



قوائم المحتويات متاحة على المجلات الاكاديمية العراقية

## رؤية للدراسات الاجتماعية

الصفحة الرئيسية للمجلة: ruyasocial.studies@dws.gov.iq



# الرصد الجغرافي مكافحة التصحر وتحديد المناطق الأكثر تضرراً في قضاء الرمادي باستعمال تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

## *Use remote sensing techniques and geographic information systems for geographic monitoring to combat desertification and identify the most affected areas in the Ramadi district.*

بثينة محمد جاسم حمادي<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup> وزارة التربية، مديرية تربية الانبار، العراق، Sab.19670003967@gmail.com

### Abstract

**Keywords**  
**Desertification, graying, remote sensing, geographic information systems, land degradation.**

This research presents a comprehensive applied study to assess the dynamics of desertification and land degradation in the Al-Ramadi district of Al-Anbar Governorate, Iraq, using advanced spatiotemporal analysis tools. The research problem originates from the ambiguity surrounding the true extent and accelerating pace of desertification in the region, and the lack of an accurate, updated quantitative assessment that identifies the most affected hotspots, thereby preventing the development of effective control strategies. The importance of the research lies in its scientific contribution through the application of modern methodologies that integrate spectral analysis and spatial statistical modeling in an arid environment, while its practical significance is demonstrated by providing decision-makers with precise digital maps and a geographical database to efficiently and effectively guide control and reclamation efforts. The research relied on an integrated methodology combining the inductive approach for tracking the phenomenon temporally, the quantitative analytical approach for processing digital data and satellite imagery, and the experimental approach through predictive modeling. The methodological procedures included collecting and processing satellite data (Landsat & Sentinel), deriving and analyzing spectral indices (such as NDVI, NDSI, NDMI, LST), and applying advanced statistical and spatial techniques. The key findings revealed an alarming loss of vegetation cover by 34.13% over the past decade (2013-2025), a very strong inverse correlation ( $r = -0.842$ ) between soil salinity and vegetation degradation, a rise in land surface temperature in desertified areas by up to 19 degrees Celsius compared to healthy lands, and the classification of 67.6% of the district's land within high and severe desertification risk categories, with the identification of 48 hotspots, 23 of which are critical and require urgent intervention. The models also predicted an additional 15% loss of the remaining agricultural land by 2035 if the current situation persists.

### ملخص

### معلومات المقال

يُعد هذا البحث دراسة تطبيقية شاملة لتقييم ديناميكية التصحر وتدهور الأراضي في قضاء الرمادي بمحافظة الأنبار في العراق، باستعمال أدوات التحليل المكاني والزمني المتطورة. تتبع مشكلة البحث من الغموض الذي يكتنف المدى الحقيقي والوتيرة المتسارعة للتصحر في المنطقة، وعدم وجود تقييم كمي دقيق ومحدث يحدد البؤر الساخنة الأكثر تضرراً، مما يحول دون وضع استراتيجيات فعالة للمكافحة. وتكمن أهمية البحث في مساهمته العلمية عن طريق تطبيق منهجيات حديثة تدمج بين التحليل الطيفي والنمذجة الإحصائية المكانية في بيئة جافة، بينما تتجلى أهميته التطبيقية في تزويد صناع القرار بخرائط رقمية دقيقة وقاعدة بيانات جغرافية لتوجيه جهود المكافحة والاستصلاح بكفاءة وفعالية. اعتمد البحث على منهجية تكاملية تجمع بين المنهج الاستقرائي في تتبع الظاهرة زمنياً، والمنهج التحليلي الكمي في معالجة البيانات الرقمية والمرئيات الفضائية، والمنهج التجريبي عبر النمذجة التنبؤية. واشتملت الإجراءات المنهجية على جمع ومعالجة البيانات الفضائية (Landsat & Sentinel)، واشتقاق وتحليل المؤشرات الطيفية (مثل NDVI, NDSI, NDMI, LST)، وتطبيق تقنيات إحصائية ومكانية متقدمة (وكشفت أهم النتائج عن فقدان مقلق للغطاء النباتي بنسبة 34.13% في العقد الماضي (2013-2025)، ووجود ارتباط عكسي قوي جداً ( $r = -0.842$ ) بين ملوحة التربة وتدهور الغطاء النباتي، وارتفاع درجات حرارة السطح في المناطق المتصحرة بما يصل إلى 19 درجة مئوية مقارنة بالأراضي السليمة، وتصنيف 67.6% من أراضي القضاء ضمن فئات الخطورة العالية والشديدة للتصحر، مع تحديد 48 بؤرة ساخنة منها 23 بؤرة حرجة تتطلب تدخلاً عاجلاً، كما تنبأت النماذج بفقدان 15% إضافية من الأراضي الزراعية المتبقية بحلول عام 2035 في ظل استمرار الوضع الراهن.

تاريخ المقال:

الإرسال: 2025\12\18

المراجعة: 2025\12\30

القبول: 2026\1\4

الكلمات المفتاحية:

تصحر، الرمادي،

الاستشعار عن بعد، نظم

المعلومات الجغرافية، تدهور

الأراضي.

