RESEARCH ARTICLE

Assessment of Geomorphological Hazards in the Rawanduz District Using Modern Digital Techniques

Amer Mahmoud Abdel Karim *

University of Basra , College of Arts , Department of Geography and Information Systems, Iraq

ABSTRACT

This research aims to assess the geomorphological hazards in the Rawanduz district, a region characterized by its rugged mountainous terrain located in northern Iraq, specifically in Erbil Governorate. Due to its diverse topography and high natural risk, the Rawanduz district requires a thorough analysis to identify potential hazards such as landslides and erosion. The research relies on the analysis of geological, topographical, and climatic data using Geographic Information System (GIS) techniques. The primary goal of this assessment is to develop strategies for risk mitigation and disaster management in the Rawanduz district by identifying sensitive areas and providing recommendations for urban planning and optimal land use, thereby contributing to the protection of lives and property and achieving sustainable development in the region. The study concludes that the geomorphological hazards in the study area are distributed across five levels. Very low hazards occupy 29.46% of the area, concentrated in geologically stable regions with low slopes. Low hazards, covering 32.16% of the area, are found in regions with moderate slopes. Medium hazards, accounting for 22.77%, are present in areas with more varied terrain and steeper slopes. High hazards, constituting 12.10%, are concentrated in areas with rugged terrain and steep slopes. Finally, very high hazards occupy the smallest area at 3.51%, located in regions with severe terrain and very steep slopes, making them the most dangerous in the area.

KEYWORDS: **Modern Digital Techniques, Rawanduz District, Geomorphological Hazards, Assessment.**

.

مقالة بحثية

تقييم المخاطر الجيومورفولوجية لقضاء راوندوز باستخدام التقنيات الجغرافية الحديثة

عامر محمود عبد الكريم *

جامعة البصرة ، كلية الآداب ، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات ، العراق.

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى تقييم المخاطر الجيومورفولوجية في قضاء راوندوز، وهي منطقة تتميز بتضاريسها الجبلية الوعرة التي تقع في شمال العراق، وتحديداً في محافظة أربيل. نظراً لتنوع تضاريسه وارتفاع مخاطره الطبيعية، يتطلب قضاء راوندوز تحليلاً دقيقاً لتحديد المخاطر المحتملة مثل الانهيارات الأرضية والانجرافات. يعتمد البحث على تحليل البيانات الجيولوجية، الطبوغرافية، والمناخية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، الهدف الأساسي من هذا التقييم هو تطوير استراتيجيات للتخفيف من المخاطر وإدارة الكوارث في قضاء راوندوز من خلال تحديد المناطق الحساسة وتقديم توصيات للتخطيط العمراني والاستخدام الأمثل للأراضي، بما يسهم في حماية الأرواح والممتلكات وتحقيق التنمية المستدامة في المنطقة، توصلت الدراسة أن المخاطر الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة تتوزع على خمس مستويات، اذ تحتل المخاطر المنخفضة جداً نسبة 29.46% وتتركز في المناطق المستقرة جيولوجياً ذات الانحدارات القليلة. أما المخاطر المنخفضة، التي تغطي 32.16% من المساحة، فتنتشر في المناطق ذات الانحدارات المعتدلة. المخاطر المتوسطة، بنسبة 22.77%، توجد في مناطق ذات تضاريس متباينة و انحدارات أكبر. المخاطر العالية، التي تشكل 12.10%، تتمركز في المناطق ذات التضاريس الوعرة والانحدارات الحادة. أخيرًا، المخاطر العالية جداً تحتل أقل مساحة بنسبة 3.51%، وتتركز في المناطق ذات التضاريس الشديدة والانحدارات الحادة جداً، مما يجعلها الأكثر خطورة في المنطقة.

الكلمات المفتاحية : التقنيات الرقمية الحديثة ، قضاء راوندوز ، المخاطر الجيومورفولوجية ، التقييم.

Received 05-11- 2024; revised 11-11 - 2024; accepted 23 -12- 2024. Available online 30 -06- 2025.
* Corresponding author.
E-mail addresses: **Amer.mahmood@uobasrah.edu.iq** (**A. M. Abdel Karim**).
https://doi.org/xx.xxxxx/2572-5440.1020
2572-5440/© 2025 The Author(s). Published by Al-Muthanna University. This is an open-access article under the CC BY-NC-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

المقدمة

يمثل تقييم المخاطر الجيومورفولوجية لقضاء راوندوز أحد المحاور الأساسية في الدراسات البيئية والجغرافية، اذ يشكل هذا التقييم خطوة حيوية لفهم التفاعلات بين العوامل الطبيعية والأنشطة البشرية في منطقة تتميز بتضاريس معقدة ومتنوعة. يقع قضاء راوندوز، في إقليم كردستان العراق، يعد منطقة ذات طوبوغرافيا متشابكة تجمع بين السلاسل الجبلية الشاهقة، الوديان العميقة، والسهول المنخفضة، ما يجعله بيئة مثالية لدراسة الظواهر الجيومورفولوجية المختلفة وتأثيراتها على السكان والبنية التحتية.

تشمل المخاطر الجيومورفولوجية في هذه المنطقة مجموعة واسعة من العمليات الجيومورفولوجية مثل الانهيارات الأرضية، والانزلاقات الصخرية، والتعرية، والتي يمكن أن تتفاقم بفعل الأنشطة البشرية مثل التحضر، والزراعة، وبناء الطرق. إن فهم توزيع هذه المخاطر وعواملها المسببة يتطلب تحليلاً شاملاً للبيانات الجيولوجية والطوبوغرافية والمناخية، بالإضافة إلى استخدام تقنيات حديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، والتي توفر أدوات قوية لرصد التغيرات الجيومورفولوجية وتقييم مدى خطورة كل منطقة.

من خلال هذا التقييم، يمكن تحديد المناطق الأكثر عرضة للمخاطر وتطوير استراتيجيات للتخفيف من تأثيراتها، مثل تخطيط استخدام الأراضي، وتصميم البنية التحتية بشكل يراعي المخاطر المحتملة، ووضع خطط استجابة للطوارئ. علاوة على ذلك، يمكن أن يسهم هذا التقييم في تعزيز الوعي المجتمعي بالمخاطر البيئية وتطوير برامج توعية لحماية السكان والممتلكات. إن التقييم العلمي الدقيق للمخاطر الجيومورفولوجية في قضاء راوندوز ليس فقط أداة للتخطيط الوقائي ولكن أيضاً ركيزة أساسية لتحقيق التنمية المستدامة في المنطقة.

مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة البحث تقييم المخاطر الجيومورفولوجية في قضاء راوندوز بتساؤل :- ما المخاطر الجيومورفولوجية في قضاء راوندوز التي تهدد الاستقرار البيئي والبشري في المنطقة؟ وما المؤشرات الجيومورفولوجية المعتمدة لتحديد مدى تعرض المنطقة للمخاطر الجيومورفولوجية؟

فرضية الدراسة:

يتعرض قضاء راوندوز، لانواع من المخاطر الجيومورفولوجية تم تحديدها باستخدام البيانات الطبوغرافية، والجيولوجية، والمناخية، إلى جانب تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، وتم تقييمها بشكل دقيق وشامل وتحليلها في تحديد المناطق الأكثر عرضة للمخاطر بشكل فعال، مما يسهم في التخفيف من المخاطر وتعزيز الاستقرار البيئي والبشري لتحسين استراتيجيات إدارة المخاطر وتخطيط استخدام الأراضي، وتعزيز القدرة على التعامل مع التحديات الجيومورفولوجية ويقلل من تأثيراتها السلبية على المجتمعات المحلية والبنية التحتية.

أهداف الدراسة:

أهداف دراسة تقييم المخاطر الجيومورفولوجية لقضاء راوندوز يمكن تلخيصها كما يلي:

1- **تحديد المخاطر الجيومورفولوجية:** التعرف على أنواع المخاطر السائدة في المنطقة مثل الانهيارات الأرضية، والانجرافات، والتعرية.

2- **تحليل العوامل المؤثرة:** دراسة العوامل الطبيعية التي تؤدي الى حدوث المخاطر، مثل التضاريس، والجيولوجيا، والمناخ، واستخدامات الأرض.

3- **تحديد المناطق المعرضة للخطر:** من خلال رسم خرائط توضح المناطق الأكثر تعرضًا للمخاطر بناءً على البيانات والنماذج الجغرافية.

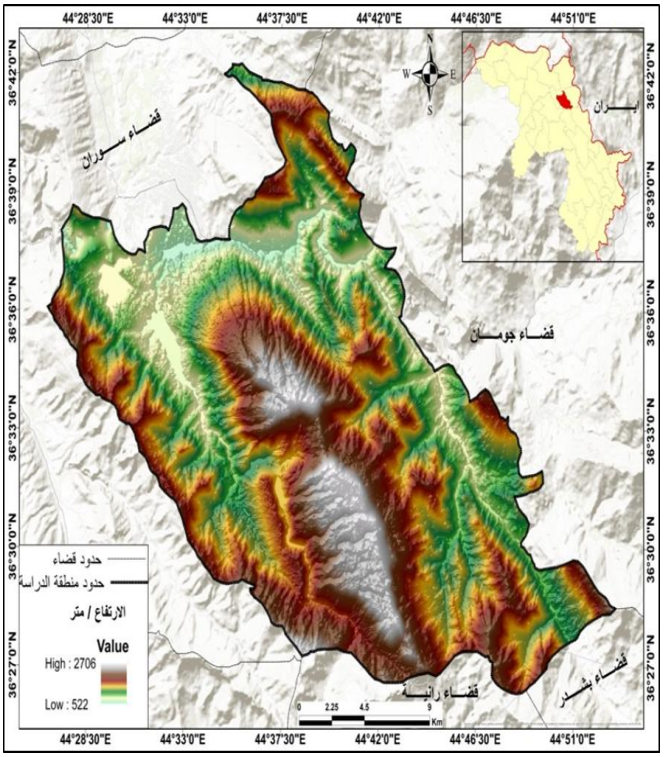
4- **تقييم تأثيرات المخاطر:** تحليل تأثير المخاطر على البيئة، والبنية التحتية، والمجتمعات السكانية.

5- **تطوير استراتيجيات التخفيف:** اقتراح إجراءات لتخفيف المخاطر وتقليل تأثيراتها، مثل تحسين إدارة الأراضي وتطوير بنية تحتية مقاومة.

موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في شمال العراق ادارياً ضمن محافظة اربيل، يحدها من الشمال قضاء سوران، ومن الشرق قضاء جومان، ومن الجنوب قضاء بشدر وقضاء رانية، ومن الغرب قضاء شقلاوة، وتنحصر المنطقة بين خطي طول (ً0 ،51 ،44 – ً0 ،30 ،28 ،44ْ) شرقاً، وبين دائرتي عرض (ً0 ،27ْ، 36 - ً0 ،30ْ ، 36ْ) شمالاً، خريطة رقم (1)، ويبلغ مساحة الحوض نحو(528) كم^2.

الخريطة (1) الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، الخريطة الطبوغرافية، 1:1000000، 1992، ومخرجات برنامجArcGIS.

آلية وطرق العمل: تقييم المخاطر الجيومورفولوجية يعتمد على مجموعة من المؤشرات التي تساعد في تحديد مدى تعرض المنطقة للمخاطر الناجمة عن العمليات الجيومورفولوجية مثل الانهيارات الأرضية، الفيضانات، التعرية، والزلازل. هذه المؤشرات تُستخدم لتحليل وتحسين فهم المخاطر، ويمكن تقسيمها إلى فئات رئيسية تشمل المؤشرات الجيولوجية، الجيومورفولوجية، المناخية، الهيدرولوجية، والبيئية. فيما يلي بعض المؤشرات الأساسية المستخدمة في هذا النوع من التقييم:

1- تقييم المؤشرات الجيومورفولوجية:

المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن

1-1 **التغير في الارتفاعات** يتضمن دراسة تأثير هذه التغيرات على العمليات الجيومورفولوجية. وتؤثر الارتفاعات مثل التلال والجبال بدوراً أساسياً في تحديد الأنماط الجيومورفولوجية والمخاطر المرتبطة بها, فالتغيرات في الارتفاع يمكن أن تسبب تفاوتاً في الأنماط الجيومورفولوجية، اذ تشهد المناطق المرتفعة تجوية وتآكلاً أسرع من المناطق المنخفضة بسبب العوامل الطبيعية مثل الجاذبية والأمطار. وفي المناطق الجبلية، قد تؤدي الأمطار الغزيرة إلى حدوث الانزلاقات الأرضية، وهي أكثر شيوعاً في التضاريس المرتفعة بسبب تآكل التربة وعدم استقرارها، تشمل المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن الارتفاع الانهيارات الأرضية، الفيضانات، والتآكل السريع [5] في الارتفاعات الكبيرة مثل الجبال، يمكن أن تكون الانهيارات الأرضية ناتجة عن الضغط على التربة والصخور، بينما الفيضانات قد تنجم عن تدفق المياه من المناطق المرتفعة إلى المنخفضة. تُعد النمذجة الجيومورفولوجية أداة هامة في تقييم هذه المخاطر، حيث تتيح تحليل تأثيرات الارتفاع على العمليات الطبيعية والتنبؤ بالمخاطر المحتملة باستخدام بيانات الارتفاعات والمناخ،[6] ويمكن تصنيف المخاطر على اساس الارتفاع في منطقة الدراسة ، كما في الجدول (1) وكالاتي:

- **الارتفاع (500 - 1000)متر:** أن نوع المخاطر الجيومورفولوجية التي تتضمنها هذا الارتفاع هي الانهيارات الأرضية، والانزلاقات الصخرية، والتعرية المائية، بلغت مساحتها في منطقة الدراسة نحو (119.09) كم^2 وبنسبة (22.53%)، في هذه المناطق، يتزايد خطر الانهيارات الأرضية والانزلاقات الصخرية بسبب تواجد الصخور غير المستقرة والمنحدرات الحادة. التعرية المائية، الناتجة عن تدفق المياه السطحية، تشكل مشكلة كبيرة أيضاً، حيث تساهم الأمطار الغزيرة في زيادة التآكل ونقل الرواسب.
- **الارتفاع (1000 - 1500):** وتضمن هذا الارتفاع المخاطر الناتجة الانهيارات الصخرية، التعرية الجليدية، التعرية المائية، بلغت مساحتها في المنطقة نحو (218.26) كم^2 وبنسبة (41.3%)، في هذا النطاق الارتفاعي، تزداد احتمالية حدوث الانهيارات الصخرية نتيجة للتغيرات الكبيرة في درجات الحرارة وتآكل الصخور. التعرية الجليدية تصبح أكثر بروزاً في المناطق الباردة، بينما تستمر التعرية المائية في التأثير على المناطق ذات المنحدرات الحادة.
- **الارتفاع (1500 - 2500):** وضمن هذا النطاق من الارتفاع تسود المخاطر الناتجة عن التعرية الجليدية، الانهيارات الجليدية، الانهيارات الصخرية، بلغت مساحتها في المنطقة نحو (188.35) كم^2 وبنسبة (35.64%)، في المناطق الجبلية العالية، تزداد التعرية الجليدية والانهيارات الجليدية بشكل ملحوظ، حيث يكون تأثير الجليد أكبر ويؤدي إلى تآكل وتفكك الصخور. الانهيارات الصخرية تظل أيضاً خطراً كبيراً بسبب الظروف الجيومورفولوجية الصعبة.
- **الارتفاع (أعلى من 2500):** وهنا تسود المخاطر الانهيارات الجليدية، والانهيارات الثلجية، وتآكل القمم الجبلية، بلغت مساحتها في المنطقة نحو (2.78) كم^2 وبنسبة (0.53%)، وفي الارتفاعات العالية جداً، تكون الانهيارات الجليدية والانهيارات الثلجية من المخاطر الرئيسية. الرياح والثلوج تؤديان إلى تآكل القمم الجبلية، مما يزيد من خطر فقدان الاستقرار الجيومورفولوجي، خريطة (2).

2-1 المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن الانحدار:

تتنوع المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن الانحدار بناءً على شدة المنحدرات والخصائص الجيولوجية للمنطقة، في المناطق ذات المنحدرات الحادة، تزداد احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية والانزلاقات الصخرية، حيث يكون هناك ضغط كبير على التربة والصخور بسبب الجاذبية. هذه الانهيارات تحدث بشكل أكثر شيوعاً عندما تكون التربة غير مستقرة أو مشبعة بالمياه، مما يؤدي إلى زيادة خطر الانزلاقات، بالإضافة إلى ذلك، تؤدي المنحدرات الحادة إلى تعرية مائية أكثر، حيث يتدفق الماء بسرعة أكبر على المنحدرات، مما يعزز تآكل التربة ونقل الرواسب إلى المناطق المنخفضة. هذا النوع من التعرية يؤثر على جودة التربة ويزيد من خطر الفيضانات في المناطق السفلى [8] في المناطق ذات المنحدرات الأقل حدة، لا يزال هناك خطر من التعرية المائية، ولكن التأثيرات تكون أقل حدة مقارنة بالمنحدرات الحادة. تكون التعرية في هذه المناطق أكثر تدريجية، ولكنها يمكن أن تؤدي إلى تغيرات طويلة الأمد في توزيع التربة وخصائصها، بشكل عام، يؤثر الانحدار على توزيع المخاطر الجيومورفولوجية من خلال تأثيره على استقرار التربة والصخور، وسرعة تدفق المياه، وتآكل التربة. تتطلب إدارة هذه المخاطر فهماً دقيقاً للمنحدرات وتطبيق استراتيجيات ملائمة للتخفيف من الأضرار الجيومورفولوجية المحتملة [10].

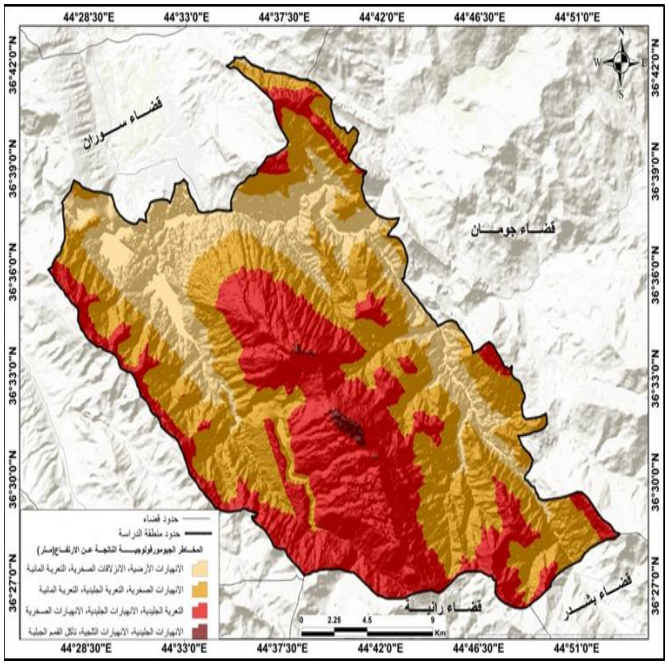
وتصنف المخاطر الجيومورفولوجية على اساس (انحدار سطح الارض في منطقة الدراسة بالاعتماد على تصنيف (Demek) الى الاصناف الاتية جدول (2).

جدول (1) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن التغيير في الارتفاع عن سطح البحر (متر) ومساحتها في منطقة

الارتفاع عن سطح البحر (متر)	نوع المخاطر الجيومورفولوجية	وصف المخاطر	المساحة كم²	%
500 - 1000	الانهيارات الأرضية، الانزلاقات الصخرية، التعرية المائية	تتميز هذه المناطق بخطر متزايد للانهيارات الأرضية والانزلاقات الصخرية بسبب تواجد الصخور الغير مستقرة والمنحدرات الحادة. التعرية المائية تظل مشكلة هامة.	119.09	22.53
000 - 1500	الانهيارات الصخرية، التعرية الجليدية، التعرية المائية	تصبح الانهيارات الصخرية أكثر شيوعًا بسبب التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة والتعرية الجليدية في المناطق الأعلى. التعرية المائية تستمر في المناطق المنحدرة.	218.26	41.30
1500 - 2500	التعرية الجليدية، الانهيارات الجليدية، الانهيارات الصخرية	تتعرض المناطق الجبلية العالية للتعرية الجليدية والانهيارات الجليدية بشكل متزايد. الانهيارات الصخرية تبقى خطرًا كبيرًا.	188.35	35.64
أعلى من 2500	الانهيارات الجليدية، الانهيارات الثلجية، تآكل القمم الجبلية	في المناطق المرتفعة جدًا، تصبح الانهيارات الجليدية والانهيارات الثلجية من المخاطر الجيومورفولوجية الرئيسية. التعرية بفعل الرياح والثلوج تؤدي إلى تآكل القمم.	2.78	0.53
المجموع			528.49	100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

الخريطة (2) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن الارتفاع عن سطح البحر (متر)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (2).

