العدد 12A مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية شبـــاط 2026
No. 12A Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences February 2026
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264

التحليل الجغرافي لمظاهر التصحر في محافظة كركوك باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

م.د. أوس علي محمد
جامعة تكريت /كلية الآداب /قسم الجغرافية ونظم المعلومات الجغرافية

المستخلص:
يتناول هذا البحث دراسة مظاهر التصحر في محافظة كركوك خلال المدة (2015–2025)، بوصفها إحدى المشكلات البيئية الخطيرة التي تهدد استدامة الموارد الطبيعية والأنشطة الزراعية في المناطق الجافة وشبه الجافة. يهدف البحث إلى تشخيص أبرز مظاهر التصحر في المحافظة، وتحليل تطورها الزماني والمكاني، اعتمادًا على المنهج الوصفي–التحليلي، وتوظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد. اعتمدت الدراسة على مجموعة من المؤشرات البيئية المرتبطة بالتصحر، ولاسيما مؤشرات الغطاء النباتي والجفاف وتدهور التربة، مع الاستفادة من الخرائط الموضوعية لتوضيح مظاهر تدهور الغطاء النباتي، واتساع الأراضي الجرداء، وتراجع الأراضي الزراعية، وزيادة قابلية التربة للتعرية. وأظهرت نتائج الدراسة وجود تباين مكاني واضح في شدة مظاهر التصحر داخل محافظة كركوك، حيث تركزت أعلى درجات التدهور في الأجزاء الجنوبية والغربية من المحافظة، مقابل انخفاض نسبي في المناطق القريبة من الموارد المائية. كما بينت الدراسة أن استمرار الضغوط الطبيعية والبشرية خلال المدة المدروسة أسهم في تفاقم مظاهر التصحر، مما انعكس سلبًا على الإنتاج الزراعي والاستقرار البيئي. ويوصي البحث بضرورة اعتماد استراتيجيات متكاملة للحد من التصحر، تقوم على تحسين إدارة الموارد المائية، وحماية الغطاء النباتي، وتطبيق أساليب الاستصلاح الزراعي المستدام، بما يسهم في الحد من تدهور الأراضي وتحقيق التنمية البيئية المستدامة في محافظة كركوك.

الكلمات المفتاحية: التصحر، مظاهر التصحر، كركوك، الغطاء النباتي، تدهور الأراضي، نظم المعلومات الجغرافية.

Geographic analysis of desertification phenomena in Kirkuk Governorate using remote sensing techniques and geographic information systems.

Dr. Aws Ali Mohammed
E-mail: aws.ali@tu.edu.iq

Abstract
This study examines the manifestations of desertification in Kirkuk Governorate during the period (2015–2025), as one of the most serious environmental problems affecting land sustainability and agricultural activities in arid and semi-arid regions. The research aims to identify and analyze the main manifestations of desertification in the governorate and to assess their spatial and temporal variation using a descriptive–analytical approach supported by Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques. The study relies on a set of environmental indicators related to desertification, particularly vegetation cover, drought, and soil degradation indicators, in addition to thematic maps illustrating the deterioration of vegetation cover, the expansion of barren lands, the decline of agricultural areas, and the increased susceptibility of soils to erosion. The results reveal a clear spatial variation in the severity of desertification within Kirkuk Governorate, with higher levels of land degradation concentrated in the southern and western parts of the governorate, while relatively lower levels appear in areas

close to water resources. The findings also indicate that the continuation of natural and human pressures during the study period has contributed to the intensification of desertification processes, negatively affecting agricultural productivity and environmental stability. The study recommends adopting integrated strategies to combat desertification, including improved water resource management, protection of vegetation cover, and the application of sustainable land management practices to reduce land degradation and promote environmental sustainability in Kirkuk Governorate.

Keywords : Desertification, Desertification Manifestations, Kirkuk Governorate, Land Degradation, Vegetation Cover, GIS.

المقدمة

يُعد التصحر من المشكلات البيئية المعقدة التي تواجه العديد من مناطق العالم، ولاسيما المناطق الجافة وشبه الجافة، لما يترتب عليه من تدهور في خصائص الأراضي وانخفاض قدرتها الإنتاجية. وتكمن خطورة هذه الظاهرة في كونها لا تقتصر على التأثيرات البيئية فحسب، بل تمتد لتشمل الجوانب الاقتصادية والاجتماعية، من خلال تراجع النشاط الزراعي، وتدهور المراعي الطبيعية، وزيادة الضغوط على الموارد الطبيعية، مما ينعكس بشكل مباشر على معيشة السكان واستقرارهم.

وتُعد محافظة كركوك من المناطق التي تتوافر فيها ظروف طبيعية وبشرية تجعلها عرضة لظاهرة التصحر، إذ تقع ضمن نطاق مناخي يتسم بتذبذب كميات الأمطار وارتفاع درجات الحرارة خلال فترات واسعة من السنة، فضلاً عن اعتماد مساحات كبيرة من أراضيها على النشاط الزراعي والرعوي. وقد أسهمت هذه الظروف، إلى جانب أساليب الاستغلال غير الرشيدة للأراضي والموارد المائية، في ظهور مظاهر متعددة للتصحر تمثلت في تراجع الغطاء النباتي، وتدهور الأراضي الزراعية، واتساع المساحات الجرداء، وزيادة قابلية التربة للتعرية.

وتزداد أهمية دراسة مظاهر التصحر في محافظة كركوك في ظل التغيرات البيئية التي شهدتها المنطقة خلال السنوات الأخيرة، وما رافقها من ضغوط متزايدة على الموارد الطبيعية. إذ إن تشخيص هذه المظاهر وتحليل توزيعها المكاني والزماني يعد خطوة أساسية لفهم طبيعة المشكلة وتحديد اتجاهاتها، تمهيدًا لوضع معالجات علمية تسهم في الحد من تفاقمها. ومن هذا المنطلق، تأتي هذه الدراسة لتقديم قراءة علمية لمظاهر التصحر في محافظة كركوك خلال المدة (2015–2025)، بالاعتماد على التحليل الجغرافي والخرائطي، بما يسهم في تعزيز المعرفة العلمية المتعلقة بواقع التصحر في المحافظة.

مشكلة البحث

تعاني محافظة كركوك من مظاهر متزايدة لتدهور الأراضي خلال السنوات الأخيرة، تمثلت في تراجع الغطاء النباتي، وتدهور الأراضي الزراعية، واتساع المساحات الجرداء، الأمر الذي يشير إلى تصاعد ظاهرة التصحر في أجزاء مختلفة من المحافظة. وعلى الرغم من أهمية هذه المشكلة، ما تزال الحاجة قائمة إلى دراسة علمية توضح طبيعة مظاهر التصحر وتباينها المكاني والزماني، ولاسيما في ظل التغيرات البيئية والضغوط البشرية التي شهدتها المنطقة خلال المدة (2015–2025). ومن هنا تنطلق مشكلة البحث في محاولة الإجابة عن التساؤل الآتي:

ما أبرز مظاهر التصحر في محافظة كركوك، وكيف تطورت وتباينت مكانيًا وزمانيًا خلال المدة (2015–2025)؟

فرضية البحث

تنطلق الدراسة من فرضية مفادها أن محافظة كركوك شهدت تصاعدًا في مظاهر التصحر خلال المدة (2015–2025)، نتيجة تفاعل العوامل الطبيعية والبشرية، مما أدى إلى تدهور الغطاء النباتي وتراجع كفاءة الأراضي الزراعية، مع تباين واضح في شدة هذه المظاهر من منطقة إلى أخرى داخل المحافظة.

أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى:

1. تشخيص أبرز مظاهر التصحر في محافظة كركوك خلال المدة.(2015–2025)
2. تحليل التباين المكاني والزماني لمظاهر التصحر داخل المحافظة.
3. توضيح العلاقة بين مظاهر التصحر والتغيرات البيئية التي شهدتها المنطقة.
4. توفير قاعدة علمية يمكن الاستفادة منها في وضع معالجات للحد من تفاقم ظاهرة التصحر.

أهمية البحث

تنبع أهمية هذا البحث من كونه يتناول إحدى المشكلات البيئية ذات التأثير المباشر على استدامة الموارد الطبيعية والأنشطة الزراعية في محافظة كركوك. كما تكمن أهميته في تقديم تحليل جغرافي لمظاهر التصحر، يسهم في تعزيز المعرفة العلمية حول واقع تدهور الأراضي في المحافظة، ويعد مرجعًا يمكن الإفادة منه من قبل الجهات المعنية في مجالات التخطيط البيئي والزراعي، فضلًا عن كونه إضافة علمية تخدم الدراسات الجغرافية والبيئية المتعلقة بالتصحر في المناطق الجافة وشبه الجافة.