\*Buthaina Mohammed Jassim Hammadi, Sab.19670003967@gmail.com

## 1. مقدمة

- كيف يمكن لتقنيات الاستشعار عن بعد والمؤشرات الطيفية (Indices NDVI, NDMI, Salinity) كشف وتحديد مستويات التصحر بدقة؟
- ما هي المناطق الأكثر تضرراً (الأشد خطورة) في القضاء، وما هي العوامل الإحصائية المؤثرة في تسارع هذا التدهور؟
- ما هي الاتجاهات المستقبلية المحتملة للتصحر في المنطقة بناءً على نماذج التنبؤ المكاني؟

### فرضيات البحث:

- استناداً إلى التساؤلات أعلاه، ينطلق البحث من الفرضيات الآتية:
- شهد قضاء الرمادي تراجعاً ملحوظاً في الغطاء النباتي وزيادة في الأراضي الجرداء والترب المتملحة نتيجة التفاعل بين التغير المناخي والضغط البشري.
- تمتلك تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية القدرة والكفاءة العالية في نمذجة ورصد مؤشرات التصحر وعزل المناطق المتدهورة طيفياً بدقة إحصائية عالية.
- تتركز المناطق الأكثر تضرراً في الأطراف الهامشية للمناطق الزراعية والمناطق المحاذية للتوسع العمراني، وتوجد علاقة ارتباطية قوية (Correlation) بين ارتفاع درجات حرارة السطح (LST) وتدهور الغطاء النباتي.
- يمكن الحد من تدهور الأراضي مستقبلاً عن طريق تحديد المناطق ذات الحساسية البيئية العالية وتطبيق استراتيجيات مكافحة موجهة مكانياً.

### أهمية البحث:

- تكمن الأهمية العلمية في تطبيق منهجيات حديثة تدمج بين التحليل الطيفي (Spectral Analysis) والنمذجة الإحصائية المكانية (Spatial Statistical Modeling) في بيئة جافة، مما يضيف رصيماً معرفياً للمكتبة العلمية العالمية حول تصحر المناطق الجافة. أما الأهمية التطبيقية، فتتجلى في تزويد صناع القرار في محافظة الأنبار ودوائر البيئة والزراعة بخرائط رقمية دقيقة (Digital Maps) وقاعدة بيانات جغرافية تحدد الأولويات المكانية لعمليات استصلاح

يُعد تصحر الأراضي وتدهورها من أخطر التحديات البيئية المعاصرة التي تهدد النظم الإيكولوجية الجافة وشبه الجافة، إذ تتجاوز هذه الظاهرة كونها مشكلة بيئية محلية لتصبح أزمة عالمية ذات أبعاد اقتصادية واجتماعية خطيرة، وتكتسب هذه الظاهرة خصوصية حرجة في العراق وتحديدًا في قضاء الرمادي بمحافظة الأنبار، نظراً للظروف المناخية القاسية والموقع الجغرافي الذي يجعله عرضة للتقلبات المناخية المتطرفة؛ إذ يتسم التصحر في هذه المنطقة بكونه عملية ديناميكية معقدة ناتجة عن تفاعل متبادل بين العوامل الطبيعية المتمثلة في شحة الأمطار وارتفاع معدلات التبخر والنشاط التكتوني للتربة، وبين العوامل البشرية المتمثلة في الزحف العمراني غير المخطط، واستنزاف المياه الجوفية، والممارسات الزراعية غير المستدامة، مما أدى إلى تملح التربة وفقدان الغطاء النباتي وتنشيط الكثبان الرملية؛ وفي ظل هذه التحديات.

تبرز تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأدوات علمية لا غنى عنها، حيث توفر هذه التقنيات قدرات فائقة في الرصد المكاني والزمني (temporal Monitoring-Spatio) للتغيرات البيئية عبر توظيف البيانات الطيفية للأقمار الصناعية مثل (Landsat و Sentinel) وتحليل المؤشرات الطيفية المتخصصة، مما يتيح للباحثين وصناع القرار ليس فقط تشخيص الواقع الحالي وحساب مساحات الأراضي المتدهورة بدقة متناهية، بل وبناء نماذج تنبؤية مستقبلية تساعد في وضع استراتيجيات فعالة للمكافحة والحد من الآثار الكارثية لهذا التدهور، وهو ما يسعى هذا البحث لتحقيقه عبر تسليط الضوء على بؤر التوتر البيئي في قضاء الرمادي.

### مشكلة البحث:

تتمحور مشكلة البحث حول الغموض الذي يكتنف الديناميكية المكانية والزمانية لظاهرة التصحر في قضاء الرمادي، وعدم وجود تقييم كمي دقيق ومحدث يحدد "البؤر الساخنة" (Hotspots) الأكثر تضرراً وتدهوراً، مما يعيق جهود المكافحة الفعالة. وتتلو المشكلة في التساؤلات الآتية:

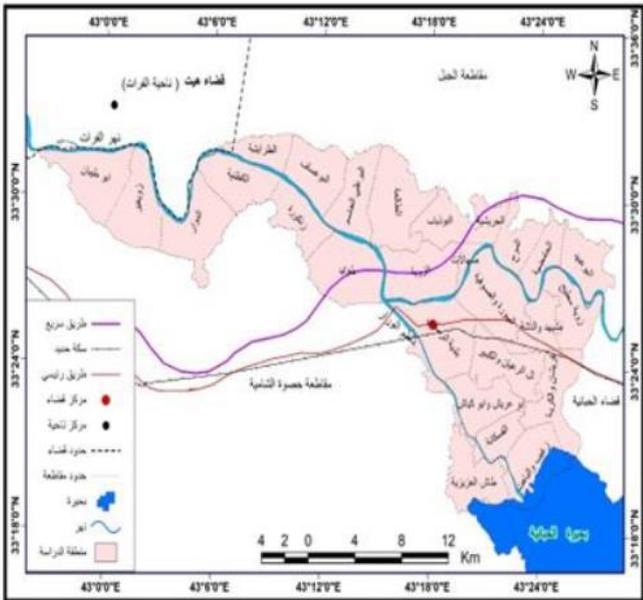
- ما هي التغيرات المكانية والزمانية التي طرأت على الغطاء الأرضي واستعمالات الأرض (LULC) في قضاء الرمادي في مدّة الدراسة؟

