



التقييم الجيومورفولوجي لنظام المنحدرات في حوض قلعة توبزان

أ.م.د. عمار حسين محمد جامعة ديالى / كلية التربية الاساسية

The Slope System in Geomorphological Assessment of Qala Topzan Basin

Dr. Ammar Hussein Mohammed Prof. Asst.

University of Diyala\ College of Basic Education

E-mail: amr_hu2010@yahoo.com

الملخص

اعتمدت هذه الدراسة على استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) والصور الفضائية من Landsat ETM+8 والخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية، فضلاً عن تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، لدراسة أنظمة المنحدرات لحوض تصريف قلعة توبزان في شمال شرق العراق، تمت دراسة أنظمة المنحدرات في منطقة الدراسة باستخدام أربعة قطاعات طبوغرافية (طولية وعرضية) تتوافق مع مراحل تطور حوض التصريف الجيومورفولوجي وفقاً لدورة ديفز للتعرية، بالإضافة إلى ذلك تُعرف فئات الانحدار بناءً على التصنيف الشاب واتجاه المنحدر والأجزاء المنحدرة ونوع المنحدر (مستقيم ومحدب ومقعر). ووفقاً للنتائج فقد بلغت مساحة فئة المنحدر 2-7.9 إلى 52.8% وهي أعلى نسبة في المنطقة، بالإضافة إلى ذلك بلغت نسبة اتجاه المنحدرات الجنوبية التي لديها النسبة الأكبر بنسبة 16.6%. مع ما يقدر بنحو 248 جزءاً منحدراً، وكان لمنطقة النضج النسبة الأكبر من المناطق المنحدرة، كما اشارت البيانات إلى تنوع في المنحدرات، حيث تمثلت جميع انواع المنحدرات في منطقة الحوض الأوسط (مرحلة النضج) من الدورة الجيومورفولوجية. الكلمات المفتاحية: تقييم، منحدر، حوض، قلعة توبزان، جيومورفولوجي.

Abstract

This study relied on the use of digital elevation models (DEM), satellite images from Landsat ETM+8, topographic, geological and hydrological maps, as well as geographic information systems techniques, to study the slope systems of the Qala Topzan drainage basin in northeastern Iraq. The slope systems in the study area were studied using four topographic sectors (longitudinal and transverse) that correspond to the stages of development of the geomorphological drainage basin according to the Davis erosion cycle. In addition, slope classes are defined based on the young classification, slope direction, slope parts and slope type (straight, convex and concave). According to the results, the area of slope class 2-7.9 reached 52.8%, which is the highest percentage in the region. In addition, the percentage of the southern slope direction, which has the largest percentage, reached 16.6%. With an estimated 248 slope segments, the maturity zone had the largest proportion of slope areas, and the data indicated a diversity of slopes, with all slope types represented in the central basin (maturity stage) of the geomorphological cycle

Keywords: Assessment, slope, Basin, Qala Topzan , Geomorphology.

مقدمة

يحدث التوازن الديناميكي عندما تتبع العمليات الجيومورفولوجية نمطاً يمكن التنبؤ به، مع المنحدرات الناتجة عن التغيرات البيئية، فالمنحدر له أهمية كبيرة في الأنظمة الجيومورفولوجية، حيث يرتبط تنوعه بارتفاعاته ودرجات انحداره، وتؤثر عوامل مثل التضاريس والبنية الجيولوجية والمناخ وحركة المياه والنباتات على المنحدرات، ويستخدم تصنيف زينك لدراسة المنحدرات في المقطع العرضي من خلال تقسيمها إلى وحدات انحدار متعددة، والتي يتم تصنيفها بعد ذلك إلى منحدرات مستقيمة ومحدبة ومقعرة ومسطحة، ويدرس هذا البحث تقييم نظام المنحدرات في حوض قلعة توبزان والعلاقة المكانية بين المنحدرات والعوامل الجيومورفولوجية، بما في ذلك البنية الجيولوجية والمناخ ومياه الجريان السطحي والنباتات،