منهجية البحث

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي–التحليلي في دراسة مظاهر التصحر في محافظة كركوك، من خلال وصف الظاهرة وتشخيص مظاهرها الرئيسة، وتحليل توزيعها المكاني والزماني خلال المدة (2015–2025). كما جرى توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في إعداد وتحليل الخرائط الموضوعية، والاستعانة بالمؤشرات البيئية المرتبطة بالتصحر، إلى جانب الاستفادة من المصادر والبيانات المتاحة ذات الصلة بموضوع الدراسة، بما يحقق فهمًا أكثر دقة لطبيعة الظاهرة واتجاهاتها.

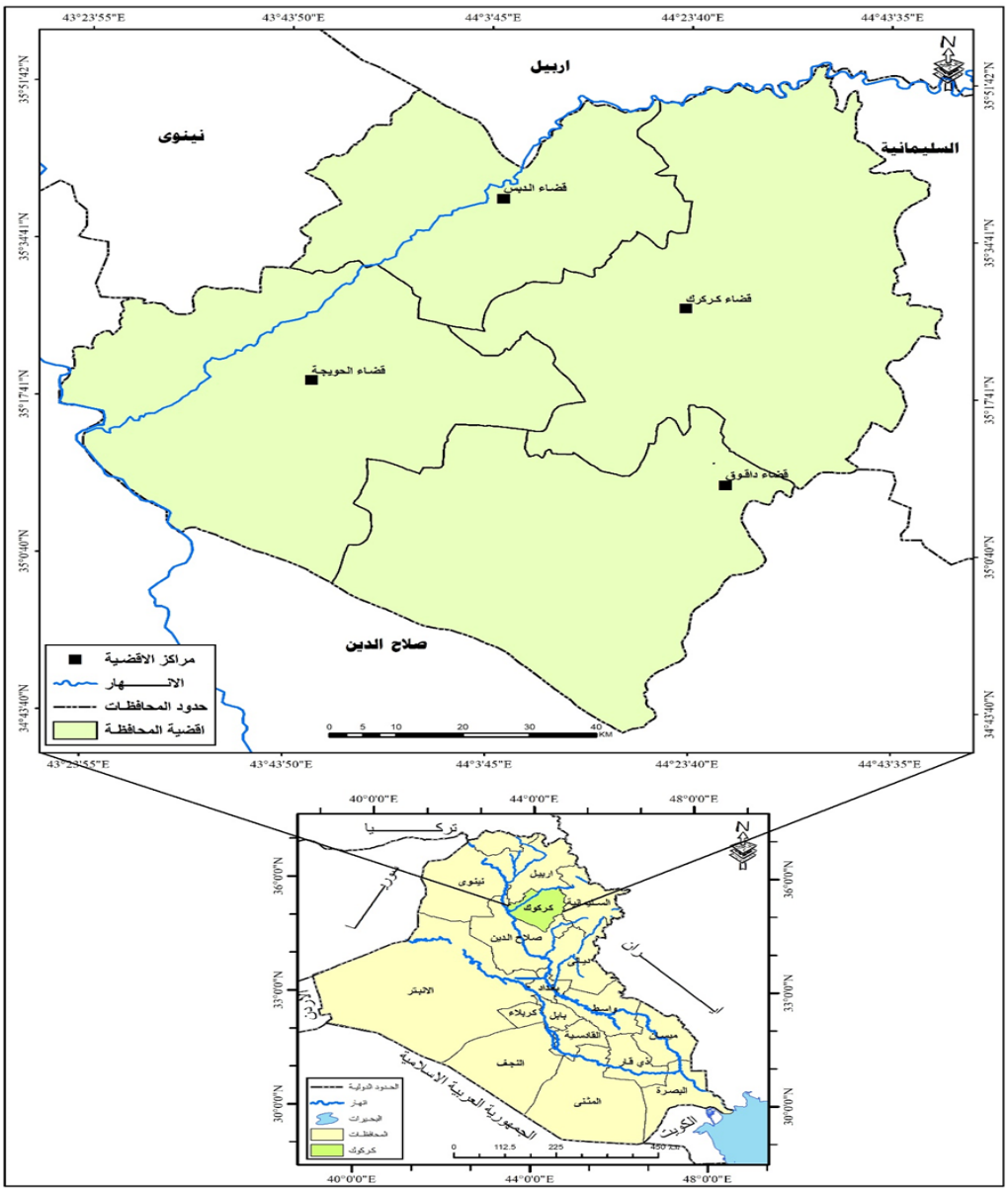
موقع منطقة الدراسة:

تقع محافظة كركوك في الجزء الشمالي الشرقي من جمهورية العراق، وتمثل منطقة انتقالية بين المرتفعات الشمالية والسهل الرسوبي. تحتل موقعًا جغرافيًا مهمًا يتوسط عدة محافظات، إذ يحدها من الشمال محافظة أربيل، ومن الشرق محافظة السليمانية، ومن الجنوب محافظة ديالى وصلاح الدين، ومن الغرب محافظة نينوى.

فلكيًا، تمتد محافظة كركوك بين دائرتي عرض 34°55َ - 35°55َ (شمالاً، وخطي طول 43°05َ - 44°05َ (شرقًا .وتبلغ مساحتها نحو 9,679كيلومترًا مربعًا، وتتنوع تضاريسها بين السهول المتموجة والمرتفعات، مما يمنحها خصائص طبيعية وبيئية مميزة.

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة

العدد 12A مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية شبـــاط 2026
No. 12A Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences February 2026
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264



المصدر: اعتمادا على الخريطة الادارية للعراق والهيئة العامة للمساحة 2018 والخريطة الادارية لمحافظة كركوك، الهيئة العامة للمساحة 2018.

مفهوم التصحر وأنواعه

أولًا: مفهوم التصحر

يُعرَّف التصحر بوصفه عملية تدهور تدريجي يصيب الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة، ويؤدي إلى انخفاض قدرتها الإنتاجية وفقدان خصائصها البيئية، نتيجة تفاعل العوامل الطبيعية والبشرية معًا. ولا يقتصر التصحر على تحول الأراضي إلى مناطق صحراوية بالمعنى الحرفي، بل يشمل مجموعة من التغيرات السلبية التي تصيب التربة والغطاء النباتي والموارد المائية، وتؤثر في كفاءة الأرض على المدى القصير والطويل.

ويرتبط التصحر ارتباطًا وثيقًا بتدهور الغطاء النباتي، وزيادة عمليات التعرية، وتملح التربة، واستنزاف الموارد المائية، وهي عمليات تتطور تدريجيًا وقد تستمر حتى في حال تحسن الظروف المناخية، إذا لم تُتخذ

إجراءات مناسبة لمعالجة أسبابها. وبذلك يُعد التصحر ظاهرة مركبة ذات أبعاد بيئية واقتصادية واجتماعية، تختلف في شدتها وتوزيعها من منطقة إلى أخرى تبعًا لطبيعة البيئة المحلية وأساليب استغلال الأرض.

ثانيًا: أنواع التصحر

يمكن تصنيف التصحر وفق عدة معايير، إلا أن التصنيف القائم على شدة التدهور يُعد من أكثر التصنيفات شيوعًا في الدراسات الجغرافية والبيئية، لما له من أهمية في تشخيص الحالة البيئية للأراضي.

1-التصحر الخفيف

يمثل المرحلة الأولى من التصحر، ويظهر في صورة تغيرات محدودة في خصائص التربة والغطاء النباتي، مثل انخفاض بسيط في كثافة الغطاء النباتي أو تراجع طفيف في إنتاجية الأرض. وفي هذه المرحلة، تكون الأراضي قابلة للاستصلاح والمعالجة إذا ما أُديرت الموارد الطبيعية بأساليب مناسبة.

2-التصحر المتوسط

تتسم هذه المرحلة بوضوح مظاهر التدهور، حيث يلاحظ تراجع ملموس في الغطاء النباتي، وازدياد قابلية التربة للتعرية، وانخفاض إنتاجية الأراضي الزراعية والمراعي. ويصعب في هذه المرحلة استعادة كفاءة الأرض دون تدخلات فنية وإدارية مدروسة.

3-التصحر الشديد

يُعد من أخطر مراحل التصحر، إذ تفقد الأراضي في هذه المرحلة معظم خصائصها الإنتاجية، ويكاد الغطاء النباتي ينعدم، مع انتشار واضح للتعرية الريحية والمائية، وتملح التربة أو تصلبها. وتحتاج الأراضي المتأثرة بهذا النوع من التصحر إلى برامج طويلة الأمد لإعادة تأهيلها، وقد تكون بعض المناطق غير قابلة للاستصلاح.

