



ISSN: 1817-6798 (Print)  
Journal of Tikrit University for Humanities

available online at: [www.jtuh.org/](http://www.jtuh.org/)



## Salam Saud Al-Azzawi

College of Education for Plants, Tikrit University,  
Department of Geography

## Abdul Rahman Abdul Kareem Yahya

College of Education for Plants, Tikrit University,  
Department of Geography

## Farah Abdulqader Al-Najdi

College of Education for Plants, Tikrit University,  
Department of Geography

\* Corresponding author: E-mail :  
[Farah.falih872@tu.edu.iq](mailto:Farah.falih872@tu.edu.iq)

### Keywords:

Digital Modeling  
assessment of water erosion dynamics  
Bashdar District, 2024.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 30 Jun 2024  
Received in revised form 6 July 2024  
Accepted 6 July 2024  
Final Proofreading 26 Aug 2025  
Available online 26 Aug 2025

E-mail [t-jtuh@tu.edu.iq](mailto:t-jtuh@tu.edu.iq)

©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER  
THE CC BY LICENSE

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## Digital Modeling for Assessing Water Erosion Dynamics in Bashdar District for the Year 2024

### ABSTRACT

The study focuses on the factors affecting soil erosion caused by water in the region. It relies on Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques to analyze the spatial and temporal characteristics of erosion. Topographic data, such as terrain and slope, climatic data, including precipitation and temperature, and soil characteristics are analyzed for their impact on water erosion. To create a map predicting water erosion risks, a set of fundamental indicators was used: slope map, rock susceptibility map, soil erosion susceptibility map, land use map, coverage degree map, and soil protection degree map. The study concluded that digital modeling is a crucial tool for analyzing water erosion dynamics in Bashdar District. It provides a more accurate understanding of environmental processes like erosion and soil changes, allows for the prediction of erosion rates, and identifies areas most susceptible to soil degradation. GIS and RS techniques also enhance the accuracy of spatial data, facilitating short- and long-term change analysis and reducing reliance solely on field studies. The erosion risk prediction map indicates that weak erosion constitutes 28.2% of the total area, with relatively slow water flow contributing to soil stability, though some erosion is possible due to poor vegetation cover. This is followed by moderate erosion at 27.8%, where increasing runoff speed leads to moderate soil erosion, requiring effective land management strategies. Strong erosion ranks third at 25.7%, with high runoff speed causing significant loss of organic material and fertile soil, necessitating urgent measures. Very strong erosion accounts for 15.8%, with severe erosion due to steep slopes and high runoff speeds, leading to substantial and rapid soil loss, which may require intensive interventions such as constructing barriers and increasing vegetation cover. Finally, very weak erosion constitutes 2.5% of the area, reflecting minimal erosion due to negligible surface runoff, aiding in soil stability.

© 2025 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit  
University

DOI: <http://doi.org/10.25130/jtuh.32.8.5.2025.05>

## النمذجة الرقمية لتقييم ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر لعام ٢٠٢٤

سلام سعود العزاوي / كلية التربية للنبات، جامعة تكريت، قسم الجغرافية

عبد الرحمن عبد الكريم يحيى / كلية التربية للنبات، جامعة تكريت، قسم الجغرافية

فرح عبد القادر النجدي / كلية التربية للنبات، جامعة تكريت، قسم الجغرافية

### الخلاصة:

تهدف النمذجة الرقمية لتقييم ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر إلى تحليل العوامل المؤثرة

على تعرية التربة الناتجة عن المياه في المنطقة. تعتمد الدراسة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (R.S) لتحليل الخصائص المكانية والزمانية للتعرية. تشمل البيانات التي تم تحليلها العوامل الطبوغرافية مثل التضاريس والانحدار، والعوامل المناخية مثل هطول الأمطار ودرجات الحرارة، إلى جانب خصائص التربة، وقد تم استخدام مجموعة من المؤشرات الأساسية للتنبؤ بمخاطر التعرية المائية في المنطقة، ومنها (خريطة الانحدار، خريطة تقييم قابلية الصخور، خريطة قابلية التربة للتعرية، خريطة استخدامات التربة، خريطة درجة التغطية، وخريطة درجة حماية التربة).

استنتجت الدراسة أن النمذجة الرقمية تعد أداة أساسية لتحليل ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، حيث توفر فهماً أدق للعمليات البيئية مثل التعرية وتغيرات التربة، وتتيح التنبؤ بمعدلات التعرية وتحديد المناطق الأكثر تعرضاً لتدهور التربة. كما تسهم تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد في تحسين دقة البيانات المكانية، مما يساعد في تحليل التغيرات على المدى القصير والطويل ويقلل من الاعتماد على الدراسات الميدانية فقط، توضح خريطة التنبؤ بمخاطر التعرية في منطقة الدراسة أن التعرية الضعيفة تشكل (٢٨.٢%) من المساحة الكلية، حيث يكون جريان المياه بطيئاً نسبياً، مما يساهم في استقرار التربة مع احتمال بعض التعرية بسبب ضعف الغطاء النباتي. تليها التعرية المتوسطة بنسبة (٢٧.٨%)، حيث تؤدي سرعة الجريان المتزايدة إلى تآكل معتدل، مما يستدعي استراتيجيات إدارة فعالة. تأتي التعرية القوية بنسبة (٢٥.٧%)، حيث تسهم سرعة الجريان العالية في فقدان كبير للمواد العضوية والتربة الخصبة، مما يتطلب تدابير عاجلة. سجلت التعرية القوية جداً نسبة (١٥.٨%)، مع تعرض شديد للتعرية بسبب الانحدارات الكبيرة وسرعة الجريان، مما يؤدي إلى تآكل وفقدان سريع للتربة، وقد يتطلب تدخلات مكثفة مثل إنشاء حواجز وزيادة الغطاء النباتي. أخيراً، سجلت التعرية الضعيفة جداً نسبة (٢.٥%) من المساحة، مما يعكس أقل تعرض للتعرية بفضل الجريان السطحي الضئيل، مما يساعد في الحفاظ على استقرار التربة.

كلمات المفتاحية: النمذجة الرقمية، تقييم ديناميكيات التعرية المائية، قضاء بشدر، ٢٠٢٤.

## المقدمة:

النمذجة الرقمية لتقييم ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر تمثل مجالاً حيويًا ومتقدمًا في علم الجغرافيا وعلم البيئة، حيث تسهم في تقديم رؤى دقيقة حول كيفية تأثير العوامل المختلفة على التعرية المائية. قضاء بشدر، الذي يقع في محافظة السليمانية في العراق، يتميز بتنوع تضاريسي ومعقد من حيث الجغرافيا والمناخ، مما يجعله موقعاً مثاليًا لدراسة الديناميات المتعددة للتعرية المائية. التعرية المائية هي العملية التي يتم فيها إزالة التربة والمواد العضوية من سطح الأرض بفعل المياه، وتعتبر من القضايا البيئية الهامة التي تؤثر على جودة التربة والموارد المائية والبيئة الطبيعية بشكل عام، تستخدم النمذجة الرقمية لتقييم التعرية المائية من خلال مجموعة من الأدوات والتقنيات المتقدمة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج المحاكاة الهيدرولوجية، لتحليل ديناميات التعرية وتقدير تأثير

العوامل المختلفة مثل هطول الأمطار، انحدار الأراضي، ونوع الغطاء النباتي. هذه النماذج تعتمد على بيانات مكانية وزمنية متنوعة، بما في ذلك بيانات الطقس والتضاريس وخصائص التربة، لتقديم تقديرات دقيقة حول مدى وشدة التعرية المائية.

في قضاء بشدر، يتم استخدام النمذجة الرقمية لتحديد المناطق الأكثر عرضة للتعرية، وتقدير كمية التربة التي يتم نقلها بفعل المياه، وتحليل تأثير الأنشطة البشرية على هذه الديناميات. من خلال تحليل بيانات نمذجة التعرية، يمكن للباحثين والمخططين البيئيين تطوير استراتيجيات إدارة فعالة للحد من التعرية وحماية الموارد الطبيعية، علاوة على ذلك، تتيح النمذجة الرقمية للمتخصصين في البيئة وصانعي السياسات تصميم وتطبيق استراتيجيات فعالة للتخفيف من آثار التعرية المائية، مثل تحسين أنظمة الصرف الزراعي، وزراعة الغطاء النباتي المناسب، وتطوير برامج لإدارة الأراضي. تعتبر هذه النمذجة أداة أساسية لفهم كيف يمكن للتغيرات المناخية والتغيرات في استخدام الأراضي أن تؤثر على التعرية، مما يساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة تساهم في الحفاظ على البيئة وتحقيق الاستدامة، في النهاية، تمثل النمذجة الرقمية أداة قوية لفهم ديناميات التعرية المائية وتقييم تأثير العوامل البيئية في قضاء بشدر. من خلال هذه النمذجة، يمكن تحسين استراتيجيات إدارة الأراضي، حماية الموارد الطبيعية، وضمان استدامة البيئة الزراعية في المنطقة.

#### مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في ضرورة تحديد وفهم ديناميكيات التعرية المائية وتأثيراتها السلبية على الموارد الطبيعية، وخاصة التربة، في قضاء بشدر، إذ تعاني المنطقة من معدلات مرتفعة للتعرية المائية، مما يؤدي إلى تدهور جودة التربة وفقدان العناصر الغذائية الأساسية، ويزيد من مخاطر الفيضانات والتصحر. هذه الظواهر تؤثر بشكل مباشر على الإنتاجية الزراعية والتنوع البيولوجي، مهددة استدامة الموارد البيئية في المنطقة. في ضوء هذه التحديات، تبرز الحاجة الملحة لتطوير نموذج رقمي شامل يمكن من خلاله تقييم ديناميكيات التعرية المائية بدقة. هذا النموذج سيمكن من تحليل تأثير العوامل البيئية المتنوعة، مثل التضاريس والغطاء النباتي والتغيرات المناخية، وتحديد المناطق الأكثر عرضة للتعرية. يتطلب تحقيق ذلك تطبيق نماذج محاكاة هيدرولوجية متقدمة بالاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بهدف تعزيز الإدارة الفعالة للموارد الطبيعية وتقليل التأثيرات الضارة للتعرية على البيئة.

#### فرضية الدراسة:

تقتضى الدراسة أن النمذجة الرقمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج المحاكاة الهيدرولوجية قادرة على تقديم تحليل دقيق لديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، وأن هناك علاقة وثيقة بين العوامل الطبوغرافية والغطاء النباتي وهطول الأمطار وبين معدلات التعرية المائية في المنطقة. وتنص الفرضية على أن المناطق ذات الانحدار الشديد والغطاء النباتي المحدود هي الأكثر

عرضة للتعرية المائية، وأنه من الممكن باستخدام النمذجة الرقمية تحديد هذه المناطق بدقة، مما يسهم في تطوير استراتيجيات فعالة لإدارة الأراضي وتقليل مخاطر التعرية.

**أهداف الدراسة:**

- ١- تقييم شامل لديناميكيات التعرية المائية من خلال تحليل مدى انتشار وشدة التعرية المائية في قضاء بشدر باستخدام النمذجة الرقمية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد.
- ٢- تحديد العوامل المؤثرة على التعرية المائية من خلال دراسة تأثير التضاريس، الانحدارات، المناخ، الغطاء النباتي، والتربة على ديناميكيات التعرية المائية في المنطقة.
- ٣- تطوير خريطة تقييم المخاطر من خلال إنشاء خريطة رقمية توضح مناطق المخاطر المرتبطة بالتعرية المائية لمساعدة صانعي القرار على تحديد المناطق التي تحتاج إلى حماية أو تدخل فوري.
- ٤- تقديم نماذج تنبؤية لديناميكيات التعرية المستقبلية حول ديناميكيات التعرية في المنطقة بناءً على البيانات الحالية والعوامل المؤثرة، لتقديم رؤية حول تأثيراتها المستقبلية.
- ٥- اقتراح توصيات واستراتيجيات فعالة للحد من التعرية المائية في قضاء بشدر، بناءً على نتائج النمذجة الرقمية، وتوجيه استخدام الأراضي بشكل مستدام.