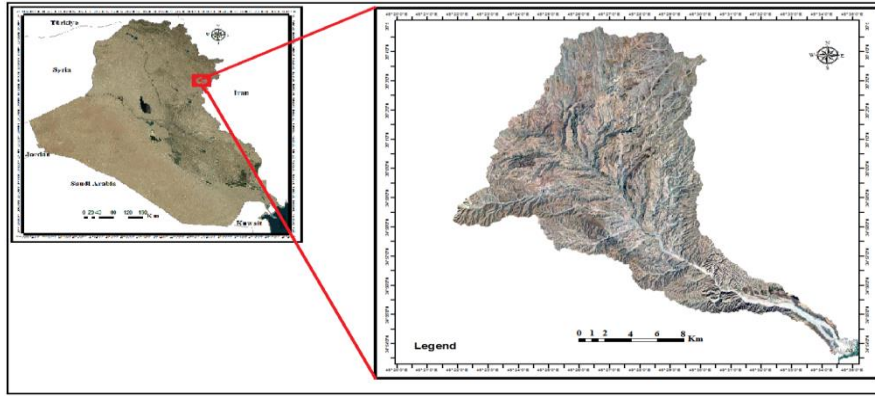
ويفترض امكانية عمل ذلك في المنطقة ويهدف إلى تحديد أنواع المنحدرات وتقييمها في حوض قلعة توبزان في شمال العراق، وهذا التحليل له أهمية كبيرة لإدارة المشاريع التنموية والهندسية والعمرانية، لأنه يؤثر على أنظمة التصريف وخطوط الأنابيب والطرق والأنفاق والجسور.

المنهجية

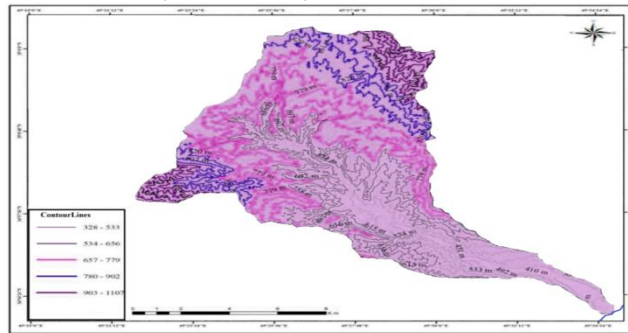
استخدمت الدراسة بيانات من القمر الصناعي Landsat ETM + 8 ، ونموذج الارتفاع الرقمي DEM ، والخرائط الطبوغرافية والجيولوجية وخرائط التربة، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لرقمنة البيانات، ونمذجة الانحدار، والأساليب التحليلية وتدرس الأساليب التحليلية ظواهر البناء، وفهم مراحل التطوير والتفاعل البيئي، باستخدام البيانات الرقمية الوصفية والمصنفة ويتم تطبيق الأساليب الإحصائية والرياضية لتفسير وتحليل النماذج، وتحلل الدراسة أربعة مقاطع عرضية للتضاريس ووحدات المنحدر باستخدام ArcGIS V.10.8 و SRTM DEM والبيانات عالية الدقة، مع التركيز على عناصر المنحدر والخصائص المورفومترية والمرحلة الجيومورفولوجية للحوض وعمليات تشكيل المنحدر.

منطقة الدراسة

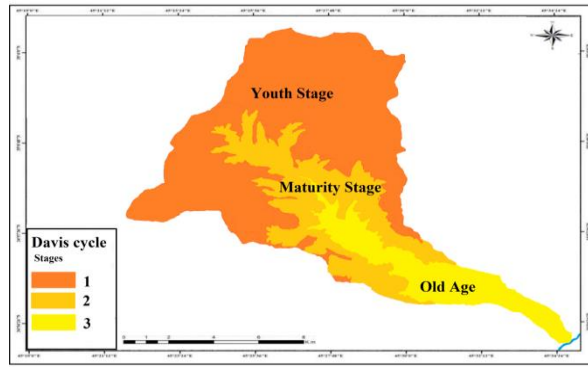
يقع حوض قلعة توبزان ضمن الحدود الإدارية لمحافظة السليمانية في الجزء الشمالي الشرقي من العراق بين خطي عرض (٣٥° ٥٠' ٠٠" - ٣٤° ٥٤' ٠٠") شمالاً وخطي طول (٤٥° ٣٤' ٠٠" - ٤٥° ٢١' ٤٥") شرقاً (الشكل ١) بمساحة ١٥٠.٢ كم^٢. يعد حوض قلعة توبزان أحد الأودية المغذية لنهر دبال في شمال العراق ويبلغ الطول الإجمالي للحوض ٢٢.٣٦ كم ويمتد من منابعه العليا بالقرب من منطقة داري خيله إلى مصبه في نهر دبال.



