسمي، يمثل بيئة مثالية لحدوث التجوية الفيزيائية، وخاصة التجوية الحرارية التي تؤدي إلى تشقق الصخور وتفككها نتيجة تكرار دورات التمدد والانكماش. وتُعزز التجوية الصقيعية هذه العمليات، لا سيما في الأشهر الباردة، إذ تؤدي إلى توسيع الفواصل والشقوق الصخرية عبر تجمد الماء في الفراغات، ما يُمهّد لاحقاً لانهيئات وانزلاقات كتلية في جدران الأودية والخوانق. ويتضح من توزيع الأمطار أن غالبية الهطول السنوي يتركز بين أشهر تشرين الثاني وحتى نيسان، حيث تبلغ الذروة في شهري كانون الأول وكانون الثاني بمتوسط يتجاوز (45 ملم) ، في حين تنخفض إلى أقل من 2 ملم خلال أشهر الصيف. يشير هذا النمط إلى طبيعة الأمطار الفصلية المركزة، والتي تؤدي إلى تدفقات مائية قوية ومفاجئة (flash floods) (2) (اسراء عبد الواحد علي، 2025ص1082) ، تتسبب في نحت قاعي عميق في الأودية، وهو ما يُعد العامل الرئيس في تكوّن الخوانق. قد تحدث



ISSN online: 2791-2272

ISSN print: 2791-2264

مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology

www.ejhas.com

editor@ejhas.com

Volume (21) February 2026

العدد (21) فبراير 2026

السيول المفاجئة، المترافقة مع طبوغرافية حادة وانكشاف جيولوجي، تعميق المجاري المائية عبر النحت الرأسى المستمر، دون أن تُعطى فرصة كافية لتكوين ترسيبات قاعية بسبب انقطاع الجريان خلال الصيف. هذا ويُظهر معدلات التبخر قيماً مرتفعة جداً خلال الصيف، تبلغ ذروتها في تموز بـ (270 ملم)، وهو رقم يعكس معدلاً عالياً لفقدان الرطوبة من سطح التربة. يتزامن هذا مع انخفاض شديد في الرطوبة النسبية التي لا تتجاوز 23%، ما يؤدي إلى تجفيف الغطاء النباتي وغياب الحماية النباتية للتربة والصخور، وبالتالي تسارع عمليات التعرية والانكشاف الصخري. ففي غياب الغطاء النباتي، تصبح المجاري المائية أكثر عرضة للانسيابات الجانبية والتعرية الجانبية المحدودة، ويؤدي ذلك إلى توسيع تدريجي للخنادق على المدى الطويل، لا سيما في الحواف العليا التي تضعف فعلاً بفعل التجوية⁽³⁾ (Mutlak, A. M., Hussein, B. A. A., Adhab, A. Z., & Hammadi, A. B. K. (2024)p1731). أما الرياح رغم أن سرعتها المسجلة تتراوح بين (1.2 – 1.8 م/ثا) وهي سرعات متوسطة التأثير، إلا أن الاتجاهات السائدة (بين 126° إلى 293°) قد تعكس تأثيرات تضاريسية محلية، يلاحظ الشكل (1)، حيث تُسهم الرياح في تعزيز الحث الهوائي في الحواف العليا للخنادق، وبشكل خاص في المناطق الهشة من الصخور الرسوبية أو الفتاتية. وهذه كلها تمثل شروطاً مثالية لنشوء الخنادق الضيقة والعميقة، ذات الجوانب شديدة الانحدار، التي تنسم بها كثير من الأودية في البيئات شبه الجافة والجبلية، كالمناطق الواقعة بين جبلي (توني بابا وكاكازءش)

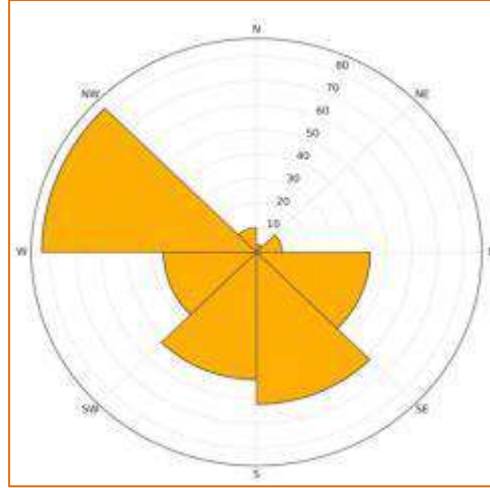
جدول (1) البيانات الفضائية للعناصر المناخية الخاصة بمنطقة البحث للمدة (2000 – 2024)

الشهر	كانون 2	شباط	أذار	نيسان	مايس	حزيران	تموز	أب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون 1
درجة الحرارة الاعتيادية C	6.6	8.4	13.1	19.1	25.5	32.3	35.7	35.3	30.3	23.6	14.1	8.8
درجة الحرارة العظمى C	18.9	22.5	27.5	33.7	40.6	45.9	48.4	47.8	44.1	37.7	27.8	21.3
درجة الحرارة الصغرى C	-3.8	-3	0.5	5.1	12.4	18.6	23.2	23.4	17.7	10.9	2.6	-1.8
الرياح	1.3	1.4	1.3	1.2	1.4	1.7	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2
	145.1	151.3	186.1	197.1	225.3	291.4	272.6	292.7	293.9	187.7	123.3	126.9
الأمطار / ملم	46.5	49.8	57.1	44.2	19.8	1.5	1.3	0.4	1.1	19.8	51.7	44.8
الرطوبة النسبية %	70	65	59	61	41	28	23	25	28	31	44	75
التبخر / ملم	38.8	53.3	98.5	80.2	99.7	201.3	270.1	118.3	93.9	88.7	70.3	39.9

المصدر: NASA/POWER Source Native Resolution Monthly and Annual

Location: Latitude 35.0999 Longitude 45.6667

الشكل (1) يمثل وردة الرياح لتكرارات اتجاه الرياح السائدة على منطقة البحث



المصدر : من عمل الباحثة .

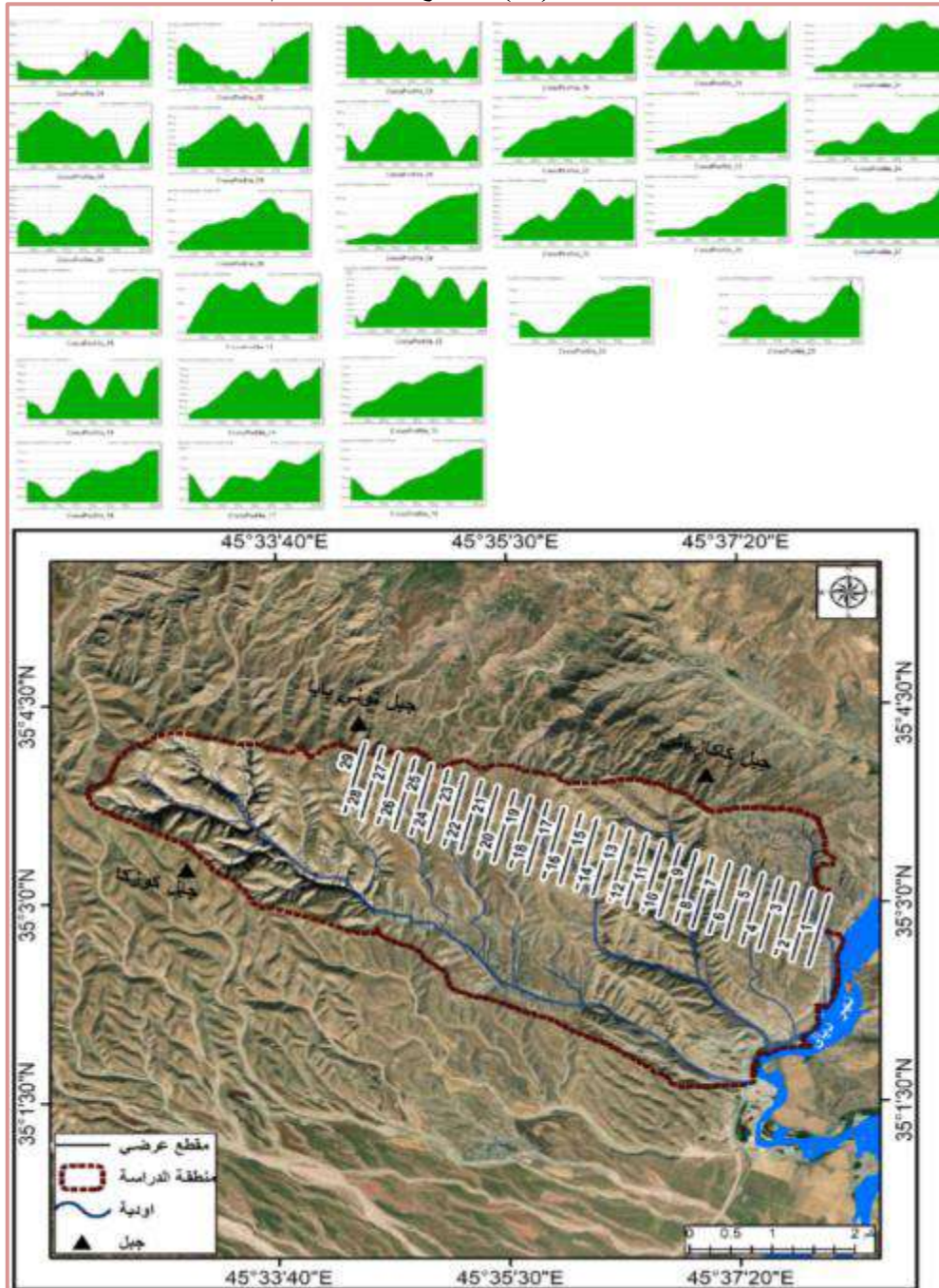
التحليل المورفومتري للكشف عن مناطق الخوانق

تتجلى الخصائص المورفومترية للخوانق النهرية من خلال عدة عناصر أساسية كالتلال، والعمق، والعرض، والعمق، والتي تشكل معاً البنية الشكلية العامة للخانق. ويُعدّ تحليل هذه الخصائص خطوة رئيسية في فهم المراحل التطورية للنظام النهري، وتقدير مستوى التوازن بين القدرة النحتية للنهر ومقاومة الصخور للتعرية، فضلاً عن تحديد التباينات المورفومترية التي تساعد في تفسير الخلفية البنيوية والمناخية للمنطقة المدروسة .

