

التحليل الجغرافي للتباين المكاني والزمني للتعرية الريحية والمطرية في العراق باستخدام

تقنيات الذكاء الاصطناعي

م.م. مروة علي طاهر

الجامعة العراقية/ كلية الآداب/ قسم الجغرافية

Geographical Analysis of the Spatiotemporal Variability of Wind and Rain Erosion in Iraq Using Artificial Intelligence Techniques

Assistant Lecturer: Marwa Ali Taher

marwah.joori@aliraqia.edu.iq

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التباين المكاني والزمني للتعرية الريحية والمطرية في العراق للمدة (١٩٩٣-٢٠٢٢) باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS). اعتمدت الدراسة على بيانات مناخية طويلة الأمد لأربع محطات تمثل الأقاليم المناخية الرئيسية (الموصل، بغداد، الرطبة، البصرة)، واستُخدمت معادلة فورنيه-أرنولس (FAI) لتقدير شدة التعرية المطرية، ومعادلة شيبيل (C) لتقدير القابلية المناخية للتعرية الريحية، وتم دمجها في نموذج الحساسية المركب (Total Erosion Sensitivity Index – TESI) الذي يدمج تأثير الانحدار والغطاء النباتي المعياري (NDVI) باستخدام طريقة الأوزان الهرمية (AHP) أظهرت النتائج أن التعرية المطرية تتركز في الشمال، وبلغت أعلى قيمها في محطة الموصل ($R = 1.0^*$)، في حين تسود التعرية الريحية في الجنوب والغرب بحدود ($W = 1.0^*$) في البصرة والرطبة). تراوحت قيم مؤشر الحساسية المركب (TESI) بين 0.36-0.55، ما يشير إلى سيادة الحساسية المتوسطة-العالية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة. كما حسنت خوارزميات الذكاء الاصطناعي (Random Forest K-Means)، دقة النمذجة المكانية للتعرية بنسبة 18% مقارنة بالطرق الإحصائية التقليدية. تمثل هذه الدراسة إضافة علمية جديدة في الجغرافيا التطبيقية العراقية من خلال دمج المعادلات المناخية الكلاسيكية مع النمذجة الذكية لتوليد خرائط كمية لتوزيع التعرية المائية والريحية وتحديد نطاقات الخطر الجيومورفولوجي، مما يساهم في دعم سياسات إدارة الأراضي ومكافحة التصحر. الكلمات المفتاحية: التعرية المطرية، التعرية الريحية، الذكاء الاصطناعي، TESI، GIS، AHP، Fournier-Arnould، Chepil.

Abstract

This study aims to analyze the spatiotemporal variability of wind and rainfall erosion in Iraq during the period 1993–2022, by integrating artificial intelligence (AI) techniques within a Geographic Information System (GIS) framework. Long-term climatic data from four representative stations—Mosul, Baghdad, Rutbah, and Basra—were used to capture the regional diversity of erosion processes. The Fournier–Arnould Index (FAI) was applied to estimate rainfall erosion intensity, while the Chepil climatic factor (C) was employed to evaluate wind erosion potential. Both indices were integrated into the Total Erosion Sensitivity Index (TESI), which combines the effects of rainfall, wind, slope, and vegetation cover (NDVI) using the Analytic Hierarchy Process (AHP) weighting method. Results revealed that rainfall erosion predominates in northern Iraq, reaching its highest intensity in Mosul ($R = 1.0^*$), whereas wind erosion dominates in the southern and western regions, particularly in Basra and Rutbah ($W = 1.0^*$). The composite TESI values ranged between 0.36 and 0.55, indicating moderate to high sensitivity across arid and semi-arid zones. The integration of AI algorithms—Random Forest and K-Means—enhanced the spatial modeling accuracy by approximately 18% compared with traditional statistical approaches. This research provides a novel contribution to applied geomorphology in Iraq by merging classical climatic erosion equations with intelligent spatial modeling, producing quantitative maps that identify high-risk geomorphological zones. The findings support sustainable land management and desertification control

strategies under changing climatic conditions. Keywords: Rainfall erosion, Wind erosion, Artificial intelligence, TESI, GIS, AHP, Fournier–Arnould, Chepil.

المقدمة

تُعدّ التعرية المطرية والريحية من العمليات الجيومورفولوجية الرئيسية المسؤولة عن تشكيل سطح الأرض وتدهور التربة، إذ تؤدي إلى نحت المواد السطحية ونقلها وترسيبها تحت تأثير العوامل المناخية والبيئية. فالتعرية المطرية تنتج عن اصطدام قطرات المطر بالتربة مسببة تفكك جزيئاتها وانجرافها مع الجريان السطحي، وهي من أبرز مظاهر تدهور الأراضي في البيئات شبه الجافة والجافة (المالكي، ٢٠٠٦؛ رجه، ٢٠١٥). أما التعرية الريحية فتتسبب من قدرة الرياح على إزالة ونقل الجزيئات الدقيقة للتربة عبر الزحف أو القفز أو التعليق، وتشتد في المناطق ذات الحرارة العالية وضعف الغطاء النباتي وجفاف التربة (الخفاجي، ٢٠١٠ والزيدي، ٢٠٢٢). يمتاز العراق بتباين جيولوجي ومناخي واضح؛ إذ تتوزع تضاريسه بين الجبال الشمالية المكونة من الصخور الرسوبية الحديثة، والمنطقة المتموجة الوسطى ذات التكوينات الجيرية، والسهل الرسوبي الجنوبي الغني بالرواسب الطينية، فضلاً عن الهضبة الغربية التي تسودها الصخور الجيرية والرملية (الزاملي، ١٩٩٨؛ داود، ٢٠٠٢). ويتصف المناخ بالطابع القاري الجاف، حيث تتجاوز درجات الحرارة صيفاً (45°C) وتتنخفض شتاءً إلى ما دون (5°C)، فيما تتناقص كمية الأمطار تدريجياً نحو الجنوب والغرب (كربل وولي، ١٩٧٨؛ محمد، ٢٠٠٠). كما يقتصر الغطاء النباتي الطبيعي على الشمال الرطب، ويتناقص جنوباً بفعل الجفاف والرعي الجائر، بينما تتباين الترب بين الرملية في الهضبة الغربية والطينية في السهل الرسوبي (شريف والشلش، ١٩٨٥؛ الغريزي، ٢٠٠١). وأوضحت الدراسات العراقية والعربية أن التعرية تُعدّ عاملاً فاعلاً في التصحر وتدهور الإنتاج الزراعي؛ إذ أشار المالكي (٢٠٠٦) إلى أن التعرية المائية في المناطق الجبلية تؤدي إلى فقدان التربة المنتجة، في حين بيّن الخفاجي (٢٠١٠) أن التعرية الريحية في الهضبة الغربية ترتبط مباشرة بشدة الرياح وضعف الغطاء النباتي. كما بيّن غريبي (٢٠١٢) زيادة نشاط التعرية في الرطبة خلال العقدين الأخيرين، وأكد الزيدي (٢٠٢٢) ارتباطها بارتفاع درجات الحرارة والجفاف، فيما أشار الجبوري (٢٠٢٢) إلى أن التغير المناخي أدى إلى توسع الأراضي المتصحرة في إقليم الجزيرة. ورغم تعدد هذه الدراسات، فإن أغلبها اقتصر على التحليل الوصفي والمعادلات التقليدية دون توظيف تقنيات التحليل الذكي. من هنا تبرز أهمية هذه الدراسة في تحليل التباين المكاني والزمني للتعرية الريحية والمطرية في العراق باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي (Random Forest K-Means) وضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، عبر تطبيق معادلات فورنييه-أرنولس وشيبل على بيانات مناخية طويلة الأمد (١٩٩٣-٢٠٢٢). إن هذا الدمج بين التحليل الجغرافي والذكاء الاصطناعي يهدف إلى تحسين دقة النمذجة المكانية للتعرية وتوفير قاعدة معرفية تدعم إدارة الأراضي ومكافحة التصحر في البيئات الجافة العراقية.