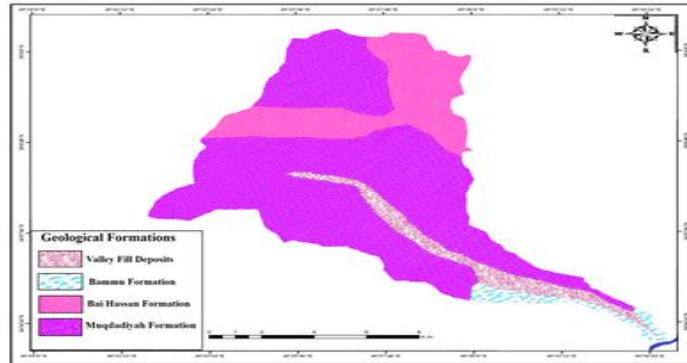
الشكل ١. موقع حوض قلعة توبزان يتراوح ارتفاعه (الشكل ٢) من ٣٠١ إلى ١١٧٢ متراً فوق مستوى سطح البحر، تجري مياه الحوض من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي ويتأثر بكميات الأمطار وذوبان الثلوج في المنطقة والتي شكلت منحدراته وغيرها من السمات الجيومورفولوجية.



الشكل ٢. خطوط الكنتور لحوض قلعة توبزان تشمل السمات الجيومورفولوجية لحوض قلعة توبزان تضاريس جبلية مرتفعة بشكل عام، مع انحدار تدريجي من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي. ويلاحظ أن الأجزاء العليا من الحوض، والتي تتوافق مع المنطقة فوق النهر وبين خطوط الكنتور على ارتفاع ٧٠٠ و ١١٧٢ متراً فوق مستوى سطح البحر، تتميز بتضاريس أكثر انحداراً. ووفقاً لمراحل دورة ديفز لتطور حوض النهر، تتوافق هذه المنطقة مع مرحلة الشباب، حيث تتواجد مجموعة متنوعة من السمات الطبوغرافية، بما في ذلك التلال والهضاب والتلال الصاعدة وغيرها من السمات، اما المنطقة الوسطى من الحوض، والتي تمثل مرحلة نضج الدورة الجيومورفولوجية ديفز، محصورة بين خطوط الكنتور ٥٥٠-٧٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر وتمثلها جميع أشكال الأرض المعروفة في المنطقة. وهي أقل انحداراً وانحناءً من المنطقة الأولى وتستمر في الانخفاض تدريجياً في المستوى حتى تصل إلى منطقة مصب النهر، اما منطقة مرحلة الشيخوخة في الدورة الجيومورفولوجية فهي محصورة بين خطوط الكنتور على ارتفاع ٣٠١-٥٥٠ متراً فوق مستوى سطح البحر (الشكل ٣) وتمثل المرحلة القديمة من الدورة الجيومورفولوجية.



