Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (3) (JUNE, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) العدد 3 يونيو 2026
ردمد: 3135-2359

تقييم التصحر بإستخدام التقنيات الجيومكانية والمؤشرات الطيفية خلال السنوات 2015-2025م (بلدية صبراتة نموذجا للدراسة)

عبدالقادر الفتحي الشيباني الفتحي[1]
1 المركز الليبي لأبحاث ودراسات المياه والتربة ومكافحة التصحر /جامعة صبراتة
Abdulgader7575@gmail.com

Assessing Desertification Using Geospatial Techniques and Spectral Indicators During the Years 2015-2025 (Sabratha Municipality as a Case Study)

Dr. Abdulgader Al-Fathi Al-Shaibani Al-Fathi
Faculty Member, Libyan Center for Water and Soil Research and Studies and Combating Desertification

تاريخ الاستلام: 2026/04/03 تاريخ المراجعة 05/02/ 2026 تاريخ القبول:2026/05/15- تاريخ النشر: 06/04/ 2026

ملخص البحث

هدفت الدراسة إلى رصد التصحر وتقييمه في بلدية صبراتة بدولة ليبيا من خلال تحديد مقدار التغير للتصحر مكانيا وزمانيا باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، حيث تكمن مشكلة البحث في التسارع الملحوظ لتناقص الغطاء النباتي وجفاف التربة وتكشفها نتيجة التغيرات المناخية والأنشطة البشرية، عملت هذه الدراسة على انشاء قاعدة بيانات جغرافية يمكن تحديثها باستمرار، وإتاحت ما توصلت اليه من نتائج وتوصيات لدعم صناعة القرار لبناء استراتيجيات فاعلة وتطوير برامج حماية الارض واعادة تأهيل المتدهور منها والحد من التصحر.

تعتمد المنهجية على تحليل سلسلة زمنية من المرئيات الفضائية للقمر الصنعي (Landsat 8-9 OLI) ومعالجتها رقمياً لاستخراج ثلاثة مؤشرات طيفية رئيسية هي مؤشر الاختلاف الخضري (NDVI) لقياس كثافة وصحة الغطاء النباتي ومؤشر الرطوبة الطبيعي (NDMI) لتقدير محتوى الرطوبة في النبات والتربة والكشف عن الجفاف ومؤشر التربة العارية (BSI) لتمييز مساحات الأراضي المتدهورة والجرداء ودمج هذه المؤشرات عبر أدوات التحليل المكاني ضمن بيئة برمجية (ArcGIS) لإنتاج الخريطة الغرضية تبين تصنيف درجات التصحر بالمنطقة .

واشارت الدراسة الى كفاءة استخدام المؤشرات الطيفية في دراسة التصحر من خلال ما تتصف به من سهولة في الاستعمال وانخفاض في الكلفة، واشارت ايضا الى وجود اربعة اصناف للتصحر بمنطقة الدراسة هي صنف التصحر الشديد والمعتدل والخفيف وغير المتصحر وغياب للصنف تصحر شديد جدا في مرئيتي الدراسة، كما اشارت الدراسة ايضا بناء على اسلوب كشف التغير(change detection) واستخراج الفرق بين الفترات الزمنية الى زيادة في صنف التغير الموجب كتناقص في مساحة كل من الغطاء النباتي ورطوبة التربة في مقابل تزايد في مساحة التربة العارية في سنة 2025م عن سنة2015م، وتعد ازالة الغابات والرعي الجائر والتوسع العمراني واستغلال الاراضي الزراعية غير المستدام هي ابرز اسباب التصحر بالمنطقة.

الكلمات المفتاحية: التصحر، التقنيات الجيومكانية، NDVI, NDMI, BSI, ArcGIS .

Research Abstract

This study aimed to monitor and assess desertification in the municipality of Sabratha, Libya, by determining the extent of its spatial and temporal changes using remote sensing and geographic information systems (GIS). The research problem lies in the noticeable acceleration of vegetation cover loss, soil aridity, and exposure resulting from climate change and human activities. This study established a continuously updated geographic database and made its findings and recommendations available to support decision-making in developing effective strategies and programs for land protection, rehabilitation of degraded land, and mitigation of desertification.

The methodology relies on analyzing a time series of satellite imagery from the Landsat 8-9 OLI satellite and digitally processing it to extract three main spectral indices: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to measure the density and health of

vegetation cover, the Normalized Moisture Index (NDMI) to estimate the moisture content in plants and soil and detect drought, and the Bare Soil Index (BSI) to distinguish degraded and barren land areas. These indices are then integrated using spatial analysis tools within the ArcGIS software environment to produce a thematic map showing the classification of desertification degrees in the region. The study indicated the efficiency of using spectral indicators in studying desertification, due to their ease of use and low cost. It also indicated the presence of four categories of desertification in the study area: severe, moderate, mild, and non-desertification, and the absence of the very severe desertification category in the two study views. The study also indicated, based on the change detection method and extracting the difference between time periods, an increase in the positive change category, such as a decrease in the area of both vegetation cover and soil moisture, in contrast to an increase in the area of bare soil in the year 2025 compared to the year 2015. Deforestation, overgrazing, urban expansion, and unsustainable exploitation of agricultural lands are the most prominent causes of desertification in the region.
Keywords: Desertification, Geospatial Technologies, NDVI, NDMI, BSI, ArcGIS.

المقدمة

تعد ظاهرة التصحر من أخطر التحديات البيئية التي تواجه العالم في القرن الحادي والعشرين، حيث تؤدي إلى تدهور النظم البيئية وفقدان الإنتاجية البيولوجية للأراضي، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة، وتنتج هذه الظاهرة عن تداخل معقد بين العوامل الطبيعية، مثل التغيرات المناخية وتذبذب الأمطار، والعوامل البشرية المتمثلة في الرعي الجائر والأنشطة الزراعية غير المستدامة، ونظراً لاتساع رقعة الأراضي المتأثرة وصعوبة مراقبتها ميدانياً بشكل دوري، برزت تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) كأدوات فعالة وضرورية لرصد وتتبع هذه الظاهرة، وتعتمد هذه التقنيات على استخدام المؤشرات الطيفية ومرئيات الأقمار الصناعية، لرسم صورة دقيقة لحالة الأرض ومعالم سطحها المستشعرة.