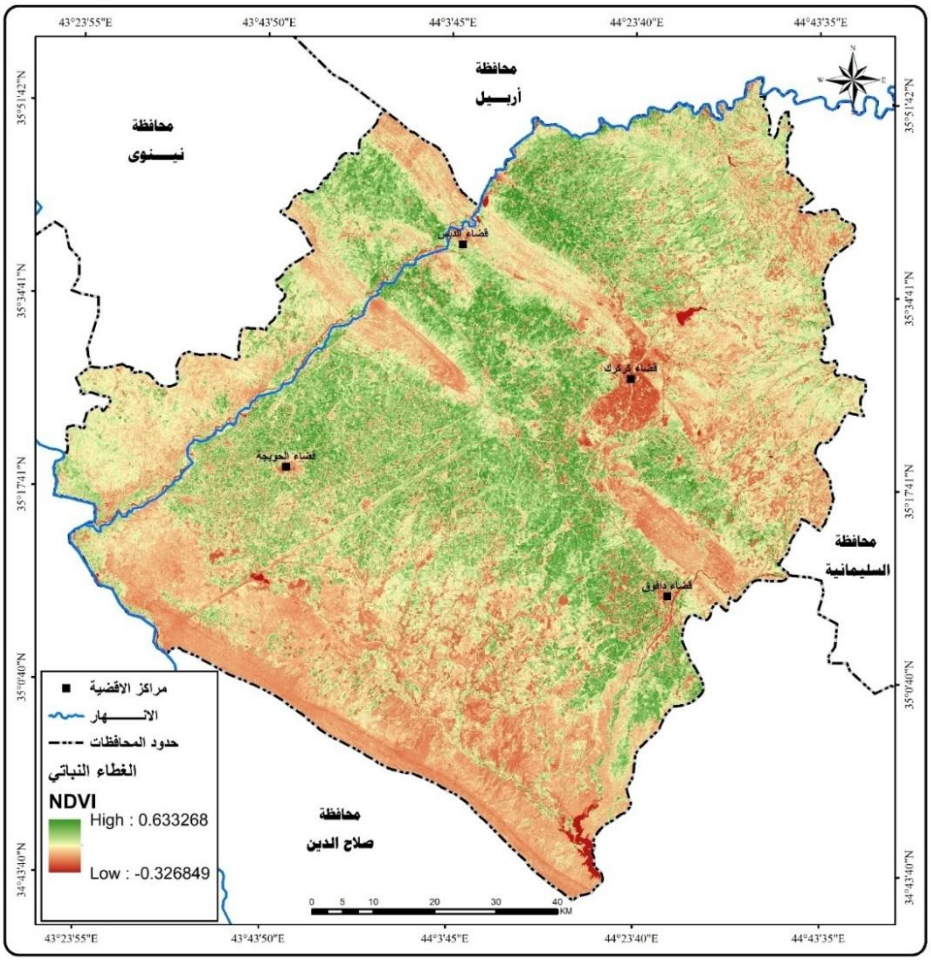
مظاهر التصحر في محافظة كركوك

تُعد مظاهر التصحر من المؤشرات الواضحة على تدهور البيئة الطبيعية وتراجع كفاءة الأراضي، وتظهر هذه المظاهر بشكل متباين داخل محافظة كركوك تبعًا لاختلاف الظروف الطبيعية وأساليب استغلال الأرض. وقد أسهمت التغيرات البيئية والضغوط البشرية خلال المدة (2015–2025) في بروز مجموعة من المظاهر التي تعكس تصاعد ظاهرة التصحر في أجزاء متعددة من المحافظة.

أولًا: تدهور الغطاء النباتي

يُعد تدهور الغطاء النباتي من أبرز مظاهر التصحر في محافظة كركوك خلال المدة (2015–2025)، إذ لوحظ انخفاض واضح في كثافة الغطاء النباتي، ولاسيما في المناطق الزراعية والمراعي الطبيعية، مما أدى إلى زيادة تعرض التربة للتعرية. ويُبين ذلك من خلال خريطة (2) للغطاء النباتي(NDVI) ، التي توضح وجود تباين مكاني في كثافة الغطاء النباتي، حيث تسجل القيم المرتفعة في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية القريبة من الموارد المائية، في حين تسود القيم المنخفضة في الأجزاء الجنوبية والغربية، دلالة على تصاعد مظاهر التصحر. كما تظهر مناطق ذات قيم متوسطة تمثل حالات تدهور جزئي، مما يؤكد عدم تجانس توزيع التصحر مكانيًا داخل المحافظة.

خريطة (2) الغطاء النباتي في منطقة الدراسة



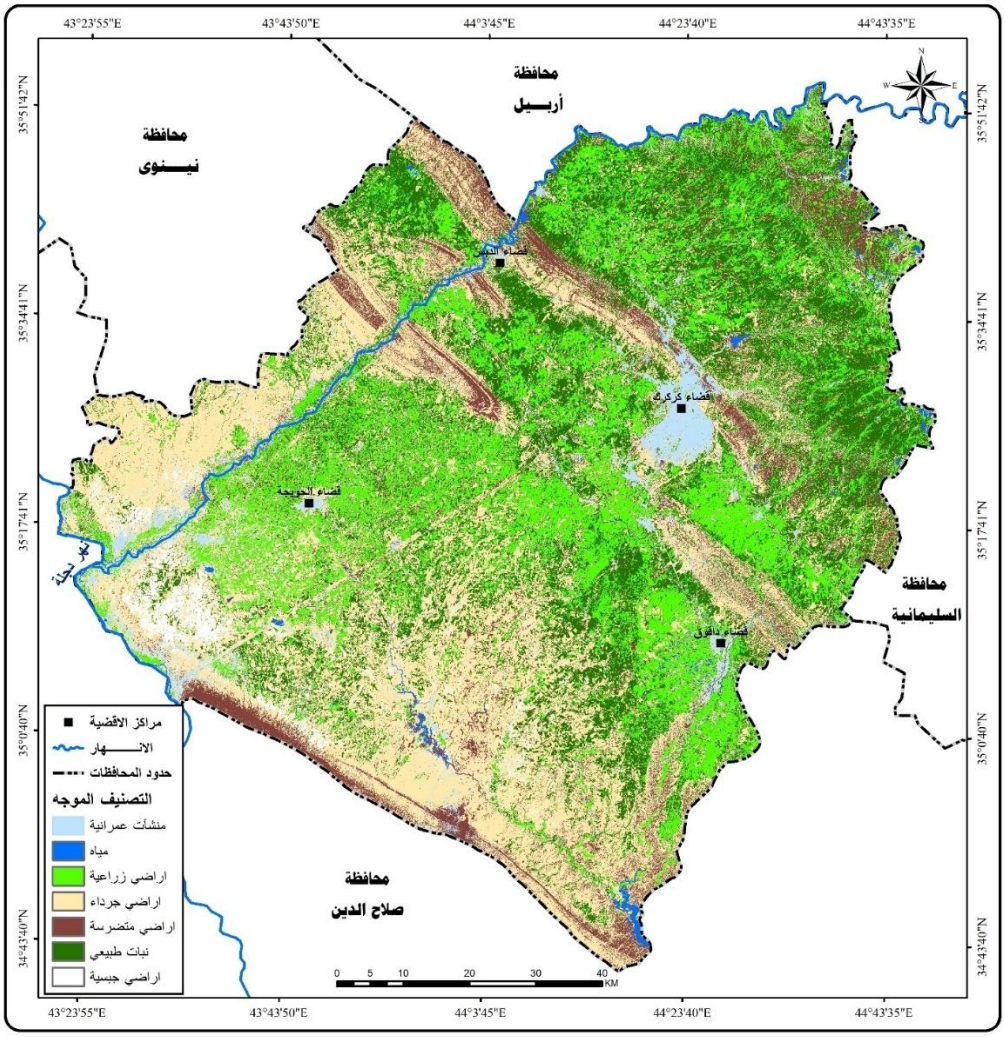
المصدر :بالاعتماد على مرئيات الأقمار الصناعية Landsat 8 OLI

ثانيًا: اتساع الأراضي الجرداء والمتدهورة

يُعد اتساع رقعة الأراضي الجرداء والمتدهورة من المظاهر الواضحة للتصحر في محافظة كركوك خلال المدة (2015–2025)، إذ تحولت مساحات كانت تُستغل زراعيًا أو رعويًا إلى أراضٍ ضعيفة الإنتاج أو عديمة الغطاء النباتي، ولاسيما في الأجزاء الجنوبية والغربية من المحافظة. ويُبين ذلك من خلال خريطة (3) لاستخدامات الأرض، التي توضح تركز الأراضي الزراعية والنبات الطبيعي في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية القريبة من المجاري المائية، مقابل اتساع واضح للأراضي الجرداء والمتدهورة في الجنوب والغرب. كما يُظهر التداخل بين الأراضي الزراعية والمتدهورة تعرض بعض المناطق الزراعية لمخاطر التدهور التدريجي، مما يؤكد تصاعد مظاهر التصحر وتراجع كفاءة الأرض الإنتاجية في المحافظة.