#### **المناهج الدراسية:**

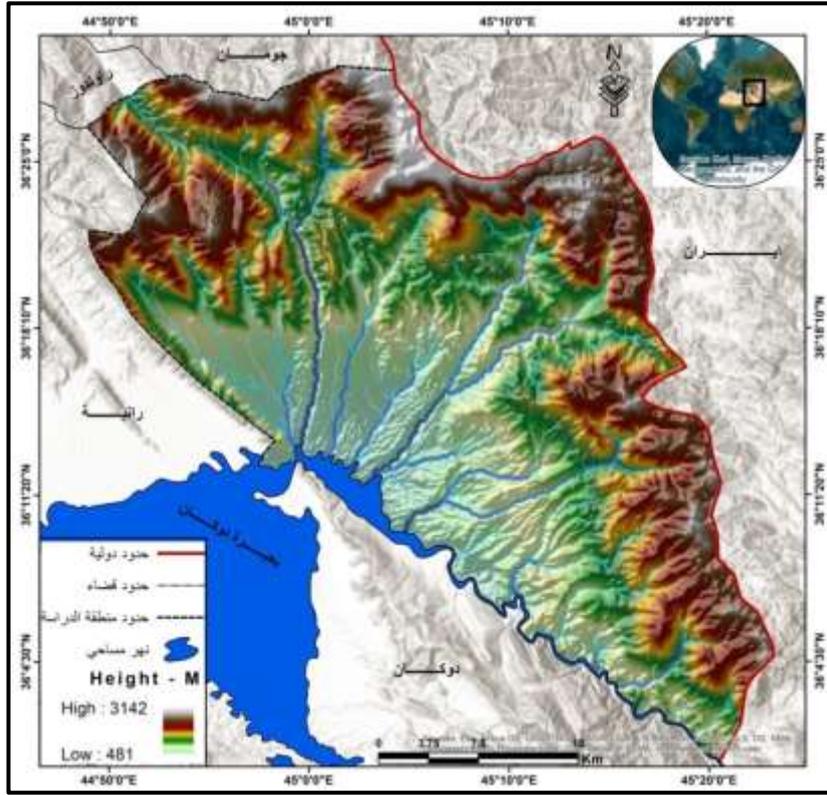
في الدراسة الحالية، تم استخدام مجموعة من المناهج التي تتناسب مع موضوع البحث، بما في ذلك، أولاً: المنهج الوصفي: يشمل جمع البيانات الميدانية لوصف خصائص منطقة الدراسة مثل التربة، التضاريس، والنباتات. هذا المنهج يساعد في فهم الخصائص الطبيعية والاجتماعية التي تؤثر على التعرية المائية، ثانياً: المنهج البيئي: الذي يركز على العلاقة بين الأنظمة البيئية والعمليات الجغرافية مثل التعرية. يتضمن دراسة التأثيرات البيئية للأفعال البشرية والتغيرات الطبيعية على التعرية المائية، ثالثاً: المنهج التحليلي الذي يهدف لتحليل البيانات التي تم جمعها لتحديد العوامل المؤثرة على التعرية المائية باستخدام أدوات إحصائية ونماذج تحليلية، رابعاً: المنهج الرقمي الذي يستخدم الأنظمة المعلوماتية الجغرافية (GIS) لتحليل البيانات المكانية وإنشاء خرائط تمثل ديناميات التعرية المائية، خامساً: المنهج التكاملية الذي يجمع بين المناهج المختلفة للحصول على رؤية شاملة ودقيقة لديناميكيات التعرية المائية. على سبيل المثال، دمج التحليل البيئي مع النمذجة الرقمية للحصول على نتائج أكثر شمولاً.

#### **حدود المكانية للدراسة:**

يعد قضاء بشدر احد الاقضية التابعة لمحافظة السليمانية، تقع شمال العراق وشمال شرق محافظة السليمانية، بين دائرتي عرض (٣٦° ٢٥' ٣٠" - ٣٦° ٤٣' ٣٠") شمالاً، وخطي طول (٤٥° ٢٠' ٥٠" - ٤٤° ٤٤' ٤٤") شرقاً، جغرافياً يحد القضاء من الشمال سلسلة جبال قنديل، ومن الجنوب قضاء ماوت والزاب الصغير، أما من جهة الشرق يحدها قضاء سردشت الايراني، ومن الجنوب جبل كيودرش، وقضاء

دوكان الذي يقع في الجزء الجنوبي الغربي، كما في خريطة (١)، تبلغ مساحة القضاء نحو (١٣٦٥.٦٥) كم<sup>٢</sup>.

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، الخريطة الطبوغرافية، ١:١٠٠٠٠٠٠٠، ١٩٩٢، ومخرجات برنامج ArcGIS.

### المواد وطرائق العمل:

١- **نمذجة العوامل الطبيعية المؤثرة في ديناميكية التعرية المائية:** تهدف نمذجة العوامل الطبيعية إلى فهم تأثير العوامل البيئية المتمثلة بـ(التكوينات الجيولوجية والتضاريس، والتربة، والغطاء النباتي، والمناخ) على التعرية، إذ تسعى النمذجة إلى تحسين تقديرات تأثيرات التعرية، تحليل العوامل المؤثرة مثل انحدار الأرض ونوع التربة وكثافة الغطاء النباتي، وتقييم تأثير التغيرات البيئية والأنشطة البشرية. كما تساعد في وضع استراتيجيات لإدارة التربة والموارد المائية، وتحليل المخاطر وتحسين التخطيط البيئي لتحقيق التنمية المستدامة، ومن أهم العوامل الطبيعية هي:

#### ١-١ الخصائص الجيولوجية:

١-١-١ **الوضع التكتوني للمنطقة:** المنطقة تتأثر بالأنشطة التكتونية الناتجة عن تصادم الصفائح التكتونية. تشكل هذه الأنشطة الشقوق، والطيّات، والانكسارات التي تساهم في تحديد أشكال التضاريس وتؤثر على نمط التعرية المائية (الجبوري، ٢٠١٦، ص ١٥)، إذ تقع منطقة الدراسة في شمال شرق العراق ضمن منطقة الاندفاعات نطاق بامبو تانجيرو حزام حلبجة -

شيروان مازن بنسبة (٣٤.٩٤%)، تليه حزام حليجة - شيروان مازن ضمن نطاق الطيات العالية الذي بلغ نسبته نحو (١٧.٦٥%)، وادناها مساحة ضمن نطاق الاندفاع الشمالي أورا بنسبة (١.٢٧%)، خريطة (٢).

جدول (١) البنية التكتونية لمنطقة الدراسة

التكوينات البنيوية		المساحة كم <sup>٢</sup>	%
رصيف غير مستقر	نطاق الطيات العالي	حزام السليمانية - زاخو	17.65
تقعر اقليمي لابركاني	نطاق بامبو تانجيرو	حزام حليجة - شيروان مازن	34.94
		حزام جوارته - كاني رش	10.23
تقعر اقليمي بركاني	نطاق التقعر الاقليمي الوسطي	حزام كلكة - خاكورك	15.88
تقعر اقليمي منطقة الاندفاعات		نطاق شلير	13.49
تقعر اقليمي منطقة الاندفاعات		نطاق الاندفاع الشمالي أورا	1.27
حزام بنجوين - والش	نطاق التقعر الاقليمي الوسطي	التداخلات القاعدية	6.54
المجموع		1393.56	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٢).

١-١-٢ التكوينات الجيولوجية: بشدر تقع في شمال شرق العراق ضمن إقليم كردستان، وهي منطقة ذات طبوغرافيا متنوعة تشمل سلاسل جبلية، هضاب، ووديان. التكوينات الجيولوجية في هذه المنطقة تتضمن صخوراً رسوبية، متحولة، ونارية، والتي تؤثر على قدرة الصخور على التحلل والتعرية (العزي، ٢٠٠٥، ص ١٥)، ويمكن تقسيم التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة الى ثلاث اصناف تبعاً لمقاومتها للتعرية المائية وهي:

١-٢-١-١ شديد المقاومة للتعرية المائية:

- سركلو ناوكليكان - برسرين جياكارا: هذه التكوينات تحتوي على صخور نارية أو متحولة عادةً ما تكون مقاومة بشكل كبير للتعرية المائية بسبب صلابتها وقوة بنيتها.
- سركي سيكانيا: صخور هذا التكوين غالباً ما تكون صخور نارية أو متحولة، والتي تكون أيضاً شديدة المقاومة للتعرية المائية.

١-٢-١-٢ متوسط المقاومة للتعرية المائية:

- فيرانس - تانجيرو: يشمل هذا التكوين صخور رسوبية قد تكون أكثر عرضة للتعرية المائية من الصخور النارية، ولكنها أقل تعرضاً للتعرية مقارنة بالصخور الأكثر ضعفاً.
- ولاش - ناوبردان: يشمل هذا التكوين صخور رسوبية قد تكون عرضة للتعرية المائية، لكن مقاومتها تعتمد على نوع الصخور ومدى تماسكها.
- عقرة - بخمة: هذا التكوين يشمل صخوراً قد تكون متوسطة المقاومة للتعرية المائية، بناءً على تركيب الصخور واستقرار التربة.

١-٢-١-٣ ضعيف المقاومة للتعرية المائية (Manthana وآخرون، p123):

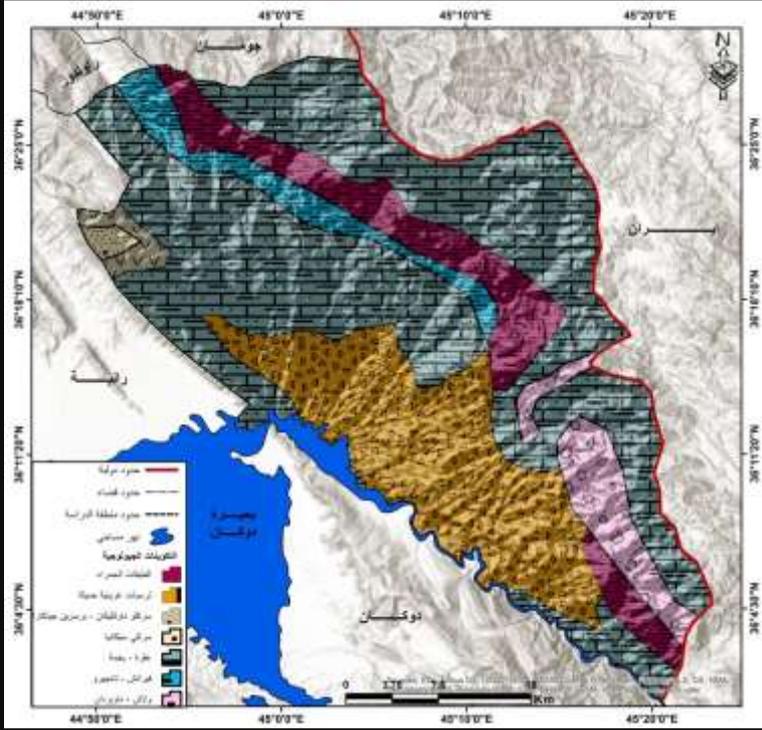
- الطبقات الحمراء: التكوينات التي تحتوي على الطبقات الحمراء قد تكون عرضة للتعرية المائية بسبب طبيعتها الترابية أو الطينية التي يمكن أن تكون أقل تماسكاً.
- ترسبات غرينية حديثة: بالرغم من أن الترسبات الغرينية قد تكون أكثر مقاومة في بعض الظروف، فإن الترسبات الحديثة عادةً ما تكون أقل استقراراً وتعرضاً للتعرية، خاصةً إذا كانت تحتوي على تربة غير متماسكة (العزي، ٢٠٠٥، ص ١٥).

جدول (٢) تصنيف التكوينات الجيولوجية حسب مقاومتها للتعرية المائية

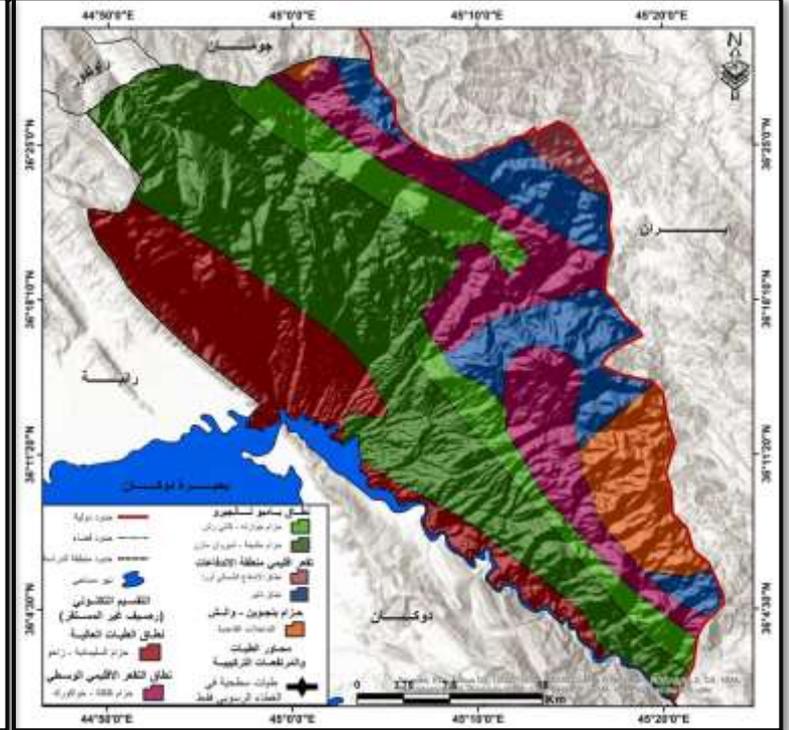
الصف	التكوين الجيولوجي	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
شديد المقاومة للتعرية المائية	سركلو ناوكليكان - برسرين جياكارا	13.07	0.94
	سركي سيكانيا	9.04	0.65
متوسط المقاومة للتعرية المائية	فيرانش - تانجيرو	66.69	4.79
	ولاش - ناوبردان	78.82	5.66
	عقرة - بخمة	777.27	55.78
ضعيف المقاومة للتعرية المائية	ترسبات غرينية حديثة	302.43	21.70
	الطبقات الحمراء	146.23	10.49
المجموع		1393.56	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٣).

خريطة (٣) التكوينات الحولوحة في منطقة الدراسة



خريطة (٢) الينوبة منطقة الدراسة



١-٢-١ الارتفاع عن مستوى سطح البحر: الارتفاع عن مستوى سطح البحر له تأثير مباشر وقوي على عملية التعرية المائية، خاصة في المناطق الجبلية والمرتفعة. عند زيادة الارتفاع، تصبح التضاريس أكثر انحداراً، مما يؤدي إلى زيادة سرعة جريان المياه على سطح الأرض. هذا

الجريان السريع يعزز من قدرة المياه على نقل التربة والصخور الصغيرة، مما يؤدي إلى تآكل سطح الأرض بمعدل أسرع، تتميز منطقة الدراسة بتنوع أشكالها الأرضية (Li Wang وآخرون، p223)، ويمكن تقسيمها إلى أربع وحدات أرضية اعتماداً على الارتفاع، كما هو موضح في الخريطة (٤).