- في المناطق ذات الانحدار من 0° إلى 5°، تكون التعرية الطفيفة والفيضانات هي المخاطر الرئيسية. الانحدار البسيط يعني أن تدفق المياه يكون بطيئًا، مما قد يتسبب في تجمع المياه وزيادة خطر الفيضانات رغم أن التعرية تكون ضئيلة. هذه المناطق تستفيد من تصريف المياه البطيء ولكنها قد تواجه مشكلات إذا لم يتم إدارة المياه بشكل مناسب. المساحة لهذه الفئة هي 33.16 كم²، وهو ما يمثل 6.30% من المساحة الكلية.
- في المناطق التي تتراوح درجة انحدارها بين 5° و15°، يزداد خطر التعرية المائية المعتدلة والانجراف السطحي للتربة. الانحدار المتوسط يعزز من سرعة تدفق المياه مما يزيد من التعرية، خاصة إذا كانت المنطقة تفتقر إلى الغطاء النباتي الذي يحمي التربة. الانجراف السطحي يمكن أن يؤدي إلى فقدان طبقات التربة السطحية. المساحة في هذه الفئة هي 107.72 كم²، تمثل 20.46% من المساحة الكلية.
- أما في المناطق ذات الانحدار من 15° إلى 30°، تزداد شدة التعرية المائية بشكل ملحوظ، بالإضافة إلى زيادة خطر الانزلاقات الأرضية. الانحدار الشديد، مع التربة غير المستقرة، يعزز من احتمالية حدوث الانزلاقات الأرضية، حيث تكون المياه تتدفق بسرعة أكبر وتؤدي إلى تآكل التربة بشكل كبير. هذه الفئة تشمل 241.35 كم²، وهو ما يعادل 45.83% من المساحة الكلية.
- في المناطق ذات الانحدار بين 30° و45°، تزداد المخاطر الجيومورفولوجية بشكل كبير، بما في ذلك الانهيارات الأرضية والانهيارات الصخرية والتعرية الشديدة. الانحدار العالي يعزز من احتمالية حدوث هذه الأنواع من المخاطر بسبب الضغط المتزايد على التربة والصخور، مما يؤدي إلى تآكل أسرع وانهيارات متكررة. المساحة لهذه الفئة هي 129.50 كم²، تمثل 24.59% من المساحة الكلية.

- في المناطق ذات الانحدار الذي يتجاوز 45°، تبرز المخاطر الجيومورفولوجية مثل الانهيارات الصخرية الكبيرة والانهيارات الجليدية في المناطق الجبلية العالية. الانحدار الحاد للغاية يؤدي إلى حدوث انهيارات صخرية كبيرة، بينما في المناطق الباردة، يمكن أن تحدث الانهيارات الجليدية بسبب تراكم الثلوج والجليد. التآكل السريع للسطوح الصخرية يكون بارزًا في هذه المناطق. المساحة في هذه الفئة هي 14.89 كم²، تشكل 2.83% من المساحة الكلية، خريطة (3).

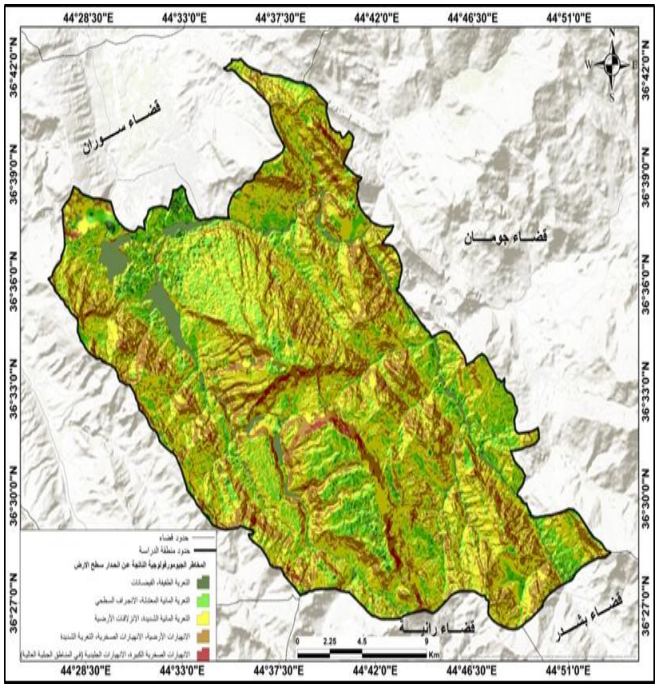
جدول (2) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن الانحدار ومساحتها في منطقة الدراسة

درجة الانحدار (بالدرجة)	المخاطر الجيومورفولوجية	وصف المخاطر	المساحة كم²	%
0° - 5°	التعرية الطفيفة، الفيضانات	في هذه المناطق ذات الانحدار البسيط، تكون التعرية ضئيلة، ولكن الفيضانات قد تشكل خطرًا بسبب بطء تصريف المياه.	33.16	6.30
5° - 15°	التعرية المائية المعتدلة، الانجراف السطحي	الانحدار المتوسط يزيد من خطر التعرية المائية والانجراف السطحي للتربة، خاصة في حالة غياب الغطاء النباتي.	107.72	20.46
15° - 30°	التعرية المائية الشديدة، الانزلاقات الأرضية	في هذه المناطق، تزايد خطر التعرية بشكل كبير، وقد تحدث انزلاقات أرضية بسبب الانحدار الشديد ووجود تربة غير مستقرة.	241.35	45.83
30° - 45°	الانهيارات الأرضية، الانهيارات الصخرية، التعرية الشديدة	مع زيادة الانحدار، تصبح الانهيارات الأرضية والانهيارات الصخرية أكثر شيوعًا، بالإضافة إلى التعرية الشديدة للتربة.	129.50	24.59
أكثر من 45°	الانهيارات الصخرية الكبيرة، الانهيارات الجليدية (في المناطق الجبلية العالية)	في المناطق ذات الانحدار الحاد جدًا، تكون الانهيارات الصخرية والانهيارات الجليدية في المناطق الباردة من المخاطر الرئيسية، مع تآكل سريع للسطوح الصخرية.	14.89	2.83
			526.62	100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (3).

الخريطة (3)

المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن انحدار سطح الأرض



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

1-1 المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة اقسام سطح الارض:

تؤدي اختلافات أقسام سطح الأرض إلى مخاطر جيومورفولوجية متنوعة تؤثر على البيئة والبنية التحتية. في المناطق ذات المنحدرات الحادة، تكون التربة والصخور غير مستقرة بسبب قوة الجاذبية، مما يؤدي إلى الانهيارات الأرضية والانزلاقات الصخرية التي تضر بالبنية التحتية والأراضي الزراعية.

في المناطق المسطحة أو ذات الانحدار الطفيف، يمكن أن يتسبب تجمع المياه في حدوث فيضانات، خاصة خلال الأمطار الغزيرة، مما يؤدي إلى أضرار للممتلكات وتآكل التربة وفقدان الخصوبة الزراعية، أما في المناطق الجبلية، فالتعرية الجليدية والانهيارات الجليدية تشكل مخاطر بارزة، حيث تؤدي الأنهار الجليدية إلى إزالة التربة والصخور، ويؤدي عدم استقرار الجليد إلى انهيارات ضخمة. هذه الظواهر يمكن أن تدمر البنية التحتية وتؤثر على البيئة، تتطلب إدارة هذه المخاطر استراتيجيات فعالة لحماية البيئة، وتحسين البنية التحتية، وإدارة المياه والتربة لضمان استدامة المناطق المتأثرة [2]. وتصنف المخاطر طبقاً لا قسام سطح الارض الى الاقسام الاتية جدول (4).

في المناطق التي يتراوح ارتفاعها بين 500 و1000 متر، تتميز التضاريس بالتلال والمناطق المنحدرة. في هذه المناطق، تبرز المخاطر الرئيسية مثل

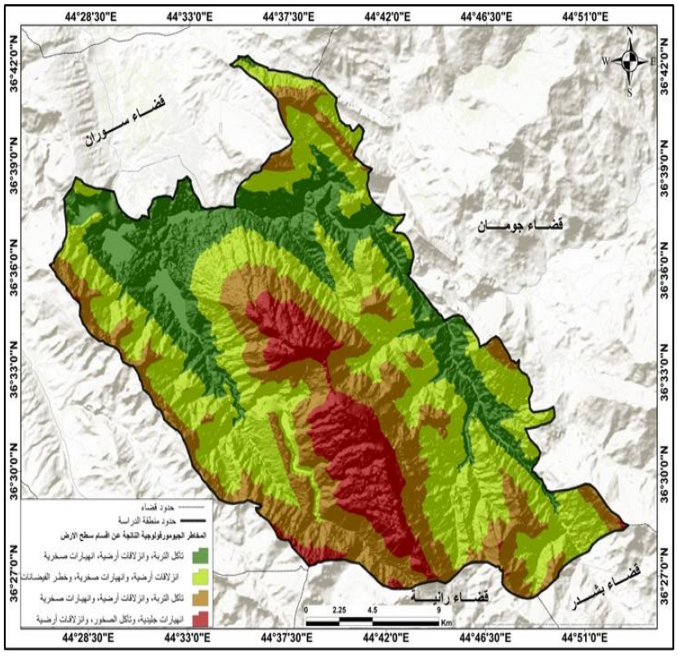
تآكل التربة، الانزلاقات الأرضية، والانهيارات الصخرية. يعود سبب هذه المخاطر إلى تأثير الجاذبية على التربة والماء، مما يؤدي إلى تآكل التربة والانزلاقات الأرضية التي تكون شائعة بسبب المنحدرات. كما أن الصخور في هذه المناطق قد تكون غير مستقرة وتؤدي إلى انهيارات. المساحة الإجمالية لهذه الفئة هي 120.60 كم²، أي 22.82% من المساحة الكلية.

