

التقييم المكاني والزمني لفئات مخاطر تآكل التربة خلال الأشهر الأكثر
برودة وحرارة (يناير ويوليو) في محافظة واسط، العراق (١٩٧٩-
٢٠٢٢)

م.د ستر ترف رزاق
جامعة واسط / كلية التربية للعلوم الإنسانية
s.taraf@uowasit.edu.iq

الملخص

يُعدّ تآكل التربة أحد أخطر أشكال تدهور الأراضي، لا سيما في البيئات القاحلة وشبه القاحلة حيث تُفاقم الظروف المناخية القاسية والضغط البشرية من هشاشة التربة. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التباين المكاني والزمني لفئات مخاطر تآكل التربة في محافظة واسط، شرق العراق، بالتركيز على أبرد وأحر شهور السنة (يناير ويوليو) خلال الفترة ١٩٧٩-٢٠٢٢. استُخدم نهج النمذجة العددية القائم على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) باستخدام صور الأقمار الصناعية لاندسات متعددة الأوقات (لاندسات ٥ و ٧ و ٨)، مدعومة ببيانات مناخية وتقنيات تحليل مكاني ضمن بيئة ArcGIS. صُنّفت مخاطر تآكل التربة إلى ثلاث فئات: منخفضة (بدون مخاطر تآكل)، ومتوسطة، وعالية. تكشف النتائج عن تباين موسمي وزمني ملحوظ في مخاطر تآكل التربة في منطقة الدراسة. خلال شهر يناير، اتسعت فئتا مخاطر التآكل المنخفضة والمتوسطة عمومًا نتيجةً لزيادة رطوبة التربة والغطاء النباتي، على الرغم من ملاحظة انخفاض تدريجي في مساحات التربة المستقرة خلال العقود الأخيرة. في المقابل، شهد شهر يوليو توسعًا ملحوظًا في فئتي مخاطر التآكل المتوسطة والعالية، مدفوعًا بدرجات الحرارة القصوى، وجفاف التربة، وانخفاض الغطاء النباتي، واشتداد عمليات التآكل بفعل الرياح. يشير التحليل طويل الأجل إلى تحول واضح من مخاطر التآكل المنخفضة إلى المتوسطة والعالية، لا سيما خلال أشهر الصيف، مما يعكس التأثيرات المشتركة لتقلبات المناخ، وتغيرات استخدام الأراضي، وتراجع القدرة على الصمود البيئي. مكانيًا، تركزت مناطق مخاطر التآكل العالية بشكل رئيسي في الأجزاء الشرقية والجنوبية والوسطى من محافظة واسط، بينما ظلت المناطق المستقرة نسبيًا محصورة في الأراضي المرورية والمناطق المتاخمة لنهر دجلة. تُوفّر خرائط مخاطر تآكل التربة المنشأة أدلة مكانية أساسية لتحديد المناطق ذات الأولوية لحفظ التربة والإدارة المستدامة للأراضي. تُسهم هذه الدراسة في تحسين التخطيط البيئي الإقليمي، وتدعم صانعي القرار في تطوير استراتيجيات تكيفية للتخفيف من مخاطر تآكل التربة في ظل التغيرات المناخية المستمرة.

الكلمات المفتاحية: مخاطر تآكل التربة؛ التحليل المكاني والزمني؛ الاستشعار عن بعد؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ تقلب المناخ؛ محافظة واسط؛ العراق.

Abstract

Soil erosion is one of the most serious forms of land degradation, particularly in arid and semi-arid environments where harsh climatic conditions and human pressures exacerbate soil fragility. This study aimed

to assess the spatial and temporal variability of soil erosion risk categories in Wasit Governorate, eastern Iraq, focusing on the coldest and warmest months of the year (January and July) during the period 1979–2022. A GIS-based numerical modeling approach was used, employing multi-time Landsat satellite imagery (Landsat 5, 7, and 8), supported by climatological data and spatial analysis techniques within the ArcGIS environment. Soil erosion risk was classified into three categories: low (no erosion risk), medium, and high. The results reveal significant seasonal and temporal variability in soil erosion risk in the study area. During January, the low and medium erosion risk categories generally expanded due to increased soil moisture and vegetation cover, although a gradual decrease in stable soil areas has been observed over recent decades. In contrast, July saw a significant expansion in the medium and high erosion risk categories, driven by extreme temperatures, soil aridity, reduced vegetation cover, and intensified wind erosion. Long-term analysis indicates a clear shift from low to medium and high erosion risk, particularly during the summer months, reflecting the combined impacts of climate variability, land-use changes, and declining environmental resilience. Spatially, high erosion risk areas were concentrated mainly in the eastern, southern, and central parts of Wasit Governorate, while relatively stable areas remained confined to irrigated lands and areas adjacent to the Tigris River. The generated soil erosion risk maps provide essential spatial evidence for identifying priority areas for soil conservation and sustainable land management. This study contributes to improved regional environmental planning and supports decision-makers in developing adaptive strategies to mitigate soil erosion risks under ongoing climate change.

Keywords: Soil erosion risk; Spatial and temporal analysis; Remote sensing; Geographic Information Systems; Climate variability; Wasit Governorate; Iraq

١. المقدمة

يُعدّ تآكل التربة أحد العوامل الرئيسية المساهمة في تدهور صحة التربة، ويُصنّف ضمن أكثر المخاطر البيئية انتشاراً المرتبطة بتدهور الأراضي على مستوى العالم. ويُعتبر تقييم تآكل التربة عملية بالغة التعقيد نظراً لتعدد العوامل الطبيعية والبشرية المتفاعلة (Lal, 1990)، بما في ذلك الخصائص المناخية، وتأثيرات

تغير المناخ، وديناميات استخدام الأراضي، والتدخلات البشرية، وكلها عوامل تُفاقم عمليات تآكل التربة وتدهورها (Issaka & Ashraf, 2017).

يمثل تآكل التربة عملية جيومورفولوجية طبيعية تحدث باستمرار على سطح الأرض؛ إلا أن تسارع وتيرته يُشكّل تهديدًا خطيرًا للإنتاجية الزراعية، والموارد الطبيعية، والاستدامة البيئية. ويؤدي فقدان التربة المفرط إلى انخفاض خصوبتها، وتراجع إنتاج الغذاء، وتدهور النظام البيئي على المدى الطويل. ونتيجةً لذلك، أصبح فهم الأنماط المكانية والزمانية لمخاطر تآكل التربة أولوية بحثية بالغة الأهمية، لا سيما في المناطق القاحلة وشبه القاحلة (Singh & Hartsch, 2019).

وتُعدّ خرائط مخاطر تآكل التربة أدوات أساسية لتحديد المناطق المعرضة للخطر، خاصةً خلال فصل الشتاء البارد وفصل الصيف الحار الجاف، حيث تؤثر الظروف المناخية القاسية بشكل كبير على ديناميكيات التآكل (Senanayake et al., 2020). تُوضّح هذه الخرائط التوزيع المكاني لفئات مخاطر التآكل، وتُقدّم إرشادات حاسمة للمخططين وصانعي السياسات لتحديد أولويات تدابير التخفيف، واستراتيجيات إعادة التأهيل، وممارسات الإدارة المستدامة للأراضي. علاوةً على ذلك، يدعم رسم خرائط مخاطر التآكل رصد التغيرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة بمرور الوقت.

وقد وُفرت التطورات الحديثة في النمذجة العددية والاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) أدوات فعّالة للتقييم البيئي والإيكولوجي. ويُمكن دمج صور الأقمار الصناعية مع تقنيات التحليل المكاني من قياس ومراقبة عمليات تآكل التربة على نطاقات زمنية ممتدة (Bourbonnais, 2022).

وبناءً على ذلك، يتمثل الهدف الرئيسي لهذه الدراسة في إعداد تقييم مكاني-زمني مفصل ورسم خرائط لفئات مخاطر تآكل التربة في محافظة واسط، وذلك بتطبيق منهجية النمذجة العددية المدعومة بصور الأقمار الصناعية وبيانات الاستشعار عن بُعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية. وتهدف الدراسة إلى دعم تطوير استراتيجية شاملة لإدارة مخاطر تآكل التربة في منطقة الدراسة خلال أبرد شهور السنة (يناير) وأحرها (يوليو) على مدى الفترة من ١٩٧٩ إلى ٢٠٢٢.

