

التقييم المكاني لمخاطر انجراف التربة في منطقة جبل شيرين (أربيل،
العراق) باستخدام نموذج RUSLE و GIS

الأستاذ المساعد دلفين جعفر محمد


dilveen.jafaar@uod.ac

جامعة دهوك / كلية العلوم الإنسانية

الأستاذة الدكتورة رقية احمد محمد امين

Ruqaya_Mohamed@aliraqia.edu.iq

الجامعة العراقية / كلية الآداب



*Spatial Assessment of Soil Erosion Risk in the Shirin Mountain Area (Erbil,
Iraq) Using the RUSLE Model and GIS*

Assit. Dilveen Jafaar Mohamed
University Of Duhok / Faculty of Humanities
Dr.Ruqaya Ahmed M.Amin (Ph.D)
Al-Iraqia University / Art College



المستخلص

يهدف هذا البحث إلى التقييم المكاني لمخاطر انجراف التربة في منطقة جبل شيرين بمحافظة أربيل إقليم كردستان العراق، باستخدام نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS). تم دمج وتحليل العوامل الرئيسية المؤثرة في التعرية المائية، وهي عامل تعرية المطر (R)، وقابلية التربة للانجراف (K)، والعامل الطبوغرافي (LS)، وعامل الغطاء النباتي (C)، وعامل ممارسات الحفاظ على التربة (P)، بالاعتماد على بيانات الاستشعار عن بعد، ونموذج الارتفاع الرقمي، وبيانات الأمطار وخرائط التربة. أظهرت النتائج أن معدلات فقدان التربة السنوية تراوحت بين 1.79 و 1.2 هكتار/سنة، مع تركيز الفئات ذات الخطورة العالية في السفوح الشمالية والشرقية ذات الانحدارات الشديدة وضعف الغطاء النباتي. في المقابل، سادت الفئات منخفضة الخطورة (1.79-5.19 هكتار/سنة) على نحو 30.41% من مساحة المنطقة، بينما لم تتجاوز مساحة الفئات عالية الخطورة 5.89% من المساحة الكلية. تسهم نتائج الدراسة في دعم الهدف الثاني من أهداف التنمية المستدامة (القضاء على الجوع) من خلال حماية الأراضي الزراعية، والهدف الثالث عشر (العمل المناخي) عبر الحد من آثار التدهور المرتبط بالأمطار الشديدة، والهدف الخامس عشر (الحياة في البر) من خلال الحفاظ على التربة والأنظمة البيئية الجبلية، وتؤكد الدراسة أن تكامل نموذج RUSLE مع GIS يمثل أداة فعالة لدعم التخطيط البيئي وإدارة الأراضي المستدامة في المناطق الجبلية. الكلمات المفتاحية: انجراف التربة، مخاطر التعرية، نموذج RUSLE، نظم المعلومات الجغرافية، جبل شيرين.

Abstract

This study aims to conduct a spatial assessment of soil erosion risk in the Shirin Mountain area, Erbil Governorate, Kurdistan Region of Iraq, using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) within a Geographic Information Systems (GIS) environment. The analysis integrates the principal factors controlling water-induced soil erosion, namely rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), topographic factor (LS), vegetation cover factor (C), and conservation practice factor (P), based on remote sensing data, a digital elevation model (DEM), rainfall records, and soil maps.

The results indicate that annual soil loss rates range between 1.79 and 41.2 t ha⁻¹ yr⁻¹, with high-risk erosion classes concentrated mainly on the northern and eastern slopes characterised by steep gradients and sparse vegetation cover. Conversely, low-risk erosion classes (1.79–5.19 t ha⁻¹ yr⁻¹) dominate approximately 30.41% of the total study area, whereas high-risk classes account for only 5.89% of the overall area.

The findings contribute to the achievement of Sustainable Development Goal 2 (Zero Hunger) by supporting the protection of agricultural land, SDG 13 (Climate Action) by mitigating land degradation associated with intense rainfall events, and SDG 15 (Life on Land) through the conservation of soil resources and fragile mountainous ecosystems. The study confirms that the integration of the RUSLE model with GIS provides an effective decision-support tool for environmental planning and sustainable land management in mountainous regions.

Keywords: Soil erosion risk, RUSLE model, Geographic Information Systems (GIS), Spatial analysis, Shirin Mountain

بسم الله الرحمن الرحيم

أولاً: المقدمة.

تُعدّ منطقة جبل شيرين في شمال شرق محافظة أربيل إحدى الوحدات الجبلية البنيوية النشطة ضمن نطاق الطيات العالية لإقليم كردستان العراق، إذ تتألف جيولوجياً من تكوينات رسوبية تعود بمعظمها إلى حقبة الميزوزويك، وتتميز ببنية طينية محدبة ذات امتداد عام شمال غرب-جنوب شرق، وهو اتجاه ينعكس مباشرة على نمط الانحدارات واتجاهات السفوح، ويؤثر في استقرار المنحدرات وتوزيع العمليات الجيومورفولوجية السائدة، وتغطي المنطقة مساحة تقارب 246.7 كم²، ويتراوح الارتفاع فيها بين نحو 650م في الأجزاء المنخفضة الجنوبية إلى أكثر من 1700م فوق مستوى سطح البحر في القمم الجبلية، ما يولد تدرجاً تضاريسياً حاداً وانحدارات تتجاوز في أجزاء واسعة 20-35 درجة، مع سيادة اتجاهات انحدار شمالية وشمالية شرقية أكثر تعرضاً لتأثير الهطول المطري والجريان السطحي.

مناخياً تقع المنطقة ضمن النطاق المتوسطي الجبلي، إذ يتراوح المعدل السنوي للأمطار بين 600-900 ملم/سنة، مع تركيز زمني واضح للهطول خلال أشهر الشتاء، ودرجات حرارة سنوية وسطية بحدود 12-18°م، وانخفاض حراري ملحوظ مع الارتفاع، في حين تتراوح الرطوبة النسبية السنوية غالباً بين 50-70%، وهي ظروف مناخية تسهم في تعزيز طاقة التعرية المطرية وتذبذب الرطوبة السطحية للتربة، أما من حيث الخصائص البيدولوجية، فتسود تربة متوسطة إلى خفيفة القوام (طينية- طميية طينية)، ذات نفاذية متوسطة وقابلية متفاوتة للانجراف، خاصة في السفوح العليا ضعيفة التطور البيدولوجي، في حين يقتصر الغطاء النباتي على تشكيلات جبلية طبيعية وأراضٍ رعوية موسمية تتسم بتباين كثافتها المكاني والزمني، الأمر

الذي يحدّ من دورها الوقائي في كثير من أجزاء المنطقة، وتؤدي هذه العوامل مجتمعة إلى سيادة عمليات جيومورفولوجية نشطة تشمل التعرية الصفائحية والتعرية الأخدودية وحركات المواد على المنحدرات، ما يجعل المنطقة بيئة ملائمة لدراسة التعرية المائية بوصفها عملية فقدان ونقل لدقائق التربة بفعل طاقة المطر والجريان السطحي، وفي هذا السياق يُعدّ نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) إطارًا كميًا تجريبيًا يربط بين العوامل المناخية (R) ، وخصائص التربة (K) ، والطبوغرافيا (LS) ، والغطاء النباتي والإدارة (C) ، وممارسات الحفاظ على التربة (P)، بما يتيح تقييمًا مكانيًا لمعدلات التعرية عند دمجها مع نظم المعلومات الجغرافية وبيانات الاستشعار عن بُعد (Wischmeier & Smith, 1978, Renard et al., 1997). وتكتسب دراسة التعرية المائية في منطقة جبل شيرين أهمية خاصة في سياق التنمية المستدامة، إذ يرتبط الحد من تدهور التربة بحماية الأراضي المنتجة (الهدف ٢)، والتكيف مع آثار التغير المناخي في المناطق الجبلية (الهدف ١٣)، والحفاظ على النظم البيئية الأرضية والموارد الطبيعية (الهدف ١٥)، مما يجعل التقييم المكاني الكمي للتعرية مدخلًا علميًا أساسيًا لدعم التخطيط البيئي وإدارة الأراضي المستدامة في الإقليم.

