

تقييم مخاطر انجراف التربة وتصنيفها في حوض عمان - الزرقاء بالاعتماد على المعادلة العالمية (RUSLE) والتقنيات الجيومكانية^(*)

د. نديم هاشم

أستاذ مساعد ببرنامج الجغرافيا التطبيقية ونظم المعلومات
الجغرافية، قسم العلوم الإنسانية، كلية الآداب والعلوم، جامعة قطر

د. ميسون الزغول

محاضر متفرغ، قسم الجغرافيا التطبيقية، كلية الآداب والعلوم
الإنسانية، جامعة آل البيت، المملكة الأردنية الهاشمية

المخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مخاطر انجراف التربة وتصنيفها، وتهدف -أيضاً- إلى تقييم تدهورها في حوض عمان -الزرقاء، واقتراح حلول وتوصيات للحد منها، نظراً لأهمية المنطقة. جرى اختيار معادلة رسل العالمية (RUSLE) للقيام بذلك؛ بسبب توفر البيانات اللازمة لها، التي تشمل: العامل الطبوغرافي، وطول المنحدر، وعامل معدلات الأمطار، وعامل معامل الغطاء الأرضي، وإدارة المحاصيل، بالإضافة إلى عامل ممارسات الحفاظ على التربة، وأخيراً، عامل مدى قابلية التربة للانجراف. بالإضافة إلى ميزة مهمة تكمن في إمكانية تطبيق هذه المعادلة ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية. لقد اعتمدت هذه الدراسة على إنشاء قاعدة بيانات جغرافية للمنطقة، وإنتاج خرائط رقمية للمناطق المعرضة لخطر الانجراف، وتصنيف خطورة انجراف التربة في منطقة الدراسة تبعاً لدرجة الخطورة؛ بالاعتماد على التقانات الجيومكانية. وأظهرت الدراسة أن مساحة ٩٥ كم² من منطقة الدراسة تُصنّف على أنها ذات انجرافٍ وتعريةٍ للتربة من النوع المدمر وأن ما مساحته ٣٥٠ كم² يتعرض إلى انجرافٍ شديد الخطورة؛ مما يستلزم هنا اتخاذ تدابيرٍ مباشرةٍ مثل دعم الغطاء النباتي، وإدارة المنحدرات الزراعية، وإنشاء نظام مراقبة لمكافحة انجراف التربة.

الكلمات المفتاحية: انجراف التربة، معادلة رسل العالمية، حوض عمان - الزرقاء، نُظم المعلومات الجغرافية.

(*) مجلة كلية الآداب جامعة القاهرة المجلد (٨٤) العدد (١) يناير ٢٠٢٤.

Assessment and Classification of Soil Erosion Risks in the Amman-Zarqa Basin Based on RUSLE Equation and Geospatial Techniques

ABSTRACT

This study is an attempt to assess and classify soil erosion risks in the Amman-Zarqa Basin and proposes solutions and recommendations to mitigate these risks due to the significance of the area. The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was selected for this study because the data needed is available which includes topographic & slope length factor, rainfall factor, land cover and crop management factor, soil conservation practices factor, and soil erodibility factor. In addition, RUSLE equation can be implemented within a GIS environment. This study created a geographic database for the region and generated digital maps for those areas most prone to risk of soil erosion which were classified into categories and degrees using geospatial techniques. The study revealed that an area of 95 km² in the study region is categorized as having destructive soil erosion and exposure. Another area of 350 km² is prone to highly hazardous erosion which commands immediate measures such as supporting vegetation cover, managing agricultural slopes, and establishing a soil erosion control monitoring system.

Keywords: soil erosion, Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE, Amman-Zarqa Basin, GIS.

١- المقدمة:

تُعدُّ التربةُ واحدةً من الموارد الطبيعية المهمة التي تقوم عليها الأنشطة الاقتصادية؛ وتُعرّف التربة على أنها الطبقة التي تغطي معظم أنحاء سطح الكرة الأرضية، وبسُمكٍ يتراوح ما بين سنتيمترات وعدة أمتار. تتكون التربة من عدة عناصر معدنية مختلفة ناتجة عن تفتت الصخور وعناصر عضوية نباتية وحيوانية وتُنقل من مكان إلى آخر بواسطة المياه أو الرياح، وبذلك تكون منقولة أو متبقية (الدليمي، ٢٠١٢). إن التربة تعاني من الكثير من المشاكل والتهديدات ذات المنشأ الطبيعي كالمناخ، ويعد النشاط البشري، كإدارة الأرض وطرق استخدامها، عاملاً مؤثراً يؤدي لتغيير خصائص التربة وكميتها وتعريتها. ويمثل تآكل التربة وانجرافها بفعل عوامل النحت والنقل المائي والريحي أحد العمليات الطبيعية التي يجري فيها فصل المواد الأرضية وجرفها من مكان إلى آخر، مما يؤثر تأثيراً كبيراً في تدهور التربة وضعف الاستخدام المستدام للأراضي الزراعية (Kouli et al., 2009). تُعدُّ المناطق الجبلية والمناطق الصحراوية ذات التربة المفككة والتي تتعرض لهطولات مطرية مفاجئة أكثر عرضة لانجراف التربة (Amit, 2017)، مما يفاقم المشاكل الاقتصادية الموجودة ويزيد من حدتها وخاصة الإنتاج الزراعي والحيواني، مما يؤدي إلى فقدان التربة عناصر النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم وكذلك حبيباتها الناعمة، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض القدرة الإنتاجية للتربة (بركات، ٢٠١٨). ومن الأرقام التي تعبّر عن مقدار انجراف التربة، أنّ ٧٥ مليار طن يتدهور سنوياً ويتعرض للانجراف على مستوى العالم، وهو ما يعادل ٤٠ ضعفاً لمعدل التآكل والانجراف الطبيعي (Zuazo & Pleguezuelo, 2009). وتُقدّر كثيرٌ من الدراسات أن نسبة الفاقد السنوي من التربة بسبب الانجراف يتراوح ما بين 0.3% إلى 0.8% (Lafond et al., 2006)، إذ فقدت البشرية ما مجموعه 10 ملايين هكتار من الأراضي الزراعية على مستوى العالم لتصبح أراضي (بوراً) غير منتجة (Gang et al., 2015).

أهمية الدراسة:

لوحظ على منطقة الدراسة -في الآونة الأخيرة- اختلاف كمية التساقطات المطرية ونمطها، إذ ارتفعت كميات الهطول ارتفاعاً مفاجئاً بحيث أصبحت تميل إلى خصائص العواصف المفاجئة، مما يترتب عليه حدوث فيضانات مدمرة. إضافة إلى ذلك، هناك تراجع في حجم الغطاء النباتي ومساحته في منطقة الدراسة، مما يجعلها أكثر عرضة لتهديد انجراف التربة. وتستخدم كثيرٌ من الدراسات الميدانية القياسات الحقلية لتقدير حجم الانجراف المائي وأضراره على التربة، وأصبح هناك استخدام متزايد للتقنيات الجيومكانية (استشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية)، فقد صار بالإمكان عمل نمذجة مكانية لظاهرة الانجراف المائي، ووضع استراتيجيات مناسبة للحد من انجراف التربة وتدهورها بشكل أسهل وبدقة أعلى (Jabbar, 2003; Lu et al., 2004). لذلك، اعتمدت الدراسة على نموذج المعادلة العالمية المسماة "معادلة فقدان التربة العالمي المعدلة Revised Universal Soil Loss Equation"، والتي تسمى اختصاراً *RUSLE* أو معادلة رسل، لتقدير انجراف التربة في حوض عمان الزرقاء نظراً لتوفر البيانات التي تحتاجها هذه المعادلة. بالإضافة لما سبق، فإن نموذج المعادلة يتيح فهم نمط الانجراف وتحديد التوزيع المكاني للأراضي المتأثرة به ورسم الخرائط اللازمة لتلك الأراضي. من ناحية أخرى، تتميز معادلة (*RUSLE*) بتوافقها مع نظم المعلومات الجغرافية، مشكّلة بذلك أداة قوية وفعالة لتقدير انجراف التربة وتدهورها وتحليل شاملٍ للعوامل المؤثرة مما يتيح الفرصة للخروج بقرارات طويلة الأمد في مجال استصلاح الأراضي الزراعية والحفاظ عليها، والاستدامة الزراعية، وبناء الاستراتيجيات المناسبة، والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في حال التربة ومدى تدهورها (Adediji et al., 2010).

أسئلة الدراسة:

تقوم هذه الدراسة بالمحاولة للتوصل الى إجابة على سؤال أساسي

وهو: ما كمية الضرر التي لحقت بالتربة في منطقة الدراسة كنتيجة للعوامل الطبيعية والعوامل البشرية؟ وهل هناك إجراءات فعّالة يمكن اعتمادها للحد من هذا الضرر؟ يتفرع من هذا السؤال الرئيس الأسئلة الفرعية التالية:

١- هل يمكن تقييم انجراف التربة وتقديرها في منطقة الدراسة بشكل فعال باستخدام المعادلة العالمية لتقدير فقدان التربة (معادلة رسل)، والتي يتطلّب تطبيقها البيانات الجغرافية المتوفرة؟

٢- ما كميات التربة المنجرفة سنويًا؟ وما هو نمط درجة الانجراف وتوزيعه وحدته ومعدل الفقد؟ ستساعد الإجابة على هذا السؤال في التصنيف المكاني للمخاطر.

٣- بناءً على نتائج معادلة رسل، ماهي الإجراءات والسياسات المناسبة للحفاظ على التربة المهددة بالانجراف المائي؟ سيساعد ذلك في الحد من التأثيرات السلبية وحماية التربة والحفاظ عليها كمورد طبيعي من موارد منطقة الدراسة.

مشكلة الدراسة:

جاءت هذه الدراسة لتقييم مشكلة انجراف التربة في حوض عمان- الزرقاء والوصول إلى تقدير كمّي لحجم التربة المنجرفة وكميتها وتحديد التوزيع المكاني للمناطق المعرضة للانجراف. إذ يُعدُّ انجراف التربة تحديًا بيئيًا مؤثرًا تأثيرًا كبيرًا في تدهور الحياة البيئية، ويؤدي، بالتالي، إلى انخفاض في مساحات الأراضي الصالحة للزراعة (Balabathina et al., 2020). تُعدُّ هذه الدراسة محاولة علمية لرسم خارطة رقمية موضح عليها الأماكن المعرضة للتدهور والانجراف ودرجة خطورتها من أجل اتخاذ التدابير الملائمة للتقليل من انجراف التربة، وتوفير المعلومات القيمة للتخطيط البيئي، وإدارة الموارد الطبيعية في المنطقة من خلال تحديد العوامل المؤثرة في المنطقة على الانجراف وتحليلها، وتجدر الإشارة إلى أن هناك قلة في الدراسات المتعلقة

بموضوع انجراف التربة في هذا الحوض، بينما ستوفر هذه الدراسة رؤى مهمة حول التربة وانجرافها في حوض عمان الزرقاء، مما يساعد في اتخاذ القرارات اللازمة للحفاظ على البيئة والموارد الطبيعية في المنطقة.