١-٢-١-١ سهول جبلية: تتركز هذه الفئة في الاجزاء الوسطى المنخفضة من المنطقة بمساحة بلغت (٢١٢.٥٦) كم<sup>٢</sup> ونسبة (١٥.٢٦%) من مساحة الاجمالية للمنطقة.

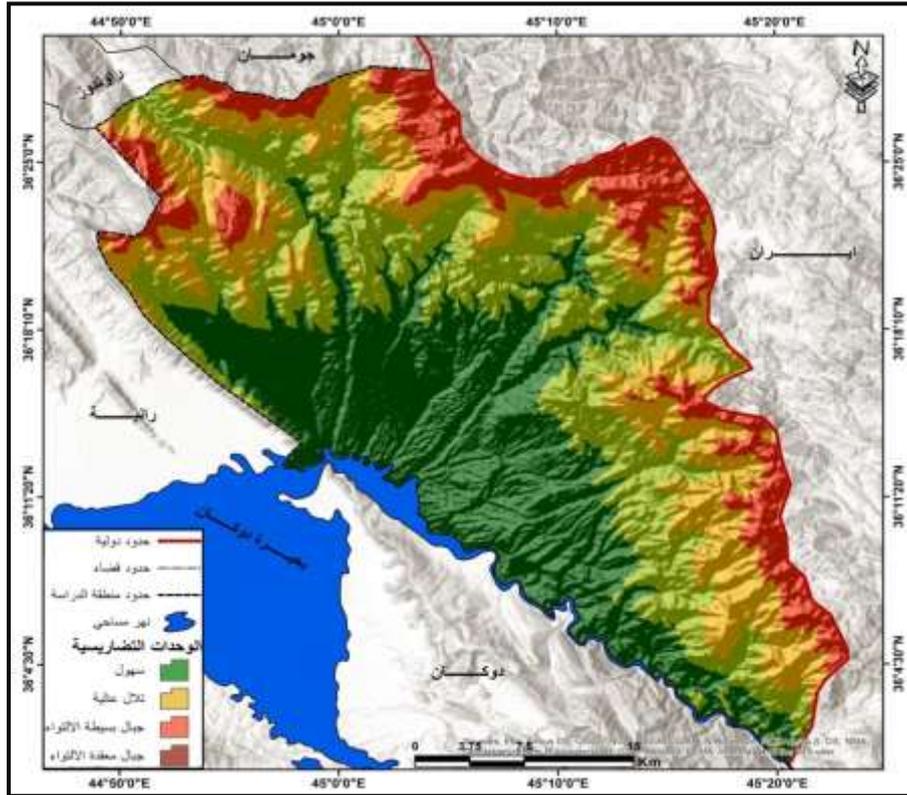
١-٢-١-٢ تلال عالية: تحتل هذا الصنف المرتبة الثانية من حيث المساحة والبالغة (٣٣٣.٢٦) كم<sup>٢</sup> ونسبة (٢٣.٩٢%) وتتركز في الاجزاء الوسطى والشرقية من منطقة الدراسة محاذية للمناطق الجبلية.

١-٢-١-٣ جبال بسيطة الالتواء: يحتل هذا الصنف المساحة الاكبر من المنطقة والبالغ (٦٨٢.٢١) كم<sup>٢</sup> ونسبة (٤٨.٩٧%) من مساحة المنطقة، ويتركز في الاجزاء الشرقية من المنطقة.

١-٢-١-٤ جبال معقدة الالتواء: يشغل هذا الصنف المساحة الاقل في المنطقة والبالغة (١٦٥.٠٥) كم<sup>٢</sup> ونسبة (١١.٨٥%) من المساحة الاجمالية للمنطقة، وتتركز في الاجزاء الشرقية من المنطقة

المحاذية للحدود الايرانية، كما في خريطة (٤).

#### خريطة (٤) الوحدات التضاريسية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تمييزية ١٢.٥ متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

٢-٢-١ **مستوى ميل سطح الاراض:** يؤثر انحدار سطح الأرض بشكل كبير على التعرية المائية، حيث يعتبر الانحدار أحد العوامل الأساسية التي تحدد سرعة وحجم التعرية. كلما زاد انحدار سطح الأرض، زادت قدرة المياه الجارية على حمل الرواسب والتسبب في إزالة الطبقة السطحية من التربة. هذا التأثير يعود إلى زيادة سرعة تدفق المياه على الأسطح المنحدرة بشكل أكبر، مما يزيد من طاقتها الحركية وقدرتها على نقل التربة (Yu War Nang وآخرون، ٢٠٠٤، p123)، وبالاعتماد تصنيف يونك (YOUNG) قسمت فئات الانحدار في منطقة الدراسة إلى خمس فئات، كما في جدول (٣) وخريطة (٥):

١-٢-٢-١ **أراضي قليل الانحدار:** كون التعرية في الأراضي قليلة الانحدار عادة منخفضة، حيث أن الماء يتدفق ببطء ويقل قدرته على حمل الرواسب. التعرية المائية تكون سطحية وغير مركزة، مما يؤدي إلى إزالة كميات صغيرة من التربة على فترات زمنية طويلة، حتل هذا الصنف المرتبة الثانية من حيث المساحة في المنطقة والبالغ (٣٤٥.١٨) كم<sup>٢</sup> ونسبة (٢٥.٠٣%)، ويتركز في الاجزاء الجنوبية من المنطقة، كما في خريطة (٥).

٢-٢-٢-١ **أراضي متوسط الانحدار:** في الأراضي ذات الانحدار المتوسط، تزداد سرعة تدفق المياه مما يزيد من طاقتها الحركية وقدرتها على نقل التربة. التعرية تصبح أكثر وضوحاً، ولكنها لا تزال قابلة للإدارة إذا تم اتخاذ تدابير وقائية مثل إنشاء المدرجات الزراعية أو تعزيز الغطاء النباتي، وقد جاء هذا الصنف في المرتبة الاولى من حيث المساحة والتي بلغت (٣٦٣.٧٤) كم<sup>٢</sup> ونسبة (٢٦.٣٨%) وتتركز في الاجزاء الجنوبية الشرقية.

٣-٢-٢-١ **أراضي شديد الانحدار:** لأراضي ذات الانحدار الشديد تشهد تعرية مائية أكثر شدة. سرعة تدفق المياه تكون عالية، مما يزيد من قدرة المياه على حمل ونقل الرواسب بشكل كبير. التعرية يمكن أن تؤدي إلى فقدان كبير للتربة السطحية وتكوين أخاديد وجداول على السطح، وحتل هذا الصنف المرتبة الثالثة بمساحة بلغت (٣٢٠.٦٧) كم<sup>٢</sup> ونسبة (٢٣.٢٥%) ويتركز في الاجزاء الجنوبية والشرقية من المنطقة.

٤-٢-٢-١ **أراضي حاد الانحدار:** التعرية المائية في الأراضي حادة الانحدار تكون شديدة للغاية. المياه تتدفق بسرعة كبيرة مما يزيد من قدرتها على تآكل التربة، وقد يحدث انهيار للتربة في بعض المناطق، مما يؤدي إلى فقدان سريع للطبقة السطحية الخصبة، بلغ مساحة هذا الصنف نحو (257.43) كم<sup>٢</sup> ونسبة (١٨.٦٧%) وتتركز في الاجزاء المرتفعة في المنطقة على ارتفاع اكثر من (١٠٠٠) متر فوق مستوى سطح الارض، والمتمثلة في الاجزاء الشرقية من المنطقة.

٥-٢-٢-١ **أراضي شديد الحدة أو وعرة:** التعرية في هذه الأراضي قد تصل إلى مستويات كارثية. المياه تتدفق بسرعة عالية جداً، مما يسبب تآكلاً شديداً للتربة ويؤدي إلى تشكل أخاديد عميقة، وانهيارات أرضية، وفقدان تام للتربة السطحية، تتواجد هذا الفئة في الاجزاء المرتفعة التي بلغ ارتفاعها أكثر من

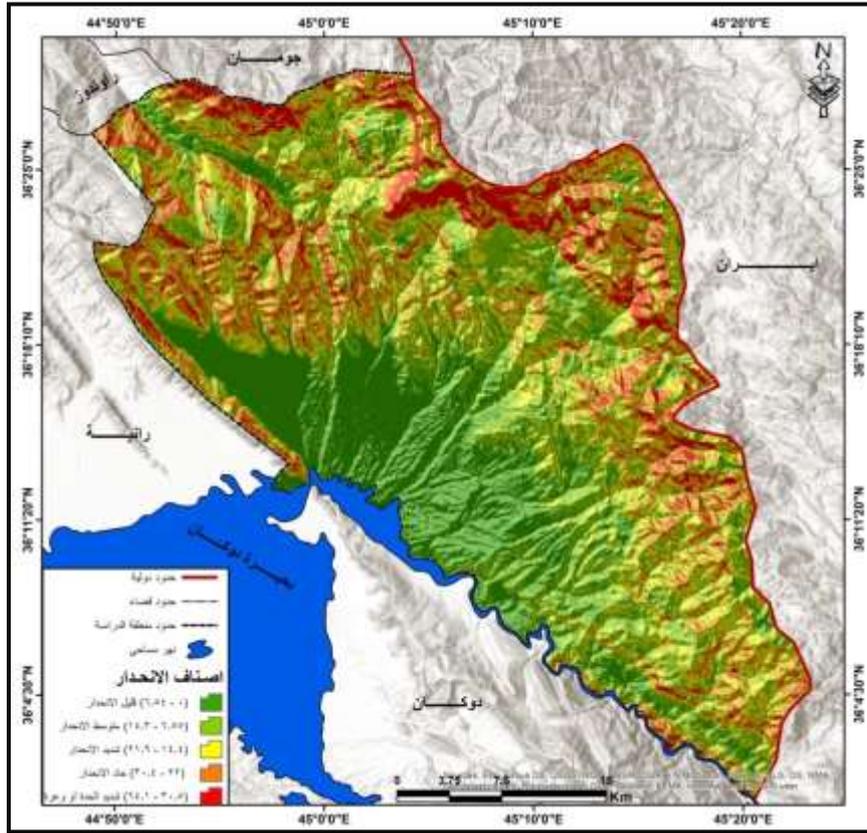
(٢٠٠٠) متر فوق مستوى سطح البحر والمتمثلة في الاجزاء الشرقية المحاذية للحدود الايرانية من المنطقة وقد بلغت مساحتها (٩١.٩١) كم<sup>٢</sup> ونسبة (٦.٦٧%).

جدول (٣) اصناف الانحدار في منطقة الدراسة بالاعتماد على تصنيف يونك

تصنيف الانحدار	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
قليل الانحدار	345.18	25.03
متوسط الانحدار	363.74	26.38
شديد الانحدار	320.67	23.25
حاد الانحدار	257.43	18.67
شديد الحدة أو وعر	91.91	6.67
<b>المجموع</b>	<b>1378.93</b>	<b>100</b>

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٥).

خريطة (٥) اصناف الانحدار في منطقة الدراسة بالاعتماد على تصنيف يونك



الباحثين بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تمييزية ١٢.٥ متر، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

٣-١ المناخ: يؤثر المناخ بشكل كبير على ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، حيث تؤدي

العوامل المناخية المختلفة دوراً رئيسياً في تشكيل وتطور هذه الديناميكيات، ومن هذا العوامل هي:

١-٣-١ درجة الحرارة: تؤثر درجة الحرارة بشكل كبير على ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر،

إذ أن ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى تسارع التبخر من التربة، مما يسبب جفافها وزيادة

هشاشتها، وبالتالي تعرضها للتعرية بفعل جريان المياه. كما أن درجات الحرارة المرتفعة تزيد من احتمالية تكوين قشور سطحية تقلل من امتصاص التربة للمياه. في المقابل، درجات الحرارة المنخفضة في الشتاء تؤدي إلى تجميد المياه، وعند ذوبانها في الربيع، تساهم في زيادة شدة التعرية بفعل الجريان الناتج عن ذوبان الثلوج. إضافةً إلى ذلك، تؤثر درجات الحرارة على نمط هطول الأمطار، مما يغير من نمط الجريان السطحي وشدة التعرية (جواد، ٢٠٢٢، ص ٥٩٢). يتبين من الجدول (٤) يختلف تأثير درجة الحرارة على ديناميكيات التعرية المائية في منطقة الدراسة حسب فصول السنة، في فصل الشتاء، تنخفض درجات الحرارة بشكل ملحوظ، مما يؤدي إلى تجميد مياه التربة ويزيد من هشاشتها. في ديسمبر، على سبيل المثال، كانت درجات الحرارة في محطة السليمانية تتراوح بين ٥.٣ و ١٤.٢ درجة مئوية، بينما في محطة دوكان تراوحت بين ٥.٢ و ٩.٤ درجة مئوية. هذا التجمد يقلل من قدرة التربة على امتصاص المياه، وعندما يذوب الثلج في الربيع، يؤدي الجريان الناتج إلى زيادة شدة التعرية المائية، حيث تكون التربة أقل مرونة وأكثر عرضة للتآكل.