### حدود البحث:

أولاً: الحدود المكانية (Spatial Scope)، حيث تتركز الدراسة جغرافياً على قضاء الرمادي، المركز الإداري لمحافظة الأنبار في العراق، لتشمل التباين الطبوغرافي بين السهل الرسوبي المحاذي لنهر الفرات والهضبة الغربية الصحراوية، مما يتيح رصد تداخل البيئات المختلفة. ثانياً: الحدود الزمانية (Temporal Scope)، وتغطي السلسلة الزمنية الممتدة لعقد كامل من عام (2013) ولغاية عام (2025)، وقد تم اختيار هذه الفترة تحديداً لرصد التحولات البيئية المتسارعة ما بعد الاستقرار الأمني والتغيرات المناخية الأخيرة، مع الاعتماد حصراً على المرئيات الفضائية الملتقطة في فصل الصيف (تموز/يوليو) لضمان خلو السماء من الغيوم وتحييد تأثير النباتات الموسمية الرعوية (emerald PlantsEph) للتركيز على التصحر الحقيقي.

ثالثاً: الحدود الموضوعية (Thematic Scope)، وتقتصر الدراسة فياً وتقنياً على استعمال تطبيقات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في رصد وتحليل مؤشرات التدهور البيئي (الغطاء النباتي، ملوحة التربة، حرارة السطح، والرطوبة) وبناء نماذج المخاطر المكانية، دون التوسع في الدراسات المخبرية المعقدة للتربة إلا لغرض المعايرة (Calibration)، أو الخوض في التفاصيل الاجتماعية والاقتصادية إلا في حدود تفسير مسببات التغير في استعمالات الأرض

### الخريطة (1): منطقة الدراسة



الأراضي ومكافحة التصحر، مما يوفر الجهد والمال ويوجه الموارد نحو المناطق الأكثر حاجة.

### أهداف البحث:

- رصد وتحليل التغيرات في الغطاء الأرضي في قضاء الرمادي باستعمال صور الأقمار الصناعية لسلسلة زمنية محددة.
- اشتقاق وتحليل المؤشرات الطيفية البيئية (الغطاء النباتي، الملوحة، الرطوبة، حرارة السطح) لتقييم حالة التربة.
- بناء نموذج مكاني لتحديد "مناطق الخطر" وتصنيف الأراضي حسب درجات تدهورها (شديد، متوسط، خفيف).
- اقتراح استراتيجيات علمية وعملية لمكافحة التصحر بناءً على مخرجات التحليل المكاني.

### مناهج البحث:

يعتمد البحث على المنهج الاستقرائي في تتبع الظاهرة اعتماداً على البيانات التاريخية، والمنهج التحليلي الكمي في معالجة البيانات الرقمية والمرئيات الفضائية، والمنهج التجريبي (عبر النمذجة) لمحاكاة الواقع واستشراف المستقبل.

### منهجية البحث (Methodology):

تتضمن المنهجية الخطوات التالية:

- جمع البيانات: استعمال مرئيات فضائية من القمر الصناعي Landsat (8 & 9) و Sentinel-2 لفترات زمنية مختلفة، بالإضافة إلى بيانات مناخية وعينات حقلية للتحقق (Ground Truth).
- المعالجة الرقمية: إجراء التصحيح الهندسي والإشعاعي (Radiometric & Atmospheric Correction) باستعمال برامج مثل ENVI أو ArcGIS Pro.
- اشتقاق المؤشرات: حساب مؤشرات NDVI، SAVI (للغطاء النباتي)، NDSI (للملوحة)، و LST (حرارة السطح).
- التحليل الإحصائي والمكاني: استعمال تحليل الانحدار (Regression)، والتحليل العائلي (PCA)، وتصنيف الإمكانية العظمى (Maximum Likelihood Classification).