يركز هذا البحث على استخدام كل من المؤشر (NDVI) لتقييم صحة وكثافة الغطاء النباتي، والمؤشر (NDMI) للكشف عن مستويات الرطوبة في التربة والنبات، والمؤشر (BSI) لتمييز وتحديد مساحات التربة العارية والمتدهورة، إن الدمج بين هذه المؤشرات في بيئة برمجية نظم المعلومات الجغرافية يتيح بناء نموذج مكاني متكامل لتقييم شدة التصحر وتحديد اتجاهاته الزمانية والمكانية في منطقة الدراسة، مما يساهم في توفير قاعدة بيانات علمية تدعم خطط استصلاح الأراضي وصيانة الموارد الطبيعية .

أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تجمع بين التقنيات الجيومكانية والمشكلات البيئية الملحة، ويمكن تلخيص أهميتها في النقاط التالية:

1 ـ الحصول على صورة شمولية للتصحر من خلال دمج ثلاثة مؤشرات طيفية (NDVI, NDMI, BSI) ، بدلاً من الاعتماد على مؤشر واحد .

2 ـ توفير أداة مراقبة دقيقة لظاهرة تدهور الأراضي وفهم ديناميكية التغير البيئي في منطقة الدراسة.

3 ـ حماية الموارد الرعوية والزراعية التي تعتمد عليها المجتمعات المحلية، من خلال تحديد المناطق المهددة بفقدان إنتاجيتها.

4 ـ بناء قاعدة بيانات جغرافية زمنية تساعد في توجيه سياسات صناع القرار ومخططو البيئة للحد من التصحر.

مشكلة الدراسة

يعاني الغطاء الأرضي الطبيعي من النبات والتربة في بلدية صبراته من وجود تدهور بيئي ملحوظ يتمثل في تراجع مساحات الغطاء النباتي وزيادة وتيرة الجفاف، مما أدى إلى بروز ظاهرة التصحر كمهدد رئيسي للنظام البيئي، وتتلخص مشكلة الدراسة في الأسئلة البحثية التالية:

1 ـ ما هي مساحة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة، واين تنتشر اصناف مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ؟

2 ـ هل توجد علاقة ارتباطية بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر التربة العارية (BSI) في منطقة الدراسة ؟

3 ـ هل يرتبط انخفاض رطوبة التربة (NDMI) بزيادة مساحات التربة العارية (BSI) في المنطقة؟

4 ـ ما هو مقدار التباين في مساحة اصناف التصحر خلال الفترة مابين 2015م و2025م وكيف تساهم العوامل الطبيعية والبشرية في التغيرات المرصودة عبر المؤشرات الطيفية ؟

5 ـ هل يمكن بناء قاعدة بيانات مكانية لمراقبة التصحر وتحديثها مستقبلاً بناء على مخرجات التحليل المكاني في برمجية (ArcGIS) ؟

فرضيات الدراسة

صيغت فرضيات الدراسة كإجابات مؤقتة ومسبقة على تساؤلاتها المطروحة، ويمكن تلخيص الفرضيات كالاتي :

1 ـ تتركز بؤر التصحر الشديد في المناطق ذات الغطاء النباتي الهش والمستويات المنخفضة من الرطوبة الأرضية.

2 ـ توجد علاقة ارتباطية عكسية بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر التربة العارية (BSI) في منطقة الدراسة .

3 ـ يؤدي انخفاض مستويات رطوبة التربة والنبات المقاسة بمؤشر (NDMI) إلى تسارع وتيرة تدهور الغطاء النباتي وتحوله إلى أراضٍ جافة .

4 ـ شهدت منطقة الدراسة توسعاً ملحوظاً في مساحات التصحر الشديد خلال الفترة الزمنية المختارة 2015-2025م نتيجة التغيرات المناخية والضغط البشري .

5 ـ دمج المؤشرات الثلاثة (NDVI, NDMI, BSI) في بيئة (ArcGIS) يوفر دقة تصنيفية أعلى لمخاطر التصحر مقارنة بالاعتماد على مؤشر واحد فقط.

أهداف الدراسة:

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف، ويمكن صياغتها كالاتي :

1 ـ تقدير مساحة الغطاء النباتي وكثافته في منطقة الدراسة وتصنيفه إلى مستويات باستخدام مؤشر (NDVI) خلال فترة الدراسة .

2 ـ رصد مستويات الجفاف ومحتوى الرطوبة في التربة والنبات باستخدام مؤشر (NDMI) .

3 ـ حصر وتعيين المناطق الجرداء والتربة العارية وبيان مساحات التدهور الفيزيائي للتربة باستخدام مؤشر (BSI) .

4 ـ دمج المؤشرات الطيفية الثلاثة في بيئة (ArcGIS) لإنتاج خريطة رقمية متكاملة تصنف مستويات التصحر بمنطقة الدراسة .

5 ـ تتبع مسار التصحر مكانيا وزمانيا ورصد التغير فيه (Change Detection) وقياس المساحات التي تحولت من أراضي منتجة إلى أراضي متدهورة.

الدراسات السابقة:

1 ـ ابراهيم بن علي الخالدي،(2025) هدف الدراسة الى مراقبة الجفاف ونقص تساقط الامطار في محافظة املج باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية باستخدام بعض المعادلات الحسابية واشتقاق القيم وتمثيلها خرائطيا لإظهار التوزيع المكاني لتغير الغطاء النباتي من خلال عدد من المؤشرات منها مؤشر التغطية النباتية(NDVI) ومؤشر الحالة النباتية (VCI) ومؤشر صحة النبات (VHI) ومؤشر فرق رطوبة التربة (NDMI) للاستدلال على الجفاف والتغيرات التي طرأت على مساحة الغطاء النباتي في الفترة الزمنية 2015-2025، حيث يرتبط الجفاف بالغطاء النباتي، لذلك اعتمدت بيانات الجفاف على مؤشر الغطاء النباتي، حيث ان مراقبة الجفاف وتقدير مساحته من الامور الاساسية لمكافحة التصحر، واظهرت الدراسة تعرض مساحة اراضي التغطية النباتية للتدهور والاجهاد الرطوبي، واتفاق بيانات مؤشر التغطية النباتية ومؤشر الحالة النباتية ان عام 2025 يعد اقل الاعوام جفافا (الخالدي،2025) .