الدراسات السابقة:

من أهم الدراسات المحلية التي عالجت موضوع انجراف التربة وإمكانية تقييم تعرية التربة بمختلف الطرق العلمية، ومن بينها معادلة رسل (RUSLE)، دراسة بني طه التي هدفت لتقييم كميات التعرية التي تتعرض لها التربة وتقديرها، ومدى تأثيرها في الاستخدام الزراعي في منطقة جرش في الأردن، وذلك خلال الموسم المطري لعام ٢٠٠٣-٢٠٠٤. واعتمدت الدراسة على تحليل المياه السطحية وتقنيات المسح الجيولوجي والهيدرولوجي لتحديد العوامل التي تؤثر في تعرية التربة وتشتتها وجريان المياه السطحية. وقد استطاعت الدراسة أن تؤكد تأثير تعرية التربة في الاستخدام الزراعي في جرش، وأكدت ضرورة تحسين إدارة التربة واستخدامها في منطقة الدراسة وتطوير إجراءات الحفاظ على التربة وتنفيذها، والتقليل من تعرية التربة في منطقة جرش عبر تعزيز استخدام ممارسات زراعية مستدامة للحد من التعرية (بني طه، ٢٠٠٤). وقامت دراسة قطيش بتقدير انجراف التربة لأراضي "حوض وادي الحسا" بجنوبي الأردن وفقاً لدرجات خطورتها وذلك باستخدام معادلة RUSLE، وقدمت الدراسة توصيات لتمكين المخططين ومتمخذي القرار من وضع استراتيجية لصيانة التربة وحماية التربة (قطيش، ٢٠١٠).

وأكدت غير واحدة من الدراسات العالمية على أهمية استخدام معادلة RUSLE العالمية. إذ تناولت دراسة Ashiagbor وآخرين طريقة نمذجة التوزيع المكاني لتآكل التربة في حوض نهر دينسو في غانا باستخدام معادلة RUSLE ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية بهدف معرفة العلاقة بين القابلية للتعرية والانحدار، من جهة؛ وبين استعمال الأراضي والغطاء الأرضي (LULC)، من الجهة الأخرى. وقد توصلت الدراسة إلى أن ٨٨% من مساحة الحوض

تتعرض لمخاطر انجراف منخفضة، ٦% لمخاطر انجراف معتدلة، ٣% لمخاطر انجراف عالية، و ٣% لمخاطر شديدة تتركز في المناطق شديدة الانحدار وأراضي الغابات المعتدلة (Ashiagbor et al., 2013). وعالجت دراسة Efthimiou وآخرين مخاطر انجراف التربة وتدهورها في حوض نهر Venetikos في اليونان باستخدام معادلة RUSLE ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت الدراسة إلى أن نموذج معادلة RUSLE كان مرضياً تماماً وسمح بتحديد أكثر المناطق عرضة للتآكل، مما شكّل أداة مهمة لإدارة التربة والبيئة في هذه المنطقة (Efthimiou et al., 2014).

وفي دراسة Bhat وآخرين لموضوع انجراف التربة في أحد الأحواض الواقعة في مقاطعة كشمير بالهند، حيث اتّبعَت هذه الدراسة منهجية شاملة تدمج بين نموذج معادلة RUSLE وتقنيات نظام المعلومات الجغرافية لتحديد تآكل التربة والتوزيع المكاني للمعدل السنوي لهذا التآكل. وتوصلت الدراسة إلى أن المنطقة تعاني من خطر تآكل التربة بمقدار ٢,٩٢ طن/هكتار/السنة، وأن هناك تأثيراً إيجابياً كبيراً للمناطق العشبية والبساتين للتقليل من خطر تدهور وتآكل التربة. وانتهت الدراسة بأن الخرائط الناتجة من معادلة RUSLE فعالة في استراتيجيات تخطيط الأراضي وإدارتها (Bhat et al., 2017). وفي دراسة محمد والبليبيسي لتقدير تدهور التربة في حوض وادي العرب باستخدام معادلة RUSLE والتقنيات الجيومكانية، أكدت الدراسة التأثير السلبي لتدهور التربة في القيمة الاقتصادية للغطاء النباتي. ولقد اعتمدت الدراسة على المعالجة الرقمية للبيانات لحساب مساحة التربة المعرضة للانجراف وتحديد مناطقها وأهميتها تخطيط برامج استصلاح التربة والمحافظة على استدامتها (المحمد والبليبيسي، ٢٠١٩).

وأكدت دراسة زريقات والزغول فعالية استخدام معادلة رسل RUSLE والتقنيات الجغرافية لتقدير انجراف التربة وحساب الخسارة السنوية للتربة في حوض "وادي ابن حماد" الواقع في محافظة الكرك جنوبي الأردن. إذ حددت

الدراسة أهم أسباب تآكل التربة المتمثلة في ارتفاع التضاريس والانحدار، وإزالة النباتات وسوء ممارسات حفظ التربة. وصنفت الدراسة نتائج كميات التربة المفقودة المحتملة في الحوض إلى أربع درجات تراوحت ما بين الخفيفة والمعتدلة والشديدة المدمرة (زريقات والزغول، ٢٠٢١).

٢- منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، الذي يهدف إلى

دراسة مشكلة معيّنة وإيجاد حلول لها عن طريق جمع البيانات وتحليلها وتوضيح طبيعة العلاقة بين المتغيرات باستخدام أساليب إحصائية مناسبة، ومن ثم استخراج النتائج والحلول المناسبة. في هذه الدراسة، اتبعت المنهجية الخطوات التالية:

٢,١ - العمل المكتبي: وتمثل في جمع البيانات من مصادرها الموثوقة، والتي شملت البيانات الرسمية والتقارير والدراسات البحثية والخرائط الصادرة عن المؤسسات والوزارات والأدبيات المنشورة ذات الصلة بالموضوع، والأبحاث والتقارير المحلية والدولية. شمل العمل -كذلك- بيانات التربة من منظمة الأغذية والزراعة (Food and Agriculture Organization FAO) وخرائط وزارة الزراعة للتربة والمشروع الوطني لخارطة استعمال الأراضي والتربة في الأردن بمقياس ١: ٢٥٠٠٠٠٠ (خرائط التربة الصادرة عن وزارة الزراعة، ١٩٩٤). جرى -كذلك- جمع المرئيات الفضائية بواسطة القمر الاصطناعي Landsat TM بدقة وضوح مكاني 30*30 متر بتاريخ ١٨-٥-٢٠٢٢ (US Geological Survey EarthExplorer) والبيانات المناخية خلال فترات مختلفة لمجموعة من المحطات المطرية والمناخية من وزارة المياه والري (وزارة المياه والري، ٢٠١٣) وموقع الطقس العالمي (Global climate and weather data). وبالإضافة لما سبق، فقد شمل العمل المكتبي مراجعة تقارير دائرة الإحصاءات العامة حول السكان في حوض الدراسة التقديرات السكانية

المستقبلية (دائرة الإحصاءات العامة الأردنية، ٢٠٢٢) ومراجعة الخرائط الجيولوجية من سلطة المصادر الطبيعية لعام ١٩٩٢ بمقياس ١: ٥٠٠٠٠ (الخرائط الجيولوجية، ١٩٩٢).

٢,٢ - **العمل المخبري:** تمثّل بتحضير البيانات ومعالجتها ومن ثمّ تحليلها وذلك بالاعتماد على التقنيات الجغرافية المتمثلة بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وفق الإجراءات الآتية:

٢,٢,١ - الاستشعار عن بعد:

أولاً: قص منطقة الدراسة من المرئية الفضائية التي جرى الحصول عليها من المستشعر Landsat TM، حيث جرت عملية المعالجة للمرئية الفضائية من خلال تحسين المرئية الفضائية Image Enhancement ثم عمل التصنيف الموجة Supervised Classification باستخدام برمجية ENVI وبرمجية ArcGIS.

ثانياً: تجميع اللوحات Mosaicking لنموذج الارتفاع الرقمي DEM والمرئية الفضائية.

ثالثاً: التصحيح الهندسي Geometric Correction بالاعتماد على نقاط تحكم أرضي (GCPs) بمراعاة التوزيع المكاني الجيد لنقاط التحكم على المرئيات المستخدمة.

رابعاً: تحسين صور الاستشعار عن بعد باستخدام تركيبة اللون Color Composition والقيام باستخلاص المعلومات ذات الصلة من صور الاستشعار عن بعد باستخدام التصنيف الموجة Supervised Classification باتباع طريقة Maximum Likelihood Classifier أي التصنيف المستند للاحتمال الأكبر (Phipps, 2014).

خامساً: إنتاج مجموعة من الخرائط وأهمها خارطة تصنيف الاستعمالات،

وخارطة الارتفاعات الرقمية لأنماط الغطاء الأرضي، وخارطة الاختلاف النباتي المُعايير (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI وفق المعادلة التالية :

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

٢,٢,٢ - نظم المعلومات الجغرافية:

استُخدمت المخرجات الناتجة من تحليل المرئيات الفضائية باعتبارها مدخلاتٍ في نظام المعلومات الجغرافية باستخدام برنامج ArcGIS للحصول على مجموعة من المخرجات الجديدة المستخدمة في التحليل المكاني. وجرى إسقاط مواقع المحطات المطرية الواقعة ضمن الحوض وتحديدها وفقاً لإحداثياتها الجغرافية، ومن ثمَّ تمثيل خرائط المطر باستخدام Interpolation واختيار طريقة استيفاء الإحصائي المكاني المسماة Kriging للحصول على خارطة التوزيع المكاني لمعدل الأمطار السنوية. وجرى -كذلك- اشتقاق خرائط الشبكة المائية ودرجة الانحدار Slope المعتمد استخراجها على طريقة Manual Classification، وترقيم الخرائط الورقية كالخارطة الجيولوجية وخرائط التربة والصدوع.

بعد ذلك، جرى حساب المطري المساحي والموزون للمضلعات المستخرجة من مضع Thiessen Diagram وحساب المساحات واستخراج عوامل معادلة رسل للطبقات التي جرى اشتقاقها، والتي تشمل: طبقة عامل تعرية المطر (R-Factor)، وطبقة قابلية التربة للانجراف (K-Factor)، وعامل الطبوغرافيا (LS-Factor)، وطبقة الغطاء النباتي (C-Factor)، وطبقة عامل إجراءات الصيانة من الانجراف (P-Factor)،. في النهاية، سيتم اشتقاق خارطة

توضح إمكانية التنبؤ بمخاطر التربة المفقودة بكمياتها.

١,٢,٣ - نموذج تقدير انجراف التربة (Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

توضح اللوحة (١) المنهجية المتبعة في هذه الدراسة، حيث جرى جمع العوامل التي تتحكم بانجراف التربة ضمن معادلة رسل RUSLE وفق ما يلي: (Renard, 1991)

$$A = R * K * LS * C * P \dots \dots (1)$$

حيث جرى حساب كمية فقدان التربة (A)، عامل قابلية التربة للانجراف (K)، معدل الامطار والجريان السطحي أو عامل الانجراف (R)، طول المنحدر (العامل الطبوغرافي) (LS)، الغطاء النباتي وأسلوب الإدارة البيئية للأرض (C)، عامل الصيانة وإجراءات الحد من انجراف التربة (P).