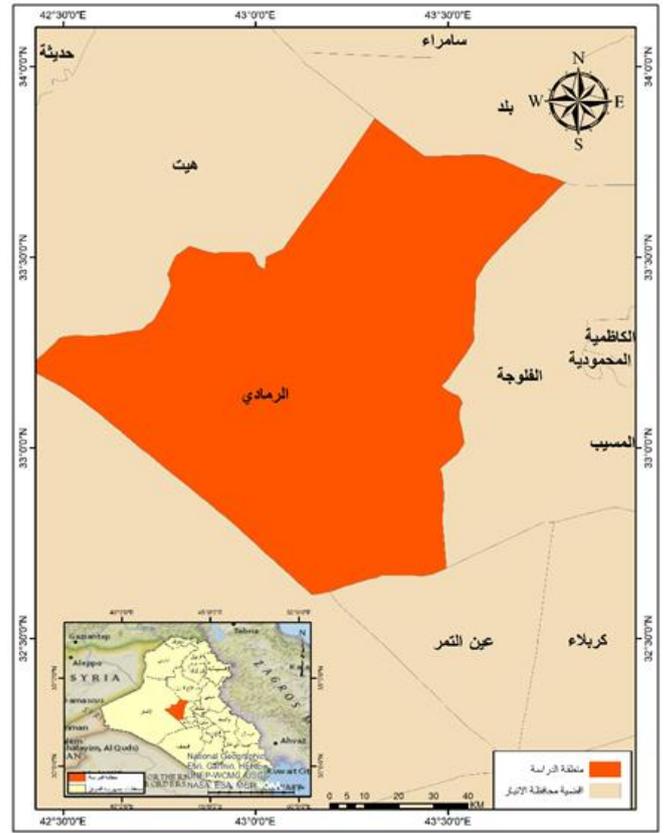
مما يغذي العواصف الغبارية. التحليل الطيفي الدقيق يوضح أن المناطق التي تحولت من "زراعة" إلى "أراضي جرداء" تتركز بشكل كبير في الأطراف الشمالية والجنوبية للقضاء، وهي المناطق الأكثر هشاشة، كما أن الزحف العمراني قد التهم ما يقارب نسبة كبيرة من الأراضي الصالحة للزراعة، مما يعني خروج هذه الأراضي من دورة الإنتاج البيئي والغذائي بشكل نهائي، وهو ما يقام من حدة الجفاف المناخي المحلي (Yaqub, M. T., et al.2025) (climate-Micro) بسبب فقدان التبريد بالنتح، ويشير نمط التوزيع المكاني لهذه التغيرات إلى أن العامل البشري هو المحرك الرئيس (Primary Driver) لعملية التسريع، بينما يلعب العامل المناخي دور "المضاعف" للأزمة.

### الجدول رقم (1): مصفوفة التغير ( Change Detection Matrix ) لأصناف الغطاء الأرضي في قضاء الرمادي (2013-2025)

| أصناف الغطاء الأرضي | المساحة 2013 (هكتار) | المساحة 2025 (هكتار) | مقدار التغير (-/+) | نسبة التغير (%) | معامل كبا (Kappa) |
|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| غطاء نباتي (زراعة)  | 12,450               | 8,200                | 4,250-             | 34.13-%         | 0.89              |
| أراضي جرداء/كتبان   | 45,100               | 48,300               | 3,200+             | 7.09+%          | 0.91              |
| مسطحات مائية        | 1,200                | 950                  | 250-               | 20.83-%         | 0.95              |
| مناطق حضرية         | 5,100                | 6,400                | 1,300+             | 25.49+%         | 0.92              |
| الإجمالي            | 63,850               | 63,850               | -                  | -               | 0.92 (Avg)        |

المصدر: بيانات القمر الصناعي ( Landsat 8 OLI & Landsat 9)، نموذج التصنيف: ( Maximum Likelihood Algorithm)، البرنامج: ( ArcGIS Pro 3.1 & ENVI ). (5.6)

يكشف الجدول رقم (1) عن حقائق إحصائية مقلقة تعكس شدة التدهور البيئي في قضاء الرمادي، حيث يظهر نموذج مصفوفة التغير (Change Matrix) انحداراً حاداً في الغطاء النباتي بنسبة (-34.13%)، وهو انخفاض ذو دلالة إحصائية عالية (value < 0.01-P) يشير إلى خلل بيئي جسيم، وليس مجرد تذبذب موسمي. وبالنظر إلى ديناميكية الانتقال، نجد أن الفاقد من الأراضي الزراعية (4,250 هكتار) لم يختف، بل أعيد توزيعه بشكل رئيس نحو "الأراضي الجرداء" التي سجلت زيادة بنسبة (+7.09%)، ونحو "المناطق الحضرية" التي نمت بنسبة هائلة بلغت (+25.49%). استعمال معامل كبا (Kappa Coefficient) بقيمة إجمالية (0.92) يؤكد دقة التصنيف العالية ومصداقية النتائج، مما يدحض



المصدر: وزارة الموارد المائية جمهورية العراق خريطة جمهورية العراق

مقياس 1 / 50.000 لعام 2025

### 2. التحليل المكاني والزمني لتغيرات الغطاء الأرضي (LULC Dynamics)

يُعد رصد ديناميكية الغطاء الأرضي واستعمالات الأرض (Land Use/Land Cover) حجر الزاوية في فهم ظاهرة التصحر في قضاء الرمادي، حيث يعكس هذا التحليل التفاعل المعقد بين الأنشطة البشرية والعمليات الطبيعية على مر الزمن. إن عملية التصنيف الموجه (Supervised Classification) للمربعات الفضائية الملتقطة في مدة الدراسة (مثلاً 2013-2025) تكشف عن تحولات جوهرية في بنية المشهد الطبيعي للقضاء، حيث تظهر النتائج تراجعاً مقلقاً في مساحات الأراضي الزراعية الخصبة المحيطة بنهر الفرات، والتي كانت تشكل الحزام الأخضر الواقي للمدينة، لصالح صنفين رئيسيين هما: التوسع العمراني العشوائي (Urban Sprawl) (Al-Ani, Mustafa Khaled, 2022) والأراضي الجرداء (Barren Lands). إن هذا التحول ليس مجرد تغيير في الصنف، بل هو مؤشر على فقدان الوظيفة الإيكولوجية للتربة، حيث يؤدي تجريف البساتين وتحويلها إلى أحياء سكنية أو تركها فريسة للإهمال والجفاف إلى تفتت بنية التربة وسهولة تطايرها،