تم اختيار المقاطع العرضية ضمن منطقة الدراسة استناداً إلى مجموعة من المعايير الطبوغرافية والمورفومترية التي تضمن تمثيلاً دقيقاً لتباين الخصائص التضاريسية في المنطقة. فقد جرى التركيز على المقاطع التي تُظهر اختلافاً واضحاً في شدة الانحدار بين الأجزاء العليا والسفلى للخوانق، بما يوضح أثر التدرج الطبوغرافي في شكل المقطع العام. كما أُخذ بنظر الاعتبار التباين في العمق والعرض بين الأودية، إذ تم اختيار المقاطع التي تُبرز بوضوح الفارق بين قاع الخانق وقمته، فضلاً عن مراعاة تغير الاتجاه العام للمجرى النهري أو الوادي في بعض المناطق من أجل بيان العلاقة بين اتجاه الجريان وشكل المقطع العرضي. تم توزيع المقاطع على طول منطقة الدراسة بطريقة متوازنة لضمان تمثيل الأجزاء الشمالية والوسطى والجنوبية بصورة شاملة، مع الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية مناسبة، وتحليلها باستخدام برامج التحليل المكاني مثل

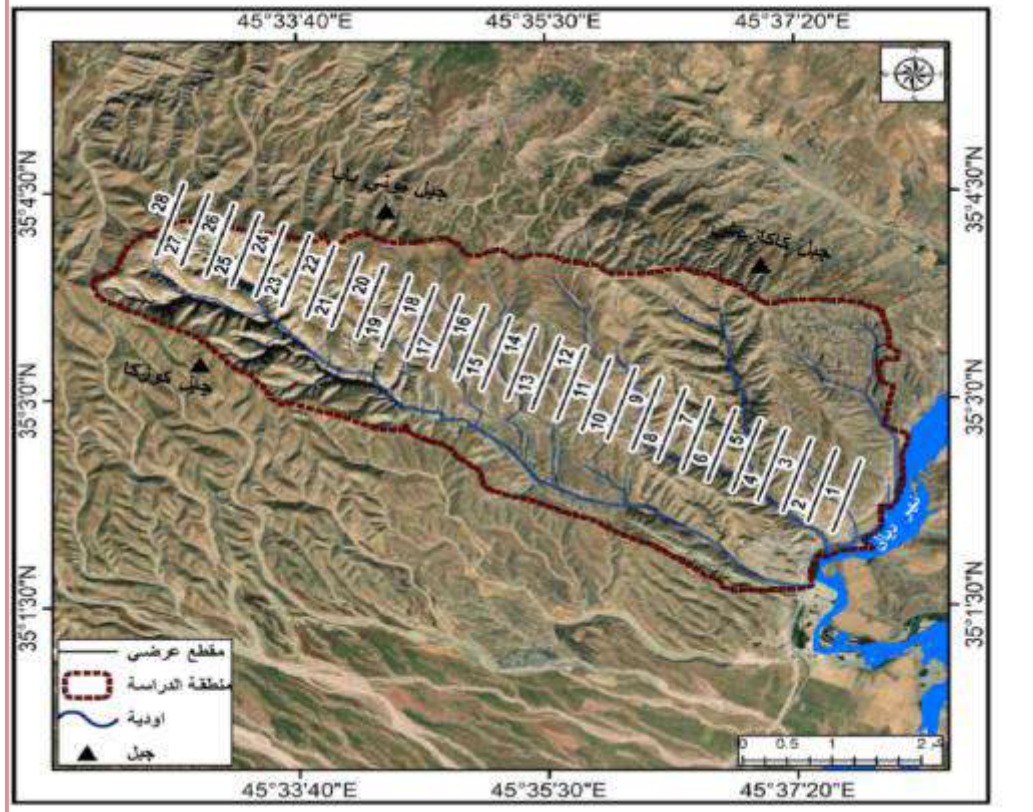
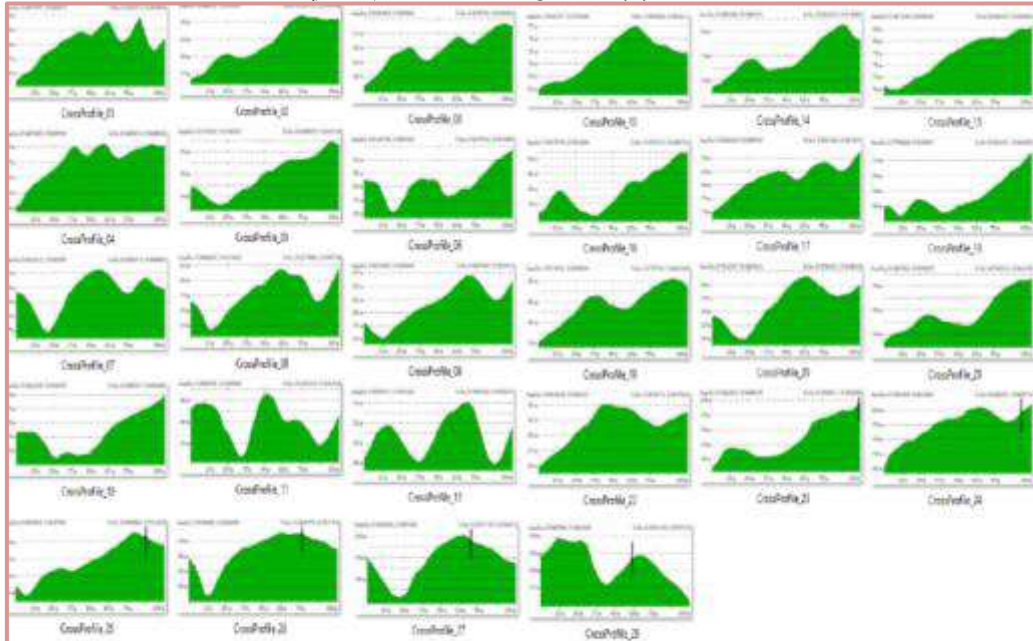
Global Mapper و ArcGIS لإنتاج منحنيات دقيقة تُظهر التباينات المورفولوجية في شكل الخوانق. وبناءً على هذه الأسس والمعايير، تم تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاثة أقسام رئيسية، مع اعتماد مسافة فاصلة مقدارها (2000 م) بين مقطع وآخر، وذلك بهدف الكشف عن المناطق التي تتوزع فيها الخوانق بدقة عالية. يمثل القسم الأول، وهو الجزء الشمالي من المنطقة، ما مجموعه (29) مقطعاً عرضياً، وقد تم اختيار أربعة مقاطع رئيسية منها لدراستها مورفومترياً بوصفها وحدات جيومورفولوجية متكاملة، وهي المقاطع (9، 16، 20، 28). أما القسم الثاني والثالث اللذان يمثلان الجزأين الأوسط والجنوبي من منطقة الدراسة، فقد تضمننا (28) مقطعاً عرضياً لكل منهما، وتم اختيار أربع وخمسة مقاطع رئيسية من كل قسم لدراستها تفصيلياً، وهي المقاطع (16، 17، 20، 25) و(11، 17، 23، 24، 25) على التوالي يلاحظ خريطة (5) (6) (7).