عند الارتفاع بين 1000 و1500 متر، تشمل التضاريس تلالًا مرتفعة وجبالًا منخفضة. هنا، تزداد المخاطر مثل الانزلاقات الأرضية والانهيارات الصخرية، بالإضافة إلى خطر الفيضانات. التلال المرتفعة تكون أكثر عرضة للانزلاقات إذا كانت التربة غير مستقرة، بينما الجبال المنخفضة قد تعاني من مشاكل في تصريف المياه، مما يزيد من خطر الفيضانات. المساحة لهذه الفئة تبلغ 215.96 كم²، وهو ما يشكل 40.86% من المساحة الكلية.

في الارتفاعات من 1500 إلى 2000 متر، تكون التضاريس عبارة عن جبال متوسطة. في هذه المناطق، تشمل المخاطر تآكل التربة، الانزلاقات الأرضية، والانهيارات الصخرية. تعاني هذه المناطق من تآكل التربة والانزلاقات الأرضية بسبب التضاريس المتغيرة والمطر الغزير الذي يؤثر على استقرار التربة. المساحة الإجمالية لهذه الفئة هي 135.59 كم²، أي 25.85% من المساحة الكلية.

أما في الارتفاعات التي تتراوح بين 2000 و3000 متر، فتكون التضاريس جبالًا مرتفعة. في هذه المناطق، تتجلى المخاطر في الانهيارات الجليدية، تآكل الصخور، والانزلاقات الأرضية. تعاني الجبال المرتفعة من خطر الانهيارات الجليدية بسبب البرودة الشديدة والعوامل الجوية القاسية التي تؤدي أيضًا إلى تآكل الصخور. المساحة لهذه الفئة هي 55.34 كم²، وهو ما يشكل 10.47% من المساحة الكلية، خريطة (4).

الخريطة (4) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن اقسام سطح الارض



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

جدول (3) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن اقسام سطح الارض ومساحتها في منطقة الدراسة

الارتفاع (متر)	التضاريس	المخاطر الجيومورفولوجية	الوصف	المساحة كم2	%
500 - 1000	تلال ومناطق منحدرة	- تآكل التربة انزلاقات أرضية - انهيارات صخرية	التلال والمناطق المنحدرة عرضة لتآكل التربة والانزلاقات الأرضية بسبب تأثير الجاذبية والماء.	120.60	22.82
1000 – 1500	تلال مرتفعة وجبال منخفضة	-انزلاقات أرضية - انهيارات صخرية - خطر الفيضانات	التلال المرتفعة قد تكون أكثر عرضة للانزلاقات إذا كانت التربة غير مستقرة. الجبال المنخفضة قد تواجه مشاكل في التصريف مما يؤدي إلى الفيضانات.	215.96	40.86
1500 – 2000	جبال متوسطة	-تآكل التربة - انزلاقات أرضية - انهيارات صخرية	الجبال المتوسطة قد تعاني من تآكل التربة و انزلاقات أرضية بسبب التضاريس المتغيرة والمطر الغزير.	135.59	25.85
2000 - 3000	جبال مرتفعة	-انهيارات جليدية - تآكل الصخور - انزلاقات أرضية	الجبال المرتفعة قد تواجه خطر الانهيارات الجليدية والتآكل الشديد بسبب البرودة الشديدة والعوامل الجوية القاسية.	55.34	10.47

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (4).

2- تقييم المؤشرات الهيدرولوجية:

1-2 المخاطر الناتجة عن شبكات الصرف المائي

تؤدي اختلافات سطح الأرض إلى مجموعة من المخاطر الجيومورفولوجية التي تؤثر على البيئة والبنية التحتية. في المناطق ذات المنحدرات الحادة، تكون التربة والصخور عرضة للانزلاقات والانهيارات الأرضية بسبب قوة الجاذبية، مما يؤدي إلى أضرار كبيرة للبنية التحتية والأراضي الزراعية. بالمقابل، في المناطق المسطحة أو ذات الانحدار الطفيف، يمكن أن يتسبب تجمع المياه في حدوث فيضانات، خصوصًا خلال الأمطار الغزيرة، مما يؤثر على الممتلكات والتربة الزراعية. في المناطق الجبلية، تشكل التعرية الجليدية والانهيارات الجليدية والمائية مخاطر رئيسية، حيث تؤدي الأنهار الجليدية إلى إزالة التربة والصخور، وتسبب الانهيارات الجليدية أضرارًا ضخمة [3] ان التعامل مع هذه المخاطر يتطلب استراتيجيات فعالة لحماية البيئة وتحسين البنية التحتية وإدارة المياه والتربة لضمان استدامة المناطق المتأثرة، فيما يتعلق بكثافة الشبكة المائية[4] تتفاوت المخاطر الجيومورفولوجية حسب كثافة الشبكة المائية كما في الجدول (4) وخريطة (5) وكلاتي:

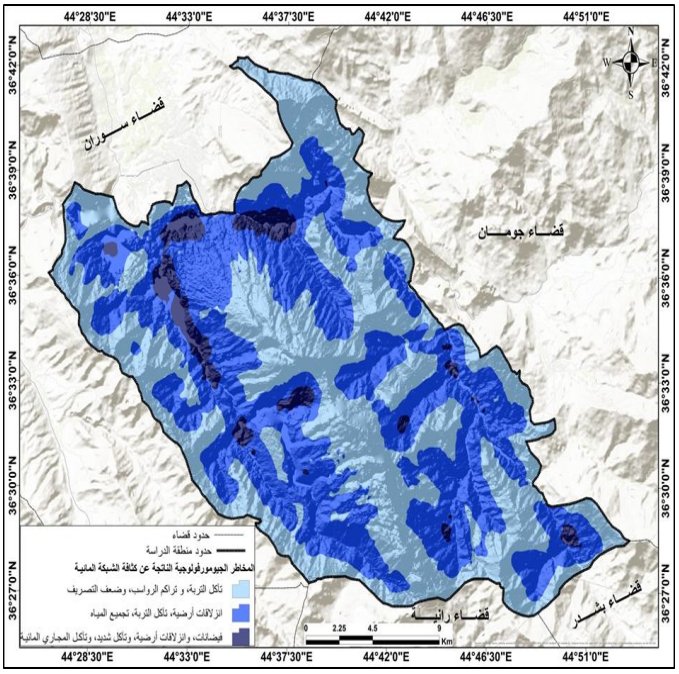
- في المناطق ذات كثافة الشبكة المائية المنخفضة، تتضمن المخاطر الرئيسية تآكل التربة، تراكم الرواسب، وضعف التصريف. في هذه المناطق، قد يكون
- تآكل التربة بطيئاً، لكن تراكم الرواسب يمكن أن يحدث تدريجياً بسبب عدم فعالية التصريف. وهذا يعني أن المياه التي تتدفق ببطء قد تتجمع وتسبب تراكم الرواسب بمرور الوقت. المساحة الإجمالية لهذه الفئة تبلغ 185.22 كم²، أي 35.06% من المساحة الكلية.
- عند النظر إلى كثافة الشبكة المائية المتوسطة، تبرز المخاطر مثل الانزلاقات الأرضية، تآكل التربة، وتجميع المياه. في هذه الحالة، تكون المياه منقولة بشكل أكثر فعالية مقارنة بالكثافة المنخفضة، مما يمكن أن يؤدي إلى تجمع المياه في بعض المناطق. هذا قد يسبب انزلاقات أرضية وتآكل التربة نتيجة لتحرك المياه بفعالية أكبر. المساحة الإجمالية لهذه الفئة هي 238.44 كم²، ما يمثل 45.13% من المساحة الكلية.
- في المناطق ذات كثافة الشبكة المائية العالية، تشمل المخاطر الفيضانات، الانزلاقات الأرضية، التآكل الشديد، وتآكل المجاري المائية. في هذه المناطق، يكون تدفق المياه قوياً للغاية مما يزيد من مخاطر الفيضانات والانزلاقات الأرضية. كما أن التآكل في المجاري المائية يكون شديداً بسبب التدفق الكبير للمياه، مما يؤثر على استقرار التربة والمجاري المائية نفسها. المساحة لهذه الفئة هي 104.67 كم²، وهو ما يشكل 19.81% من المساحة الكلية.

1 -تقييم المؤشرات الجيولوجية:

1-3 المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن نوع الصخور:

تتنوع المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن نوع الصخور بشكل كبير، حيث تؤثر خصائص الصخور المختلفة على استقرار الأرض والميل إلى الانهيارات والانزلاقات. الصخور الرسوبية مثل الحجر الجيري والصخور الرملية تكون عرضة للتآكل والتفكك بسهولة، مما يجعلها أكثر عرضة للانهيارات الأرضية خاصة في المناطق ذات الأمطار الغزيرة. في المناطق الجبلية، قد تؤدي الصخور النارية مثل الجرانيت إلى الانهيارات الصخرية بسبب تواجدها في المنحدرات الحادة وتعرضها لعوامل التجوية الميكانيكية مثل التمدد الحراري والتجمد والذوبان المتكرر. بالإضافة إلى ذلك، الصخور المتحولة مثل الشيست يمكن أن تكون غير مستقرة عندما تتعرض للانحدارات الشديدة بسبب تكوينها الطبقي الذي يسهل الانزلاقات الأرضية. تعتمد خطورة هذه المخاطر على تفاعل نوع الصخور مع العوامل البيئية المختلفة مثل الأمطار والحرارة والضغط، مما يجعل من الضروري دراسة نوعية الصخور بدقة عند تقييم المخاطر الجيومورفولوجية في أي منطقة [1]، وتصنف المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة نوع الصخور ومساحتها في منطقة الدراسة كما في الجدول (5) وخريطة (6).