بالنسبة للمعامل R، يجري استخراجها وفق المعادلة (٢) التالية حيث

P^{\wedge} تمثل معدل الأمطار السنوية (Fabbri, 1991)

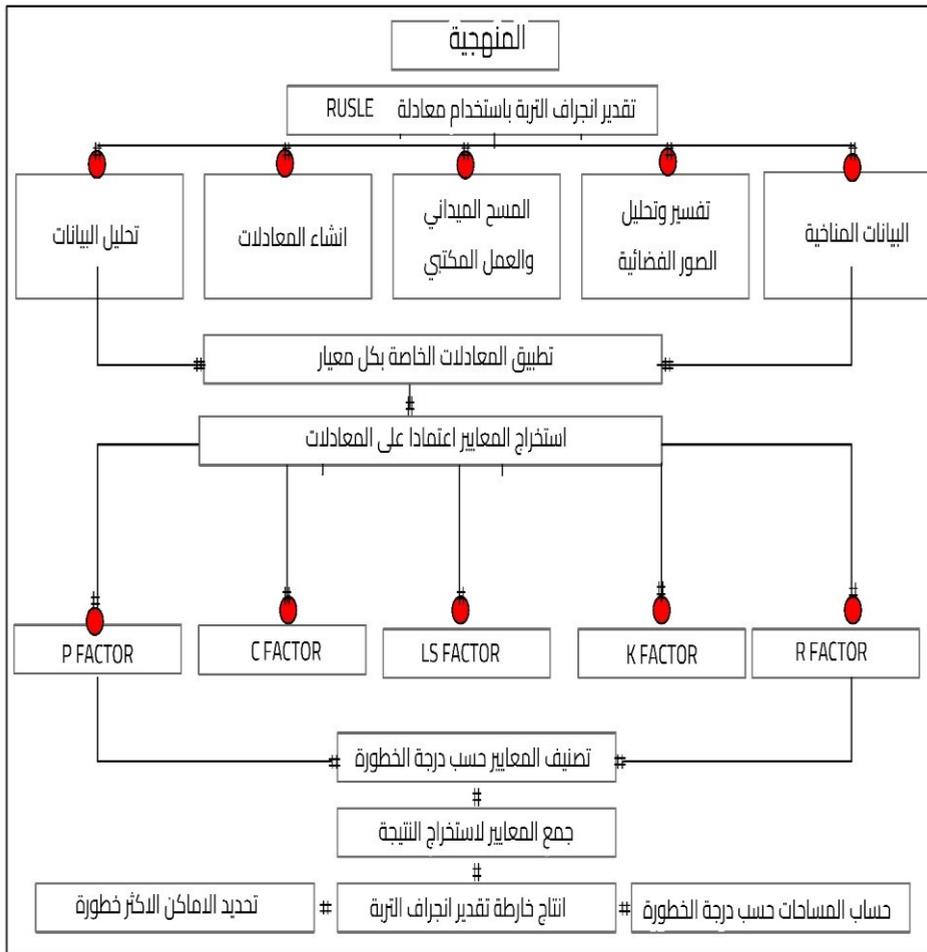
$$R \text{ Index} = (P^{\wedge} X 0.5) 1.73 \dots \dots (2)$$

أما المعامل LS، فيُستخرج بالاعتماد على المعادلة رقم (٣) التالية:

(Rinos et al., 2003)

$$LS = (L/22.10)0 * 0.70(6.432 * Sin(S) + 0.79.56 * Cos(S) \dots \dots (3)$$

حيث تمثل L طول المنحدر وتمثل S الانحدار نسبة مئوية %.



اللوحة ١: مخطط منهجية الدراسة المتبعة في الدراسة في حوض عمان - الزرقاء

ويكون حساب المعامل K وفق المعادلة رقم (٤) التالية: (Rinos et al., 2003)

$$K\text{-Factor} = ((2.1 \times M^{1.14} \times 10^{-4} \times (12-A) + (3.25 \times (C-3)))/100 \dots \text{ ٤})$$

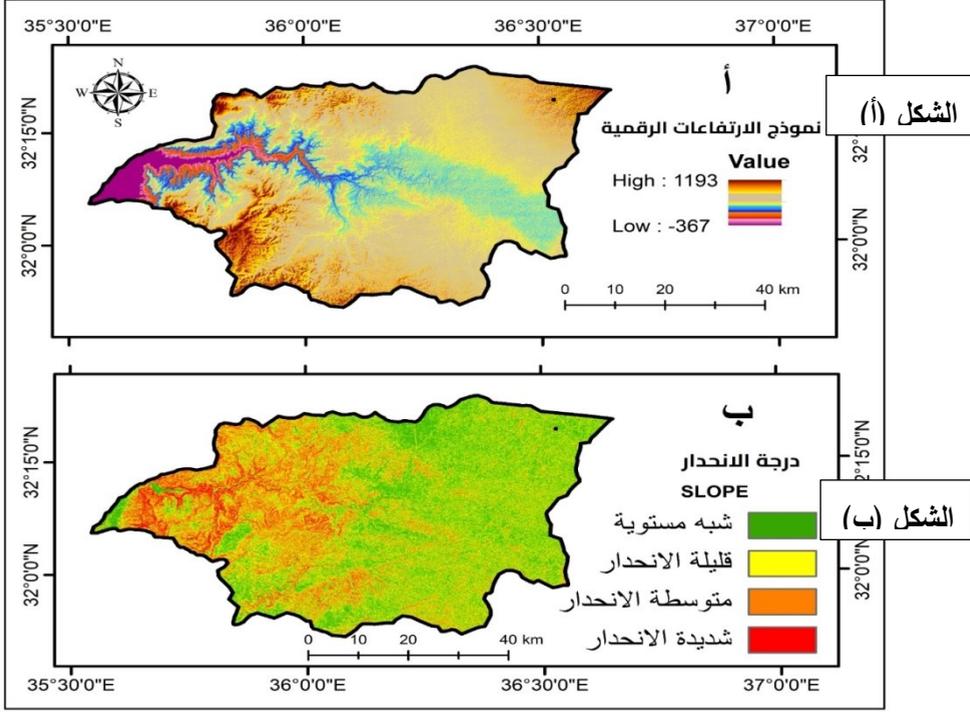
حيث تمثل M (%السلت + %الرمال الناعم) x (%الطين - 100)، وتمثل A محتوى المواد العضوية، وتمثل B معامل بنائية التربة (ما بين ١ إلى ٤)، ويمثل C معامل نفاذية التربة (ما بين ١ إلى ٦)

٣ - منطقة الدراسة وخصائصها:

يقع الحوض ما بين خطي طول $٤٣' ٣٥'' - ٤٠' ٣٦''$ شرقاً، ودائرتي عرض $٣١' ٥٥'' - ٢٤' ٣٢''$ شمالاً. وأما جغرافياً، فيقع الحوض في المنطقة الممتدة بين وسط وشمال الأردن ليغطي ما مساحته ٣٨٠٥ كم² بنسبة $٢,٣٥\%$ من مساحة الأردن (شكل ٢). ويسود منطقة الدراسة تنوع مناخي وبيئي، إذ يسود فيها مناخ البحر المتوسط فيضيف إليه طابع الصيف الحار الجاف والشتاء المعتدل البارد (الحسبان، ٢٠١٤). ويتلقى الحوض أمطاراً تتراوح ما بين ١٠٠ إلى ما يقارب ٦٠٠ ملم /سنوياً (شحادة، ١٩٩١). ويقطع حوض عمان - الزرقاء من المنبع إلى المصب مسافة ١٥٠ كم، إذ تأتي المنابع العليا للحوض من خارج المملكة فتبدأ من سوريا وتدخل الأراضي الأردنية من ناحية الجنوب الغربي لسوريا باسم وادي العاقب، ثم يلتقي بوادي الزعتري مشكلاً بذلك وادي الضليل. يكمل الحوض مسيرته ليلتقي بالروافد التي تزيد من كمية الصبيب المائي حيث يرفد من الجنوب وادي السايح ومن الشمال وادي الجرف، ومن ثم يلتقي بسيل الزرقاء الذي يمثل رافداً أساسياً لنهر الزرقاء الذي تبدأ منابعه من عمان بمنسوب ارتفاع (١٠٠٠) متر فوق سطح البحر وتصب فيه الروافد القادمة من عمان. يتجه النهر بعد ذلك غرباً ماراً بمدينة جرش حتى منطقة دير علا إلى أن يصب في نهر الأردن (الزغول وبركات، ٢٠١٦).

تتسم المنطقة بتضاريسها وارتفاعها المتباينة والمختلفة من مكان لآخر، إذ تبدأ المنابع العليا لمنطقة الدراسة بارتفاع يبلغ ١٥٧٠ متراً من جبل الدروز جنوبي سوريا، ثم تبدأ في الانخفاض التدريجي نحو الغرب ليصل معدل الارتفاع إلى ٣٦٧ متراً فوق سطح البحر، والتي تشكل مصاب تلك الأودية من مختلف الروافد كما هو موضح بنموذج الارتفاع الرقمي DEM في الشكل (أ) في اللوحة (٣). تُظهر خارطة الانحدار في الشكل (ب) في اللوحة (٣)، التي جرى اشتقاقها من نموذج الارتفاع الرقمي، أن هناك تبايناً في درجات الانحدار، إذ تظهر المناطق شبه المستوية بمناطق متفرقة من الحوض وفي مناطق

والمناطق الشرقية بمنطقة الدراسة، في حين تنخفض في المرتفعات الشمالية من منطقة الدراسة.



اللوحة ٣: يمثل الشكل (أ) نموذج الارتفاع الرقمي، ويمثل الشكل (ب) درجة الانحدار، وذلك في منطقة الدراسة. المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي والتقنيات الجغرافية

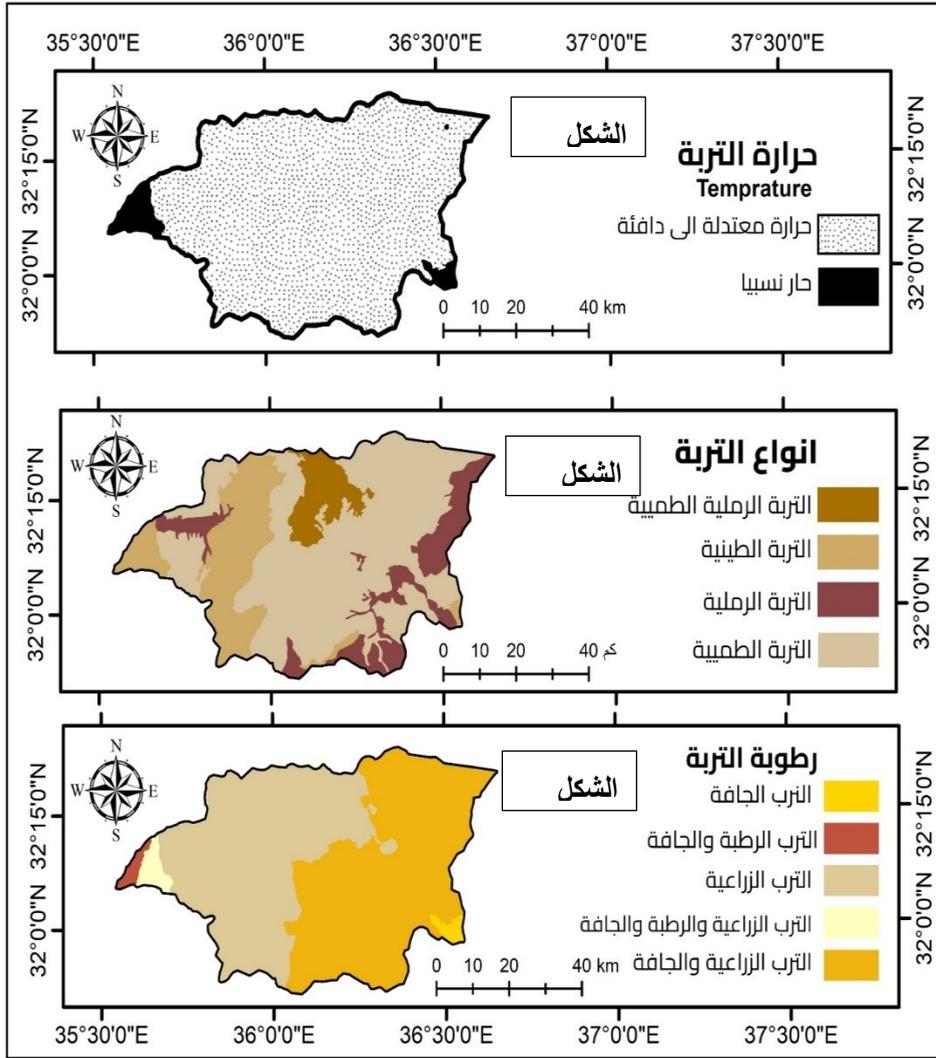
تتركز أمطار منطقة الدراسة في فصل الشتاء، وتمتاز أمطارها بأنها تصاعدية مصحوبة برعود محلية، وتتناقص كمياتها من الغرب إلى الشرق تناقصاً تدريجياً (شحادة، ١٩٩١). وتتركز الأمطار في المرتفعات الجبلية في الجانب الأوسط الغربي من المنطقة، وفي الأجزاء الشمالية والجنوبية الغربية بمعدل سنوي بين 300-600 ملم على مساحة تقدر بما نسبته ٣٠% من مساحة

