ISSN: 1817-6798 (Print)
Journal of Tikrit University for Humanities
available online at: www.jtuh.org/

Wind erosion and its impact on the decline in soil biological productivity in Al-Alam district using remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) techniques.

Ahoud Saleh Mahdi

College of Education for Humanities / Tikrit University

* *Corresponding author: E-mail* : **ahood.salih@tu.edu.iq**

***Keywords*:**
Wind Erosion,
Sensing,
SAVI Index,
Geomorphology,
Degradation

A R T I C L E I N F O

Article history:

Received	4 Feb 2026
Received in revised form	19 Mar 2026
Accepted	21 Mar 2026
Final Proofreading	31 July 2026
Available online	31 July 2026

E-mail t-jtuh@tu.edu.iq

©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER THE CC BY LICENSE
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

A B S T R A C T

The present paper deals with the impact of wind erosion on the decline of soil productivity. The problem lies in the methodological inadequacy of traditional mathematical models and general spectral indices in accurately characterizing wind erosion within arid environments of complex soil properties (gypsiferous and calcareous), particularly given the lack of local meteorological stations. Therefore, this study aims to evaluate the interplay between topographic, climatic, and morphodynamic characteristics and their impact on erosion activity in Al-Alam District. The methodology focuses on aligning traditional modeling with modern geoinformatic techniques by processing Landsat 8 satellite imagery. Spectral indices (NDVI, SAVI, BSI, GSI) were used to determine the levels of wind erosion and its impact on soil sustainability. The results showed a strong positive correlation between wind speed and soil loss, and revealed a significant effect of slope severity on erosion acceleration; the sensitivity (ILSWE) values increased by 27.6% in ranges exceeding 16 degrees. The SAVI index proved highly effective in neutralizing spectral noise resulting from background reflections of exposed soil, with the SAVI index reaching 42.5% of the studied area in the 'severe degradation' category due to wind erosion, necessitating urgent technical interventions in geomorphological hazard hotspots.

DOI: http://doi.org/10.25130/jtuh.33.7.1.2026.8

Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities

التعرية الريحية وأثرها في تراجع إنتاجية حيوية التربة في قضاء العلم باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)

عهود صالح مهدي/ كلية التربية للعلوم الإنسانية/ جامعة تكريت

الخلاصة:

تتناول الورقة البحثية الحالية أثر التعرية الريحية على انخفاض إنتاجية التربة وتكمنُ مشكلة الدراسة في القصور المنهجي للنماذج الرياضية التقليدية والمؤشرات الطيفية العامة في التوصيف الدقيق للتعرية الريحية

ضمن البيئات الجافة ذات الخصائص التربوية المعقدة (الجبسية والكلسية)، خاصة في ظل غياب محطات الرصد المحلية. لذا، هدفت الدراسة إلى تقييم التداخل بين الخصائص الطبوغرافية والمناخية وأثره في نشاط التعرية في المنطقة المدوسة. اعتمادًا على المواءمة بين النمذجة التقليدية والتقنيات الجيومعلوماتية عبر معالجة المرئيات الفضائية (Landsat 8)، واستخلصت المؤشرات الطيفية (NDVI, SAVI, BSI, GSI) لتحديد مستويات التعرية الريحية للتربة وبالتالي اثرها على استدامة التربة. أظهرت النتائج وجود ارتباط طردي قوي بين سرعة الرياح وفقد التربة، كما كشف عن أثر معنوي لحدة الانحدار في تنشيط التعرية؛ حيث تضاعفت قيم الحساسية (ILSWE) بنسبة ٢٧.٦% في النطاقات التي تتجاوز ١٦ درجة. وقد أثبت مؤشر (SAVI) كفاءة عالية في تحييد الضجيج الطيفي (Spectral Noise) الناتج عن انعكاسات خلفية للتربة المكشوفة، إذ وصلت قيمة مؤشر (SAVI) إلى نسبة ٤٢.٥% من المنطقة المدروسة ضمن فئة 'التدهور الشديد' نتيجة التعرية الريحية، مما يستوجب تدخلات تقنية عاجلة في بؤر الخطورة الجيومورفولوجية.

الكلمات المفتاحية: التعرية الريحية، الاستشعار، مؤشر SAVI، جيومورفولوجيا، تدهور.

المقدمة

تُعد التعرية الريحية (Wind Erosion) أحد أكثر التحديات الجيومورفولوجية والبيئية تعقيداً في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، نظراً لدورها الحاسم في إعادة تشكيل معالم السطح واستنزاف الخصوبة الحيوية للتربة. وعلى الرغم من فيض الدراسات التي تناولت هذه الظاهرة، إلا أن الفجوة العلمية (Research Gap) تظل قائمة في دقة النمذجة المكانية ضمن البيئات ذات التربة الهجينة (كالتربات الجبسية والكلسية)؛ حيث تعجز المعادلات الرياضية التقليدية —مثل معادلة Chepil— عن تقديم توصيف دقيق في ظل غياب محطات الرصد المحلية الكثيفة.

تتمثل الحداثة العلمية لهذه الدراسة في الانتقال من النمذجة الإحصائية التقليدية إلى التحليل الطيفي الديناميكي؛ عبر توظيف مؤشر (ILSWE) ومعامل التعديل في مؤشر (SAVI) لتحييد الضجيج الطيفي للتربة. ويهدف هذا الإطار المنهجي إلى تقديم حلول تقنية دقيقة للمناطق المحرومة من البيانات المناخية، من خلال المزاوجة بين المخرجات الرقمية والتحقق الميداني، مما يساهم في دعم استراتيجيات مكافحة التصحر وإدارة الموارد الأرضية المستدامة عالمياً.

مشكلة البحث:

تعاني أراضي قضاء العلم من تزايد نشاط التعرية الريحية نتيجة تأثير العوامل الطبيعية، ولاسيما خصائص السطح والانحدار والتربة والظروف المناخية، الأمر الذي انعكس سلباً على حيوية التربة والغطاء النباتي. وعلى الرغم من إمكانية توظيف تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن هذه

الظاهرة، إلا أن طبيعة التباين المكاني للتعرية الريحية ومدى تأثيرها في تراجع إنتاجية التربة الحيوية ما تزال غير واضحة بصورة دقيقة في منطقة الدراسة. ومن هذه المشكلة تنطلق التساؤلات الاتية:

- ما أثر العوامل الطبيعية، ولاسيما السطح والانحدار والتربة، في تباين شدة التعرية الريحية في قضاء العلم؟
- هل تعكس مؤشرات (NDVI)و(SAVI) و(BSI) و(GSI) أثر التعرية الريحية في تراجع حيوية التربة والغطاء النباتي؟
- ما مدى كفاءة نموذج ILSWE في تحديد مناطق التعرية الريحية في منطقة الدراسة؟

فرضية البحث:

يوجد أثر ذو دلالة مكانية واضحة للعوامل الطبيعية (خصائص السطح، درجة الانحدار، ونوع التربة) في تحديد وتفاوت شدة التعرية الريحية ونطاقات انتشارها في أراضي قضاء العلم. وتتفرع هذه الفرضية إلى الإجابات المتوقعة الآتية:

- تمتلك المؤشرات الطيفية المستعملة (NDVI) و (SAVI)و (BSI)و (GSI) كفاءة عالية في عكس حجم التدهور البيئي وتراجع مستويات حيوية التربة وكثافة الغطاء النباتي الناتج عن التعرية الريحية.
- تميز نموذج التعرية الريحية المتكامل (ILSWE) بكفاءة ودقة تقييمية عالية في نمذجة وتحديد المناطق الأكثر عرضة لمخاطر التعرية الريحية في منطقة الدراسة وتصنيف مستوياتها بناءً على المدخلات الطبيعية.

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى تحليل التباين المكاني للتعرية الريحية في قضاء العلم وبيان أثرها في تراجع حيوية التربة، من خلال دراسة العوامل الطبيعية المؤثرة فيها، وتطبيق نموذج ILSWE وطريقة شيبل المناخية، وتحليل مؤشرات (NDVI) و(SAVI) و(BSI) و(GSI)بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد المناطق الأكثر تعرضاً للتدهور البيئي.

أهمية البحث:

تنبع أهمية البحث من تقديم دراسة جغرافية تطبيقية متكاملة لبيئة قضاء العلم الشبه جافة، حيث يساهم في إثراء المكتبة العلمية عبر توظيف تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في فهم وتأصيل العلاقات الارتباطية المكانية بين عناصر البيئة الطبيعية وشدة التعرية الريحية. وتتبلور هذه الأهمية في دمج المؤشرات الطيفية (NDVI, SAVI, BSI, GSI) مع نموذج النمذجة البيئية (ILSWE) لتقييم تدهور الأراضي وإنتاج خرائط رقمية دقيقة تحدد بؤر التعرية الأكثر خطورة؛ مما يمنح صناع القرار

والمؤسسات التخطيطية والزراعية في قضاء العلم الدين قاعدة بيانات حديثة تدعم خطط مكافحة التصحر، وتساهم في حماية الأمن الغذائي والبيئي عبر رصد تراجع حيوية التربة والغطاء النباتي، وصولاً إلى وضع ركائز تطبيقية لإقامة مشاريع الأحزمة الخضراء وتثبيت الكثبان الرملية في المنطقة.

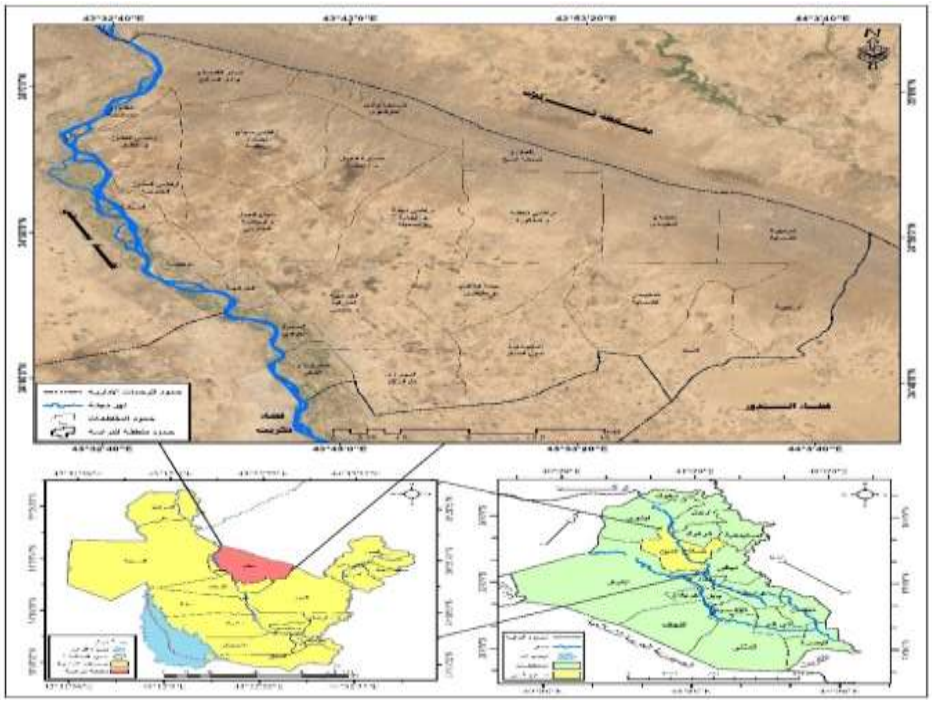
المنهجية المتبعة:

تعتمد الدراسة المنهج التحليلي التركيبي عبر المعالجة الرقمية لمرئيات (Landsat 8) لاستخلاص المؤشرات الحيوية والفيزيائية (SAVI, NDVI). وتتكامل المنهجية بمقارنة نقدية بين النماذج التقليدية ومؤشر (ILSWE) عبر بيئة (GIS) لتحديد فجوات التوصيف المكاني للتعرية. وصولاً إلى تحليل أثر التآزر بين المناخ والطبوغرافيا في تراجع الإنتاجية الحيوية للتربة.