الخريطة (5) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن كثافة الشبكة المائية



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

2-3 المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن التربة:

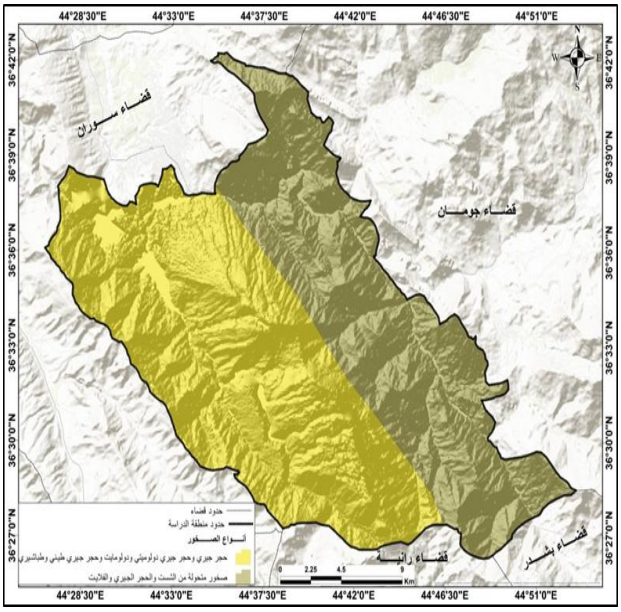
المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن التربة تشمل عدة جوانب تؤثر على استقرار الأرض والبيئة في الأراضي الوعرة المشققة الصخرية، تكون الصخور عرضة للانهيارات المفاجئة بسبب التشققات العميقة، مما يجعل هذه التربة غير مستقرة وخطرة للبناء. في الأراضي الجبلية الوعرة، تزداد احتمالية الانزلاقات الأرضية بسبب الانحدارات الحادة، مع تآكل سريع للتربة السطحية. أما في الأراضي الجبلية الوعرة جدًا مثل أراضي البيا العالية، فتكون المخاطر الجيومورفولوجية في أعلى مستوياتها، مع خطر شديد للانزلاقات والانهيارات الأرضية، مما يجعلها غير صالحة للاستخدام البشري وتتطلب تخطيطًا وإجراءات وقائية دقيقة [9]، وتصنف المخاطر طبقاً لأصناف التربة الى الاقسام الاتية جدول (6).

جدول (4) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن شبكات الصرف المائية ومساحتها في منطقة الدراسة

كثافة الشبكة المائية	المخاطر الجيومورفولوجية	الوصف	المساحة كم²	%
منخفضة	-تآكل التربة - تراكم الرواسب - ضعف التصريف	في المناطق ذات كثافة شبكة مائية منخفضة، قد يكون هناك تآكل بطيء ولكن تراكم الرواسب يمكن أن يحدث مع الوقت بسبب ضعف التصريف.	185.22	35.06
متوسطة	-انزلاقات أرضية - تآكل التربة - تجميع المياه	كثافة الشبكة المائية المتوسطة يمكن أن تؤدي إلى انزلاقات أرضية وتآكل التربة، حيث يتم نقل المياه بشكل أكثر فعالية مما يؤدي إلى تجمعها في بعض المناطق.	2384	45.13
عالية	-فيضانات - انزلاقات أرضية - تآكل شديد - تآكل المجاري المائية	في المناطق ذات كثافة شبكة مائية عالية، تكون هناك مخاطر أكبر للفيضانات والانزلاقات الأرضية، بالإضافة إلى تآكل شديد في المجاري المائية بسبب تدفق المياه	104.67	19.81
المجموع			528.33	100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (5)

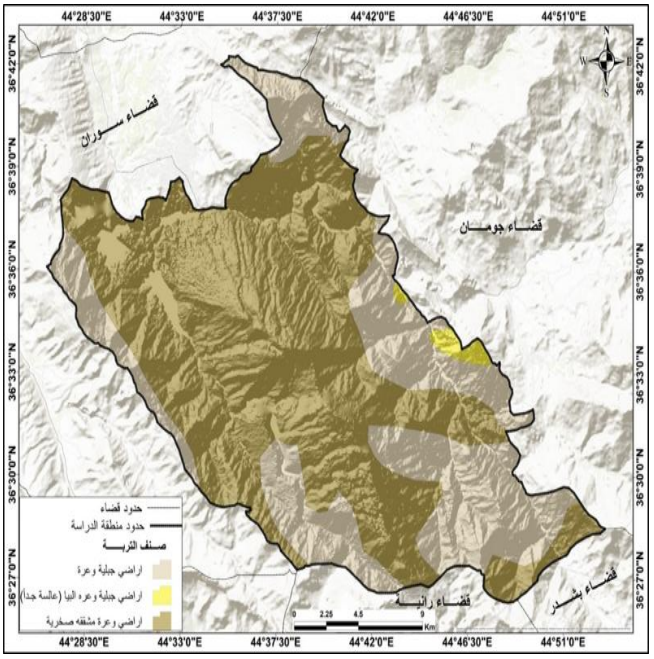
خريطة (6) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن نوع الصخور



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

- أراضي وعرة مشققة صخرية، والتي تغطي 347.45 كيلومتر مربع وتشكل 65.74% من المساحة الإجمالية، تواجه مخاطر كبيرة تتعلق بالانهيارات الصخرية المفاجئة. هذه الانهيارات تحدث بسبب التشققات العميقة في الصخور التي تضعف استقرارها. كما أن هذه الأراضي تعاني من صعوبة في استقرار البناء والبنية التحتية، مما يجعل تطوير هذه المناطق أمراً معقداً ومكلفاً. بالإضافة إلى ذلك، هناك تآكل سطحي ملحوظ وتدهور في التربة نتيجة لضعف التماسك بين الصخور، مما يؤدي إلى فقدان التربة وازدياد المخاطر البيئية.

خريطة (7) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن التربة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

جدول (5) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة نوع الصخور ومساحتها في منطقة الدراسة

نوع الصخور	المخاطر الجيومورفولوجية	المساحة كم²	%
حجر جيري (Limestone)	• عرضة للتآكل الكارستي الذي يشكل كهوفاً وشقوقاً تحت سطحية. • انهيارات أرضية نتيجة التجاويف تحت الأرض. • تآكل كيميائي بسبب التفاعل مع المياه الحمضية.	299.60	56.69
حجر جيري دولوميتي (Dolomitic	• تآكل كارستي مشابه للحجر الجيري ولكن بوتيرة أبطأ. • يمكن أن يكون أكثر مقاومة للتآكل الحمضي		

نوع الصخور	المخاطر الجيومورفولوجية	المساحة كم²	%
Limestone)	• عرضة للانهيارات الأرضية في المناطق الكارستية.		
دولومايت (Dolomite)	• مقاوم نسبيًا للتآكل الكارستي مقارنة بالحجر الجيري. • عرضة لانهيارات أرضية في المناطق الجبلية. • تآكل كيميائي ولكن بشكل أقل من الحجر الجيري.		
حجر جيري طيني (Marl)	• تآكل سريع نتيجة للمحتوى الطيني، مما يزيد من مخاطر الانهيارات الأرضية. • انجراف التربة والتآكل السطحي. • عرضة للتعرية بفعل الماء والرياح.		
طباشيري (Chalk)	• عرضة للتآكل الكارستي السريع والتجاويف. • انهيارات أرضية نتيجة للتآكل الداخلي. • تآكل سريع نتيجة لضعف بنية الصخور الطباشيرية.		
صخور متحولة من الشست (Schist)	• عرضة للانهيارات الأرضية بسبب انشقاقاتها الطبيعية. • يمكن أن تتفكك بسرعة تحت تأثير التجوية الميكانيكية والكيميائية. • قابلة للتآكل في المناطق ذات الانحدار الشديد.	228.90	43.31
صخور متحولة من الحجر الجيري (Marble)	• عرضة للتآكل الكيميائي، خاصة في المناطق الكارستية. • انهيارات أرضية في المناطق الجبلية بسبب طبيعتها المتحولة • أقل عرضة للتآكل الميكانيكي مقارنة بالصخور الرسوبية الأخرى.		
صخور متحولة من الفلايت (Phyllite)	• عرضة للانهيارات الأرضية بسبب الشقوق والانفصال بين الطبقات • التآكل السريع تحت تأثير التجوية الميكانيكية. • تفكك سهل نسبيًا في المناطق ذات الانحدار الشديد.		
المجموع		528.50	100

أراضي جبلية وعرة، التي تغطي 175.66 كيلومتر مربع وتشكل 33.24% من المساحة الكلية، تواجه خطر الانزلاقات الأرضية بشكل خاص بسبب الانحدارات الحادة.

هذا النوع من الأراضي يعاني من تآكل التربة السطحي السريع، خاصة أثناء الأمطار الغزيرة، مما يزيد من احتمالية حدوث فيضانات وانزلاقات. التضاريس الصعبة تجعل من الزراعة واستخدام الأراضي تحدياً كبيراً، حيث تكون إمكانية الوصول إلى هذه المناطق وتطويرها محدودة.

- أراضي جبلية وعرة البيا (عالية جداً)، التي تمثل 5.40 كيلومتر مربع فقط وتشكل 1.02% من المساحة الإجمالية، تعتبر من أخطر أنواع الأراضي المذكورة. هذه الأراضي معرضة بشكل كبير للانزلاقات الأرضية والانهيارات الصخرية، مما يجعل من الصعب جداً الوصول إليها أو بناء أي بنية تحتية عليها. التآكل الشديد للتربة في هذه المناطق يمكن أن يؤدي إلى فقدان كامل للتربة السطحية، مما يترك الأرض عرضة لمزيد من التدهور البيئي وفقدان الخصوبة، خريطة (7).

3- تقييم المؤشرات البيئية:

1-4 المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن تدهور الغطاء النباتي:

تؤثر المخاطر الجيومورفولوجية المرتبطة بالغطاء النباتي بشكل معقد على تشكيل واستقرار الأرض. يلعب الغطاء النباتي، من الغابات إلى النباتات الصغيرة، دوراً أساسياً في التحكم في التآكل والاستقرار الجيومورفولوجي. عندما يكون الغطاء كثيفاً ومستقراً، يمنع التآكل بفضل امتصاص المياه وتقليل جريانها، مما يساعد في تثبيت التربة ومنع الانزلاقات، لكن، عند تغيير الغطاء النباتي أو تدهوره، مثل إزالة الأشجار، تصبح التربة أقل استقراراً، مما يزيد من سرعة جريان المياه السطحية ويسبب التآكل والانزلاقات الأرضية، خاصة أثناء الأمطار الغزيرة. في المناطق الجافة أو شبه الجافة، نقص الغطاء النباتي يؤدي إلى تآكل سريع وتدهور التربة، ويتفاقم في ظروف الجفاف أو غياب استراتيجيات الحماية.