منطقة الدراسة، بينما يقل التساقط عن ٢٠٠ ملم في المناطق الشرقية من الحوض، التي يسودها المناخ الحار الجاف وتشكل ما نسبته ٨٠% من مساحة المنطقة. وتنشط الرياح الجنوبية الغربية في منطقة الدراسة، تليها الرياح الغربية، بينما تضعف الرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية بصفة عامة، وتحديداً في فصل الصيف (شحادة، ١٩٩١).

أما بالنسبة للتربة، فحللت الدراسة خصائص التربة المتمثلة برطوبة التربة وحرارتها ونوعيتها، إذ تنتشر التربة الرملية (Sandy) بمنطقة الدراسة على مساحة 516.6 كم²، وتظهر هذه التربة بالمناطق الشمالية والجنوبية الشرقية، التي تتميز بظروف الجفاف وقلة الغطاء النباتي، فتكون أكثر عرضةً للانجراف وأقل استقراراً بسبب ضعف قدرتها على الاحتفاظ بالماء والحفاظ على ترابها. وتشغل التربة الطينية (Clay) مساحة ٧٥٨,٣ كم² وتنتشر في الأجزاء الوسطى من الحوض على شكل شريط أفقي ممتد عبر المرتفعات الشمالية والجنوبية للحوض. وتتميز التربة الطينية بنفاذية منخفضة ومسامية عالية، مما يجعل من الصعوبة بمكان تسرب الهواء والماء من خلالها؛ الأمر الذي يسهم في حدوث جريان سطحي أكبر من كميات التسرب. أما التربة الغرينية، فتشغل مساحة ٢٢٦٤,٣ كم²، وتنتشر في المناطق الشمالية والوسطى، وفي المرتفعات الشمالية؛ مثل: مرتفعات عجلون؛ حيث تسود ظروف مطرية مناسبة في مناطق انتشارها. وتتميز التربة الغرينية بارتفاع نسبة الغرين بين حبيباتها واحتوائها على مادة الدبال الأمر الذي يجعلها أكثر غنى وخصوبة.

توضح الأشكال (أ، ب، ج) في اللوحة رقم (٤) مجمل هذه الخصائص إذ يظهر التوزيع المكاني لأنواع التربة المذكورة سابقاً بالإضافة إلى رطوبة التربة وحرارتها، التي يمكن أن يكون لها تأثير على انجراف التربة وتدهورها. يُلاحظ من الشكل (أ) اعتدال درجة حرارة التربة في معظم منطقة الدراسة، التي تمتاز بمناخ جيد ولا تعاني من ظروف مناخية قاسية أو متطرفة، مما يحد من أثر الحرارة على انجراف التربة. أما فيما يخص رطوبة التربة

(الشكل ج)، فإن وجود رطوبة كافية للتربة يلعب دوراً إيجابياً في التخفيف من تعرضها للانجراف. فكلما كانت رطوبة التربة مناسبة وجيدة، كلما كانت هذه التربة أكثر قوةً وتماسكاً، في حين أن التربة الجافة إلى الشبة جافة تصبح هشّة وعرضة للانجراف عند تعرضها لعوامل التعرية المائية والجوية بسبب سهولة تفكك مكوناتها. لذلك، فإن النسيج المناسب للتربة يلعب دوراً إيجابياً في التقليل من انجراف التربة (الشكل ب). يمكن كذلك استخدام طرق مختلفة كالحواجز الترابية حول المناطق الحساسة أو الهشة، بحيث تساعد في حفظ التربة في مكانها وعدم تعرضها للانجراف. ويعد استخدام المنشآت الهندسية - مثل الجدران الداعمة - من الآليات التي تساهم في منع انجراف التربة وتساهم في عملية حفظ التربة وتقويتها.

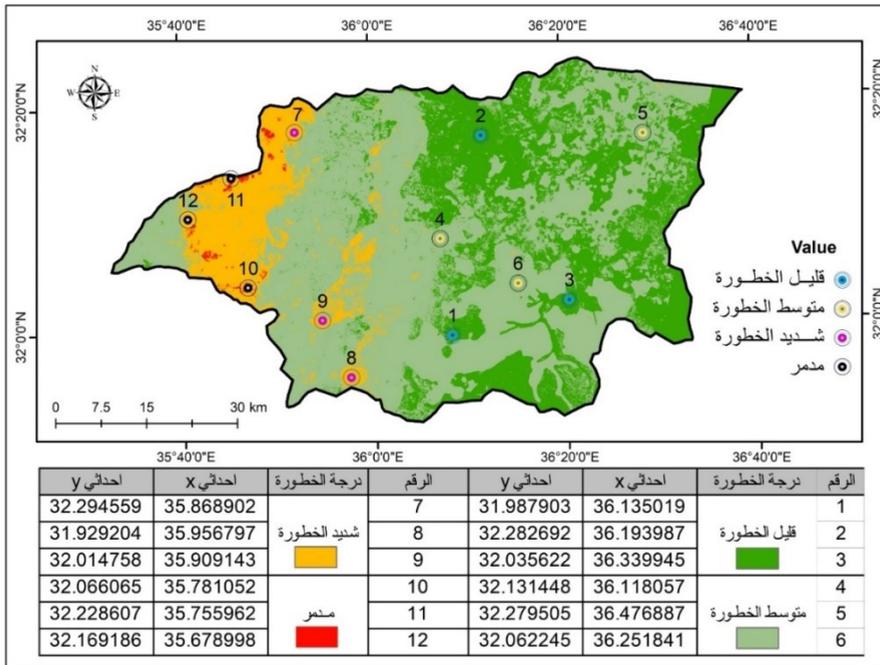


اللوحة 4: الخصائص الطبيعية للتربة بمنطقة الدراسة: حرارة التربة (شكل أ) وأنواع التربة (شكل ب) ورطوبة التربة (شكل ج). المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على التقنيات الجغرافية، ومسوحات وزارة الزراعة ١٩٩٣.

٣,١ - العمل الميداني

اعتمدت الدراسة على مبدأ التحقق الميداني؛ حيث تم القيام بزيارات ميدانية للعديد من المواقع في منطقة الدراسة، التي يظهر فيها مستويات مختلفة

من انجراف للتربة، ابتداءً من المواقع قليلة الخطورة وتدرجاً إلى تلك المواقع ذات التدهور المدمر (اللوحة ٥). تُظهر اللوحات (٦ و ٧ و ٨) صوراً ميدانية تم التقاطها للمواقع المختلفة، التي توضح مختلف مستويات الانجراف وأسبابها، وتعطي أمثلة عن أسباب تدهور التربة كالضعف في إجراءات الصيانة العامة للتربة وأمثلة أخرى حول اتخاذ التدابير اللازمة لوقف التدهور وحماية التربة من الانجراف. ساهمت الزيارات الميدانية في تطوير فهم أعمق لأسباب تدهور التربة بمنطقة الدراسة والعوامل التي تسرع في تآكل التربة وكالتضاريس والانحدارات وممارسات إزالة النباتات وسوء المحافظة على التربة. يُلاحظ من خلال الصور المرفقة في اللوحة (٦) تأثير عامل الانحدار بشكل كبير على زيادة معدلات الانجراف و التدهور كعامل رئيسي في انجراف التربة بمنطقة الدراسة.



اللوحة ٥: التوزيع المكاني لمواقع التحقق الميداني مع احداثياتها الجغرافية.



اللوحة ٦: توضح الصور (أ، ب، ج، د) في منطقة الدراسة تأثير عامل الانحدار والتضاريس على انجراف التربة. المصدر: عمل الباحثين

في حين توضح الصور (أ، ب، ج، د) في اللوحة (٧) اثر إزالة الغطاء النباتي وتجريف التربة كنتيجة للنشاط العمراني الريفي، وأثر ذلك على تردّي نوعية التربة خاصة إذا ما اقترن ذلك بتراجع كميات التساقط المطري وبغياب عامل التسميد وافتقار التربة للعناصر المهمة. يؤثر ذلك بطبيعة الحال على إنتاجية هذه التربة وينعكس سلبا على تماسك جزيئاتها وسهولة عملية تدهورها. ومن خلال التحقق الميداني، وجدت هذه الدراسة أن هناك بعض الإجراءات المحدودة لحماية التربة من الانجراف والتدهور كما هو واضح في الصور الميدانية في اللوحة (٨) مثل الحاجز الاسمنتي أو الحجري وإقامة المدرجات والمصاطب الزراعية وزراعة المحاصيل على شكل خطوط تتبع منحى المنحدر وتخصيب التربة بالسماد العضوي وبمخلفات النباتات. من

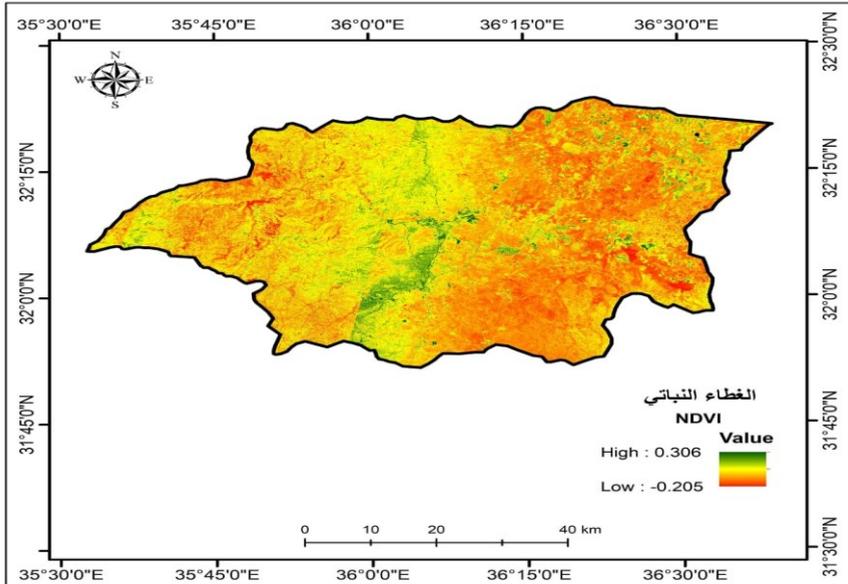
الجدير بالذكر أن هذه الإجراءات لم يتم مشاهدتها إلا في أجزاء محدودة من منطقة الدراسة، لذلك فقد أعطت عملية التحقق الميداني قوة ومصداقية لإجراءات الدراسة ولقيمة نتائجها وضرورة الأخذ بالنتائج والتوصيات لما لها من أثر في وقف تدهور وانجراف التربة.