مع بداية فصل الربيع، ترتفع درجات الحرارة بشكل تدريجي، مما يؤدي إلى ذوبان الثلوج وزيادة الجريان المائي. في مارس، كانت درجات الحرارة في محطة السليمانية تتراوح بين ٦.٣ و ١٤.٦ درجة مئوية، بينما في محطة دوكان تراوحت بين ٢.١ و ١٥.٩ درجة مئوية. هذا الارتفاع في درجات الحرارة يساهم في زيادة تدفق المياه السطحية، مما يعزز عمليات التعرية المائية. في فصل الصيف، تكون درجات الحرارة في أعلى مستوياتها، مما يؤدي إلى تسارع تبخر المياه من سطح التربة. في يوليو، كانت درجات الحرارة في محطة السليمانية تتراوح بين ٢٦.٤ و ٣٩.٧ درجة مئوية، بينما في محطة دوكان تراوحت بين ٢٧.٣ و ٣٩.٩ درجة مئوية. هذا الجفاف الناتج عن الحرارة المرتفعة يجعل التربة أكثر هشاشة وأقل قدرة على امتصاص المياه، مما يزيد من تعرضها للتعرية بفعل الجريان السطحي، أخيراً، في فصل الخريف، تبدأ درجات الحرارة في الانخفاض، مما يقلل من معدلات التبخر ويزيد من ترطيب التربة. في أكتوبر، كانت درجات الحرارة في محطة السليمانية تتراوح بين ١٠.٥ و ٢٦.٧ درجة مئوية، بينما في محطة دوكان تراوحت بين ١٠.٦ و ٢٧.٥ درجة مئوية. هذا الترطيب النسبي يمكن أن يقلل من شدة التعرية المائية، حيث تصبح التربة أكثر قدرة على امتصاص المياه، لكن التغيرات في نمط الأمطار يمكن أن تؤثر على هذه الديناميات.

جدول (٤) الخصائص الحرارية لمحطتي السليمانية ودوكان للمدة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٤)

الاشهر	محطة السليمانية			محطة دوكان		
	المتوسط	العظمى	الصغرى	المتوسط	العظمى	الصغرى
كانون الاول	9.8	14.2	5.3	7.3	9.4	5.2
كانون الثاني	6.2	9.9	2.4	5.9	8.9	2.9
شباط	9.5	12.6	6.3	6.3	10.4	2.1
اذار	10.9	14.6	7.2	11.6	15.9	7.2

9.0	11.9	20.9	16.4	11.4	11.7	23.3	17.5	نيسان
11.9	16.8	28.7	22.8	12.7	16.4	29.1	22.8	ايار
12.4	23.9	36.3	30.1	10.6	23.7	34.3	29.0	حزيران
12.6	27.3	39.9	33.6	13.3	26.4	39.7	33.1	تموز
13.9	25.9	39.8	32.9	14.0	25.9	39.9	32.9	اب
14.8	21.1	35.9	28.5	17.9	20.3	28.2	24.3	ايلول
10.6	16.9	27.5	22.2	10.5	26.2	26.7	26.5	تشرين الاول
7.3	14.3	21.6	18.0	10.8	8.9	19.7	14.3	تشرين الثاني
<b>10.0</b>	<b>14.6</b>	<b>24.6</b>	<b>19.6</b>	<b>10.9</b>	<b>15.1</b>	<b>24.4</b>	<b>19.7</b>	<b>المعدل</b>

المصدر: بيانات دائرة الانواء الجوية، محافظة السليمانية، بيانات غير منشورة لعام ٢٠٢٣.

١-٣-٢ الأمطار: تؤثر الأمطار بشكل كبير على ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، حيث تساهم في زيادة تدفق المياه السطحية وتعزز قوة التعرية. الأمطار الغزيرة تؤدي إلى تجمع كميات كبيرة من المياه، مما يزيد من قدرة الجريان على نقل الجزيئات وتآكل التربة. في المقابل، الأمطار الخفيفة والمعتدلة تساعد في ترطيب التربة، مما يحسن قدرتها على امتصاص المياه ويقلل من تعرضها للتعرية. الأمطار الشتوية، خاصة المصحوبة بالثلوج، تؤدي إلى تراكم الثلوج وعند ذوبانها في الربيع، تساهم في زيادة شدة التعرية بسبب الجريان القوي. الأمطار الشديدة والعواصف قد تسبب فيضانات وتآكل كبير للتربة، بينما فترات الجفاف تجعل التربة أكثر عرضة للتعرية عند تساقط الأمطار لاحقاً. بشكل عام، تتنوع تأثيرات الأمطار على التعرية المائية بناءً على كميتها وتوزيعها الزمني، مما يؤثر بشكل مباشر على ديناميكيات التعرية والحفاظ على التربة (العاني، والمشهداني، ٢٠٢٠، ص ٥٤).

يتبين من الجدول بيانات الجدول (٥) تؤثر الأمطار بشكل كبير على ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، ويتباين تأثيرها وفقاً لفصول السنة، كما يتضح من بيانات الأمطار لكل شهر في محطتي السليمانية ودوكان، في فصل الخريف، يبدأ معدل الأمطار في الزيادة، حيث تسجل محطتا السليمانية ودوكان كميات ملحوظة من الأمطار. في سبتمبر، كانت الأمطار في السليمانية ٣.٦ ملم و ٠.١ ملم في دوكان، وفي أكتوبر كانت ٣٠.٢ ملم في السليمانية و ١٠.٨ ملم في دوكان، بينما في نوفمبر كانت ٥١.١ ملم في السليمانية و ٧٧.٢ ملم في دوكان. تساهم الأمطار المتزايدة في هذا الفصل في زيادة الجريان السطحي، مما يعزز التعرية المائية، خاصة عند تراكم الأمطار، أما في فصل الشتاء، تكون الأمطار في ذروتها، حيث تسجل محطتا السليمانية ودوكان أعلى معدلات هطول. في ديسمبر، كانت الأمطار في السليمانية ١١٦.٥ ملم وفي دوكان ١٦٣.٤ ملم، وفي يناير بلغت ١٥٤.٥ ملم في السليمانية و ١٧٢.٨ ملم في دوكان. هذه الكميات الكبيرة من الأمطار تؤدي إلى تدفق كبير للمياه السطحية، مما يزيد من قوة التعرية ويساهم في تشكيل الأخاديد وتآكل التربة بشكل ملحوظ. ومع بداية فصل الربيع، تنخفض كميات الأمطار تدريجياً ولكن تبقى مؤثرة. في فبراير، كانت الأمطار في السليمانية ١٠١.٩ ملم وفي دوكان ٧٨.٦ ملم، وفي مارس سجلت السليمانية ١٤١.٩ ملم ودوكان ٨٩.٩ ملم. هذا الارتفاع في الأمطار يمكن أن يؤدي إلى ذوبان الثلوج وزيادة الجريان

السطحي، مما يعزز التعرية. لكن، في أبريل، تنخفض الأمطار إلى ٨٣.٣ ملم في السليمانية و٦٢.٧ ملم في دوكان، مما يقلل من شدة التعرية مقارنةً بالشتاء. في الصيف، تكون الأمطار في أدنى مستوياتها، حيث تسجل محطة السليمانية ودوكان أقل كميات هطول. في مايو، كانت الأمطار في السليمانية ٣٩.٢ ملم و٢٧.٧ ملم في دوكان، وفي يونيو كانت ١.٩ ملم في السليمانية و٠.٨ ملم في دوكان، بينما في يوليو وأغسطس كانت الأمطار ضئيلة أو معدومة. هذا الجفاف يؤدي إلى انخفاض الجريان السطحي ويقلل من التعرية، حيث تكون التربة أكثر جفافاً وأقل عرضة للتآكل.

جدول (٥) مجموع الامطار ملم في محطتي السليمانية ودوكان للمدة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٤)

الاشهر	محطة السليمانية	دوكان
ايلول	3.60	0.10
تشرين الاول	30.20	10.80
تشرين الثاني	51.10	77.20
كانون الاول	116.50	163.40
كانون الثاني	154.50	172.80
شباط	101.90	78.60
اذار	141.90	89.90
نيسان	83.30	62.70
ايار	39.20	27.70
حزيران	1.90	0.80
تموز	0.00	0.60
اب	0.00	0.00
<b>المجموع</b>	<b>724.10</b>	<b>684.60</b>

المصدر: بيانات دائرة الانواء الجوية، محافظة السليمانية، بيانات غير منشورة لعام ٢٠٢٣.

٣-٣-١ سرعة الرياح: تؤدي سرعة الرياح دوراً هاماً في ديناميكيات التعرية المائية، إذ أن الرياح القوية تعزز التبخر من سطح التربة، مما يؤدي إلى جفافها ويجعلها أكثر هشاشة وأقل قدرة على الاحتفاظ بالماء، مما يزيد من تعرضها للتعرية بفعل الجريان السطحي. الرياح القوية أيضاً يمكن أن تزيل الطبقة العليا من التربة، مما يعرض الطبقات السفلى للتآكل. بالإضافة إلى ذلك، الرياح تساهم في نقل جزيئات التربة، مما يعزز تشكيل الأخاديد وزيادة التعرية من خلال التصحر الهوائي. الرياح الشديدة ترفع الغبار والرمال إلى الهواء، مما يساهم في الترسيب في مناطق جديدة، وتدمير الغطاء النباتي يزيد من تعرض التربة للتعرية. بالمقابل، الرياح الهادئة تجعل التربة أكثر قدرة على الاحتفاظ بالرطوبة، مما يقلل من تعرضها للتعرية، ولكن العوامل الأخرى مثل الأمطار والتضاريس تظل تؤثر على ديناميكيات التعرية (الصراف، ١٩٨٠، ص ١٧٥).

يتضح من الجدول (٦) أن سرعة الرياح لها تأثير كبير على ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، ويتغير تأثيرها باختلاف فصول السنة. في فصل الشتاء، حيث تكون سرعة الرياح منخفضة نسبياً، مثلما هو ملاحظ في شهري ديسمبر ويناير، فإن التعرية المائية تتأثر بشكل طفيف. في

ديسمبر، كانت سرعة الرياح في محطة السليمانية ١.٧ متر/ثانية، وفي دوكان ٢.٣ متر/ثانية. بينما في يناير، كانت السرعة في محطة السليمانية ١.٦ متر/ثانية وفي دوكان ١.٥ متر/ثانية. الرياح المنخفضة خلال هذه الفترة تعني أن التربة تبقى أكثر رطوبة، مما يقلل من التعرض للتعرية، مع بداية الربيع، تبدأ سرعة الرياح في الزيادة قليلاً، كما هو ملاحظ في شهري مارس وأبريل. في مارس، سجلت محطة السليمانية سرعة رياح بمعدل ١.٨ متر/ثانية، بينما في دوكان كانت ٢.٩ متر/ثانية. تساهم زيادة سرعة الرياح في تعزيز التبخر من سطح التربة، مما يؤدي إلى جفافها بشكل تدريجي وزيادة هشاشتها. هذا الجفاف يجعل التربة أكثر عرضة للتعرية بفعل الجريان السطحي.

أما خلال فصل الصيف، حيث تكون سرعة الرياح في أقصى معدلاتها، كما في يونيو، حيث سجلت محطة السليمانية ٢.٦ متر/ثانية، وفي دوكان ٣.٢ متر/ثانية، تزداد التأثيرات بشكل كبير. الرياح القوية تسهم في تسريع عملية التبخر من التربة، مما يزيد من جفافها ويجعلها أكثر عرضة للتآكل. كما أن الرياح القوية تساهم في نقل جزيئات التربة، مما يعزز عمليات التصحر الهوائي ويزيد من شدة التعرية، في فصل الخريف، تنخفض سرعة الرياح قليلاً، مثلما هو الحال في شهري أكتوبر ونوفمبر، حيث كانت سرعة الرياح في أكتوبر ١.٤ متر/ثانية في محطة السليمانية و ٢.٢ متر/ثانية في دوكان. في نوفمبر، سجلت سرعة الرياح ١.٥ متر/ثانية في محطة السليمانية و ٢.٢ متر/ثانية في دوكان. التربة التي تعرضت للجفاف في الصيف قد تستعيد بعض رطوبتها في الخريف، مما يقلل من تعرضها للتعرية، لكن الرياح يمكن أن تساهم في إحداث بعض التعرية الخفيف.

جدول (٦) سرعة الرياح في محطتي السليمانية ودوكان للمدة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٤)

الاشهر	محطة السليمانية	دوكان
كانون الثاني	1.6	1.5
شباط	1.4	2.4
اذار	1.8	2.9
نيسان	2.6	2.3
ايار	2.4	2.1
حزيران	2.6	3.2
تموز	2.1	2.3
اب	1.9	1.6
ايلول	1.8	1.7
تشرين الاول	1.4	2.2
تشرين الثاني	1.5	2.2
كانون الاول	1.7	2.3
المعدل	1.90	2.23

المصدر: بيانات دائرة الانواء الجوية، محافظة السليمانية، بيانات غير منشورة لعام ٢٠٢٣.

٤-٣-١ الرطوبة النسبية: تؤدي الرطوبة النسبية دوراً حيوياً في ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر. عندما تكون الرطوبة النسبية مرتفعة، كما في فصل الشتاء وفترات الأمطار الغزيرة، تكون التربة مشبعة بالمياه، مما يعزز قدرتها على امتصاص الماء ويقلل من الجريان السطحي، وبالتالي يخفف

من شدة التعرية ويجعل التربة أقل عرضة للتآكل، بالمقابل، في فترات انخفاض الرطوبة النسبية مثل الصيف وفترات الجفاف، تصبح التربة جافة وأكثر هشاشة، مما يزيد من تعرضها للتعرية بفعل الجريان السطحي. هذا الجفاف يقلل من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، مما يؤدي إلى زيادة حجم الجريان السطحي وتعزيز التعرية. كما أن انخفاض الرطوبة يمكن أن يتسبب في تدهور الغطاء النباتي، مما يزيد من التعرض للتعرية (الصراف، ١٩٨٠، ص ١٧٥).

جدول (٧) الرطوبة النسبية في محطتي السلیمانية ودوكان للمدة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٤)

الاشهر	محطة السلیمانية	محطة دوكان
كانون الثاني	67.5	69.7
شباط	66.3	67.8
اذار	61.4	59.6
نيسان	56.3	60.2
ايار	44.2	46.8
حزيران	27.4	33.8
تموز	24.1	29.5
اب	22.6	26.5
ايلول	24.1	31.2
تشرين الاول	50.3	43.4
تشرين الثاني	60.1	61.3
كانون الاول	71.3	69.9
المعدل	47.97	49.98

المصدر: بيانات دائرة الانواء الجوية، محافظة السلیمانية، بيانات غير منشورة لعام ٢٠٢٣.