2 ـ ستار ترف رزاق القريشي، (2024) حيث استخدم مؤشر التربة العارية (BSI) لتحديد احتمالية التغير في تعرية التربة بمحافظة واسط استنادا على المرئيات الفضائية لعدة سنوات وكشفت الدراسة عن وجود ثلاثة اصناف للتعرية هي التعرية العالية والمتوسطة والصنف الخالي من التعرية، وان تدهور التربة في المنطقة شهد تغيرات كبيرة في السنوات الماضية في المحافظة، وذلك نتيجة للتوسع العمراني وانجراف التربة (القريشي،2024).

3 ـ يوسف فرج ابوبكر،(2023) اجريت هذه الدراسة جنوب شرق مدينة طبرق لتقييم معدل التصحر باستخدام تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، من خلال المقارنة بين مؤشر التباين الخضري الطبيعي (NDVI) ومؤشر الترب العارية (BSI)، وتحديد أي المؤشرين اكثر ملائمة لتحقيق هدف الدراسة، وتم التحقق من صحة النتائج باستخدام نتائج التحليل الاحصائية من خلال اختبار دقة المستخدم، ومؤشر كابا، حيث كانت نتيجة اختبار دقة المستخدم لخريطة NDVI 72% واختبار كابا 0.70 وفي خريطة BSI كان دقة المستخدم75% ومؤشر كابا 0.73 وتعتبر هذه المؤشرات سهلة وسريعة التطبيق ومنخفضة التكلفة وتعتبر نتائجها لتقييم التصحر وقد يعزى الانخفاض النسبي للدقة الكلية في النتائج الى شدة سطوع التربة في منطقة الدراسة والذي كان تأثيره اكبر على مؤشرNDVI (ابوبكر،2023) .

وتختلف هذه الدراسة عن سابقاتها؛ بالإضافة الى حداثتها فهي ركزت على الجمع بين المؤشرات الثلاثة معا لدراسة الغطاء النباتي ورطوبة التربة ومقدار تكشفها باستخدام التقنيات الجيومكانية والعمل على انتاج نموذج يضم هذه

المحاور الثلاثة لرصد التصحر وتقييمه من عدة جوانب وهي البيئي والهيدرولوجي والفيزيائي وفي وقت واحد باستخدام برمجية (ArcGIS10.8)، بينما اغلب الدراسات السابقة كانت تركز على تناول مؤشر واحد او اثنين وبشكل اساسي المؤشر الخاص بالغطاء النباتي .

المفاهيم و المصطلحات

1 ـ التصحر (Desertification) هو تدهور الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة والجافة شبه الرطبة، الناتج عن عوامل مختلفة تشمل التغيرات المناخية والأنشطة البشرية، ويؤدي إلى فقدان القدرة الإنتاجية للارض.

2 ـ تدهور الأراضي (Land Degradation) انخفاض أو فقدان الإنتاجية البيولوجية أو الاقتصادية للأراضي الزراعية أو الغابات والمراعي نتيجة عمليات طبيعية أو بشرية.

3 ـ نظم المعلومات الجغرافية (GIS) نظام حاسوبي مصمم لجمع، وتخزين، ومعالجة، وتحليل، وعرض البيانات الجغرافية المكانية لدعم اتخاذ القرار البيئي.

4 ـ الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) فن وعلم الحصول على معلومات عن الأهداف أو الظواهر من خلال تحليل البيانات التي يتم جمعها بواسطة مجسات دون اتصال مباشر معها.

5 ـ مؤشر الاختلاف الخضري (NDVI) يعبر عن كثافة وصحة الغطاء النباتي، ويعد هذا المؤشر مهما في دراسات التصحر، حيث انه يساعد في تحديد الاراضي المجهدة والمتدهورة كمناطق كانت خضراء ثم أصبحت تربة جرداء، ورسم خرائط تمثل التصحر ودرجاته بمنطقة الدراسة.

6 ـ مؤشر رطوبة التربة والنبات (NDMI) يستخدم للكشف عن محتوى الماء في الخلايا النباتية ورطوبة التربة السطحية، ويعد هذا المؤشر مهما في دراسات التصحر، حيث انه يساعد في رصد الاجهاد المائي بالتربة والنبات في والكشف عن الجفاف المبكر والتنبؤ به.

7 ـ مؤشر التربة العارية (BSI) يستخدم في كشف تعرية الارض، وهو أداة هامة في دراسات التصحر لتمييز الأراضي الجرداء والتربة المكشوفة عن المناطق المغطاة بالنبات أو العمران.

8 ـ كشف التغير (Change Detection) عملية تحديد الاختلافات في حالة الظاهرة من خلال مراقبتها في أوقات زمنية مختلفة (A. Singh, 1989, pp. 989) .

9 ـ التراكب الموزون (Weighted Overlay) أداة في برمجية (ArcGIS) يتم العمل بها لدمج عدة طبقات مع إعطاء وزن نسبي لكل منها بناءً على أهميتها في ظاهرة التصحر لإنتاج الخريطة النهائية.

حدود الدراسة:

تمثلت الحدود المكانية لمنطقة الدراسة في حدود بلدية صبراتة، فيما مثلت الفترة من 2015م الى 2025م النطاق والحدود الزمنية لتغطي الدراسة فترة (10) سنوات، بحيث اعتبرت سنة الأساس2015م لتمثيل الحالة السابقة وسنة 2025م للمقارنة ورصد التغير، اما موضوعيا اقتصرت الدراسة على رصد وتقييم التصحر ومظاهره من خلال استخدام ثلاثة مؤشرات طيفية تمثلت في كل من المؤشر (NDVI) لتقييم الغطاء النباتي والمؤشر(NDMI) لتقييم رطوبة التربة والنبات والمؤشر(BSI) لتقييم المساحات الجرداء والتربة العارية، واعتمدت بشكل أساسي على برنامج (ArcGIS) لاجراء عمليات المعالجة الرقمية والتحليلات المكانية المختلفة لبيانات المرئيات الفضائية للقمر الصنعي (Landsat 8-9 OLI) مع تنفيذ خطوات التحقق الميداني والتحري الموقعي لمقارنة الحقائق الارضية مع معلومات الخرائط المنتجة .

منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي حيث يتم استخدامه لجمع البيانات الجغرافية والبيئية والمناخية عن منطقة الدراسة وتحليل خصائصها الطبيعية والبشرية والتي تساهم في ظاهرة التصحر، وربط النتائج الرقمية بالواقع الميداني .

وايضا المنهج الاستدلالي الرقمي اعتمادا على تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وعمليات المعالجة الرقمية، والتي انجزت في عدة مراحل تقنية رئيسية، حيث تم اجراء كل من عملية جمع وإعداد البيانات (Data Acquisition) والتي تمثلت في الحصول على البيانات الفضائية والمرجعية من خلال تحميل مرئيات القمر الاصطناعي (Landsat 8/9 OLI) لفترتين زمنيتين (2015م -2025م) والحصول على خرائط الأساس (Base Maps)، والحدود الإدارية لمنطقة الدراسة، وبيانات المناخ، ثم انجزت مرحلة المعالجة الأولية للمرئيات (Pre-processing) حيث تم إجراء عمليات التصحيح الإشعاعي (Radiometric Correction) والهندسي (Geometric Correction) وكذلك تصحيح الغلاف الجوي (Atmospheric Correction) لضمان دقة قيم الانعكاس الطيفي (Reflectance) اللازمة لحساب المؤشرات، وتم ايضا تنفيذ عمليات المعالجة الرقمية وحساب المؤشرات (Indices Calculation) حيث تم تطبيق المعادلات الرياضية واستخدام أداة الالة الحاسبة ضمن بيئة برمجية (ArcGIS) وانتهت باجراء كل من عملية التحليل المكاني (Spatial Analysis) وذلك من خلال توحيد قيم المؤشرات إلى اصناف تمثل درجات التصحر، ودمج خرائط المؤشرات الثلاث موزونةً لإنتاج الخريطة النهائية للتصحر وحساب مساحة المناطق المتدهورة ونسبتها المئوية، وايضا اجراء المقارنة الزمنية بين الخرائط لبيان

الفرق بينها، وكذلك عملية النمذجة النهائية وتحويل النتائج من صيغة خلوية (Raster) إلى صيغة متجهية (Vector) لحساب المساحات بدقة وإنتاج الجداول الإحصائية والرسوم البيانية .

بيانات الدراسة :

اعتمدت الدراسة على المرئيات المحملة من القمر اصطناعي حسب الجدول رقم (1) للفترة من 2015م الى 2025م خلال شهري 10، 11 من موقع المساحة الجيولوجية الاميركية (USGS).

جدول(1) يوضح مرئيات المستخدمة في الدراسة

السنة	المرئية	تاريخ الالتقاط	المسار	الدقة المكانية	النطاقات المستخدمة
2015م	Landsat 8 OLI	11-20	189-037	30م	6-5-4-2
2025م	Landsat 9 OLI	10-30	189-037	30م	6-5-4-2

المصدر:**http://earthexplorer.usgs.gov** هيئة المساحة الجيولوجية الاميركية (USGS).

خصائص منطقة الدراسة:

الموقع الجغرافي والفلكي: جغرافيا تقع بلدية صبراتة في الجزء الشمالي الغربي من ليبيا وضمن سهل الجفارة، وتبعد نحو 75 كم غرب العاصمة طرابلس يحدها من الشمال البحر المتوسط، ما يمنحها واجهة بحرية مؤثرة في مناخها ونشاطها الزراعي، ومن الشرق بلدية صرمان، بينما يحدها من الغرب بلديتا زوارة والعجيلات، وجنوبا تستمر الحدود نفسها مع البلديتين السابقتين حتى قدم الجبل الغربي، وتضم البلدية إحدى عشر محلة وهي (الطويلة، الوادي، الغوط، تليل، السوق، سيدي معروف، النهضة، دحمان الشرقية، دحمان الوسط، راس الديوان، قاليل)، واما فلكيا وحسب الخريطة شكل (1) تقع بين خطي طول (12.17º و12.57º) شرقا، ودائرتي عرض (32.48 º و32.83º) شمالا.

الجيولوجيا: تتشكل التكوينات الصخرية والتربة في صبراتة مما يلي:

1- التكوينات الرباعية: حيث تتكون أغلب الترب من رواسب حديثة (رمال ساحلية وتربة طينية خفيفة) تعود للعصر الرباعي.