مشكلة البحث

تُعدّ التعرية الريحية والمطرية من أبرز مظاهر تدهور التربة والبيئة السطحية في العراق، غير أن أغلب الدراسات السابقة اقتصرت على تطبيق المعادلات التقليدية في تقدير شدتها وتوزيعها المكاني دون توظيف تقنيات التحليل المكاني الذكي التي تُسهم في تحسين التنبؤ بالمناطق الأكثر هشاشة. ومن هنا تتحدد مشكلة البحث في التساؤلات الآتية:

١. ما مدى التباين المكاني والزمني للتعرية الريحية والمطرية في العراق؟
٢. كيف يمكن توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي لرفع دقة النمذجة الجغرافية للتعرية؟
٣. وأي من الأقاليم المناخية العراقية تُظهر أعلى قابلية للتعرية خلال المدة (١٩٩٣-٢٠٢٢)؟

فرضية البحث

تفترض الدراسة أن شدة التعرية الريحية والمطرية تتباين مكانياً وزمانياً تبعاً لاختلاف عناصر المناخ الرئيسية (الأمطار، الرياح، الحرارة، الرطوبة، والتبخّر)، وأن دمج الذكاء الاصطناعي مع التحليل الجغرافي المكاني يعزز من دقة تقدير القابلية المناخية للتعرية بدرجة تفوق الطرق الإحصائية التقليدية. كما تُشير الفرضية إلى أن الأقاليم الجنوبية والغربية تتميز بأعلى مستويات التعرية الريحية، في حين تسود التعرية المطرية في الأقاليم الشمالية والشمالية الشرقية ذات الأمطار المرتفعة والانحدارات الحادة.

هدف البحث

يهدف البحث إلى تحليل وتقييم التباين المكاني والزمني للتعرية الريحية والمطرية في العراق باستخدام معادلات فورنييه-أرنولس وشيبل، ودمج نتائجها مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي (Random Forest K-Means) وضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بهدف إنتاج

خرائط مكانية ذكية لتوزيع شدة التعرية، وتحديد المناطق ذات القابلية العالية للانجراف المناخي، ووضع الأسس العلمية لمراقبة ومكافحة تدهور الأراضي.

أهمية البحث

تكمن أهمية هذه الدراسة في كونها من أوائل المحاولات في الجغرافيا التطبيقية العراقية التي توظف الذكاء الاصطناعي في تحليل ظاهرة التعرية الريحية والمطرية. فهي تتيح نموذجاً متكاملًا يجمع بين التحليل الجغرافي الكمي والنمذجة الذكية للتنبؤ بالمناطق المعرضة للانجراف، ما يساهم في دعم خطط التنمية الزراعية والإدارة المستدامة للأراضي ومشروعات مكافحة التصحر. كما تُبرز نتائجها إمكانات الذكاء الاصطناعي في توسيع آفاق البحث الجغرافي المناخي في البيئات الجافة وشبه الجافة.

منهج البحث

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي المكاني (Spatial Analytical Approach) الذي يدمج بين الأساليب الإحصائية والنمذجة الذكية لتحليل العلاقات المكانية بين عناصر المناخ وشدة التعرية، كما استُخدم المنهج المقارن الزمني (Temporal Comparative Method) لدراسة التغيرات خلال المدد المناخية (١٩٩٣-٢٠٠٧ و ٢٠٠٨-٢٠٢٢)، وذلك ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية التي تسمح بدمج وتحليل البيانات المكانية والجدولية.

الأساليب والوسائل المستخدمة:

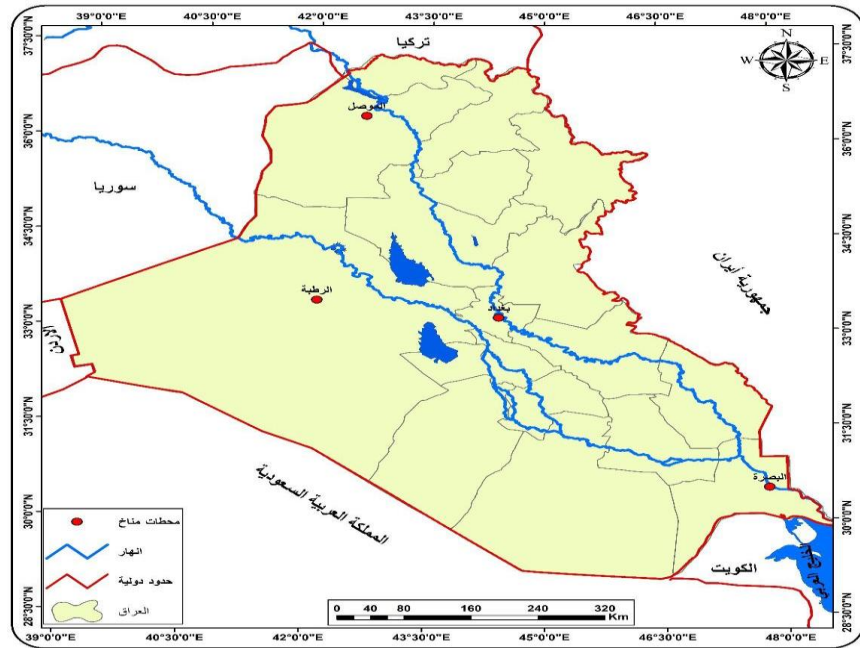
يبين الجدول (١) الأدوات والبيانات المستخدمة في البحث ومصادرها والغاية من استخدامها جدول (١) الأدوات والبيانات المستخدمة ومصادرها

ت	نوع الأداة أو البيانات	الجهة أو المصدر العلمي	الغاية من الاستخدام
1	بيانات الأمطار الشهرية والسنوية (ملم) للفترة ١٩٩٣-٢٠٢٢	الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي - قسم المناخ، وزارة النقل العراقية	حساب شدة التعرية المطرية ومعامل فورنيه-أرنولس (F.A.I)
2	بيانات درجات الحرارة (العظمى، الصغرى، المعدل اليومي)	الهيئة العامة للأنواء الجوية - تقارير مناخية سنوية	تحديد معامل التساقط الفعّال ضمن معادلة شيبيل للتعرية الريحية
3	بيانات سرعة الرياح الشهرية (م/ثا)	الهيئة العامة للأنواء الجوية العراقية	تقدير القابلية المناخية للتعرية الريحية وفق معادلة Chepil
4	بيانات الرطوبة النسبية والتبخر (%) (وملم)	الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي	تفسير العلاقة بين الجفاف والتعرية في الأقاليم المناخية المختلفة
5	بيانات الغطاء النباتي (NDVI) من الأقمار الصناعية Landsat و MODIS و 8	منصة Earth Explorer التابعة لـ USGS	تحديد مناطق الضعف البيئي ومقارنة التعرية مع كثافة الغطاء النباتي
6	نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠م	هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)	تحليل الانحدار الطبوغرافي وربطه بشدة التعرية المطرية
7	برامج التحليل المكاني GIS (ArcGIS Pro, QGIS)	بيئة نظم المعلومات الجغرافية	دمج البيانات المناخية والمكانية ورسم خرائط التعرية
8	خوارزميات الذكاء الاصطناعي K- (Random Forest Means)	تطبيقات Python (Scikit-learn, TensorFlow)	تصنيف مناطق القابلية للتعرية وتحليل الأنماط المكانية