الخريطة (5) المقاطع العرضية للقسم الأول



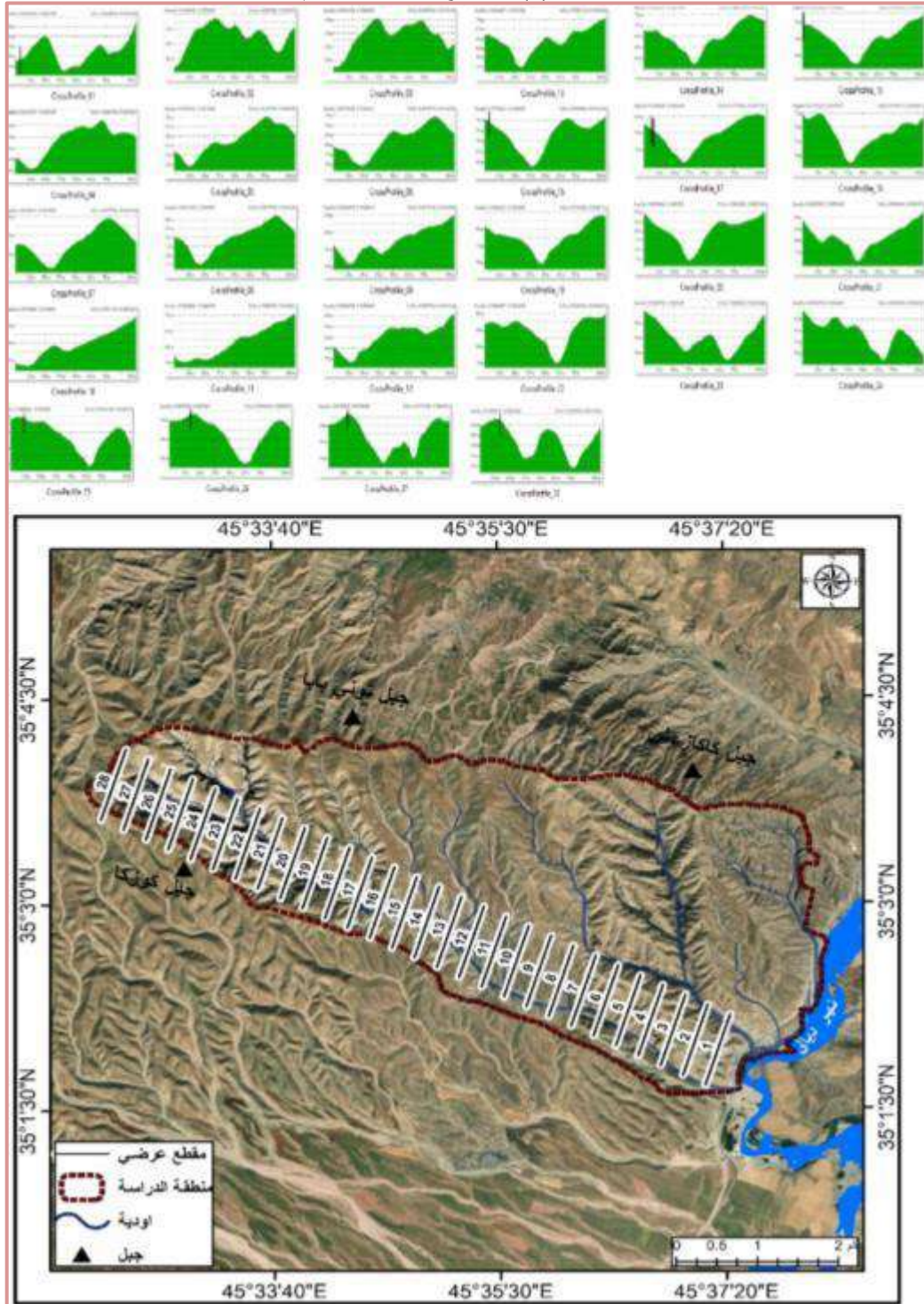
المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS)(Global Mapper).

الخريطة (6) المقاطع العرضية للقسم الثاني



المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS) (Global Mapper).

الخريطة (7) المقاطع العرضية للقسم الثالث



المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS) (Global Mapper).

1- القياسات المورفومترية للمقاطع المختارة للخوانق:

تم استخراج الخصائص المورفومترية للمقاطع العرضية المختارة للخوانق ضمن منطقة الدراسة، والتي شملت (عرض القاع، عرض القمة، طول الخانق، أدنى ارتفاع للقاع، وارتفاع الجوانب، المسافة الأفقية)، ولتسهيل اجراء المقارنة بين المقاطع المختارة فقد تم تقسيمها الى ثلاث اجزاء وعلى النحو الاتي، يلاحظ جدول(2):

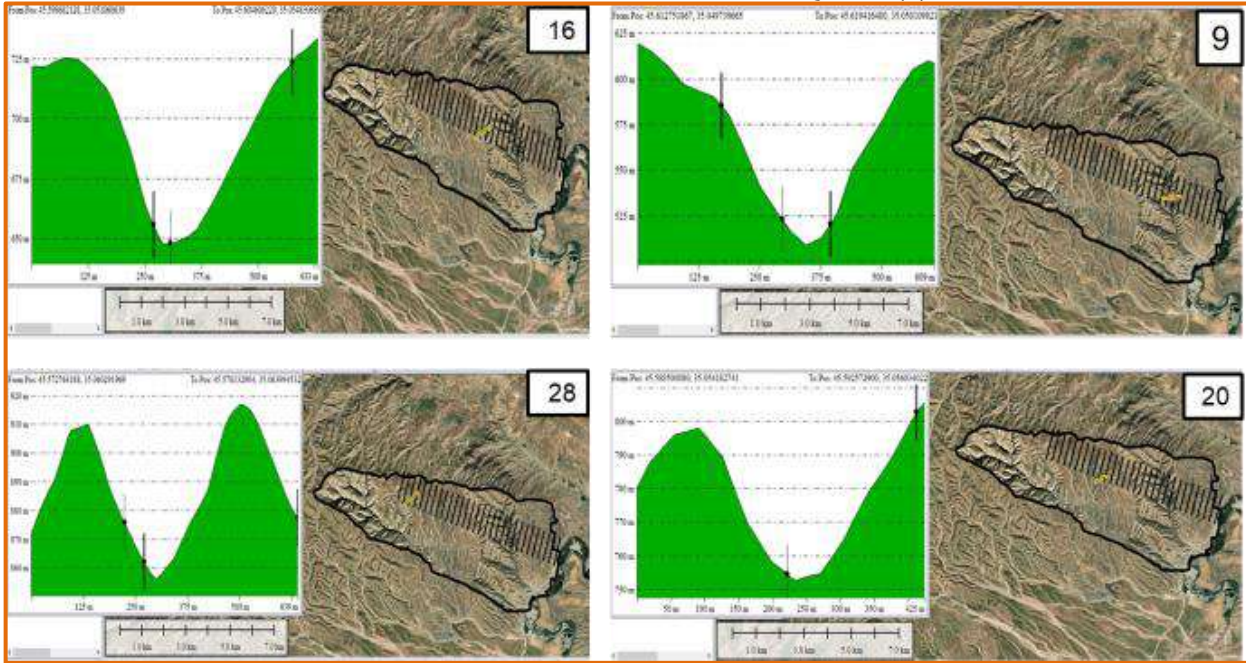
الجدول (2) القياسات المورفومترية للمقاطع العرضية المختارة

ت	المقطع العرضي المنتخب	عرض القاع (م)	عرض القمة (م)	طول الخانق (م)	أدنى ارتفاع للقاع	ارتفاع اليسار	ارتفاع اليمين (م)	المسافة الأفقية (م)
المقطع العرضي الاول	9	159.1	308	204	525	595	610	609
	16	153	445	271.8	650	725	727	633
	20	149.2	299.5	190.3	750	795	800	425
	28	106.9	320.6	191.4	860	910	919	639
المقطع العرضي الثاني	16	142.5	390.5	172.7	750	801	809	627
	17	64.4	263.1	76.8	830	861	871	400
	20	196.1	344.1	160	850	908	930	557
	25	311	501	72	830	960	1000	628
	26	95.9	249	171.3	925	955	975	500
المقطع العرضي الثالث	11	90	233	303	575	665	552	625
	17	228.9	286.9	195.5	730	768	766	379
	23	128	347	141	850	900	897	337
	24	120.7	338.8	149.7	875	1000	998	768
	25	91	387.9	135	850	975	974	839

المصدر: من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS) (Global Mapper).

القسم الاول: تُظهر القياسات المورفومترية للمقاطع العرضية (9، 16، 20، 28) الواقعة ضمن الأجزاء العليا من منطقة الدراسة تحكماً واضحاً للبنية الجيولوجية والتركييب الصخري، ولاسيما ضمن مكاشف تكوين المقدادية في تحديد أبعاد الخوانق وشكلها الهندسي. ففي المقطع (9)، الذي يقطع تعاقيات الطفل والغرين مع الحجر الرملي الحصوي، سُجِّل عرض قاع بلغ (159.1 م) مقابل عرض قمة (308 م) وطول خانق (204 م)، بما يعكس خانقاً متوسط الاتساع يمثل مرحلة تطور انتقالية. أما المقطع (16)، الذي يمر ضمن نطاق تزداد فيه سماكة الحجر الرملي الحصوي داخل تكوين المقدادية، فقد أظهر تضيقاً نسبياً في عرض القاع (153 م) يقابله اتساع ملحوظ في عرض القمة (445 م) مع طول خانق أعلى نسبياً (271.8 م)، مشيراً إلى سيادة النحت الراسي المدعوم بارتفاع مقاومة الصخور. وفي المقطع (20)، حيث تتداخل طبقات أكثر ليونة من الطفل والغرين، انخفض عرض القاع إلى (149.2 م) مع عرض قمة (299.5 م) وطول خانق (190.3 م)، مما يعكس توازناً أوضح بين النحت الراسي والجانبى. بينما يُعد المقطع (28) أكثر المقاطع تعبيراً عن أثر التباين الصخري داخل تكوين المقدادية، إذ سُجِّل أدنى عرض قاع (106.9 م) مقابل عرض قمة (320.6 م) وطول خانق (191.4 م)، وهو ما يدل على مرور المجرى ضمن نطاقات أكثر صلابة نسبياً أسهمت في تعميق القاع وتقييد التوسع الجانبى. وتؤكد قيم الارتفاعات الجانبية المتقاربة في جميع المقاطع (بفروق محدودة لا تتجاوز نحو 5-15 م) درجة عالية من التماثل المورفولوجي، ما يعكس استقراراً بنيوياً عاماً وغياب تأثير تكتوني مسيطر، في حين تشير المسافات الأفقية المتوسطة (425-633 م) إلى محدودية التوسع الجانبى. وبذلك يتضح أن تطور الخوانق في هذا القطاع يخضع بالدرجة الأولى لسيطرة التحكم الصخري لتكوين المقدادية، مع دور ثانوي للعوامل البنيوية، الأمر الذي يمنح هذه الخوانق طابعاً انتقالياً بين النحت الراسي المسيطر والتوسع الجانبى المحدود.