منطقة الدراسة

يقع قضاء العلم فلكياً بين دائرتي عرض (١٥" ٣٤° – ٢٠" ٣٥°) شمالاً، وخطّي طول (١٥" ٤٣° – ١٠" ٤٤°) شرقاً، بمساحة إجمالية تبلغ (١٤٥٧.٧) كم². ويُمثل القضاء وحدة مكانية انتقالية (Transition Zone) أما من الناحية الجغرافية، فيتحدد القضاء بحدود إدارية وطبيعية واضحة؛ حيث يحده من الغرب قضاء تكريت، ومن الشرق تتركز حدوده عند سلسلة جبال حمرين، بينما يلتقي في أقصى شماله بمنطقة الفتحة المتاخمة لناحية العباسي التابعة لشرق قضاء بيجي، وينتهي القضاء من جهة الجنوب بحدوده المشتركة مع قضاء الدور

خريطة (١): الموقع الجغرافي الفلكي لقضاء العلم ضمن محافظة صلاح الدين والعراق



المصدر: وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة محافظة صلاح الدين الإدارية،

بمقياس رسم (١:١,٠٠٠,٠٠٠)، بغداد، ٢٠٠٧.

العوامل الطبيعية المؤثرة في التعرية الريحية للمنطقة المدروسة:

أولاً- أقسام السطح في المنطقة المدروسة:

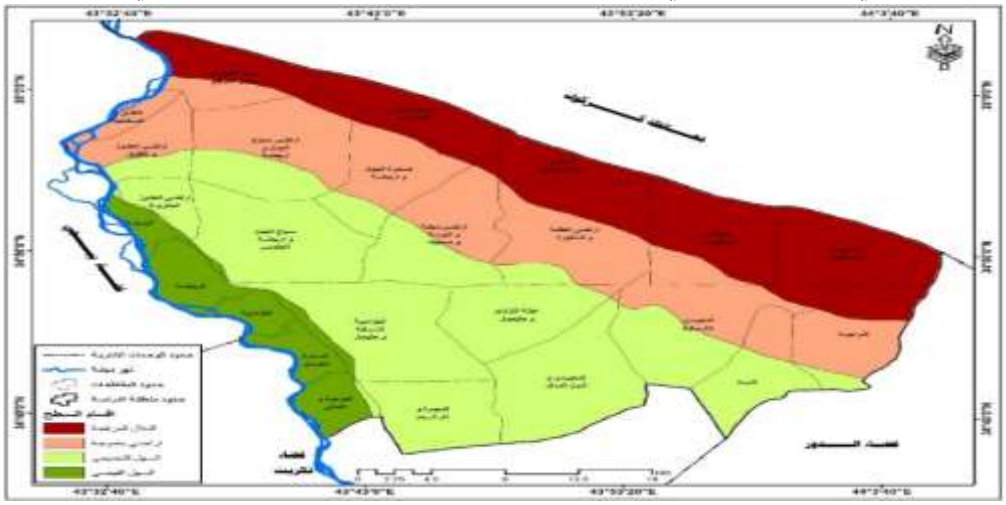
تُعد الخصائص الطبوغرافية المتغير الجيومورفولوجي الأبرز في رسم ملامح السطح وتوجيه العمليات المورفوديناميكية؛ إذ كشف تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في خريطة (٢) عن تباينٍ في المناسيب ودرجات الخشونة/ مما يُؤثر جوهرياً في ميكانيكية التذرية الريحية (عزيز، ٢٠١٨، صفحة ١٣٤). فبينما تُعزز المناطق المستوية من القوة القصية للرياح واكتساح الذرات الناعمة لافتقارها للمصدات، تعمل النطاقات الوعرة كحواجز مكانية (Topographic Barriers) تُحفز الترسيب (Cooke, Warren, & Goudie, 1993, p. 288). وبناءً على المعطيات الرقمية في جدول (١)، يمكن تقسيم المنطقة إلى أربعة أقاليم تضاريسية رئيسة:

جدول (١): مساحة ونسب أصناف الوحدات الأرضية في منطقة المدروسة وفقاً لفئات الارتفاع

مستويات الوحدات الارضية	فئات الارتفاعات (متر)	المساحة(كم^2)	النسبة المئوية (%)
تلال مرتفعة	٣٤١ - ٥٢٢	٣٢٩.٢	22.6
أراضي متموجة	٢٢٨ - ٣٤٠	٣٩٣.٢	27.0
سهل تجمعي	١٤٨ - ٢٥٣	٦٢٣.٣	42.8
سهول فيضي	٨٣- ١٥٢	١١٢	7.7
المجموع الكلي		١٤٥٧.٧	١٠٠.٠

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة الوحدات الأرضية (2) المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

خريطة (٢) لتوزيع المكاني لأقسام السطح في المنطقة المدروسة بناءً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة (١٢.٥) مترًا ومعالجة برمجيات (Arc GIS 10.8).

١. التلال المرتفعة (High Hills):

تشغل مساحة (٣٢٩.٢ كم²) أي (٢٢.٦%) من إجمالي المساحة الكلية للمنطقة المدروسة، وفقاً لجدول (١)، وتتمثل في القمم المرتفعة لسلسلة تلال حمرين شمال وشمال شرق المنطقة بارتفاعات (٣٤١-٥٢٢) متراً. يتطابق امتدادها وانحدارها الشديد مع التلال المنخفضة، كما تمثله خريطة (٢)، لكنها تزيد عنها وعورةً وتدهوراً في غطائها النباتي الذي يقتصر على شجيرات متباعدة مثل السدر (Ziziphus). وقد تضافرت العوامل الطبوغرافية مع حدة الانحدار لتنشيط عمليات التعرية، مما حولها إلى أراضٍ مشققة وغير صالحة للاستثمار الزراعي. كما يتبين من شكل (١).

٢. أراضي متموجة (Undulating Lands):

تغطي مساحة (٣٩٣.٢ كم²) بنسبة (٢٧.٠%) من إجمالي المساحة الكلية للمنطقة المدروسة، حسب جدول (١)، وتمتد كشريط طولي في الجهات الشمالية والشمالية الشرقية ضمن سلسلة تلال حمرين، بارتفاعات تتراوح بين (٢٢٨ و٣٤٩) متراً. تمتد هذه السلسلة من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي بانحدارات شديدة باتجاه الغرب، كما تشير خريطة (٢)، وتتميز بوعورة السطح وفقر الغطاء النباتي وانعدام النشاط الزراعي (Thomas, 1997, p. 143). وتؤدي هذه الوعورة التضاريسية إلى خلق ظلال ريحية (Wind Shadows) تعمل كمصائد طبيعية للرواسب؛ حيث تنخفض سرعة الرياح خلف الحواجز المكانية، مما يحفز الترسيب الإيولي المتمثل في 'النمشات الرملية' (Sand Sheets) والفرشات الرقيقة، وصولاً إلى تشكيل 'كثبان خلف الحواجز' (Lee Dunes) في المنحدرات الخلفية للسلسلة، كما يتبين من شكل (١).

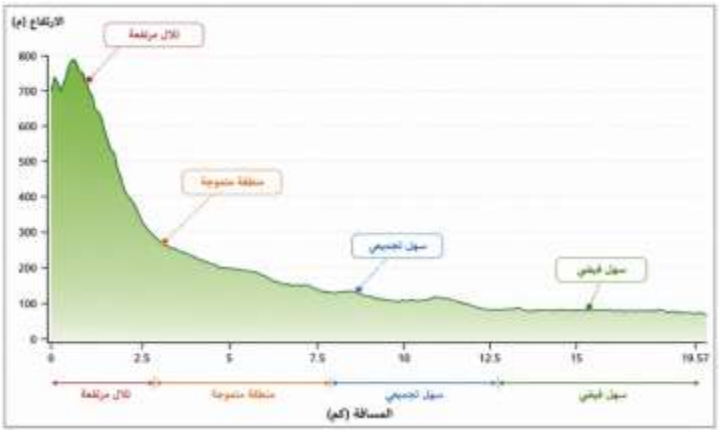
٣. السهل التجمعي (Aggregational Plain):

تُمثل النُّقل المساحي الأكبر في منطقة الدراسة بواقع (٦٢٣.٣ كم) ² وبنسبة (٤٢.٨%) من إجمالي المساحة العامة للمنطقة المدروسة، وفقاً لجدول (١). وينحدر من حواف تلال حمرين نحو المنطقة السهلية بارتفاعات تتراوح بين (١٤٨ و٢٥٣) متراً. تتجه منحدراته عموماً نحو الجنوب الغربي، باستثناء القطاع الشمالي الغربي المرتبط بتصريف وادي (قبر العبد)، كما تشير خريطة (٢)، وتنتشر فيه أودية ضحلة ردمتها الإرسابات المطرية؛ وبالرغم من دور الانحدار في نشاط التعرية، إلا أنه أقل حدة من المنطقة السهلية. وتصنف أراضيه كأودية مشققة (Dissected Lands) تعيق الاستثمار الزراعي بفعل الأخاديد العميقة وكلف الاستصلاح العالية (Parsons & Abrahams, 2009, p. 23)، مما يجعله بيئة هشة تتطلب معالجات تقنية متقدمة، كما يتبين في شكل (١).

٤. السهول الفيضية (Floodplain):

تُعد الأقل مساحة بواقع (١١٢ كم²)، إذ تعادل (٧.٧%) من إجمالي المساحة الكلية للمنطقة المدروسة، وتتميز بسمك يتراوح ما بين (٨٣– ١٥٢) متراً، كما تشير اليه في جدول (١) وخريطة (٢)، وتتمثل مورفولوجياً بالسهل التجميعي (Accumulation Plain) المنحدر تدريجياً من تلال حمرين شرقاً نحو حافة دجلة القديمة غرباً (الدليمي، ٢٠٢١، صفحة ٤٥). يضم هذا النطاق السهل الفيضي المهجور (Abandoned Floodplain) والمصاطب النهرية القديمة، ويتسم بسطح مستوٍ تتخلله منخفضات ردمتها الإرسابات الفيضية والريحية. وفي شطره الشمالي، تبرز شبكة أودية تعزز الجريان السطحي وتغذي الخزان الجوفي عبر الترشيح، نظراً لارتفاع معدلات المسامية والنفاذية في رواسب السهل، كما يتبين في شكل (١).

شكل (١) مقطع تضاريسي يوضح التدرج من التلال المرتفعة إلى المنطقة السهلية



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) المستخلص من مرئيات القمر الصناعي (Landsat 9) وبرنامج الرادار الطبوغرافي للمكوك (SRTM DEM) بدقة مكانية ٣٠ متر لمنطقة. معالجة رقمية باستخدام برنامج Global Mapper (الإصدار ١٨.١)، تم الاسترجاع من بوابة EarthExplorer.

ثانياً–تحليل الانحدار في المنطقة المدروسة:

يُمثل الانحدار المتغير الجيومورفولوجي الأكثر حيوية؛ لكونه المحدد الرئيسي لديناميكية السطح وميكانيكية انتقال المفتتات. ويتألف نظام المنحدر تضاريسياً من ثلاث قطاعات وظيفية موزعة مكانياً، وكما يلي: القمة المحدبة (نطاق التعرية والنقل العلوي) وتتركز في القمم العالية لتلال حمرين شمال وشمال شرق المنطقة، والمنحدر المستوي (نطاق العبور الوسيط) الذي يمتد ضمن نطاق أقدام التلال (Pediments)، وصولاً إلى القاعدة المقعرة (نطاق الترسيب النهائي) والمتمثلة بالمنطقة السهلية الفسيحة غرباً.