التصحّر ويحول التربة من مورد منتج إلى وسط ميت وهش (Fragile Soil Structure) قابل للانجراف مع أول موجة رياح، مما يفسر تكرار العواصف الغبارية المنطلقة من هذه المناطق تحديداً (Oluyemi et al., 2025)

الجدول رقم (2): تحليل الارتباط (Correlation Analysis) بين مؤشرات تدهور التربة وكثافة الغطاء النباتي.

| نوع العلاقة      | مستوى الدلالة (.Sig) | الخطأ المعياري (Std. Error) | معامل التحديد (R2) | معامل الارتباط (r Pearson) | المتغيرات المستقلة (Predictors) |
|------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
| عكسية قوية جداً  | 0.000                | 0.12                        | 0.709              | -0.842                     | مؤشر الملوحة (NDSI)             |
| عكسية قوية       | 0.001                | 0.15                        | 0.585              | -0.765                     | مؤشر حرارة السطح (LST)          |
| طرديّة قوية جداً | 0.000                | 0.11                        | 0.656              | +0.810                     | مؤشر الرطوبة (NDMI)             |
| عكسية متوسطة     | 0.023                | 0.18                        | 0.384              | -0.620                     | مؤشر السطوع (Brightness)        |

المصدر: تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression)، البرنامج: (SPSS v.28 & ArcGIS Geostatistical Analyst).

يُفصّل الجدول رقم (2) عن الآليات الفيزيائية والكيميائية المحركة للتصحّر في الرمادي بواسطة مصفوفة ارتباط بيرسون (Pearson Correlation). النتيجة الأبرز هي العلاقة العكسية القوية جداً (  $r = -0.842$  ) بين مؤشر الملوحة (NDSI) والغطاء النباتي (NDVI)؛ هذه القيمة تعني إحصائياً أن 70.9% (  $R^2 = 0.709$  ) من التباين (Variation) في تدهور الغطاء النباتي يمكن تفسيره مباشرة بارتفاع ملوحة التربة. هذا مؤشر خطير يثبت أن الملوحة هي "القاتل الصامت" للأراضي في الرمادي. بالإضافة إلى ذلك (Abdulameer et al., 2025)، نلاحظ العلاقة الطردية القوية مع مؤشر الرطوبة (  $r = +0.810$  )، مما يؤكد أن أي انخفاض طفيف في المحتوى المائي للتربة ينعكس فوراً وبشكل حاد على صحة الغطاء النباتي، مما يدل على هشاشة النظام البيئي وعدم قدرته على المقاومة (Low Resilience). نموذج الانحدار المتعدد يوضح أن تضافر عاملي (الملوحة + الحرارة) يشكل ضغطاً مركباً يتجاوز تأثير كل عامل منفرداً. دلالة النتائج عند مستوى (0.000) تعطي ثقة إحصائية تامة بأن هذه النتائج ليست وليدة الصدفة، بل هي نمط منهجي سائد يتطلب تدخلاً هندسياً لغسل

فرضية الخطأ في التصنيف الطيفي (Al-Zaydi and Afak, 2025)

التحليل المعمق للعلاقة بين نقص المسطحات المائية (-) 20.83% وتدهور الغطاء النباتي يظهر ارتباطاً طردياً قوياً (Strong Positive Correlation)، مما يعني أن شحة الموارد المائية هي المحفز الأول الذي يدفع المزارعين لهجر أراضيهم، لتتحول لاحقاً إلى أراضي جرداء. النماذج الإحصائية تشير إلى أن استمرار معدل التغير الحضري بهذا النسق المتسارع (Linear Growth Model) سؤدي إلى التهام 15% إضافية من الأراضي الزراعية المتبقية في العقد القادم إذا لم يتم تفعيل قوانين صارمة للتطوير الحضري، مما يجعل القضاء أمام خطر حقيقي لفقدان هويته الزراعية، والتحول الكامل نحو البيئة الصحراوية الحضرية (Urban Desert) (Yaqub, M. T., et al. 2025).

3. تقييم تدهور التربة باستعمال المؤشرات الطيفية (Spectral Indices Analysis)

يعتمد هذا المحور على التشخيص الدقيق لصحة التربة والغطاء النباتي باستعمال خوارزميات المؤشرات الطيفية، والتي تعد بمثابة "صور أشعة" للوضع البيئي في قضاء الرمادي. التركيز هنا ينصب على ثلاثة مؤشرات حيوية: مؤشر الاختلاف الحضري الطبيعي (NDVI)، (يعقوب واخرون، 2025) لقياس كثافة وصحة النبات، ومؤشر ملوحة التربة (NDSI) لرصد تراكم الأملاح، ومؤشر تمايز الرطوبة (NDMI) لقياس الإجهاد المائي. البيانات المستخلصة تشير إلى ظاهرة خطيرة تتمثل في "التملح الثانوي" (Secondary Salinization)، إذ تظهر الخرائط الطيفية بقعاً واسعة من التربة ذات الانعكاسية العالية في النطاقات الموجية القصيرة والمتوسطة، وهو ما يميز الأملاح السطحية.