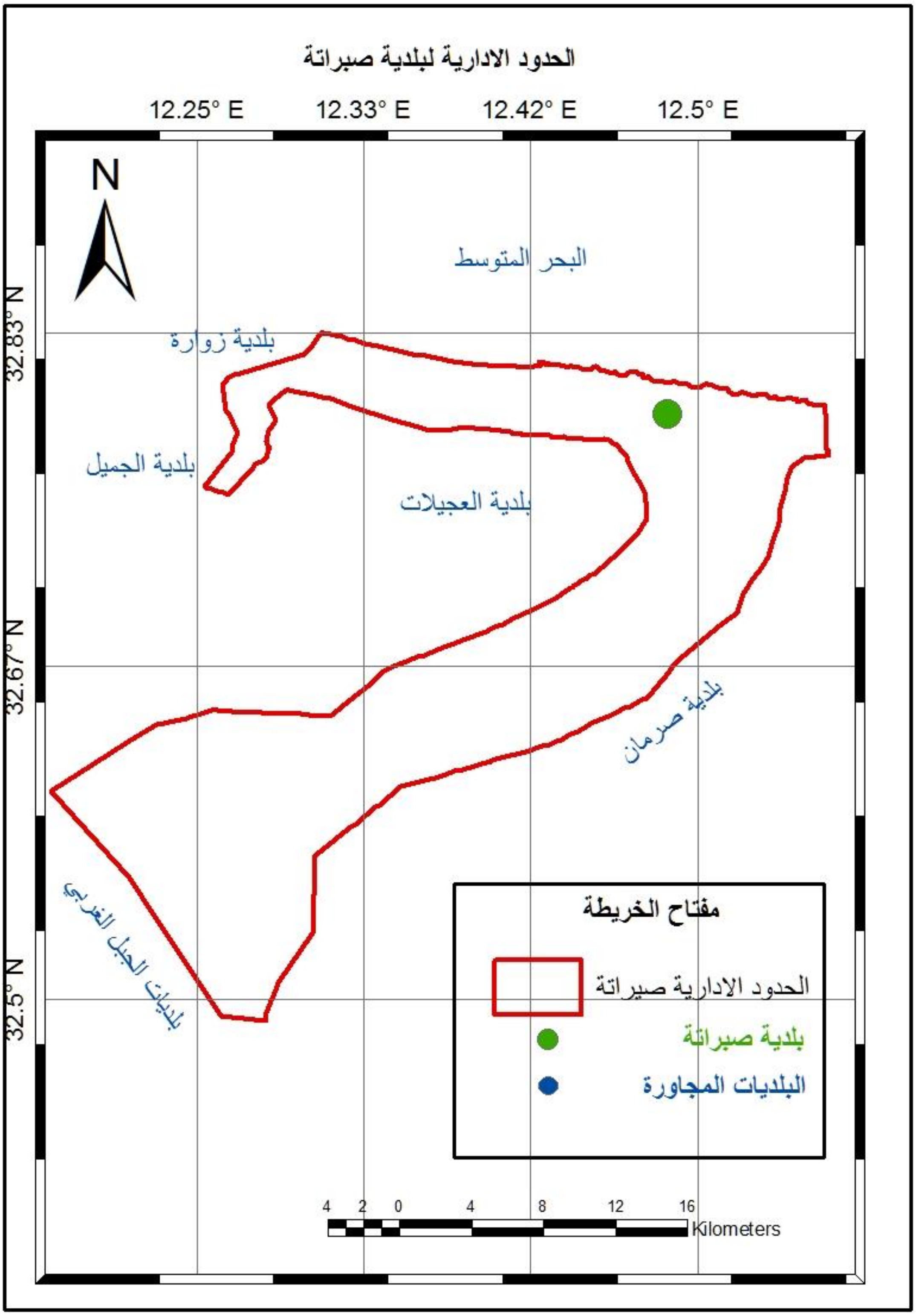
2 ـ الحجر الجيري: تنتشر بالمنطقة تحت السطح طبقات من الحجر الجيري والرسوبي، وقد استخدم قديما ولايزال في اعمال البناء .

مظاهر السطح: تضاريسيا تعتبر صبراتة جزء من سهل الجفارة المنبسط، وبشكل عام يتصف سطح الارض بالاستواء مع تموجات خفيفة جدا، حيث يرتفع عن مستوى سطح البحر بنحو 12متر بميل عام من الجنوب إلى الشمال، اما الشريط الساحلي فيمتد على طول البحر المتوسط بشواطئ رملية واسعة كمنطقتي تليل والوادي فيما تتخللها بعض السبخات الملحية الصغيرة بينما تمتد منطقة الظهير الزراعي كأراضي خصبة جنوباً خلف المدينة الأثرية والسكنية، وهي صالحة للزراعة الموسمية والدائمة .

الظروف المناخية: ينتمي مناخ بلدية صبراتة إلى مناخ البحر المتوسط شبه الجاف الذي يتصف بشتاء معتدل ممطر، وصيف حار جاف، وفق البيانات الواردة في الجدول (2).

1 ـ الحرارة: تتصف منطقة الدراسة بصيف حار نسبياً ورطب (متوسط 40-30 درجة مئوية)، وشتاء معتدل إلى بارد متوسط (18-8 درجة مئوية) وتتباين درجات الحرارة الفصلية بمنطقة الدراسة خلال السنة، فتنخفض لتصل إلى أدني مستوياتها في فصل الشتاء، مسجلة متوسطا بلغ حوالي 14.3 درجة مئوية، ثم تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع خلال فصل الربيع بمتوسط فصلي18.7، لتصل إلى ذروتها في فصل الصيف مسجلة متوسطا فصليا يبلغ 25.5 درجة مئوية في شهر أغسطس، بعد ذلك تبدأ درجات الحرارة في الانخفاض تدريجيا خلال فصل الخريف بمتوسط فصلي 22.6 درجة مئوية .

شكل (1) يوضح الموقع العام لمنطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث اعتمادا على الاطلس الوطني، مصلحة المساحة، 2009. وبرمجية Arc GIS10.8

2 ـ الرياح: تتعرض منطقة الدراسة للمؤثرات البحرية اللطيفة صيفاً، ورياح (القبلي) الصحراوية الجافة والحارة أحياناً في فصل الربيع، وتتباين سرعة الرياح الفصلية بمنطقة الدراسة خلال السنة، حيث تبلغ سرعتها(10.1عقدة/ساعة) في فصل الشتاء، وتبلغ سرعتها(11.4عقدة/ساعة) خلال فصل الربيع اما في فصل الصيف فتبلغ سرعتها(11.3عقدة/ساعة) في حين تصل سرعتها الى(10.6عقدة/ساعة) خلال فصل الخريف

3 ـ الرطوبة النسبية: تكون الرطوبة مرتفعة أغلب فترات السنة وتتجاوز أحياناً 70 %، بسبب الموقع الساحلي، خاصة في ساعات الصباح الباكر والليل خلال فصل الصيف، وتتباين قيم متوسطات الرطوبة النسبية الفصلية

بمنطقة الدراسة خلال السنة، حيث تبلغ في فصل الشتاء(78.3%)، وخلال فصل الربيع فتبلغ (63.9%) اما في فصل الصيف فتبلغ (63.5%) في حين تصل كمية الأمطار (70.6%) خلال فصل الخريف .

4 ـ الأمطار: تسقط معظم الأمطار في فصل الشتاء من (اكتوبر إلى مايو)، وبكميات متوسطة، ويتراوح المعدل السنوي في منطقة صبراتة بين 200 و300 ملم تساعد على نمو محاصيل مثل الزيتون والحبوب، وتتباين كميات الأمطار الفصلية بمنطقة الدراسة خلال السنة، حيث تبلغ كمية الأمطار في فصل الشتاء(103.7 ملليتر^3)، وخلال فصل الربيع فتبلغ كمية الأمطار(38.3 ملليتر^3) اما في فصل الصيف فتبلغ (0.92 ملليتر^3) في حين تصل كمية الأمطار (95.4 ملليتر^3) خلال فصل الخريف.