العدد 12A مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية شبـــاط 2026
No. 12A Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences February 2026
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264

خريطة(3) استخدامات الأرض (التصنيف الموجّه)



المصدر :بالاعتماد على مرئيات الأقمار الصناعية Landsat 8 (OLI).

ثالثًا: تدهور الأراضي الزراعية

تعرضت الأراضي الزراعية في محافظة كركوك إلى مظاهر متعددة من التدهور، تمثلت في انخفاض الإنتاجية الزراعية وتراجع كفاءة التربة. ويرتبط هذا التدهور بتدهور خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية، مثل فقدان المادة العضوية وارتفاع الملوحة في بعض المناطق، مما أدى إلى ضعف نمو المحاصيل وتقلص المساحات المزروعة. ويُعد هذا المظهر من أخطر مظاهر التصحر لما له من آثار مباشرة على الأمن الغذائي والدخل الزراعي للسكان.

رابعًا: تدهور المراعي الطبيعية

شهدت المراعي الطبيعية في محافظة كركوك تراجعًا ملحوظًا في كثافتها النباتية، نتيجة الضغط المستمر عليها خلال السنوات الأخيرة. وقد أدى الرعي المفرط وتكرار مواسم الجفاف إلى استنزاف الغطاء النباتي الطبيعي، مما أسهم في انخفاض القدرة الإنتاجية للمراعي وتحول بعضها إلى أراضٍ شبه جرداء. ويعكس هذا التدهور ضعف التوازن البيئي وزيادة قابلية الأراضي الرعوية للتصحر.

خامسًا: زيادة قابلية التربة للتعرية

تُعد زيادة قابلية التربة للتعرية من المظاهر المرتبطة مباشرة بالتصحر في محافظة كركوك، حيث أدى تراجع الغطاء النباتي إلى تعرض التربة لعمليات التعرية الريحية والمائية. وتظهر هذه المظاهر في شكل انجراف التربة السطحية وفقدانها لخصوبتها، ولاسيما في المناطق ذات الانحدارات أو الأراضي المكشوفة. ويسهم استمرار هذه العمليات في تسريع تدهور الأراضي وتحولها إلى بيئات أقل قدرة على الإنتاج.

سادسًا: تملّح التربة في بعض المناطق الزراعية

يُعد تملّح التربة من مظاهر التصحر التي ظهرت في بعض المناطق الزراعية في محافظة كركوك، نتيجة سوء إدارة الموارد المائية واستخدام أساليب ري غير ملائمة. وقد أدى ارتفاع تركيز الأملاح في التربة إلى إضعاف نمو المحاصيل وتقليل الإنتاج الزراعي، مما أسهم في زيادة تدهور الأراضي الزراعية وتحولها تدريجيًا إلى أراضٍ متأثرة بالتصحر.

العوامل المؤثرة على مظاهر التصحر

أولًا: العوامل الطبيعية

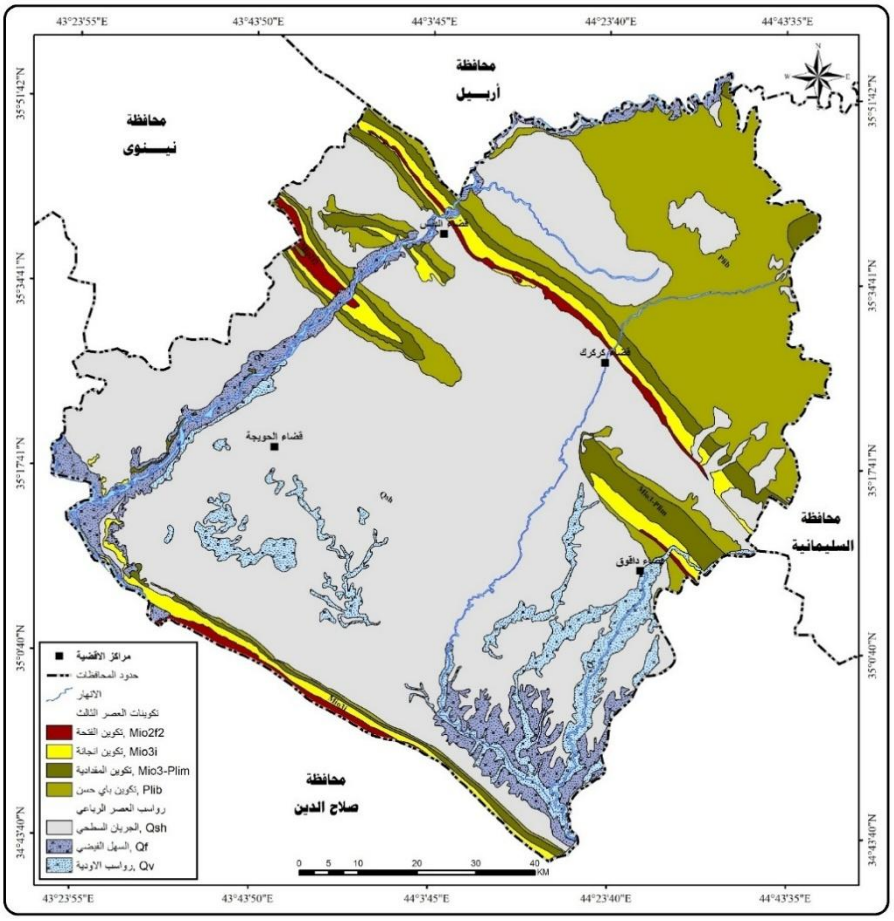
1-البنية الجيولوجية وأثرها في التصحر

تُعد البنية الجيولوجية من العوامل الطبيعية الأساسية المؤثرة في ظاهرة التصحر، لما لها من دور مباشر في تحديد طبيعة الصخور السائدة وخصائص التربة المتكوّنة فوقها، ومن ثمّ درجة قابليتها للتدهور. وتتميز محافظة كركوك بتنوّع جيولوجي واضح، إذ تضم تكوينات تعود إلى عصور جيولوجية مختلفة، شملت المايوسين والبلايوسين، إضافة إلى ترسبات الزمن الرباعي، وهو ما انعكس على تنوّع الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة.

تُظهر خريطة (4) للتكوينات الجيولوجية في محافظة كركوك تباينًا مكانيًا واضحًا في توزيع الوحدات الجيولوجية، حيث تسود تكوينات المايوسين، ولاسيما تكوين الفتحة وتكوين إنجانة، في أجزاء واسعة من منطقة الدراسة، وهي تكوينات ضعيفة التماسك وأكثر عرضة للتجوية والانجراف. كما تبين الخريطة انتشار ترسبات الزمن الرباعي في المناطق السهلية والمنخفضة وعلى امتداد الأودية، وهي رواسب مفككة عالية الحساسية للتغيرات الرطوبية، مما يسهم في تسريع عمليات التعرية وتدهور التربة. ويعكس هذا التوزيع دور البنية الجيولوجية في تباين شدة التصحر داخل المحافظة، إذ تتركز مظاهر التدهور في المناطق التي تسود فيها الصخور الهشة والرواسب غير المتماسكة، مقارنة بالمناطق ذات التكوينات الأكثر مقاومة نسبيًا.