تناولت العديد من الدراسات العالمية والإقليمية نمذجة التعرية المائية للتربة باستخدام نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بوصفه أداة كمية فعّالة لتقدير معدلات فقدان التربة وتحليل تباينها المكاني، فقد أرست الدراسة الكلاسيكية لـ (Wischmeier and Smith (1978) الأساس النظري للنموذج من خلال ربط التعرية بعوامل المطر والتربة والطبوغرافيا والغطاء النباتي، قبل أن يقوم (Renard et al. (1997 بتطوير النموذج بصيغته المعدلة

(RUSLE) وتوسيع إمكاناته التطبيقية، ولاسيما عند دمجها مع البيانات المكانية، وعلى المستوى القاري قَدَمَ (Panagos et al. (2015) تطبيقات متقدمة للنموذج على نطاق واسع، مع التركيز على تحسين تمثيل عامل الغطاء النباتي (C) بالاعتماد على بيانات الاستشعار عن بُعد، مؤكدين الدور الحاسم للطبوغرافيا والغطاء الأرضي في تشكيل أنماط التعرية.

أما إقليمياً ركزت دراسات عديدة في البيئات شبه الجافة والجبلية في الشرق الأوسط على تقدير معدلات فقدان التربة باستخدام RUSLE ، مثل دراسة المغاري (٢٠٢١) في قطاع غزة، التي بينت أن السفوح الشديدة الانحدار والمناطق ذات الضغط البشري المرتفع تسجل أعلى معدلات التعرية، في حين أظهرت دراسات أخرى في العراق وإقليم كردستان فاعلية النموذج في إنتاج خرائط خطر أولية تدعم إدارة الأراضي (الشريفات، ٢٠٢٣، أمين وآخرون، ٢٠٢٥).

ومع ذلك فإن معظم هذه الدراسات انصبَّ اهتمامها على تقدير المعدلات الكمية للفقدان دون التعمق الكافي في تحليل الخصائص الجيومورفولوجية والبنوية المحلية التي تتحكم في التباين المكاني للتعرية داخل الوحدات الجبلية المعقدة، كما أن عدداً منها اعتمد قيماً افتراضية مبسطة لبعض العوامل، ولاسيما عامل ممارسات الحفاظ على التربة (P) ، مع محدودية الربط التحليلي بين التعرية المائية وسياق التنمية المستدامة.

وانطلاقاً من هذا تتميز الدراسة الحالية بتركيزها على التقييم المكاني لمخاطر التعرية ضمن وحدة جبلية محددة ذات بنية طينية وانحدارات حادة، مع توظيف متكامل لبيانات الاستشعار عن بُعد ونموذج الارتفاع الرقمي لتحليل العوامل المشكلة للتعرية قبل الخوض في النتائج، فضلاً عن ربط الإطار التحليلي للتعرية المائية بأهداف التنمية

المستدامة ذات الصلة، مما يمنح الدراسة بعدًا تحليليًا وتطبيقيًا يتجاوز الطرح الوصفي السائد في كثير من الدراسات السابقة.

١- **مشكلة البحث:** تعاني البيئات الجبلية المعقدة مثل جبل شيرين من نقص الدراسات المكانية الكمية التي تدمج العوامل البنوية والطبوغرافية والمناخية في تقييم انجراف التربة باستخدام نموذج (RUSLE) ، مما يشكل فراغ بحثي، وعليه تتمثل مشكلة البحث في التساؤل الآتي:

ما طبيعة التباين المكاني لمخاطر انجراف التربة في منطقة جبل شيرين، وما مدى إسهام العوامل الجيولوجية والطبوغرافية والمناخية والغطاء النباتي في تشكيل هذا التباين؟

٢- **فرضية البحث:** تفترض الدراسة أن مخاطر انجراف التربة في منطقة جبل شيرين تتباين مكانيًا بشكل واضح، وترتفع في السفوح ذات الانحدارات الشديدة والاتجاهات الأكثر تعرضًا للهطول المطري، والمناطق ضعيفة الغطاء النباتي، في حين تنخفض في المناطق الأقل انحدارًا والأكثر استقرارًا طبوغرافيًا. كما تفترض أن دمج نموذج (RUSLE) مع نظم المعلومات الجغرافية يتيح تمثيلًا مكانيًا كمياً أدق لمناطق الخطورة مقارنة بالمعالجات الوصفية التقليدية.

٣- **أهمية البحث:** تتبع أهمية هذا البحث من كونه يعالج إحدى أكثر المشكلات البيئية إلحاحًا في البيئات الجبلية، والمتمثلة في انجراف التربة وتدهور الأراضي، من خلال مقارنة كمية مكانية تعتمد نمذجة العوامل الطبيعية المتحكمة في التعرية، وتكتسب الدراسة أهمية مكانية خاصة لكونها تُطبَّق على منطقة جبل شيرين، بوصفها وحدة جيومورفولوجية جبلية ذات بنية تركيبية معقدة وانحدارات شديدة، ما يجعلها أكثر عرضة لمخاطر التعرية المائية، كما تتجلى الأهمية العلمية للدراسة في توظيف نموذج

(RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية وبيانات الاستشعار عن بُعد لإنتاج تقييم مكاني دقيق لمخاطر التعرية، في حين تتمثل أهميتها التطبيقية في دعم التخطيط البيئي وإدارة الأراضي، وبما ينسجم مع أهداف التنمية المستدامة المرتبطة بحماية التربة والموارد الأرضية.

٤- أهداف البحث: يهدف هذا البحث إلى:

١. تحليل الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية والمناخية والبيئية لمنطقة جبل شيرين بوصفها عوامل مُشكِّلة لمخاطر انجراف التربة.