التغيرات البشرية مثل البناء والزراعة أيضاً قد تزيد من عدم استقرار التربة وتعزز مخاطر الانزلاقات. في بعض الحالات، يمكن للغطاء النباتي الكثيف على المنحدرات الشديدة أن يسبب زيادة في وزن التربة والصخور، مما يعزز احتمال الانزلاقات إذا كانت الجذور غير كافية لدعم التربة، فيما يتعلق بكثافة الغطاء النباتي وتأثيره على المخاطر الجيومورفولوج [7]. يمكن تصنيف المناطق إلى ثلاث فئات رئيسية حسب كثافة الغطاء النباتي كما في الجدول(7) وكلاتي:

- **المناطق ذات الغطاء النباتي المنخفض:** في هذه المناطق، يكون الغطاء النباتي ضعيفاً، مما يعني أن التربة معرضة بشكل كبير للعوامل الجوية مثل الرياح والمطر. هذا يؤدي إلى تآكل التربة وزيادة خطر الانزلاقات الأرضية. تدهور التربة يصبح مشكلة رئيسية بسبب نقص الحماية الطبيعية التي يوفرها الغطاء النباتي. تغطي هذه الفئة مساحة تبلغ 140.61 كم²، وهو ما يمثل 26.61% من المساحة الكلية.
- **المناطق ذات الغطاء النباتي المتوسط:** توفر المناطق ذات الغطاء النباتي المتوسط حماية نسبية للتربة، مما يقلل من التآكل والانزلاقات الأرضية مقارنة بالمناطق ذات الغطاء النباتي المنخفض. مع ذلك، يمكن أن تحدث بعض

المخاطر في الظروف القاسية مثل الأمطار الغزيرة أو الرياح القوية، حيث قد لا يكون الغطاء النباتي كافياً لمنع جميع الانزلاقات أو تراكم الرواسب. تغطي هذه الفئة مساحة تبلغ 263.13 كم²، ما يعادل 49.80% من المساحة الكلية.

جدول (6) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن التربة ومساحتها في منطقة الدراسة

نوع التربة	المخاطر الجيومورفولوجية	المساحة كم²	%
أراضي وعرة مشققة صخرية	- عرضة لانهيارات صخرية مفاجئة بسبب التشققات العميقة في الصخور. - صعوبة في استقرار البناء والبنية التحتية. - تآكل السطح وتدهور التربة بسبب ضعف التماسك بين الصخور.	347.45	65.74
أراضي جبلية وعرة	- خطر الانزلاقات الأرضية بسبب الانحدارات الحادة. - تآكل التربة السطحي السريع، خاصة أثناء الأمطار الغزيرة. - صعوبة في الزراعة واستخدام الأراضي بسبب التضاريس الصعبة.	175.66	33.24
أراضي جبلية وعرة البيا (عالية جداً)	- مخاطر عالية جدًا للانزلاقات الأرضية والانهيارات الصخرية. - صعوبة في الوصول وبناء البنية التحتية. - تآكل شديد للتربة يمكن أن يؤدي إلى فقدان التربة السطحية بالكامل.	5.40	1.02
المجموع		528.50	100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (7).

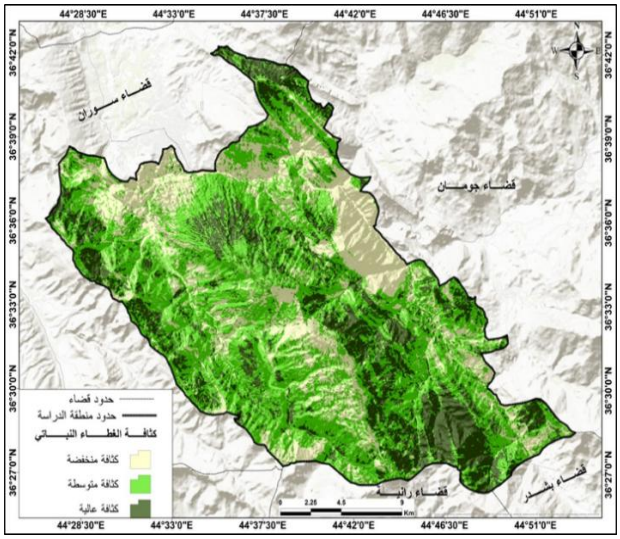
جدول (7) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن تدهور الغطاء النباتي ومساحتها في منطقة الدراسة

كثافة الغطاء النباتي	المخاطر الجيومورفولوجية	الوصف	المساحة كم²	%
منخفض	- تآكل التربة - انزلاقات أرضية - تدهور التربة	الغطاء النباتي المنخفض يسبب ضعف حماية التربة من العوامل الجوية، مما يؤدي إلى تآكل التربة وزيادة خطر الانزلاقات الأرضية.	140.61	26.61
متوسط	- تآكل طفيف - انزلاقات أرضية محدودة - تراكم الرواسب	كثافة الغطاء النباتي المتوسطة توفر حماية نسبية للتربة، مما يقلل من تآكلها وانزلاقاتها، ولكن يمكن أن تحدث بعض المخاطر في الظروف القاسية.	263.13	49.80
عالي	- انخفاض تآكل التربة - استقرار أرضي أكبر - حماية فعالة من الانزلاقات الأرضية	الغطاء النباتي الكثيف يوفر حماية فعالة للتربة من التآكل والانزلاقات الأرضية، حيث يعمل على تثبيت التربة وتقليل تأثير العوامل الجوية.	124.68	23.60
المجموع			528.42	100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (8).

- **المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف:** الغطاء النباتي الكثيف يوفر حماية فعالة للتربة من التآكل والانزلاقات الأرضية. الجذور والنباتات تساعد في تثبيت التربة وتقليل تأثير العوامل الجوية الضارة. نتيجة لذلك، تكون المخاطر الجيومورفولوجية في هذه المناطق منخفضة نسبياً. تغطي هذه الفئة مساحة تبلغ 124.68 كم²، وهو ما يمثل 23.60% من المساحة الكلية، خريطة (8).

خريطة (8) المخاطر الجيومورفولوجية الناتجة عن كثافة الغطاء النباتي



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

4- تقييم خريطة المخاطر الجيومورفولوجية لقضاء راوندوز:

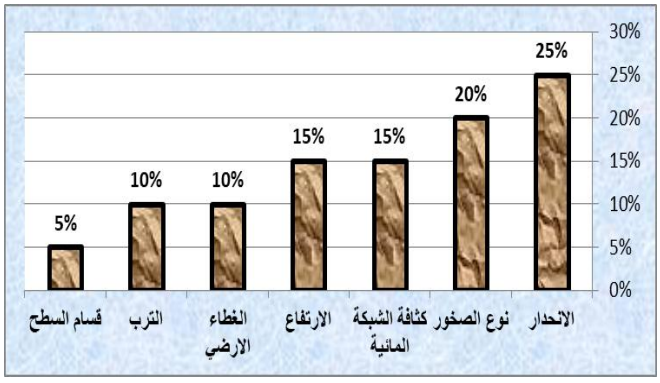
تُعرّف المخاطر بأنها تأثيرات مفاجئة وسريعة ناتجة عن الظواهر الطبيعية تؤثر بعمق على النظم الاجتماعية والاقتصادية، مما يؤدي إلى وقوع أضرار مادية وبشرية كبيرة. بعبارة أخرى، تُعتبر المخاطر الطبيعية أحداثاً تقع في زمان ومكان معينين وتهدد بشكل مباشر منطقة معينة أو مجتمع محدد.

في قضاء راوندوز، يتطلب تقييم المخاطر الجيومورفولوجية اعتماداً دقيقاً على خرائط تعكس مختلف جوانب هذه المخاطر، وخاصة تلك المتعلقة بتدهور الغطاء النباتي. تعتمد هذه الخرائط على دمج وتحليل طبقات معلوماتية متعددة تُعنى بالعوامل التي تساهم في هذا التدهور. إن فهم هذه العوامل وتحليلها هو أمر بالغ الأهمية لأنه يوفر لمخططي استخدامات الأرض أداة قوية تساعدهم على استيعاب الخصائص الكمية والنوعية للأرض، وما قد ينجم عن هذه الخصائص من مؤشرات حول درجة حساسية التربة والمناطق الأخرى تجاه التدهور.

لتحقيق هذا الهدف في قضاء راوندوز، تم استخدام أسلوب التطابق الخرائطي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS). في هذا السياق، يتم تمثيل الظواهر الجغرافية كطبقات (Layers) رقمية، حيث تحتوي كل طبقة على معطيات مكانية ذات خصائص مشتركة ومترابطة. هذه المعطيات مسجلة ومُعالجة لتشكل قاعدة بيانات مكانية شاملة تُغطي المنطقة المدروسة من سطح الأرض.

من أجل إبراز المخاطر البيئية في قضاء راوندوز وتحديد درجات هذه المخاطر، تم تصميم خرائط متخصصة باستخدام طريقة وزن الطبقات. هذه الطريقة تتيح دمج وتحليل الطبقات المختلفة باستخدام إحدى وظائف برنامج نظم المعلومات الجغرافية، والمعروفة باسم "Overlay"، حيث تُحدد الأهمية النسبية لكل طبقة بناءً على عوامل متعددة.

شكل (1) النسبة المئوية المخاطر الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول(8).