شكل (1) المقاطع العرضية للجزء الاول لمنطقة الدراسة



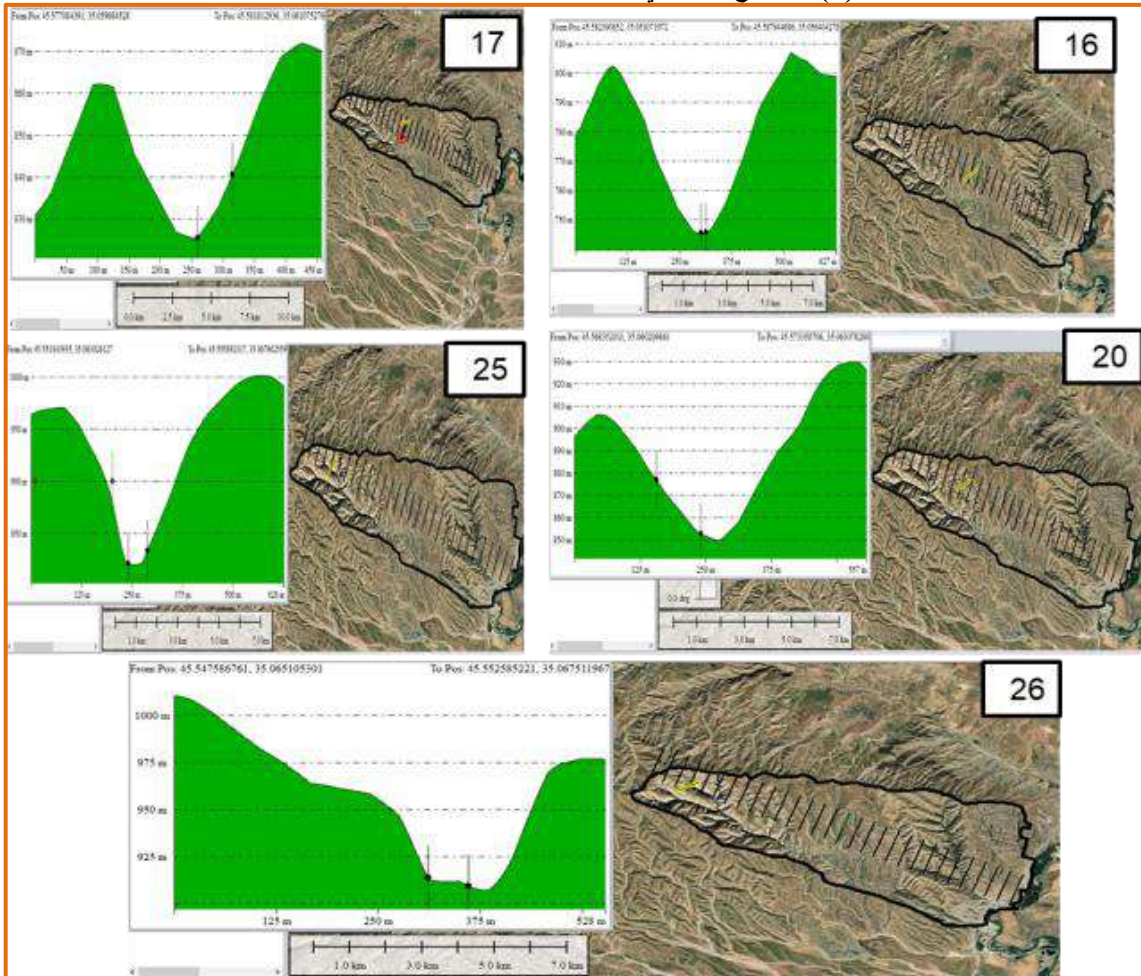
المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS) (Global Mapper).

القسم الثاني: يُظهر الجزء الأوسط من منطقة الدراسة، والذي يضم المقاطع العرضية (16، 17، 20، 25، 26) كما في شكل (2)، تبايناً مورفومترياً واضحاً يعكس انتقال السيطرة الجيولوجية من تعاقبات تكوين المقدادية إلى مكاشف أكثر اتساعاً من تكوين باي حسن، فقد تراوحت عروض القاع بين أدنى قيمة بلغت (64.4 م) في المقطع (17)، الذي يمثل خانقاً شديداً التضيق ومتأثراً بسيادة النحت الرأسى، وأقصى قيمة بلغت (311 م) في المقطع (25)، حيث يُسجّل توسع جانبي ملحوظ يتوافق مع مرور المجرى ضمن رواسب كونكولومريت أقل انتظاماً في مقاومتها. أما عروض القمة فقد تراوحت بين (249-501 م)، ما يعكس تفاوتاً كبيراً في درجة انفتاح المقطع العرضي واستجابة الجوانب الصخرية لعمليات النحت. وتُظهر أطوال الخوانق في هذا القسم تبايناً واضحاً، إذ سُجّلت قيم منخفضة نسبياً في بعض المقاطع، ولاسيما المقطع (25) الذي بلغ طوله نحو (72 م)، مترافقاً مع عرض قاع كبير (311 م) وارتفاعات جانبية مرتفعة نسبياً، مما يدل على خانق قصير نسبياً لكنه عميق، تطوّر في نطاق تسيطر عليه طبقات الكونكولومريت السميك لتكوين باي حسن، حيث تعمل الصخور الأكثر صلابة على تقييد التوسع الطولي وتوجيه طاقة الجريان نحو تعميق القاع. وعلى النقيض من ذلك، يُظهر المقطع (16) و(20) قيماً متوسطة لأطوال الخوانق (172.7-160 م) مع عروض قاع تراوحت بين (142.5-196.1 م)، وهو ما يشير إلى حالة توازن نسبي بين النحت الرأسى والجانبى في نطاقات انتقالية بين التكوينيّن. كما تعكس الفروقات المحدودة بين ارتفاعي الجانبين الأيمن والأيسر في معظم المقاطع (بفوارق لا تتجاوز نحو 10-20 م) درجة منخفضة من عدم التماثل المورفولوجي، ما يُرجّح غياب تأثير تكتوني إقليمي مسيطر، مع احتمال وجود تأثيرات بنيوية محلية أو اختلافات دقيقة في مقاومة الطبقات الصخرية. وبذلك يتضح أن الخوانق في هذا القطاع تمثل نماذج مركبة يتحكم في تطورها التفاعل بين التباين الصخري لتكويني المقدادية وباي حسن، والخصائص الهيدرولوجية للجريان النهري، الأمر الذي أدى إلى تباين ملحوظ في أبعاد المقاطع العرضية ودرجة تعمق الخوانق.

القسم الثالث: يُظهر القسم الثالث من منطقة الدراسة، والمتمثل بالمقاطع العرضية (11، 17، 23، 24، 25) كما في شكل (3)، سيادة واضحة للتأثير الجيولوجي لتكوين باي حسن ورواسب العصر الرباعي (الهلوسين) في التحكم بالخصائص المورفومترية للأودية والخوانق. فقد تراوحت عروض القاع بين (90-228.9 م)، في حين