٤-١ **التربة:** التربة تؤدي دوراً حاسماً في عملية التعرية المائية. بداية، يمكن تعريف التعرية المائية بأنها عملية تآكل ونقل التربة بواسطة المياه الجارية، سواء كانت مياه الأمطار أو المياه المتدفقة في الأنهار والجداول. يعتمد مدى تأثير التربة على هذه العملية على عدة عوامل، منها طبيعة التربة نفسها، وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، ودرجة انحدار الأرض، وكذلك الغطاء النباتي (نزار، ٢٠٠٦، ص ٣٤)، يمكن تصنيف الترب في منطقة الدراسة الى اربع اصناف من الترب ، كما في الجدول (٨) بالاعتماد على تصنيف بيورنك للتربة وهي كلاتي:

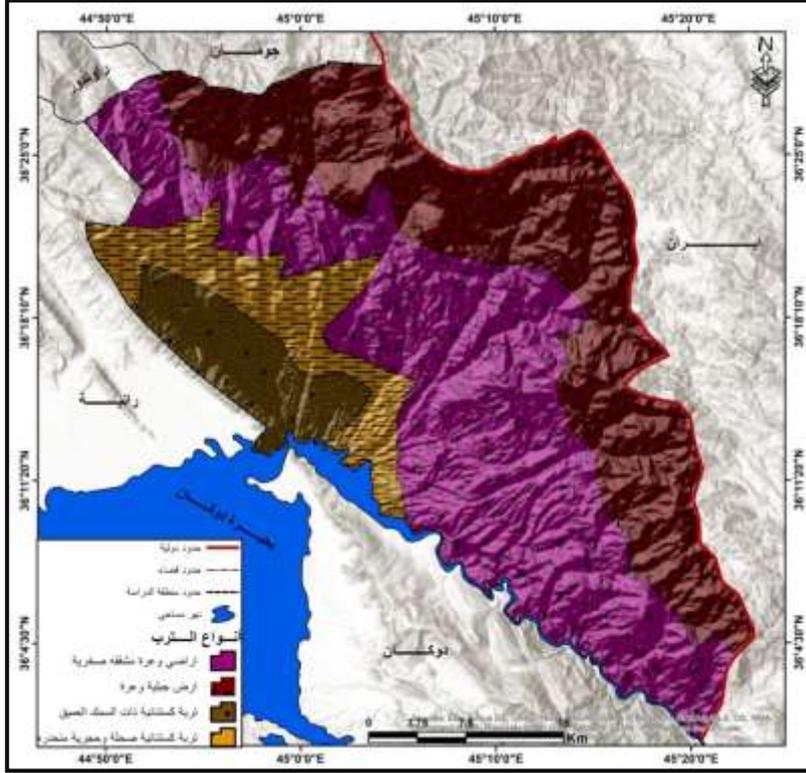
١-٤-١ **أراضي وعرة مشققة صخرية:** غالباً ما يكون هذا النوع من الترب عرضة لتعرية شديدة. بسبب تواجد الشقوق في الصخور، يمكن للمياه أن تتسرب من خلالها وتؤدي إلى زيادة تآكل التربة والصخور على المدى الطويل. التعرية المائية في هذه المناطق تكون مركزة في الشقوق ويمكن أن تتسبب في تكوين مجاري مائية عميقة وتدهور سريع للتربة السطحية، واحتلت هذا النوع المرتبة الاولى من حيث المساحة في المنطقة والبالغة (٦٢٩.٧٥) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (٤٥.١٩%) وتتركز في الاجزال الشمالية الشرقية، كما في خريطة (٦).

جدول (٨) أصناف الترب في منطقة الدراسة بالاعتماد على تصنيف بيورنك

تصنيف الترب	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
اراضي وعرة مشققة صخرية	629.75	45.19
ارض جبلية وعرة	484.47	34.76
تربة كستنائية ضحلة وحجرية منحدره	170.26	12.22
تربة كستنائية ذات السمك العميق	109.08	7.83
<b>المجموع</b>	<b>1393.56</b>	<b>100</b>

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٦).

خريطة (٦) أصناف الترب في منطقة الدراسة بالاعتماد على تصنيف بيورنك



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على تصنق بيورنك للترب، ومخرجات برنامج (ArcGIS).

١-٤-٢ أرض جبلية وعرة: تشهد هذا التربة تعرية مائية شديدة بسبب الانحدارات الحادة وسرعة جريان المياه. هذه الأراضي تكون معرضة لتكوين الأخاديد والشقوق الكبيرة بسبب الجريان السطحي للمياه. الصخور والحجارة الكبيرة التي تكون جزءاً من التربة قد تساهم في زيادة تفكك التربة وتفاقم التعرية، ويحتل المرتبة الثانية بمساحة بلغت (٤٨٤.٤٧) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (٣٤.٧٦%) وتتركز في أقصى شرق منطقة الدراسة محاذية للحدود الإيرانية.

١-٤-٣ تربة كستنائية ضحلة وحجرية منحدره: يكون هذا النوع عادة فقيرة في المواد العضوية، مما يجعلها عرضة للتعرية خاصة إذا كانت منحدره. الجريان السطحي للمياه يكون سريعاً على هذه الأراضي بسبب طبيعة التربة التي لا تحتفظ بالماء جيداً، مما يؤدي إلى جرف الطبقة السطحية وإزالة التربة بسرعة، ويتواجد هذا النوع في الاجزاء الجنوبية من المنطقة بمساحة بلغت (١٧٠.٢٦) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (١٢.٢٢%).

- ١-٤-٤ تربة كستنائية ذات السمك العميق: تكون أقل عرضة للتعرية المائية مقارنة بالفئات الأخرى، حيث يكون لديها قدرة أكبر على امتصاص الماء بسبب سماكتها. كما أن وجود محتوى عضوي معقول يمكن أن يعزز من قدرتها على مقاومة التعرية. ومع ذلك، إذا كانت هذه التربة واقعة على منحدرات حادة أو غير محمية بشكل كافٍ، فإن التعرية قد تحدث ولكن بشكل أبطأ، وتتركز في اقصى جنوب منطقة الدراسة في المناطق المنخفضة والتي بلغت مساحتها (١٠٩.٠٨) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (٧.٨٣%).
- ١-٥-١ **الغطاء النباتي:** الغطاء النباتي يلعب دوراً مهماً في حماية التربة من التعرية المائية. تأثير كثافة الغطاء النباتي على التعرية يختلف باختلاف كثافة الغطاء، على هذا الأساس يمكن تقسيم منطقة الدراسة إلى خمس كثافات مختلفة للغطاء النباتي، حيث يتميز كل قسم بمستوى معين من الحماية وقابلية التعرية مقارنة بالمناطق الأخرى، كما في الجدول (٨) والخريطة (٧).
- ١-٥-١-١ **كثافة منخفضة جداً (أراضي جرداء):** أن هذا النوع من الاراضي تكون أكثر عرضة للتعرية المائية. بدون أي حماية نباتية، تكون التربة مكشوفة تماماً، مما يسمح بتدفق المياه السطحية بشكل مباشر وسريع، مما يؤدي إلى جرف التربة وفقدانها بسهولة. عدم وجود الغطاء النباتي يعني عدم وجود جذور لتثبيت التربة أو أوراق لتهدئة تدفق المياه، يتواجد هذا الكثافة في الاجزاء الجنوبية والشمالية الشرقية بمساحة بلغت (١٨٠.٢٧) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (١٢.٩٤%).
- ١-٥-٢ **كثافة منخفضة:** الغطاء النباتي ذو الكثافة المنخفضة يوفر حماية بسيطة ضد التعرية المائية. بينما تساعد النباتات على تقليل بعض من سرعة تدفق المياه وامتصاص جزء منها، لا يزال هناك كمية كبيرة من التربة المكشوفة التي يمكن أن تتعرض للتعرية. التعرية تكون ملحوظة ولكن ليست بالشدة التي توجد في الأراضي الجرداء، وتتواجد هذا الكثافة جميع اجزاء المنطقة ولكن تتركز في الاجزاء الجنوبية منها بمساحة بلغت (٤٣٤.٧٩) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (٣١.٢٠%).
- ١-٥-٣ **كثافة متوسطة:** الغطاء النباتي ذو الكثافة المتوسطة يقدم حماية أكثر فعالية للتربة مقارنة بالكثافة المنخفضة. النباتات في هذه الفئة تعمل على تقليل سرعة تدفق المياه بشكل ملحوظ وتحسين تثبيت التربة بجذورها. هذا يقلل من قدرة المياه على جرف التربة ويخفف من تأثير التعرية، ولكن قد لا يكون كافياً في الظروف القاسية، وتتواجد هذا الكثافة جميع اجزاء المنطقة ماعد الاجزاء الجنوبية، بلغت مساحتها نحو (٤٠٠.٧٧) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (٢٨.٧٦%).
- ١-٥-٤ **كثافة عالية:** الغطاء النباتي ذو الكثافة العالية يوفر حماية قوية ضد التعرية المائية. النباتات الكثيفة تمنع تدفق المياه السطحية بشكل كبير، وتهدئ سرعتها، وتثبت التربة من خلال الجذور. هذا يقلل من التعرية بشكل كبير ويساعد على الحفاظ على التربة من الجرف، وتتركز هذا الصنف في الاجزاء الشرقية والشمالية من المنطقة، بمساحة بلغت نحو (٢٦١.٠٢) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (١٨.٧٣%).
- ١-٥-٥ **كثافة عالية جداً:** هذا الكثافة هي الافضل في توفير الحماية ضد التعرية المائية. يشمل ذلك نباتات ذات جذور كثيفة وأوراق كثيفة تغطي معظم سطح التربة. هذا النوع من الغطاء يمنع جريان المياه السطحية بشكل كبير، ويساعد في امتصاص المياه، ويعمل كحاجز فعال ضد التعرية. التربة تكون

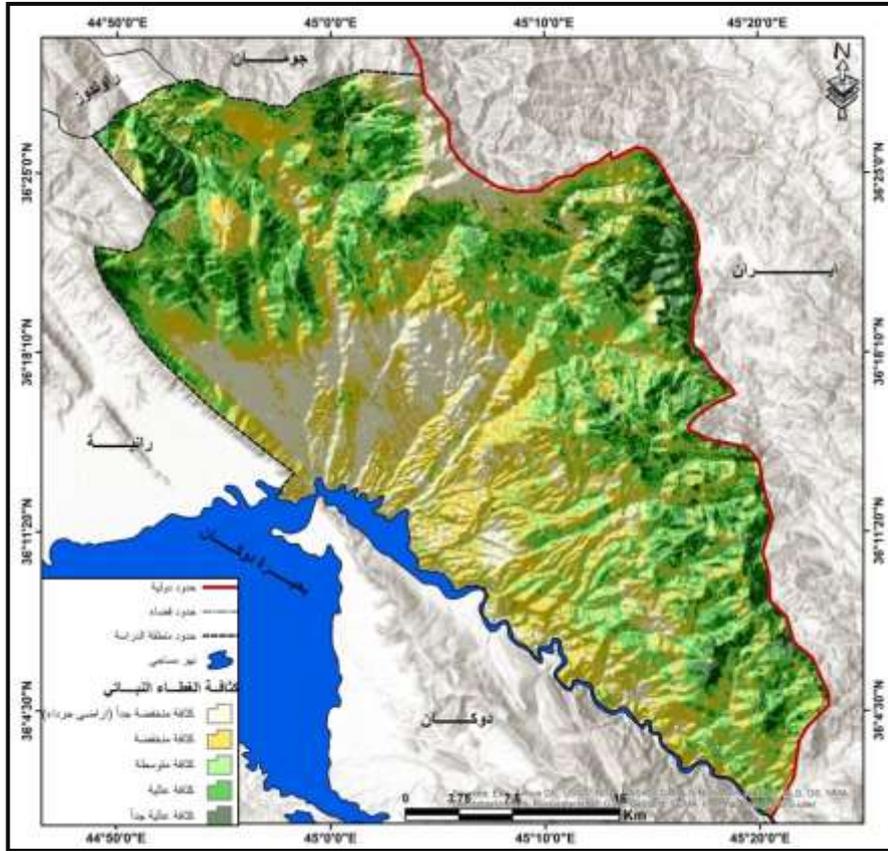
محمية بشكل ممتاز ضد التعرية، وتتركز هذا الصنف في اقصى شرق واقصى شمال منطقة الدراسة فوق القمم الجبلية المحاذية للحدود الايرانية، بمساحة بلغت نحو (١١٦.٦١) كم<sup>٢</sup> وبنسبة (٨.٣٧%).

جدول (٨) أصناف كثافة الغطاء النباتي بالاعتماد على مؤشر (NDVI) لعام ٢٠٢٤

تصنيف الغطاء النباتي	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
كثافة منخفضة جداً (اراضي جرداء)	180.27	12.94
كثافة منخفضة	434.79	31.20
كثافة متوسطة	400.77	28.76
كثافة عالية	261.02	18.73
كثافة عالية جداً	116.61	8.37
المجموع	1393.46	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٧).

خريطة (٧) أصناف كثافة الغطاء النباتي بالاعتماد على مؤشر (NDVI) لعام ٢٠٢٤



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على مرئية فضائية للقمم الصناعي (Landsat-8)، بتاريخ (٢٠٢٣/٤/٢٠)، ومخرجات برنامج ArcGIS .