وقد استندت الدراسة الحالية على تصنيف (Zink) لتحديد فئات الانحدار ومستويات التضرس السائدة في منطقة الدراسة؛ وتوظيف المخرجات الرقمية لنموذج الارتفاع (DEM) في استخلاص القيم المساحية والنسب المئوية الدقيقة لكل صنف، كما هو موضح في الجدول (٢) والخريطة (٣).

١ فئة الانحدار الخفيف (Gentle Slope):

يشغل هذا الصنف معظم المساحات المنبسطة في منطقة الدراسة، لا سيما الواقعة ضمن السهل الفيضي، بمساحة إجمالية تبلغ (٩٦٦.٥ كم²) وبنسبة (٦٦.٣%) من إجمالي المساحة العامة للمنطقة المدروسة، وفقاً لجدول (٢). وبانحدار يتراوح بين (٠ – ١.٩ درجة)، تكتسب المنطقة صفة الانبساط التام، كما تشير خريطة (٣)، مما عزز من كفاءة الاستثمار الزراعي وتعميم المكننة الشاملة في الأراضي الانتقالية بين النطاقات المتموجة والسهول الرسوبية. إلا أن هذا الانبساط الجيومورفولوجي أدى إلى انكشاف السطح وزيادة حساسيته تجاه التعرية الريحية (Wind Erosion)؛ نتيجة افتقاره للمصدات الطبوغرافية (Goudie, 2013, p. 12)، مما حفز عمليات تذرية الحبيبات الناعمة والمادة العضوية، وأفضى بالنتيجة إلى تدهور البنية الفيزيائية للتربة وتراجع قدرتها الإنتاجي.

٢ فئة الانحدار المتوسط (Moderate Slope):

يشغل هذا الصنف مساحة إجمالية تُقدر بنحو (٣٥٤.٧ كم²) وبنسبة (٢٤.٣) %من اجمالي المساحة العامة للمنطقة المدروسة، وفقاً لجدول (2)، حيث تتراوح قيم الانحدار فيه بين (٢ – ٧.٩درجة)، كما يظهر في خريطة (٣). ويتسم السطح بتموجٍ تضاريسي طفيف وانخفاضٍ في حدة التضرس، لا سيما في النطاقات المتاخمة لمرتفعات حمرين شمالاً وشمال شرق المنطقة، مما يمنحها ملامح أراضٍ انتقالية (Ecotone) تجمع بين استواء السهول وبدايات التضرس الجبلي. وتخضع هذه الأراضي لتأثير التعرية المزدوجة (Double Erosion) (البار، ٢٠١٩، صفحة ٨٥)؛ حيث تتظافر العوامل المائية مع النشاط الريحي في تجريف حبيبات الغرين والصلصال، مما يؤدي إلى تآكل الآفاق التربة النشطة وتدهور خصوبتها الطبيعية.

٣ فئة الانحدار الشديد (Steep Slope):

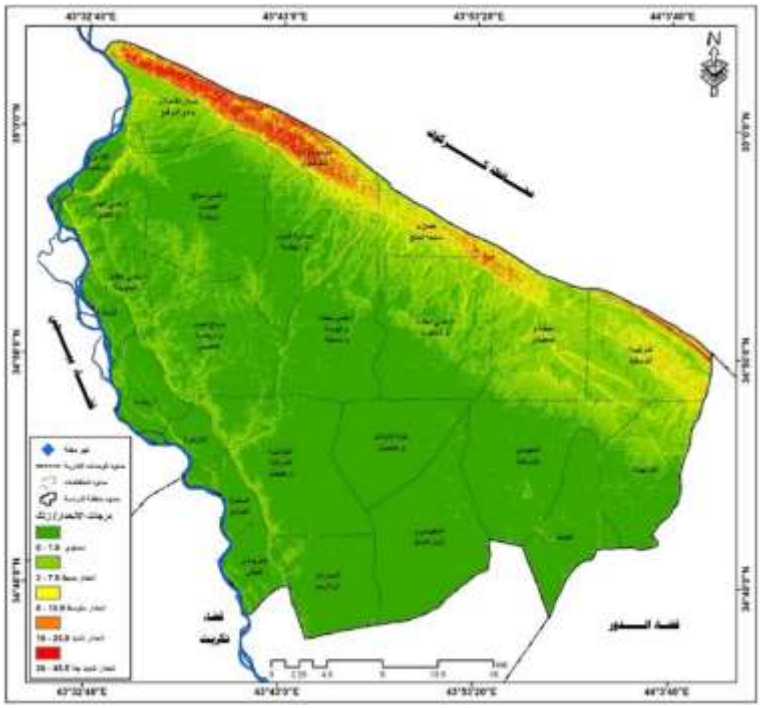
ينتشر هذا الصنف ضمن النطاقات المتموجة المحيطة بمرتفعات حمرين، بمساحة إجمالية تبلغ (٨١.٣ كم²) وبنسبة (٥.٦%) من إجمالي المساحة العامة للمنطقة المدروسة، وفقاً لجدول (٢). وتتراوح قيم الانحدار في هذا النطاق بين (٨ – ١٥.9 درجة)، كما مبين في خريطة (٣)، وهو ما يعكس نتاج النشاط التكتوني والعمليات الجيومورفولوجية اللاحقة التي شكلت تضاريس المنطقة. وتتسم هذه الفئة بحدة الانحدار التي تضاعف من كفاءة الكشط الريحي للطبقات الهشة، وتنشيط عمليات النقل المائي؛ مما يفضي إلى تدهور كيميائي وحيوي في خصائص التربة، ويحيلها إلى بيئات طاردة للنشاط الزراعي التقليدي (Selby, 1993, p. 210).

٤ فئة الانحدار الشديد جداً (Very Steep Slope):

يستحوذ هذا النطاق على الأراضي المتموجة المتاخمة لمرتفعات حمرين، بمساحةٍ إجمالية بلغت (٣٩.٤ كم²) وبنسبة (٢.٧%) من الإجمالي المساحة العامة للمنطقة المدروسة، وفقاً لجدول (٢)، حيث تتراوح قيم الانحدار فيه بين (١٦ – ٢٩.٩ درجة) المتمثلة في خريطة (٣). ويُعزى هذا التشكيل الطبوغرافي إلى نتاج

النشاط التكتوني والعمليات الجيومورفولوجية اللاحقة التي صاغت المعالم التضاريسية للمنطقة (المياح، ٢٠١٠، صفحة ٨٨)؛ إذ تُساهم حدة الانحدار في تنشيط التعرية المزدوجة (المائية والريحية)، مما يؤدي إلى تجريد السطح وانكشاف تربات هيكلية (Skeletal Soils) ضحلة ومفتقرة للمادة العضوية، وهو ما أقصاها تماماً من دائرة الاستثمار الإنتاجي جراء القيود الطبوغرافية الحادة.

خريطة (٣) التوزيع المكاني لدرجات الانحدار لسطح المنطقة المدروسة وفق تصنيف (Zink).



المصدر: من عمل الباحثة استناداً إلى بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (SRTM DEM) بدقة تمييز (١٢.٥) متراً، باستخدام أدوات التحليل المكاني في برنامج (ArcGIS١٠.٨) ووفقاً لتصنيف (Zink).

جدول (٢) مساحة ونسب أصناف الانحدار لمنطقة الدراسة وفقاً لتصنيف زينك (Zink, 1989)

تصنيف الانحدار	فئات درجة الانحدار (درجة)	المساحة (كم^2)	النسبة المئوية (%)
خفيف	٠-١.٩	966.5	66.3
متوسط	٢-٧.٩	354.7	24.3
شديد	٨-١٥.٩	81.3	5.6
شديد جداً	١٦- ٢٩.٩	39.4	2.7
المجموع الكلي		١٤٤٢.٠	15.8

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٣) المستخرجة من انموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ووفقاً لتصنيف (Zink, 1989).

ثالثاً–الخصائص المناخية في المنطقة المدروسة:

تُظهر المعطيات المناخية المرصودة في الجدول (٢) تبايناً فصلياً وتوافقاً مكانياً يحكم الاستجابة البيئية لعمليات التعرية الريحية (Aeolian Erosion). ويمكن تحليل الارتباط السببي بين هذه العناصر وفقاً للمحاور الآتية:

١- الخصائص الحرارية (Thermal Characteristics):

ظهرت النتائج تبايناً فصلياً ومكانياً ملموساً؛ حيث سجل فصل الصيف أعلى معدلات حرارية في محطة تكريت بواقع (٣٥.٤) م° مقابل (٣٤.٢) م° في محطة كركوك، بينما انخفضت المعدلات شتاءً إلى أدنى مستوياتها في محطة كركوك لتصل إلى (١٠.٣) م°، وفقاً لجدول (٢) وشكل (٢). ويُعد هذا الإجهاد الحراري المحرك الأساس لنشاط التعرية الريحية؛ إذ تؤدي آلية التباين الحراري إلى تفكك ميكانيكي في بنية التربة، يتزامن مع تصاعد قيم التبخر ونتح النبات، مما يقوض التماسك البنيوي للآفاق العليا ويحولها إلى ذرات مفككة سهلة النقل، مستنزفًا المادة العضوية مما يدهور الغطاء النباتي الطبيعي.

٢- الخصائص التساقطية (Precipitation Patterns):

يتسم النظام المطري في منطقة الدراسة بتركيز فصلي حاد؛ حيث ينعدم الهطول كلياً خلال فصل الصيف (٠.٠ ملم) في كلتا المحطتين نتيجة سيادة المرتفع المداري، مما يؤدي إلى جفاف التربة وانكشافها أمام عمليات التذرية. وفي المقابل، يمثل فصل الشتاء ذروة الموسم المطري، إذ سجلت مجموع الامطار الساقطة لمحطة كركوك (١٦٢.١) ملم متجاوزةً محطة تكريت التي سجلت مجموع الامطار الساقطة (١٥٧.٥) ملم، وفقاً لجدول (٣) وشكل (٢). إن هذا العجز المائي الصيفي المقترن بتذبذب الأمطار الشتوية يزعزع الاستقرار الفيزيائي للتربة؛ عبر آلية مزدوجة تتمثل في غسل العناصر المغذية شتاءً وتذرية الحبيبات الناعمة صيفاً، مما يُفقد التربة قدرتها على دعم الغطاء النباتي الدائم.