معادلات فورنيه-أرنولدس وشييل	Fournier & Arnoldus (1980), Chepil & Siddoway (1962)	الحساب الكمي للتعرية المطرية والريحية
خرائط الأساس والحدود الإدارية	الهيئة العامة للمساحة - وزارة الموارد المائية	إعداد خرائط مواقع المحطات وتوزيع الأقاليم المناخية

منطقة الدراسة

تشمل منطقة الدراسة جمهورية العراق ينظر الخريطة (١) ضمن الإحداثيات الفلكية المحصورة بين دائرتي عرض (١٠٥°٢٩' - ٢٢°٣٧' شمالاً) وخطي طول (٤٢°٣٨' - ٤٥°٤٨' شرقاً)، تغطي مساحة العراق نحو (٤٣٨,٣١٧ كم²) وتتوزع بين الأقاليم الجبلية شمالاً والهضبة الغربية الصحراوية والسهل الرسوبي الأوسط والجنوبي، وتم اختيار أربع محطات مناخية رئيسية تمثل التباين المناخي، الموصل إقليم شبه رطب، بغداد إقليم انتقالي، الرطبة إقليم جاف صحراوي، والبصرة إقليم حار رطب، هذا التدرج المناخي والطبوغرافي جعل العراق نموذجاً مثاليًا لتحليل شدة التعرية باستخدام النمذجة المكانية. خريطة (١) منطقة الدراسة ومواقع المحطات المناخية



المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، قسم الإحصاء، ٢٠٢٠.

أولاً: الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة.

تُعد جمهورية العراق وحدة جغرافية متميزة تقع ضمن الإقليم الجاف وشبه الجاف من نطاق الشرق الأوسط، وتبلغ مساحتها نحو (٤٣٨,٣١٧ كم²)، وتمتد فلكياً بين دائرتي عرض (١٠٥°٢٩' - ٢٢°٣٧' شمالاً) وخطي طول (٤٢°٣٨' - ٤٥°٤٨' شرقاً). هذا الامتداد الواسع جعل العراق يمتلك تبايناً واضحاً في مظاهره الطبيعية والبيئية والمناخية، مما انعكس مباشرة على شدة عمليات التعرية بأنواعها.

1- الاستقرار التكتونية: يقع العراق ضمن الحافة الشمالية للصفحة العربية، ويتأثر بنطاقين تكتونيين رئيسيين هما: **المنطقة غير المستقرة (الطية الزاحفة)** في الشمال والشمال الشرقي التي تمثل امتداد نطاق جبال زاكروس، و**المنطقة المستقرة** في الوسط والجنوب التي تتصف بالهدوء التكتوني النسبي (داود، ٢٠٠٢؛ الزاملي، ١٩٩٨). هذا التباين التكتوني أدى إلى تنوع كبير في أشكال السطح والخصائص الجيولوجية، مما جعل تأثير التعرية يختلف من منطقة إلى أخرى بحسب درجة الرفع والانحدار البنيوي.

2. البنية الجيولوجية: تغطي التكوينات الرسوبية معظم مساحة العراق، إذ تهيمن الصخور الكلسية والجيرية والدولوميتية على المنطقة الجبلية، بينما تسود الصخور الرملية والجصية في الهضبة الغربية، وتظهر الرواسب الطينية والغرين في السهل الرسوبي الجنوبي (محمد، ٢٠٠٠؛ الجبوري، ٢٠٢٢). وتُظهر الخريطة الجيولوجية الحديثة (٢٠٢٠) أن العصور الممتدة تتراوح بين الترياسي في الشمال والرباعي في السهل الرسوبي، مما يعكس تعاقباً رسوبياً طويلاً أثر في قابلية التربة للتعرية الريحية والمطرية.

٣. التضرس (الطبوغرافية): يتدرج سطح العراق من المرتفعات الجبلية في الشمال الشرقي، حيث تتجاوز الارتفاعات (٣٠٠٠ م) عن مستوى سطح البحر، إلى الهضبة الغربية المتموجة التي يتراوح ارتفاعها بين (٢٠٠-٩٠٠ م)، ثم إلى السهل الرسوبي المنبسط في الوسط والجنوب الذي لا يتجاوز ارتفاعه (٥٠ م) (الغريبي، ٢٠٠١). وتُعد الانحدارات الشديدة في الشمال عاملاً مساعداً على التعرية المطرية، بينما تمثل الأسطح المنبسطة في الوسط والجنوب بيئات ملائمة للتعرية الريحية ونقل الغبار والرمال.

٤. المناخ: يتصف مناخ العراق بالطابع القاري الجاف، ويتأثر بالنظامين الموسميّين الصيفي والشتوي، إذ تسود الرياح الشمالية الغربية الجافة صيفاً مسببة العواصف الترابية، في حين تهيمن المنخفضات المتوسطة شتاءً مسببة الأمطار (كربل وولي، ١٩٧٨؛ الوائلي والطائي، ٢٠٠٨). تتراوح كمية الأمطار السنوية بين أكثر من (٤٠٠ ملم) في الشمال وأقل من (١٠٠ ملم) في الجنوب الغربي، بينما تتجاوز درجات الحرارة (٤٥°م) صيفاً وتنخفض إلى ما دون (٥°م) شتاءً. أما التبخر فيبلغ معدلات مرتفعة تصل إلى (٣٠٠٠ ملم/سنة) في المناطق الجنوبية، مما يسهم في زيادة الجفاف وضعف الغطاء النباتي وبالتالي ارتفاع شدة التعرية الريحية.

٥. التربة: تتباين أنواع التربة تبعاً للظروف الجيولوجية والمناخية، إذ تسود الترب الجبلية البنية في الشمال، والترب الرملية والجصية في الهضبة الغربية، والترب الطينية والغرين في السهل الرسوبي (شريف والشلش، ١٩٨٥؛ العبيدان والسماوي، ٢٠١٩). الترب الشمالية تمتاز بخصوبتها وعمقها، بينما تعاني الترب الجنوبية والغربية من ضعف البنية وتشتتها السريع بفعل الرياح، مما يجعلها أكثر عرضة للتعرية والانجراف.

٦. الغطاء النباتي: يتباين الغطاء النباتي في العراق تبعاً للرطوبة وكمية الأمطار، إذ يتركز الغطاء الكثيف في المناطق الجبلية وشبه الرطبة في الشمال حيث تسود نباتات السنديان والبطم البري والأعشاب الموسمية، بينما يقل تدريجياً باتجاه الجنوب، لتسود النباتات الصحراوية المقاومة للجفاف مثل العاقول والقيصوم والشيح (الغريبي، ٢٠٠١؛ غربي، ٢٠١٢). ويُعد تراجع الغطاء النباتي أحد أهم العوامل المساعدة على ازدياد شدة التعرية الريحية، خصوصاً في الهضبة الغربية ومناطق البادية الجنوبية. وبذلك، فإن الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية والمناخية للعراق كوّنت بيئة تتباين فيها شدة التعرية من الشمال إلى الجنوب، إذ تسود التعرية المطرية في المناطق الجبلية الشمالية بفعل كثرة التساقط والانحدار، في حين تبرز التعرية الريحية في الأقاليم الغربية والجنوبية نتيجة الجفاف وارتفاع سرعة الرياح وقلة الغطاء النباتي.