اللوحة (٧): صور من منطقة الدراسة حيث توضّح الأشكال (أ، ب، ج، د) أثر إزالة الغطاء النباتي في تدهور التربة. المصدر: عمل الباحثين



اللوحة (٨): صور من منطقة الدراسة حيث توضح الأشكال (أ، ب، ج، د) الممارسات المتبعة للتخفيف من تدهور التربة. المصدر: عمل الباحثين



اللوحة 9: مؤشر الغطاء النباتي NDVI في منطقة الدراسة. عمل الباحثين بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.

وبناء على دراسة الخصائص السابقة، يُلحَظُ اختلاف مؤشر الغطاء النباتي NDVI وتفاوته في منطقة الدراسة (اللوحة ٩). إذ يغطي المناطق الشرقية والجنوبية الشرقية نباتات صحراوية وشبه صحراوية، بينما يظهر نمط الغابات الكثيف في مناطق المرتفعات الشمالية لمنطقة الدراسة في عجلون وجرش. بلغت القيمة القصوى لمؤشر NDVI قيمة (٠,٣٠) في ١٢,٣% من مساحة منطقة الدراسة، وهو مؤشر كثافة موجب منخفض، وبلغت القيمة الدنيا (-0.20) والتي تدل على ضعف كثافة الغطاء النباتي. وأما من ناحية التوزيع المكاني، فتتوزع الغابات الكثيفة من الزيتون والعرعر والصنوبر في المناطق الغربية بسبب الظروف الطبيعية المناسبة، بينما تنتشر الشوكيات كالصبار واللبان وأشجار المر والأعشاب البرية المعمرة في الأجزاء الشرقية بسبب سيادة الظروف المناخية الجافة وشبه الجافة.

٤ - تحليل النتائج ومناقشتها:

٤,١ - معدلات الأمطار والجريان السطحي Rainfall Erosivity

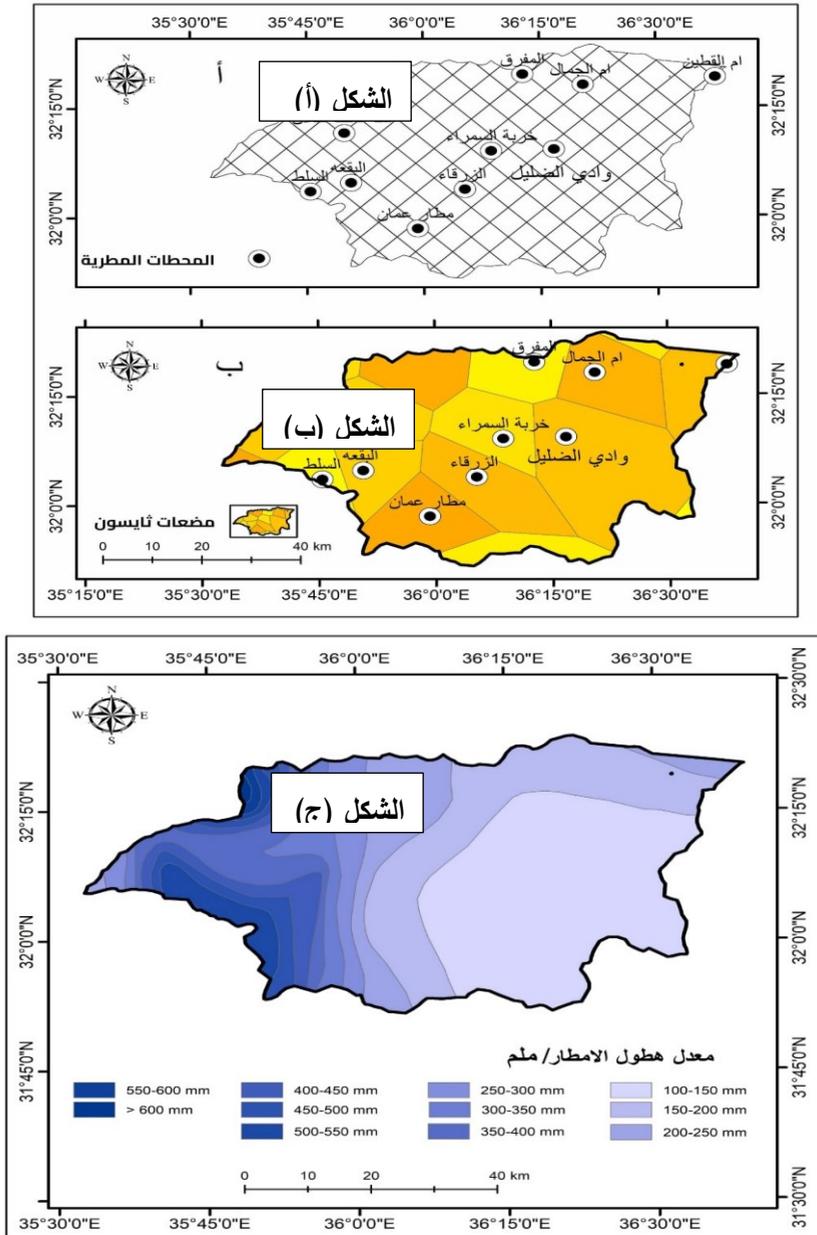
:Factor

يعد عامل تعرية المطر من العوامل المهمة والأساسية التي تؤدي لحدوث انجرافٍ في التربة (Biswas, 2012). وقد اعتمدت الدراسة في قياس أثر هذا العامل على مؤشر روز R-Index الذي يتناغم مع الخصائص المناخية للمنطقة المدروسة المصنفة ضمن البيئات الجافة وشبه الجافة. واستُخدِمَتِ البيانات المطرية لمحطات قياس المطر في منطقة الدراسة (سد الملك طلال؛ البقعة؛ مطار عمان؛ الزرقاء؛ خربة السمراء؛ وادي ضليل؛ ام الجمال؛ المفرق)، حيث جرى إسقاطها ضمن طبقة في نظام المعلومات الجغرافية تَبَعًا لإحداثياتها الجغرافية المكانية (شكل أ، لوحة ١٠)، ومن ثَمَّ أُنشِئَتْ شبكة مضلعات ثيسون Thiessen Diagram (شكل ب، لوحة ١٠) لحساب المطر المساحي الموزون (شكل ج، لوحة ١٠) استنادًا إلى بيانات المحطات؛ كون هذه الخطوة متطلبًا أساسيًا لاشتقاق خارطة تعرية التربة في

المعادلة رقم (١) (Fabbri, 1991).

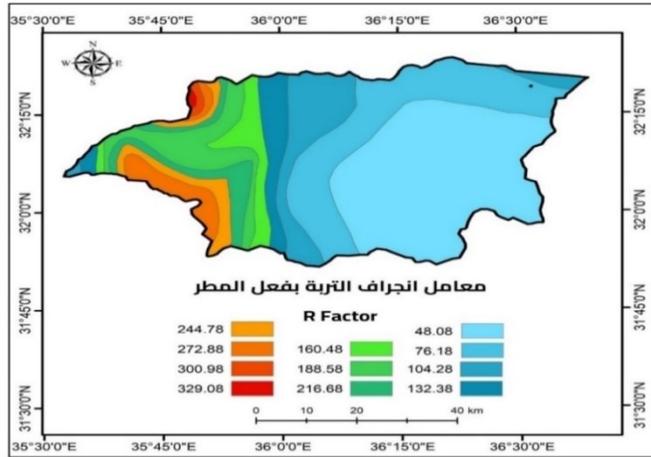
يشير الشكل (أ) في اللوحة (١١) إلى أن قيمة معامل انجراف التربة بفعل الأمطار R-Index تراوحت ما بين 48-329، وهي تمثل قدرة الأمطار على جرف التربة، إذ يلاحظ ارتفاع قيمة R-Index ارتفاعاً كبيراً في المناطق الشمالية الغربية والجنوبية الغربية بسبب ارتفاع كميات الأمطار في هذه المناطق. في المقابل، تتخفف قيمة R-Index في باقي المناطق لتصل إلى حدودها الدنيا في المناطق الشرقية بسبب انخفاض كميات الأمطار في هذه الأجزاء.

بالاستناد إلى أثر عامل المطر في انجراف التربة، جرى إعداد خارطةٍ لدرجة خطورة انجراف التربة بفعل الأمطار (R-Factor) والامتداد الجغرافي لكل درجة خطورة (الشكل ب، لوحة ١١). إذ تحتلُّ الدرجة المدمرة لانجراف التربة الأجزاء الغربية من منطقة الدراسة بسبب تلقيها أمطاراً مصحوبةً بالعواصف المطرية، وذلك ضمن مساحة ٣٣٤,١ كم²، يجاورها مناطق ذات درجة خطورة شديدة إلى متوسطة ضمن مساحات ٤١٠ كم² و ٤٠٨ كم²، على التوالي. تضعف إمكانية الانجراف في المناطق الشرقية بسبب ضعف العوامل المنشطة للانجراف ضمن مساحة ٢٤٢٩ كم².

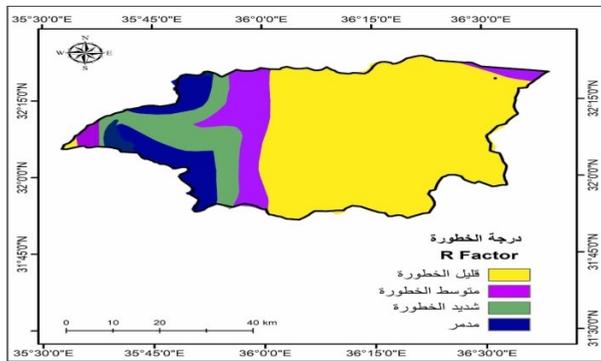


اللوحة 10: المحطات المطرية (شكل أ) ومضلعات ثيسون (شكل ب) للمحطات المناخية ومعدل الهطول المطري السنوي (شكل ج). المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية وبيانات وزارة المياه.

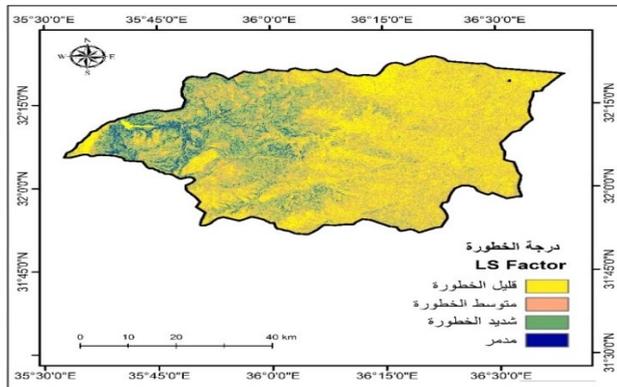
الشكل (أ)



الشكل (ب)



الشكل (ج)



اللوحة 11: العوامل التي تتحكم بانجراف التربة وفق معادلة رسل: معامل انجراف التربة بفعل الأمطار (شكل أ)، تصنيف درجة الخطورة بفعل الأمطار (شكل ب)، ودرجة الخطورة بناءً على درجة الانحدار وطول المنحدر (شكل ج). المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.