الجدول(2) المتوسط الفصلي للبيانات المناخية في بلدية صبراتة (1986م - 2022م)

الفصل	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف
درجات الحرارة(م^o)				
المعدل الشهري للفصول	14.3	18.7	25.5	22.6
المعدل السنوي	20.2			
سرعة الرياح (عقدة/ساعة)				
المعدل الشهري للفصول	10.1	11.4	11.3	10.6
المعدل السنوي	10.8			
الرطوبة النسبية%				
المعدل الشهري للفصول	78.3	63.9	63.5	70.6
المعدل السنوي	68.7			
الامطار (ملم^3)				
المعدل الشهري للفصول	103.7	38.3	0.92	95.4
المعدل السنوي	238.92			

المصدر: عمل الباحث استنادا الى بيانات المركز الوطني للأرصاد الجوية، ادارة المناخ، طرابلس، بيانات غير منشورة

التربة: تعد التربة من العوامل المهمة التي تسهم في رسم المظهر النباتي حسب نوعيتها ودرجة خصوبتها (المظفر، 2002م، ص110).

تصنف ترب بلدية صبراتة ضمن أنواع الترب الحديثة التكوين، والترب الجافة، التي تتميز بانخفاض محتواها من المواد العضوية، والعناصر الغذائية، وأن كمية الملوحة فيها منخفضة باستثناء مناطق السباخ، وهي كالاتي :

1 ـ الترب حديثة التكوين الرملية: تعتبر النوع الرئيس لأغلب ترب البلدية، وتتميز بقوامها الرملي الذي تتجاوز فيه النسبة المئوية لحبيبات الرمل (85%) بينما لا تتجاوز نسبة الحصى (5%) ويغلب عليها اللون الأصفر، والبني المصفر أو المحمر وتتميز بانخفاض محتواها من العناصر الغذائية خاصة النيتروجين والفسفور، وقلة محتواها من المادة العضوية، وانخفاض قدرتها على الاحتفاظ بالماء.

2 ـ الترب حديثة التكوين الشائعة: تنتشر في بعض الأجزاء الشمالية والمتمثلة في منطقة السوق والأجزاء الجنوبية من منطقة سيدي معروف، وتتميز هذه التربة، بانخفاض محتواها من المادة العضوية والعناصر الغذائية، واحتوائها على كميات متفاوتة من كربونات الكالسيوم، وكبريتات الكالسيوم وتكون هذه التربة جافة في معظم فترات السنة، تنخفض قدرتها على الاحتفاظ بالماء، ويغلب عليها القوام (الرملي، أو الرملي الطميي) وتحتوي أحيانا على أكثر من (05%) من (الحصى) .

3 ـ الترب الجافة الجيرية: يقتصر انتشارها على الجزء الجنوبي من البلدية، وتتميز بوجود الأفق الجبسي الغني بكبريتات الكالسيوم، والذي يعرف باسم الأفق الجبسي المتحجر، وتكتسب لونا فاتحا نتيجة لاحتوائها على الأملاح والجبس، وتفتقر إلى المادة العضوية (بن محمود، 1995م، ص338).

3 ـ ترب السباخ : تنتشر في الجزء الشمال الغرب من البلدية وتحديدا في سبخة تليل بالإضافة إلى مناطق متفرقة في وسط وشرق البلدية، وتشمل مناطق السوق، دحمان، قاليل، وتتميز هذه التربة بشكل عام بانخفاض في المادة العضوية، واحتوائها على كميات كبيرة من الأملاح في الطبقة السطحية ويسود هذه المناطق غطاء نباتي متناثر، ويتكون في أغلبه من أنواع نباتية مقاومة للملوحة (الجديدي، 1986م، ص 134).

الموارد المائية: يعد الماء من الموارد الطبيعية ذات التأثير المباشر على وجود وتوزيع الكائنات الحية وتباينها في الاقليم الجغرافي، كما له دور مهم في النهوض بالتنمية وانجاح مشاريعها، إذ يرتبط استهلاك المياه بالنمو والنشاط السكاني فيها.

وتتمثل مصادر المياه التي تعتمد عليها بلدية صبراتة في الحصول على المياه في الاتي:

1 ـ المياه الجوفية: تتواجد المياه في طبقات متعددة وعلى اعماق مختلفة، كخزانات للمياه الجوفية تابعة لحوض سهل الجفارة، والتي تُستخدم للري والزراعة، وهي عبارة عن احواض تكونت بفعل مياه الامطار تخزنت من

العصر المطير، حيث توجد المياه في الخزان السطحي والخزان تحت السطحي، ويتراوح عمق الخزان الاول من (5 - 15م) ونتيجة لتعرضها للاستنزاف ما ادى لانخفاض مستوى المياه فيه وتداخل مياه البحر بخاصة في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة، بسبب التوسع في حفر الابار واستخدام مضخات كهربائية لسحب المياه، اما الثانية فهي تحتوي على كميات اكثر من الاولى، وهي على عمق (200م)، ويبلغ معدل إستهلاك النشاط البشري من هذه المياه في مختلف النشاطات حوالي (3.7 مليون متر^3 سنويا) وهذا الاستهلاك يفوق امكانات التغذية، وهذه المعدلات في تزايد مقارنة بمستوى التغذية بمنطقة صبراتة (وزارة المرافق،2000م، ص19).

2 - مياه التحلية: تمثل المصدر الثاني الذي يعتمد عليه السكان في منطقة صبراتة لتوفير احتياجاتهم من المياه العذبة، حيث يتم انشاؤها بالمنطقة والتي يصل عددها الى (7) محطات موزعة بالبلدية لسد حاجة السكان من مياه الشرب منها محطة الاثار ومحطة تليل، وتعتبر هذه المياه موردا غير محدود ولكنه مكلف، ونظرا لما تعانية المنطقة الساحلية بمنطقة صبراته من نقص المياه العذبة، وارتفاع نسبة الملوحة في كثير من الاماكن نتيجة تاثر مياهها الجوفية بتداخل مياه البحر لدرجة اصحبت معها غير صالحة للاستعمال، مما دعى المسؤولين عن شؤون المياه لإقامة محطات جديدة بالبلدية لسد حاجة السكان والمؤسسات والمرافق من مياه الشرب .