٢. تقييم التباين المكاني لمخاطر التعرية المائية باستخدام نموذج (RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

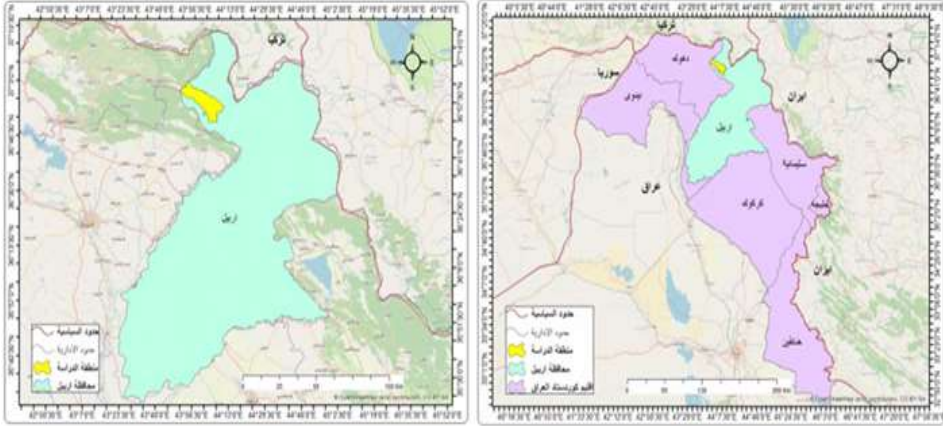
٣. تحديد دور كل من الانحدار، واتجاهه، والارتفاعات، والهطول المطري، والغطاء النباتي، وخصائص التربة في التحكم بشدة التعرية.

٤. إنتاج قاعدة بيانات وخرائط مكانية داعمة لتخطيط إجراءات حماية التربة وإدارة الأراضي المستدامة في المنطقة.

٥- **حدود منطقة البحث:** تقع منطقة البحث في جبل شيرين ضمن قضاء ميركه سور التابع لمحافظة أربيل في إقليم كردستان - العراق، وتمتد فلكياً بين دائرتي عرض تتراوحان تقريباً من $36.83^{\circ}N$ إلى $37.05^{\circ}N$ ، وبين خطي طول يمتدان من $43.95^{\circ}E$ إلى $44.25^{\circ}E$ وتُحدّ المنطقة طبيعياً من الشمال بجبل موسى كا، ومن الغرب والشمال الغربي بنهر شين (شمدينان)، ومن الشرق بنهر ريزان (روكوجك)، ومن الجنوب بنهر الزاب الكبير، وتمثل المنطقة وحدة جيومورفولوجية جبلية ذات طية محدبة ممتدة باتجاه شمال غرب-جنوب شرق، وتتكوّن من تكوينات صخرية تعود إلى عصر الميزوزويك، مع تضاريس شديدة الانحدار وتباين في الغطاء النباتي وكميات

الهطول المطري، ما يجعلها نموذجًا مناسبًا لدراسة التعرية المائية وتقدير معدلات انجراف التربة باستخدام النماذج الكمية المكانية.

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة من محافظة اربيل واقليم كردستان العراق



المصدر: اعتمادا على خريطة اربيل الادارية لسنة ٢٠٢٠، بمقياس ١:١٩١.٠٠٠ ، وخريطة اقليم كردستان العراق الادارية لسنة ٢٠٢٠، بمقياس ١:٢٦٠.٠٠٠، باستخدام (Arc GIS 10.8)

ثانيا: المنهجية التفصيلية للبحث.

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الجيومورفولوجي التطبيقي المدعوم بالتحليل الكمي المكاني، من خلال توظيف نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ، بهدف تقييم مخاطر انجراف التربة في منطقة جبل شيرين وتحليل العوامل الطبيعية المتحكمة فيها، ويُعد هذا المنهج من أكثر المناهج ملاءمة لدراسة التعرية المائية في البيئات الجبلية (Renard et al., 1997; Panagos et al., 2015)، لكونه يتيح دمج العوامل الطبوغرافية والمناخية والبيدولوجية والبيئية ضمن إطار نمذجي واحد، يسمح بتمثيل التباين المكاني لعمليات التعرية بصورة كمية دقيقة.

1. ادوات البحث: اعتمد البحث على جوانب تحليلية منها التحليل الخلوي (Raster-based spatial analysis) بوصفه الأساس في تقييم التباين المكاني لمخاطر التعرية، وذلك من خلال تمثيل جميع العوامل المؤثرة على هيئة طبقات رقمية متجانسة من حيث الدقة المكانية ونظام الإحداثيات، وقد جرى دمج العوامل الخمسة الرئيسية لنموذج (RUSLE)، وهي: عامل تعرية المطر (R)، عامل قابلية التربة للانجراف (K)، العامل الطبوغرافي (LS)، عامل الغطاء النباتي والإدارة البيئية (C)، وعامل ممارسات الحفاظ على التربة (P)، باستخدام تقنيات الجبر الخرائطي (Map Algebra) داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

2. مصادر البيانات

اعتمدت الدراسة على بيانات مكانية ومتعددة المصادر، جرى اختيارها وفق معايير الدقة المكانية وحدثة المصدر وملاءمته لطبيعة منطقة الدراسة، وشملت ما يأتي:

- **نموذج الارتفاع الرقمي (DEM):** تم استخدام نموذج ارتفاع رقمي بدقة مكانية (30 م) لاشتقاق الخصائص الطبوغرافية الأساسية، المتمثلة بالارتفاعات، ودرجة الانحدار، واتجاه الانحدار، وطول المنحدر، والتجمع الجرياني، والتي تُعد المدخل الرئيس لحساب العامل الطبوغرافي (LS).
- **بيانات الهطول المطري:** اعتمدت الدراسة على بيانات المعدلات السنوية للهطول المطري المستخلصة من السجلات المناخية لمحطات الأرصاد القريبة من منطقة جبل شيرين ومحيطها، إضافة إلى البيانات المناخية طويلة الأمد المتاحة، وذلك لتمثيل الخصائص المطرية السائدة في المنطقة. ونظرًا لعدم توفر بيانات الشدة المطرية التفصيلية (EI30)، تم اعتماد المعدلات السنوية للأمطار، وهو إجراء شائع في

الدراسات التطبيقية ضمن البيئات الجبلية وشبه الجافة. وقد جرى تمثيل بيانات الأمطار مكانياً من خلال استيفاء القيم النقطية إلى سطح مطري مستمر باستخدام أساليب الاستيفاء المكاني داخل بيئة GIS ، ثم استخدام هذه الطبقة في اشتقاق عامل تعرية المطر (R) وفق علاقات تجريبية ملائمة لطبيعة المناخ السائد.

- **بيانات الاستشعار عن بُعد:** تم استخدام مرئيات القمر الصناعي Landsat 8 (OLI/TIRS) بدقة مكانية (30 م) لاشتقاق مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI)، والذي يمثل الأساس في حساب عامل الغطاء النباتي والإدارة البيئية. (C)
- **خرائط التربة:** اعتمدت الدراسة على خرائط التربة المصنفة وفق نظام منظمة الأغذية والزراعة (FAO-WRB) ، لاستخراج الخصائص الفيزيائية للتربة، مثل القوام ونسب الرمل والطيني والطين، المستخدمة في حساب عامل قابلية التربة للانجراف. (K)
- **المصادر الميدانية والمكتبية:** شملت الدراسات السابقة والملاحظات الحقلية المتاحة، واستخدمت لدعم التفسير الجيومورفولوجي وضبط القيم الافتراضية لبعض العوامل، ولاسيما عامل ممارسات الحفاظ على التربة. (P)

3. المعالجة المكانية للبيانات

خضعت جميع البيانات المكانية لسلسلة من المعالجات المسبقة داخل بيئة ArcGIS (الإصدار 10.8)، شملت توحيد نظام الإحداثيات، وإعادة الإسقاط، والقص المكاني وفق حدود منطقة الدراسة، وتوحيد الدقة المكانية للخلايا (Cell Size = 30) م، بما يضمن التطابق المكاني لجميع الطبقات المدخلة للنموذج، كما جرى اشتقاق المتغيرات الطبوغرافية والمناخية والبيئية باستخدام أدوات التحليل المكاني و Spatial Analyst.