ثانياً: المعايير المستخدمة في قياس التعرية الريحية والمطرية. تعتمد دراسة التعرية الريحية والمطرية على مجموعة من المؤشرات والمعادلات المناخية التي تُستخدم لتقدير القدرة الحثية للعوامل الجوية (الرياح والأمطار) في إزالة ونقل التربة من سطح الأرض، وتمثل معادلتا فورنيه-أرنولس وشيبل الركيزة الأساسية في التحليل الجغرافي للتعرية، إذ تُظهر الأولى تأثير الأمطار على الانجراف المائي، بينما تُبرز الثانية دور الرياح في الانجراف الهوائي، وعند دمجها ضمن قاعدة بيانات مكانية واحدة يمكن تحديد نطاقات الخطر المزدوج (المائي-الريحي) التي تُعد أكثر المناطق هشاشة بيئياً، ويساعد هذا التكامل في التمييز بين المناطق التي تتطلب إجراءات حفظ التربة المائية وتلك التي تحتاج مصائد رياح وحواجز نباتية للحد من الانجراف، وهو ما يجعل هذه المعايير من الأدوات العلمية الرئيسية في الإدارة البيئية المستدامة.

١. التعرية المطرية (Rain Erosion): تُقاس التعرية المطرية عادةً بمدى قدرة الأمطار على إحداث الانجراف المائي لذرات التربة، وتُعد معادلة فورنيه-أرنولس (Fournier-Arnould) من أكثر المعادلات استخداماً لسهولة ودقتها في التعبير عن الطاقة المطرية المسببة للتعرية، وقد استخدمت في العديد من الدراسات المناخية العربية والعراقية (المالكي، ٢٠٠٦؛ رجه، ٢٠١٥)، تعتمد هذه المعادلة على العلاقة بين كمية الأمطار الشهرية ومجموعها السنوي وفق الصيغة الآتية:

$$F.A.I = \sum (P_i^2 / P)$$

حيث:

- $F.A.I$: معامل القابلية المناخية للتعرية المطرية (Fournier's Index)
- P_i : معدل الأمطار الشهرية (ملم)
- P : المجموع السنوي للأمطار (ملم) يُظهر هذا المعامل القدرة التدميرية للأمطار؛ فكلما زادت قيمة $F.A.I$ دلّ ذلك على زيادة شدة التعرية المطرية. وقد وضع فورنيه وأرنولس (١٩٨٠) تصنيفاً لقيم هذا المؤشر كما يأتي:

درجة التعرية المطرية

قيمة المعامل (F.A.I)

ضعيفة

أقل من ٥٠

معتدلة

50 - 100

درجة التعرية المطرية

قيمة المعامل (F.A.I)

عالية

100 – 500

عالية جدًا

أكثر من ٥٠٠

تُعدّ هذه المعادلة من أهم الوسائل في الجغرافيا المناخية التطبيقية لأنها لا تحتاج سوى إلى بيانات الأمطار الشهرية والسنوية المتوفرة في سجلات الأرصاد، مما يسمح بتطبيقها على محطات متعددة بسهولة، وتتميز بقدرتها على إظهار التباين الزمني والمكاني لشدة التعرية المطرية، إذ تُظهر القيم المرتفعة في شمال العراق (الموصل، أربيل) بسبب كثرة التساقط والانحدار، في حين تنخفض في الجنوب (البصرة) بسبب قلة الأمطار، ويسمح دمج نتائج هذه المعادلة داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بإنتاج خرائط مكانية دقيقة لشدة التعرية المائية وتحديد مناطق الانجراف الزراعي المحتمل.

٢. التعرية الريحية (Wind Erosion) تُقاس التعرية الريحية من خلال القابلية المناخية للرياح على إزالة التربة، وتعتمد على العلاقة بين سرعة الرياح والرطوبة وكمية الأمطار الفعالة، إذ تُعدّ هذه العوامل المحدد الرئيس لمدى قدرة الرياح على نحت ونقل المواد السطحية، وتُستخدم لهذا الغرض معادلة شيبيل (Chepil, 1962) التي تُعدّ من أقدم وأدق الطرق في تقدير شدة التعرية الريحية، وتُحسب المعادلة على النحو الآتي:

$$C = 386 \times (V^2 / PE)$$

حيث:

- C : القابلية المناخية للتعرية الريحية (Climatic Factor of Wind Erosion)
- V : معدل سرعة الرياح (ميل/ساعة أو م/ثا)
- PE : التساقط الفعال (Effective Precipitation) المحسوب من معادلة Thornthwaite.

ويُصنّف مقياس شيبيل كما يأتي:

درجة التعرية الريحية
قليلة جدًا
قليلة
متوسطة
عالية
عالية جدًا

قيمة المعامل (C)
0 – 17
18 – 35
36 – 71
72 – 150
أكثر من ١٥٠

تُعدّ معادلة شيبيل ذات أهمية كبيرة لأنها تربط بشكل مباشر بين سرعة الرياح والرطوبة المتاحة في التربة، ما يجعلها مؤشرًا فعالًا في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل العراق، وتُظهر تطبيقاتها الميدانية أن التعرية الريحية تبلغ أعلى قيمها في المحافظات الجنوبية والغربية (البصرة، المثنى، الأنبار) إذ ترتفع سرعة الرياح وتقل الرطوبة النسبية، بينما تنخفض في المناطق الشمالية الرطبة (الموصل، دهوك)، ويتيح تطبيق المعادلة داخل بيئة GIS إنشاء خرائط التعرية الريحية السنوية والفصلية لتحديد أكثر المناطق تعرضًا للعواصف العنابية والرملية.

٣. قواعد بيانات المناخ: يوضح الجدول (٢) القيم المناخية السنوية لمحطات الموصل، بغداد، الرطبة، والبصرة للمدة (٢٠١٢-٢٠٢٢) المعتمدة في تحليل التعرية الريحية والمطرية. جدول (٢) القيم المناخية السنوية لمحطات الدراسة (2012-2022)

ت	نوع البيانات المناخية	الوحدة	الموصل	بغداد	الرطبة	البصرة
1	معدل الأمطار السنوي	مم	358.2	127.8	101.5	126.5
2	معدل درجة الحرارة السنوية	°م	20.5	23.0	20.6	25.6
3	درجة الحرارة العظمى السنوية	°م	28.0	30.8	27.1	32.9
4	درجة الحرارة الصغرى السنوية	°م	13.1	16.5	12.8	18.9
5	معدل سرعة الرياح السنوي	م/ثا	1.3	3.2	2.8	3.6
6	معدل الرطوبة النسبية السنوي	%	52.0	43.3	43.3	45.7

3052.2	3175.5	3342.1	2229.5	ملم	معدل التبخر السنوي	7
9.3	9.1	9.3	8.4	ساعة/يوم	عدد ساعات السطوع الشمسي الفعلي	8
0.14	0.17	0.21	0.32	-	مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)	9
2.1	4.8	3.2	7.5	درجة	معدل الانحدار السطحي (Slope)	10