السكان: يتفاوت توزيع السكان بين محلات بلدية صبراتة فبعض المحلات، مثل السوق وسيدي معروف، تتسم بكثافة سكانية أعلى مقارنة بمحلات أخرى مثل دحمان الشرقية ودحمان الوسط وقاليل، والطويلة، وفي سنة (2015م) بلغ التعداد العام للسكان في البلدية (82736) نسمة ويستمر بشكل متزايد ويترتب على هذه الزيادة توسع في استخدامات الأراضي، لا سيما في مجالات العمران والبنية التحتية، على حساب الأراضي الزراعية والمساحات الخضراء (وزارة المرافق،2000م، ص21) .

النشاط الزراعي: تتنوع الانشطة الزراعية في بلدية صبراتة مابين الزراعية والحيوانية وصيد الاسماك، فالإنتاج الزراعي يتمثل في الأشجار المثمرة الزيتون كالعنب واللوز، والتين، والحمضيات، بالاضافة لزراعة محاصيل الحبوب كالقمح والشعير، على اختلاف أنماط الزراعة وانواعها مابين الزراعة البعلية التي تعتمد على الأمطار وتنتشر في جنوب المدينة وتتمثل في زراعة الزيتون والحبوب وكذلك الزراعة المروية التي تعتمد على الآبار الجوفية لإنتاج الخضروات كالطماطم والفلفل، والبقوليات، اما النوع الثاني من الانتاج يتمثل في تربية الحيوانات كالأغنام والماعز والدواجن، وتعتبر المنطقة مصدراً مهماً للحوم والبيض للسوق المحلي والمناطق المجاورة، ونظراً لامتلاك البلدية ساحلاً طويلاً، فيعمل جزء مهم من السكان في الصيد البحري، وتعتبر مرسى صبراتة نقطة انطلاق لقوارب الصيد.

التصحر:

مفهوم التصحر: ظهر هذا المفهوم أواخر أربعينيات القرن الماضي، وهناك الكثير من التعريفات للتصحر، إلا إن أحدث تعريف أقر عام 1994 في اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر، والذي عرف التصحر على إنه تدهور تربة الأرض في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والمناطق الجافة وشبه الرطبة الذي ينتج عن عوامل مختلفة تشمل التغيرات المناخية والنشاطات البشرية كما عرف التصحر بأنه حدوث تناقص تدريجي أو تدهور كلي في القابلية الإنتاجية للتربة ينجم عن تفاعل مجموعة من العوامل الجغرافية مما يؤدي إلى اكتساب البيئة بمرور الزمن سمات جديدة تشبه سمات الصحاري الحقيقية (المحيشي،1999م، ص15).

وتعد ظاهرة التصحر ظاهرة ديناميكية تمر بثلاث مراحل، الأولى تتمثل باختلال التوازن البيئي من خلال ظهور الأملاح في التربة أو تناقص مساحة الغطاء النباتي، أما المرحلة الثانية فتتمثل بتدهور عناصر البيئة بشكل ملحوظ من خلال انخفاض إنتاجية الأراضي الزراعية أو الرعوية والتي يقل معها تماسك التربة وظهور الكثبان الرملية ، في حين تكون هذه المظاهر أكثر وضوحا في المرحلة الثالثة عندما تفقد الأرض قدرتها في الحفاظ على تربتها ونباتها وتصبح صحراء تنعدم قدرتها على احتضان النبات(الموسوي، 2011م، ص4) .

حالات التصحر ودرجة خطورتها: تختلف حالات التصحر ودرجة خطورتها من منطقة لأخرى تبعا لاختلاف البيئة الطبيعية وطبيعة المنطقة والمناخ السائد فيها، حيث توجد اربعة حالات للتصحر هي:

1 - تصحر خفيف (Slight Desertification)

ويشير الى تلف خفيف أو تدمير قليل جدا من الغطاء النباتي والتربة وعدم التأثير بشكل واضح علي القدرة البيولوجية للتربة.

2 - تصحر معتدل(Moderate Desertification)

ويشير الى حدوث تلف متوسط للغطاء النباتي وتكوين كثبان رملية صغيرة كما تظهر حالة تملح واضحة للتربة مما يسبب قلة في الانتاج الزراعي بنسبة تتراوح بين 10- 50% .

3 - تصحر شديد (Severe Desertification)

تعتبر عملية بنوعيها هوائية كانت ام مائية إكتساحية في هذه الدرجة من التصحر مما يؤدي لإزالة الغطاء النباتي وظهور حشائش وشجيرات غير مرغوب فيها علي حساب الانواع الزراعية الاصلية كما يزداد تملح التربة وتقل قابلية الارض الانتاجية بنسبة تزيد عن 50%.

4 - تصحر شديد جدا (Very Severe Desertification)

تعتبر المنطقة شديدة التصحر عندما تتكون الكثبان الرملية الكبيرة والعارية والنشطة وتزداد درجة الملوحة مما تقل معه قدرة الارض الانتاجية بنسبة تزيد عن 90% وتعد من اخطر الحالات حيث تتحول المنطقة كليا الي النمط الصحراوي وغير الاقتصادي(القصاص،1999م، ص8).

التصحر في بلدية صبراتة: تقف بلدية صبراتة، كغيرها من مدن سهل الجفارة، في مواجهة تحديات بيئية متزايدة ناتجة عن التغير المناخي والأنشطة البشرية غير المستدامة في اغلبها، فبالإضافة لتاثير التغير المناخي الذي بدأت تظهر ملامحه بوضوح في المنطقة، من خلال عدة صور ابرزها التغير في كل من درجات الحرارة والأمطار، كالتطرفات الحرارية والامطار الغزيرة المتسببة في انجراف التربة، مما يضعف صلاحية التربة وجودتها لزراعة المحاصيل، كما ان الأسباب البشرية تظهر وبشكل مستمر لتفاقم ازمة التصحر، من خلال الانتشار العمراني الكثيف كالمساكن والمصائف وبشكل غير مدروس غالبا على حساب الأراضي الخصبة، وإزالة الغابات التي كانت تعمل كمصدات طبيعية تقلل شدة من الرياح، والاستهلاك غير المقنن للمياه في الزراعة مما ادى إلى هبوط حاد في مستويات المياه الجوفية وتداخل مياه البحر، والرعي الجائر، وبالتالي تناقص الغطاء النباتي الذي يعمل على تثبيت التربة بواسطة الجذور وتحولها إلى أراضٍ جرداء في مواسم الجفاف ما يؤدي الى هشاشتها وضعف تماسكها ويجعلها عرضة للتعرية، وزحف الرمال نحو الأراضي الزراعية، بالاضافة الى انتشار المحاجر والكسارات بهذه المناطق مما يساهم في زيادة تأثير العواصف الترابية وتصاعد الغبار ومساهمة ذلك في الاحتباس الحراري وتغير المناخ المحلي من خلال زيادة الشعور بالحرارة وجفاف الجو.