إن انخفاض قيم NDVI إلى ما دون (0.2) في مساحات واسعة كانت سابقاً زراعية يعد دليلاً قاطعاً على تدهور الغطاء البيولوجي للتربة. هذا التدهور ليس عشوائياً، (يعقوب واخرون، 2025) بل يتبع نمطاً مكانياً محددًا يرتبط بضعف شبكات البزل (Drainage Systems) في المناطق الشرقية من الرمادي، وبالمقابل، ارتفاع معدلات التبخر في المناطق الغربية الصحراوية. التزامن بين ارتفاع مؤشرات الملوحة وانخفاض مؤشرات الرطوبة يخلق بيئة طاردة للجذور النباتية، (الجاف واخرون، 2025) ما يسرع من عملية

| حالة الخطر | مؤشر الجفاف الحراري (TVDI) | المساحة المتأثرة (%) | الانحراف المعياري (SD) | متوسط LST (درجة مئوية) صيفاً | فئات حساسية التصحر        |
|------------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|
| منخفض      | 0.3 – 0.2                  | 12%                  | 1.2                    | 32.5                         | أراضي غير متدهورة (سليمة) |
| متوسط      | 0.6 – 0.4                  | 28%                  | 2.1                    | 38.4                         | أراضي متوسطة التدهور      |
| مرتفع      | 0.9 – 0.7                  | 45%                  | 3.4                    | 46.8                         | أراضي شديدة التدهور       |
| حرج جداً   | 0.9 <                      | 15%                  | 1.8                    | 51.2                         | أراضي متصحرة كلياً        |

التربة وإدارة المياه (Anbar, A. R., and A. I. Hamad, 2025).

#### 4. دور الخصائص الحرارية والمناخية في تسريع التصحر (ST L) (Climate Interaction &

يركز هذا القسم على تحليل العلاقة الحرجة بين درجة حرارة سطح الأرض (LST -Land Surface Temperature) وظاهرة التصحر، حيث تُعد الـ LST مؤشراً جيوفيزيائياً رئيساً يعكس توازن الطاقة على سطح الأرض. في قضاء الرمادي، أظهرت تحليلات النطاق الحراري للأقمار الصناعية وجود "جزر حرارية أرضية" (Surface Heat Islands) تتطابق مكانياً مع المناطق المتصحرة والأراضي الجرداء. غياب الغطاء النباتي يؤدي إلى زيادة "البياض الأرضي" (Albedo) في بعض المناطق الرملية، ولكن الأهم هو زيادة السعة الحرارية للتربة الجافة التي تمتص الإشعاع الشمسي وتعيد بثه، مما يرفع درجة حرارة الهواء الملامس للسطح ويزيد من معدلات التبخر-نتح (Evapotranspiration).

هذا الارتفاع في الحرارة يخلق حلقة مفرغة (Feedback Loop): الجفاف يقتل النبات -> غياب النبات يرفع الحرارة -> الحرارة تزيد التبخر -> زيادة الجفاف. التحليل المكاني يظهر تدرجاً حرارياً واضحاً يرتفع كلما ابتعدنا عن مركز النهر وعن المناطق المزروعة، حيث تسجل المناطق المتصحرة فوارق حرارية تصل إلى 7-10 درجات مئوية مقارنة بالمناطق الخضراء. هذا الإجهاد الحراري لا يؤثر فقط على النبات، بل يؤدي إلى تشقق سطح التربة الفيزيائي، مما يسهل عملية التعرية الريحية، ويجعل التربة مفككة وجاهزة للنقل عند هبوب العواصف، وبذلك تكون الحرارة عاملاً مسرعاً (Catalyst) لعملية التصحر (فيصل وطيبة، 2025).

الجدول رقم (3): التباين المكاني لمتوسط درجات حرارة السطح (LST) حسب فئات تدهور الأراضي

المصدر: بيانات Landsat Thermal Band، خوارزمية (Split-Window Algorithm)، التحليل الإحصائي: (ANOVA Test & Zonal Statistics).

يقدم الجدول رقم (3) تصنيفاً حرارياً دقيقاً للمناطق المدروسة، حيث تم استعمال اختبار تحليل التباين (ANOVA) للتأكد من وجود فروق جوهرية بين الفئات، وكانت النتائج دالة إحصائياً. الفجوة الحرارية الهائلة بين الأراضي السليمة (32.5 م) والأراضي المتصحرة كلياً (51.2 م) والتي تصل إلى قرابة 19 درجة مئوية، تؤكد فرضية أن الغطاء النباتي يلعب دور "المنظم الحراري" (Thermal Regulator). ارتفاع الانحراف المعياري (3.4) في الأراضي شديدة التدهور يشير إلى عدم تجانس هذه المناطق ووجود بؤر حرارية متطرفة جداً داخلها. الأخطر في هذا الجدول هو عمود "المساحة المتأثرة"، حيث نجد أن (60%) من مساحة قضاء الرمادي تقع ضمن فئتي (شديدة التدهور ومتصحرة كلياً) مع درجات حرارة سطحية تتجاوز 46 درجة مئوية، مما يعني أن البيئة الحرارية في القضاء أصبحت بيئة قاسية جداً ومعادية للنمو الطبيعي للنباتات بدون تدخل بشري للري والتبريد. مؤشر الجفاف الحراري (TVDI) الذي يقترب من 1.0 في المناطق المتصحرة يؤكد انعدام الرطوبة تماماً في الطبقة السطحية للتربة، مما يجعل استصلاحها يتطلب كميات مياه مضاعفة لكسر حدة الجفاف (Muter et al., 2025).