٢. منطقة الدراسة

تقع محافظة واسط في شرق العراق، وتغطي مساحة تقارب ١٧,٦٨٤ كيلومترًا مربعًا. وتتميز المحافظة بمناخ شبه جاف إلى جاف، حيث يكون الصيف حارًا وجافًا، والشتاء باردًا إلى شديد البرودة. ويعبر نهر دجلة المحافظة من الشمال إلى الجنوب، مما يؤثر بشكل كبير على استخدام الأراضي، والغطاء النباتي، ورطوبة التربة (Razzaq & Abbood, 2025).

من الناحية الطبوغرافية، تتكون المنطقة بشكل رئيسي من سهول رسوبية منبسطة ذات تضاريس محدودة، مما يجعلها شديدة الحساسية لعمليات التعرية المائية والريحية (Razzaq & Abbood, 2025). وتتركز الأنشطة الزراعية على ضفاف النهر، بينما تتميز مساحات شاسعة من الأجزاء الشرقية والجنوبية بغطاء نباتي متفرق، مما يزيد من قابلية التربة للتآكل.

٣. البيانات والأساليب

٣.١ جمع البيانات

اعتمدت الدراسة على صور الأقمار الصناعية متعددة الأوقات، وبيانات مناخية تغطي الفترة من ١٩٧٩ إلى ٢٠٢٢ مع التركيز على شهرين نموذجيين:

١. يناير (الموسم البارد)
 ٢. يوليو (الموسم الحار)
 ٣. شملت مصادر البيانات الأساسية ما يلي:
 ٤. صور الأقمار الصناعية لاندسات (لاندسات ٥ و٧ و٨)
 ٥. بيانات مناخية من أطلس مناخ العراق (١٩٧٩-٢٠٢٢) الصادر عن الهيئة العراقية للأرصاد الجوية والزلازل
 ٦. بيانات مكانية مساعدة تتعلق بالحدود الإدارية والشبكات الهيدرولوجية
- جدول رقم (١) : ساحة ونسبة أصناف مخاطر تآكل التربة في محافظة واسط الموسم الشتوي لشهر كانون

ت	الصف	قيم مؤشر مخاطر انجراف التربة																	
		٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%
١	الصف الخالي مخاطر انجراف التربة	7910	44.73	7050	39.87	6929	39.18	4645	26.27	5819	32.94	7141	40.38	4545	25.70	4506	25.48	5918	33.46
2	الصف المتوسط المخاطر انجراف التربة	5614	31.74	6940	39.25	6984	39.49	5830	32.97	7467	42.26	5840	33.02	8570	48.46	8598	48.62	7565	42.78
3	الصف المرتفع المخاطر انجراف التربة	4160	23.53	3693	20.89	3772	21.33	7209	40.76	4382	24.80	4704	26.60	4569	25.84	4580	25.90	4201	23.76
	المجموع	17684	100	17684	100	17684	100	17668	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100

الثاني للمدة (1979-2022)

جدول رقم (٢) : مساحة ونسبة أصناف مخاطر تآكل التربة في محافظة واسط الموسم الصيفي لشهر تموز

ت	الصف	قيم مؤشر مخاطر انجراف التربة																	
		٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%	٢ كم	%
١	الصف الخالي مخاطر انجراف التربة	7067	39.96	5032	28.45	4529	25.61	7240	40.94	6619	37.43	7707	43.58	6807	38.49	3467	19.61	2922	16.52
2	الصف المتوسط المخاطر انجراف التربة	6331	35.80	7443	42.09	6922	39.14	8114	45.88	8296	46.91	8379	47.38	7936	44.88	9220	52.13	9088	51.39
3	الصف المرتفع المخاطر انجراف التربة	4286	24.24	5209	29.46	6233	35.25	2330	13.18	2769	15.66	1598	9.03	2941	16.63	4998	28.26	5674	32.08
	المجموع	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100	17684	100

للمدة (1979-2022)

٣.٢ معالجة الصور وتحليل نظم المعلومات الجغرافية

تمت معالجة صور الأقمار الصناعية باستخدام برنامج ArcGIS 10.2.2 (Yakhlaf & Omer, 2025). وشملت خطوات المعالجة المسبقة القياسية التصحيح الإشعاعي، والتصحيح الهندسي، وتصنيف الصور. تم استخراج الغطاء النباتي وخصائص السطح ودمجها في نموذج رقمي لتقييم مخاطر تآكل التربة. صنّف خطر تآكل التربة إلى ثلاث فئات رئيسية:

١. انعدام خطر التآكل

٢. خطر تآكل متوسط

٣. خطر تآكل مرتفع

حُصِبَت مساحات ونسب توزيع كل فئة لشهري يناير ويوليو خلال سنوات مرجعية مختارة (١٩٨٤، ١٩٨٩، ١٩٩٤، ١٩٩٩، ٢٠٠٤، ٢٠٠٩، ٢٠١٤، ٢٠١٩، ٢٠٢٢).

٣.٣ حساب مؤشر تآكل التربة باستخدام نموذج **RUSLE**

٣.٣.١ لمحة عامة عن نموذج **RUSLE**

معادلة فقدان التربة العالمية المنقحة (**RUSLE**) هي نموذج تجريبي يُستخدم على نطاق واسع لتقدير متوسط الفقد السنوي للتربة على المدى الطويل الناتج عن التعرية السطحية والتعرية الأخاديدية. يدمج النموذج عوامل مناخية، وتربة، وتضاريس، وغطاء أرضي، وممارسات الحفاظ على التربة (Kouli et al., 2009)، ويُعبّر عنه كما يلي (Renard et al., 2017):

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P$$

حيث:

A يمثل متوسط الفقد السنوي المقدر للتربة (طن/هكتار/سنة)؛

R هو عامل التعرية الناتج عن الأمطار (ميغا جول/ملم/هكتار/ساعة/سنة)؛

K هو عامل قابلية التربة للتعرية (طن/هكتار/ساعة/هكتار/ميغا جول/ملم/سنة)؛

LS يرمز إلى عامل طول المنحدر وانحداره؛

C هو عامل إدارة الغطاء النباتي؛

P يمثل عامل ممارسات الدعم.

على الرغم من أن نموذج **RUSLE** قد تم تطويره في الأصل للمناطق الرطبة، فقد أثبتت العديد من الدراسات إمكانية تطبيقه في البيئات شبه القاحلة بعد التكيف المحلي المناسب لمعاييرها (Abdelsamie et al., 2022).

٣.٣.٢ تكيف نموذج **RUSLE** مع الظروف البيئية لمحافظة واسط

تتميز محافظة واسط بمناخ شبه جاف، وتقلبات موسمية ملحوظة، وهطول أمطار محدود وغير منتظم، وهيمنة الاستخدام الزراعي للأراضي (القريشي & الكنانى، ٢٠٢٤). ولضمان ملاءمة نموذج **RUSLE** (Renard et al., 1994) لهذه الظروف، تم تكيف عدة عوامل محليًا مع الحفاظ على البنية الأساسية للنموذج.

٣.٣.٣ عامل التعرية المطرية (R)

يعكس عامل التعرية المطرية تأثير شدة وكمية الأمطار على تآكل التربة. ونظرًا لعدم توفر بيانات عالية الدقة لشدة الأمطار طوال فترة الدراسة (١٩٧٩-٢٠٢٢)، وبالنظر إلى الطبيعة شبه القاحلة لمنطقة الدراسة، فقد حُسب عامل R باستخدام معادلات تجريبية مُكَيِّفَة إقليميًّا استنادًا إلى بيانات هطول الأمطار السنوية طويلة الأجل.