ثالثًا: تطبيق نموذج المعادلة العالمية المعدلة (RUSLE)

تم تقدير المعدل السنوي لفقدان التربة في منطقة الدراسة بالاعتماد على نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة – (Revised Universal Soil Loss Equation – (RUSLE)، والذي يُعد من أكثر النماذج الكمية شيوعًا ودقة في تقدير التعرية المائية، لاسيما عند دمجها مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS). ويُعبّر عن النموذج بالمعادلة الآتية:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

حيث تمثل (A) المعدل السنوي لفقدان التربة بوحدة (طن/هكتار/سنة)، في حين تمثل العوامل (R)، (K)، (LS)، (C)، (P) المكونات الرئيسة المتكاملة في عملية التعرية المائية، كما ورد في الصياغة الأصلية للنموذج وتطويراته اللاحقة (Wischmeier & Smith, 1978, Renard et al., 1997)

يمثل عامل تعرية المطر (R) طاقة الهطول المطري وقدرته على إحداث التعرية، ويُعد من العوامل المناخية الأساسية التي تؤثر مباشرة في شدة الجريان السطحي، خصوصًا في المناطق الجبلية ذات الأمطار الموسمية الغزيرة (Arnoldus, 1980, Renard et al., 1997). أما عامل قابلية التربة للانجراف (K) فيعكس الخصائص الفيزيائية للتربة، مثل قوامها ونفاذيتها ومدى تماسكها، إذ تزداد قيم هذا العامل في الترب الخفيفة القوام قليلة التماسك، وتنخفض في الترب الطينية المتماسكة (Wischmeier & Smith, 1978, Panagos et al., 2014).

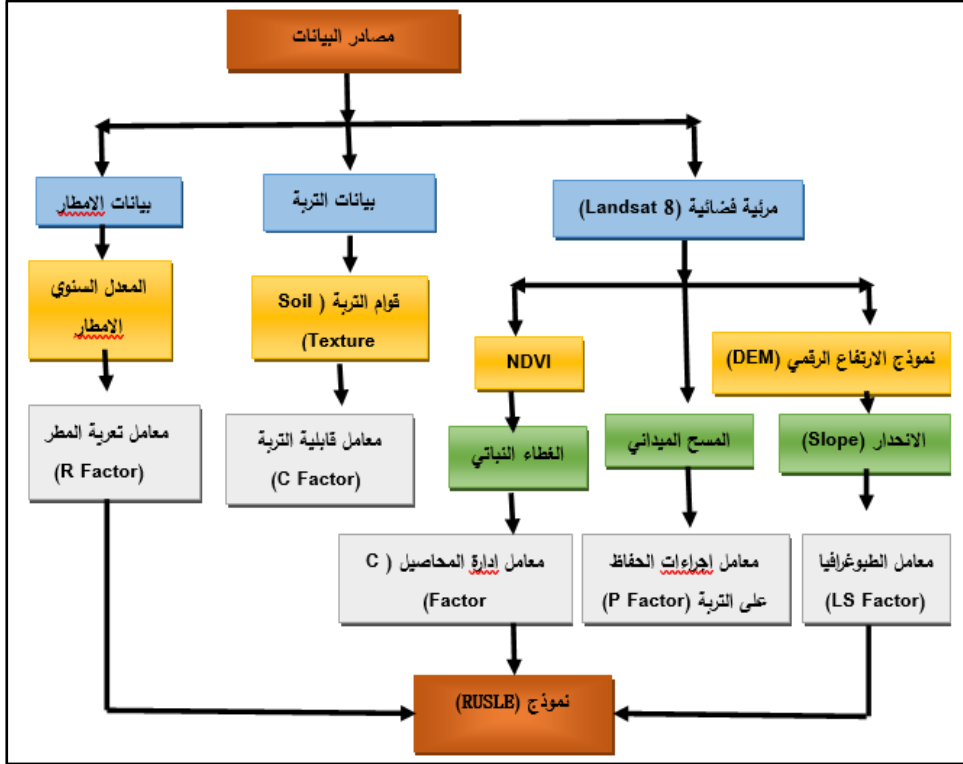
ويُعبّر عامل الطبوغرافيا (LS) عن تأثير كل من طول المنحدر ودرجة الانحدار في تسريع الجريان السطحي وزيادة قدرة المياه على نقل دقائق التربة، ويُعد من أكثر العوامل تأثيرًا في البيئات الجبلية ذات التضاريس الحادة (Moore & Burch, 1992).

(1986, Desmet & Govers, 1996). في حين يمثل عامل الغطاء النباتي والإدارة البيئية (C) دور الغطاء النباتي في حماية سطح التربة من تأثير قطرات المطر وتقليل سرعة الجريان السطحي، حيث تتخفف قيم هذا العامل في المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف، وترتفع في المناطق المكشوفة أو المتدهورة نباتيًا (Renard et al., 1997 Van der Knijff et al., 2000).

أما عامل ممارسات الحفاظ على التربة (P) فيعكس تأثير الإجراءات الوقائية، مثل الزراعة الكنتورية والمدرجات والحواجز، في تقليل شدة التعرية، وتتراوح قيمه بين (0-1)، إذ تشير القيم المرتفعة إلى غياب أو ضعف إجراءات الحماية (Wischmeier & Smith, 1978, Panagos et al., 2015). ونظرًا لمحدودية تطبيق هذه الممارسات في منطقة الدراسة، فقد تم اعتماد قيم ملائمة لهذا العامل استنادًا إلى الدراسات السابقة والواقع الميداني.

وقد جرى دمج جميع عوامل النموذج بعد اشتقاقها مكانيًا باستخدام تقنيات الجبر الخرائطي (Map Algebra) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) (10.8 وكما في الشكل (1)، لإنتاج خريطة رقمية توضح التوزيع المكاني لمعدلات فقدان التربة السنوية، بما يتيح تحديد مناطق الخطورة البيئية ودعم جهود التخطيط المستدام وإدارة الأراضي في منطقة جبل شيرين .