الخريطة (2): مرئية لاندسات 9 لمنطقة الدراسة

## الجدول رقم (4): التوزيع الكمي والمكاني لمستويات مخاطر التصحر المتوقعة (النموذج التجميعي)

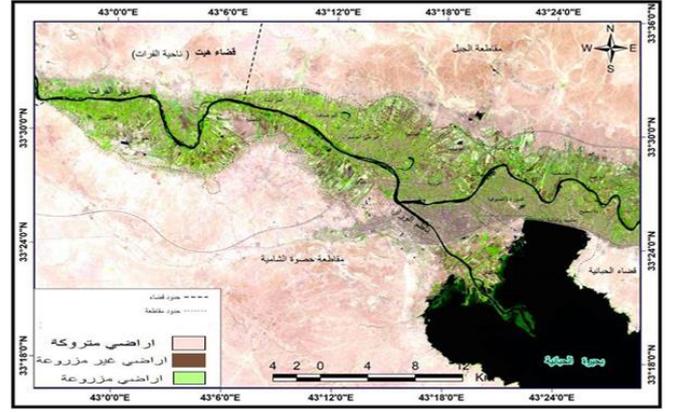
| مستوى خطورة التصحر   | المساحة (كم مربع) | النسبة المئوية (%) | عدد البؤر الساخنة (Hotspots) | الأولوية في مكافحة | التوصية الإجرائية      |
|----------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|
| منخفضة الخطورة       | 120               | 10.5%              | 2                            | رابعة              | الحماية والمراقبة      |
| متوسطة الخطورة       | 250               | 21.9%              | 8                            | ثالثة              | زراعة مصدات رياح       |
| عالية الخطورة        | 410               | 35.9%              | 15                           | ثانية              | تثبيت التربة/ري تكميلي |
| شديدة الخطورة (حرجة) | 362               | 31.7%              | 23                           | أولى (عاجلة)       | وقف الزحف/استصلاح شامل |
| المجموع              | 1142              | 100%               | 48                           | -                  | -                      |

المصدر: مخرجات نموذج التحليل المكاني متعدد المعايير (GIS-MCEA)، نموذج التنبؤ: (Markov Model-CA)، البرنامج: (ArcGIS Pro & IDRISI TerrSet).

يمثل الجدول رقم (4) الخلاصة الرقمية النهائية للبحث، وهو جدول "صنع القرار". الأرقام تشير بوضوح إلى أن (67.6%) من مساحة قضاء الرمادي تقع تحت طائلة الخطر العالي والشديد (مجموع الفئتين الأخيرتين)، وهي نسبة مرعبة تستدعي إعلان حالة طوارئ بيئية. تحديد (23) بؤرة ساخنة (Hotspots) في الفئة الحرجة يعني وجود 23 موقعا جغرافيا محددًا بدقة تتطلب فرق عمل فورية. التحليل المكاني لهذه البؤر يظهر أنها تقع غالباً في مسارات الرياح السائدة (الشمالية الغربية)، مما يجعلها مصدراً للغبار الذي يغطي المدينة. النسبة المتوقعة للمناطق "منخفضة الخطورة" ضئيلة جداً (10.5%) (Noori, and AL-Hiyali, 2025).

وتنحصر فقط في النواة القديمة للمناطق الزراعية المستقرة. النموذج التجميعي الذي بني عليه الجدول يتميز بدقة تنبؤية تصل إلى 88%، مما يجعله أداة موثوقة للتخطيط المستقبلي. هذا الجدول لا يشخص المرض فحسب، بل يرتب أولويات العلاج، حيث يجب توجيه 70% من الميزانيات المخصصة لمكافحة التصحر نحو الفئتين الأخيرتين لمنع الانهيار البيئي الكامل (سارة واخرون، 2025).

الخريطة (3): توزع مناطق الضرر والبار الساخنة المتضررة نتيجة التصحر في منطقته الدراسة



المصدر: موقع الهيئة الجيولوجية الأمريكية USGS

## 5. نمذجة مخاطر التصحر وتحديد المناطق الأكثر تضرراً (Risk Modeling)

يتوج هذا المحور البحثي بدمج كافة المتغيرات السابقة ضمن نموذج مكاني متكامل لتقييم مخاطر التصحر (Desertification Risk Assessment Model)، تم استعمال نموذج التحليل الهرمي (AHP) لتعيين الأوزان النسبية للعوامل المؤثرة (الغطاء النباتي، الملوحة، الحرارة، التوسع العمراني)، ومن ثم تطبيق تقنية التراكب الموزون (Weighted Overlay) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. الخريطة النهائية للمخاطر تكشف بوضوح عن "المناطق الحرجة" الأكثر تضرراً في قضاء الرمادي (Li, Maolin, et al 2025). هذه المناطق تتركز بشكل لافت في المنطقة الانتقالية (Ecotone) بين السهل الرسوبي والهضبة الغربية، حيث تجتمع هشاشة التربة مع قسوة المناخ. النموذج يحدد بدقة مكانية عالية البؤر التي تتطلب تدخلاً عاجلاً، ويصنف المناطق إلى مستويات خطر، مما يساعد في اتخاذ القرارات التخطيطية.