خريطة (4) التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية
العدد 12A شبـــاط 2026
Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences
No. 12A February 2026
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264



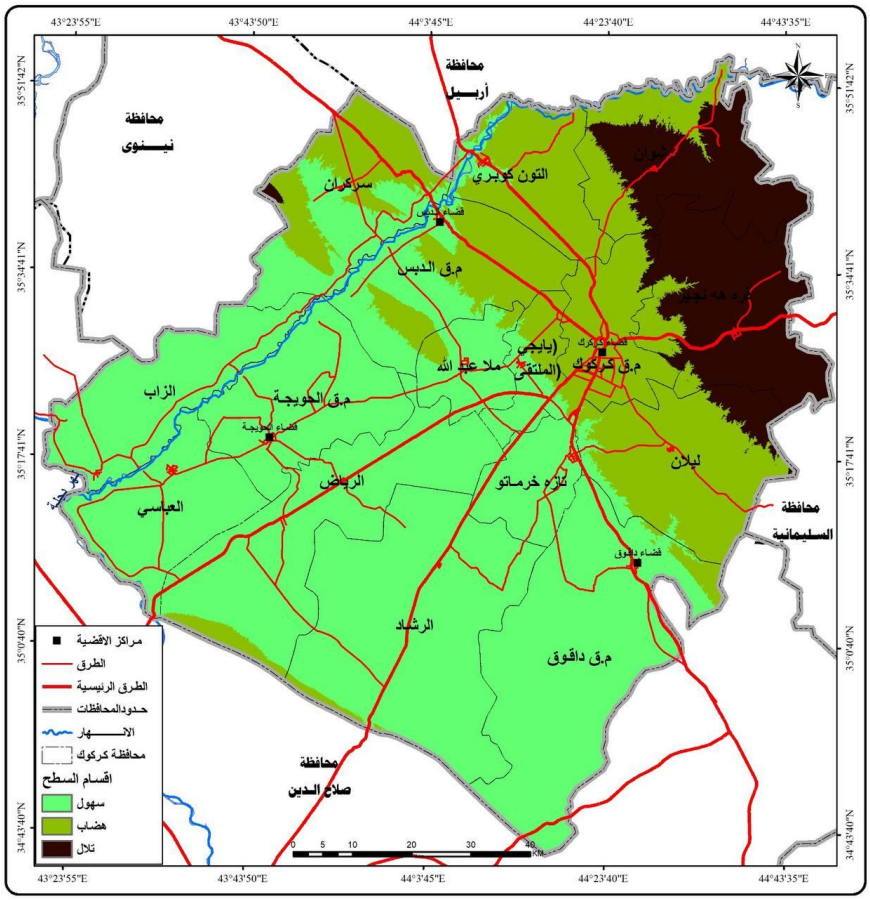
المصدر: عمل الباحث اعتماد على الخريطة الجيولوجية لمحافظة كركوك 250000/1 وبرنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS).

2ـخصائص السطح وأثرها في التصحر

تلعب خصائص السطح دورًا مهمًا في تطور مظاهر التصحر في محافظة كركوك، من خلال تأثيرها في الجريان السطحي وشدة التعرية وتوزيع الغطاء النباتي. وتُظهر خريطة (5) لأقسام السطح تباينًا طبوغرافيًا واضحًا يتمثل بالسهول والتلال والهضاب، حيث تحتل السهول المساحة الأكبر، ولاسيما في الأجزاء الجنوبية والغربية، وتعاني من تراكم رواسب مفككة وضعف التصريف، مما يجعلها عرضة لتدهور التربة وتراجع الإنتاجية الزراعية. في المقابل، تنتشر التلال والهضاب في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية، وتتميز بانحداراتها النسبية وتعرضها لعمليات التعرية المائية والريحية، خاصة مع ضعف الغطاء النباتي. ويؤكد هذا التباين الطبوغرافي دور خصائص السطح في اختلاف شدة التصحر وتوزيعه المكاني داخل المحافظة.

العدد 12A مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية شبـــاط 2026
No. 12A Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences February 2026
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264

خريطة(5) أقسام السطح في محافظة كركوك



المصدر : من عمل الباحث ، اعتماداً على خارطة العراق الجيولوجية (1 : 10000000) والمرئية الفضائية Line Sat ETM ، 2007 .

ثالثًا: الخصائص المناخية وأثرها في التصحر

تُعد الخصائص المناخية من أهم العوامل الطبيعية المؤثرة في نشوء وتفاقم ظاهرة التصحر، ولاسيما في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، إذ تؤثر عناصر المناخ المختلفة تأثيرًا مباشرًا في رطوبة التربة، ونمو الغطاء النباتي، ومعدلات التبخر، وشدة عمليات التعرية. وتقع محافظة كركوك ضمن نطاق المناخ الجاف إلى شبه الجاف، الأمر الذي يجعلها أكثر عرضة لتأثيرات التقلبات المناخية وانعكاساتها البيئية.

ويظهر تأثير المناخ في محافظة كركوك من خلال التباين الحراري الكبير، وتذبذب كميات الأمطار، ونشاط الرياح، وهي عوامل تسهم مجتمعة في إضعاف الغطاء النباتي وتسريع تدهور التربة، مما يؤدي إلى اتساع مظاهر التصحر داخل منطقة الدراسة.

1-درجات الحرارة وأثرها في التصحر

تُعد درجات الحرارة من العناصر المناخية الأساسية المؤثرة في البيئة الطبيعية، لما لها من دور مباشر في تنظيم النشاط الحيوي للتربة، ونمو الغطاء النباتي، وزيادة معدلات التبخر. وتشير البيانات المناخية إلى أن محافظة كركوك تتسم بارتفاع واضح في درجات الحرارة خلال فصل الصيف، مقابل انخفاضها النسبي خلال فصل الشتاء.

ويُظهر تحليل البيانات الشهرية لدرجات الحرارة، كما في الجدول (1)، ارتفاع المعدلات الحرارية ابتداءً من شهر آذار، لتبلغ ذروتها خلال أشهر حزيران وتموز وآب، حيث تتجاوز المعدلات (35°م)، وتصل في بعض الأشهر إلى أكثر من (40°م). ويسهم هذا الارتفاع في زيادة معدلات التبخر وفقدان الرطوبة من التربة، مما يحدّ من قدرة النباتات على النمو والاستمرار، ويؤدي إلى تراجع الغطاء النباتي، وهو ما يُعد من أبرز مظاهر التصحر.

أما خلال فصل الشتاء، فإن انخفاض درجات الحرارة الصغرى إلى ما دون (10°م) يؤدي إلى تباطؤ النشاط الحيوي في التربة، ويؤثر في إنبات المحاصيل ونمو النباتات الطبيعية. كما أن التباين الحراري اليومي والفصلي يسبب إجهادًا للتربة ويؤدي إلى تشققها، مما يزيد من قابليتها للتعرية الريحية والمائية.

وبذلك يُعد الارتفاع الحراري والتباين الكبير في درجات الحرارة من العوامل المناخية الرئيسة التي تسهم في تهيئة الظروف الملائمة لتطور التصحر في محافظة كركوك.

جدول(1) المعدلات الشهرية التقريبية لدرجات الحرارة (العظمى، الصغرى، والمتوسط °م) في محافظة كركوك للمدة(2015–2025)

الأشهر	العظمى (°م)	الصغرى (°م)	المتوسط (°م)
كانون الثاني	14.5	6	10.2
شباط	16.5	7.2	11.8
آذار	21	10.5	15.7
نيسان	27.5	16.2	21.8
أيار	35	22	28.5
حزيران	41.5	27.5	34.5
تموز	44.5	30.5	37.5
آب	44	30	37
أيلول	39.5	25.8	32.6
تشرين الأول	32	20.5	26.2
تشرين الثاني	23.5	12.8	18.1
كانون الأول	17	7.8	12.4
المعدل السنوي	29.8	18.1	23.9

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على : وزارة النقل والمواصلات والهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. قسم المناخ (بيانات غير منشورة)، 2025 .

2-سرعة الرياح واتجاهاتها وأثرها في التصحر

تلعب الرياح دورًا مهمًا في تسريع مظاهر التصحر، ولاسيما من خلال عمليات التعرية الريحية ونقل الغبار والرمال. وتُظهر البيانات المناخية أن محافظة كركوك تتميز بسرعات رياح معتدلة في المعدل العام، إلا أن نشاطها يزداد خلال فصلي الربيع والصيف.

ويبين الجدول (2)أن سرعة الرياح ترتفع نسبيًا خلال أشهر آذار ونيسان ومايس وحزيران وتموز، وهي فترة تتزامن مع جفاف التربة وضعف الغطاء النباتي، مما يزيد من قابلية السطح الأرضي للتعرية. وتسهم الرياح، ولاسيما الشمالية الغربية الجافة، في نقل الأتربة الدقيقة والغبار، الأمر الذي يؤدي إلى إزالة الطبقة السطحية الخصبة من التربة، ويُعد ذلك من العمليات الأساسية المرتبطة بتدهور الأراضي.

كما أن استمرار نشاط الرياح في المناطق المفتوحة والسهول الواسعة يسهم في زحف الرمال وطمس الأراضي الزراعية والمراعي الطبيعية، مما يؤدي إلى تراجع الإنتاجية الزراعية واتساع رقعة الأراضي المتدهورة.