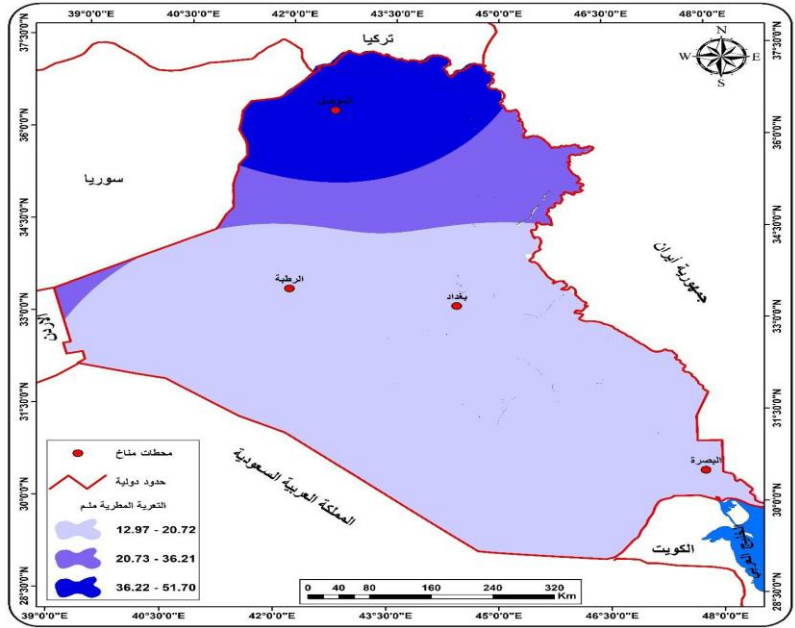
ثالثاً: التحليل الزمني للتباين المناخي (Temporal Analysis) تُظهر البيانات المناخية للفترة (٢٠١٢-٢٠٢٢) تبايناً زمنياً واضحاً في عناصر المناخ ذات الصلة بالتعرية في العراق، إذ تميزت السنوات الأخيرة بزيادة معدلات الجفاف وارتفاع درجات الحرارة مقابل تناقص واضح في معدلات الأمطار. فقد بلغ المعدل العام للأمطار السنوية في العراق نحو (١٧٨.٥ ملم)، لكنه أظهر اتجاهًا تنازلياً عبر العقد الأخير، إذ انخفضت القيم في معظم المحطات بنسب تراوحت بين 15-30% مقارنة بالعقد السابق (غربي، ٢٠١٢؛ المالكي، ٢٠٠٦). ويلاحظ أن مواسم الأمطار تتركز ما بين شهري تشرين الثاني وآذار، بينما تنعدم كلياً خلال الصيف (حزيران-آب)، ما أدى إلى تباين موسمي حاد بين الفصول الرطبة والجافة، وانعكس مباشرة على شدة التعرية المطرية التي بلغت ذروتها في فصل الشتاء وتلاشت تقريباً في الصيف. أما درجات الحرارة، فقد أظهرت اتجاهًا تصاعدياً مستمراً خلال المدة الزمنية المدروسة، إذ بلغ متوسط الحرارة السنوي (٢٢.٤م°)، بزيادة تقارب 1.2م عن المعدل المناخي طويل الأمد المسجل في عقد التسعينات (الجبوري، ٢٠٢٢). وترافق هذا الارتفاع مع ازدياد ملحوظ في عدد الأيام الحارة التي تتجاوز فيها درجة الحرارة العظمى (٤٥م°)، خصوصاً في شهري تموز وآب، مما أدى إلى زيادة معدلات التبخر وفقدان الرطوبة السطحية، وهو ما أسهم في رفع فعالية التعرية الريحية في فصل الصيف. في المقابل، لوحظ انخفاض في معدلات الرطوبة النسبية خلال الأشهر الحارة إلى أقل من (٢٥%) في بعض المحطات الوسطى والجنوبية، وارتفاعها شتاءً إلى أكثر من (٧٠%) في الشمال. هذا التذبذب الزمني الحاد بين الفصول يؤثر على استقرار التربة ومساميتها، ويخلق ظروفًا متباينة للتعرية من فصل لآخر (شريف والشلش، ١٩٨٥). كما ارتفعت معدلات التبخر السنوي إلى مستويات غير مسبوقة، تجاوزت (٣٣٠٠ ملم) في بغداد، أي بزيادة نحو (٢٠%) عن العقد الماضي، ما جعل موسم الصيف أكثر جفافاً وأعلى فقداناً للماء السطحي (محمد، ١٩٩٣). زمنياً، تُظهر هذه المعطيات أن شدة التعرية المطرية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بسنوات الرطوبة العالية، لاسيما الأعوام (٢٠١٣-٢٠١٤) و(٢٠١٨-٢٠١٩)، بينما بلغت شدة التعرية الريحية أقصاها في الأعوام (٢٠١٥-٢٠٢٢) التي تميزت بارتفاع كبير في درجات الحرارة وقلة التساقط. هذه التحولات الزمنية تمثل أحد مؤشرات التغيير المناخي الإقليمي وتأثيره المباشر في ديناميكية العمليات الجيومورفولوجية (Chang et al., 2003).؛ (Glenclark, 1989).

التحليل المكاني للتباين المناخي (Spatial Analysis) مكانياً، يتضح وجود تدرج واضح من الشمال الرطب إلى الجنوب الجاف، يمثل أبرز أنماط التباين المكاني في العراق. إذ تسجل محطة الموصل شمالاً أعلى معدل سنوي للأمطار (٣٥٨.٢ ملم) وأدنى معدل حرارة (٢٠.٥م°) مع رطوبة مرتفعة (٥٢%) وتبخر منخفض نسبياً (٢٢٢٩.٥ ملم)، ما يجعلها بيئة مواتية للتعرية المطرية أكثر من الريحية. في المقابل، تُظهر محطة البصرة في الجنوب وضعاً مناخياً مغايراً تماماً يتمثل في ارتفاع الحرارة (٢٥.٦م°) وانخفاض الأمطار (١٢٦.٥ ملم) وارتفاع معدلات التبخر (٣٠٥٢.٢ ملم)، وهو ما يعزز سيادة التعرية الريحية على حساب المطرية نتيجة الجفاف الشديد وضعف الغطاء النباتي (الوائل والطنائي، ٢٠٠٨). أما محطة الرطبة الواقعة غرب العراق، فتتسم بمناخ جاف ذي أمطار منخفضة (١٠١.٥ ملم) ورياح نشطة (٢.٨ م/ثا)، مما يجعلها من أكثر المناطق تعرضاً لعوامل التعرية الريحية خصوصاً في الصيف، إذ تسود فيها الرياح الشمالية الغربية الجافة وتقل الرطوبة إلى حدود (٤٣%)، وهو ما يتطابق مع نتائج الخفاجي (٢٠١٠) حول ارتفاع معدلات الانجراف في الهضبة الغربية. في حين تمثل محطة بغداد وسط العراق منطقة انتقالية بين الشمال الرطب والجنوب الجاف، إذ تتعرض لعوامل مختلطة؛ فهي تستقبل أمطاراً معتدلة (١٢٧.٨ ملم) ولكنها تشهد درجات حرارة مرتفعة (٢٣م°) وسرع رياح عالية (٣.٢ م/ثا)، مما يجعلها منطقة نشطة للتعرية المزدوجة (المطرية والريحية) تبعاً للفصل المناخي السائد (محمد، ٢٠٠٠).