الشكل ٣. تقسيم مناطق حوض قلعة توبزان حسب دورة ديفز يصنف حوض قلعة توبزان على أنه يتمتع بمناخ شبه جاف، حيث تبدأ درجات الحرارة بالارتفاع حسب المعطيات المتوفرة بدءاً من أدنى درجة حرارة في شهر يناير والتي تصل إلى ٥ درجات مئوية قبل أن تصل ذروتها في شهر أغسطس عند ٤٤ درجة مئوية. ومن السمات المميزة للمنطقة المدروسة هطول الأمطار الموسمية والتي تحدث في أوقات مختلفة نسبياً على شكل زخات تتكثف بسرعة أحياناً إلى سيول. وتتميز الأمطار في منطقة الدراسة بالتباينات السنوية والشهرية حيث تبدأ الأمطار في شهر أكتوبر وتنتهي في شهر مايو بإجمالي سنوي يبلغ ٣٣.٢ ملم. وتأتي الرياح السائدة في منطقة البحث من الشمال الغربي، وترتبط هذه الرياح ارتباطاً وثيقاً بتوزيع الضغط الجوي خارج المنطقة. ويبلغ متوسط سرعة الرياح السنوية لمنطقة البحث ٢ متر/ثانية، وتكون سرعة الرياح متقاربة في القيمة في جميع فصول السنة. أما في جيولوجيا المنطقة فإن البيئات الرسوبية للتكوينات الصخرية المكشوفة في منطقة الدراسة تحدد تركيبها، حيث ترسبت بعضها في أحواض رسوبية (Hatim et al., 2015) وقد تعرضت المنطقة لعمليات طي مما جعل هذه المنطقة جزءاً من النطاق المقعر المتأثر بعمليات الطي، ويوضح الشكل (٤) أنواعها. وتحتوي منطقة البحث على عدد من التكوينات الجيولوجية مثل تكوين المقدادية المكشوف في الأجزاء الشمالية الغربية والوسطى من الحوض والمغطى بسمك متفاوت من الحجر الطيني الرملي الخشن (Sisakyan and Fouad, 2015) أما تكوين باي حسن المكتشف في المناطق الوسطى والشمالية الغربية من الحوض فهو مغطى إلى حد كبير بالحجر الرملي والصخور الطينية والكلسية. وفي المناطق الجنوبية يظهر تكوين بامو الذي يتكون من عدسات الحجر الجيري والطيني والرمل (Jassim and Jouf, 2006)، بالإضافة إلى وجود رواسب قاع الوادي المكونة من مجموعة من الطمي والرمل والحصى بأشكال وأحجام مختلفة.



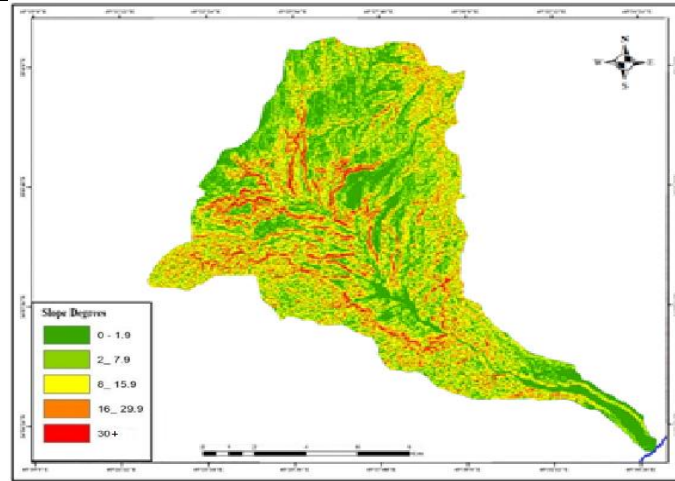
الشكل ٤: التكوينات الجيولوجية لحوض قلعة توبزان.

النتائج

١. فئات المنحدرات: تم تقسيم حوض قلعة توبزان إلى خمس فئات من المنحدرات تتراوح من ٠ درجة إلى أكثر من ٣٠ درجة، وفقاً لتصنيف زينك (Korop and Schlunegger, 2007) ولكل فئة سمات منحدر تتوافق مع المرحلة الجيومورفولوجية العامة للحوض. ويظهر التوزيع الجغرافي لفئات المنحدرات في الحوض تبايناً مكانياً مميزاً. على سبيل المثال، غطت فئة المنحدر ٣٠+ مساحة تزيد عن ٢.٧٪، وهي الأقل، بينما غطت فئة المنحدر ٢-٨ مساحة تزيد عن ٥٢٪، وهي أعلى نسبة منحدر لوحظت في الحوض (الجدول ١ والشكل ٥). الجدول ١. نوع الانحدار ومساحته حسب تصنيف زينك في منطقة الدراسة

النسبة (%)	المساحة (km ²)	زاوية الانحدار (degrees)	نوع الانحدار
5.2	7.8	0-1.9	ارض مستوية
52.8	79.3	2-7.9	ارض ذات انحدار بسيط
34.9	52.4	8-15.9	ارض ذات انحدار متوسط