جدول(2) المعدلات الشهرية التقريبية لسرعة الرياح (متر/ثانية) في محافظة كركوك للمدة–(2025 2015)

الأشهر	سرعة الرياح (م/ثا)
كانون الثاني	1.2
شباط	1.5
آذار	1.8
نيسان	2
أيار	2.2
حزيران	2.1
تموز	2
آب	1.9
أيلول	1.6
تشرين الأول	1.5
تشرين الثاني	1.3
كانون الأول	1.2
المعدل السنوي	1.7

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على : وزارة النقل والمواصلات والهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. قسم المناخ (بيانات غير منشورة)،2025.

3-الأمطار وأثرها في التصحر

تُعد الأمطار من أكثر العناصر المناخية ارتباطًا بظاهرة التصحر في محافظة كركوك، لما لها من دور مباشر في تغذية التربة واستدامة الغطاء النباتي. ويُظهر الجدول (3) أن مجموع الأمطار السنوي في محطة كركوك يبلغ نحو(338)ملم، وهي كمية محدودة نسبيًا تتسم بتذبذبها الزمني، إذ تتركز خلال أشهر الشتاء وتنقطع تقريبًا خلال فصل الصيف. ويسهم هذا التذبذب في عدم انتظام رطوبة التربة وضعف تجدد الغطاء النباتي، مما يزيد من تعرض سطح الأرض للتعرية. كما أن تركز الأمطار أحيانًا على شكل زخات غزيرة قصيرة المدة يؤدي إلى زيادة الجريان السطحي وانجراف التربة، في حين يؤدي طول فترة الجفاف الصيفي إلى تشقق التربة وزيادة قابليتها للتعرية الريحية، الأمر الذي يسهم في تفاقم مظاهر التصحر داخل المحافظة.

جدول (3) المعدلات الشهرية التقريبية للأمطار (ملم) في محطة كركوك للمدة(2025–2015)

الأشهر	كمية الأمطار (ملم)
تشرين الأول	18
تشرين الثاني	48
كانون الأول	55
كانون الثاني	70

شباط	52
آذار	42
نيسان	35
مايس	18
حزيران	–
تموز	–
آب	–
أيلول	–
المجموع السنوي	**338**

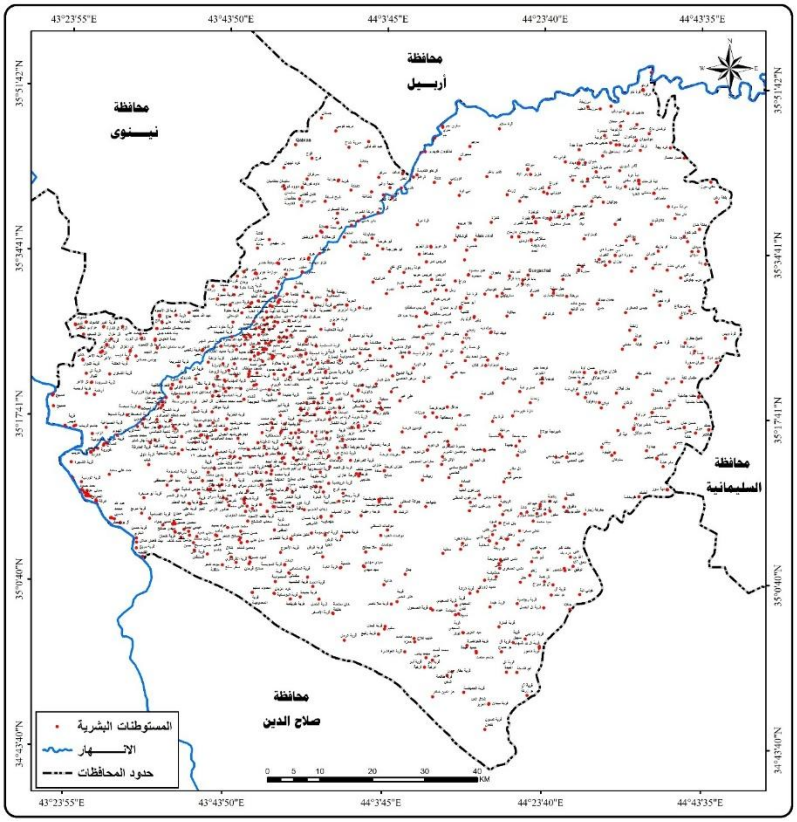
المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على : وزارة النقل والمواصلات والهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. قسم المناخ (بيانات غير منشورة)، 2025.

العوامل البشرية المؤثرة في التصحر

1-التوسع في المستوطنات البشرية وأثره في التصحر

تُعد المستوطنات البشرية من العوامل البشرية الرئيسة المؤثرة في تفاقم ظاهرة التصحر في محافظة كركوك، لما يرافقها من توسع عمراني وزيادة الضغط على الأراضي الزراعية والغطاء النباتي. وتُظهر خريطة (6) لتوزيع المستوطنات البشرية تركزًا واضحًا لها في المناطق السهلية وعلى امتداد المجاري المائية، ولاسيما بالقرب من نهر الزاب الصغير ونهر الخاصة وحول المراكز الحضرية الرئيسة، نتيجة توفر الأراضي المستوية ومصادر المياه. وقد أسهم هذا التركز في تحويل مساحات من الأراضي المنتجة إلى استعمالات سكنية وخدمية، مما أدى إلى تراجع الغطاء النباتي وتعرية التربة. كما يسهم التوسع العمراني غير المنظم في زيادة الجريان السطحي وتقليل تغلغل المياه إلى التربة، الأمر الذي يسرّع من عمليات الانجراف ويعزز مظاهر التصحر، ولاسيما في المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة.

خريطة (6) التوزيع الجغرافي للمستوطنات البشرية في منطقة الدراسة

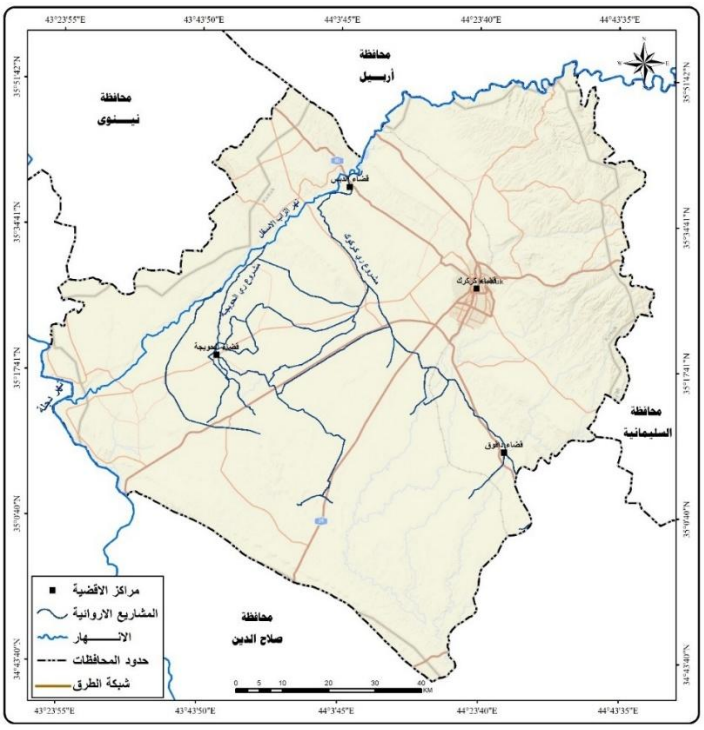


المصدر :من عمل الباحث بالاعتماد على البيانات الإحصائية الرسمية للمستوطنات البشرية.

2-الموارد المائية وسوء إدارتها وأثرها في التصحر

تُعد الموارد المائية من العوامل الحاسمة في استدامة الغطاء النباتي والإنتاج الزراعي في محافظة كركوك، إلا أن سوء إدارتها أسهم بشكل مباشر في تفاقم مظاهر التصحر. وتُظهر خريطة (7) لتوزيع الموارد المائية والمشاريع الإروائية تباينًا مكانيًا واضحًا، حيث تتركز الأنهار والمشاريع الإروائية في الأجزاء الشمالية والوسطى من المحافظة، مقابل محدودية هذه الموارد في الأجزاء الجنوبية والغربية، مما انعكس سلبًا على كفاءة استغلال الأراضي الزراعية. كما أدّت أساليب الري التقليدية وضعف شبكات الصرف إلى ارتفاع منسوب المياه الجوفية وتملّح التربة في بعض المناطق، في حين تعاني مناطق أخرى من نقص المياه وجفاف الأراضي وتراجع الغطاء النباتي. ويسهم هذا التباين وسوء الإدارة في تعرية التربة وتسريع مظاهر التصحر، مما يجعل إدارة الموارد المائية من أخطر العوامل البشرية المؤثرة في تفاقم التصحر داخل المحافظة.