شكل (١) خطوات تطبيق نموذج (RUSLE) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية



رابعاً: حساب عوامل النموذج (R, K, LS, C, P)

بعد إعداد قاعدة البيانات المكانية وتوحيد الإسقاط والدقة المكانية، جرى اشتقاق عوامل نموذج (RUSLE) الخمسة على هيئة طبقات Raster، ثم تهيئتها للدمج ضمن معادلة الفقدان السنوي للتربة، وقد أتت إجراءات اشتقاق العوامل كما يأتي:

1- حساب عامل تعرية المطر (R-Factor)

يمثل عامل تعرية المطر (R) طاقة الهطول المطري وقدرته على إحداث التعرية المائية، وهو عامل أساس في نمذجة فقدان التربة (Wischmeier & Smith, 1978, Renard et al., 1997). ونظراً لعدم توفر بيانات الشدة المطرية التفصيلية (EI₃₀) لمحطات الأرصاد القريبة من منطقة جبل شيرين، وهو امر يستخدم

في الدراسات التطبيقية ضمن البيانات الجبلية وشبه الجافة، اعتمدت هذه الدراسة على المعدلات السنوية للهطول المطري (P) بوصفها بديلاً منهجياً معتمداً لاشتقاق عامل تعرية المطر (R) ، وقد جرى حساب قيم (R) باستخدام العلاقة التجريبية $R = 3.85 + 0.35P$ ، والتي طُوِّرت خصيصاً للاستخدام في المناطق التي تفتقر إلى سجلات مطرية عالية الدقة، وأثبتت كفاءتها في تمثيل الطاقة التعرية للأمطار عند تطبيق نموذج (RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، ويُعد هذا الإجراء متوافقاً مع ما أوصت به الدراسات الكلاسيكية والحديثة في دراسات التعرية المائية، ولا يؤثر في موثوقية التقييم المكاني طالما استُخدمت بيانات مطرية طويلة الأمد وممثلة للخصائص المناخية السائدة في منطقة الدراسة (Arnoldus, 1980, Renard et al., 1997). الجدول (١) والخريطة (٢) .

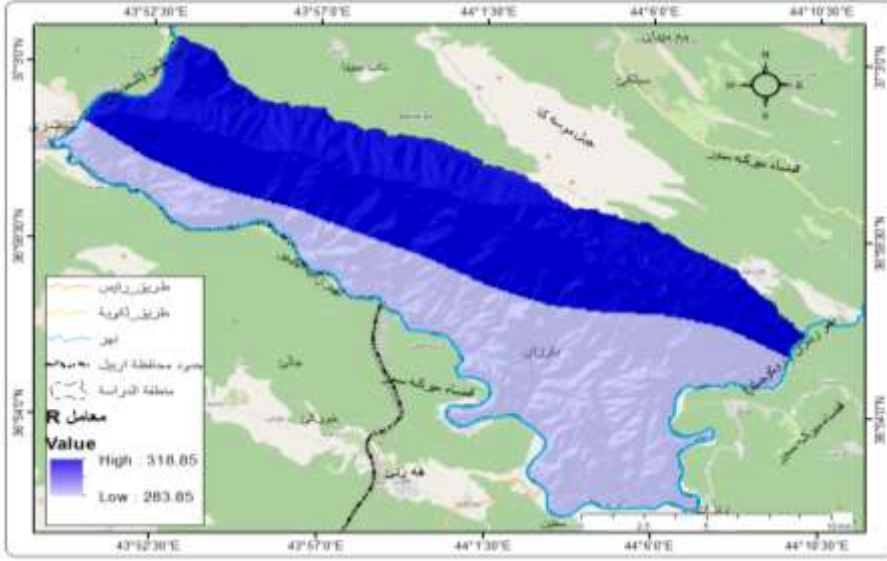
جدول (1): المعدل السنوي للهطول المطري في منطقة جبل شيرين ومحيطها

الموقع	عدد سنوات الرصد	متوسط المعدل السنوي للأمطار (ملم/سنة)	الخصائص المناخية السائدة
شمال منطقة الدراسة	21 سنة	760	تأثير الارتفاعات والسفوح الشمالية، أمطار أكثر انتظاماً
جنوب منطقة الدراسة	21 سنة	690	انخفاض نسبي في الارتفاع، تذبذب مطري أعلى
المتوسط العام للمنطقة	21 سنة	725	مناخ متوسطي جبلي شبه رطب

المصدر: المتوسط السنوي للأمطار بالاعتماد على بيانات الهطول المطري الشهرية واليومية للمدة (٢٠٠٤-٢٠٢٤) والمستخرجة من قواعد بيانات CHRS-UCI وNASA POWER، وبالمواءمة

مع الدراسات التطبيقية لنموذج (RUSLE (Arnoldus, 1980, Renard et al., 1997).

خريطة (٢) معامل تعرية المطر (R) لمنطقة جبل شيرين



المصدر: بالاعتماد على معادلة (R = 3.85 + 0.35 * P) وباستخدام برنامج (Arc Gis)
(10.8)

ويُعد استخدام علاقات مطرية مبنية على المجاميع السنوية شائعاً عند محدودية بيانات الشدة المطرية (Arnoldus, 1980, Renard et al., 1997)

2- حساب عامل قابلية التربة للانجراف (K-Factor)

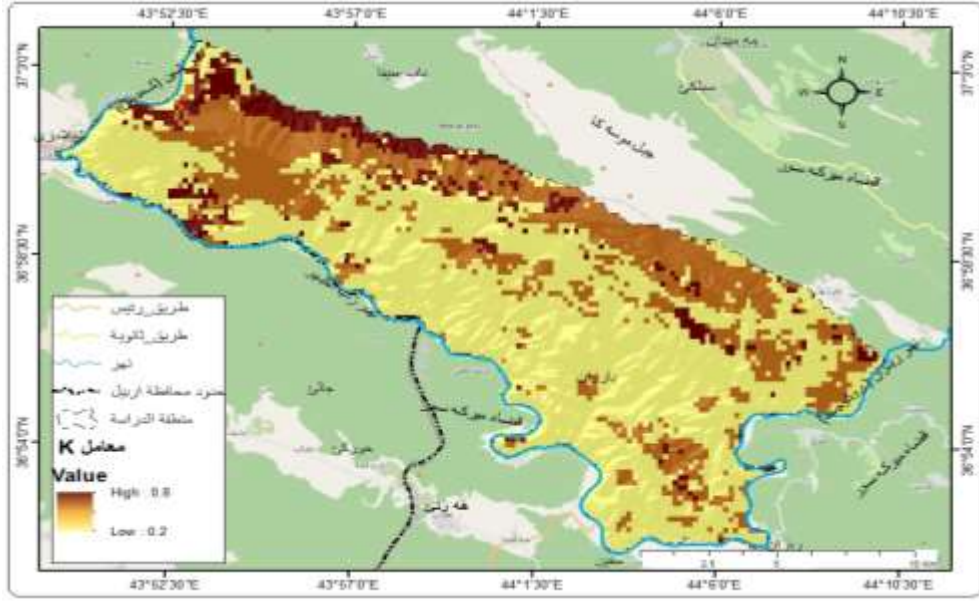
يمثل عامل (K) قابلية التربة للانجراف تحت تأثير المطر والجريان السطحي، ويرتبط بخصائص التربة الفيزيائية مثل القوام (نسب الرمل والطين والطين) والبنية والنفاذية (Wischmeier & Smith, 1978, Panagos et al., 2014). في هذه الدراسة تم اشتقاق (K) بالاعتماد على قوام التربة المستخرج من خرائط التربة، ثم تطبيق معادلة حسابية مستخدمة ضمن الدراسة:

$$K = 0.32 \times (\text{Silt} / (\text{Clay} + \text{Sand}))^b$$

حيث $b = 0.27$ ثابت.