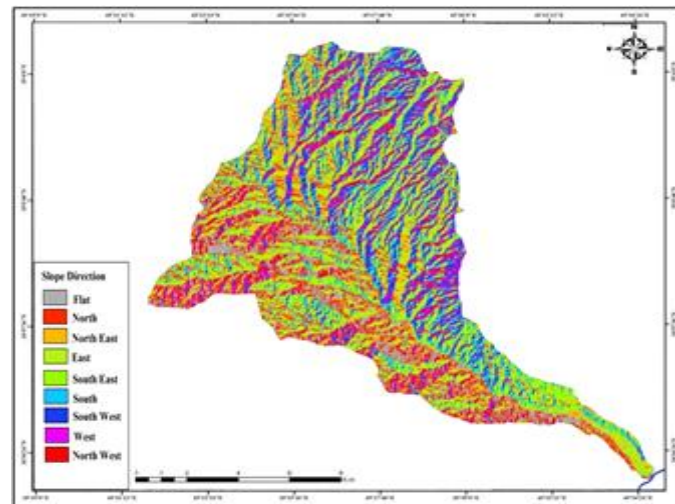
ارض ذات انحدار شديد	9.16-2	6.7	4.4
ارض ذات انحدار شديد جدا	-٣٠	4.0	2.7
		150.2	100



الشكل ٥. فئات المنحدرات لحوض قلعة توبزان.

٢. اتجاه المنحدر: يظهر المنحدر العام لمنطقة البحث بانحدارها التدريجي من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي. فضلا عن الاتجاهات الثانوية، تتميز المنطقة أيضًا بمنحدرات محلية ذات اتجاهات أولية في الشمال والشرق والجنوب والغرب. وتختلف مساحات ونسب اتجاهات المنحدرات في الحوض بشكل واضح عن بعضها البعض. فقد بلغت نسبة مساحة المنحدرات الشمالية الغربية حوالي ٦.١٪ وهي أقل نسبة في الحوض، بينما بلغت نسبة مساحة المنحدرات الجنوبية ١٦.٦٪ وهي أعلى نسبة في منطقة الدراسة (الجدول ٢ والشكل ٦). الجدول ٢. المساحة ونسبة اتجاه المنحدر في منطقة الدراسة

النسبة (%)	المساحة (km ²)	اتجاه الانحدار
0.3	0.4	ارض مستوية
8.7	13.1	شمال
11.3	17.0	شمال شرق
11.7	17.6	شرق
14.6	21.9	جنوب شرق
16.6	24.9	جنوب
16.3	24.5	جنوب غرب
14.4	21.6	غرب
6.1	9.2	شمال غرب
100	150.2	



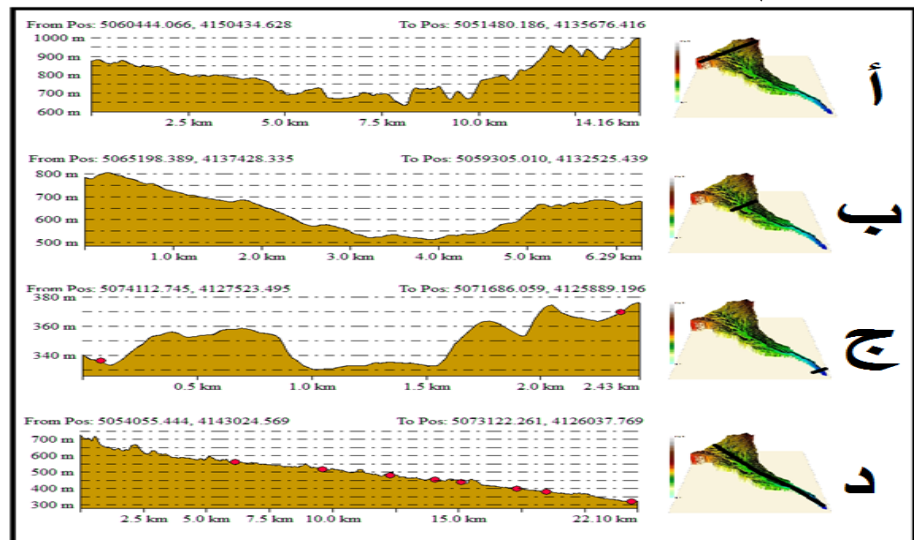
الشكل ٦. اتجاه المنحدرات لحوض قلعة توبزان.