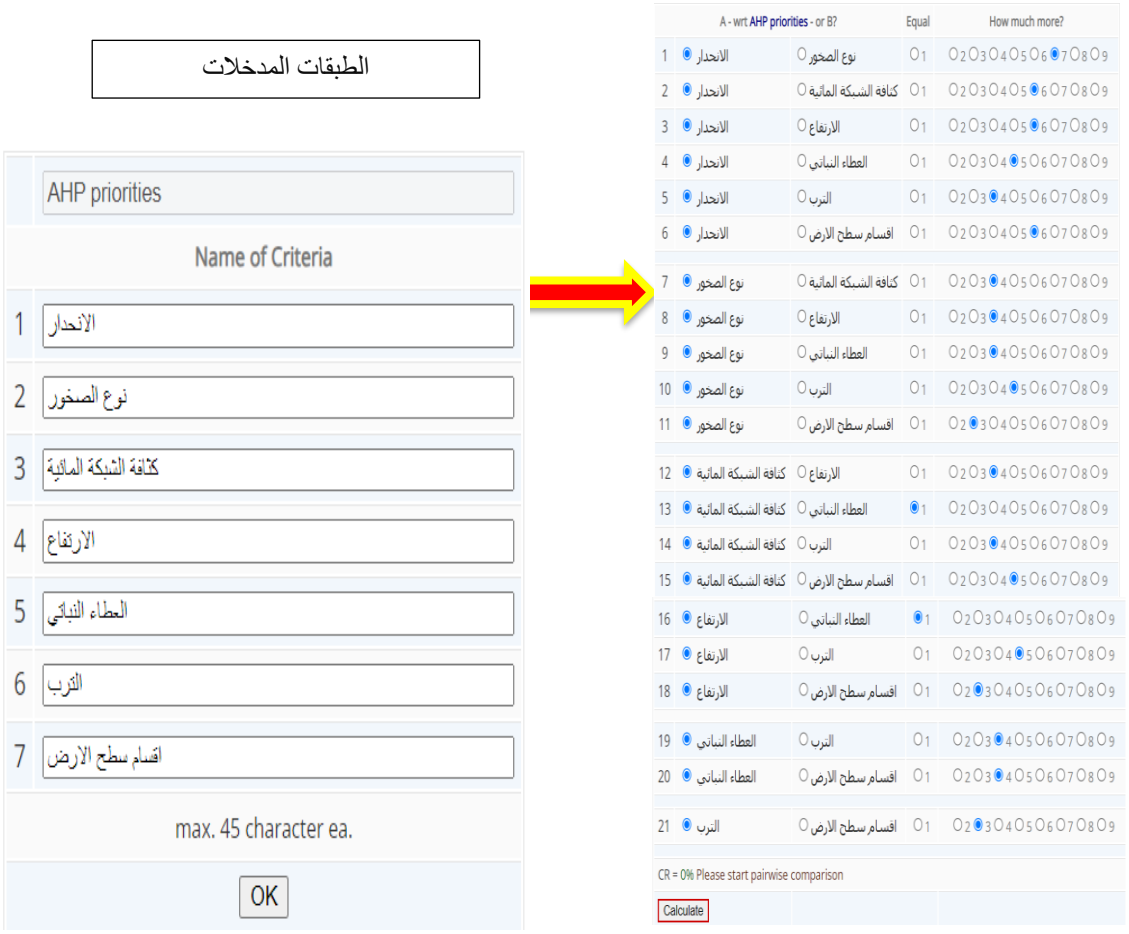
تم عرض هذه الطبقات وأوزانها الترجيحية في الجدول (8) والأشكال (1) و(2). وقد خضعت الطبقات لاختبارات إحصائية وتحليلية هرمية باستخدام نظام (AHP Online System – AHP-OS) لتقييم أهميتها. من خلال هذه العملية، تم تصميم خريطة مفصلة للمخاطر الجيومورفولوجية في قضاء راوندوز. هذه الخريطة توفر أداة بصرية وبيانية تُسهّل على مخططي الأراضي فهم وتقييم المخاطر الجيومورفولوجية، مما يساعد في اتخاذ القرارات اللازمة للحد من تأثير هذه المخاطر وتعزيز الاستدامة البيئية في المنطقة.

الجدول (8) يوضح الطبقات التي تم استخدامها كأساس في بناء خريطة المخاطر الجيومورفولوجية

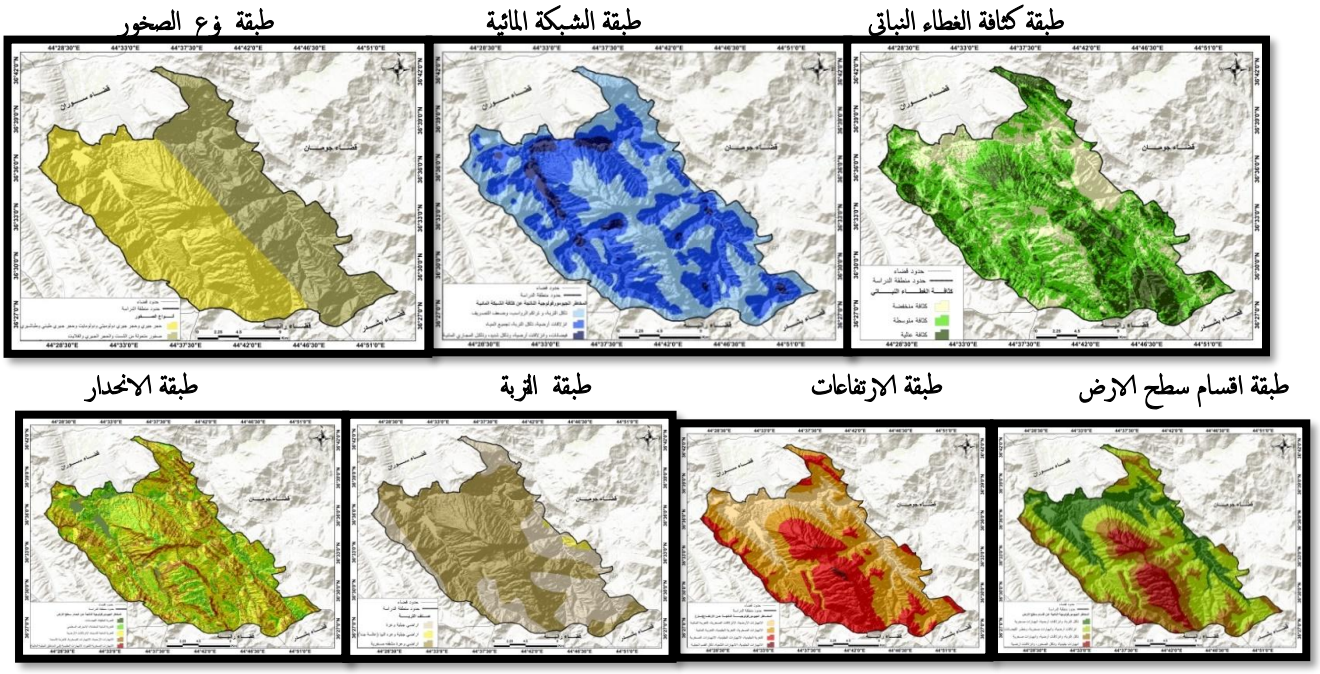
ت	أسم الطبقة		المصدر	المرتبة	الافضلية %
1	الانحدار	Slope	نموذج الارتفاع الرقميDEM بدقة 12.5متر	1	25%
2	نوع الصخور	Rock Type	خريطة الجيومورفولوجية للعراق بمقياس رسم 1:1000000	2	20%
3	كثافة الشبكة المائية	Water resource intensity	نموذج الارتفاع الرقميDEM بدقة 12.5متر	3	15%
4	الارتفاع	Height	نموذج الارتفاع الرقميDEM بدقة 12.5متر	4	15
5	الغطاء الارضي	Land cover	القمر الاصطناعي لاندسات بدقة 30 مترللفصل الجاف والرطب من عام 2024	5	10
6	الترب	SOIL	منظمة الأغذية والزراعة	6	10
7	قسام السطح	Surface Features	نموذج الارتفاع الرقميDEM بدقة 12.5متر	7	5

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج (AHP Online System – AHP-OS).

شكل (2) يوضح أفضليه الطبقات المدخلة في تحديد المخاطر الجيومورفولوجية



الشكل (3) الطبقات التي تم الاعتماد عليها في نموذج مخاطر الجيومورفولوجية



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خرائط الدراسة.

ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تميزية 12.5 متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

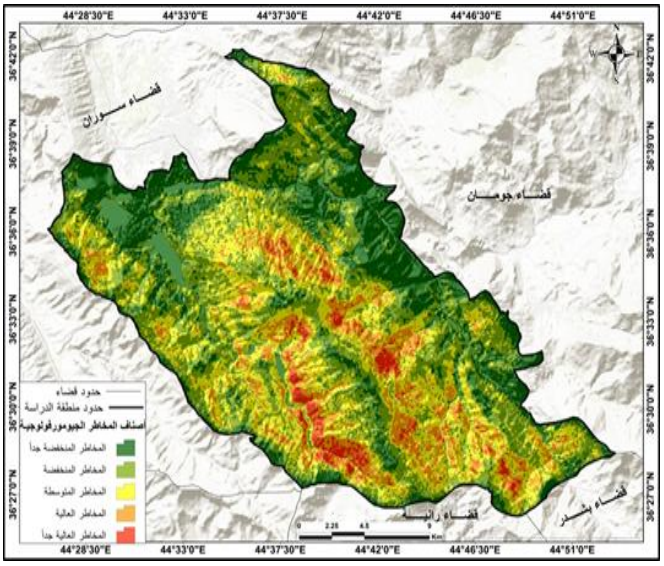
يتضح من خلال الجدول (9) إذ تغطي الفئة الأولى، وهي المخاطر المنخفضة جداً، مساحة قدرها 154.83 كم² بنسبة 29.46%، وتتركز بشكل رئيسي في المناطق المستقرة جيولوجياً، حيث تكون الانحدارات قليلة والتضاريس مستقرة، مما يقلل من احتمالية حدوث المخاطر الجيومورفولوجية. الفئة الثانية، المخاطر المنخفضة، تمتد على مساحة 169.04 كم² بنسبة 32.16%، وتنتشر في المناطق التي تتميز بانحدارات معتدلة، ما يجعلها أكثر عرضة للمخاطر مقارنة بالفئة الأولى ولكنها لا تزال تحتفظ بمستوى منخفض من الخطورة. الفئة الثالثة، المخاطر المتوسطة، تشغل مساحة 119.68 كم² بنسبة 22.77%، وتتواجد في المناطق التي تشهد تباينًا أكبر في التضاريس والانحدارات، مما يرفع مستوى الخطورة إلى مستوى متوسط. الفئة الرابعة، المخاطر العالية، تغطي مساحة 63.62 كم² بنسبة 12.10%، وتتركز في المناطق ذات التضاريس الوعرة والانحدارات الحادة، ما يزيد من احتمالية حدوث مخاطر جيومورفولوجية مثل الانهيارات الأرضية. وأخيرًا، الفئة الخامسة، المخاطر العالية جداً، تشغل أقل مساحة بواقع 18.44 كم² بنسبة 3.51%، وتتواجد في المناطق الأكثر تعرضاً للمخاطر بسبب التضاريس الشديدة والانحدارات الحادة جداً، مما يجعلها الفئة الأكثر خطورة في منطقة الدراسة، خريطة (9).