تم الحصول على سجلات هطول الأمطار الشهرية والسنوية من محطات الأرصاد الجوية داخل محافظة واسط والمناطق المجاورة لها. وحُسب عامل R باستخدام معادلة مناسبة للمناطق القاحلة وشبه القاحلة، تربط بين التعرية المطرية وإجمالي هطول الأمطار السنوي (Elhag et al., 2025).

$$R = a \times p^b$$

حيث يُمثل P متوسط الهطول السنوي (ملم)، و a و b معاملان تجريبيان مُستمدان من دراسات أُجريت في مناطق مناخية مماثلة (Pandey & Ramasastrri, 2001).

وقد اعتمد هذا النهج على نطاق واسع في مناطق الشرق الأوسط وشمال أفريقيا حيث لا تتوفر بيانات عن شدة هطول الأمطار.

٣.٣.٤ معامل قابلية التربة للتآكل (K)

يمثل معامل قابلية التربة للتآكل مدى تأثر جزيئات التربة بالانفصال والنقل بفعل الأمطار والجريان السطحي (Römken et al., 1997). وقد تم استخلاص معامل K من نسيج التربة، ومحتواها من المادة العضوية، وبنيتها، ونفاذيتها (Delgado et al., 2025).

تم الحصول على بيانات التربة من خرائط التربة الوطنية المتاحة وقواعد بيانات التربة العالمية. وبناءً على تصنيفات نسيج التربة، تم تحديد قيم معامل K باستخدام المخططات البيانية والمعادلات القياسية المقترحة في دراسات سابقة قائمة على نموذج RUSLE.

تعكس خريطة معامل K الناتجة التباين المكاني لقابلية التربة للتآكل في محافظة واسط.

٣.٣.٥ العامل الطبوغرافي (LS)

يجمع العامل الطبوغرافي بين تأثير طول المنحدر (L) وانحداره (S) على عمليات التعرية. وقد استُخلص عامل LS من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ذي الدقة المكانية المناسبة (Michalopoulou et al., 2022).

حُسب انحدار المنحدر وتراكم التدفق باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وحُسب عامل LS باستخدام صيغة RUSLE القياسية الملائمة للتطبيقات القائمة على الشبكة. وتُعد هذه الطريقة فعالة بشكل خاص في المناطق ذات التضاريس المنخفضة إلى المتوسطة، مثل محافظة واسط.

٣.٣.٦ عامل إدارة الغطاء النباتي (C)

يمثل عامل إدارة الغطاء النباتي تأثير الغطاء النباتي واستخدامات الأراضي على معدلات تآكل التربة. ونظرًا للتغير الموسمي الكبير في الغطاء النباتي بين أبرد شهور السنة (يناير) وأحرها (يوليو)، تم تقدير عامل C ديناميكيًّا باستخدام مؤشر اختلاف الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) (Pettorelli et al., 2005).

تمت معالجة صور الأقمار الصناعية لشهري يناير ويوليو لحساب قيم NDVI، والتي تم تحويلها لاحقاً إلى قيم عامل C باستخدام علاقات تجريبية راسخة. يتيح هذا النهج رصد التغيرات الزمنية للغطاء الأرضي، ويعزز دقة تقييم مخاطر التآكل.

٣.٣.٧ عامل ممارسات الدعم (P)

يعكس عامل ممارسات الدعم أثر تدابير صيانة التربة، مثل تحديد خطوط الكنتور، وبناء المدرجات، والزراعة الشريطية. ونظراً لنقص البيانات المكانية التفصيلية حول ممارسات الصيانة في منطقة الدراسة، فقد تم تخصيص قيمة ١ لعامل P، مما يشير إلى غياب تدابير مكافحة التعرية. يُعتمد هذا الافتراض عادةً في دراسات التعرية على المستوى الإقليمي في البيئات التي تفتقر إلى البيانات، وهو ما يضمن اتساق المنهجية.

٣.٣.٨ التكامل والتحليل المكاني

تم إعداد جميع عوامل نموذج RUSLE كطبقات نقطية ذات دقة مكانية ونظام إحداثيات موحدتين. وتم ضرب هذه الطبقات باستخدام الجبر النقطي القائم على نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء خرائط مخاطر تآكل التربة المكانية.

أجري التحليل بشكل منفصل لشهري يناير ويوليو لتقييم التغيرات الموسمية في مخاطر التآكل. وصُنفت خرائط مؤشر تآكل التربة الناتجة إلى فئات مخاطر تآكل تتراوح من منخفضة جداً إلى عالية جداً.

٣.٣.٩ مبررات اختيار النموذج

تم اختيار نموذج RUSLE نظراً لمئاته وقابليته للتكيف وتوافقه مع نظم المعلومات الجغرافية وبيانات الاستشعار عن بُعد، بالإضافة إلى التحقق الواسع النطاق من صحته في البيئات شبه القاحلة. ويضمن التكيف المحلي للمعايير الرئيسية أن يعكس النموذج بدقة الظروف المناخية والبيئية لمحافظة واسط.

٤. النتائج والمناقشة

٤.١ التقييم المكاني والزمني لفئات مخاطر تآكل التربة

كشفت نتائج التقييم المكاني والزمني عن تباين زمني ومكاني ملحوظ في فئات مخاطر تآكل التربة في محافظة واسط خلال فترة الدراسة (١٩٧٩-٢٠٢٢). وأظهر التحليل، الذي أُجري لأبرد شهر (يناير) وأحر شهر (يوليو)، أن خطر تآكل التربة يتأثر بشدة بالظروف المناخية الموسمية، وديناميكيات الغطاء النباتي، والتغيرات في استخدام الأراضي الناتجة عن الأنشطة البشرية.

تُحدد خرائط مخاطر تآكل التربة المصنفة باستمرار ثلاث فئات رئيسية للمخاطر: منخفضة (لا يوجد خطر تآكل)، ومتوسطة، وعالية. ويختلف التوزيع النسبي والمكاني لهذه الفئات اختلافاً كبيراً بين فصلي الشتاء والصيف، وكذلك بين سنوات الدراسة المختلفة.

٤.٢ فئة مخاطر التعرية المنخفضة للتربة (فئة انعدام المخاطر)

تمثل فئة مخاطر التعرية المنخفضة المناطق التي تتميز بسطح تربة مستقر نسبياً، وغطاء نباتي كثيف أو متوسط، وانخفاض قابلية التعرية بفعل الرياح، وانخفاض جريان المياه السطحية. وقد شهدت هذه الفئة تقلبات زمنية ملحوظة خلال فترة الدراسة.

احتلت فئة انعدام المخاطر المرتبة الثانية من حيث المساحة الجغرافية خلال فترة الدراسة.

١. في يناير ١٩٨٤، غطت فئة انعدام المخاطر مساحة ٧٩١٠ كيلومترات مربعة (٤٤.٧٣%)، موزعة على معظم أنحاء المحافظة باستثناء أجزاء من منطقتي العزيزية وبدرة شرقيتين.

٢. في يوليو ١٩٨٤، انخفضت المساحة إلى ٧٠٦٧ كيلومترًا مربعًا (٣٩.٩٦%)، وتركزت على طول ضفاف نهر دجلة.

وشهدت السنوات اللاحقة تقلبات زمنية كبيرة. تم تسجيل أصغر مساحة في يناير ٢٠١٤ بمساحة ٤٥٤٥ كم² (٢٥.٧٠%)، بينما حدثت زيادة ملحوظة في يناير ٢٠٢٢، لتصل إلى ٥٩١٨ كم² (٣٣.٤٦%).

٤.٢.١ فصل الشتاء (يناير)

خلال شهر يناير، تتسع رقعة المناطق ذات المخاطر المنخفضة عمومًا نتيجةً لزيادة رطوبة التربة، وانخفاض درجات الحرارة، وتراجع معدلات التبخر، وتحسن نمو الغطاء النباتي الطبيعي بفعل هطول الأمطار الشتوية. في السنوات الأولى للدراسة، وتحديدًا عامي ١٩٨٤ و ١٩٨٩، كانت هذه المناطق تشغل مساحات واسعة من المحافظة، لا سيما على طول ضفاف نهر دجلة، والسهول الفيضية الوسطى، وأجزاء من القطاعين الشمالي والغربي.