٢- النمذجة الرقمية لمؤشرات التعرية المائية باستخدام منهجية (PAP/CRA): طريقة PAP/CRA هي أداة حيوية في مجال تقييم التعرية المائية، حيث تساعد في تقدير وتحديد مناطق الخطر بشكل كمي. أهمية هذه الطريقة تكمن في قدرتها على توفير بيانات دقيقة ومؤشرات قابلة للقياس تساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة حول إدارة الأراضي والموارد الطبيعية. فهي تمكن الباحثين وصناع القرار من

تحديد المناطق الأكثر عرضة للتعرية المائية، وبالتالي يمكنهم وضع استراتيجيات مناسبة للحفاظ على التربة وتقليل فقدانها نتيجة التعرية.

تم تطوير طريقة PAP/CRA من قبل علماء في مجال الهيدرولوجيا وعلوم الأرض الذين كانوا يسعون إلى تحسين نماذج تقدير التعرية المائية، بالاعتماد على معطيات المناخ والتضاريس. لم يكن هناك اسم محدد لأولئك الذين ابتكروا هذه الطريقة، لكنها نتاج تعاون متعدد التخصصات بين خبراء في الهيدرولوجيا، المناخ، والتضاريس. ظهرت هذه الطريقة كجزء من تطور مستمر في نماذج التنبؤ بالتعرية خلال أواخر القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين (Fartas وآخرون، ٢٠٢١، p341).

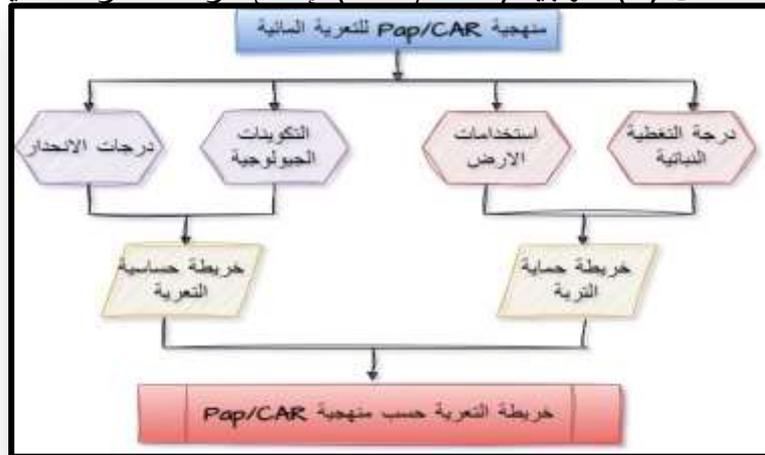
تم تطبيق طريقة PAP/CRA في العديد من البلدان حول العالم، خاصة في المناطق ذات التضاريس المعقدة والمتنوعة. من أبرز هذه الدول (إيطاليا، إسبانيا، فرنسا، اليونان، المغرب)، خصائص هذا الطريقة الآتي:

- تمكن من إجراء تقييم دقيق وشامل لمخاطر التعرية المائية.
- تسمح بتحليل تأثير التغيرات المناخية وتغييرات استخدام الأراضي على التعرية.
- توفر أداة مرنة يمكن تطبيقها في مختلف البيئات الجغرافية.

أما التحديات التي تواجهها هذا الطريقة:

- تتطلب توفر بيانات مناخية وجغرافية دقيقة وشاملة.
- قد تكون معقدة في التطبيق إذا كانت البيانات المطلوبة غير متوفرة أو غير دقيقة.
- تحتاج إلى معرفة تقنية متقدمة لتحليل البيانات وتفسير النتائج (Jad Tahouri وآخرون، ٢٠٢١، P123).

شكل (١) منهجية (PAP/CAR) لإنتاج خريطة التعرية المائية



المصدر: من عمل الباحث على برنامج (diagrams).

يتطلب بناء خريطة للتعرية المائي حسب منهجية (PAP/CAR) إلى تطبيق المؤشرات الآتية:

١-٢ **خريطة الانحدار**: تؤدي خريطة الانحدار دوراً أساسياً في فهم التعرية المائية، حيث تحدد كيفية تأثير شكل الأرض على تدفق المياه السطحية. فهي تساعد في تحديد المناطق ذات الانحدارات

الشديدة التي تعزز من سرعة الجريان السطحي، مما يزيد من خطر التعرية. من خلال تحليل الانحدار، يمكن تحديد المناطق التي قد تكون أكثر عرضة للتعرية بسبب تدفق المياه السريع، مما يساعد في اتخاذ التدابير المناسبة لتقليل التعرية وحماية التربة، فقد تم الاعتماد على خريطة (٥) التي تمثل اصناف الانحدار في منطقة الدراسة، كما في الشكل (٢).

شكل (٢) النسبة المئوية لمساحة الانحدار حسب نموذج (PAP/CAR)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جدول (٣).

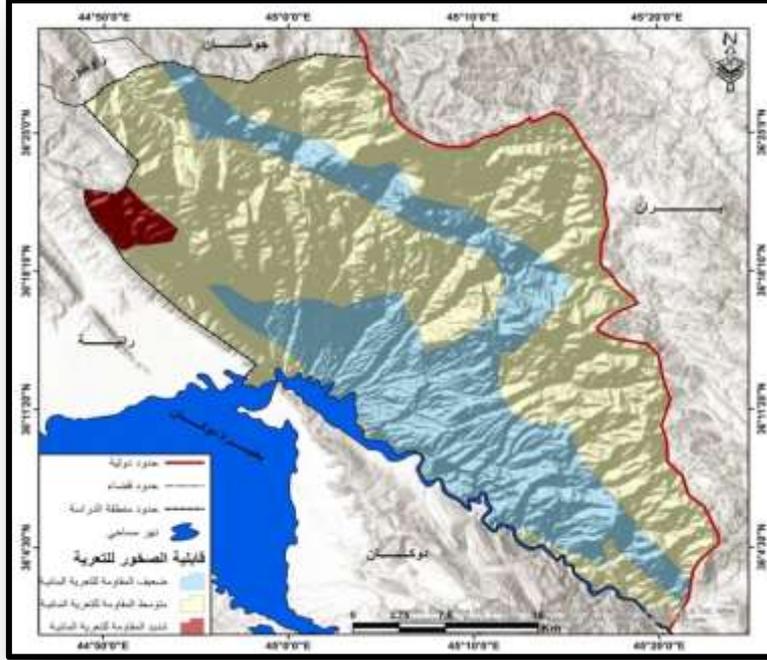
٢-٢ خريطة تقييم قابلية الصخور: تؤدي خريطة تقييم قابلية الصخور دوراً أساسياً في فهم التعرية المائية، حيث توفر معلومات عن مدى تأثير الصخور بالتعرية. إذ تحدد الخريطة أنواع الصخور وخصائصها مثل الصلابة والتماسك، مما يؤثر على قدرتها على مقاومة الجريان السطحي. الصخور القابلة للتآكل بشكل كبير تكون أكثر عرضة للتعرية بفعل المياه، مما يعزز من خطر التعرية المائية. من خلال تحليل هذه الخريطة، يمكن تحديد المناطق الأكثر عرضة للتعرية واتخاذ الإجراءات المناسبة لحماية التربة وتقليل فقدان المواد الصخرية (Benzougagh وآخرون، ٢٠١٩، p126-127)، يتضح من خلال جدول (٩) سجل صنف متوسط المقاومة للتعرية المرتبة الاولى من حيث المساحة والتي بلغت نسبتها نحو (٦٦.٢٢%)، تليها صنف ضعيف المقاومة للتعرية والذي بلغ نسبتها (٣٢.٢٠%) واخيراً صنف شديد المقاومة للتعرية بنسبة (١.٥٩%)، خريطة (٨).

جدول (٩) تقييم قابلية الصخور في منطقة الدراسة

تقييم قابلية الصخور	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
شديد المقاومة للتعرية المائية	22.11	1.59
متوسط المقاومة للتعرية المائية	922.79	66.22
ضعيف المقاومة للتعرية المائية	448.66	32.20
المجموع	1393.56	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٨).

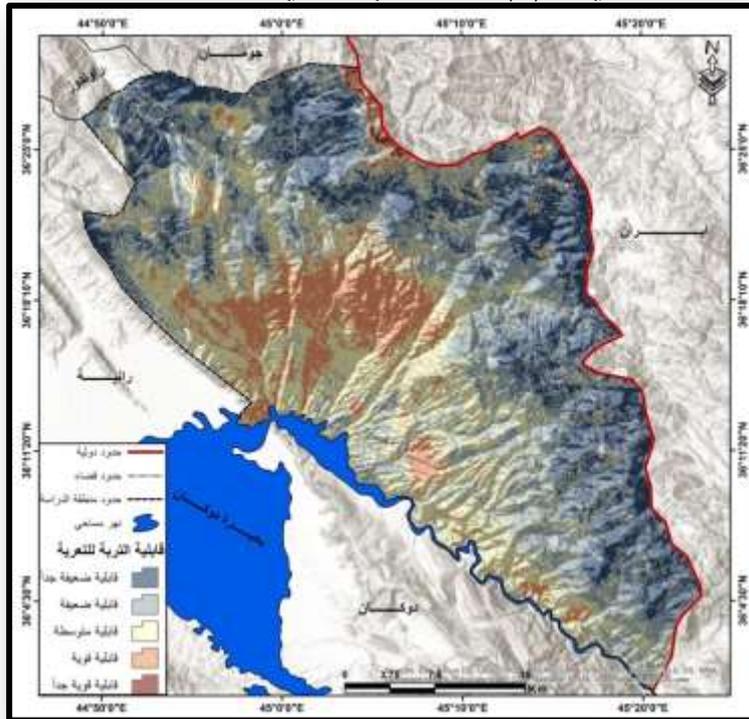
خريطة (٨) تقييم قابلية الصخور في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد تصنيف التكوينات الجيولوجيا حسب منهجية (PAP/CAR)، ومخرجات برنامج ARCGIS.

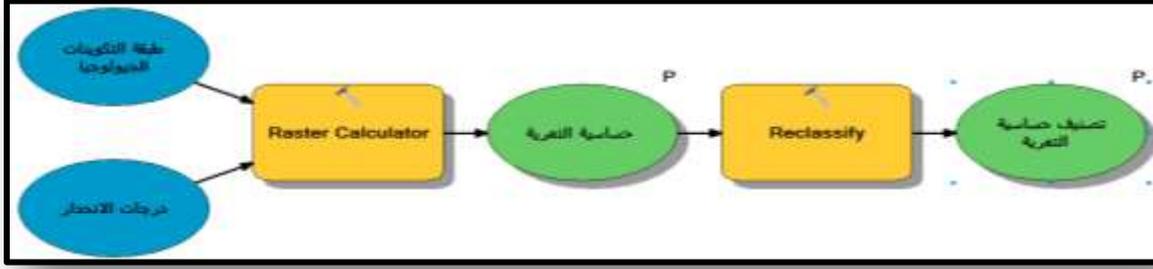
٣-٢ خريطة قابلية التربة للتعرية: حدد قابلية التربة للتعرية من خلال دمج خريطة الانحدار مع خريطة مقاومة الصخور للتعرية، حيث يتم تحقيق ذلك عن طريق مزج وتكامل معاملات كلا الخريطين، كما هو موضح في خريطة (٩).

خريطة (٩) قابلية التربة للتعرية المائتية



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد خريطة الانحدار وخريطة التكوينات الجيولوجية، ومخرجات برنامج ARCGIS.

شكل (٣) نموذج لتقييم قابلية التربة للتعرية باستخدام (Model Builder)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد برنامج ARC.GIS.

يتبين من الجدول (١٠) سجل الصنف ذات القابلية الضعيفة المساحة الاكبر في منطقة الدراسة والتي تمثل نسبة (٣٤.٦٤%)، مما يدل على أن التعرية المائية في هذه المناطق منخفضة. يلي ذلك "قابلية متوسطة بنسبة (٣٠.٣٩%)، حيث تكون التربة أكثر عرضة للانجراف في ظل ظروف معينة مثل الأمطار الغزيرة، يأتي بعدها "قابلية ضعيفة جداً بنسبة (٢٢.٢٥%)، مما يشير إلى استقرار التربة مع ندرة حدوث التعرية المائية، ثم الصنف "قابلية قوية" الذي يغطي نسبة (١٢.٣٩%)، حيث تكون التعرية المائية ملحوظة، مما يستدعي الحذر. وأخيراً، "قابلية قوية جداً بنسبة (٠.٣٣%)، حيث تكون التعرية شديدة وتشكل خطراً كبيراً على التربة.

جدول (١٠) تقييم قابلية التربة للتعرية

تقييم قابلية التربة للتعرية	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
قابلية ضعيفة جداً	306.48	22.25
قابلية ضعيفة	477.09	34.64
قابلية متوسطة	418.49	30.39
قابلية قوية	170.67	12.39
قابلية قوية جداً	4.49	0.33
المجموع	1377.22	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة (٨).

شكل (٤) قابلية التربة للتعرية المائية



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جدول (١٠).