٣. أنواع المنحدرات: وفقاً لطبيعة عناصر المنحدر، قد تختلف أنواع المنحدرات في منطقة الدراسة باختلاف معامل الانحدار وقد يحتوي عنصر المنحدر على العديد من المقاطع المنحدرة سواء كانت محدبة و مقعرة، أو كانت منحدر واحد فقط، مثل المكونات المستقيمة والمسطحة (Clubb et al., 2017).

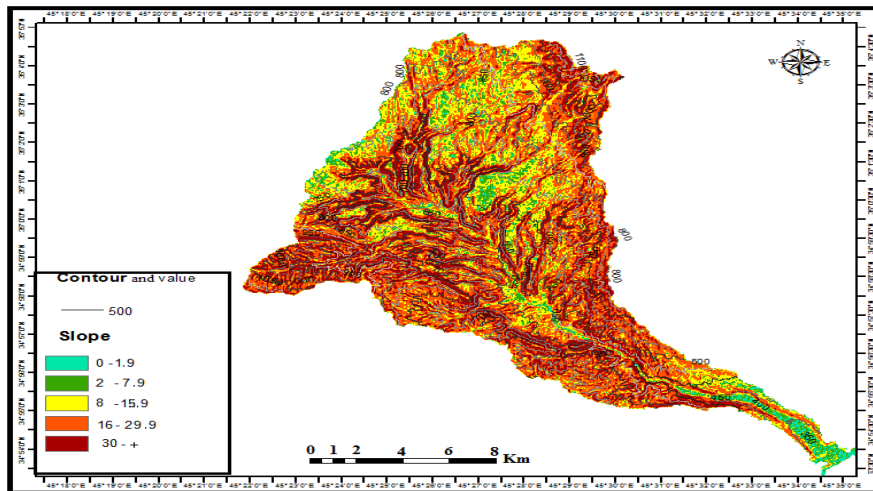
أ. المنحدرات المنتظمة: بغض النظر عن شدة انحدار المنحدر أو اعتداله أو خفته، فإن السطح المنحدر يكون مستوياً وخالياً من أي ارتفاع أو انخفاض في أقسامه فانه على طول المنحدرات يتم توزيع خطوط الكنتور بطريقة منظمة (Hendrickx et al., 2020) في الموقع الكيلومري (٦-٢) في المقطع العرضي لمنطقة مصب الحوض، يكون هذا النوع مرئياً بوضوح في الأقسام المركزية (الشكلان ٧ ج و ٨).

ب. المنحدرات المقعرة: تكون هذه المنحدرات معتدلة في المنتصف والنهاية، وشديدة الانحدار عند القمة. ويظهر هذا النوع من المنحدرات تدريجياً في جميع المقاطع الطبوغرافية (الطولية والعرضية)، حيث تتقارب خطوط الكنتور في الأعلى وتتباعد عند الأسطح الوسطى والسفلى (Wang et al., 2020) وتُظهر جميع المقاطع الطبوغرافية الطولية والعرضية هذا النوع من المنحدرات، وهو أمر ملحوظ بشكل خاص في المقطع العرضي لمنطقة الحوض الأوسط (منطقة النضج) (الشكلان ٧ ب و ٨).

ج. المنحدرات المحدبة: تتميز هذه المنحدرات بانحدار معتدل في الأعلى، وتزداد انحداراً أسفل القمة، وتقارب تدريجياً نحو قاع المنحدر، وهو أكثر وضوحاً في الأسفل (Veilleux et al., 2020) ويُلاحظ وجودها في منطقة البحث شرق المقطع العرضي للحوض الأوسط (منطقة النضج) (الشكلان ٧ ب و ٨).



الشكل ٧. أنواع منحدرات حوض قلعة توبزان.



الشكل ٨. التراكب المكاني بين خطوط الكنتور ومستويات المنحدر لحوض قلعة توبزان. المناقشة