٣- التبخر وسرعة الرياح (Evaporation & Wind Speed):

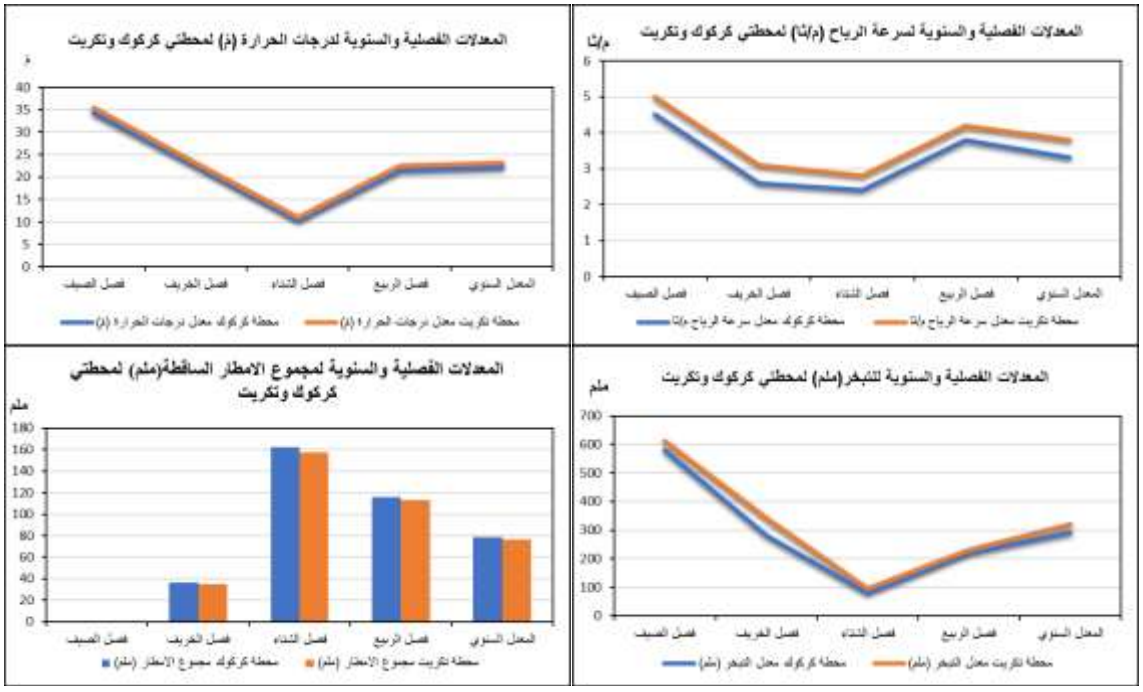
من خلال جدول (٣) والشكل (٢) تتأكد العلاقة الطردية الوثيقة بين معدلات التبخر ونشاط الرياح ؛ حيث سجلت محطة تكريت أعلى قيم التبخر في فصل الصيف بـ (٦١٠.١) ملم بالتزامن مع رياح نشطة بلغت (٥) م/ثا، بينما سجلت محطة كركوك (٥٨٠.١) ملم عند سرعة رياح (٤.٥) م/ثا. هذا التلازم بين سرعة الرياح وعجز الرطوبة يحوّل التربة إلى مفتتات جافة تكتسحها التعرية الريحية المكثفة، مما يمنع استقرار البذور النباتية ويقوض نمو الغطاء الخضري. وعلى النقيض، تتدنى قيم التبخر في فصل الشتاء لتصل إلى (٨٠.٢) ملم في كركوك و(٩٥.١) ملم في تكريت، نتيجة انخفاض الطاقة الحرارية وهدوء النشاط الريحي النسبي.

جدول (٣) المعدلات الفصلية والسنوية للمتغيرات المناخية المؤثرة في التعرية الريحية بمحطات الدراسة (كركوك، تكريت) لسنة (٢٠٢٥م).

الفصول / السنة	محطة كركوك				محطة تكريت			
	معدل درجة الحرارة (مْ)	معدل سرعة الرياح م/ثا	مجموع الامطار (ملم)	معدل التبخر (ملم)	معدل درجة الحرارة (مْ)	معدل سرعة الرياح م/ثا	مجموع الامطار (ملم)	معدل التبخر (ملم)
فصل الصيف	٣٤.٢	4.5	٠.0	580.1	35.4	5	٠.٠	610.1
فصل الخريف	22.5	2.6	36.5	280	23.2	3.1	35.2	340
فصل الشتاء	10.3	2.4	162.1	80.2	١١.١	2.8	157.5	95.1
فصل الربيع	21.4	3.8	115.5	220.3	22.5	4.2	113.1	231.2
المعدل السنوي	22.1	3.3	78.5	290.2	23.2	3.8	76.5	319.1

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على (جمهوريةٌ العراق، وزارة النقل والموصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بغداد،(٢٠٢٥)م بيانات غير منشورةٌ.)

الشكل (٢) تمثيل بياني للمعدلات المناخية الفصلية لمحطتي كركوك وتكريت، موضحاً الفوارق الحرارية والامطار التساقطية للمنطقة المدروسة

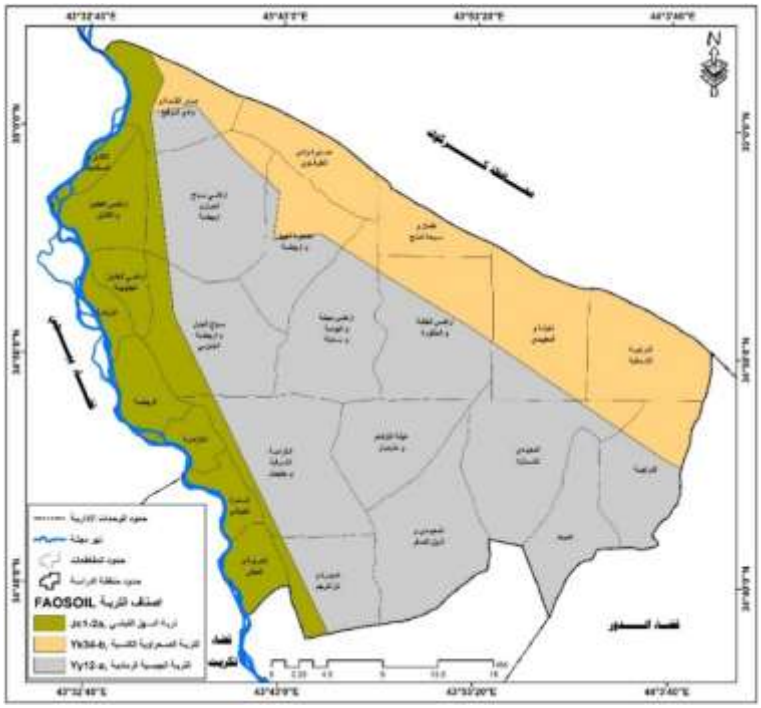


المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على جدول (٣).

رابعاً- ترب المنطقة المدروسة وقابليتها للتعرية الريحية

يُظهر التحليل الجغرافي لتربة المنطقة المدروسة تبايناً مكانياً واضحاً، تفرضه طبيعة التداخل بين الوحدات الجيومورفولوجية والعمليات الأرضية النشطة. وبناءً على معايير تصنيف (FAO)، تم تحديد توزيعاتها الموضحة في الجدول (٤) والخريطة (٤)؛ إذ تعكس هذه الخصائص دوراً مورفوجينياً جوهرياً في تنشيط عمليات التعرية الريحية، وهو ما يفسر التراجع الملحوظ في مستويات القدرة الإنتاجية الحيوية للتربة في المناطق المتأثرة. وبناءً على ذلك، تم تصنيف تربة المنطقة إلى أربعة أصناف رئيسة وفقاً لمعايير (FAO) المعتمدة.

خريطة (٤) التوزيع المكاني لأصناف الترب في المنطقة المدروسة وفقاً لنظام تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO)



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على (FAO, 2015, pp. 24-28) وباستخدام برنامج (Arc GIS١٠.٨).

جدول (٤): التوزيع المساحي والخصائص المورفولوجية والإنتاجية لأصناف الترب في المنطقة المدروسة وفقاً لتصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO).

أصناف الترب	الرموز (تصنيف الفاو FAO) -	القوام والنسجة	درجة الإنتاجية للتربة	الملائمة الحيوية	المساحة (كم²)	النسبة المئوية (%)
ترب السهل الفيضي	Jc35-2a	متوسط (مزيج من الرمل والغرين والصلصال)	عالية جداً		265	18.2
التربة الصحراوية الكلسية	Yk34-b	عالية جداً: الأجود لزراعة مختلف المحاصيل الاستراتيجية.	عالية جداً للمحاصيل الاستراتيجية	(الأجود	345.9	23.7
الترب الجبسية الرمادية	Yk12-a	مزيج رملي / رملي مزيجي	غير صالحة: بسبب الملوحة المفرطة والسمية الجبسية.		846.8	58.1
المجموع الكلي					1457.7	١٠٠.٠

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٤)، التوزيع المكاني لأصناف الترب في منطقة الدراسة وفقاً لنظام تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO).

١- ترب السهل الفيضي (Fluvisols)

تُعد هذه الترب الأقل انتشاراً في منطقة الدراسة، حيث تغطي مساحة (265) كم²، وبنسبة (18.2) % من إجمالي المساحة للمنطقة المدروسة، وفقاً للمعطيات الرقمية الواردة في جدول (٤)، وتوزعها جغرافياً في الأجزاء الشمالية الغربية و الغربية على هيئة شريط طولي محاذٍ لمجرى نهر دجلة، كما موضح في خريطة (٤). وهي نتاج لعمليات الترسيب المائي الحديثة (Recent Alluvium) التي أفرزت آفاقاً تشخيصية غنية بالأطيان والكبريتيدات والمادة العضوية، حيث يبرز في مقطعها الرأسي تناقص غير منتظم للمادة العضوية (OM) يتجاوز (٠.٣٥) % عند منسوب (١٢٤) سم، مع سيادة الترتيب الطبقي النسجي. وتمتاز هذه الوحدات بارتفاع منسوبها الطوبوغرافي وانخفاض مستوى المياه الجوفية، مما عزز من كفاءة التصريف المائي وصلاحيتها لمختلف الأنماط الزراعية. ويتسم قوامها بتوليفة متوازنة تجمع بين الرمل والغرين والصلصال، مما منحها بنية فيزيائية متماسكة تزيد من قدرتها على مقاومة فعل التعرية مقارنة بالأنماط التربوية الضحلة المحيطة (الخفاجي ، ٢٠٢٢، صفحة ١٥٨). وبناءً على ثرائها المعدني والعضوي، تُصنف هذه الترب كأجود الأنواع في المنطقة المدروسة؛ إذ انعكس هذا الاستقرار البنيوي إيجاباً على تنوع المحاصيل وارتفاع الكفاءة الإنتاجية.

٢- الترب الصحراوية الكلسية (Yk34-b)

تستأثر الترب الصحراوية الكلسية بالمرتبة الثانية مساحياً بواقع (٣٤٥.٩) كم²، وبنسبة (23.7) % من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة حسب معطيات الرقمية الواردة في جدول (٤)، إذ تنتشر جغرافياً في الأجزاء الشرقية والجنوبيةالشرقية من المنطقة، كما تشير خريطة (٤). وتُصنف ضمن الرتب الجافة (Aridic). ويُظهر المقطع الرأسي (Profile) لهذه الترب تمايزاً طباقياً بوجود أفقاً كلسياً (Calcic) على منسوب (١٢٥) سم، يعلوه أفق سطحي باهت (Ochric Epipedon). وتمتاز هذه الترب بقوام (نسجة) خشن إلى متوسط الخشونة، مما أدى إلى ضعف بنائها المورفولوجي وتماسك حبيباتها السطحية، لاسيما مع

التدني الحاد في محتوى المادة العضوية (OM). إن هذه الخصائص الفيزيائية والقوام الهش جعلا التربة عرضة لنشاط التعرية الريحية المكثف (عزيز، ٢٠١٨، صفحة ١٥٨)، الذي أفضى بدوره إلى تجريف الطبقات الخصيبة وتدهور كفاءتها الإنتاجية، مما يضع قيوداً جوهرية على استدامة الاستثمار الزراعي في هذه التربة.

٣- الترب الجبسية الرمادية (Y Yk12-a)

تتصدر الترب الصحراوية الجبسية المشهد المساحي في منطقة الدراسة باحتلالها المرتبة الأولى، حيث تغطي مساحة شاسعة بلغت (٨٤٦.٨) كم²، بنسبة استأثرت بـ(58.1) %من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة تبعاً للمعطيات الرقمية الواردة في جدول (٤)، وتتركز هذه الترب جغرافياً ضمن الأجزاء الوسطى من المنطقة كما يجسدها التوزيع المكاني، كما يظهر في خريطة (٤)، وتنتشر هذه الترب غالباً في البيئات الجافة وشبه الجافة التي يقل فيها المعدل السنوي للهطل المطري عن (٤٠٠) ملم. حيث تتشكل الترسبات الجبسية ضمن آفاق التربة بأعماق متباينة في الأجزاء ذات المنسوب المرتفع للمياه الجوفية؛ نتيجة نشاط الخاصية الشعرية وما يعقبها من عمليات تبخر شديدة تؤدي إلى الترسيم الملحي وكبريتات الكالسيوم بنسب تتجاوز (١٤) % في الطبقات تحت السطحية (٢) %. وتتسم هذه الترب بفقر حاد في محتواها من النيتروجين والفسفور والمادة العضوية (OM)، مما أثر سلباً على خصائصها الفيزيوكيميائية، وجعلها ذات نفاذية مائية عالية تصل إلى (١٠) سم/ساعة. إن هذه الهشاشة البنيوية، مضافةً إلى قابلية الجبس للذوبان العالي (العبيدي، ٢٠٢٢، صفحة ١١٢)، جعلت التربة عرضة لنشاط التعرية الميكانيكية والهيدروليكية، مما أدى إلى تآكل الطبقة السطحية الخصيبة وتدهور كفاءتها الإنتاجية، الأمر الذي يفرض ضرورة اعتماد استراتيجيات ري مقننة للحفاظ على استقرارها البنيوي.