مع ذلك، لوحظ انخفاض تدريجي في مساحة هذه المناطق خلال فترات معينة، لا سيما في أعوام ١٩٩٩ و ٢٠١٤ و ٢٠١٩. ويتزامن هذا الانخفاض مع تراجع تقلبات هطول الأمطار، وظهور موجات جفاف متقطعة، وتزايد الضغوط البشرية كسوء إدارة الأراضي وانخفاض النشاط الزراعي. وسُجل أدنى مستوى لهذه المناطق في عامي ٢٠١٤ و ٢٠١٩، مما يعكس ازدياد هشاشة التربة حتى خلال فصل الشتاء الذي يُعتبر تقليديًا موسمًا واقياً.

بحلول عام ٢٠٢٢، لوحظ تعافٍ جزئي في فئة المخاطر المنخفضة خلال شهر يناير، مما يشير إلى تحسينات محلية في الغطاء النباتي واعتدال المناخ، على الرغم من أن الاستمرارية المكانية لهذه الفئة ظلت مجزأة مقارنة بالعقود السابقة.

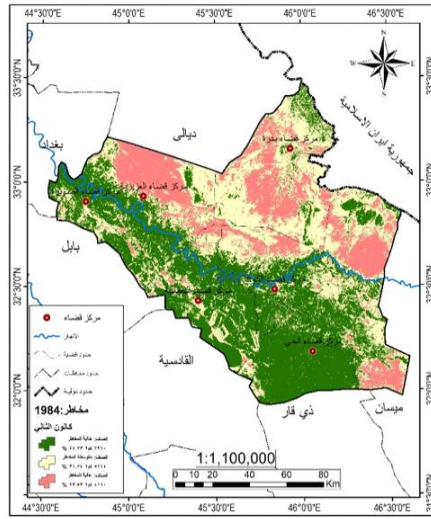
في عام ١٩٨٤، عكست هيمنة فئة المناطق منخفضة المخاطر الظروف المناخية المواتية، وهطول الأمطار الشتوية الكافية، والغطاء النباتي السليم نسبيًا (خريطة رقم ١).

وبحلول عام ١٩٩٤، ورغم استمرار انتشار المناطق منخفضة المخاطر، فقد ظهر تفتت مكاني طفيف، مما يشير إلى بوادر مبكرة لضغط الأراضي وانكشاف التربة (خريطة رقم ٢).

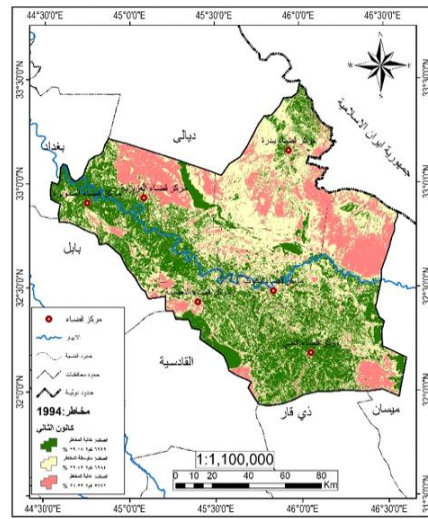
وفي عام ٢٠٠٩، استمرت فئة المناطق منخفضة المخاطر بشكل رئيسي في الأراضي الزراعية المجاورة للأنهار والمُدارة جيدًا، بينما أظهرت المناطق الطرفية هشاشة تدرجية (خريطة رقم ٣)

وبشكل عام، عززت الظروف الشتوية استقرار التربة بشكل ملحوظ؛ ومع ذلك، يظهر اتجاه تنازلي طويل الأمد في الاستمرارية المكانية.

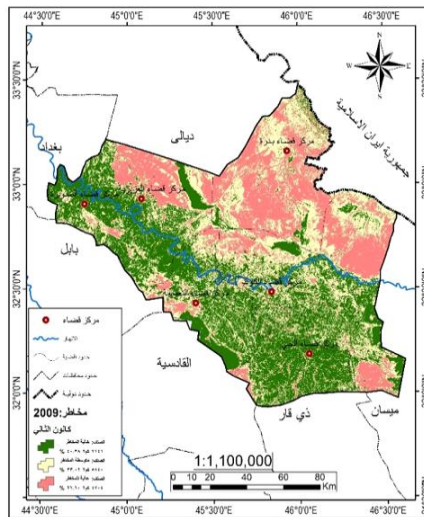
خريطة رقم (2)



خريطة رقم (1)



خريطة رقم (3)



أصناف مؤشر مخاطر انجراف التربة للموسم البارد الرطب لشهر يناير في محافظة واسط لعام (٢٠٠٩، ١٩٩٤، ١٩٨٤)

٤.٢.٢ فصل الصيف (يوليو)

على النقيض من ذلك، يشهد شهر يوليو انكماشاً ملحوظاً في فئة التربة منخفضة المخاطر خلال معظم فترة الدراسة. فارتفاع درجات الحرارة، ومعدلات التبخر الشديدة، وجفاف التربة، وقلة الغطاء النباتي، كلها عوامل تُقلل بشكل كبير من استقرار التربة. وتقتصر المناطق منخفضة المخاطر إلى حد كبير على المناطق المجاورة لنهر دجلة والأراضي الزراعية المروية.

ويبرز الانخفاض الحاد في عامي ٢٠١٩ و ٢٠٢٢ تزايد حدة تدهور التربة خلال فصل الصيف، حيث سُجلت أدنى النسب المساحية في نهاية فترة الدراسة. ويؤكد هذا الاتجاه على التأثير المتزايد للظواهر المناخية المتطرفة وتناقص توافر المياه على مرونة التربة.

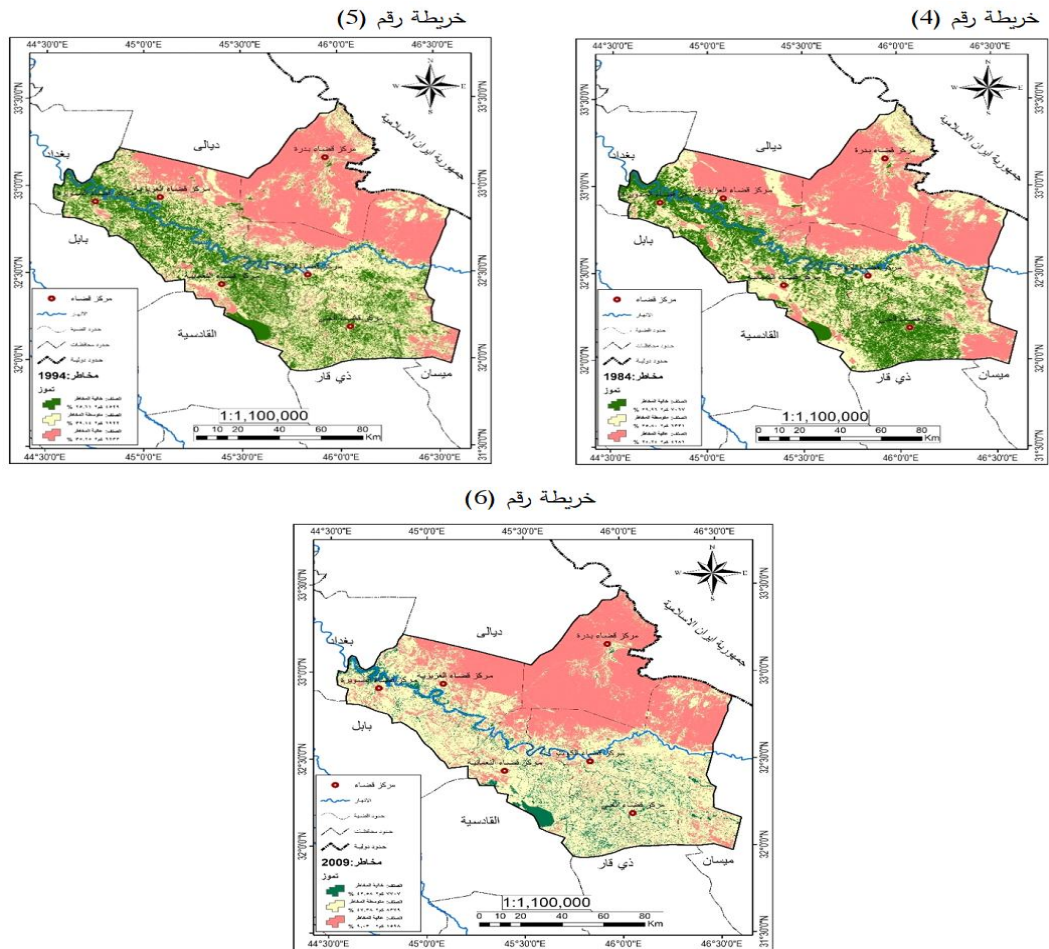
تُظهر خرائط شهر يوليو للأعوام ١٩٨٤ و ١٩٩٤ و ٢٠٠٩ المناطق ذات المخاطر المنخفضة خلال فصل الصيف.