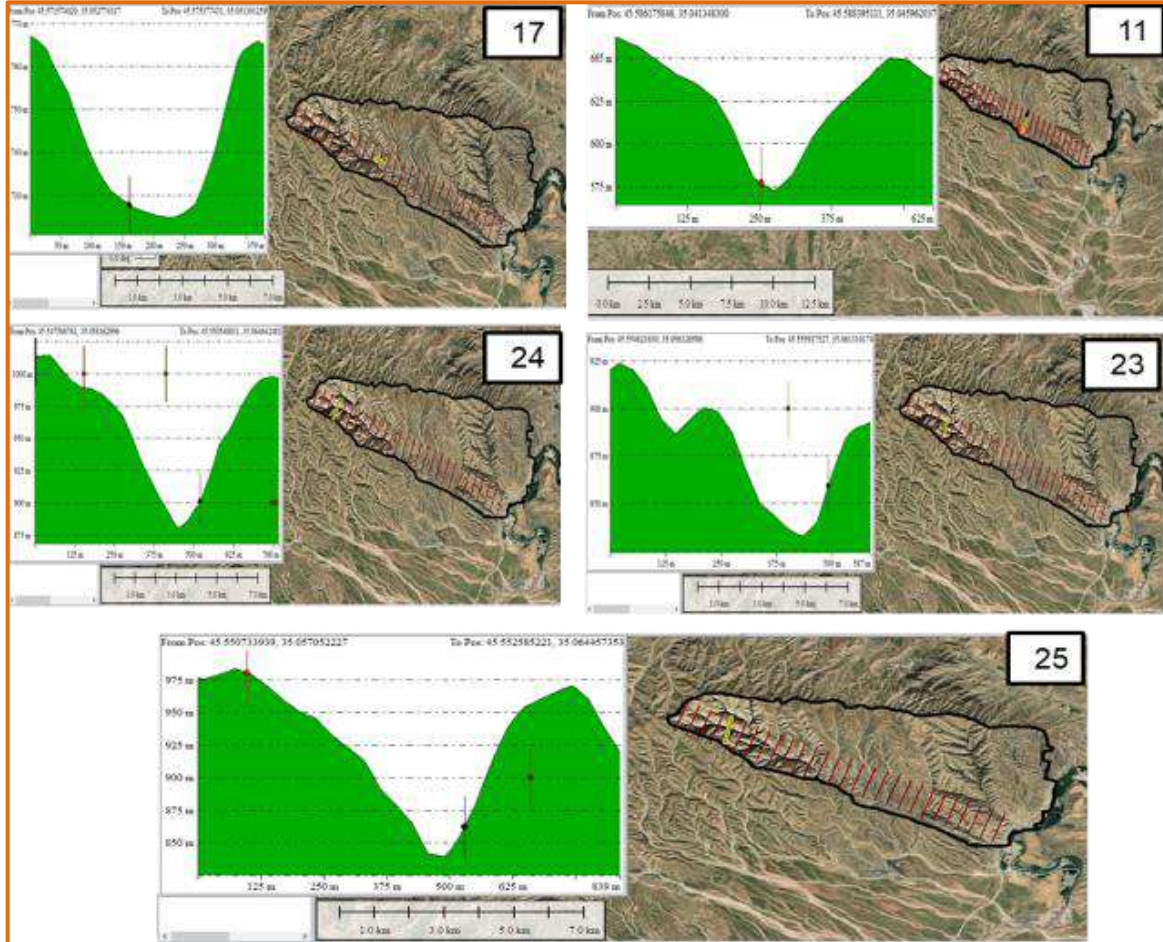
سُجِّلت عروض قمة مرتفعة نسبياً بلغت أقصاها (387.9 م) في المقطع (25)، مما يدل على أودية أكثر انفتاحاً واتساعاً مقارنة بالأجزاء العليا والوسطى، ويعكس تراجع سيادة النحت الرأسى لصالح النحت الجانبي. كما أظهرت أطوال الخوانق تبايناً ملحوظاً، إذ سجّل المقطع (11) أعلى طول بلغ (303 م) مترافقاً مع عرض قاع متوسط (90 م)، وهو ما يشير إلى تطور جانبي واضح للخائق ضمن نطاق تقل فيه مقاومة الصخور نتيجة سيادة الكونكلومريت غير المتماسكة نسبياً والرواسب النهرية الحديثة. وتُظهر الارتفاعات الجانبية في هذا القسم فروقات طفيفة إلى متوسطة، تعكس تأثيرات محلية للنحت الجانبي واختلافاً محدوداً في الصخرية، ولا سيما عند الانتقال من مكاشف تكوين باي حسن إلى رواسب ملئ الوديان الهولوسينية ذات القوام الرملي-الغريني. كما تشير المسافات الأفقية الكبيرة نسبياً المسجّلة في عدد من المقاطع (لاسيما 768-839 م في المقطعين 24 و25) إلى زيادة ملحوظة في اتساع الوادي، وهو ما يتوافق مع القيم المرتفعة لمعامل الشكل (V) وعامل عرض الوادي (VF)، مؤكداً دخول النظام النهري في مرحلة تطور متقدمة تتسم بضعف التحكم البنوي وتزايد فعالية التعرية الجانبية. وبذلك يُمكن تفسير الخوانق في هذا القطاع بوصفها نتاجاً لتفاعل تكوينات الكونكلومريت لتكوين باي حسن مع الرواسب النهرية الحديثة، حيث أسهم انخفاض المقاومة النسبية للصخور وتراكم الرواسب في تعزيز الاتساع الجانبي وتخفيف حدة التعميق الرأسى.

شكل (2) المقاطع العرضي للجزء الاوسط من منطقة الدراسة



المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (Global Mapper) (ArcGIS).

شكل (3) المقاطع العرضية للجزء الثالث للمنطقة للدراسة



المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS)(Global Mapper).

2- تحليل المؤشرات المورفوتكتونية لتطور الخوانق للمقاطع المختارة:

يعتمد تحليل تطور الخوانق في المقاطع النهرية على مؤشرات مورفوتكتونية رئيسة تشمل عمق الخانق، زاوية الانحدار، معامل الشكل، وعامل عرض الوادي. اذ توضح هذه المؤشرات الخصائص الطبوغرافية والهيدروديناميكية للنظام النهري، اذ يعكس عمق الخانق قدرة النهر على الحفر، وتشير زاوية الانحدار إلى ميل الجوانب وتصنيف الخوانق، بينما يحدد معامل الشكل شكل المقطع العرضي ومدى تضيق الخانق، ويبرز عامل عرض الوادي مدى تطور الوادي طولياً وعرضياً.

أ-العمق :- يعد العمق من أبرز الخصائص الهندسية التي تعكس قوة الحت العمودي للنهر وشدة التباين الطبوغرافي بين قاع المجرى وحواف الهضبة أو الجبل المحيط. ويُقاس العمق كفرق ارتفاع بين مستوى قاع الخانق وأعلى النقاط المحيطة به على جانبيه. يُظهر العمق علاقة مباشرة مع الطاقة الكامنة للنهر، إذ تزداد قيمته كلما ازداد الانحدار وارتفعت طاقة الجريان. كما يتأثر العمق بالبنية الصخرية، فالمناطق ذات الصخور المتكسرة أو المفصّلة تسمح بزيادة الحت العمودي مقارنة بالصخور المتماسكة. ويمثل العمق أيضاً مؤشراً جيومورفولوجياً لتقدير معدل الرفع التكتوني أو النحت النهري التاريخي، حيث تعكس الخوانق العميقة استجابة النهر لحركات الرفع المستمرة أو لتغيرات في مستوى الأساس النهري. أما من حيث القياس، فيُعتمد على التحليل الطبوغرافي

الرقمي باستخدام بيانات DEM أو المقاطع الطولية للنهر، لتحديد عمق الخانق عند مقاطع محددة ومقارنة فروقات الارتفاع بين قاع المجرى وحافته وذلك من خلال المعادلة التالية (4) P Keller, E. A. & Pinter, N. (2002) (138) :-

$$D=Er-Esc$$

حيث أن :

D: عمق الخانق.

Er: متوسط ارتفاع حافتي الخانق (أعلى نقطة على جانبي الوادي)

Esc: ارتفاع قاع المجرى (Stream Channel Elevation) داخل الخانق

عززت قيم عمق الخانق (D) المحسوبة للمقاطع العرضية في القطاعات الثلاثة من الفهم التفسيري لتطور الخوانق وعلاقته بالبنية الجيولوجية والمرحلة التطورية للنظام النهري. ومن الجدول (3) نلاحظ (القسم الأعلى) المقاطع (9، 16، 20، 28)، تراوحت أعماق الخوانق بين (47.5-77.5 م)، مع تسجيل أعلى قيمة في المقطع (9) وأدناها في المقطع (20)، وهو ما يعكس سيادة نسبية للنحت الرأسي ضمن نطاق تكوين المقذابية، مع بقاء العمق ضمن حدود متوسطة نتيجة التوازن بين الطبقات الصلبة (الحجر الرملي الحصى) والأضعف (الطفل والغرين)، الأمر الذي حدّ من التعميق الشديد ومنح الخوانق طابعًا انتقاليًا. أما في (القسم الأوسط) (المقاطع 16، 17، 20، 25، 26)، فتُظهر قيم العمق تباينًا حادًا تراوح بين (36-150 م)، إذ يُسجّل المقطع (25) أعلى عمق خانق في منطقة الدراسة (150 م)، ما يدل على سيادة واضحة للنحت العمودي المرتبط بمرور المجرى ضمن طبقات تكوين باي حسن الكونكلومرنتية السمكية ذات المقاومة العالية نتيجة وجود مواد كلسية لاحمة، والتي تعمل على تقبيد التوسع الجانبي وتوجيه طاقة الجريان نحو التعميق الرأسي. في المقابل، تُظهر المقاطع (17) و(26) أعماقًا أقل نسبيًا (36-40 م)، ما يعكس تأثير اختلاف الصخرية محليًا أو ازدياد فعالية النحت الجانبي في نطاقات أقل تماسكًا. وفي (القسم الأسفل) المقاطع (11، 17، 23، 24، 25)، تتراوح أعماق الخوانق بين (33.5-124.5 م)، مع تسجيل قيم مرتفعة في المقطعين (24) و(25)، ما يشير إلى استمرار التعميق الرأسي محليًا في مواضع محددة ضمن تكوين باي حسن، إلا أن الاتجاه العام يتمثل بانخفاض نسبي في أعماق الخوانق مقارنة بالقسم الأوسط، بالتزامن مع ازدياد الاتساع الجانبي وارتفاع قيم معامل الشكل (V) وعامل عرض الوادي (VF)، وهو ما يعكس انتقال النظام النهري نحو مرحلة نضج متقدم تتراجع فيها سيادة النحت الرأسي لصالح النحت الجانبي، خاصة مع تأثير رواسب الهولوسين. وبذلك تؤكد قيم عمق الخانق أن أشد مراحل التعميق تتركز في القسم الأوسط من منطقة الدراسة، نتيجة التفاعل بين الصلابة الصخرية لتكوين باي حسن والطاقة الهيدرولوجية للجريان، في حين تمثل الأجزاء العليا والسفلى مراحل انتقالية تعكس اختلاف السيطرة البنوية والرسوبية على تطور الخوانق.