خريطة (7) المشاريع الاروائية في منطقة الدراسة



المصدر :من عمل الباحثة اعتمادًا على بيانات شبكة الطرق والمشاريع الإروائية والأنهار والحدود الإدارية، ومعالجتها رقميًا باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) لإنتاج خريطة شبكة الطرق والموارد المائية في محافظة كركوك.

مؤشرات التصحر

أولًا: مؤشر تدهور الغطاء النباتي

يُعد تدهور الغطاء النباتي من أهم مؤشرات التصحر، لكونه يعكس حالة التوازن البيئي بشكل مباشر، إذ يؤدي الغطاء النباتي دورًا أساسيًا في حماية التربة من التعرية وتنظيم الرطوبة والحد من آثار الجفاف. ويؤدي تراجعه إلى تعرّض التربة للانجراف الريحي والمائي، مما يسرّع من تفاقم مظاهر التصحر.

جدول (4): تصنيف حالة الغطاء النباتي في محافظة كركوك للمدة(2015–2025)

الدلالة البيئية	النسبة من المساحة (%)	المساحة (كم²)	قيمة NDVI	فئة الغطاء النباتي
استقرار بيئي نسبي	18.4	1760	0.40 – 0.63	غطاء نباتي كثيف
تدهور متوسط	27.6	2640	0.20 – 0.39	غطاء نباتي متوسط
تدهور واضح	31.2	2985	0.05 – 0.19	غطاء نباتي ضعيف
تصحر شديد	22.8	2180	أقل من 0.05	أراضٍ شبه عارية
المجموع	**100**	**9565**	—	—

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على مرئيات Landsat وتحليل NDVI.

يُظهر جدول (4) أن أكبر مساحة من محافظة كركوك تقع ضمن فئتي الغطاء النباتي الضعيف والأراضي شبه العارية، إذ تبلغ مساحتهما معًا نحو 5165كم²، أي ما نسبته 54%من المساحة الكلية للمحافظة. ويعكس هذا الاتساع الكبير تدهورًا واضحًا في الغطاء النباتي، ويشير إلى تصاعد شدة التصحر، ولاسيما في المناطق الجنوبية والغربية من المحافظة.

كما يتضح أن فئة الغطاء النباتي المتوسط تشغل مساحة قدرها 2640كم² وبنسبة 27.6%، وهي مناطق تُعد انتقالية بين الاستقرار البيئي والتدهور، مما يجعلها أكثر عرضة للتحول إلى أراضٍ متدهورة في حال استمرار الضغوط المناخية والبشرية. في المقابل، لا تتجاوز مساحة الغطاء النباتي الكثيف 1760كم² وبنسبة 18.4%من مساحة المحافظة، وهي تمثل المناطق الأكثر استقرارًا نسبيًا، وغالبًا ما ترتبط بقربها من الموارد المائية أو بوجود نشاط زراعي منتظم.

ويُستدل من هذا التوزيع أن أكثر من نصف مساحة محافظة كركوك تعاني من درجات متفاوتة من تدهور الغطاء النباتي، وهو ما يؤكد أن هذا المؤشر يُعد من أبرز المؤشرات الدالة على تفاقم ظاهرة التصحر خلال المدة(2015–2025).

ثانيًا: مؤشر تدهور التربة

يُعد تدهور التربة من المؤشرات الرئيسة الدالة على التصحر، لما له من تأثير مباشر في الإنتاج الزراعي واستدامة الغطاء النباتي. ويظهر تدهور التربة من خلال التملّح، والانجراف، وضعف الخصوبة، وتفكك البنية الحبيبية، وهي مظاهر تنتشر بدرجات متفاوتة في محافظة كركوك.

جدول (5): مظاهر تدهور التربة في محافظة كركوك للمدة(2015–2025)

درجة الخطورة	النسبة من المساحة (%)	المساحة (كم²)	نوع التدهور	المظهر
عالية	28.5	2725	تملّح التربة	تدهور كيميائي
متوسطة–عالية	24	2295	انجراف ريحي	تدهور فيزيائي
متوسطة	18	1720	انجراف مائي	تدهور فيزيائي
متوسطة	16.5	1580	ضعف الخصوبة	تدهور حيوي
منخفضة	13	1245	تربة مستقرة نسبيًا	استقرار جزئي
المجموع	**100**	**9565**	—	—

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على البيانات الحقلية، ونتائج التحليل المكاني، وتقارير الدوائر الزراعية.

يبين جدول (5) أن تملّح التربة يمثل أخطر مظاهر تدهور التربة في محافظة كركوك، إذ يشغل مساحة تبلغ 2725كم² وبنسبة 28.5%من المساحة الكلية، مما يدل على انتشار واسع للتدهور الكيميائي، ولاسيما في السهول الزراعية ذات التصريف الضعيف.

كما تشغل مناطق الانجراف الريحي مساحة قدرها 2295كم² وبنسبة 24%، وهي نسبة مرتفعة تعكس تأثير الجفاف وضعف الغطاء النباتي، خاصة في الأجزاء الجنوبية والغربية من المحافظة. أما الانجراف المائي فيغطي مساحة 1720كم² وبنسبة 18%، ويتركز غالبًا في المناطق ذات السطح المتموج والانحدارات النسبية.

في المقابل، لا تتجاوز مساحة الترب المستقرة نسبيًا 1245كم² وبنسبة 13%فقط، وهو ما يدل على أن غالبية أراضي المحافظة تعاني من درجات متفاوتة من تدهور التربة. ويؤكد هذا التوزيع أن تدهور التربة يُعد مؤشرًا رئيسًا على تفاقم ظاهرة التصحر في محافظة كركوك خلال مدة الدراسة.

ثالثًا: مؤشر ندرة الموارد المائية

تمثل الموارد المائية عاملًا حاسمًا في استدامة الأنشطة الزراعية والغطاء النباتي، ويُعد نقصها أو سوء توزيعها من أبرز المؤشرات الدالة على التصحر. وتعاني محافظة كركوك من تفاوت مكاني واضح في توفر المياه السطحية والجوفية، الأمر الذي انعكس على تراجع النشاط الزراعي في مساحات واسعة.

جدول (6): حالة الموارد المائية وأثرها في التصحر بمحافظة كركوك للمدة(2015–2025)

درجة التأثير	النسبة من المساحة (%)	المساحة (كم²)	حالة المورد المائي	نوع المورد
عالية	32	3060	شح شديد	مياه سطحية موسمية
عالية	26.5	2535	استنزاف متزايد	مياه جوفية
متوسطة	21	2010	توفر غير منتظم	مشاريع إروائية
منخفضة–متوسطة	20.5	1960	توفر نسبي	قرب الأنهار
المجموع	**100**	**9565**	—	—

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات الموارد المائية وتقارير الدوائر المختصة.

يوضح جدول (6) أن المناطق التي تعاني من شح شديد في المياه السطحية الموسمية تشغل مساحة تبلغ 3060كم² وبنسبة 32% من مساحة المحافظة، وهي أعلى نسبة مسجلة، مما يعكس أثر الجفاف وتذبذب الأمطار في زيادة ندرة المياه، وبالتالي تراجع النشاط الزراعي والغطاء النباتي.

كما تظهر مساحات واسعة تعاني من استنزاف المياه الجوفية، بلغت 2535كم² وبنسبة 26.5%، وهو ما يدل على ضغط بشري متزايد على هذا المورد، وما يرافقه من مشكلات تملّح التربة وتدهورها. في حين تغطي المناطق ذات التوفر غير المنتظم للمياه الإروائية مساحة 2010كم² وبنسبة 21%، وهي مناطق معرضة للتدهور في حال استمرار ضعف الإدارة المائية.

في المقابل، لا تتجاوز المناطق التي تتمتع بتوفر مائي نسبي مساحة 1960كم² وبنسبة 20.5%، مما يدل على محدودية المناطق القادرة على الحفاظ على الاستقرار الزراعي والبيئي. ويشير هذا التوزيع إلى أن ندرة الموارد المائية تُعد من المؤشرات الحاسمة التي أسهمت في تفاقم التصحر بمحافظة كركوك خلال مدة الدراسة.