في عام ١٩٨٤، كانت المناطق ذات المخاطر المنخفضة لا تزال ملحوظة نسبياً، ومقتصرة بشكل رئيسي على الأراضي المروية وضياف الأنهار (خريطة رقم ٤).

وبحلول عام ١٩٩٤، انخفض النطاق المكاني لهذه المناطق بشكل ملحوظ نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض الغطاء النباتي (خريطة رقم ٥).

وفي عام ٢٠٠٩، أصبحت المناطق ذات المخاطر المنخفضة محدودة للغاية ومجزأة، مما يشير إلى ضعف قدرتها على الصمود في ظل ظروف الصيف القاسية (خريطة رقم ٦).

ويبين تحليل فصل الصيف أن مخاطر التعرية المنخفضة أصبحت غير مستدامة بشكل متزايد دون ري مستمر وصيانة للغطاء النباتي.



أصناف مؤشر مخاطر انجراف التربة للموسم الحار الجاف لشهر يوليو في محافظة واسط لعام (٢٠٠٩، ١٩٩٤، ١٩٨٤)

٤.٣ فئة مخاطر التعرية المتوسطة للتربة

تُعدّ فئة مخاطر التعرية المتوسطة الأكثر اتساعاً وتغيّراً ديناميكياً خلال فترة الدراسة بأكملها. وهي تمثل المناطق الانتقالية التي تتأثر فيها التربة بشكل متوسط بعوامل التعرية، ولكنها تحتفظ بمقاومة جزئية بفضل الغطاء النباتي المتقطع والظروف الطبوغرافية الملائمة.

مثّلت فئة المخاطر المتوسطة أكبر مساحة جغرافية خلال فترة الدراسة.

في يناير ١٩٨٤، غطت هذه الفئة ٦,٦١٤ كيلومتراً مربعاً (٣١.٧٤%).

بحلول يوليو ٢٠١٩، بلغت أقصى مساحة لها وهي ٩,٢٢٠ كيلومتراً مربعاً (٥٢.١٣%).

شهدت هذه الفئة توسعاً واضحاً خلال فصل الصيف نتيجة لتدهور الغطاء النباتي وزيادة انكشاف التربة. وقد سيطرت هذه الفئة جغرافياً على الأجزاء الوسطى والشمالية الشرقية والشمالية الغربية من المحافظة.

٤.٣.١ فصل الشتاء (يناير)

خلال أشهر الشتاء، تهيمن المناطق متوسطة الخطورة على مساحات واسعة من المحافظة، لا سيما في المناطق الشمالية الشرقية والوسطى والجنوبية الشرقية. ويشير اتساع هذه الفئة على مدى عدة سنوات مثل (٢٠٠٤)، و(٢٠١٤ و ٢٠١٩) إلى أنه على الرغم من أن هطول الأمطار الشتوية يعزز رطوبة التربة، إلا أنه قد يزيد أيضاً من جريان المياه السطحية في المناطق ذات البنية الترايبية الضعيفة أو التي تعاني من سوء إدارة الأراضي.

ويعكس التزايد المطرد في المناطق متوسطة الخطورة مع مرور الوقت تدهوراً تدريجياً في خصائص التربة، حيث تتحول الأراضي التي كانت مستقرة سابقاً إلى مناطق معرضة للتآكل. ويشير هذا التحول إلى التأثيرات التراكمية للتغيرات المناخية والضغط الناجمة عن الأنشطة البشرية.

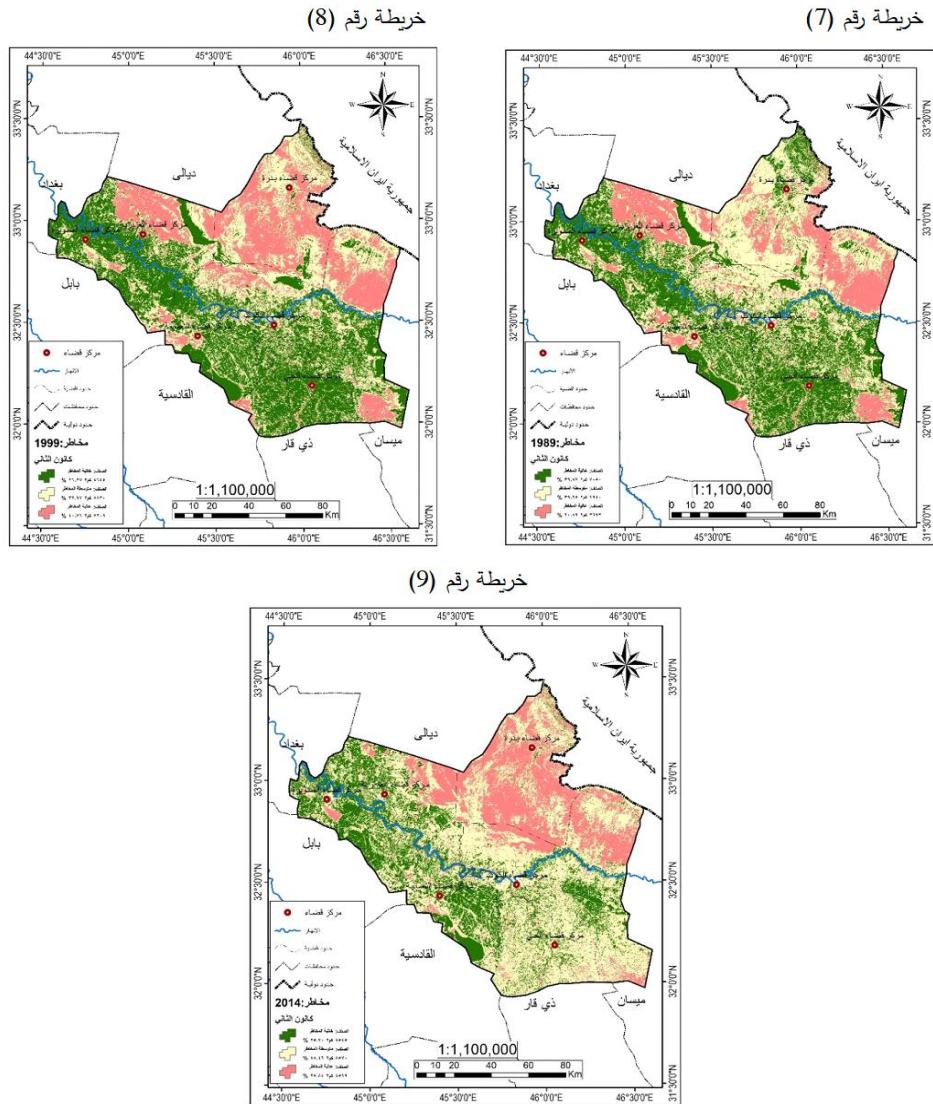
تُظهر خرائط شهر يناير للأعوام ١٩٨٩ و ١٩٩٩ و ٢٠١٤ خطر التعرية المتوسط خلال موسم البرد والأمطار.