خامساً- المؤشرات الطيفية المعبرة عن حساسية السطح للتعرية الريحية في المنطقة المدروسة

تُعد المؤشرات الطيفية (Spectral Indices) من الأدوات المنهجية الجوهرية والأكثر دقة في رصد وتحليل ديناميكيات الغطاء الأرضي للمنطقة المدروسة. بالاعتماد على تكامل المؤشرات الطيفية الأربعة (NDVI, SAVI, BSI, GSI) لنمذجة هشاشة الأراضي، حيث يعكس NDVI وSAVI حالة الحماية النباتية، بينما يحدد BSI وGSI الخصائص الفيزيائية والقابلية للتآكل في أسطح التربة المكشوف. ويعكس التحليل المكاني في خريطة (5 ،6 ،٨،٧) والإحصائي الوارد في الجدول (٥، ٦، ٧) مخرجات عالية الدقة (High-Fidelity) لهذه الخصائص الفيزيائية والحيوية، مما أتاح بناء تصنيف متين (Robust Classification) لمستويات الحساسية تجاه التعرية الريحية في قضاء العلم وفقاً لما يأتي:

١. مؤشرات خصائص سطح التربة (تحديد الهشاشة والتركيب)

تستهدف هذه المؤشرات الطيفية تقييم الخصائص الجيوفيزيائية لسطح التربة عبر المواءمة بين مؤشري (GSI) و (BSI)؛ لضمان دقة رصد الانكشاف السطحي وتدهور البنية الميكانيكية. ولغرض التحليل الكمي، صُنفت المخرجات الرقمية إحصائيًا ضمن رُتب معيارية تعكس تباين حساسية التربة تجاه التعرية الريحية في الخارطتين (٥ و٦)، وهو ما يجسده التحليل المساحي والنسبي في الجدول رقم (٥).

جدول (٥) المساحات والنسب المئوية لمؤشرات خصائص سطح التربة لتحديد الهشاشة والتركيب للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥) م.

مستويات تدهور الاراضي	مؤشرات خصائص سطح التربة (تحديد الهشاشة والتركيب)			
	مؤشر حجم الحبيبات (GSI)		مؤشر التربة العارية (BSI)	
	المساحة (كم^2)	النسبة (%)	المساحة (كم^2)	النسبة (%)
خفيف	359.6	24.7	386.3	26.5
متوسط	401.6	27.6	407.5	28.0
شديدة	696.5	47.8	663.9	45.5
المساحة الكلية	١٤٥٧.٧	١٠٠	1457.7	100.0

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على نتائج التحليل الرقمي للمؤشرين (BSI،GSI) المستخرجة من المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام ٢٠٢٥ باستخدام برنامج (ArcGIS).

أ- مؤشر حجم الحبيبات (GSI):

يُعد مؤشر حجم الحبيبات (Grain Size Index – GSI) مقياساً مورفومترياً ذا دلالة محورية في استشراف الخصائص الفيزيائية لسطح التربة، لاسيما في نمذجة التوزيع الحجمي للرواسب وديناميكيات التعرية الريحية ضمن النظم البيئية الجافة وشبه الجافة. وتتبثق القيمة التحليلية لهذا المؤشر من كفاءته العالية في التوصيف الكمي لخشونة السطح (Surface Roughness) (Xiao, Tateishi., Shen, & Bayaer, 2006, p. 3575) ؛ إذ تعكس القيم المرتفعة سيادة الفصائل الرملية الناعمة وغير المتماسكة، مما يُفضي بالضرورة إلى خفض عتبة الحت (Threshold Friction Velocity) وزيادة حساسية التربة للتذرية (Deflation) بفعل القوى الريحية.

وبالاستناد إلى المخرجات الكارتوغرافية في الخريطة (٥) والبيانات الإحصائية المستقاة من الجدول (٥)، كشف التحليل المكاني عن نمط توزيع جغرافي متباين لمستويات تدهور الأراضي، وهو يعكس تدرجاً في الفقد النوعي للتربة وكثافة النشاط الإيولي، وفقاً للمستويات الآتية:

❖ **نطاق التدهور الخفيف (نطاق الاستقرار النسبي):**

سجلت هذه الفئة أدنى انتشار مكاني بمساحة (٣٥٩.٦) كم²، ما يمثل (٢٤.٧) % من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، لاسيما في الأجزاء الغربية والوسطى والجنوبية وتُعزى هذه السيادة المساحية من الناحية الجيومورفولوجية إلى انخفاض حدة التعرية الريحية؛ نتيجة لارتفاع معامل خشونة السطح وتماسك الحبيبات السطحية، مما ساهم في رفع عتبة المقاومة الميكانيكية للتربة والحد من قابليتها للانجراف.

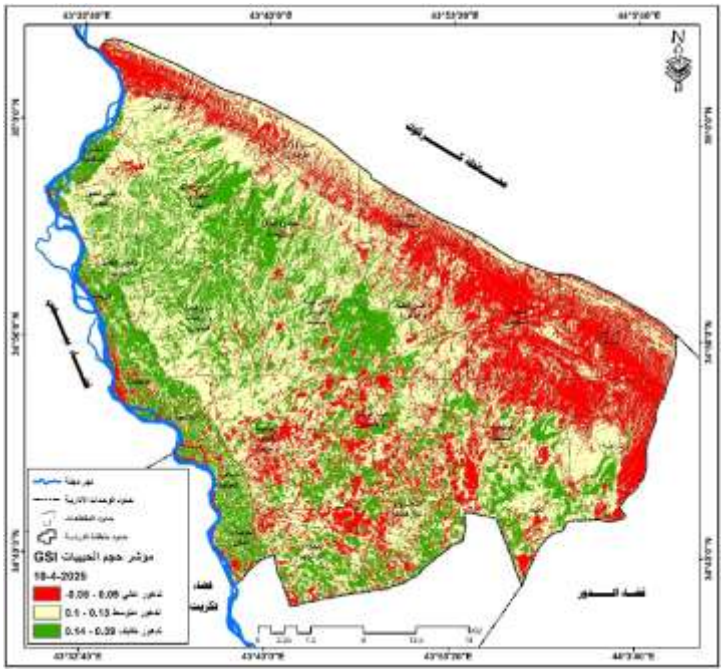
❖ **نطاق التدهور المتوسط (النطاق الانتقالي):**

تركزت هذه الفئة في أجزاء متناثرة في قلب منطقة الدراسة، شاغلةً مساحة قدرها (٤٠١.٦) كم²، أي ما يعادل (٢٧.٦) % من إجمالي المنطقة المدروسة، متمثلةً في نطاقات محدودة في الجهة الجنوبية ووسط المنطقة. ويشير هذا الانحسار المساحي إلى أن هذا المستوى يمثل عتبة حرجة أو نطاقاً انتقالياً غير مستقر؛ فهو إما في طور التحول نحو الفئات الأشد تدهوراً تحت وطأة الضغوط البيئية والبشرية، أو أنه يعكس حالة من التذبذب الديناميكي بين الاستقرار النسبي والنشاط الجيومورفولوجي، مما يؤكد هشاشة الحالة الوسطية للتربة في هذه الأجزاء.

❖ **نطاق التدهور الشديد (نطاق النشاط الريحي الحاد):**

فرضت هذه الفئة هيمنتها على المشهد المساحي العام للمنطقة، لاسيما الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية ومع مساحية متناثرة في قلب منطقة الدراسة، شاغلةً مساحة قدرها (٦٩٦.٥) كم²، أي يشكل (٤٧.٨) % من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، ويُفسر هذا التمركز بوجود استجابة جيومورفولوجية حادة في تلك النطاقات نتيجة لوقوعها المباشر ضمن مسارات ممرات الهبوب النشطة (Wind Corridors)، مما جعلها عرضة لعمليات كشط ونقل ريحي مكثفة، وتجاوزها مرحلة التوازن البيئي نحو التدهور الحرج.

خريطة (٥) التوزيع المكاني لمؤشر حجم الحبيبات (GSI) للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥)م



المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام (٢٠٢٥) م، والمعالجة الرقمية للمؤشرات(GSI) باستخدام برنامج (ArcGIS).

ب-مؤشر التربة العارية (BSI)

تُعد مؤشر الأراضي الجرداء (BSI) أداة جيومعلوماتية محورية لرصد وتحليل مخاطر التعرية وتدهور الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة وتبرز أهميته العلمية في تتبع الانحسار التدريجي لخصوبة التربة وتراجع إنتاجيتها الزراعية تحت وطأة العوامل المناخية في المناطق الجافة وشبه الجافة. إذ يؤدي انحسار الغطاء النباتي إلى انكشاف السطح (Rikimaru, Roy, & Miyatake, 2002, p. 7)، مما يضاعف معدلات التعرية الريحية والمائية. ويُوظف هذا المؤشر بفاعلية في نمذجة التغير المكاني للتعرية ومراقبة تداعيات الجفاف. كشفت المخرجات الإحصائية المجدولة في الجدول (٥) والتحليل الكارتوغرافي في خريطة (٦)، عن تباين مكاني ملموس في مستويات تدهور الأراضي؛ إذ عكس مؤشر عارية التربة (Bare Soil Index – BSI) تدرجاً في الاستجابة الجيومورفولوجية للسطح، توزعت على ثلاثة مستويات رئيسة، وفق الآتي:

❖ **فئة التدهور الخفيف (نطاق الاستقرار المورفوديناميكي):**

تُظهر البيانات سيادة مساحية واضحة لهذا النطاق، لاسيما في الأجزاء الشرقية والاجزاء الوسطى من منطقة الدراسة، حيث سجلت انتشاراً واسعاً بلغت مساحته (٣٨٦.٣) كم²، وهو ما يمثل النسبة الأعلى والبالغة (٢٦.٥) % من إجمالي المساحة الكلية. ويُعزى هذا الاستقرار الملحوظ إلى انخفاض قيم مؤشر BSI في هذه الاتجاهات، مما يشير إلى كفاءة الغطاء النباتي أو تماسك الحبيبات السطحية.