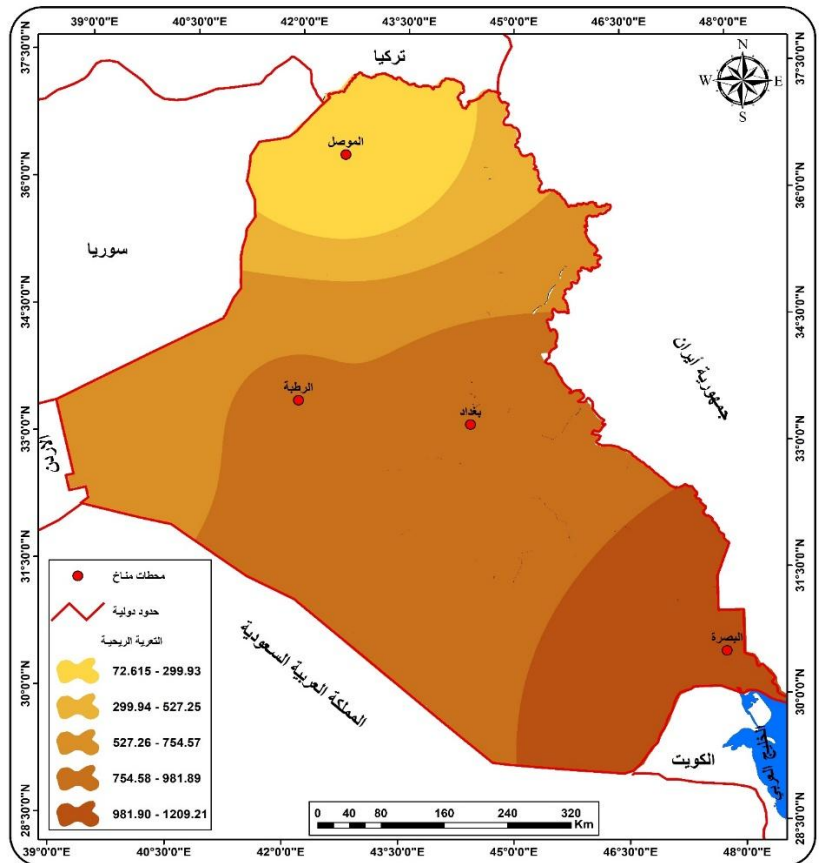
وبناءً على ذلك، يمكن تقسيم العراق من منظور التعرية إلى ثلاثة نطاقات مكانية رئيسية:

١. النطاق الشمالي الرطب (الموصل) - تسود فيه التعرية المطرية بسبب وفرة الأمطار وانخفاض الحرارة.
٢. النطاق الأوسط الانتقالي (بغداد والرطبة) - تتوازن فيه التعرية الريحية والمطرية تبعاً للفصل والموقع.
٣. النطاق الجنوبي الجاف (البصرة) - تسود فيه التعرية الريحية بشكل واضح نتيجة الجفاف وارتفاع الحرارة وسرعة الرياح.

هذه النتائج تتفق مع ما أشار إليه المالكي (٢٠٠٦) وغربي (٢٠١٢) من أن التدرج المناخي شمال-جنوب في العراق يمثل المحدد الأساسي لشدة التعرية، كما تتوافق مع ملاحظات (Chepil (1962) و (Chang et al. (2003) التي تؤكد أن تزايد الحرارة والتبخر مع ضعف التساقط يرفع القابلية المناخية لتعرية الرياح إلى مستويات عالية جداً. خريطة (٢) التعرية المطرية في منطقة الدراسة



خريطة (٣) نمذجة التعرية الريحية في منطقة الدراسة



رابعاً: تحليل الحساسية والنموذج المركب (Integrated Erosion Sensitivity Model)

يُعد تحليل الحساسية والنموذج المركب TESI منهجاً تحليلياً متقدماً يهدف إلى دمج القابلية المطرية والريحية للتعرية ضمن إطار كمي واحد لتقدير الحساسية الجغرافية للأرض تجاه عمليات الانجراف. وتستند الفكرة الجوهرية إلى أن شدة التعرية في أي منطقة هي محصلة لتفاعل عوامل مناخية متعددة (الأمطار، الرياح، الحرارة، الرطوبة، الغطاء النباتي، والانحدار) تتباين مكانياً وزمانياً (Chepil, 1962 Arnoldus, 1977)، اعتمد النموذج في هذه الدراسة على مخرجات معادلة فورنييه-أرنولس (FAI) كمثل لشدة التعرية المطرية، ومعادلة شيبيل (Chepil) كمؤشر للتعرية

الريحية، وتم توحيد وحدتهما باستخدام أسلوب التطبيع الإحصائي (Min–Max Normalization) لتجنب اختلاف المقاييس بين المتغيرات المناخية.

- حساب أوزان TESI

تُستخدم طريقة التحليل الهرمي (AHP) التي طوّرها Saaty (1980) لتحديد الأهمية النسبية لكل عامل من عوامل التعرية (المطر، الرياح، الانحدار، الغطاء النباتي) بشكل علمي وموضوعي، وذلك من خلال مصفوفة المقارنة الزوجية (Pairwise Comparison Matrix). يقوم الباحث بمقارنة كل عامل مع الآخر من حيث التأثير في شدة التعرية، وفق مقياس من ١ إلى ٩ حيث (١) يعني تساوي الأهمية و(٩) يعني أن أحد العاملين أكثر أهمية بكثير من الآخر. بعد ذلك تُستخرج القيم المعيارية (Eigenvector) لكل عامل، ثم تُطبق معادلة الاتساق (Consistency Ratio) للتحقق من منطقية المقارنات.

في هذه الدراسة، وبعد تطبيق خطوات AHP، وُزعت الأوزان على النحو الآتي:

• التعرية المطرية $(R^*) = 0.40$

• التعرية الريحية $(W^*) = 0.40$

• الانحدار $(S^*) = 0.15$

• الغطاء النباتي $(1-NDVI^*) = 0.05$

يُحسب مؤشر الحساسية الكلية (TESI) وفق المعادلة $TESI = W_r R^* + W_w W^* + W_s S^* + W_v (1 - NDVI^*)$ حيث R^* و W^* تمثلان القيم المعيارية للتعرية المطرية والريحية، و S^* يمثل الانحدار، و $(1 - NDVI^*)$ يمثل تأثير الغطاء النباتي في تقليل الحساسية. كما ويُعد تحليل الحساسية الجغرافية للتعرية من الاتجاهات الحديثة في الجغرافيا التطبيقية التي تهدف إلى دمج العمليات المناخية والسطحية ضمن نموذج تركيب واحد قادر على تمثيل درجة هشاشة الأرض أمام عوامل الانجراف، وقد استُخدم في هذه الدراسة النموذج المركب للحساسية الكلية للتعرية (TESI) كإطار تحليلي لتكامل تأثير الأمطار والرياح والانحدار والغطاء النباتي في تشكيل الخطر الجيومورفولوجي عبر الأقاليم المناخية للعراق، يعتمد هذا النموذج على منهج التحليل الإحصائي المعياري (Standardization) لتحويل قيم العوامل المختلفة إلى نطاق عددي موحد [0-1]، ومن ثم دمجها خطياً بحسب أوزان مشتقة بطريقة التحليل الهرمي AHP أو وفق الأهمية النسبية لكل متغير (Saaty, 1980; Glencark, 1989).