في عام ١٩٨٩، ظهرت مناطق ذات خطر متوسط بشكل متقطع بالقرب من الأراضي المزروعة ومسارات تصريف المياه (خريطة رقم ٧).

وبحلول عام ١٩٩٩، اتسع نطاق هذه المناطق بشكل ملحوظ في القطاعات الوسطى والشرقية، مما يعكس ازدياد اضطراب الأراضي وتدهور جودة بنية التربة (خريطة رقم ٨).

وفي عام ٢٠١٤، أصبحت المناطق ذات الخطر المتوسط أكثر ترابطاً مكانياً، مما يشير إلى انخفاض الحماية الشتوية على الرغم من وفرة الأمطار (خريطة رقم ٩).

تشير هذه الأنماط إلى أن الظروف المناخية الشتوية لم تعد كافية للتخفيف الكامل من مخاطر التعرية في ظل تزايد الضغط البشري.



أصناف مؤشر مخاطر انجراف التربة للموسم البارد الرطب لشهر يناير في محافظة واسط لعام (٢٠١٤، ١٩٩٩، ١٩٨٩)

٤.٣.٢ فصل الصيف (يوليو)

في شهر يوليو، تُصبح فئة التعرية المتوسطة هي الفئة السائدة، وغالبًا ما تتجاوز ٥٠% من إجمالي مساحة الدراسة في السنوات الأخيرة. يُساهم غياب الأمطار، وارتفاع درجات الحرارة، ونشاط الرياح الشديد في توسع هذه الفئة عبر الأراضي الزراعية، والحقول المهجورة، والتربة الهامشية.

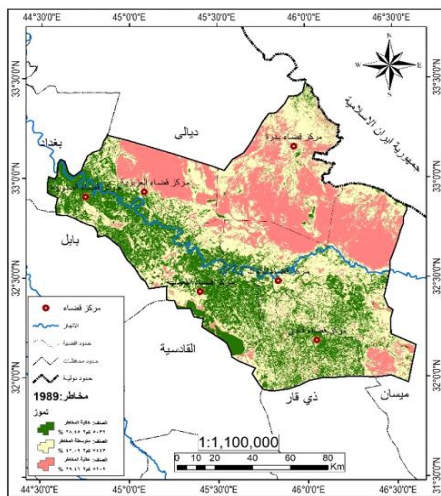
يشير استمرار هذه الفئة ونموها خلال أشهر الصيف إلى أن جزءًا كبيرًا من محافظة واسط يقترب من عتبة حرجة لتدهور التربة، حيث قد تؤدي اضطرابات بيئية طفيفة إلى عمليات تعرية شديدة.

تُمثل خرائط شهر يوليو للأعوام ١٩٨٩ و ١٩٩٩ و ٢٠١٤ فئة المخاطر المتوسطة خلال فصل الصيف. في عام ١٩٨٩، اتسعت رقعة المناطق ذات المخاطر المتوسطة مقارنةً بالسنوات السابقة، لا سيما في المناطق الزراعية المستصلحة (خريطة رقم ١٠).

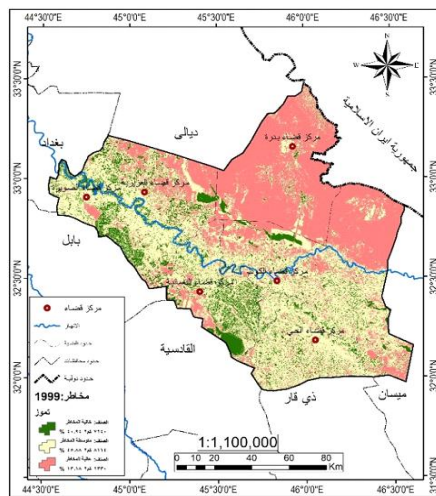
وبحلول عام ١٩٩٩، سيطرت هذه الفئة على أجزاء كبيرة من المحافظة، مما يشير إلى هشاشة التربة على نطاق واسع (خريطة رقم ١١).

وفي عام ٢٠١٤، استمرت المناطق ذات المخاطر المتوسطة في الانتشار على نطاق واسع، وغالبًا ما كانت بمثابة مؤشر على مناطق التعرية العالية الخطورة (خريطة رقم ١٢). ويبرز استمرار خطر التعرية المتوسطة خلال فصل الصيف تراكم عمليات تدهور الأراضي.

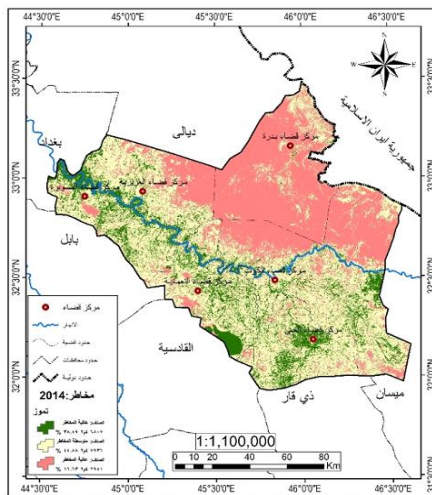
خريطة رقم (11)



خريطة رقم (10)



خريطة رقم (12)

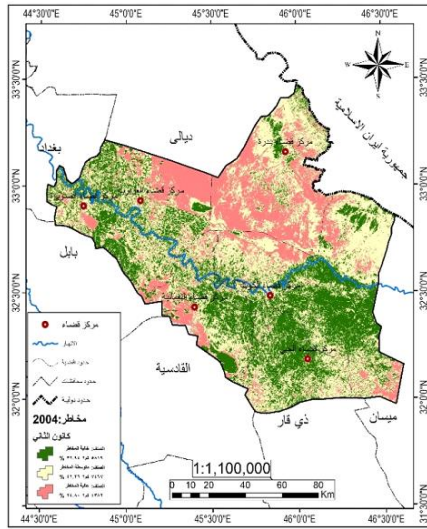


أصناف مؤشر مخاطر انجراف التربة للموسم الحار الجاف لشهر يوليو في محافظة واسط لعام (١٩٨٩، ١٩٩٩، ٢٠١٤) فئة ٤.٤ خطر التعرية العالية للتربة

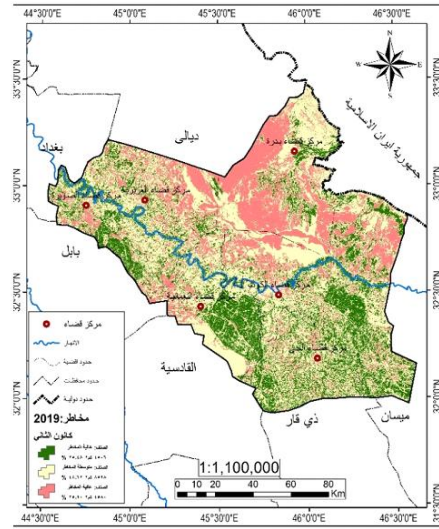
تمثل فئة خطر التعرية العالية المناطق المعرضة بشدة لفقدان التربة، وتتميز بأسطح جرداء أو قليلة الغطاء النباتي، وتربة رملية أو هشة، وتعرضها الشديد للرياح، واضطرابات البشرية المكثفة. شغلت هذه الفئة باستمرار أصغر مساحة، لكنها أظهرت تباينًا موسميًا وزمنيًا ملحوظًا.