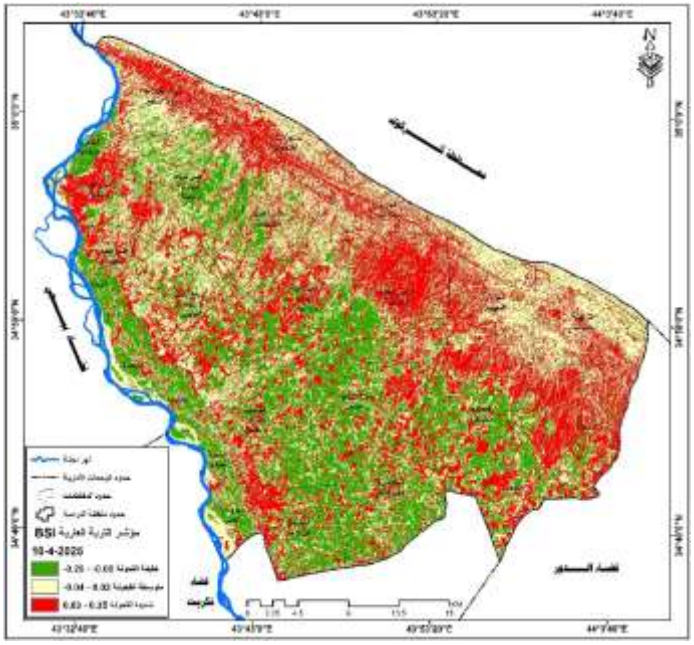
❖ **فئة التدهور المتوسط (النطاق الانتقالي):**

برزت هذه الفئة كعتبة حرجة في المشهد المساحي، حيث سجلت الأجزاء الشمالية الشرقية والوسطى انتشاراً مكانياً لهذا المستوى بلغت مساحته (٤٠٧.٥) كم² بنسبة مئوية وصلت إلى (٢٨.٠)% من إجمالي المساحة الكلية. يعكس تذبذب قيم مؤشر BSI في هذه النطاقات حالة من الهشاشة البيئية؛ إذ يمثل هذا المستوى نقطة التحول من الاستقرار النسبي نحو الشديد، مما يشير إلى أن التربة في تلك الاتجاهات كانت تقع تحت وطأة ضغوط بيئية بدأت في تجاوز عتبة التوازن الحرج (Critical Equilibrium).

❖ **فئة التدهور الشديد (نطاق النشاط الإيولي النشط):**

على الرغم من استقرار الظروف المناخية، إلا أن التدهور الشديد تركز بوضوح في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية والشرقية من المنطقة المدروسة، مسجلاً مساحة بلغت (٦٦٣.٩) كم²، وهي الأقل انتشاراً بنسبة (٤٥.٥) %. ويرتبط هذا الارتفاع الحاد في قيم مؤشر BSI بانكشاف السطح التام وفقدان الطبقة السطحية الخصبة، مما أدى بالضرورة إلى انخفاض عتبة الحت (Threshold Friction Velocity).

خريطة (٦) التوزيع المكاني لمؤشر التربة العارية (BSI) للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥)م



المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام (٢٠٢٥) م، والمعالجة الرقمية للمؤشرات (BSI) باستخدام برنامج (ArcGIS).

٢. مؤشر الغطاء النباتي المعدل بتأثير التربة (SAVI)

يُعد مؤشر الغطاء النباتي المعدل بتأثير التربة (SAVI) (Huete, 1988, p. 289) أداة تحليلية متطورة لتجاوز محدودية مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI)، لا سيما في المناطق ذات الغطاء النباتي

المتفرق؛ حيث يعمل على تحييد الضجيج الطيفي (Spectral Noise) الناتج عن انعكاسات خلفية للتربة المكشوفة، وتبرز القيمة العلمية لهذا المؤشر في البيئات الجافة وشبه الجافة، حيث تؤدي الخصائص الفيزيائية للتربة إلى تضليل قيم المؤشرات النباتية التقليدية وتضخيمها بصورة غير واقعية. كشفت مخرجات التحليل المكاني المجسدة في الخريطة (٧) والبيانات الإحصائية الواردة في الجدول (٦) عن تباين واضح في مستويات التدهور والغطاء النباتي، حيث أمكن تصنيفها وفقاً للاستجابة الطيفية إلى ثلاث فئات رئيسة:

❖ **المناطق ذات الكثافة النباتية المنخفضة (التربة المكشوفة):**

تمثل هذه الفئة النمط المكاني الأكثر انتشاراً، وتتوزع عرضياً في القطاعات الشرقية والشمالية الشرقية، وفي أجزاء صغيرة في القطاع الوسطى بمساحة بلغت (٦٢٠.٢) كم² وبنسبة (٤٢.٥) % من إجمالي المساحة الكلية. وتُصنف جغرافياً ضمن البيئات ذات الحساسية البيئية (Eco-sensitivity) المرتفعة؛ إذ تعكس القيم المتدنية للمؤشر في هذه النطاقات طغيان الخصائص الفيزيائية للتربة على الاستجابة الطيفية للنبات، مما يكرس حالة الهشاشة الطبيعية ويجعلها عرضة لعمليات التدهور الأرضي بفعل انكشاف التربة وغياب الغطاء الحيوي الواقي.

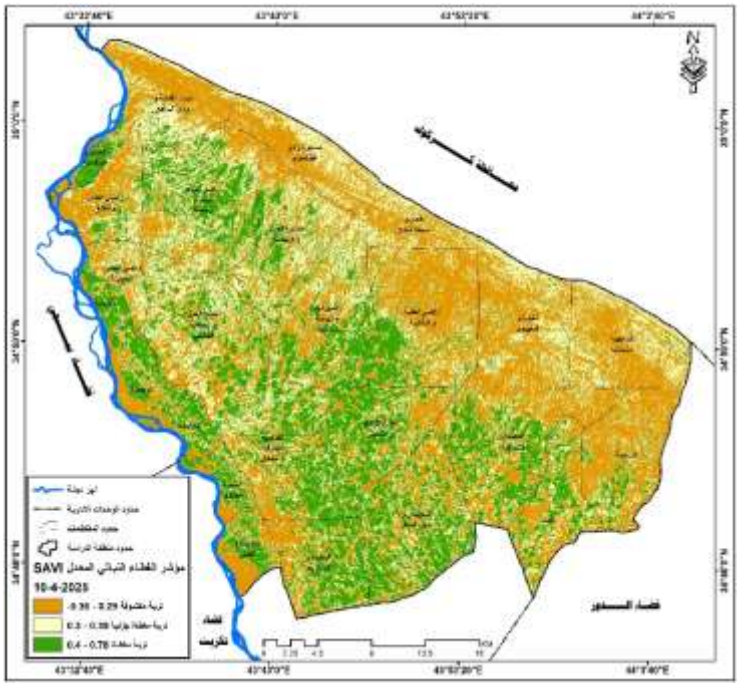
❖ **المناطق ذات الكثافة النباتية المتوسطة (الغطاء الجزئي):**

تتوطن هذه الفئة مكانياً في أجزاء صغيرة في قلب المنطقة المدروسة، بمساحة بلغت (٦٢٠.٢)كم² وبنسبة (٢٧.٣) % من إجمالي المساحة الكلية. وتكمن الأهمية التحليلية لهذه الفئة في دور معامل التعديل (L) ضمن مؤشر (SAVI) في ضبط الانعكاسية الطيفية وتصحيح التداخل (Noise) الناتج عن أثر خلفية التربة (Soil Background) في المناطق ذات الغطاء النباتي المتفرقة.

❖ **المناطق ذات الكثافة النباتية العالية (الغطاء الكثيف):**

يتركز هذا النطاق جغرافياً في الأجزاء الغربية والوسطى من منطقة الدراسة، بمساحة (١٤٥٧.٧) كم² تعادل (٣٠.١) % من المساحة الإجمالية. وتعبر هذه القيم عن بيئات ذات استقرار حيوي مرتفع، حيث بلغت قيم مؤشر (SAVI) ذروتها نتيجة كثافة الكتلة الحيوية التي حجبت التأثير الطيفي للتربة، مما عزز من دقة الاستجابة النباتية في هذه النطاقات.

خريطة (٧) التوزيع المكاني مؤشر الغطاء النباتي المعدل بتأثير التربة (SAVI) للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥) م



المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام (٢٠٢٥)م،والمعالجة الرقمية للمؤشرات (SAVI ,) باستخدام برنامج (ArcGIS).

جدول رقم (٦) المساحات والنسب المئوية لمؤشر الغطاء النباتي المعدل بتأثير التربة (SAVI) للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥) م.

مستويات تدهور الاراضي	مؤشر الغطاء النباتي المعدل بتأثير التربة (SAVI)	
	المساحة (كم^2)	النسبة المئوية (%)
شديدة	620.2	42.5
متوسط	٣٩٨.١	٢٧.٣
خفيف	439.4	30.1
المجموع ا	١٤٥٧.٧	100.0

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على نتائج التحليل الرقمي لمؤشر (SAVI) المستخرجة من المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام (٢٠٢٥) م باستخدام برنامج (ArcGIS).

٣. مؤشرات حالة الغطاء النباتي (NDVI):

تعتمد الدراسة على مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) (Rouse, Haas, Schell, & Deering, p. 352) كأداة قياسية لتقييم الحيوية النباتية، استناداً إلى التباين الطيفي بين امتصاص الكلوروفيل للنطاق الأحمر (Red) وانعكاسية النطاق تحت الأحمر القريب (NIR). وبناءً على المعالجة

الرقمية للمرئيات الفضائية، جرى تصنيف مستويات التدهور البيئي وفقاً لكثافة الغطاء النباتي إلى ثلاث فئات نوعية (ضعيف، متوسط، كثيف)، كما هي موضحة كارتوغرافياً في الخريطة (٨) وإحصائياً في الجدول (٧)، وذلك وفقاً للآتي:

❖ **فئة التدهور الطفيف (نطاق الاستقرار الجيومورفولوجي):**

كشفت البيانات الإحصائية عن سيادة مكانية مطلقة لهذا الفئة، حيث غطى مساحة إجمالية بلغت (٣٢٢.٦) كم²، محققاً النسبة الأعلى بواقع (٢٢.١) %من إجمالي المنطقة المدروسة. ويرتبط هذا النطاق بنيوياً بسيادة فئة الغطاء النباتي "ضغيف"، لاسيما في القطاعات الوسطى وأجزاء صغيرة من الجنوبية. مما يعكس دور الكثافة النباتية في تعزيز تماسك التربة ورفع كفاءة المقاومة الميكانيكية ضد عوامل التعرية المختلفة.

❖ **فئة التدهور المتوسط (النطاق الانتقالي):**

تمثل هذه الفئة عتبة حرجة (Critical Threshold) في المشهد البيئي للمنطقة، حيث شغلت مساحة قدرها (٥٤٤.٥) كم²، بنسبة (٣٧.٤) %من إجمالي المنطقة المدروسة. ويتطابق هذا النطاق بنيوياً بهيمنة فئة الغطاء النباتي "متوسطة"، ويتركز مكانياً في الأجزاء الشمالية الشرقية والوسطى، وهو مؤشر يدل على هشاشة المنظومة البيئية وتراجع حيويتها تحت تأثير الضغوط المناخية المتزايدة.

❖ **فئة التدهور الشديد (نطاق النشاط الريحي/ الإيولي):**

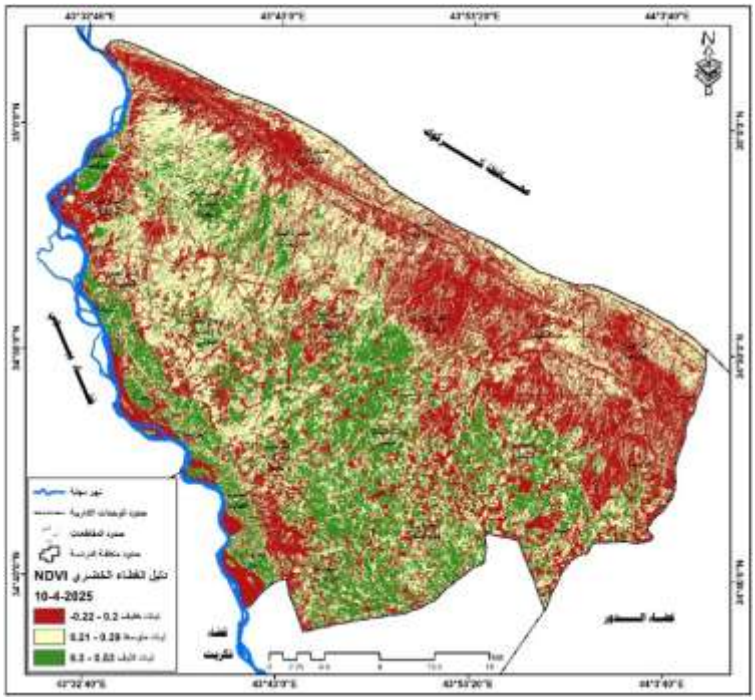
تركزت بؤر التدهور الحاد في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية والغربية والأجزاء الوسطى من المنطقة المدروسة، مسجلةً مساحة قدرها (٥٩٠.٦) كم² بنسبة (٤٠.٥) % من إجمالي المنطقة المدروسة. أدى هذا الانحسار النبات ضمن فئة الغطاء نباتي "ضعيف" إلى انخفاض عتبة الحت (Erosion Threshold) وتعرية الآفاق التربوية الخصبة، مما جعل التربة عرضة مباشرة لفعل الرياح وعمليات النقل والترسيب الإيولي.