الجدول (3) عمق الخانق للمقاطع المختارة من منطقة الدراسة

ت	المقطع العرضي المنتخب	عمق الخانق (D) بالمتري
المقطع العرضي الاول	9	77.5
	16	76
	20	47.5
	28	54.5

55	16	المقطع العرضي الثاني
36	17	
69	20	
150	25	
40	26	
33.5	11	المقطع العرضي الثالث
37	17	
48.5	23	
124	24	
124.5	25	

المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS) (Global Mapper).

ب- انحدار جوانب الخائق (Side Slope Gradient-Ss) : إذ يُعبر عن مدى انحدار الجدران الجانبية للخائق و يُقاس عادةً كمتوسط لزاوية الانحدار أو نسبة الانحدار لجدران الخائق من القمة إلى القاع من خلال المعادلة الاتية (5) (Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998) P190) :-

$$S = \tan^{-1} \left(\frac{\text{التغير في الارتفاع}}{\text{المسافة الأفقية}} \right) \times \frac{180}{\pi}$$

ومن ملاحظة جدول (4) ، تُظهر قيم زوايا الانحدار (S) التباين الواضح في الخصائص المورفومترية وتأثير البنية الجيولوجية على تطور الخوائق، مع دور ملموس للجريان المائي في توجيه الطاقة التعرية. إذ تتراوح الزوايا عمومًا بين (3.07°) و(13.43°)، مما يدل على تفاوت شدة النحت الرأسي والجانبى عبر أقسام منطقة الدراسة. في (القسم الأعلى) المقاطع (9، 16، 20، 28) ضمن تكوين المقدادية، تراوحت الزوايا بين (4.88°-7.25°)، مع انحدارات متوسطة في معظم المقاطع وخفيفة في المقطع (28). وتنعكس هذه القيم مرحلة تطور جيومورفولوجي متوسطة، حيث يحقق النحت الرأسي توازنًا مع النحت الجانبي، ويحدد التباين في صلابة الصخور مسار الجريان المائي، فتتركز طاقة التعرية على طبقات الطُفَل الأقل مقاومة، بينما تؤثر الطبقات الحجرية الحصوية على تثبيت جوانب الخائق جزئيًا. أما في (القسم الأوسط) المقاطع (16، 17، 20، 25، 26) ضمن تكوين باي حسن، تراوحت الزوايا بين (4.57°-13.43°)، مع تسجيل أعلى قيمة في المقطع (25) مترافقًا مع أعظم عمق خائق (150 م). يشير ذلك إلى سيطرة النحت الرأسي وتوجيه طاقة الجريان نحو تعميق القاع، بينما الانحدارات الأقل في المقطع (26) تعكس توسعًا أكبر لقاع الوادي وانخفاضًا نسبيًا في تركيز طاقة التعرية. وهكذا، يُظهر النمط أن الجريان المائي يعمل بشكل انتقائي على الطبقات الأقل مقاومة، مع تعزيز الانحدارات في الطبقات الصلبة. وفي (القسم السفلي) المقاطع (11، 17، 23، 24، 25) ضمن تكوين باي حسن ورواسب الهولوسين، تراوحت الزوايا بين (3.07°-9.17°)، مع انحدارات خفيفة إلى متوسطة. يشير ذلك إلى مرحلة نضج متقدم، حيث تتراجع سيادة النحت الرأسي لصالح التوسع الجانبي، مدعومًا بانخفاض مقاومة الرواسب الحديثة وتوزيع طاقة التعرية الناتجة عن الجريان المائي على مساحة أكبر من القاع، مما يسهم في اتساع الأودية وتقليل الانحدارات الحادة، مع استمرار تأثير الطبقات الصلبة المحلية على تعميق الخوائق موضعيًا.

جدول (4) قيم زاوية الانحدار للمقاطع المختارة من منطقة الدراسة

التصنيف (حسب يونك 1972)	زاوية الانحدار (S) بالدرجات	المقطع العرضي المنتخب	ت
متوسط	7.25	9	المقطع العرضي الاول
متوسط	6.85	16	
متوسط	6.38	20	
خفيف	4.88	28	
متوسط	5.01	16	المقطع العرضي الثاني
متوسط	5.14	17	
متوسط	7.06	20	
مائل/شديد	13.43	25	
خفيف	4.57	26	المقطع العرضي الثالث
خفيف	3.07	11	
متوسط	5.58	17	
متوسط	8.19	23	
متوسط	9.17	24	
متوسط	8.44	25	

المصدر : من عمل الباحثة الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برامج التحليل المكاني (ArcGIS) (Global Mapper).

سطح شبه مستو ، 2-5 ° أنحدار ضعيف ، 5-10 ° أنحدار متوسط ، 10-15 ° أنحدار شديد ، 15 > ° أنحدار شديد جداً 2-0 °

ويستنتج مما سبق، ان التباين في زوايا الانحدار بين أقسام منطقة الدراسة يعكس اختلافاً في شدة العمليات الجيومورفولوجية المسيطرة، ويؤكد أن تطور المنحدرات يرتبط بتفاعل معقد بين العوامل البنوية، الهيدرولوجية ، والصخرية . كما تتكامل هذه النتائج مع مؤشرات عمق الخنادق، معامل الشكل، وعامل عرض الوادي (VF) ، مما يدعم التفسير المورفوتكتوني الشامل لتطور النظام النهري في منطقة الدراسة.

ج- شكل المقطع العرضي (Cross-sectional Shape) :-

وهو مؤشر يستخدم لتحديد ما إذا كان الخانق يأخذ شكل V أو U ، يُقاس لتقييم مدى ضيق الخانق في الأسفل واتساعه في الأعلى. تشير القيم المنخفضة (قريبة من الصفر) إلى شكل V حاد جداً أي الخانق عميق وضيق جداً في الأسفل ، أما إذا كانت قيمته أعلى أي (تقترب من 1) فتشير إلى أن القاع أوسع، وبالتالي يبتعد عن الشكل V الحاد ومن خلال المعادلة التالية (6) (El Hamdouni, R., et al. (2008) P 152) :-

$$V = \frac{Wf}{Wr}$$

حيث إن :

Wf : عرض قاع الخانق.

Wr : عرض الخانق عند القمة.

ومن خلال تحليل بيانات جدول (5)، يتضح أن قيم معامل الشكل (V) في المقاطع العرضية المنتخبة من منطقة الدراسة تراوحت بين (0.24) و(0.80)، وهو نطاق واسع يعكس تبايناً مورفولوجياً واضحاً في أشكال الخوانق، واختلافاً في كفاءة الجريان المائي وفي مقاومة التكوينات الصخرية، فضلاً عن التباين في التأثيرات البنيوية المحلية. في (القسم الأول) من منطقة الدراسة، الذي يطابق نطاق انتشار تكوين المقعدية بطبقاته الرملية والطبقية المتعاقبة، تراوحت قيم معامل الشكل بين (0.33–0.52). وقد سجل المقطعان (9) و(20) قيمًا بلغت (0.52) و(0.50) على التوالي، وهي قيم متوسطة نسبياً تشير إلى مقاطع عرضية متوازنة، لا تُظهر سيادة مطلقة للنحت الراسي ولا اتساعاً جانبياً كبيراً. ويعكس ذلك مرحلة تطور جيومورفولوجي انتقالية، تتقارب فيها فعالية التعميق الراسي الناتج عن الجريان المائي مع تأثير التعرية الجانبية، نتيجة تباين صلابة الطبقات الصخرية وتوزيع طاقة الجريان داخل مجرى ذي انحدارات متوسطة. أما القيم الأقل نسبياً في المقطعين (16) و(28) و(0.34 و0.33)، فتشير إلى زيادة طفيفة في الاتساع الجانبي، يمكن ربطها بوجود طبقات أقل مقاومة تسمح بتشتت طاقة الجريان أفقياً.

جدول (5) قيم معامل شكل الحوض للمقاطع المختارة من منطقة الدراسة

معامل الشكل (V)	المقطع العرضي المنتخب	ت
0.52	9	المقطع العرضي الأول
0.34	16	
0.50	20	
0.33	28	
0.37	16	المقطع العرضي الثاني
0.25	17	
0.57	20	
0.62	25	
0.39	26	المقطع العرضي الثالث
0.39	11	
0.80	17	
0.37	23	
0.36	24	
0.24	25	

المصدر: من عمل الباحثة.