٤,٢ - عامل الطبوغرافيا (LS-Factor):

يشمل عامل الطبوغرافيا درجة المنحدر وطوله، وله تأثير مهم في إمكانية الانجراف المائي للتربة (المحمد والبلبيسي، ٢٠١٩). ويفاقم درجة انحدار الأرض من خطر حدوث تدفق المياه وتحرك التربة في الاتجاهات المنخفضة وزيادة سرعة تحرك التربة وانجرافها وفق علاقة طردية، فكلما زادت درجة الانحدار وطول المنحدر، زادت كمية التربة المفقودة (Amit, 2017). وجرى إعداد كل الطبقات اللازمة واشتقاقها لتطبيق المعادلة رقم (٢)، تلك التي جرى ذكرها أعلاه لحساب عامل الطبوغرافيا تمهيداً لاحتساب أثره في انجراف التربة (Rinos et al., 2003). توضح الخارطة (شكل ج، لوحة ١١) أن قيمة عامل الطبوغرافيا يصنف بأنه مدمر في المناطق الشمالية الغربية والجنوبية الغربية ذات الانحدار الشديد إلى المتوسط (تزيد عن ٢٠° في بعض الأجزاء) وذات المنحدرات الأطول، ويكون متوسط إلى شديد الخطورة في مجاري الأودية للشبكة المائية بسبب عامل الانحدار. بينما يقل تأثير هذا العامل في الأجزاء الشمالية والجنوبية الشرقية التي تصنف بأنها قليلة الخطورة حيث تقل درجة الانحدار فيها عن ٥°. يوضّح الجدول (١) المساحات وفق درجة الخطورة بناءً على تأثير درجة الانحدار وطول المنحدر في انجراف التربة.

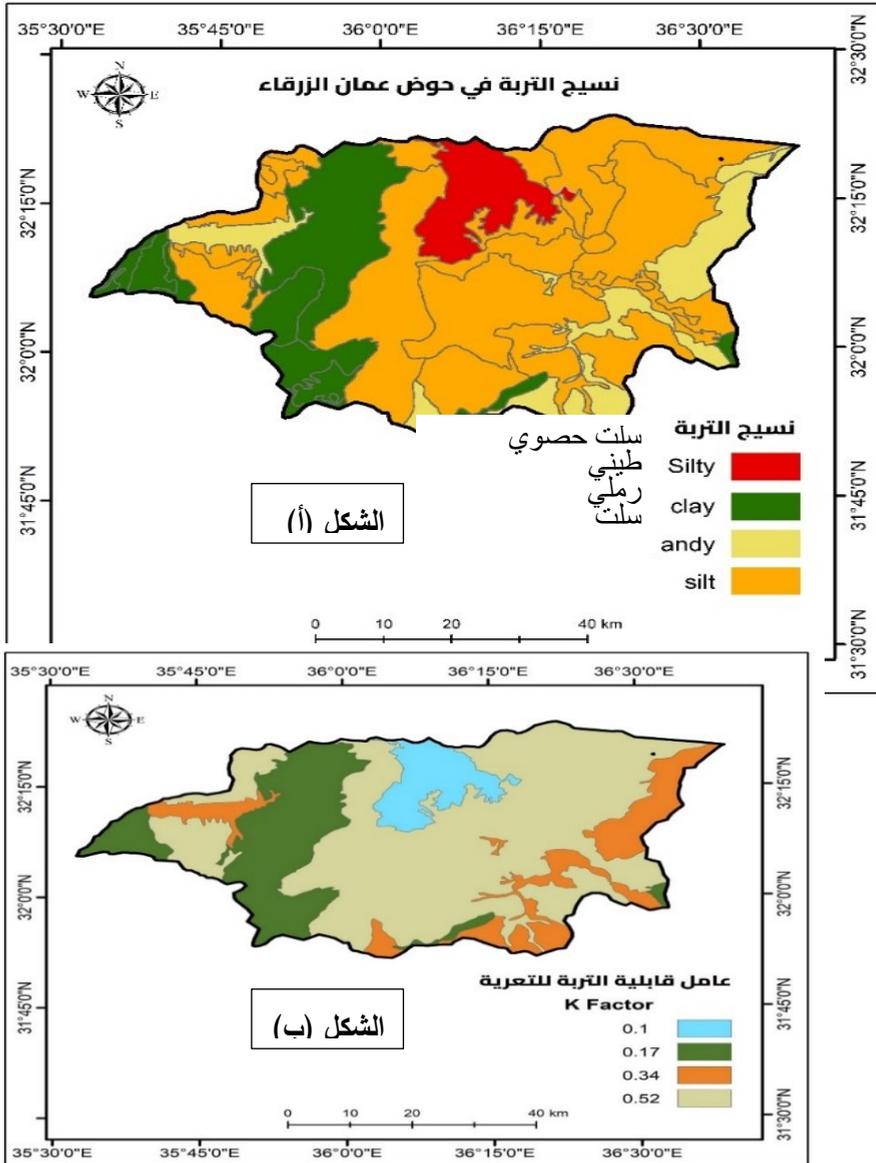
جدول رقم (١): درجة خطورة وفق تأثير درجة الانحدار وطول المنحدر على

انجراف التربة

النسبة %	المساحة كم ²	درجة الخطورة	تصنيف الخطورة
38.5	1458.7	قليل الخطورة	1
34.4	1305.8	متوسط الخطورة	2
22.7	858.9	شديد الخطورة	3
4.4	166.9	مدمر	4

٤,٣ - عامل قابلية التربة للتعرية (K-Factor):

يعد هذا العامل على خصائص التربة الفيزيائية مثل بناء التربة ونسيجها، ونسبة السلت، والمواد العضوية، ونسب الطين، والسلت، ونفاذية التربة (Jain & Das, 2010). وجرى في المرحلة الأولى رسم خارطة نسيج التربة لمنطقة الدراسة بناءً على المُسوحات التي أجرتها وزارة الزراعة ١٩٩٣ (شكل أ، لوحة ١٢)، حيث يعد نسيج التربة من الخصائص المؤثرة في قيم الجريان السطحي لأنه يحدد مدى قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، فكلما كان محتوى الرطوبة عاليًا في التربة، كانت نسبة الجريان السطحي أعلى (الزغول، ٢٠١٦). بعد ذلك، جرى استخدام المعادلة رقم (3) لتقدير عامل K-Factor، الذي يُعنى بتحديد مدى عُرضة التربة لعمليات الانفصال والتجريف بفعل العوامل الجوية مثل الأمطار والتدفقات السطحية (Wischmeier & Smith, 1978).



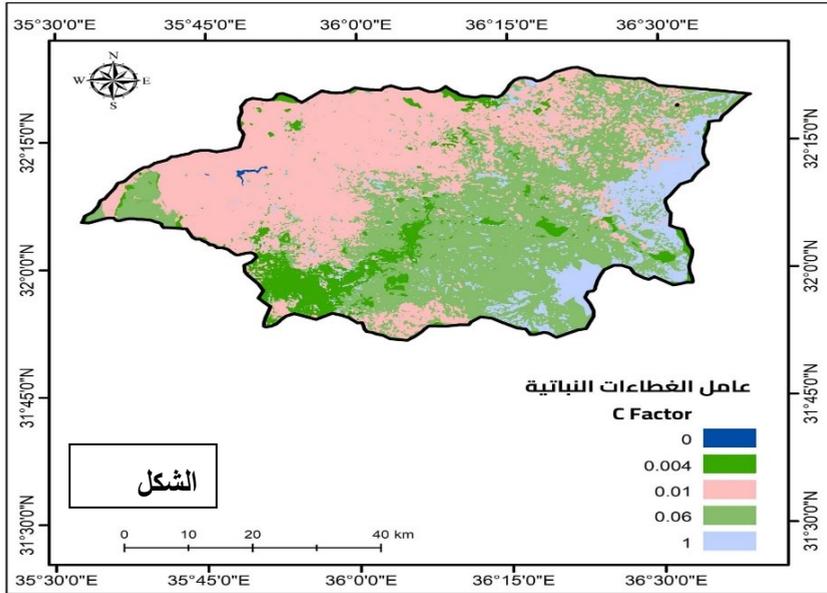
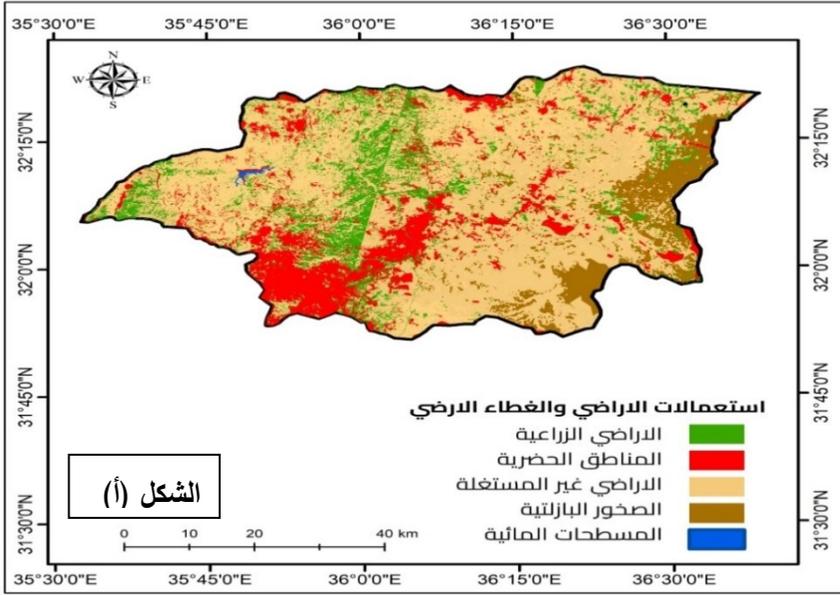
اللوحة 12: نسيج التربة (شكل أ) وعامل قابلية التربة للتعرية (شكل ب). المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على مسح وزارة الزراعة ١٩٩٣.

يوضح الشكل (ب) في اللوحة (١٢) التوزيع المكاني لعامل قابلية

التربة للتعرية (K-Factor)، حيث يظهر التصنيف المدمر (قيمة العامل ٠,٥٢) في أجزاء واسعة من حوض منطقة الدراسة، بينما تظهر بعض المساحات ذات القابلية المرتفعة للانجراف (عامل ٠,٣٤) في شرقيّ الحوض وجنوب شرقيّه وعبره أيضًا. أما في بعض الأجزاء الشمالية والغربية، فيلاحظ انخفاض هذا العامل (ما بين ٠,١ إلى ٠,١٧)، ويعود السبب إلى انخفاض نفاذية التربة وزيادة ارتفاع التكوينات الطينية فيها الأمر الذي يجعل إمكانيتها جرفها ضعيفة ومعدل تماسكها أعلى.

٤,٤ - عامل الغطاءات النباتية وأسلوب الإدارة البيئية (C-Factor) واستخدامات الأرض:

يمثل الغطاء النباتيُّ عامل حماية للتربة من الانجراف والتآكل، كما يعزز من عملية التسرب ويقلل من سرعة الجريان السطحي (Zheng, 2015). جرى في هذه المرحلة تحديد استعمالات الأراضي لتحديد مناطق الغطاء النباتي باستخدام أدوات الاستشعار عن بعد لتصنيف المرئيات الفضائية (شكل أ، لوحة ١٣). تُظهر الخارطة وجود عدة أصناف من استخدامات الأراضي، حيث تغطي المناطق الزراعية ما مساحته ٤٦٤ كم² من مساحة المنطقة وهي مساحة قليلة إذا ما قورنت بالمساحة الكلية لمنطقة الدراسة، في حين تغطي المناطق المبنية ما مساحته ٤٦٥ كم² وتحتل الأراضي غير المستغلة ما مساحته ٢٤٤٠ كم² والصخور البازلتية مساحة ٤١٧ كم²؛ الأمر الذي يزيد من إمكانية توليد جريان سطحي أكبر، وبالتالي تآكل وانجراف للتربة.