جدول رقم (٧) المساحات والنسب المئوية لمؤشر الغطاء الخضري (NDVI) للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥) م.

مستويات تدهور الاراضي	مؤشرات حالة الغطاء النباتي		
	كثافة الغطاء النباتي	المساحة (كم²)	النسبة (%)
خفيف	كثيف	٥٩٠.٦	٤٠.٥
متوسط	متوسط	٥٤٤.٥	٣٧.٤
شديدة	ضعيف	٣٢٢.٦	٢٢.١
المجموع ا	١٤٥٧.٧		١٠٠.٠

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على نتائج التحليل الرقمي لمؤشر ((NDVI)) المستخرجة من المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام (٢٠٢٥) م باستخدام برنامج (ArcGIS)

خريطة (٨) التوزيع المكاني لمؤشر الغطاء الخضري (NDVI) للمنطقة المدروسة لعام (٢٠٢٥)م



المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات المرئية الفضائية (Landsat 9) لعام (٢٠٢٥)م،والمعالجة الرقمية للمؤشرات (SAVI ,) باستخدام برنامج (ArcGIS).

ثامناً–التعرية الريحية (Aeolian Erosion):

تهيمن الرياح كعامل جيومورفولوجي بخصائص ديناميكية وحرية حركية تجعلها القوة التشكيلية السائدة في الأقاليم الجافة، حيث تستثمر نواتج التجوية الفيزيائية والكيميائية لتنفيذ عمليات التفريغ (Deflation) والصقل بالبري (Abrasion) (بطيحي، ٢٠٠١٥، صفحة ١١). وتتحدد كفاءة التعرية الريحية وفق تداخل معقد بين السرعة العتبية (Threshold Velocity)، والاضطراب الهوائي، وخشونة السطح، وكثافة الغطاء النباتي. ميكانيكياً، ترتبط القدرة التذرورية للرياح بطاقتها الحركية؛ إذ تتفاوت بين نقل المفصولات الناعمة والجرف السطحي للحبيبات الخشنة. أما المحددات الفيزيائية لقابلية التربة للتعرية (Wind Erodibility) فترتكز على ثلاثة محاور:

- قدرة التجمعات التربية على مقاومة التفتت الناتج عن الاصطدام الميكانيكي أو الدورات المناخية.
- ممانعة الدقائق للانفصال بفعل الرطوبة النوعية والروابط العضوية–المعدنية.

- دور حجم الحبيبات ومعامل الاحتكاك في المساحات المكشوفة في تحديد عتبة الاستجابة للتعرية وفقاً للمعادلة التالية (Chepil W. , 1958, p. 14).

$$C = 356\frac{V^3}{(PE)^2}$$

إذ أن

C= مؤشر التعرية

V= معدل سرعة الرياح

بينما يعبر (PE) عن هطول الامطار الفعالية التي يتم استخراجها وفق معطيات التساقط المطري ودرجات الحرارة، مما يعكس الأثر البالغ للجفاف في تعظيم معدلات الفقد التربة، وفق المعادلة الاتية (Thornthwaite, 1931, p. 633).

$$PE = 115\left[\frac{P}{T-10}\right]10^{/9}$$

حيث يمثل:

PE = دليل فاعلية التساقط (Precipitation Effectiveness Index).

أما المتغيرات داخل المعادلة فهي:

P: يمثل مجموع التساقط المطري الشهري (بالبوصة غالباً في الصيغة الأصلية).

T: يمثل متوسط درجة الحرارة الشهرية (بالدرجات الفهرنهايتية)

جدول رقم (٨): تصنيف مستويات التعرية الريحية وفق مؤشر (Chepil)

فئات التعرية الريحية	درجة التعرية الريحية	مستوى القابلية للتعرية
أقل من ١٧	تعرية ضعيفة جداً	مستقر جداً
18 – 35	تعرية ضعيفة	مستقر نسبياً
36 – 71	تعرية متوسطة	معرض للتعرية
72 – 150	تعرية عالية	غير مستقر

المصدر: (Chepil, Siddoway, & Armbrust, 1962, p. 163)

جدول (٩): الخصائص الجيومناخية ومؤشر التعرية الريحية (معادلة Chepil) بالوحدات الدولية

المحطة	معدل درجة الحرارة السنوي (فهرنهايت)	معدل سرعة الرياح السنوي (ميل/ساعة)	مجموع الأمطار السنوي (إنج)	مجموع التبخر السنوي (إنج)	المطر/ التبخر (P/E)	معامل التعرية الريحية(C)	فئة التعرية

كركوك	71.8	٧.٣٨	١٢.٣٧	٤٥.٦٩	٠.٢٧	٣٣.٥٩ منخفضة - متوسطة
تكريت	73.8	8.5	١٢.٠٤	٥٠.٢٥	٠.٢٤	٥٨.٦٢ متوسطة

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي العراقية للسجلات المناخية السنوية (٢٠٢٥)، مع تطبيق معادلة (Chepil, 1958) لتقدير معامل التعرية الريحية، وفق معايير التصنيف المعتمدة في الجدول (٧) الخاص بمستويات التعرية الريحية.

يُظهر جدول (٩) تبايناً مكانياً في مستويات التعرية الريحية المحسوبة وفق مؤشر (Chepil) لكل من محطتي كركوك وتكريت. ومن خلال استقراء القيم الجغرافية والمناخية الواردة، يمكن صياغة التحليل الأكاديمي وفق الآتي:

١-الارتباط المناخي المتبادل (Inter-Climatic Correlation)

تُشير البيانات إلى وجود علاقة طردية بين درجات الحرارة وسرعة الرياح من جهة، ومعامل التعرية من جهة أخرى؛ حيث سجلت محطة تكريت معدلاً حرارياً (٧٣.٨) فْ يفوق محطة كركوك (٧١.٨) فْ، مترافقاً مع زيادة في سرعة الرياح بنسبة تصل إلى (٢٣) % من (٧.٣٨- ٨.٥) ميل/ساعة. هذا الارتفاع المتزامن أدى بالضرورة إلى رفع قيمة معامل التعرية (C) في تكريت ليصل إلى (٥٨.٦٢) مقارنة بـ (٣٣.٥٩) في كركوك

٢- تحليل التأثير الديناميكي للرياح (Aerodynamic Assessment)

على الرغم من تقارب معدلات الأمطار والتبخر بين المحطتين، إلا أن معامل التعرية في تكريت سجل قفزة رقمية ملحوظة. يُعزى هذا جيومورفولوجياً إلى "تأثير القوة الثالثة" لسرعة الرياح في البسط (V^3) ضمن معادلة (Chepil)؛ مما يجعل الرياح المتغير الأكثر حساسية وخطورة في تحديد القابلية للتعرية في المناطق شبه الجافة والمكشوفة طوبوغرافياً.

وتؤكد الدراسة أن التباين في مستويات التعرية بين كركوك وتكريت هو تباين كمي وليس نوعي؛ فرغم تصنيف تكريت بمستوى (متوسط) مقارنة بكركوك (المنخفضة)، إلا أنهما تظلان عالمياً ضمن المناطق المستقرة ريحياً، مما يبرز دور الغطاء النباتي كعامل إعاقة إضافي. وقد كشفت التحريات الميدانية تبايناً جوهرياً بين نتائج معادلة (Chepil) والمظاهر الميدانية؛ إذ يُعزى الإخفاق الإحصائي للمعادلة إلى بُعد المحطات المناخية المعتمدة وافتقار المنطقة لرصد محلي.

ومن هذا المنطلق، اعتمدت الدراسة مقاربة إقليمية تهدف لتقليل التعقيد الرياضي عبر مؤشر حساسية الأرض للتعرية الريحية (ILSWE) المستمد من القمر الاصطناعي Landsat 8.ويعبر عن معادلة المؤشر (ILSWE) بالمعادلة الآتية (J & H,, 2023, p. 270):

$$ILSWE = CE \times EF \times SC \times VC \times SR$$

حيث إن:

CE: عامل التعرية المناخية

EF: عامل قابلية التربة للتفتيت أو الانجراف

SC: عامل قشرة التربة

VC: عامل الغطاء النباتي

SR: عامل خشونة السطح

ويُظهر التحليل المكاني للنتائج، والمجسد في الجدول (١٠) والخريطة (٩)، تبايناً واضحاً على مساحة (١٤٥٧.٧) كم²، موزعة وفق الفئات الآتية:

١ **فئة التعرية الخفيفة (النطاقات المستقرة):**

تشغل مساحة قدرها (٣٥٩.٦) كم²، أي ما يعادل (٢٤.٧) %من إجمالي المنطقة المدروسة؛ وتتمثل أسباب استقرارها في تماسك السطح بفضل الغطاء النباتي والقشور الملحية التي ترفع السرعة العتبية، وتتركز مكانياً في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية (صوب كركوك) وحدودها الغربية. ويساهم هذا الاستقرار في الحفاظ على الكتلة الحيوية ومنع فقدان الطبقة السطحية الغنية بالمادة العضوية، مما يعزز التجدد الطبيعي للتربة.

٢ **فئة التعرية المتوسطة (النطاقات الانتقالية):**

تُعد الفئة السائدة مكانياً، حيث تغطي المساحة الأكبر بنحو (٦٩٦.٥) كم² وبنسبة (٤٧.٨.) %؛ وتُعزى إلى النشاط البشري (زراعة مفرطة ورعي جائر) الذي يزيل "عامل الإعاقة" النباتي، وتنتشر كحزام انتقالي في الوسط والمناطق المتموجة. ويؤدي ذلك إلى تدهور خصوبتها الحيوية بفعل جرف المفتتات الناعمة (Litter)، مما يضعف النشاط الميكروبي ويحولها لأراضٍ منخفضة الإنتاجية.

٣ **فئة التعرية الشديدة (بؤر الخطورة):**

سجلت مساحة تصل إلى (٤٠١.٦ كم²) بنسبة (٢٧.٦%) من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة؛ وترتبط بالجفاف الحاد وانكشاف السطح تماماً، إذ يتجاوز انحدار اراضيها ١٦ درجة، مما يدل على انبساط سطحها، وهو ما يزيد من نشاط التعرية الريحية، مقللاً من حيوية انتاجية التربة، وتتمركز في الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية (صوب تكريت والجزيرة) الأكثر عرضة للرياح الهابطة. وتصل هذه الفئة إلى مرحلة العقم الحيوي نتيجة كشط النطاق (A–Horizon) الغني بالنيتروجين، مما يحول التربة إلى مصدر للزحف الرملي الذي يهدد المناطق السكنية.