وقد جرى تحويل بيانات التربة إلى طبقة رقمية، ثم إعادة تصنيفها وربطها بالقيم اللازمة، وبعد ذلك تم تنفيذ المعادلة داخل ArcGIS لإنتاج طبقة (K) النهائية، وكما في الخريطة (٣).

خريطة (٣) معامل قابلية التربة للتعرية (K) لمنطقة جبل شيرين



المصدر: بالاعتماد على خريطة تصنيف منظمة الاغذية والزراعة للامم المتحدة (تصنيف الفاو - WRB)، ومعادلة $b = \text{ERFAC} - K = 0.32 * (\text{الرمال} + \text{الطين})$ وباستخدام برنامج (Arc Gis 10.8)

3- حساب عامل الطبوغرافيا (LS-Factor)

يمثل عامل (LS) تأثير طول المنحدر (L) ودرجة الانحدار (S) في زيادة قدرة الجريان السطحي على الحث والنقل، ويُعد من أكثر عوامل النموذج حساسية في البيئات الجبلية (Moore & Burch, 1986, Desmet & Govers, 1996, Renard et al., 1997)، تم اشتقاق (LS) اعتمادًا على DEM عبر الخطوات الآتية

داخل، ArcGIS، اشتقاق Slope بالدرجات، والخريطة (٤) نتيجة لاشتقاق اتجاه الجريان، Flow Direction، اشتقاق التجمع الجرياني، Flow Accumulation،

تطبيق معادلة (LS) التالية داخل: Raster Calculator:

$$LS = ((\text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size} / 22.13)^m) \times ((\sin \beta / 0.0896)^{1.3})$$

حيث إن:

β : زاوية الانحدار تُستخلص من Slope

m : معامل يعتمد على درجة الانحدار كما يأتي:

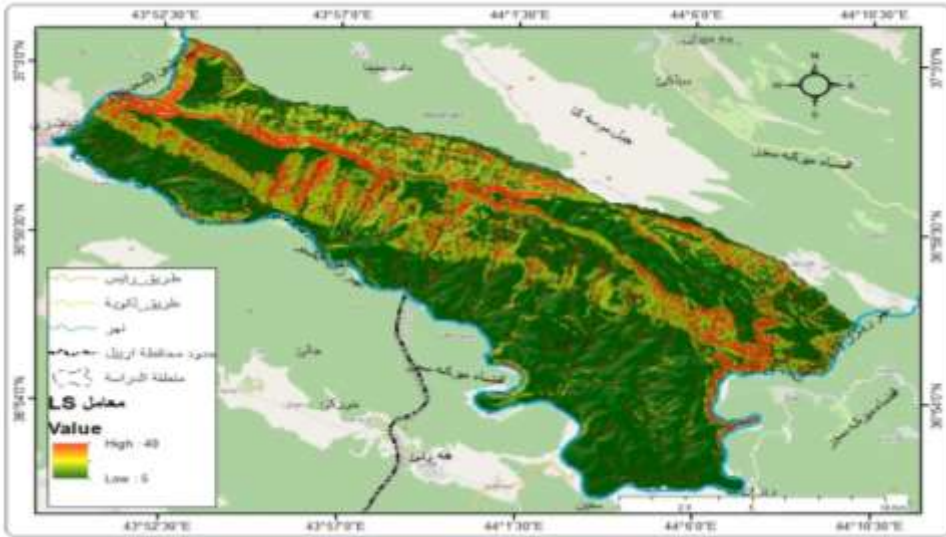
إذا $\text{Slope} < 1^\circ \rightarrow m = 0.2$

$1-3^\circ \rightarrow m = 0.3$

$3-5^\circ \rightarrow m = 0.4$

$5^\circ \rightarrow m = 0.5$

خريطة (٤) معامل طول المنحدر (LS) لمنطقة جبل شيرين



المصدر: اعتمادا على مخرجات برنامج (Arc Gis 10.8)

4- حساب عامل الغطاء النباتي والإدارة البيئية (C-Factor)

يمثل عامل (C) تأثير الغطاء النباتي وإدارة الأرض في حماية التربة عبر تقليل أثر قطرات المطر وخفض سرعة الجريان السطحي، وتقل قيمته في المناطق كثيفة الغطاء وتزداد في المناطق العارية أو المتدهورة نباتياً (Renard et al., 1997, Van der Knijff et al., 2000)، تم حساب (C) بالاعتماد على مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) المستخرج من مرئية Landsat 8 كما يأتي:

– حساب NDVI:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

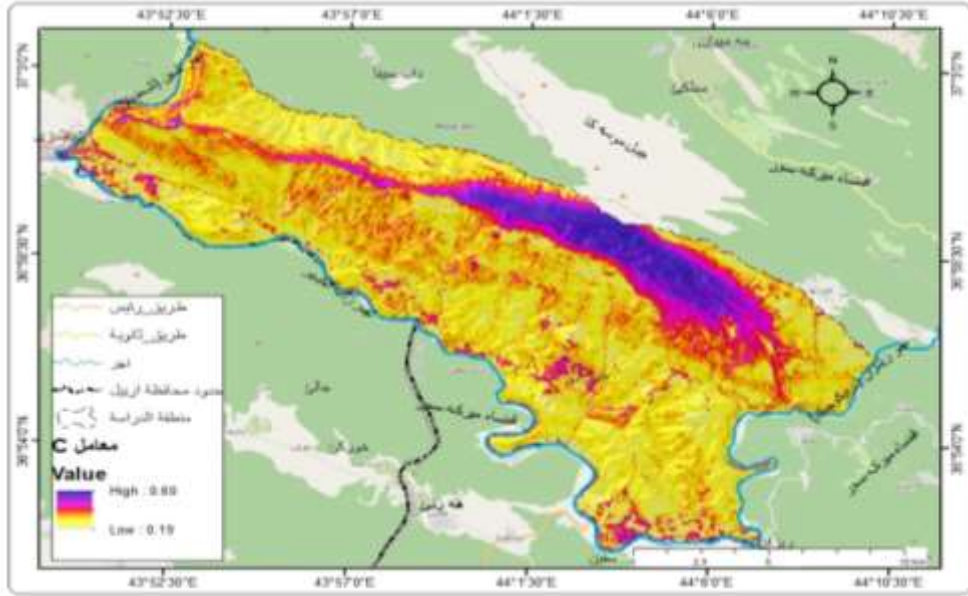
$$NDVI = \frac{\text{(الأشعة تحت الحمراء القريبة - الأشعة الحمراء)}}{\text{(الأشعة تحت الحمراء القريبة + الأشعة الحمراء)}}$$

– تحويله إلى عامل الغطاء النباتي (C) :

$$C = (1 - NDVI) / 2$$

ثم جرى إنتاج طبقة (C) داخل ArcGIS عبر Raster Calculator بعد تجهيز المرئية بخطوات قص ضمن حدود المنطقة وتوحيد المسقط والدقة المكانية، كما مبين في الخريطة (٥) .