اللوحة 13: يمثل الشكل (أ) قيمة عامل الغطاءات النباتية C-Factor، ويمثل الشكل (ب) استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي LULC. المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على نتائج تحليل المرئية الفضائية بتاريخ ١٨-٥-٢٠٢٢ ومؤشر الغطاء النباتي

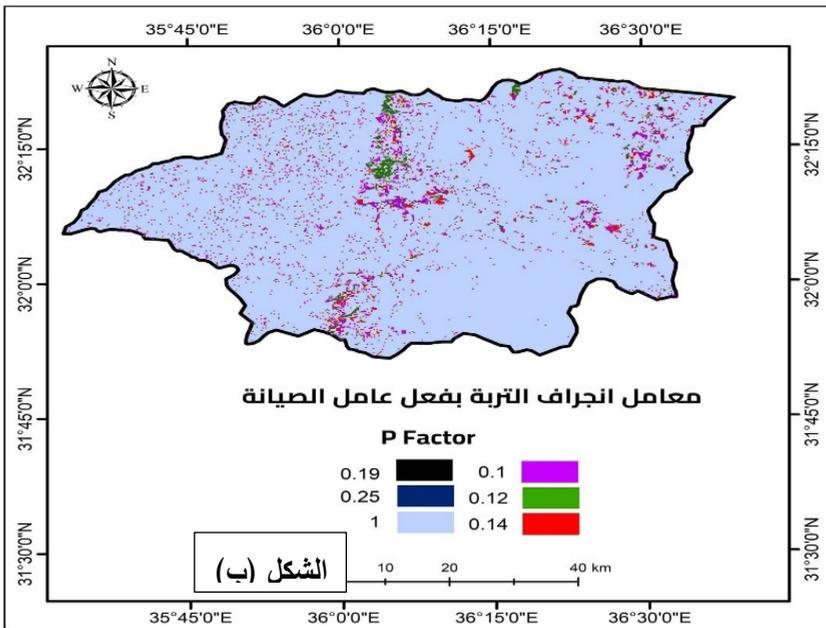
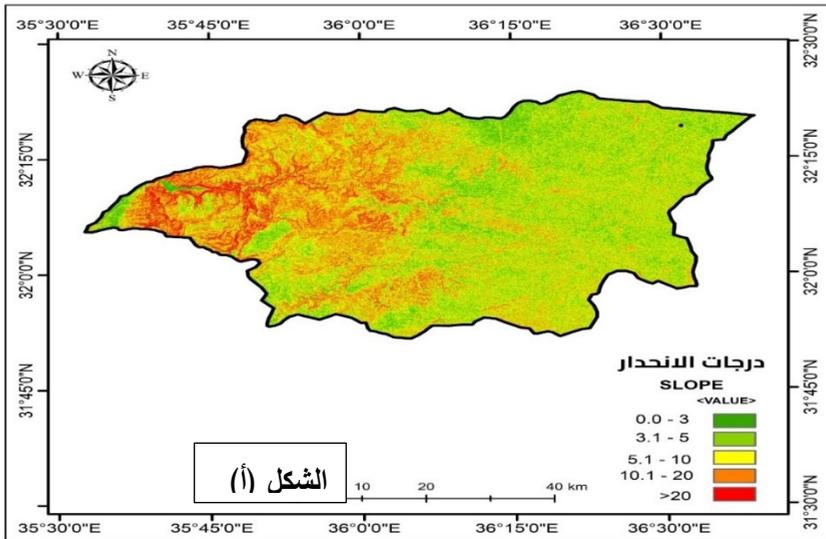
وتبين الشكل (ب) في اللوحة (١٣) قيمة عامل الغطاءات النباتية -C Factor وتباين قيمته في مختلف أنحاء المنطقة، حيث إن قيمته تتأثر بمجموعة من الأسباب؛ أهمها: نوع النباتات الموجودة وكثافة النباتات، وطول فترة توفر الغطاء النباتي. وقد استطاعت الدراسة تحديد قيمة هذا العامل لكل صنف من أصناف استخدامات الأراضي، حيث بلغت قيمته ٠,٠١ للأراضي الزراعية على مساحة تُقدَّر بـ ١٥٦٦,٢٦ كم² وبلغت ٠,٠٤ للمناطق الحضرية على مساحة ٣٢٣ كم²، و ٠,٠٦ للأراضي غير المستغلة على مساحة ١٤٩٤ كم². بالنسبة إلى أسلوب إدارة الأراضي، فإن ذلك يشمل الممارسات المتبعة في الزراعة والحفاظ على الأراضي والممارسات الزراعية المستدامة، واستخدام تقانات حفظ التربة مثل: تقارب الزراعة، ومحاصيل الغطاء النباتي، والحاجز الحي، وممارسات الري المناسبة. وتُحدَّد قيم (C-Factor) بناءً على البيانات المحلية والدراسات البيئية والزراعية المتاحة لنوع النباتات وأساليب الإدارة المستخدمة (USDA Natural Resources Conservation Service. (n.d.).

٤,٥ - عامل الصيانة وإجراءات الحد من انجراف التربة (P-Factor)

تتراوح قيمة هذا العامل بين "٠" و "١" حيثُ تدلُّ القيمة الأعلى على ضعف إجراءات حماية التربة من الانجراف خاصةً بما يخصُّ جانب درجة انحدار الأرض، في حين تدلُّ القيمة الأدنى على وجود إجراءات جيدة تقلل من انجراف التربة مثل إقامة المدرجات والمصاطب الزراعية، وزراعة المحاصيل على شكل خطوط تتبع منحى المنحدر، وتخصيب التربة بالسّماد العضوي ومخلفات النباتات. وجرى في المرحلة الأولى حسابُ عامل درجة الانحدار بالدرجات (شكل أ، لوحة ١٦) في منطقة الدراسة بالدرجات، والذي يتراوح من ٠ إلى ما يزيد على ٢٠ درجة.

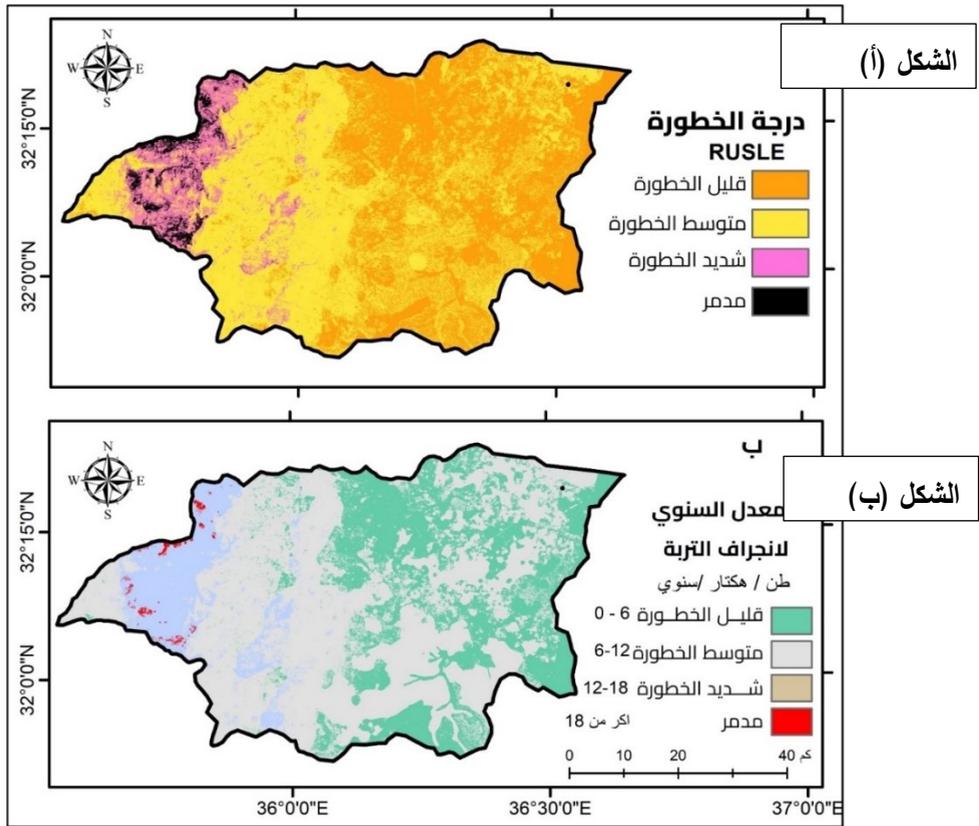
وللوصول إلى العامل P-Factor، جرى تقسيم المنطقة حسب درجة الانحدار بحيث تصل قيمة العامل إلى "١" في المناطق ذات الانحدار الكبير التي لا يوجد فيها استخدامٌ زراعيٌّ (شكل ب، لوحة ١٦)، التي تسود أجزاء

كبيرة من مناطق الحوض. بينما بلغت قيمة العامل للمناطق ذات الانحدار المعتدل والاستعمال الزراعيّ ٠,١٠-٠,٢٥، مما يشير إلى دور الغطاء النباتي واستخدام أساليب زراعية تعتمد على الانحدار أقل للأرض في تقليل فرص انجراف التربة بما لا يقل عن ٥٠% (White, 2005)، على عكس الحراثة المستقيمة من أعلى المنحدر إلى أسفله، والتي تُصنّف على أنها من أسوء إجراءات صيانة التربة وواحدة من مسببات انجراف التربة.



اللوحة 16: الانحدار بالدرجات (شكل أ) ودرجة الخطورة في عامل الصيانة وإجراءات الحد من انجراف التربة (P-Factor) (شكل ب) في منطقة الدراسة. المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي ونظم المعلومات الجغرافية

لتقدير مخاطر انجراف التربة في منطقة الدراسة، جرى جمع كل العوامل المحددة ضمن النموذج الرياضي لمعادلة (RUSLE) بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية. كانت النتيجة عبارة عن خارطة توضح التوزيع المكاني لدرجة مخاطر انجراف التربة، والتي تتدرج من قليل الخطورة، إلى متوسط الخطورة، إلى شديد الخطورة، ومن ثمّ المدمر. يوضح الجدول (٢) الذي تم اشتقاقه من الخارطتين (أ) و(ب) في اللوحة (١٨) أنّ ما مساحته ٩٢ كم² من منطقة الدراسة يتعرض لخطر انجرافٍ وتعريةٍ مدمرٍ للتربة وتعرض لمعدل انجراف يتجاوز ١٨ طنًا / هكتارًا/ سنويًا، في حين تُصنّفُ التربةُ في مساحة قدرها ٣٥٠ كم² على أنها شديد الخطورة للانجراف، وتعرض لانجرافٍ سنويًا من هذا الصنف يبلغ معدله ١٢-١٨ طنًا/ هكتارًا/ سنويًا، مما يستلزم اتخاذ التدابير والإجراءات المناسبة لحمايتها. أما التربة متوسطة الانجراف، فتشمل ما مساحته ٢٠٤٣ كم² بمعدل انجراف ٦-١٢ طنًا/ هكتارًا/ سنويًا، في حين تمثل المناطق قليلة الخطورة ما مساحته ١٣٠٤,٩ كم² بمعدل انجراف ٦-١٢ طنًا/ هكتارًا/ سنويًا.