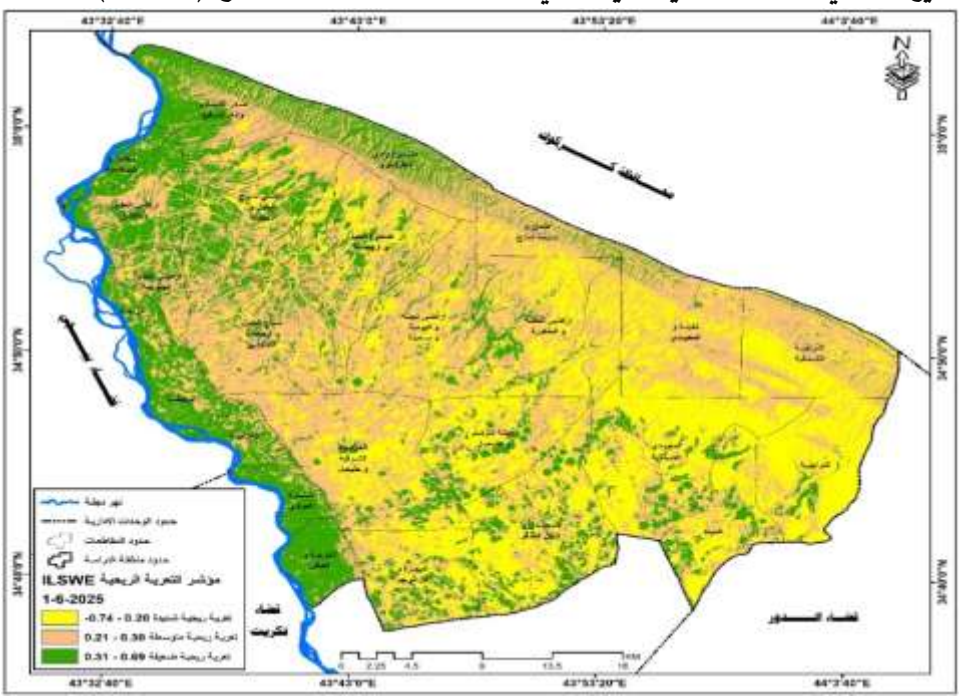
جدول رقم (٨): مساحا ومستويات التعرية الريحية في منطقة الدراسة وفق مؤشر (ILSWE)

فئات التعرية الريحية	المساحة (كم²)	النسبة المئوية(%)
تعرية شديدة	401.6	27.6

تعرية متوسطة	696.5	47.8
تعرية خفيفة	359.6	24.7
	1457.7	100.0

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على مخرجات برنامج (ArcGIS 10.8) ومعالجة المرئية الفضائية للقمر الاصطناعي (Landsat 8) باستخدام معادلة مؤشر (ILSWE) خريطة (٩).

خريطة (٩) التوزيع المكاني لأصناف التعرية الريحية في المنطقة المدروسة وفق نموذج (ILSWE)



المصدر: من عمل الباحثة بالاستناد إلى مخرجات نموذج (ILSWE)، باستخدام مرئيات القمر الصناعي [Landsat 9] ومعالجتها رقمياً ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS١٠.٨) لعام (٢٠٢٥)م.

الاستنتاجات (Conclusions):

١. أثبتت الدراسة وجود فجوة معرفية وتطبيقية عند الاعتماد الحصري على المعادلات المناخية التقليدية مثل معادلة (Chepil) في المناطق التي تفتقر لمحطات رصد محلية؛ إذ أخفقت النمذجة الإحصائية في تمثيل الواقع الميداني لتعرية التربة، مما يستوجب الانتقال نحو المؤشرات الطيفية المستمدة من الاستشعار عن بعد كبديل أكثر دقة وشمولية للتحليل المكاني.

٢. شف التكامل الطيفي بين مؤشر حجم الحبيبات (GSI) ومؤشر التربة المعراة (BSI) عن كفاءة عالية في رصد بؤر النشاط الريحي (الإيولي) وتحديدها مكانيّاً في المنطقة المدروسة؛ إذ أظهرت النتائج المتطابقة إحصائياً أن (٤٧.٨) %من المساحة الإجمالية وفقاً لمؤشر (GSI)، و(٤٥.٥%) وفقاً لمؤشر (BSI) تقع تحت تأثير تدهور شديد. ويعود هذا التدهور جغرافياً إلى انخفاض عتبة الحت (سرعة العتبة الحرجة

لتماسك التربة)، مما جعل الحبيبات عرضة للتذرية المباشرة بمجرد هبوب الرياح، لاسيما أن هذه المساحات تقع ضمن ممرات الهبوب النشطة (Wind Corridors) التي توجّه الرياح وتضاعف طاقتها الحركية؛ الأمر الذي سرّع من عمليات كشط الطبقة السطحية الخصبة، وانعكس سلباً على الخصائص الحيوية للتربة وقدرتها على الاستدامة البيئية.

٣. أثبت مؤشر الغطاء النباتي المعدل بتأثير التربة (SAVI) دقة أعلى من (NDVI) في رصد التدهور ضمن البيئات الجافة؛ حيث نجح في تحييد الضجيج الطيفي للتربة، مبيناً أن (٣٠.١%) فقط من المنطقة تتمتع باستقرار حيوي، بينما تفتقر المساحات المتبقية للحماية النباتية، مما يضاعف من معدلات التذرية (Deflation) وفقدان المادة العضوية.

٤. أكدت الدراسة أن التعرية الريحية في منطقة الدراسة ليست نتاج عامل منفرد، بل هي استجابة لتآزر الانحدار الطبوغرافي خاصة في فئات الانحدار الخفيف والمتوسط بنسبة (٦٦.٣%) و(٢٤.٣%) على التوالي مع انعدام سقوط الامطار في الصيف. هذا التداخل أدى إلى سيادة التربات الهشة والجبسية، مما يقلص من حيوية انتاجية التربة، ولكون هذا النوع من الترب يمتاز بهشاشة بنيوية تجعلها طاردة للنشاط الزراعي المستدام.

٥. يُعد اعتماد مؤشر حساسية الأرض للتعرية الريحية (ILSWE) الإضافة المنهجية الأبرز في هذه الدراسة؛ إذ نجح في تصنيف (٢٤.٩٥%) من المنطقة كفئة تدهور حرج، موفراً خارطة طريق دقيقة لأصحاب القرار لتوجيه جهود مكافحة التصحر والتشجير نحو بؤر الخطورة الجيومورفولوجية الفعلية.

٦. خلصت الدراسة إلى أن التباين في معدلات التعرية بين مراكز الرصد (تكريت وكركوك) هو تباين كمي تفرضه سرعة الرياح، إلا أن المنطقة بمجملها تعاني من تدهور نوعي في خصائص التربة الفيزيوكيميائية، مما يتطلب استراتيجيات استصلاح هيدروليكي وكيميائي طويلة الأمد.

التوصيات (Recommendations)

١. نوصي بالتحول من النماذج الإحصائية الثابتة إلى النماذج الديناميكية المعتمدة على الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) وسلاسل البيانات الزمنية (Time-series analysis) لرصد التغيرات الفصلية في زحف الرمال وتدهور الغطاء النباتي.

٢. ضرورة إنشاء محطات رصد مناخي صغرى (Micro-climate stations) ضمن منطقة الدراسة لتوفير بيانات دقيقة عن سرعة الرياح واتجاهاتها عند مستوى السطح، لتقليل الانحراف الإحصائي في المعادلات الرياضية التقليدية.

٣. تشجيع الباحثين على دمج مؤشر (SAVI) مع مؤشر (GSI) في البيئات الجافة كمعيار قياسي (Standard) لتحييد أثر خلفية التربة وضمان دقة تقييم الحيوية النباتية.

٤. تركيز جهود مكافحة التصحر في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية (نطاق التدهور الشديد) عبر إنشاء مصدات رياح (Windbreaks) حيوية من أشجار "السدر" و"الأثل" المتكيفة مع السمية الجبسية للتربة.

٥. نوصي باعتماد تقنيات الري بالتنقيط و"الري المقنن" في الترب الصحراوية الجبسية (Yy10-2/3a) لتجنب ذوبان الجبس وانهيار البنية الميكانيكية للتربة، مع إضافة المصلحات العضوية لرفع قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة.

٦. تفعيل القوانين البيئية لمنع الرعي الجائر في "نطاق أقدام التلال" (Pediments)؛ كونها تمثل مناطق انتقال جيومورفولوجي هشة، وحمايتها تساهم في تقليل انتقال المفتتات نحو السهول الفيضية المستثمرة زراعياً.

٧. حصر التوسع الزراعي الكثيف في ترب السهل الفيضي (Fluvisols) غرباً، نظراً لاستقرارها البنيوي ومقاومتها الطبيعية للتعرية، مع تجنب النشاط الحرثي التقليدي في المناطق ذات الانحدار الشديد جداً (أكثر من ١٥ درجة).

1. Jassim Mohammed Al-Obaidi. (2022). Analysis of Spectral Indicators and Their Applications in the Study of Gypsum Soils. Journal of Geographical Studies, Volume 12, Issue 4.

2. Republic of Iraq, Ministry of Transport and Communications, General Authority for Meteorology and Seismic Monitoring, Climate Department, Baghdad, (2025). Unpublished data.

3. Hussein Ali Al-Dulaimi. (2021). Topography of Iraq: A Study of Regions and Geomorphological Features. Journal of the Iraqi Geographical Society, Volume 45, Issue 2.

4. Khalaf Allah Batihi. (2015). Dynamics of Wind Erosion in Arid and Semi-Arid Regions. Journal of Geographical Studies, Issue (12), University of Baghdad.

5. Subhi Ahmed Al-Miyah. (2010). Geomorphology of Iraq. University of Baghdad, College of Arts, Dar Al-Dhiyaa Press, Najaf, Iraq.

6- Muhammad Abdullah Al-Bar. (2019). Geographic Information Systems and Spatial Modeling of Slopes (Vol. 1). Cairo, Egypt: Dar Al-Fikr Al-Arabi, Cairo.

7- Nouri Obeid Al-Khafaji. (2022). Wind Erosion and Soil Degradation in the Iraqi Alluvial Plain. Journal of the College of Education, Wasit University. Vol. 1, No. 47.

٨-Parsons, A., & Abrahams, A. (2009). *Geomorphology of Desert Environments.* Springer Science Business Media.

٩-Anderson, ,. J., Hardy, E. E., Roach, ,. J., & Witmer, ,. R. (1976). *A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data.* U.SGeological Survey Professiona.

١٠-Buringh, P. (1960). *Soils and Soil Conditions in Iraq.* Baghdad.: Ministry of Agriculture.

Chepil, W. (1958). *Soil Conditions that Influence Wind Erosion.* Washington: Technical Bulletin No. 1185, U.S. Department of Agriculture.

١١-Chepil, W., Siddoway, F., & Armbrust, D. (1962). Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. *Journal of Soil and Water Conservation, 17(4).*

١٢-Cooke, R., Warren, A., & Goudie, A. (1993). *Desert Geomorphology. UCL.* Press,, London.

١٣-FAO, &. (2015). *Status of the World's Soil Resources. Food and AgricultureOrganization of the United Nations,.* Rome.

١٤-Goudie, A. (2013). *The Human Impact on the Natural Environment. Wiley-Blackwell* (Vol. 7).

١٥-Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment, 25(3).*

١٦-Rikimaru, A., Roy, P., & Miyatake, S. (2002). Tropical forest density and canopy density model. *ITTO Tropical Forest Update, 12(2).*

١٧-Rouse, J., Haas, R., Schell, J., & Deering, D. (n.d.). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (NASA Special Publication NoNASA.

١٨-Selby, M. (1993). *Hillslope Materials and Processes* (Vol. 2). Oxford University Press.

Thomas, D. (1997). *Arid Zone Geomorphology.*

١٩-Thornthwaite, C. (1931). The Climates of North America: According to a New Classification. *According to a New Classification". Geographical Review, Vol. 21, No.*

٢٠-Xiao, J., Tateishi., R., Shen, Y., & Bayaer, W. (2006). Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid regions of China. *International Journal of Remote Sensing27(17).*

21- J Bahareh&H, Khosravi, "Assessing land sensitivity to determine areas prone to wind erosion and dust production using the ILSWE Model,Desert,28(2),2023

,