خريطة (٥) عامل الغطاء النباتي والادارة البيئية (C) لمنطقة جبل شيرين



المصدر: اعتمادا على مخرجات برنامج (Arc Gis 10.8)

5- حساب عامل ممارسات الحفاظ على التربة (P-Factor)

يمثل عامل (P) أثر ممارسات المحافظة على التربة (كالزراعة الكنتورية والمدرجات والحواجز) في خفض التعرية، وتتراوح قيمته بين (٠-١)، اذ تدل القيم القريبة من (١) على غياب أو ضعف الممارسات الوقائية (Wischmeier & Smith, 1978, Panagos et al., 2015)، في منطقة الدراسة وبسبب محدودية تطبيق إجراءات حماية التربة تم اعتماد قيمة (P = 0.8) بوصفها تعبيراً عن ضعف إجراءات الحفاظ.

خامسا: إنتاج خرائط التعرية

بعد إعداد جميع طبقات عوامل نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) والمتمثلة بعوامل تعرية المطر (R)، وقابلية التربة للانجراف (K)،

والطبوغرافيا (LS) ، والغطاء النباتي والإدارة البيئية (C) ، وممارسات الحفاظ على التربة (P) ، جرى دمج هذه الطبقات المكانية باستخدام أسلوب جبر الخرائط (Map Algebra) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ، وذلك لتقدير المعدل السنوي لفقدان التربة (A) على هيئة طبقة رقمية واحدة تمثل التوزيع المكاني لشدة التعرية في منطقة الدراسة.

وقد أُنتجت خريطة (٦) الفقدان السنوي للتربة بوحدة (طن/هكتار/سنة) اعتمادًا على المعادلة الأساسية لنموذج (RUSLE) ، ثم أُجريت عملية تصنيف للقيم الناتجة إلى فئات تعكس درجات التعرية المختلفة، الجدول (٢) ابتداءً من التعرية الخفيفة جدًا وصولاً إلى التعرية العالية جدًا، استنادًا إلى معايير علمية والدراسات التطبيقية المشابهة الجدول (٣)، وتُعد هذه الخطوة أساسية في تقييم مستويات الخطورة البيئية، وتحديد المناطق الأكثر هشاشة من حيث فقدان التربة، ودعم قرارات التخطيط البيئي وإدارة الأراضي بصورة علمية مكانية دقيقة

(Panagos et al., 2015, Renard et al., 1997)

جدول (٢): تصنيف انجراف التربة وقيم معدل فقدان السنوي في نموذج

(RUSLE)

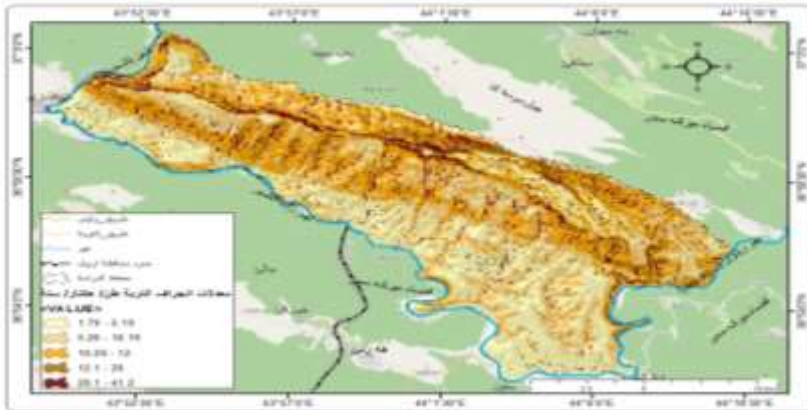
نوع التعرية	المعدل السنوي لفقدان التربة (طن/هكتار/سنة)	فئات التعرية
خفيف جداً	0 – 1	1
خفيف	1 – 5	2
متوسط	5 – 10	3
مرتفع	10 – 20	4
مرتفع جداً	20 – 50	5
شديد	50 – 100	6
شديد جداً	> 100	7

المصدر:

– Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook No. 537.

– Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA Agriculture Handbook No. 703.

خريطة (٦) مؤشر (RUSLE) (طن/هكتار/سنة) في منطقة الدراسة.



المصدر: بالاعتماد على معادلة (A = R × K × LS × C × P) معدلات فقدان التربة (RUSLE)

باستخدام برنامج (Arc Gis 10.8).

جدول (3) مساحة درجات التعرية والانجراف التربة (طن/هكتار/سنة) كم² في منطقة

الدراسة

ت	معدل الانجراف طن/هكتار/سنة	نوع التعرية	المساحة / كم ²	النسبة المئوية
1	٥,١٩ - ١,٧٩	خفيف جدا	٧٥,٠٣	٣٠,٤١
2	١٠,١٩ - ٥,٢٠	خفيف	٦٧,٨٥	٢٧,٥٠
3	١٢ - ١٠,٢٠	متوسط	٦٣,٩٤	٢٥,٩١
4	٢٠ - ١٢,١	مرتفع	٢٥,٣٤	١٠,٢٧
5	٤١,٢ - ٢٠,١	مرتفع جدا	١٤,٥٥	٥,٨٩
المجموع			246.69	100

المصدر: اعتمادا على الخريطة (٦) باستخدام برنامج (Arc Gis 10.8)

سادسا: التقييم والتحليل لخريطة التعرية

تُظهر خريطة التعرية الناتجة عن تطبيق نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) في منطقة جبل شيرين تبايناً مكانياً واضحاً في شدة فقدان التربة، إذ تراوحت القيم بين 1.79 و 41.2 طن/هكتار/سنة، ما يعكس اختلاف الاستجابة الجيومورفولوجية والبيئية داخل المنطقة الجبلية، فقد هيمنت فئات التعرية المنخفضة-المتوسطة على معظم المساحة، حيث شكّلت فئة التعرية الخفيفة جداً (١.٧٩-٥.١٩ طن/هكتار/سنة) نحو 75.03 كم² (30.41%) ، تلتها الفئة الخفيفة (٥.٢٠-١٠.١٩) بمساحة 67.85 كم² (27.50%) ، ثم الفئة المتوسطة (١٢-١٠.٢٠) بمساحة 63.94 كم² (25.91%) ، وهو ما يعني أن قرابة 83.82% من مساحة جبل شيرين تقع ضمن نطاق فقدان تربة منخفض إلى متوسط، ويُعزى هذا النمط إلى انخفاض قيم عامل الطبوغرافيا (LS) في الأجزاء الجنوبية والغربية، وتحسن نسبي في الغطاء النباتي، الأمر الذي خفّض من تأثير طاقة المطر والجريان السطحي، وهو ما يتوافق مع الأسس النظرية للنموذج (Wischmeier & Smith, 1978, Renard et al., 1997).