أما (القسم الثاني) والذي يمثل نطاقاً انتقالياً بين تكوين المقعدية وتكوين باي حسن، بأعلى درجات التباين في قيم معامل الشكل، إذ تراوحت القيم بين (0.25) في المقطع (17) و(0.62) في المقطع (25). وتعكس القيمة المنخفضة جداً في المقطع (17) خانقاً ضيقاً وعميقاً نسبياً، يشير إلى سيطرة واضحة للنحت الراسي وارتفاع كفاءة الجريان المائي في التعميق، وهو ما يتوافق مع تسجيل زوايا انحدار متوسطة إلى مرتفعة في هذا القطاع. في المقابل، تشير القيمة المرتفعة في المقطع (25) إلى اتساع ملحوظ لقطاع الوادي وتزايد دور النحت الجانبي، رغم العمق الكبير المسجل في هذا المقطع، ما يدل على تداخل تأثير البنية الجيولوجية كوجود فواصل أو ضعف بنيوي مع الطاقة الهيدرولوجية العالية، التي تُعيد توزيع فعل التعرية بين الاتجاهين الراسي والجانبي. وفي (القسم الثالث) الذي يضم أجزاء من تكوين باي حسن إضافة إلى الرواسب الحديثة، فقد تراوحت قيم معامل الشكل بين (0.24–0.80)، مسجلةً أوسع مدى من التباين بين أقسام منطقة الدراسة. إذ تشير القيمة المرتفعة جداً (0.80) في المقطع (17) إلى مقطع عرضي واسع نسبياً، يعكس مرحلة تطور متقدمة يتراجع فيها النحت الراسي لصالح النحت الجانبي، نتيجة انخفاض الانحدار النسبي وتزايد تراكم الرواسب وتشتت طاقة الجريان.

وعلى النقيض من ذلك، تُظهر القيمة المنخفضة جداً في المقطع (25) (0.235) خانقاً شديد الضيق والعمق، يخضع لسيطرة قوية للنحت العمودي، وهو ما يمكن تفسيره بزيادة الانحدار المحلي أو بتأثيرات بنيوية، مثل التقاطعات الفاصلة أو التغير المفاجئ في مستوى القاعدة، التي تُعيد تنشيط التعميق الرأسي رغم الموقع السفلي من النظام النهري.

3-نسبة عرض قاع الوادي إلى ارتفاع الوادي (Valley Floor Width to Valley Height Ratio - Vf)

وهو من أهم المؤشرات المورفوتكتونية المستخدمة في تحليل الأودية العميقة، لما له من قدرة عالية على تشخيص درجة التوازن بين الرفع التكتوني وعمليات التعرية النهرية تُشير الأودية ذات الشكل V الحاد (V-shaped valleys) إلى تعميق رأسي مستمر، بينما تُشير الأودية ذات القاع الواسع (U-shaped or flat-floored valleys) إلى سيادة التعرية الجانبية كما في المعادلة التالية (7) (P121-122) Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977).

$$VF = \frac{vf}{(Ecs - Eld) + (Ecs - Erd) \div 2}$$

اذ:

VF : نسبة عرض قاع الوادي إلى ارتفاع الوادي .

Vf : عرض قاع الوادي

Eld : ارتفاع حد الوادي الأيسر عند النظر باتجاه المصب.

Erd : ارتفاع حد الوادي الأيمن عند النظر باتجاه المصب.

Esc : ارتفاع قاع المجرى أو قاع الوادي.

- القيم المنخفضة لـ (Vf) مثلاً: $1 < Vf$ تُشير إلى أودية ضيقة وعميقة ذات شكل V حاد هذا غالباً ما يكون دليلاً على نشاط تكتوني مرتفع يتسبب في تعميق رأسي سريع للمجرى (Down-cutting) يواكب الرفع.
- القيم المتوسطة (1 - 1.5): تُشير إلى مناطق ذات نشاط تكتوني معتدل أو في مرحلة انتقالية.
- القيم العالية لـ: $Vf (> 1.5)$ تُشير إلى أودية ذات قاع عريض ومسطح، وشكل (U shaped or flat-floored valleys). هذا غالباً ما يكون دليلاً على نشاط تكتوني منخفض أو غائب، مما يسمح للتعرية الجانبية (Lateral erosion) بتوسيع قاع الوادي.
- يُعد Vf مؤشراً فعالاً لتحديد المناطق التي لا تزال فيها عمليات التعميق الرأسي نشطة بسبب الرفع التكتوني المستمر.
- وبالاستناد إلى بيانات جدول (6)، تراوحت قيم Vf في المقاطع العرضية المنتخبة من منطقة الدراسة بين (0.73) و(6.19)، وهو مدى واسع يعكس تبايناً واضحاً في درجة النضج الجيومورفولوجي، واختلاف شدة النشاط التكتوني المحلي وكفاءة العمل الهيدرولوجي. إذ سجل (القسم الأول) لقيم Vf تراوحت بين (1.96) - (3.14)، حيث بلغت (2.05) في المقطع (9)، و(2.01) في المقطع (16)، وارتفعت إلى (3.14) في المقطع (20)، بينما سجل المقطع (28) قيمة قريبة من الحد الأدنى (1.96).

جدول (6) قيم معامل عرض قاع الوادي إلى ارتفاع الوادي

قيمة VF	المقطع العرضي المنتخب	ت
2.05	9	المقطع العرضي الاول
2.01	16	
3.14	20	
1.96	28	
2.59	16	المقطع العرضي الثاني
1.79	17	
2.84	20	
2.07	25	
2.40	26	المقطع العرضي الثالث
2.69	11	
6.19	17	
2.64	23	
0.97	24	
0.73	25	

المصدر :- من عمل الباحثة .

وتشير هذه القيم، التي تقع جميعها ضمن فئة القيم العالية (>1.5) ، إلى أودية ذات قيعان عريضة نسبياً، تتسم بسيادة واضحة للتعرية الجانبية مقارنة بالتعميق الرأسى. ويعكس ذلك انخفاضاً نسبياً في تأثير الرفع التكتوني خلال مرحلة تطور هذا القسم ، فضلاً عن تأثير الصخرية السائدة (طبقات متعاقبة متفاوتة الصلابة) التي تسمح بتشتت طاقة الجريان أفقياً وتوسيع قاع الوادي تدريجياً. أما (القسم الثاني) ، فقد تراوحت قيم (Vf) فيه بين (1.79-2.84) ، إذ سجل المقطع (17) أدنى قيمة (1.79)، في حين بلغت القيمة (2.84) في المقطع (20)، وتراوحت بقية المقاطع بين (2.07-2.59). وتعكس هذه القيم أيضاً سيادة النحت الجانبي واتساع قيعان الأودية ، إلا أن انخفاض قيمة Vf نسبياً في المقطع (17) مقارنة ببقية المقاطع يشير إلى زيادة نسبية في التعميق الرأسى، وهو ما يتوافق مع انخفاض قيم معامل الشكل (V) وارتفاع عمق الخانق وزاوية الانحدار في هذا الموضع. ويُرجح أن هذا التباين يرتبط بتأثيرات بنيوية محلية أو بتغير مفاجئ في طاقة الجريان، أدى إلى إعادة تنشيط النحت العمودي ضمن إطار عام يتسم بالاستقرار التكتوني النسبي. هذا وأتسم (القسم الثالث) بأعلى درجات التباين في قيم Vf ، إذ تراوحت بين (0.73) و(6.19). فقد سجل المقطع (17) أعلى قيمة بلغت (6.19) ، ما يدل على وادٍ واسع القاع شديد الاتساع، يعكس مرحلة تطور جيومورفولوجي متقدمة، تتراجع فيها عمليات التعميق الرأسى لصالح التعرية الجانبية والترسيب، نتيجة انخفاض الانحدار النسبي وتشتت طاقة الجريان. وعلى النقيض من ذلك، سجل المقطعان (24) و(25) قيمًا منخفضة بلغت (0.97) و(0.73) على التوالي، وهي قيم تقع ضمن نطاق الأودية ذات الشكل V الحاد، وتشير بوضوح إلى تعميق رأسى نشط قد يرتبط إما بارتفاع محلي في الانحدار، أو بتأثيرات بنيوية (فواصل، صدوع)، أو بانخفاض محلي في مستوى القاعدة النهري، ما أدى إلى زيادة طاقة الجريان وتركيز النحت العمودي. بصورة عامة، تُظهر قيم مؤشر Vf في منطقة الدراسة أن معظم المقاطع تقع ضمن فئة القيم العالية، ما يشير إلى أن النظام النهري يميل إجمالاً إلى مرحلة تتسم بضعف أو تراجع النشاط التكتوني وسيادة التعرية الجانبية. غير أن وجود مقاطع ذات قيم منخفضة لـ Vf ، ولاسيما في القسم الثالث، يؤكد أن التطور المورفولوجي لم يكن متجانساً، بل خضع لتأثيرات موضعية ناتجة عن تداخل العوامل البنيوية والهيدرولوجية. كما تتكامل هذه النتائج مع مؤشرات عمق الخانق (D) ، وزاوية الانحدار (S) ، ومعامل الشكل (V) ، لتعزز التفسير المورفوتكتوني الشامل لتطور الخوانق في منطقة الدراسة، وتؤكد أن بعض أجزاء الحوض لا تزال تشهد تعميقاً رأسياً نشطاً، في حين دخلت أجزاء أخرى مرحلة النضج والتوسع الجانبي.