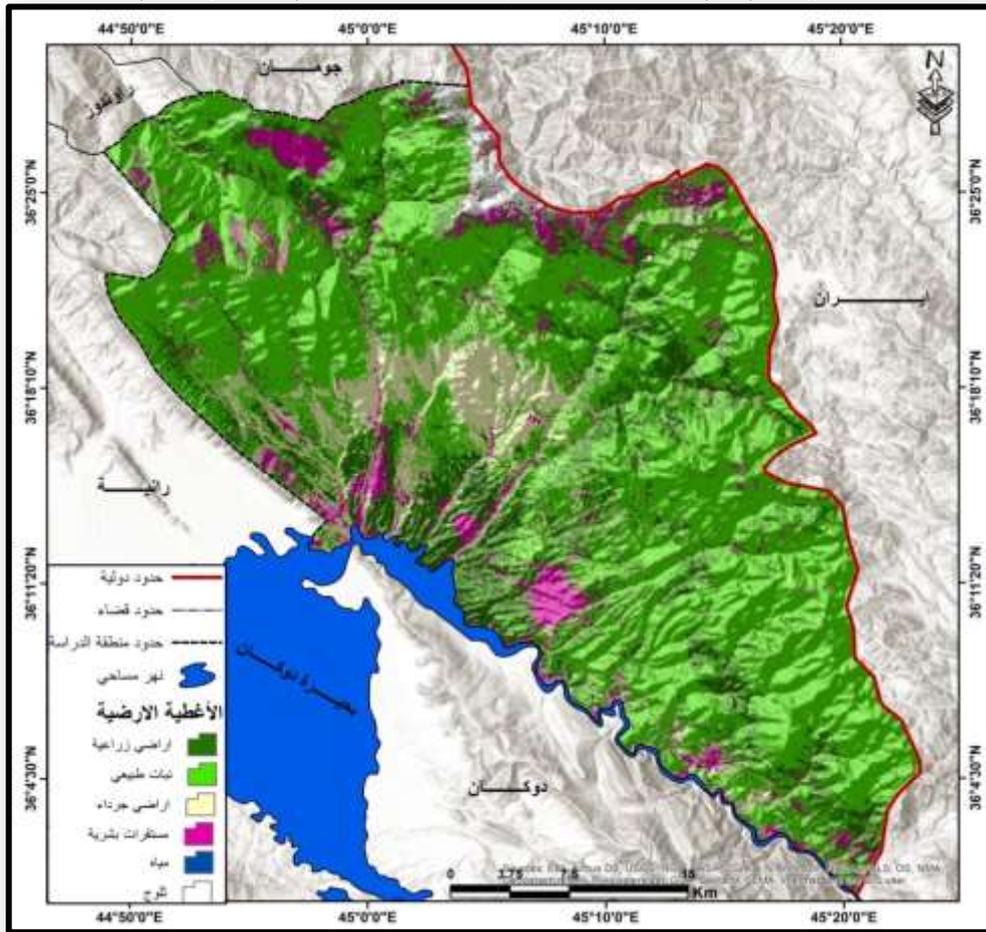
٤-٢ خريطة استخدامات التربة: تم إنشاء خريطة استخدامات التربة في منطقة الدراسة باستخدام صور الأقمار الصناعية (Landsat-٨) لعام ٢٠٢٤. تُظهر الخريطة المُنجزة مختلف أشكال استغلال التربة داخل المنطقة المُدرسة، كما هو مبين في الجدول (١١) والخريطة (١٠).

جدول (٩) تصنيف استعمالات التربة وفقاً لمنهجية (PAPICAR)

المعامل	استعمالات التربة	المساحة كم <sup>٢</sup>	%
١	نبات طبيعي	٨٧٤.١٢	٦٣.٤٧
٢	اراضي زراعية	٢٥٢.٦٦	١٨.٣٥
٣	اراضي جرداء	١١٧.٧٥	٨.٥٥
٤	مستقرات بشرية	١٠٥.٦٥	٧.٦٧
٥	ثلوج	٢٥.٤٢	١.٨٥
٦	مياه	١.٦٥	٠.١٢

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على نموذج (PAP/CAR)، باستخدام برنامج (ARCGIS).

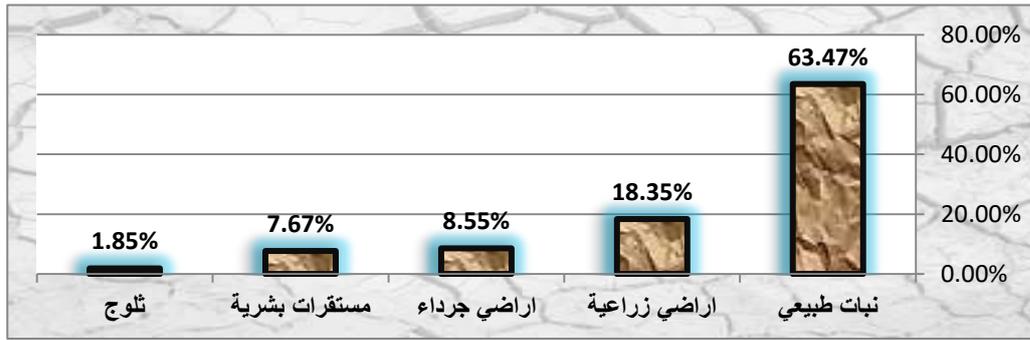
خريطة (١٠) استعمالات التربة حسب منهجية (PAP/CAR)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد استعمالات التربة حسب منهجية (PAP/CAR)، ومخرجات برنامج ARCGIS.

يتضح من جدول (١٠) والشكل (٥) احتل الغطاء النباتي المساحة الاكبر في منطقة الدراسة والتي بلغت نسبتها نحو (٦٣.٤٧%) ويعمل هذا النوع من الغطاء على تقليل التعرية المائية بشكل كبير بفضل جذور النباتات التي تحافظ على استقرار التربة وتمنع انجرافها. يلي ذلك أراضي زراعية بنسبة (١٨.٣٥%)، حيث يؤدي النشاط الزراعي إلى بعض التعرية المائية، خاصة في حالة عدم وجود تدابير حماية كافية مثل المصاطب الزراعية. بعد ذلك تأتي أراضي جرداء بنسبة (٨.٥٥%)، وهذه المناطق تكون أكثر عرضة للتعرية المائية بسبب افتقارها للغطاء النباتي الذي يحمي التربة. يليها "مستقرات بشرية" التي تغطي نسبة (٧.٦٧%)، وتأثيرها على التعرية المائية يكون أقل نسبياً، لكنها قد تساهم في التعرية إذا لم تكن هناك بنية تحتية مناسبة لإدارة المياه. ثم تأتي الغطاء الثلجي بنسبة (١.٨٥%)، وتؤدي هذه المناطق إلى التعرية عند ذوبان الثلوج وتدفق المياه على سطح التربة. وأخيراً، الصنف الأصغر هو مياه الذي يغطي نسبة (٠.١٢%)، ولا يسهم بشكل مباشر في التعرية المائية، لكنه يعكس تأثيراً محدوداً على التربة المحيطة، كما في خريطة (١١).

شكل (٥) النسبة المئوية لمساحة استعمال التربة وفقاً لمنهجية (PAPICAR)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جدول (٩).

٥-٢ خريطة درجة التغطية حسب منهجية (PAP/CAR): تؤدي دوراً محورياً في فهم ومكافحة التعرية المائية. تعد هذه الخرائط أدوات حيوية لتقييم مدى تأثير الغطاء الأرضي على التعرية المائية، إذ تم الاعتماد على خريطة كثافة الغطاء النباتي (٧).

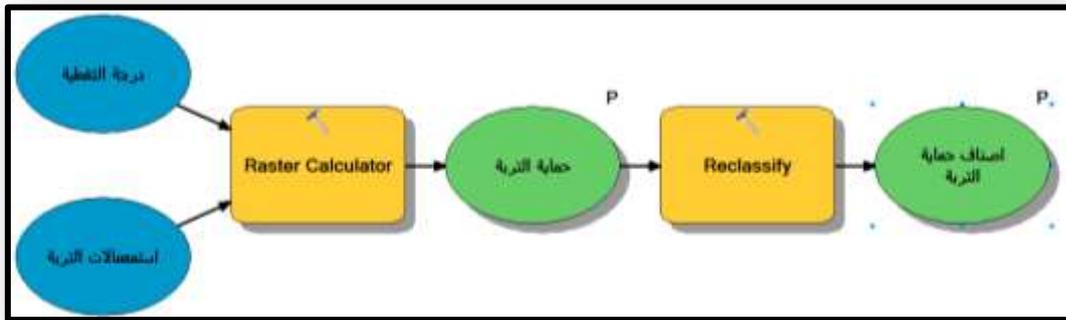
٦-٢ خريطة درجة حماية التربة من التعرية: يتم تحديد درجة حماية التربة من خلال نموذج CAR/PAP انطلاقاً من حماية التربة التي يوفرها لها الغطاء النباتي من خطر التعرية، حيث يتم دمج خريطة كثافة التغطية النباتية وخريطة استعمال الأراضي و يتم دمجهما وفق الجدول (١٠).

### خريطة (١١) درجة حماية التربة حسب منهجية (PAP/CAR)



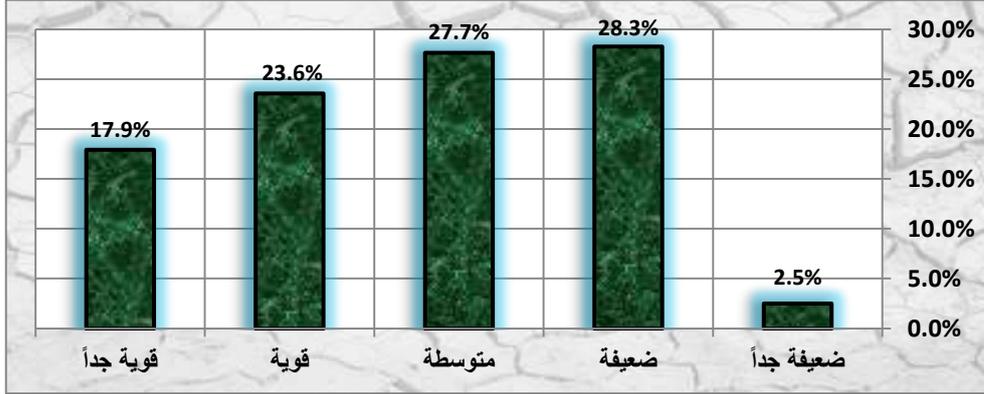
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على درجة حماية التربة حسب منهجية (PAP/CAR)، ومخرجات برنامج ARCGIS.

### شكل (٦) نموذج لتقييم حماية التربة باستخدام (Model Builder)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد برنامج ARC.GIS. يتبين من الشكل (٧) أن (٣٠.٨%) من مساحة الجمالية لمنطقة الدراسة تقع ضمن الصنف (الضعيفة، والضعيفة جداً) لحماية التربة من التعرية المائية والتي تتواجد في جميع اجزاء منطقة الدراسة، تليها الصنف المتوسط بنسبة (٢٧.٧%)، واخير احتل الصنف (القوي والقوي جداً) نسبة بلغت نحو (٤١.٥%) والتي تنتشر في الاجزاء الشرقية والوسطى من المنطقة، خريطة (١٢).

شكل (٧) النسبة المئوية لمساحة حماية التربة من التعرية وفقاً لمنهجية (PAP/CAR)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على منهجية (PAP/CAR).

٧-٢ خريطة التعرية المئوية وفق منهج (PAP/CAR): تُعتبر خريطة التعرية المرحلة النهائية في المقارنة التنبؤية باستخدام نموذج CAR/PAP، حيث تعرض التعرية المحتملة التي قد تتعرض لها المناطق. يستند ذلك إلى النتائج السابقة التي تم الحصول عليها من خلال هذه المقارنة، وخاصة فيما يتعلق بقبالية التربة للتعرية ومستوى حمايتها. يتم دمج هاتين النتيجتين في خريطة واحدة، مما يتيح تحديد وتشخيص المناطق التي قد تواجه التعرية المحتملة، كما في خريطة (١٢).

خريطة (١٢) التعرية المحتملة حسب منهجية (PAP/CAR)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على درجات التعرية المئوية حسب منهجية (PAP/CAR) جدول (١٢)، ومخرجات برنامج ARCGIS.

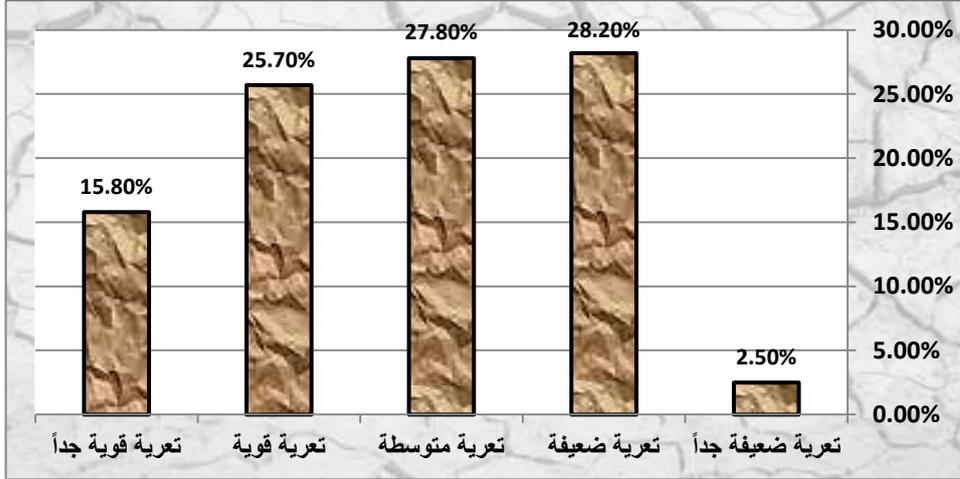
جدول (١٠) مساحات ونسبة المئوية لأصناف التعرية المحتملة وفقاً لمنهجية (PAP/CAR)

النسبة المئوية %	المساحة كم <sup>٢</sup>	صنف التعرية
2.5	34.74	تعرية ضعيفة جداً
28.2	388.13	تعرية ضعيفة
27.8	383.21	تعرية متوسطة
25.7	354.12	تعرية قوية
15.8	217.03	تعرية قوية جداً
100	1377.22	المجموع