١. في يناير ١٩٨٤، غطت مساحة ٤١٦٠ كيلومترًا مربعًا (٢٣.٥٣%).
 ٢. سُجلت أقصى مساحة صيفية في يوليو ١٩٩٤، حيث بلغت ٦٢٣٣ كيلومترًا مربعًا (٣٥.٢٥%).
 ٣. حدث انخفاض ملحوظ في يوليو ٢٠٠٩، حيث وصلت المساحة إلى ١٥٩٨ كيلومترًا مربعًا (٩.٠٣%).
- تركزت المناطق عالية الخطورة بشكل رئيسي في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية من المحافظة، لا سيما في المناطق ذات الغطاء النباتي المتناثر وبنية التربة الضعيفة.
- ٤.٤.١ فصل الشتاء (يناير)**
- على الرغم من أن الظروف الشتوية تُخفف عمومًا من خطر التعرية، إلا أن عدة سنوات شهدت توسعًا ملحوظًا في المناطق عالية الخطورة، لا سيما في عامي ١٩٩٩ و ٢٠١٩. وتتركز هذه المناطق بشكل أساسي في المناطق الحدودية الشرقية، والقطاعات الجنوبية، وأجزاء من المنطقة الشمالية الغربية (ينظر خريطة ٣،٥).
- يشير ارتفاع خطر التعرية خلال فصل الشتاء إلى أن الحماية المناخية وحدها غير كافية لمواجهة تدهور التربة على المدى الطويل في المناطق التي انخفضت فيها مساحة الغطاء الأرضي بشكل كبير. تُظهر خرائط شهر يناير للأعوام ٢٠٠٤ و ٢٠١٩ و ٢٠٢٢ ظروف الشتاء عالية الخطورة. في عام ٢٠٠٤، كانت المناطق عالية الخطورة محدودة ولكنها واضحة المعالم في الأراضي الهامشية والمناطق ذات الصرف الضعيف (خريطة رقم ١٣).
- وبحلول عام ٢٠١٩، اتسعت هذه المناطق بشكل ملحوظ، حتى خلال موسم الأمطار، مما يشير إلى تراجع مرونة التربة (خريطة رقم ١٤).
- في عام ٢٠٢٢، أصبحت المناطق عالية الخطورة أكثر امتدادًا مكانيًا، لا سيما في القطاعات الشرقية والجنوبية (خريطة رقم ١٥).
- يؤكد وجود خطر تآكل مرتفع خلال فصل الشتاء على خطورة تدهور الأراضي على المدى الطويل.

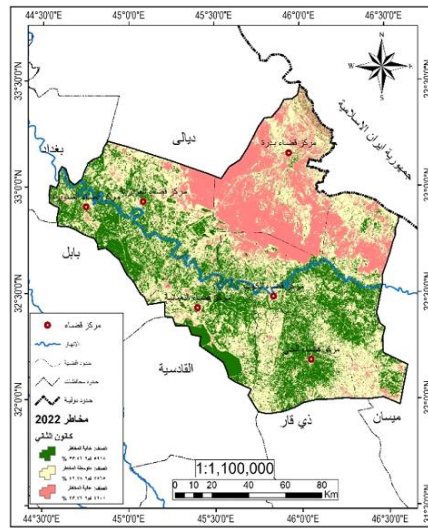
خريطة رقم (14)



خريطة رقم (13)



خريطة رقم (15)



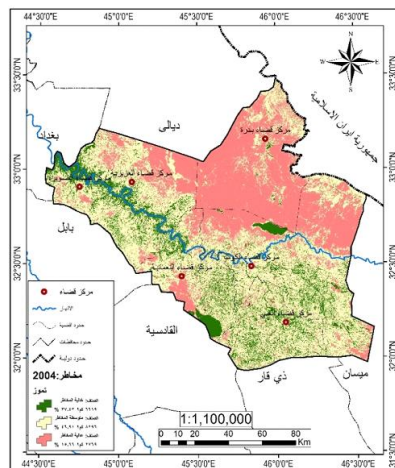
أصناف مؤشر مخاطر انجراف التربة للموسم البارد الرطب لشهر يناير في محافظة واسط لعام (٢٠١٩، ٢٠٠٤، ٢٠٢٢)

٤.٤.٢ فصل الصيف (يوليو)

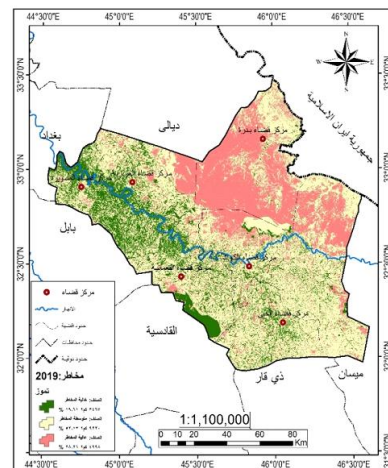
يكشف فصل الصيف عن أخطر ظروف تآكل التربة. وتتوسع المناطق المعرضة للخطر بشكل ملحوظ خلال شهر يوليو، لا سيما في أعوام مثل ١٩٩٤ و ٢٠١٩ و ٢٠٢٢. وتشمل هذه المناطق أجزاءً واسعة من المناطق الجنوبية والشرقية والوسطى للمحافظة.

ويعكس هذا التزايد الملحوظ في فصل الصيف التأثيرات المشتركة لدرجات الحرارة القصوى، والجفاف الممتد، وتآكل التربة بفعل الرياح، وانخفاض الغطاء النباتي. ويشير استمرار امتداد المناطق المعرضة للخطر في السنوات الأخيرة إلى تحول نحو حالات تدهور دائم للأراضي. تُلاحظ أخطر حالات التعرية في خرائط شهر يوليو للأعوام ٢٠٠٤ و ٢٠١٩ و ٢٠٢٢. في عام ٢٠٠٤، امتدت المناطق المعرضة لخطر التعرية لتشمل الأجزاء الشمالية والشرقية من محافظة واسط (خريطة رقم ١٦). وبحلول عام ٢٠١٩، اشتدت هذه المناطق وتداخلت، لتغطي أجزاءً كبيرة من المناطق الوسطى والجنوبية (خريطة رقم ١٧). وفي عام ٢٠٢٢، بلغت مناطق التعرية المعرضة لخطر التعرية أقصى امتداد لها، مما يعكس الإجهاد المناخي الشديد، والجفاف الممتد، وانخفاض الغطاء النباتي (خريطة رقم ١٨). وتؤكد هذه النتائج أن ظروف فصل الصيف هي العامل الرئيسي وراء التعرية الشديدة للتربة.

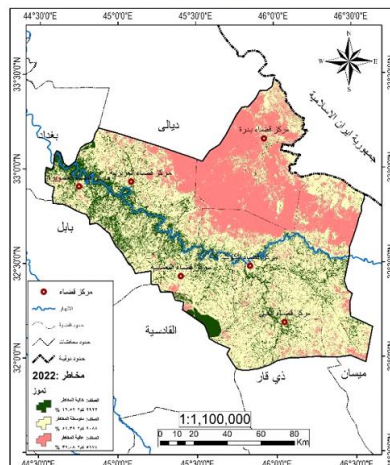
خريطة رقم (17)



خريطة رقم (16)



خريطة رقم (18)



أصناف مؤشر مخاطر انجراف التربة للموسم الحار الجاف لشهر يوليو في محافظة واسط لعام (٢٠٢٢، ٢٠١٩، ٢٠٠٤)

٤.٥ الاتجاهات الزمنية والآثار البيئية

تشير النتائج عمومًا إلى اتجاه تصاعدي طويل الأمد في قابلية التربة للتآكل، لا سيما خلال أشهر الصيف. وبينما لا تزال ظروف الشتاء توفر بعض الحماية، إلا أن دورها الوقائي قد تضاعف بمرور الوقت. ويبرز التحول التدريجي من فئات المخاطر المنخفضة إلى المتوسطة والعالية تزايد هشاشة النظام التربوي في محافظة واسط.

وتؤكد هذه النتائج على الحاجة الملحة إلى استراتيجيات متكاملة لحفظ التربة، تشمل الإدارة المستدامة للأراضي، وإعادة تأهيل الغطاء النباتي، وتحسين ممارسات الري، والتخطيط الزراعي المتكيف مع تغير المناخ.

٤.٦ الأهمية العلمية للنتائج

استمرارية خرائط استمرار تآكل التربة المولدة بإطار مكاني وزمني متينًا لمناطق تينغو التابعة لها. وتتقدم بداية موسمية شهر يناير ويوليو رؤى قيمة حول دور الظواهر المناخية التجددية في تسريع تدهور التربة. لذا، على ذلك، تُسهم هذه الدراسة في فائدة سياسات الإدارة الشابان، وتدعم العمل على الحد من تآكل الرطوبة في ظل الظروف المناخية المتغيرة.