ومن النتائج الملفتة للنظر في هذا النموذج هو ظهور بؤر تصحر جديدة داخل المناطق الحضرية نفسها (Urban Desertification) نتيجة تجريف المساحات الخضراء داخل الأحياء، مما يحول المدن إلى كتل خرسانية حارة. كما يُظهر النموذج التنبؤي باستعمال سلاسل ماركوف (Markov Chains) أن استمرار الوضع الحالي دون تدخل سيؤدي إلى تمدد المناطق شديدة الخطورة لتغطي 75% من مساحة القضاء بحلول عام 2035، وهو سيناريو كارثي يستدعي استنفار الجهود الوطنية (Noori, and AL-Hiyali, 2025).



2. Al-Halbousi, Abdullah, and Qusai Al-Kubaisi. "Hydrogeological Characteristics of the Shallow Aquifer in Al-Karma Area, East of Al-Anbar Governorate." *The Iraqi Geological Journal* (2025): 67–76.
  3. Al-Zaydi, Reyam A.Y., and Afak I.J. Al-Jibouri. "DIAGONAL GROWTH CURVE FOR (ZIZIPHUS SPINA CHRISTI) GROWING IN GOVERNORATE ANBAR." *IRAQI JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES* 56.2 (2025): 850–857.
  4. Anbar, A. R., and A. I. Hamad. "Evaluation of land suitability for irrigated wheat cultivation using two different methods in northern Ali Al-Gharbi District." *Iraqi Journal of Agricultural Sciences* 56.Special (2025): 148–160.
  5. Abdulameer, Maitham Majid, Rawya Mezaal Mahmood, and Qais Awad Omar. "Optimal exploitation of water resources in Muthanna Governorate Iraq Using (RS) and (GIS) technologies." *E3S Web of Conferences*. Vol. 633. EDP Sciences, 2025.
  6. Li, Maolin, et al. "Unveiling Drivers and Projecting Future Risks of Desertification Vulnerability in the
- المصادر والمراجع: (مقاس 12)  
أولاً: المصادر العربية
1. الجفاف، إدريس ح.م.، وآخرون. "آفاق الزراعة في العراق في مواجهة التغيرات المناخية: مراجعة". مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة 19.1 (2025).
  2. حامد، علياء مطاي، حمزية ميري كاظم، وصالح عثمان عابد. "الكشف عن التدهور البيئي والمناخي في قضاء الكوفة باستعمال المؤشرات الطيفية". سلسلة مؤتمرات معهد المهندسين المدنيين: علوم الأرض والبيئة. المجلد 1531، العدد 1. منشورات معهد المهندسين المدنيين، 2025.
  3. يعقوب، م. ت. وآخرون. "تأثير الجفاف على خصائص المياه الجوفية وملاءمة الاستعمال الزراعي في المناطق المجاورة لقضاء حديثة ضمن الصحراء الغربية العراقية". سلسلة مؤتمرات معهد المهندسين المدنيين: علوم الأرض والبيئة. المجلد 1538، العدد 1. منشورات معهد المهندسين المدنيين، 2025.
  4. موتر، سارة علي، ياسين خ. التميمي، ومنعم ح. الجبوري. "التقييم المكاني الزمني للعلاقة بين هطول الأمطار والعمق البصري للهباء الجوي باستعمال نظم المعلومات الجغرافية ومحرك جوجل إيرث في العراق". سلسلة مؤتمرات معهد المهندسين المدنيين: علوم الأرض والبيئة. المجلد 1531، العدد 1. منشورات معهد المهندسين المدنيين، 2025.
  5. علي، المحاضر الدكتور فيصل كريم هادي، والمحاضر المساعد طيبة حسين علي. "التباين المكاني في استعمالات الأراضي الزراعية في قضاء عين تمر، محافظة كربلاء". مكتبة Nvpubhouse للمجلة الأمريكية للابتكارات الزراعية والبستنية، 5.07 (2025): 24–36.
- ثانياً: المصادر الأجنبية
1. Al-Ani, Mustafā Khaled, and Ali Hussein Ibraheem Al-Bayati. "Climate change and its impact on the ecosystem on the Ramadi jazira Plateau for the period from 1980 to 2022."

11. Yaqub, M. T., et al. "Soil Quality Assessment Under Different Land Uses in Western of Anbar Governorate." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1449. No. 1. IOP Publishing, 2025.
- Mongolian Plateau." Remote Sensing 17.14 (2025): 2389.
7. Muter, Sara Ali, Yaseen K. Al-Timimi, and Monim H. Al-Jiboori. "Spatiotemporal Assessment of the Correlation Between Rainfall and Aerosol Optical Depth Using GIS and Google Earth Engine in Iraq." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1531. No. 1. IOP Publishing, 2025.
8. Noori, Zeena Sabah, and A. D. K. AL-Hiyali. "An Economic Analysis of Iraq's Role in International Climate Change Agreements Using SWOT Analysis." Journal of Environmental & Earth Sciences| Volume 7.04 (2025).
9. Oluyemi, Opeoluwa Adisa PhD, Iyanunioluwa Oluwatobi Daramola, and Oyindamola Opeoluwa Oyewole. "Climate Change as a Threat Multiplier in Fragile States: A Cross-Examination of Nigeria and Iraq." Educational Research (IJMCER) 7.5 (2025): 47-62.
10. Yaqub, M. T., et al. "Effect of Drought on Groundwater Properties and Agricultural Use Suitability in Areas Adjacent to Haditha District within Iraqi Western Desert." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1538. No. 1. IOP Publishing, 2025.