مشكلات التصحر في محافظة كركوك

تُعدّ ظاهرة التصحر من أخطر المشكلات البيئية التي تواجه محافظة كركوك، لما لها من آثار مباشرة في تدهور الموارد الطبيعية وانخفاض الإنتاج الزراعي واختلال التوازن البيئي. وقد أظهرت المؤشرات المعتمدة في هذه الدراسة أن التصحر في المحافظة لا يقتصر على مظهر واحد، بل يتمثل بمجموعة من المشكلات المتداخلة التي تتفاوت في شدتها من منطقة إلى أخرى.

أولًا: تدهور الغطاء النباتي

تتمثل هذه المشكلة في تراجع كثافة الغطاء النباتي الطبيعي والزراعي، ولاسيما في المناطق السهلية والجنوبية من المحافظة، نتيجة قلة الأمطار، وارتفاع درجات الحرارة، وسوء إدارة الموارد المائية، إضافة إلى الضغوط البشرية. ويؤدي هذا التراجع إلى فقدان التربة لغطائها الواقي، مما يزيد من تعرضها للتعرية ويُعد من أبرز مظاهر التصحر.

ثانيًا: تدهور التربة وتملّحها

تُعد مشكلة تدهور التربة من المشكلات الرئيسة المرتبطة بالتصحر في محافظة كركوك، إذ تظهر من خلال زيادة ملوحة التربة، وضعف خصوبتها، وتفكك بنيتها الحبيبية. وترتبط هذه المشكلة بأساليب الري غير الكفوءة، وضعف شبكات الصرف الزراعي، وارتفاع معدلات التبخر، مما أدى إلى خروج مساحات واسعة من الأراضي الزراعية عن نطاق الإنتاج.

ثالثًا: ندرة الموارد المائية وتذبذبها

تعاني المحافظة من تذبذب واضح في الموارد المائية السطحية والجوفية، سواء من حيث الكمية أو التوزيع المكاني، وهو ما انعكس على تراجع النشاط الزراعي وجفاف مساحات واسعة من الأراضي. كما أسهم الاستنزاف غير المنظم للمياه الجوفية في تفاقم مشكلات التملّح والتدهور البيئي.

رابعًا: اتساع رقعة الأراضي الجرداء والمتدهورة

أدّت العوامل الطبيعية والبشرية مجتمعة إلى اتساع مساحات الأراضي الجرداء والمتدهورة، ولاسيما في الأجزاء الجنوبية والغربية من المحافظة، حيث تسود الترب الهشة والغطاء النباتي الضعيف. ويؤدي هذا الاتساع إلى تقليص الرقعة الزراعية وزيادة شدة التصحر.

حلول ومعالجات التصحر في محافظة كركوك

تتطلب معالجة مشكلة التصحر في محافظة كركوك اعتماد مجموعة من الحلول المتكاملة، التي تأخذ بنظر الاعتبار طبيعة العوامل المؤثرة وتفاوت شدتها مكانيًا، ويمكن إجمال أهم هذه الحلول بما يأتي:

1. اعتماد برامج تشجير واسعة وإعادة تأهيل المراعي الطبيعية باستخدام نباتات مقاومة للجفاف للحد من تعرية التربة واستعادة الغطاء النباتي.
2. تنظيم الرعي ومنع الرعي الجائر في المناطق المتدهورة من خلال تحديد الطاقة الاستيعابية للمراعي ووضع ضوابط زمنية للرعي.
3. تطبيق أساليب الزراعة المحافظة على التربة، مثل تقليل الحراثة واعتماد الدورات الزراعية، للحد من انجراف التربة وتحسين خصوبتها.
4. تحسين شبكات الصرف الزراعي ومعالجة مشكلات التغدق والتملّح لضمان استدامة الأراضي الزراعية وزيادة إنتاجيتها.
5. ترشيد استخدام الموارد المائية من خلال اعتماد تقنيات الري الحديثة وتنظيم استغلال المياه الجوفية للحد من الاستنزاف والتملّح.
6. تطوير المشاريع الإروائية وصيانتها بشكل دوري لضمان عدالة توزيع المياه وتقليل الفاقد المائي.
7. الحد من التوسع العمراني على حساب الأراضي الزراعية الخصبة من خلال التخطيط السليم لاستخدامات الأرض.
8. تعزيز الوعي البيئي لدى المزارعين والسكان المحليين حول مخاطر التصحر وسبل الحد منه عبر برامج الإرشاد والتدريب.
9. اعتماد الإدارة المتكاملة للأراضي والمياه كإطار شامل لمعالجة التصحر وتحقيق الاستدامة البيئية في محافظة كركوك

الاستنتاجات:

1. أظهرت الدراسة أن التصحر في محافظة كركوك يمثل مشكلة بيئية متفاقمة تتفاوت شدتها مكانيًا، وتتركز بصورة أوضح في الأجزاء الجنوبية والغربية من المحافظة.
2. بينت مؤشرات الغطاء النباتي أن أكثر من نصف مساحة المحافظة تعاني من تدهور واضح في الغطاء النباتي خلال المدة (2015–2025)، مما يعكس اختلالًا في التوازن البيئي.
3. كشفت النتائج عن انتشار واسع لمظاهر تدهور التربة، ولاسيما التملّح والانجراف وضعف الخصوبة، الأمر الذي أسهم في انخفاض الإنتاجية الزراعية وخروج مساحات من الأراضي عن الاستثمار.
4. أوضحت الدراسة أن ندرة الموارد المائية وسوء إدارتها، إلى جانب التوسع في المستوطنات البشرية، تُعد من أخطر العوامل التي أسهمت في تسريع مظاهر التصحر وتفاعلها مع العوامل الطبيعية.
5. أكدت الدراسة أهمية تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تشخيص مظاهر التصحر ومتابعة تطورها المكاني والزماني بدقة عالية.

التوصيات:

1. اعتماد برامج فاعلة لإعادة تأهيل الغطاء النباتي والمراعي الطبيعية المتدهورة باستخدام نباتات ملائمة للبيئة المحلية.
2. تحسين إدارة الموارد المائية من خلال ترشيد الاستهلاك، واعتماد تقنيات الري الحديثة، وتنظيم استغلال المياه الجوفية.

3. معالجة مشكلات تملّح التربة والتغدق عبر تطوير شبكات الصرف الزراعي والحفاظ على خصوبة الأراضي الزراعية.
4. الحد من التوسع العمراني العشوائي واعتماد التخطيط السليم لاستخدامات الأرض حفاظًا على الأراضي الزراعية الخصبة.
5. تعزيز استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في رصد التصحر وتحديث قواعد البيانات البيئية بصورة دورية.

قائمة المصادر:

References

1. Abuzaid, A. S., & Abdelatif, A. D. (2022). Assessment of desertification using the modified MEDALUS model in the North Nile Delta, Egypt. *Geoderma Regional, 28*, e00475.
2. Bilali, A., Ahmed, M., & Rahman, K. (2025). Assessment and driving factors of desertification vulnerability. *Journal of Environmental Earth Sciences, 14*(2), 85–101.
3. Higginbottom, T. P., & Symeonakis, E. (2014). Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: Current frameworks and future directions. *Remote Sensing, 6*(10), 9552–9575.
4. Hummadi, A. H. (2024). Temporal and spatial variation of agricultural drought and land degradation using residual trend analysis (NDVI, soil moisture, and rainfall). *Journal of Natural Sciences Research, 14*(6), 22–35.
5. Ibrahim, Y. Z., Balzter, H., Kaduk, J., & Tucker, C. J. (2015). Land degradation assessment using residual trend analysis of NDVI, soil moisture, and rainfall. *Remote Sensing of Environment, 7*(5), 5471–5494.
6. Kaliraj, S., Jerin Joe, R. J., Pitchaimani, V. S., & Abishek, S. R. (2026). GIS-based assessment of land degradation vulnerability and environmental indices as ecological indicators. *Scientific Reports, 16*, 4944.
7. Masoudi, M., Jokar, P., & Pradhan, B. (2018). Assessment of environmental sensitivity and desertification using geospatial techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 18*, 1133–1140.
8. Prăvălie, R., Săvulescu, I., Patriche, C., Dumitrașcu, M., & Bandoc, G. (2017). Spatial assessment of land degradation sensitive areas using the modified MEDALUS method. *Catena, 153*, 114–130.
9. Shuvo, R. M., Rahman, M. M., & Islam, M. S. (2025). Groundwater sustainability assessment and desertification risk mapping using NDVI, TGSI, and aridity indices. *Environmental Earth Sciences, 84*, 215.
10. Yahaya, I. I. (2024). Assessing desertification vulnerability and mitigation: A case study in Northern Nigeria. *Heliyon, 10*(3), e24971.