اللوحة 18: خارطة درجة مخاطر انجراف التربة (شكل أ) والمعدل السنوي لانجراف التربة (شكل ب) بناءً على تطبيق معادلة (RUSLE) العالمية.

جدول رقم (٢) مساحات التربة المنجرفة بالهكتار سنوياً (*Annual Loss*) في حوض عمان -الزرقاء. (*Soil*)

تصنيف	درجة الخطورة	المساحة كم ^٢	نسبة المساحة	طن/هكتار
1	قليل الخطورة	1304.9	34.4	٠-٦
2	متوسط	2043	53.9	٦-١٢
3	شديد الخطورة	350.4	9.2	١٢-١٨
4	مدمر	92	2.4	أكثر من

5- النتائج والتوصيات:

- بناءً على الخرائط الرقمية لمخاطر الانجراف والنتائج التي جرى استعراضها في هذه الدراسة، يمكن تلخيص النتائج المهمة وفق ما يلي:
- معظم العوامل الطبيعية السائدة في منطقة الدراسة هي عوامل مشجعة لتدهور التربة وانجرافها، حيث تبيّن أن معدل الهطول المطري في بعض أجزاء الحوض يُعدُّ مرتفعاً ويأخذ طابع العواصف المطرية المفاجئة؛ الأمر الذي يساعد في زيادة تعرض التربة لعمليات الانجراف. وجرى رصد وجود انحدار كبير في بعض التضاريس المحيطة بالمنطقة، مما يزيد من احتمالية حدوث تعرية التربة وفقدانها.
 - تتعرض منطقة الدراسة لخطر انجراف التربة بدرجات متفاوتة وفقاً لخصائص المنطقة في تباين مكاني واضح بين أجزاء الحوض، حيث يتعرّض ما مساحته ٩٥ كم² لخطر من درجة المدمر، وتتعرض مساحة ٣٥٠ كم² لخطر شديد، وتشهد فقداناً وتعريةً كبيرة للتربة في المقابل، في حين تتمتع مساحة ١٣٠٥ كم² بمقاومة جيدة لانجراف التربة، وصُنّفت أنها قليلة الخطورة ذات تعرية ضئيلة.
 - وجود أثر للأنشطة البشرية في تفاقم مشاكل تدهور وانجراف التربة. حيث يشمل هذا التأثير الأنشطة الزراعية غير المستدامة، والتوسع العمراني على حساب الأراضي الزراعية، وانخفاض مؤشر كثافة الغطاء النباتي NDVI، وسوء الممارسات الزراعية الضارة بالتربة.
 - يجب أخذ المعدل المرتفع للهطول وكذلك الانحدار في الاعتبار عند وضع سياساتٍ وتدابيرٍ للحفاظ على التربة وتقليل فقدانها وتعريتها باتباع سياسات مناسبة للمقاطع التضاريسية مثل: الحفر، والتسوية، وتعزيز زراعة النباتات التي تساعد في تثبيت التربة في الظروف البيئية الصعبة.
 - وجود الرواسب الطينية (الطمي) وتراكمها في بعض الأودية بمنطقة الدراسة، مما يجعل ذلك مؤشراً على حجم الفقدان في التربة ومدى تأثيره

في الموارد المائية والبيئة المحيطة.

استنادًا إلى نتائج الدراسة، جرى اقتراح التوصيات التالية:

١. تنفيذ عميات إدارة المنحدرات الزراعية في منطقة الدراسة. كإنشاء حواجز ترابية، وإقامة الزراعة الكنتورية وإقامة المصاطب والمدرجات الزراعية وإعادة ترميمها، واستخدام التسميد العضوي والمعدني، واعتماد ممارسات زراعية مستدامة تقلل من اضطراب التربة وتعزز صحتها، مما يقلل من سرعة جريان المياه، وزيادة فرصة التسرب، والحفاظ على جودة التربة وإنتاجيتها.
٢. دعم الغطاء النباتي لزيادة كثافته وانتشاره من خلال نشر الوعي البيئي بأهمية الغطاء النباتي وضرورة الحفاظ عليه وتنشيط الاهتمام بزراعة الأشجار الحرجية في المناطق المعرضة لانجراف التربة لما لها من دور بارزٍ للحفاظ على التربة والحد من الانجراف.
٣. إقامة المبادرات والحملات التوعوية والبرامج التثقيفية، التي تركز على أهمية مكافحة تعرية التربة ودور الممارسات المستدامة لإدارة الأراضي في الحفاظ على إنتاجية وخصوبة التربة.
٤. إنشاء نظام مراقبة لتقييم فعالية تدابير مكافحة تعرية التربة. بحيث يوفّر هذا النظام المراقبة المنتظمة لمعدلات التربة المنجرفة، ولمؤشر الغطاء النباتي.

المراجع باللغة العربية:

- (١). بركات، منى علي (٢٠١٨): التنبؤ بكميات التربة المفقودة بفعل الانجراف المائي في منطقة حوص سد الحويز باستخدام المعادلة العالمية RULSE ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. المجلد (٤)، العدد (٥).
- (٢). بني طه، عمر إبراهيم (٢٠٠٤) انجراف التربة وآثارها على الاستخدام الزراعي للتربة في منطقة جرش، رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
- (٣). الحسبان ، يسرى ، ٢٠١٤ الخصائص المورفومترية لحوض نهر الزرقاء في الأردن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج التضرس الرقمي، المجلة الأردنية للدراسات الاجرياعية.
- (٤). خرائط التربة الصادرة عن وزارة الزراعة ١٩٩٤، المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، مقياس ١: ٢٥٠٠٠٠٠.
- (٥). الخرائط الجيولوجية، سلطة المصادر الطبيعية، الأردن، ١٩٩٢، مقياس ١: ٥٠٠٠٠٠.
- (٦). دائرة الإحصاءات العامة الأردنية، تعدادات السكان في عام ٢٠٢٢م عمان، الأردن.
- (٧). الدليمي، خلف حسين، (٢٠١٢): علم شكل الارض -الجيومورفولوجيا التطبيقية -، دار صفاء للطباعة والنشر، الطبعة الاولى، عمان، الأردن.
- (٨). زريقات، دلال و الزغول، ميسون. التنبؤ بتدهور التربة باستخدام المعادلة العالمية لتقدير انجراف التربة "RUSLE" ونظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد في حوض وادي ابن حماد، محافظة الكرك. دراسات - العلوم الإنسانية والاجرياعية، ٢١٢، (٢٠٢١).

(٩). الزغول، ميسون وبركات، حسين، إدارة الموارد المائية وإمكانية الحصاد المائي في حوض الزرقاء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، ٢٠١٦

(١٠). شحاده، نعمان (١٩٩١)، الاتجاهات العامة للأمطار في الأردن، مجلة دراسات، مجلد ٥، عدد ١، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

(١١). قطيش، مها، ٢٠١٠، تقدير انجراف التربة باستخدام المعادلة العالمية لانجراف التربة RUSLE، حالة دراسية حوض وادي الحسا، الأردن، رسالة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، الأردن.

(١٢). المحمد، هيفاء أحمد والبليسي، حسام هشام، (٢٠١٩): تقدير تدهور التربة في حوض وادي العرب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد، مجلة دراسات العلوم الانسانية والاجرياعية، مجلد ٤٦ عدد ١ ملحق ٢، عمادة البحث العلمي، الجامعة الأردنية، الأردن.

(١٣). وزارة المياه والري (٢٠١٣)، الأجنحة الوطنية/ قطاع المياه: ٢٠١٣-٢٠٢٠، عمان، الأردن.

المراجع باللغة الإنجليزية:

- (14). Adediji, A., Tukur, A. M., & Adepoju, K. A. (2010). Assessment of revised universal soil loss equation (RUSLE) in Katsina area, Katsina state of Nigeria using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS). Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment, 1(3).
- (15). Amit, B. E. R. A. (2017). Estimation of soil loss by USLE model using GIS and remote sensing techniques: a case study of Muhuri River Basin, Tripura, India. Eurasian Journal of Soil

- Science, 6(3), 206-215.
- (16). Ashiagbor, G., Forkuo, E. K., Laari, P., & Aabeyir, R. (2013). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS tools. *Int J Remote Sens Geosci*, 2(4), 1-17.
- (17). Balabathina, V. N., Raju, R. P., Muluaem, W., & Tadele, G. (2020). Estimation of soil loss using remote sensing and GIS-based universal soil loss equation in northern catchment of Lake Tana Sub-basin, Upper Blue Nile Basin, Northwest Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9(1), 1-32.
- (18). Bhat, S. A., Hamid, I., Dar, M. U. D., Rasool, D., Pandit, B. A., & Khan, S. (2017). Soil erosion modeling using RUSLE & GIS on micro watershed of J&K. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 838-842.
- (19). Biswas, S. (2012). Estimation of soil erosion using remote sensing and GIS and prioritization of catchments. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(7), 124-128.
- (20). Efthimiou, N., Lykoudi, E., & Karavitis, C. (2014). Soil erosion assessment using the RUSLE model and GIS. *European Water*, 47(15-30).
- (21). Fabbri, k. (1991). The use of geographic information systems and remote sensing analysis for the assessment of soil erosion hazards. A case study in central Bolivia. *Environmental Systems Research*, 9(1), 1-32.
- (22). Gang, C., Zhou, W., Wang, Z., Chen, Y., Li, J., Chen, J., (2015). Comparative assessment of grassland NPP dynamics in response to climate change in China, North America, and Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(1), 57-68.
- (23). Global climate and weather data, monthly historical monthly weather data, accessed in August 2022 from <https://worldclim.org/data/monthlywth.html>.
- (24). Jabbar, M. T. (2003). Application of GIS to estimate soil erosion using RUSLE. *Geo-Spatial Information Science*, 6, 34-37.
- (25). Jain, M. K., & Das, D. (2010). Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 24(10), 2091-2112.

- (26). Kouli, M., Souplos, P., & Vallianatos, F. (2009). Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental geology*, 57(3), 483-497.
- (27). Lafond, G. P., May, W. E., Stevenson, F. C., & Derksen, D. A. (2006). Effects of tillage systems and rotations on crop production for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, 89(2), 232-245.
- (28). Lu, D., Li, G., Valladares, G. S., & Batistella, M. (2004). Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land degradation & development*, 15(5), 499-512.
- (29). Phipps, A. G. (2014). Three Applications of V. 3 Google Maps: Just for Display of Data, or Analysis as Well?. *Journal of Geographic Information System*, 6(05), 548.
- (30). Renard, K. G. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- (31). Rinos, M. M., Aggarwal, S. P., & De Silva, R. P. (2003). Application of Remote Sensing and GIS on soil erosion assessment at Bata River Basin, India.
- (32). US Geological Survey EarthExplorer, <https://earthexplorer.usgs.gov>. accessed August 2022.
- (33). White, R. E. (2005). Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource. John Wiley & Sons.
- (34). Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). US Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- (35). Zheng, M. (2015). Estimation of base flow using flow-sediment relationships in the Chinese Loess Plateau. *Catena*, 125, 129-134.
- (36). Zuazo, V. H. D., & Pleguezuelo, C. R. R. (2009). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable agriculture*, 785-811.