٥. الاستنتاجات

تقدم هذه الدراسة تقييمًا مكانيًا وزمانيًا شاملاً لمخاطر تآكل التربة في محافظة واسط بالعراق، على مدى فترة طويلة تمتد من عام ١٩٧٩ إلى عام ٢٠٢٢. ومن خلال دمج نموذج RUSLE مع نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بُعد، نجح البحث في تحديد كمية مخاطر تآكل التربة ورسم خرائط لها خلال موسم الأمطار (يناير) وموسم الجفاف (يوليو)، مما أتاح تقييمًا تفصيليًا للديناميكيات الموسمية والزمنية.

وتُظهر النتائج بوضوح أن مخاطر تآكل التربة في محافظة واسط تعتمد بشكل كبير على الموسم. إذ يُظهر موسم الجفاف (يوليو) باستمرار مخاطر تآكل أعلى بكثير مقارنةً بموسم الأمطار (يناير)، ويعود ذلك أساسًا إلى درجات الحرارة القصوى، وظروف الجفاف الممتدة، وانخفاض الغطاء النباتي، واشتداد عمليات التعرية بفعل الرياح والسطح. في المقابل، تُقلل ظروف الشتاء عمومًا من مخاطر التآكل من خلال تعزيز رطوبة التربة، وزيادة كثافة الغطاء النباتي، وخفض معدلات التبخر؛ إلا أن تأثيرها الوقائي قد ضعف تدريجيًا مع مرور الوقت.

من أهم نتائج هذه الدراسة التحول الملحوظ طويل الأمد في فئات مخاطر التعرية. فقد تراجعت هيمنة فئة مخاطر التعرية المنخفضة بشكل مطرد، بينما امتدت فئات مخاطر التعرية المتوسطة والعالية على مساحات واسعة من المحافظة. ويتضح هذا الاتجاه جليًا منذ أواخر التسعينيات، ويبلغ ذروته في السنوات الأخيرة (٢٠١٩ و ٢٠٢٢)، مما يشير إلى زيادة مقلقة في حدة تدهور الأراضي.

ويُبرز ظهور وانتشار مناطق مخاطر التعرية العالية، حتى خلال فصل الشتاء، فقداً حرماً لمرونة التربة وقدرتها على التعافي. وتعكس هذه المناطق الآثار التراكمية لتغير المناخ، وممارسات استخدام الأراضي غير المستدامة، وتدهور الغطاء النباتي، وعدم كفاية تدابير صون التربة. كما يشير استمرار مناطق مخاطر التعرية المتوسطة إلى أن أجزاءً كبيرة من المنطقة تقترب من عتبات التدهور غير القابل للإصلاح إذا استمرت الاتجاهات الحالية.

من الناحية المنهجية، تؤكد الدراسة ملاءمة نموذج RUSLE وقوته في تقييم مخاطر تآكل التربة في البيئات شبه القاحلة، وذلك عند دعمه بمعايير وبيانات مكانية مُكيّفة محلياً. وقد أثبتت المقارنة الموسمية بين شهري يناير ويوليو أهميتها البالغة في رصد الظواهر المناخية المتطرفة وفهم تأثيراتها المتباينة على عمليات تآكل التربة.

لنتائج هذا البحث آثار عملية وعلمية هامة. إذ تُوفر خرائط مخاطر تآكل التربة المُنتجة أداة فعالة لدعم اتخاذ القرارات في تحديد بؤر التآكل وتحديد أولويات مناطق التدخل. ويمكن لهذه النتائج أن تُسهم بشكل مباشر في وضع استراتيجيات الإدارة المستدامة للأراضي، وتخطيط صون التربة، وصياغة السياسات الزراعية، وتدابير التكيف مع تغير المناخ في محافظة واسط.

وختاماً، فإنه بدون تطبيق ممارسات متكاملة لصون التربة - كإعادة تأهيل الغطاء النباتي، والإدارة المُثلى للري، والحد من اضطراب الأراضي، والتخطيط الزراعي المُتكيف مع المناخ - من المُرجح أن يتفاقم تآكل التربة في محافظة واسط. تؤكد هذه الدراسة على الحاجة الملحة لجهود الإدارة البيئية المنسقة لحماية موارد التربة وضمان استدامة الأراضي على المدى الطويل في المناطق شبه القاحلة في العراق.

المصادر

1. Abdelsamie, E. A., Abdellatif, M. A., Hassan, F. O., El Baroudy, A. A., Mohamed, E. S., Kucher, D. E., & Shokr, M. S. (2022). Integration of RUSLE model, remote sensing and GIS techniques for assessing soil erosion hazards in arid zones. *Agriculture*, 13(1), 35.
2. Bourbonnais, M. (2022). Applications of geographic information systems, spatial analysis, and remote sensing in environmental impact assessment. In *Routledge handbook of environmental impact assessment* (pp. 201–220). Routledge.
3. Delgado, D., Sadaoui, M., Ludwig, W., Méndez, W., Ortiz-Hernández, E., & Farfán-Intriago, P. (2025). Assessment of soil erosion by RUSLE in the Ecuadorian basins (2001– 2020) based on GIS and high-resolution satellite data: Main drivers and changes on soil erosion. *Geomorphology*, 469, 109515.
4. Elhag, M., Hamza, M. H., Ouerghi, S., Elsheikh, R., Zhang, L., & Diani, K. (2025). From Data to Action: Rainfall Factor-Based Soil

- Erosion Assessment in Arid Regions Through Integrated Geospatial Modeling. *Water*, 17(11), 1692.
5. Issaka, S., & Ashraf, M. A. (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 1–11.
 6. Kouli, M., Soupios, 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.
 7. Lal, R. (1990). Soil erosion and land degradation: the global risks. In *Advances in Soil Science: Soil Degradation Volume 11* (pp. 129–172). Springer.
 8. Michalopoulou, M., Depountis, N., Nikolakopoulos, K., & Boumpoulis, V. (2022). The significance of digital elevation models in the calculation of LS factor and soil erosion. *Land*, 11(9), 1592.
 9. Pandey, R. P., & Ramasastri, K. S. (2001). Relationship between the common climatic parameters and average drought frequency. *Hydrological Processes*, 15(6), 1019–1032.
 10. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503–510.
 11. Razzaq, S. T., & Abbood, M. N. (2025). Temporal and Spatial Dynamics of Soil Salinity in Wasit Governorate: A Remote Sensing and GIS Analysis. *ANP Journal of Social Science and Humanities*, 6(1), 94–103.
 12. Renard, K. G., Foster, G. R., Yoder, D. C., & McCool, D. K. (1994). RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(3), 213–220.
 13. Renard, K. G., Laflen, J. M., Foster, G. R., & McCool, D. K. (2017). The revised universal soil loss equation. In *Soil erosion research methods* (pp. 105–126). Routledge.
 14. Römken, M. J. M., Young, R. A., Poesen, J. W. A., McCool, D. K., El-Swaify, S. A., & Bradford, J. M. (1997). Soil erodibility factor (K). *Compilers* In: Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC, Editors. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington, DC, USA: Agric. HB, 703, 65–99.
 15. Senanayake, S., Pradhan, B., Huete, A., & Brennan, J. (2020).

- A review on assessing and mapping soil erosion hazard using geoinformatics technology for farming system management. *Remote Sensing*, 12(24), 4063.
16. Singh, M., & Hartsch, K. (2019). Basics of soil erosion. In *Watershed hydrology, management and modeling* (pp. 1–61). CRC Press.
17. Yakhlaf, Y. Z., & Omer, A. A. (2025). Deriving contour lines from digital elevation models using Geographic Information Systems (ArcGIS software). *Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)*, 19–27.
١٨. القرشي، س. ت. ر.، & الكناني، أ. د. م. ن. ع. (٢٠٢٤). استخدام مؤشر تعرية التربة BSI لأصناف الموسم الحار الجاف لشهر تموز في محافظة واسط للمدة (١٩٨٤-٢٠٢٢). *Journal of Education College Wasit University*, 56(2), 323–334.