تشير النتائج إلى أن قيم جميع العناصر الانحدارية تختلف في جميع أنحاء منطقة البحث. وتختلف مساحة ونسبة الفئات الانحدارية وفقاً للنتائج. ونظراً لطبيعة التركيب الجيولوجي، فإن أهم العوامل الطبيعية المؤثرة في تكوين المنحدرات هي المناخ وعناصره الأساسية، وخاصة الأمطار الغزيرة التي تحدث أثناء عاصفة مطيرة، وكذلك درجة استجابة الصخور للعمليات الجيومورفولوجية (التجوية والتعرية) بناءً على التركيب الجيولوجي، تكون الصخور أكثر عرضة لهذه العمليات. وتقوم مياه السيول بعملية التعرية حسب نظام المفاصل والشقوق، فالمياه المتدفقة وفق الجاذبية الأرضية، والصخور الهشة أكثر عرضة لهذه العمليات نظراً لطبيعة التركيب الجيولوجي. وتتم عملية التعرية بواسطة مياه السيول خلال المفاصل والشقوق، وذلك لأن المياه تتدفق جاذبياً نحو أدنى نقطة على سطح الأرض، فتؤدي إلى تعرية الصخور على جانبي المفاصل والشقوق مع تمددها السريع وتكوين القنوات. أما الصخور البارزة المتبقية فهي صخور صلبة مقاومة لعمليات التعرية، مما يؤدي إلى تكوين نظام المنحدرات في حوض الصرف (Buccolini et al., 2012). وينعكس الميل العام لسطح المنطقة وتوافقته مع بنية واتجاه شبكة الموارد المائية العامة في التباين الواضح جداً للمنحدرات (شمالاً وشرقاً وجنوباً وغرباً). وتتبع الموارد المائية تراكيب خطية تقوم بدورها بعمليات تعرية الصخور وتكوين الاتجاه العام للمنحدرات. (Veilleux et al., 2020) ووفقاً للبيانات الواردة في الجدول (٥) والشكل (٧)، فإن هناك تبايناً في عدد الأجزاء المنحدرة لقطاعات التضاريس كافة ونجد أن منتصف حوض الصرف (مرحلة النضج) يحتوي على عدد كبير من الأجزاء المنحدرة بسبب فعالية عمليات التعرية المائية التي تعرضت لها المنطقة، وعمليات المقاومة التي تبديها صخور الحجر الجيري والدولوميت في بعض الأجزاء أمام المجاري المائية، ووجود بعض الصخور الضعيفة التي تخضع لهذه العمليات، وتكوين الأخاديد التي تشكل المنحدرات وأجزائها. ووفقاً لـ (Alvioli et al., 2020)، فإن المنطقة الواقعة أسفل النهر بها أقل عدد من المقاطع المنحدرة لأنها مرحلة الشيوخوخة في الدورة الجيومورفولوجية وقد انتهت مجاري المياه في الحوض تقريباً من تقليص سطح المنطقة إلى المستوى الأساسي للتعرية، ووفقاً للبيانات في الشكل (٨) في منطقة الدراسة توجد اختلافات في أنواع المنحدرات بين المحدبة والمقعرة والمستقيمة. ويرجع ذلك إلى الخصائص الطبيعية للمنطقة، والتي تؤثر أيضاً على كيفية استجابة تركيبات الصخور والمعادن لعمليات التجوية والتعرية الكيميائية والفيزيائية. وهذا صحيح بشكل خاص نظراً لتوافر الظروف المناخية التي أثرت على تطور هذه العمليات، مثل اختلافات نطاق درجات الحرارة والتباين المكاني والزمني لكميات هطول الأمطار. وكلها تؤدي إلى اكتشاف التجوية النفاضلية في الإنشاءات الخطية من مختلف العصور الجيولوجية (Zhao and Zhang, 2020) ويؤدي ذلك إلى عدم استقرار المنحدرات، وتطور حركة المواد المختلفة على المنحدرات الأرضية، وتغلب القوة الدافعة لحركة الجاذبية الأرضية على قوى المقاومة، والتي تشكل أنواعاً مختلفة من المنحدرات (Graf, 2006).