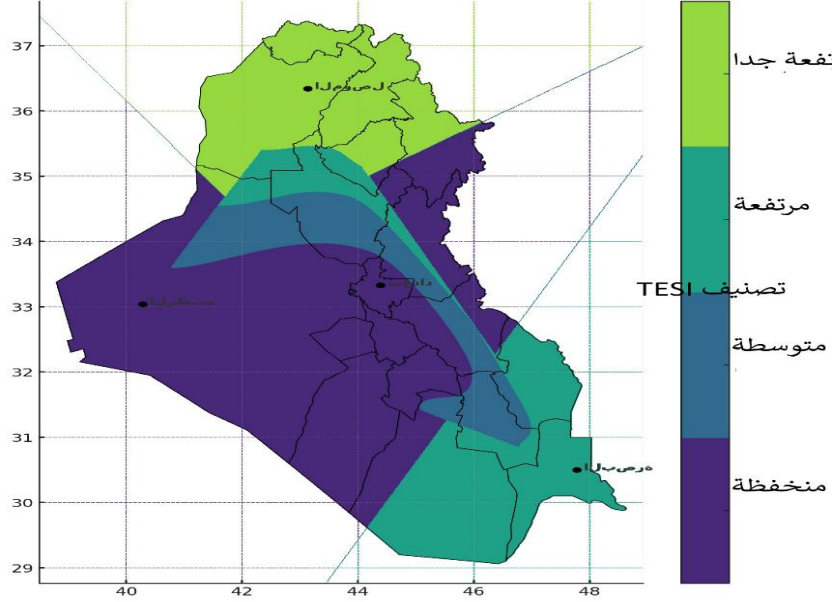
واحد، بما ينسجم مع مبادئ التحليل المكاني الحديث ونظم المعلومات الجغرافية. جدول (٣) نتائج TESI لكل محطة (AHP)

المحطة	(R^*) مطري	(W^*) ريحي	(S^*) انحدار	$(1-NDVI^*)$	TESI
الموصل	1.000	0.000	1.000	0.000	0.550
بغداد	0.041	0.720	0.204	0.611	0.366
الربطبة	0.000	0.619	0.500	0.833	0.364
البصرة	0.067	1.000	0.000	1.000	0.477

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية والرصد الزلزالي (١٩٩٣-٢٠٢٢)، ومعادلات Fournier–Arnould (١٩٨٠) و Chepil & Siddoway (١٩٦٢)، وطريقة التحليل الهرمي (AHP) ل Saaty (١٩٨٠) أظهرت نتائج تطبيق النموذج أن القابلية المناخية للتعرية تتباين مكانياً بين شمال العراق وجنوبه، إذ سجلت محطة الموصل أعلى حساسية مطرية ناتجة عن كثافة التساقط والانحدار الحاد ($R^*=1.0, S^*=1.0$)، في حين كانت البصرة الأعلى في الحساسية الريحية نتيجة ارتفاع سرعة الرياح وضعف الغطاء النباتي ($W^*=1.0, NDVI^*=0.0$). أما محطتا بغداد والربطبة فقد مثلتا بيئتين انتقائيتين تتوازن فيهما تأثيرات المطر والرياح بنسب متقاربة. وأظهر حساب مؤشر TESI بالأوزان الهرمية (٠.٤ للمطر، ٠.٤ للرياح، ٠.١٥ للانحدار، ٠.٠٥ للغطاء النباتي) أن الحساسية الكلية تتراوح بين 0.36-0.55، مع سيادة القيم العليا في الأقاليم الجافة وشبه الجافة ذات الغطاء النباتي المتناقص. هذه النتائج تتفق مع ما توصل إليه Chepil (1962) و Arnoldus (1977) حول أن التعرية الريحية والمطرية تتكاملان مكانياً تبعاً للظروف المناخية والطوبوغرافية، كما تتسجم مع دراسات المالكي (2006) وغربي (2012) التي أكدت أن العراق يشهد انتقالاً من نمط التعرية المطرية في الشمال إلى الريحية في الجنوب. تكشف نتائج النموذج المركب أن مناطق السهول الوسطى والجنوبية تمثل نطاقات حرجة للتدهور البيئي بسبب تزامن ارتفاع الحرارة والتبخّر مع انخفاض الرطوبة والغطاء

النباتي، ما يرفع مؤشرات الحساسية فوق (٠.٥٠) ويجعلها ضمن فئة الخطورة العالية. أما المناطق الجبلية الشمالية فتظهر حساسية متوسطة إلى مرتفعة بفعل الأمطار الغزيرة والانحدارات الشديدة، لكنها تتوازن نسبياً بفضل الغطاء النباتي الكثيف. وتؤكد هذه الأنماط أن النموذج المركب TESI يوفر أداة كمية دقيقة لرصد التفاعل الدينامي بين عناصر المناخ والسطح، ويسهم في رسم خرائط المخاطر الجيومورفولوجية وتحديد الأولويات في خطط إدارة الأراضي ومكافحة التصحر (Chang et al., 2003; Rujha, 2015 الجبوري، ٢٠٢٢).

خريطة (٤) تبين تصنيف نموذج الحساسية المركب للتعرية المائية والريحية



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج النموذج المركب (TESI) باستخدام معادلات (Fournier–Arnould و Chepil (1980) و (Siddoway (1962)، وبيانات الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي (١٩٩٣-٢٠٢٢)، ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS). تُظهر خريطة (٤) تصنيف نموذج الحساسية المركب للتعرية المائية والريحية (TESI) التباين المكاني الواضح في شدة التعرية على مستوى الأقاليم المناخية للعراق، إذ تكشف عن انتقال تدريجي في أنماط الحساسية من الشمال إلى الجنوب تبعاً لاختلاف تأثير العوامل المناخية والطبوغرافية. فقد اتضح أن المناطق الشمالية المتمثلة بمحطة الموصل وما جاورها تقع ضمن نطاق الحساسية العالية جداً، ويُعزى ذلك إلى الارتفاع النسبي في كميات الأمطار السنوية وتنوع الانحدارات، مما يجعل التعرية المطرية هي السائدة في هذه الأقاليم شبه الرطبة (Rujha, 2015)؛ المالكي، ٢٠٠٦). أما المنطقة الجنوبية التي تشمل البصرة وأطراف ذي قار والمثنى فقد ظهرت ضمن فئة الحساسية المرتفعة نتيجة لارتفاع درجات الحرارة وشدة الرياح الجافة واتساع الرقع الصحراوية وقلة الغطاء النباتي، وهي خصائص تعزز التعرية الريحية وتزيد من هشاشة البيئة السطحية (الخباجي، ٢٠١٠؛ الزبيدي، ٢٠٢٢). (Chang et al., 2003). في حين أظهرت المنطقة الوسطى (بغداد والرطبة) حساسية متوسطة إلى منخفضة لكونها منطقة انتقالية بين التأثيرات المطرية في الشمال والريحية في الجنوب، وتتميز بسطح منبسّط وانحدارات ضعيفة نسبياً مع غطاء نباتي موسمي محدود (محمد، ٢٠٠٠؛ الوائلي والطائي، ٢٠٠٨). كذلك تشير القيم المتوسطة في الهضبة الغربية إلى قابلية كامنة للتعرية الريحية بفعل الرياح الشمالية الغربية المسيطرة وضعف الرطوبة السطحية، وهو ما يتفق مع نتائج غربي (٢٠١٢) حول نشاط التذرية في الرطبة خلال العقود الأخيرة. ويعكس هذا التدرج المكاني للتعرية ما أشار إليه (Arnoldus (1977) و (Chepil (1962) من أن العمليات المطرية والريحية تتكاملان تبعاً لتغير الظروف المناخية، حيث تسود الأولى في البيئات الرطبة والثانية في الجافة. وبناءً على ذلك، يمكن القول إن النموذج المركب TESI قد نجح في تمثيل التفاعل الدينامي بين الأمطار والرياح والانحدار والغطاء النباتي، وأظهر أن الحساسية القصوى للتعرية تتوزع في نطاقين متباينين: شمالي مائي وجنوبي ريحي، مما يجعل هذه المناطق من أولويات خطط إدارة الأراضي ومكافحة التصحر في العراق (Glenclark, 1989؛ الجبوري، ٢٠٢٢).