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على نموذج (PAP/CAR)، باستخدام برنامج ARCGIS. يتبين من الجدول (١٠) والنموذج الخرائط (١٢) لتنبؤ بمخاطر التعرية المائية في منطقة الدراسة، ان مخاطر التعرية المائية في منطقة الدراسة تصنف الى خمس اصناف من المخاطر، إذ سجلت التعرية الضعيفة نسبة (٢٨.٢%) من المساحة الكلية. هذه المناطق تتعرض لتعرية محدودة، حيث تكون عملية جريان المياه بطيئة نسبياً، مما يساعد في تقليل الأثر البيئي للتعرية ويسهم في استقرار التربة. ومع ذلك، قد يحدث بعض التعرية حتى في هذه المناطق إذا كانت هناك عوامل إضافية مثل ضعف الغطاء النباتي، تليها التعرية المتوسطة التي تعادل نسبة (٢٧.٨%) من المساحة، في هذه المناطق، تحدد التعرية بشكل ملحوظ في لتربة نتيجة لزيادة سرعة الجريان السطحي، مما يؤدي إلى تآكل معتدل يمكن أن يؤثر على خصوبة التربة ويزيد من الحاجة إلى استراتيجيات إدارة الأراضي، واحتلت التعرية القوية المرتبة الثالثة بنسبة (٢٥.٧%)، هنا تكون التأثيرات أكثر وضوحاً حيث تسهم سرعة الجريان السطحي العالية في تعرية بشكل أكبر للتربة، مما يؤدي إلى فقدان أكبر للمواد العضوية والتربة الخصبة، وقد يتطلب الأمر تدابير عاجلة للحفاظ على جودة التربة، وسجلت التعرية القوية جداً المرتبة الرابعة بنسبة (١٥.٨%) هذه المناطق تعاني من تعرض شديد للتعرية بسبب الانحدارات الشديدة وسرعة الجريان السطحي القوية، مما يؤدي إلى تعرية كبير وفقدان سريع للتربة، وقد تحتاج إلى تدخلات مكثفة مثل إنشاء حواجز لحماية التربة وزيادة الغطاء النباتي. وأخيراً، التعرية الضعيفة جداً بلغت نسبتها (٢.٥%) من المساحة. تمثل هذه المناطق أقل تعرضاً للتعرية حيث يكون تأثير الجريان السطحي ضئيلاً، مما يساعد في الحفاظ على التربة واستقرارها.

يتضح مما سبق أن صنف التعرية المتوسطة إلى القوية تشكل الجزء الأكبر من المساحة، مما يشير إلى أن إدارة التعرية في هذه المناطق ضرورية لتقليل التأثيرات السلبية على التربة والحفاظ على جودتها.

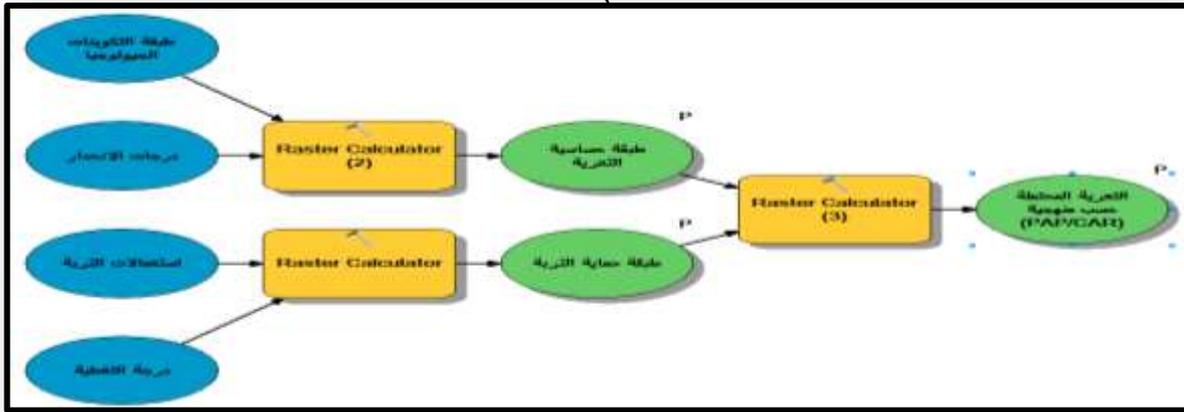
شكل (٨) النسبة المئوية لفئات التعرية المحتملة في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد جدول (١٠).

شكل (٩) نموذج لتقييم التعرية المحتملة باستخدام المنطق المضرب والنمذجة من خلال ( Model

(Builder)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد برنامج ARC.GIS.V.10.8.

#### الاستنتاجات:

- ١- استنتجت الدراسة أن استخدام النمذجة الرقمية تُعد أداة أساسية لتحليل وتقييم ديناميكيات التعرية المائية في قضاء بشدر، حيث تُتيح فهماً أدق للعمليات البيئية المعقدة مثل التعرية وتغيرات التربة. توفر هذه النماذج قدرة على التنبؤ بمعدلات التعرية وتحديد المناطق الأكثر عرضة لتدهور التربة.
- ٢- استنتجت الدراسة أيضاً من خلال دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد في النمذجة الرقمية ساهم في توفير بيانات مكانية دقيقة، مما ساعد في تحليل التغيرات على المدى القصير والطويل. هذه التقنيات تقلل من الحاجة إلى الاعتماد على الدراسات الميدانية فقط وتسمح بمتابعة مستمرة.

- ٣- تؤثر التكوينات الجيولوجية في بشدر على التعرية المائية؛ فالتكوينات شديدة المقاومة، مثل الصخور النارية، تقلل التعرية بشكل كبير. أما التكوينات متوسطة المقاومة، كالرسوبية المتماسكة، فتتعرض

للتعرية بمعدلات معتدلة. في حين أن التكوينات ضعيفة المقاومة، كالحجر الجيري والطين، تكون أكثر عرضة للتعرية السريعة والتدهور الأرضي.

٤- تؤثر التضاريس المختلفة في منطقة بشدر بشكل كبير على التعرية المائية. فالسهول الجبلية، نظراً لانبساطها، تمتص المياه بشكل أفضل وتقلل من الجريان السطحي، مما يجعلها أقل عرضة للتعرية. أما الجبال بسيطة الالتواء، فإن انحدارها المتوسط يزيد من سرعة الجريان السطحي، لكن تأثير التعرية يكون متوسطاً مقارنةً بالجبال معقدة الالتواء، التي تتميز بتضاريس حادة وشديدة الانحدار، مما يجعلها الأكثر عرضةً للتعرية المائية، فيما يتعلق بالانحدار، تزداد خطورة التعرية كلما زاد الانحدار. المناطق قليلة الانحدار تشهد جرياناً مائياً بطيئاً، مما يقلل من التعرية. بينما المناطق ذات الانحدار المتوسط تشهد تآكلاً معتدلاً، خاصة مع قلة الغطاء النباتي. وفي المناطق ذات الانحدار الشديد، تتسارع عمليات جريان المياه وتآكل التربة، مما يجعل التعرية حادة وشديدة في المناطق الوعرة.

٥- أظهرت النتائج أن التعرية المائية في قضاء بشدر تتأثر بشكل كبير بالعوامل المناخية مثل الهطول المطري، درجات الحرارة، وسرعة الرياح، والرطوبة النسبية، يُظهر تحليل البيانات المناخية أن فترات الأمطار الغزيرة تساهم في زيادة معدلات التعرية، بينما تقل معدلات التعرية خلال الفترات الجافة.

٦- استنتجت الدراسة من خلال خريطة تنبؤ في التعرية المائية، أن المنطقة تتعرض إلى خمس أصناف من مخاطر التعرية المائي، أحتل صنف التعرية الضعيفة أعلى مساحة ونسبة (٢٨.٢%)، تليها التعرية المتوسطة بنسبة (٢٧.٨%) ومن ثم الصنف التعرية القوية بنسبة (٢٥.٧%) واخيراً التعرية القوية جداً و الضعيفة جداً بنسبة (١٥.٨% ، ٢.٥%).

#### التوصيات:

- ١- إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي (AI/ML) في نماذج تقييم التعرية المائية لتحسين دقة التنبؤ. يمكن تدريب هذه النماذج باستخدام بيانات مناخية وجغرافية تاريخية لرصد التغيرات المستقبلية بدقة أعلى.
- ٢- تطوير نماذج هيدرولوجية تأخذ في الاعتبار العوامل الهيدرولوجية مثل تدفق المياه الجوفية والمياه السطحية. هذه النماذج يمكن أن تستخدم لتحديد تأثير شبكات الأنهار والوديان على التعرية المائية.
- ٣- التعاون الدولي لتطوير نماذج موحدة من خلال إنشاء شراكات بحثية مع مؤسسات أكاديمية دولية متخصصة في نمذجة التعرية المائية. يمكن أن يؤدي هذا إلى تطوير نماذج رقمية موحدة تعتمد على أفضل الممارسات العلمية الدولية.
- ٤- تطوير نماذج رقمية تأخذ في الاعتبار سيناريوهات مختلفة لاستخدامات الأراضي وتغير المناخ وتأثيرها المتوقع على معدلات التعرية في المستقبل. هذه النماذج يمكن أن تعتمد على بيانات المناخ طويلة الأجل للتنبؤ بالتغيرات في الهطول ودرجات الحرارة.

- ٥- استخدام تقنيات الطائرات بدون طيار (Drones) والمسح الجوي لجمع بيانات عالية الدقة حول التغيرات في التربة والتضاريس على مستوى المناطق الحساسة. يمكن استخدام هذه البيانات لتحديث النماذج الرقمية بشكل دوري.
- ٦- إنشاء قاعدة بيانات مفتوحة للنماذج والبيانات المتعلقة بالتعرية المائية في قضاء بشدر. يمكن أن تكون هذه القاعدة مفتوحة للباحثين والطلاب والمؤسسات الحكومية لتسهيل تبادل المعلومات والتعاون في تحسين النماذج.
- ٧- تصميم برامج تدريبية محلية تهدف إلى بناء القدرات الأكاديمية والبحثية في مجال النمذجة الرقمية والتقييم البيئي. يمكن تقديم دورات متقدمة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

Fartas Najia. et al, Evaluation of water erosion by mapping and application of the PAP/RAC method in the Prerif of Ouazzane, Eco. Env. & Cons. 27 (November Suppl. Issue) : 2021; pp S341.

Jad Tahouri, et al, Using a modified PAP/RAC model and GIS-for mapping water erosion and causal risk factors: Case study of the Asfalou watershed, Morocco. International Soil and Water Conservation Research. 10 July 2021. P123.

Benzougagh Brahim, et al, Élaboration des cartes décisionnelles par des méthodes multidisciplinaires pour la prévention contre les risques d'érosion et d'inondations. Cas du bassin versant Inaouène Control and Management using PAP/RAC Model and GIS: A Case Study of Boufekrane Watershed, American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, 2019, p126-127

#### **References:**

- Al-Jubouri, Saad Mohammed Jassim Mohammed. Geomorphological Analysis of Selected Structural Domes in the Dissected Uplands Region of Iraq, Unpublished Master's Thesis, University of Tikrit, College of Education for Humanities, 2016, p. 15.
- Al-Ezzi, Hamad Mohammed Saleh. Geomorphological Evaluation and the Mechanism of Geometric Changes in the Tuz Khurmatu and Sheikh Mohsen Basins, Al-Adhaim River, Ph.D. Dissertation, Ibn Rushd College of Education, University of Baghdad, 2005, p. 41.
- Manthena, et al, Land use/land cover change and its implication on soil erosion in an ecologically sensitive Himachal Himalayan watershed, Northern India, Front. For. Glob. Change, 05 February, Sec. Forest Management, Volume 6 - 2023, p123.
- Li Wang, et al, Response of Soil Erosion to Climate and Subsequent Vegetation Changes in a High-Mountain Basin, Sustainability, V15, N(4), 2023, P223

- Yu War Nang, et al, Slope Gradient Effects on Sediment Yield of Different Land Cover and Soil Types, Water, v16 , N(10), 2024, p123.
- Jawad, Shaimaa Thamer. The Impact of Climate on Erosion in the Shalagha Basin (A Case Study), Diyala Journal for Human Research, Issue No. 94, 2022, p. 592.
- Al-Aani, Raqia Ahmed Mohammed Amin, and Al-Mashhadani, Ismail Jumaa Kareem. Quantitative Assessment of Water Erosion in the Zarawa Valley Basin Using the Gavrilovic (EPM) Model, Diyala Journal, Issue No. 86, 2020, p. 54.
- Al-Sarraf, Sadiq Jaafar. Climatology and Environment, Dar Al-Kutub Publishing and Printing House, Baghdad, 1980, p. 175.
- Nazar, Abdul Hamdi. Erosion and Its Implications in the Hammam Valley Basin (Skikda – Guelma – Annaba), Unpublished Master's Thesis, Mentouri University, Constantine, Faculty of Earth Sciences, Geography and Urban Planning, 2006, p. 34.
- Fartas Najia. et al, Evaluation of water erosion by mapping and application of the PAP/RAC method in the Prerif of Ouazzane, Eco. Env. & Cons. 27 (November Suppl. Issue) : 2021; pp S341.
- Jad Tahouri, et al, Using a modified PAP/RAC model and GIS-for mapping water erosion and causal risk factors: Case study of the Asfalou watershed, Morocco. International Soil and Water Conservation Research. 10 July 2021. P123 .
- Benzougagh Brahim, et al, Élaboration des cartes décisionnelles par des méthodes multidisciplinaires pour la prévention contre les risques d'érosion et d'inondations. Cas du bassin versant Inaouène Control and Management using PAP/RAC Model and GIS: A Case Study of Boufekrane Watershed, American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, 2019, p126-127