الاستنتاج

إن التكوينات الجيولوجية المختلفة في منطقة الدراسة تلعب من خلال درجات استجابتها للعمليات الجيومورفولوجية (التجوية والتعرية) دوراً هاماً في تشكيل أنظمة المنحدرات، حيث تبقى الصخور الصلبة المقاومة لهذه العمليات لتشكل أنظمة المنحدرات في المنطقة، بينما تتفتت الصخور الضعيفة أمام هذه العمليات إلى شظايا دقيقة يسهل نقلها بواسطة الماء أو الرياح أو حركة المواد بالجاذبية. وقد تشكلت منحدرات منطقة الدراسة بشكل كبير بفعل المناخ القديم والحالي من خلال عناصرها (درجة الحرارة، وهطول الأمطار، والرياح). ويمكن الشعور بهذا التأثير بشكل غير مباشر من خلال تطور المنحدرات الجبلية والرسوبية من خلال تحديد نوعية ومعدلات التجوية والتعرية وكذلك درجة مقاومة الصخور. بالإضافة إلى فعالية المناخ في تحديد تصريف مياه الأنهار ومعدلات التصريف وتحديد دورها في تعرية الصخور وتكوين المنحدرات، وكذلك تأثيرها على نشاط الرياح ودورها في تعرية أسطح المنحدرات ونقل شظايا رسوبية صغيرة جداً. وتشتمل فئات الانحدار في الحوض على مجموعة من السمات المورفولوجية، وتتميز كل فئة بمؤشرات انحدارها وفقاً للمرحلة الجيومورفولوجية التي يمر بها الحوض حالياً. فبالإضافة إلى الاتجاهات الثانوية، تتنوع المنحدرات في جميع الاتجاهات الأربع (شمال، شرق، جنوب، غرب). ويختلف عدد مقاطع الانحدار وفقاً لقطاعات التضاريس والمرحلة الجيومورفولوجية لكل منطقة، حيث سجل الاتجاه الجنوبي أعلى مرتبة واتجاه المنحدرات الشمالية الغربية أدنى مرتبة. أما من حيث عدد أجزاء الانحدار، جاءت منطقة المصب في أدنى مرتبة، بينما حصلت منطقة النضج على أعلى مرتبة.

References

- Alvioli, M., Guzzetti, F., and Marchesini, I., (2020). Parameter-free delineation of slope units and terrain subdivision of Italy. *Geomorphology*, 358(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107124>
- Al-Jiburi, H.K., and Al-Basrawi, N.H., (2015). TECTONIC MAP OF IRAQ, SCALE 1: 1000000, 3rd EDITION,. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 11(1), 8.

- Buccolini, M., Coco, L., Cappadonia, C., and Rotigliano, E., (2012). Relationships between a new slope morphometric index and calanchi erosion in northern Sicily, Italy. *Geomorphology*, 149–150(1), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.01.012>
- Clubb, F.J., Mudd, S.M., Milodowski, D.T., Valters, D.A., Slater, L.J., Hurst, M.D., and Limaye, A.B., (2017). Geomorphometric delineation of floodplains and terraces from objectively defined topographic thresholds. *Earth Surface Dynamics*, 5(3), 369–385. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-369-2017>
- Graf, W.L., (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79(3–4), 336–360. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.022>.
- Hendrickx, H., De Sloover, L., Stal, C., Delaloye, R., Nyssen, J., and Frankl, A., (2020). Talus slope geomorphology investigated at multiple time scales from high-resolution topographic surveys and historical aerial photographs (Sanetsch Pass, Switzerland). In *Earth Surface Processes and Landforms* (Vol. 45, Issue 14, pp. 3653–3669). <https://doi.org/10.1002/esp.4989>
- Jassim S.Z., and Goff, J.C., (2006). *Geology of Iraq* (Czech Repu). Dolin, Hlavni 2732.
- Korup, O., and Schlunegger, F., (2007). Bedrock landsliding, river incision, and transience of geomorphic hillslope-channel coupling: Evidence from inner gorges in the Swiss Alps. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112(3), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2006JF000710>
- Sissakian, V.K., and Fouad, S. F. A., (2015). GEOLOGICAL MAP OF IRAQ, SCALE 1: 1000 000. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 11(1), 9–17.
- Veilleux, S., Bhiry, N., and Decaulne, A., (2020). Talus slope characterization in Tasiapik Valley (subarctic Québec): Evidence of past and present slope processes. *Geomorphology*, 349(1), 106911. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106911>.
- Wang, K., Xu, H., Zhang, S., Wei, F., and Xie, W., (2020). Identification and Extraction of Geomorphological Features of Landslides Using Slope Units for Landslide Analysis. *ISPRS International Journal of ...*, 9(4), 1–18. <https://www.mdpi.com/697384>.
- Zhao, Y., and Zhang, G., (2020). Centrifuge modeling of soil slopes overlying bedrock under excavation conditions. *Soils and Foundations*, 60(4), 886–897. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.06.009>.