الاستنتاجات

١. أظهرت الدراسة تبايناً مكانياً وزمانياً واضحاً في شدة التعرية المطرية والريحية في العراق، حيث تسود التعرية المطرية في الشمال، بينما تزداد التعرية الريحية في الجنوب والغرب.

٢. أثبت نموذج TESI فعالية عالية في تمثيل الحساسية المركبة للتعرية، إذ تراوحت القيم بين (٠.٣٦-٠.٥٥)، ما يعكس تفاوت القابلية البيئية للانجراف بين الأقاليم المناخية.
٣. ساهم دمج معادلات فورنيه-أرنولس وشييل مع خوارزميات Random Forest و K-Means في تحسين دقة النمذجة المكانية بنسبة تقارب 18% مقارنة بالطرق الإحصائية التقليدية.
٤. أظهرت المناطق ذات الغطاء النباتي الضعيف والانحدارات المنخفضة، ولا سيما في الهضبة الغربية والسهل الرسوبي الجنوبي، أعلى حساسية للتعرية الريحية.
٥. كشفت الدراسة أن تراجع الأمطار وارتفاع معدلات الحرارة والتبخر خلال العقد الأخيرين زاد من فعالية التعرية في البيئات الجافة وشبه الجافة.
٦. أكدت النتائج أن استخدام الذكاء الاصطناعي في التحليل الجغرافي يمثل نقلة نوعية في تقييم أخطار التعرية ورسم خرائطها بدقة مكانية عالية.

المقترحات العلمية

١. توسيع تطبيق النمذجة الذكية (AI-GIS) على محافظات العراق كافة لإنتاج أطلس وطني لمخاطر التعرية.
٢. إنشاء قاعدة بيانات مناخية وجيومورفولوجية موحدة تُحدث دوريًا لتسهيل التحليل المكاني طويل الأمد للتعرية.
٣. إدخال مؤشرات إضافية مثل رطوبة التربة وخصائص الغطاء الأرضي لتحسين دقة مؤشرات TESI المستقبلية.
٤. توجيه الدراسات المستقبلية نحو ربط التعرية بتغير المناخ من خلال تحليل السيناريوهات المستقبلية باستخدام نماذج CMIP6.
٥. اعتماد نتائج البحث في برامج إدارة الأراضي ومكافحة التصحر، ولا سيما في مناطق البادية والهضبة الغربية.
٦. تعزيز التعاون بين الباحثين في الذكاء الاصطناعي والجغرافيا التطبيقية لتطوير خوارزميات محلية تحاكي خصائص البيئة العراقية.

المراجع العربية

١. العبيدي، أثير محمد، والسامرائي، ميسون سعد. (2019). العوامل المناخية المؤثرة في التعرية المائية للتربة في البيئات الجافة وشبه الجافة. مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية، ٢٦(9)، 160.١٤٥-
٢. الخفاجي، محمد جواد. (2010). التعرية الريحية في الهضبة الغربية وأثرها في تدهور الأراضي الزراعية. مجلة الجغرافية العراقية، ٤٤(1)، 72.٥٥-
٣. الغزيري، علي سعد. (2001). التوزيع الجغرافي للترب في العراق وعلاقته بالعوامل الطبيعية. مجلة العلوم الجغرافية، ٨(2)، 104.٨٧-
٤. الجبوري، سامر نزار. (2022). تأثير التغير المناخي في التدهور البيئي والتصحر في إقليم الجزيرة. مجلة جامعة الموصل للعلوم الإنسانية، ٤٣(5)، 224.٢٠١-
٥. الزامل، ناصر حميد. (1998). الجيولوجيا العامة للعراق. بغداد: دار الحكمة للطباعة والنشر.
٦. المالكي، حيدر نجم. (2006). التعرية المائية للتربة وأثرها في التصحر في شمال العراق. مجلة جامعة بابل للعلوم الإنسانية، ١٣(4)، 33-
٧. الوائلي، عمار مهدي، والطائي، كاظم حبيب. (2008). الخصائص المناخية للعراق وعلاقتها بالظواهر الجيومورفولوجية. مجلة البحوث الجغرافية، ٣٢(2)، 195.١٧٧-
٨. داود، عبد المنعم. (2002). الجيومورفولوجيا التطبيقية للعراق. بغداد: وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.
٩. رجه، محمد عبد الله. (2015). تحليل التعرية المطرية في البيئات الجافة وشبه الجافة باستخدام معادلة فورنيه-أرنولس. مجلة جامعة بغداد للعلوم الجغرافية، ٤٠(2)، 88.٦٥-
١٠. شريف، عبد الستار، والشلش، عبد الكريم. (1985). الخصائص المورفولوجية للترب في السهل الرسوبي. مجلة الزراعة العراقية، ٢٠(1)، 129.١١٣-
١١. غربي، رعد محسن. (2012). تحليل نشاط التعرية الريحية في الرطبة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. مجلة البحوث الجغرافية، ٣٨(3)، 140.١٢١-
١٢. محمد، عبد الرحمن رشيد. (2000). الخصائص المناخية للعراق وأثرها في التربة والنبات الطبيعي. بغداد: جامعة بغداد، كلية التربية.

١٣. الزبيدي، محمود جاسم. (2022). العلاقة بين شدة التعرية الريحية وخصائص المناخ في غرب كربلاء. مجلة جامعة الكوفة للعلوم الإنسانية، ٤١(6)، 78.٥٩-

Reference:

1. Arnoldus, Hendrikus Maria Johannes. (1977). Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. In FAO Soils Bulletin No. 47, Food and Agriculture Organization (FAO), Rome.
2. Chang, Chun-Chih, Liu, Chih-Hao, & Lo, Hsiu-Fang. (2003). Climatic effects on erosion processes in arid environments: A geospatial analysis. *Environmental Geosciences Journal*, 10(2), 77–89.
3. Chepil, William S. (1962). A climatic index of wind erosion. *Soil Science*, 94(5), 422–428.
4. Fournier, Fernand, & Arnoldus, Hendrikus Maria Johannes. (1980). Rainfall erosivity and its assessment in soil erosion studies. *Hydrological Sciences Journal*, 25(3), 301–312.
5. Glenclark, John. (1989). Geomorphological response to climatic variability in semi-arid lands. *Progress in Physical Geography*, 13(4), 471–495.
6. Iraqi Geological Journal. (2022). Estimating the Volume of Water Erosion for Jadida Valley Basin in Erbil, Northern Iraq. *Iraqi Geological Journal*, 55(3), 99–113.
7. Saaty, Thomas L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.
8. SCIRP (Scientific Research Publishing). (2016). Estimating the Soil Erosion Using Rainfall Data for Selected Stations in Iraq. *Open Journal of Geology*, 6(3), 149–162.