أنواع الخوانق ضمن منطقة الدراسة

تُعد الخوانق النهرية مؤشراً جيومورفولوجياً حساساً للتفاعل بين العمليات النهرية والبنية الجيولوجية والتاريخ التطوري للأحواض النهرية. ويُعد التحليل المورفومتري أداة أساسية لتفسير أشكال الخوانق ودرجات تطورها، لما يوفره من مؤشرات كمية دقيقة تكشف عن سيادة النحت الرأسي أو الجانبي. إذ تسهم قياسات عمق الخانق (D)، وزوايا انحدار الجوانب (S)، ومعامل الشكل العرضي (V)، ونسبة عرض قاع الوادي إلى ارتفاعه (Vf) في التمييز بين الخوانق ذات الشكل (V-shaped) الحاد، الدالة على تعميق رأسي نشط، وتلك ذات القيعان العريضة التي تعكس مرحلة تطور أكثر تقدماً تتراجع فيها شدة التعميق العمودي لصالح التوسع الجانبي (U-shaped) (8) (م. د بسة علي عبد الحسين. (2025) ص 2412). وينتج الربط بين هذه المؤشرات المورفومترية وأشكال الخوانق المرصودة ميدانياً فهماً متكاملاً لآليات تطورها المكاني ضمن منطقة الدراسة فتختلف الأشكال فيها إلى عدة أنواع وهي كالتال:-

1- خانق الشقوق (Slot Canyons): وهي خانق ضيقة جداً بشكل استثنائي، لدرجة أن ضوء الشمس قد لا يصل إلى قاعها في بعض الأحيان. جدرانها تمثل نفس التكوين الصخري الذي نشأت منه غالباً ومظهرها ناتج بسبب نحت المياه. وتتشكل في الصخور الرسوبية الناعمة نسبياً (مثل الحجر الرملي) بفعل التآكل السريع للمياه الجارية والسيول، خاصة في المناطق التي لا يوجد غطاء نباتي كبير يثبت التربة (9) (Laity, J. J. (2008) P 318)، تلاحظ الصورة (1-أ، ب).

2- لخوانق المعقدة/غير المنتظمة: لا تتبع هذه الخوانق شكلاً هندسياً بسيطاً، بل تكون مزيجاً من الأشكال المختلفة نتيجة لتأثيرات جيولوجية معقدة (مثل الصدوع المتعددة، أو تباين في أنواع الصخور)، أو عمليات تعرية متعددة (10) (Twidale, C. R. (2004) P164-165)، تلاحظ الصورة (2-أ، ب).

صورة (1-أ، ب) خانق الشقوق ضمن منطقة الدراسة



صورة (2- أ و ب) الخوانق الغير منتظمة في منطقة الدراسة



المصدر : الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/8/4.

3- الخوانق على شكل حرف V (V-shaped Canyons) :- وتتميز بجوانب شديدة الانحدار تلتقي تقريبًا في نقطة واحدة في القاع، مما يعطيها شكل حرف "V" تتكون عندما يكون النحت الرأسي للنهر هو السائد وتكون الصخور مقاومة للتعرية، أو في المراحل الأولى لتكوين الوادي. غالبًا ما تتحول إلى أشكال أوسع مع تطور الوادي بمرور الزمن وتزايد التجوية الجانبية (11) (Summerfield, M. A. (1991) P 289-291) تلاحظ الصورة (3- أ / ب) و (ج / د) .

الصورة (3) الخوانق على شكل V-Shaped ضمن وسط واعماق المنطقة



المصدر:- الدراسة الميدانية بتاريخ 2025/8/4

4- الخوانق على شكل حرف "U" (U-shaped Canyons) وهي أودية أو خوانق يتميز مقطعها العرضي بقاع عريض نسبياً وجوانب منحدره لكنها غير حادة، بحيث يأخذ شكل الحرف اللاتيني U بدلاً من الشكل الحاد V. ويُعد هذا النمط دلالة على تراجع النحت الرأسى وسيادة التعرية الجانبية خلال مرحلة متقدمة من التطور الجيومورفولوجي⁽¹²⁾ (أبو العينين، حسن سيد أحمد (1995) ص 192)، تلاحظ الصورة (4- أ ب) ويلاحظ الخائق (26) من المقطع العرضي .

الصورة (4-أ وب) الخوانق ذات الشكل U ضمن منطقة الدراسة



المصدر :- الدراسة الميدانية بتاريخ 2025 /8 /4 .

5- الخوانق الصندوقية (Box Canyons) : تتميز بجدران جانبية شبه عمودية أو شديدة الانحدار بشكل ملحوظ وقاع مسطح نسبياً. غالباً ما تكون مفتوحة من جانب واحد فقط (مدخل الوادي) ومحاطة بالجدران من الجوانب الثلاثة الأخرى، تتكون عادةً في الطبقات الصخرية الأفقية أو ذات الميل البسيط، حيث يتفوق النحت الرأسى للنهر على التعرية الجانبية⁽¹³⁾ P107-109 (1964) Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P.، تلاحظ الصورة (5).

الصورة (5) الخوانق الصندوقية ضمن منطقة الدراسة



المصدر :- الدراسة الميدانية بتاريخ 2025 / 8 / 4 .

الاستنتاجات :-

1. تؤكد النتائج أن أشكال الخوانق المرصودة ميدانيًا تمثل استجابة مباشرة لقيم المؤشرات المورفومترية، ولاسيما (D)، S، V، Vf).
 2. تتطابق الخوانق ذات الشكل V الحاد ميدانيًا مع المقاطع التي تسجل تعميقًا رأسيًا عاليًا وقيم Vf منخفضة، ما يدل على نشاط تعرية عمودية مستمر.
 3. ترتبط الخوانق ذات الشكل U والأنماط المعقدة بمقاطع تتسم باتساع قاع الوادي وارتفاع قيم Vf، بما يعكس مرحلة نضج جيومورفولوجي متقدمة.
 4. يُعد القسم الأوسط من منطقة الدراسة بؤرة التطور التعميقي للخوانق، نتيجة تداخل الصلابة الصخرية مع الطاقة الهيدرولوجية المرتفعة.
 5. يُظهر تباين الأشكال الميدانية داخل القطاع الواحد تأثيرًا بنيويًا محليًا يفوق أحيانًا أثر الموقع الطولي ضمن الحوض.
 6. أثبت التكامل بين التحليل الرقمي والمشاهدة الحقلية فاعلية عالية في تفسير تطور الخوانق كوحدات جيومورفولوجية متكاملة.

التوصيات :-

1. التوسع في استخدام المؤشرات المورفومترية لدراسة الخوانق في مناطق جبلية أخرى بالعراق.
2. ربط نتائج التحليل الجيومورفولوجي بدراسات المخاطر الطبيعية، ولاسيما الانهيارات والتساقط الصخري والحصوي لأن منطقة البحث تكثر فيها هذا النوع من التساقطات التي تعود إلى أصل التكوين الصخري .
3. اعتماد نتائج البحث في تخطيط استخدامات الأراضي والمشاريع الهندسية ضمن المناطق الجبلية.
4. إجراء دراسات زمنية باستخدام بيانات متعددة الفترات لرصد تطور الخوانق مستقبلًا.

5. تعزيز التكامل بين الدراسات الجيومورفولوجية والجيولوجية النيبوية لفهم أدق لتاريخ تطور الأودية.

المصادر

- 1- Ma'ala, K. A. (2007). The geology of Sulaimaniya Quadrangle, NI – 38 – 3 (G.H.M. – 10). State Company of Geological Survey and Mining (GEOSURV), Department of Geological Survey, Baghdad.
- 2- اسراء عبد الواحد علي. (2025). دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالجريان السطحي والاستدامة البيئية-دراسة مستقبلية (2050-2025) لحوض وادي حقلان. مداد الآداب، 15(41)، 1071-1112.
- 3- Mutlak, A. M., Hussein, B. A. A., Adhab, A. Z., & Hammadi, A. B. K. (2024). Analyzing the Impact of Climate Drought on Moisture Stress and Vegetation in Kirkuk Governorate within Iraq, Using (GIS&RS).
- 4- Keller, E. A. & Pinter, N. (2002) 'Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape ' Prentice Hall 'P 138.
- 5- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998) 'Principles of Geographical Information Systems ' Oxford University Press 'P190.
- 6- E I Hamdouni, R., et al. (2008) 'Relative tectonic activity assessment of the mountain fronts ' Geomorphology, Vol. 102.P 152.
- 7- Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977) 'Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California ' Geomorphology in Arid Regions Proceedings of the 8th Annual Geomorphology Symposium 'State University of New York, Binghamton. P121-122.
- 8- م. د بسمة علي عبد الحسين. (2025). المسح التكاملي لدراسة الأشكال الجيومورفولوجية لحوض وادي ترجيل وبأستخدام تقنيتي (GIS, RS) المسح التكاملي لدراسة الأشكال الجيومورفولوجية لحوض وادي ترجيل وبأستخدام تقنيتي (GIS, RS). مداد الآداب، 15(39)، 2418-2349.
- 9- Laity, J. J. (2008) 'Deserts and Desert Environments ' Wiley-Blackwell.P 318.
- 10- Twidale, C. R. (2004) ' River patterns and their meaning 'Earth-Science Reviews, Vol. 67.P164-165 .
- 11- S ummerfield, M. A. (1991) 'Global Geomorphology ' Longman Scientific & Technical.P 289–291.
- 12- أبو العينين، حسن سيد أحمد (1995). أصول الجيومورفولوجيا: دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض. الإسكندرية: مؤسسة الثقافة الجامعية. ص 192.
- 13- Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964) 'Fluvial Processes in Geomorphology ' W. H. Freeman.P107-109 .