في المقابل، تركزت فئات التعرية المرتفعة والمرتفعة جدًا ضمن نطاقات محدودة المساحة لكنها عالية الخطورة البيئية، إذ بلغت مساحة الفئة المرتفعة (12.1-20.0 طن/هكتار/سنة) نحو 25.34 كم² (10.27%)، في حين لم تتجاوز الفئة المرتفعة جدًا 14.55 (20.1-41.2) كم² (5.89%) وتتركز هذه الفئات أساسًا في السفوح الشمالية والشمالية الشرقية لجبل شيرين، حيث تتزامن الانحدارات الشديدة وطول المنحدرات مع ضعف الغطاء النباتي وارتفاع قابلية التربة للانجراف، ما يؤدي إلى زيادة سرعة الجريان السطحي وقدرته على الحث والنقل، ويؤكد ذلك الدور الحاسم لعامل الطبوغرافيا (LS) بوصفه العامل الأكثر تأثيرًا في البيئات الجبلية، خاصة عند اقترانه بقيم مرتفعة لعامل الغطاء النباتي (C) وغياب ممارسات الحفاظ على التربة الممثلة بقيم عالية لعامل (P) (Moore & Burch, 1986, Desmet & Govers, 1996, Panagos et al., 2015).

ومن منظور تقييمي، تعكس خريطة التعرية قدرة نموذج RUSLE على تحديد بؤر الخطورة البيئية بدقة كمية ومكانية، إذ تُظهر أن المساحات المحدودة ذات القيم المرتفعة جدًا رغم صغرها النسبي فهي تمثل المصدر الرئيس لفقدان التربة وإنتاج الرسوبيات، وبالتالي فهي الأكثر تأثيرًا في تدهور الأراضي والموارد المائية، كما تؤكد النتائج أن اعتماد النموذج ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية يوفر أداة فعالة لدعم التخطيط البيئي وإدارة الأراضي في منطقة جبل شيرين، من خلال توجيه إجراءات الحماية نحو نحو 16.16% من المنطقة المصنفة ضمن التعرية المرتفعة والمرتفعة جدًا، بما يسهم في الحد من تدهور الأراضي، وحماية النظم البيئية الجبلية، ودعم أهداف التنمية المستدامة المرتبطة بإدارة الأراضي والمياه ومواجهة آثار التغير المناخي. (Renard et al., 1997, Panagos et al., 2015).

سابعا: الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

1. تراوح المعدل السنوي لفقدان التربة في منطقة جبل شيرين بين 1.79 و 1.2 و 1.2 طن/هكتار/سنة، ما يعكس تبايناً مكانياً واضحاً في شدة التعرية داخل المنطقة الجبلية.
2. شكّلت فئات التعرية الخفيفة جداً إلى المتوسطة (1.79-1.2 طن/هكتار/سنة) ما نسبته 83.82% من مساحة المنطقة، وهو مؤشر على سيادة فقدان تربة منخفض-متوسط في الأجزاء الجنوبية والغربية.
3. تركزت فئات التعرية المرتفعة والمرتفعة جداً (>12 طن/هكتار/سنة) ضمن 16.16% فقط من مساحة المنطقة، لكنها تمثل أعلى خطورة بيئية بسبب وقوعها في السفوح الشمالية والشمالية الشرقية شديدة الانحدار.
4. أثبت عامل الطبوغرافيا (LS) أنه العامل الأكثر تأثيراً في رفع معدلات التعرية، يليه عامل الغطاء النباتي (C) ، بينما أسهم ضعف ممارسات الحفاظ على التربة ($P \approx 0.8$) في تضخيم قيم الفقدان في المناطق الحساسة.
5. أكد تطبيق نموذج (RUSLE) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية كفاءته العالية في تحديد بؤر الخطورة البيئية بدقة كمية ومكانية، بما يحقق الهدف الرئيس للدراسة في التقييم المكاني لمخاطر انجراف التربة في جبل شيرين.

التوصيات

١. توجيه إجراءات الحماية العاجلة نحو المناطق المصنفة ضمن التعرية المرتفعة والمرتفعة جدًا (16.16%) ، لكونها المصدر الرئيس لفقدان التربة والرسوبيات.
٢. تطبيق ممارسات الحفاظ على التربة مثل الزراعة الكنتورية، والمدرجات الحجرية، والحواجز الترابية في السفوح الشمالية والشمالية الشرقية ذات القيم الأعلى (>20 طن/هكتار/سنة)
٣. تعزيز برامج إعادة التشجير وتحسين الغطاء النباتي في المناطق التي سجلت قيم (C) مرتفعة، بهدف خفض معدلات الفقدان السنوي للتربة.
٤. اعتماد خرائط نموذج (RUSLE) كأداة تخطيطية لدعم إدارة الأراضي المستدامة والحد من تدهور التربة، بما ينسجم مع الهدف ١٥ (حماية النظم الأرضية) والهدف ١٣ (التكيف مع التغير المناخي) والهدف ٦ (حماية الموارد المائية) من أهداف التنمية المستدامة.
٥. إجراء دراسات مستقبلية تعتمد بيانات مطرية عالية الدقة (شدة-مدة) ونماذج ارتفاع رقمية أدق، بهدف تقليل عدم اليقين وتحسين دقة التقييم المكاني للتعرية في المناطق الجبلية المماثلة.

المصادر:

– أمين، رقية أحمد محمد، ممتاز، مصطفى عامر سهيل، & علي، حارث عباس. (2025). التكامل بين نموذج RUSLE والذكاء الاصطناعي في تقييم التعرية المائية: أحواض كربلاء-عرعر غرب العراق أنموذجًا. مجلة العصر للعلوم الإنسانية والاجتماعية، (18)، 130.109-

<https://www.ejhas.com/index.php/ejhas/article/view/362>

– الشويقات، هاشم. (2023). تقدير قابلية التربة للانجراف في حوض وادي راجب باستخدام نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة. (RUSLE) مجلة جامعة النجاح للأبحاث (العلوم الإنسانية)، (5). 37

https://journals.najah.edu/media/journals/full_texts/5_4p2yNdk.pdf

– المغاري، محمد أحمد. (2021). تقييم مخاطر انجراف التربة باستخدام نموذج RUSLE وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في قطاع غزة. مجلة الجامعة الإسلامية للدراسات الجغرافية، (2) 29، 160.141-

<https://journals.iugaza.edu.ps/index.php/IUGJG>

– Arnoldus, H. M. J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In M. De Boodt & D. Gabriels (Eds.), Assessment of erosion (pp. 127–132). John Wiley & Sons.

– Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.

– Desmet, P. J. J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5), 427–433.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>

– Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). World Reference Base for Soil Resources (WRB). <https://www.fao.org/soils-portal>

– Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society of America Journal, 50(5), 1294–1298.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>

– NASA. (2024). Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER).

<https://power.larc.nasa.gov>

– Panagos, P., Meusburger, K., Van Liedekerke, M., Alewell, C., Hiederer, R., & Montanarella, L. (2014). Assessing soil erosion in Europe based on data collected through a European network. *Soil Science & Plant Nutrition*, 60(1), 15–29.

<https://doi.org/10.1080/00380768.2013.835701>

– Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48, 38–50.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>

– Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Agriculture Handbook No. 703). U.S. Department of Agriculture.

https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf

– United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. (1986).

Urban hydrology for small watersheds (Technical Release No. 55).

<https://www.nrcs.usda.gov>

– United States Geological Survey. (2020). Landsat 8 (OLI/TIRS) data users handbook. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

– Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in Europe. European Commission, Joint Research Centre.

– Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning (Agriculture Handbook No. 537). U.S. Department of Agriculture.

<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