جدول (9) مساحة أصناف مخاطر الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة

ت	أصناف التدهور	المساحة كم²	%
1	المخاطر المنخفضة جداً	154.83	29.46
2	المخاطر المنخفضة	169.04	32.16
3	المخاطر المتوسطة	119.68	22.77
4	المخاطر العالية	63.62	12.10
5	المخاطر العالية جداً	18.44	3.51

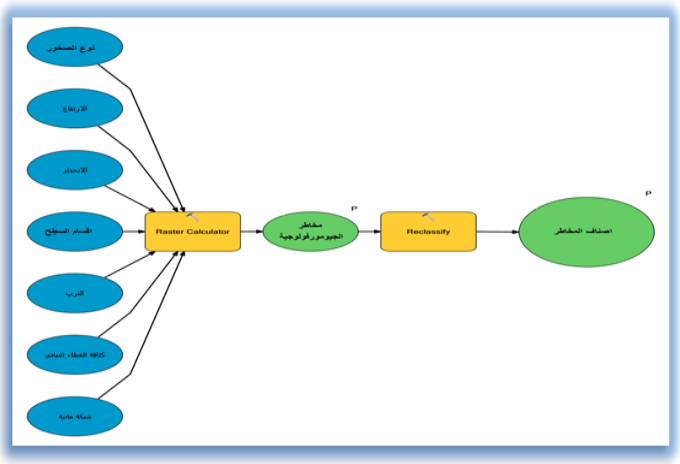
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (9)

خريطة (9) أصناف مخاطر الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خرائط المدرجة في شكل اعلاه، وبرنامج (ARC.GIS).

شكل (4) نمذجة المخاطر الجيومورفولوجية باستخدام Model Builder



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج (ARC.GIS).

الاستنتاجات:

1- ان استخدام التقنيات الجغرافية الحديثة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، تمكّن من تحديد وتقييم المناطق الأكثر عرضة للمخاطر الجيومورفولوجية بدقة عالية. هذه التقنيات توفر أدوات متقدمة لتحليل التضاريس والجيولوجيا، مما يعزز من قدرتنا على تحديد مناطق الخطر بدقة.

2- توصلت أن المخاطر الجيومورفولوجية تختلف حسب الارتفاعات. في الارتفاعات من 500 إلى 1000 متر، تهيمن الانهيارات الأرضية والانزلاقات الصخرية والتعرية المائية. في الارتفاعات من 1000 إلى 1500 متر، تزداد مخاطر الانهيارات الصخرية والتعرية الجليدية. بين 1500 و2500 متر، تتفوق التعرية الجليدية والانهيارات الجليدية والصخرية. أما فوق 2500 متر، فتسود الانهيارات الجليدية والثلجية وتآكل القمم الجبلية.

3- تتنوع المخاطر الجيومورفولوجية حسب درجات الانحدار. في الانحدارات المنخفضة، تكون المخاطر الرئيسية التعرية الطفيفة والفيضانات. مع زيادة الانحدار، تزداد المخاطر من التعرية المائية والانجراف السطحي إلى الانزلاقات الأرضية والانهيارات الصخرية. في الانحدارات الشديدة جداً، تسود الانهيارات الصخرية والجليدية، مع تآكل سريع للسطوح.

4- تظهر المخاطر الجيومورفولوجية بوضوح في الارتفاعات المختلفة. بين 500 و1000 متر، تهيمن الانزلاقات الأرضية وتآكل التربة بسبب المنحدرات. في الارتفاعات بين 1000 و1500 متر، تزداد المخاطر بما في ذلك الفيضانات والانزلاقات الأرضية نتيجة لتضاريس التلال والجبال. بين 1500 و2000 متر، تستمر المشاكل مثل تآكل التربة والانزلاقات الأرضية بسبب الأمطار. أما في الارتفاعات بين 2000 و3000 متر، فتبرز مخاطر الانهيارات الجليدية وتآكل الصخور نتيجة للبرودة والعوامل الجوية القاسية.

5- تلعب كثافة الشبكة المائية دورًا رئيسيًا في تحديد المخاطر

الجيومورفولوجية. الكثافة المتوسطة تؤدي إلى الانزلاقات الأرضية وتآكل التربة وتجميع المياه بسبب فعالية نقل المياه. أما الكثافة العالية فتسبب مخاطر أكبر مثل الفيضانات والانزلاقات الأرضية الشديدة وتآكل المجاري المائية، مما يؤثر على استقرار التربة والمجاري.

6- تشكل الأراضي الوعرة المشققة صخرياً، التي تمتد على 347.45 كيلومتر مربع، الجزء الأكبر من المساحة الإجمالية، وتواجه مخاطر الانهيارات الصخرية بسبب التشققات التي تضعف الصخور. الأراضي الجبلية الوعرة، الممتدة على 175.66 كيلومتر مربع، تعاني من الانزلاقات الأرضية وتآكل التربة بسبب الانحدارات الحادة، مما يعقد الزراعة والبنية التحتية. بينما الأراضي الجبلية الوعرة للغاية، التي تغطي 5.40 كيلومتر مربع، تواجه أكبر المخاطر من الانزلاقات والانهيارات الصخرية، مما يؤدي إلى تدهور شديد وصعوبة في تطويرها.

7- تواجه المناطق ذات الغطاء النباتي المنخفض مشاكل كبيرة في تآكل التربة والانزلاقات الأرضية بسبب عدم كفاية الحماية النباتية ضد العوامل الجوية. في المقابل، توفر المناطق ذات الغطاء النباتي المتوسط حماية نسبية للتربة، على الرغم من تعرضها لبعض المخاطر في الظروف القاسية. أما المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف فتتمتع بحماية فعالة للتربة بفضل الجذور والنباتات، مما يقلل من المخاطر الجيومورفولوجية بشكل كبير.

8- أظهرت الدراسة أن المخاطر الجيومورفولوجية في قضاء راوندوز تتوزع على خمس فئات رئيسية، تتفاوت بين المخاطر المنخفضة جداً إلى المخاطر العالية جداً. هذا التوزيع يعكس تنوع التكوينات الجيومورفولوجية في المنطقة ويعزز من فهم التهديدات المختلفة.

التوصيات:

1- يُوصى بتوسيع جهود جمع البيانات الجيولوجية والطبوغرافية الدقيقة والشاملة لقضاء راوندوز، من خلال استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد والنماذج الرقمية لارتفاعات الأرض (DEMs). هذه البيانات أساسية لفهم دقيق للخصائص الجيومورفولوجية وتحديد المناطق الأكثر عرضة للمخاطر.

2- تعزيز استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحليل البيانات وتطوير خرائط المخاطر الجيومورفولوجية. تتيح هذه التقنية دمج وتحليل البيانات الجيولوجية والطبوغرافية والمناخية لتحديد المناطق المعرضة للخطر وتقديم نماذج دقيقة للتنبؤ بالمستقبل.

3- يُوصى بإجراء دراسات حالة مفصلة على مناطق معينة ضمن قضاء راوندوز لتحليل المخاطر الجيومورفولوجية بعمق، بما في ذلك تقييم الانهيارات الأرضية والانجرافات والتآكل. يساعد التحليل الشامل في تحسين دقة التقييم وتقديم رؤى قيمة لإدارة المخاطر.

4- يجب تطوير استراتيجيات إدارة المخاطر بناءً على نتائج التقييم، وتشمل وضع خطط للطوارئ وتطوير سياسات تخطيط عمراني تأخذ بعين الاعتبار المخاطر الجيومورفولوجية. من الضروري أيضًا تنفيذ إجراءات لتخفيف المخاطر في المناطق ذات الخطورة العالية.

5- ينبغي تحديث البيانات الجيومورفولوجية بانتظام لضمان دقة التقييم، حيث يمكن أن تؤثر التغيرات البيئية والتضاريسية على المخاطر. التحديث المستمر يوفر معلومات حديثة وموثوقة.

6- يُوصى بتدريب الكوادر المحلية على استخدام تقنيات GIS والاستشعار عن بُعد لتعزيز قدرتهم على تقييم وإدارة المخاطر. هذا سيسهم في تعزيز القدرات المحلية للتعامل مع المخاطر الجيومورفولوجية.

7- يُنصح بتعزيز التعاون مع الجامعات والمراكز البحثية لدعم الأبحاث العلمية وتطوير أدوات وتقنيات جديدة لتحليل المخاطر الجيومورفولوجية. يمكن لهذا التعاون تحسين استراتيجيات التقييم والتخفيف.

8- ينبغي تنفيذ برامج توعية للمجتمع المحلي لزيادة الوعي بالمخاطر الجيومورفولوجية وأهمية الاستعداد وتقليل المخاطر. التثقيف يلعب دورًا مهمًا في تعزيز السلامة العامة والاستجابة الفعالة للطوارئ.

المصادر:

(1) Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). "Tectonic Geomorphology." Blackwell Publishing. Link.
(2) Jones, R. J., & Sutherland, R. (2009). "Effects of land cover change on erosion and sedimentation in catchments." Journal of Hydrology, 370(1-4)
(3) Kundzewicz, Z. W., & Schellnhuber, H. J. (2004). "Floods and climate change." Hydrological Sciences Journal, 49(1),
(4) Milly, P. C. D., & Dunne, K. A. (2016). "Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought." Nature Climate Change, 6.
(5) Mountain Floods (2018) Understanding and Managing the Risks". Edited by J. W. Gill and T. W. White, Wiley-Blackwell,.
(6) Geomorphology(2020)The Mechanics and Chemistry of Landscapes". By R. J. B. D. W. Williams, Academic Press.
(7) Wang, J., & Cheng, G. (2016). "The impact of vegetation cover on soil erosion in the Loess Plateau of China: A review." Journal of Environmental Management, 184,.
(8) Weathering and Soils"(2018) by R. J. M. M. Young and A. M. J. Smith, Cambridge University Press.
(9) Schroeder, P. R., & Goulter, I. C. (1989). "Soil properties and the stability of soil slopes." Journal of Soil and Water Conservation,.
(10) Soil Erosion and Conservation"(2010) by P. M. Davies and R. A. Williams, Blackwell Publishing,.