المؤشرات الطيفية المستخدمة في الدراسة:

تعد التقنيات الجيومكانية كتقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من التقنيات الحديثة التي ساعدت في مراقبة ورصد سطح الارض وما يحدث عليه من تغيرات من خلال استخدام المرئيات الفضائية ومعالجتها رقميًا، من خلال تصحيحها من الاخطاء والتشوهات الهندسية والراديومترية الناشئة عن عملية الاستشعار؛ ليتم بعد ذلك تحليلها وتفسيرها بصريا او حاسوبيا باستخدام برمجيات المعالجة الرقمية (الاسدي،2013م، ص 73) .

مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI): هو الأداة الأكثر شهرة واستخداماً في دراسات الاستشعار عن بعد لتقييم كثافة وصحة الغطاء النباتي، وهو اختصار للكلمات(Normalized Difference Vegetation Index)، ويتم حسابه بمعادلة رياضية تستخدم الموجات الطيفية الحمراء (RED) وتحت الحمراء القريبة (NIR) كالاتي:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

حيث تتراوح قيم المؤشر دائماً بين(1+ و1-)، فمن (1.0إلى 0.6) غطاء نباتي كثيف وصحي جداً، ومن (0.5 إلى 0.2) غطاء نباتي متوسط أو مجهد، ومن (0.1 إلى 0) تربة جرداء أو صخور، وبالنسبة للقيم السالبة (تحت الصفر) فتدل غالباً على وجود مياه، ثلوج، أو سحب.

مؤشر الاختلاف الطبيعي للرطوبة (NDMI): هو مؤشر يركز على محتوى الماء داخل أنسجة النبات والتربة، وهو اختصارا ل (Normalized Difference Moisture Index)، ويتم حسابه بمعادلة رياضية تستخدم الموجات الطيفية تحت الحمراء القريبة (NIR)، وتحت الحمراء القصيرة (SWIR) كالاتي:

$$NDMI = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$$

حيث تتراوح قيم المؤشر ايضا بين(1+ و1-)، فمن (1.0 إلى 0.4) رطوبة عالية، ومن (0.3 إلى 0.1) رطوبة متوسطة الى منخفضة، ومن (0 إلى0.2-) تربة جافة جداً أو بداية جفاف حاد في النبات، اما القيم الأقل من (-0.2) فهي مناطق قاحلة تماماً أو صخور جرداء.

مؤشر التربة المكشوفة (BSI): هو مؤشر يركز على قياس نسبة الأرض التي فقدت غطاءها النباتي تماماً وأصبحت تربة مكشوفة (عارية)، وهو اختصار ل(Bare Soil Index)، ويتم حسابه بمعادلة رياضية تستخدم كل من الموجات الطيفية تحت الحمراء القصيرة (SWIR) والحمراء(RED) وتحت الحمراء القريبة (NIR) والزرقاء(BLUE) كالاتي:

$$BSI= ((SWIR + RED) - (NIR + BLUE)) /((SWIR + RED) + (NIR + BLUE))$$

تدل قيم (BSI) الموجبة على تربة عارية تماماً، والقيم السالبة أو القريبة من الصفر فتدل على وجود غطاء نباتي كثيف أو مناطق رطبة (Epiphanio,1996,PP445) .

اعتمدت منهجية الدراسة في استخدام المؤشرات الطيفية على مبدأ التكامل الطيفي من خلال دمج ثلاثة أبعاد طيفية أساسية لضمان دقة النتائج للإحاطة بجوانب ظاهرة التصحر المتعددة واسبابه الرئيسية، بدلا من الاعتماد على مؤشر منفرد وتفادي القصور في نتائجه، حيث يتيح مؤشر الغطاء النباتي الامكانية لدراسة الجانب الحيوي وقياس تدهور الكتلة الحيوية والخضرة، لتحديد نسبة التراجع في مساحات الغطاء النباتي الطبيعي والمحاصيل الزراعية، بينما يمكن مؤشر رطوبة التربة من رصد الجانب الهيدرولوجي ومراقبة جفاف التربة تحسس العجز المائي للكشف عن المناطق التي تعاني من الجفاف الهيدرولوجي، فيما يمنح المؤشر التربة العارية القدرة للنظر من الناحية الطبيعية والكشف عن تدهور بنية الارض وتحولها الى اراض جرداء او رملية، وبيان التوسع في مساحتها واتجاه تحركها، كما اعتمدت الدراسة ايضا على اسلوب كشف التغير(change detection) واستخراج الفرق بين الفترات الزمنية.

من اجل اتمام هذه الدراسة تم اختيار عدد (2) مرئية فضائية للقمر الاصطناعي (Landsat 8-9 OLI) للعامين 2015م و2025م، بحيث تم الاستقطاع حسب حدود منطقة الدراسة.
وبتطبيق المعادلات الخاصة بالمؤشرات الثلاثة المستخدمة بالدراسة، انتجت الطبقات الخاصة بهذه المؤشرات الطيفية لكل سنة، وباستخدام اسلوب التراكب الموزون(Weighted Overlay) جرى دمج هذه الطبقات في طبقة واحدة وتصنيفها الى اربع اصناف لإنتاج الخريطة الغرضية الممثلة للتصحر بالمنطقة واستخلاص القيم منها كما لكل سنة،الشكل(2) و(3) و(4) والجدول (3) و(4).

الجدول(3) يوضح مساحة اصناف الخرائط الناتجة من استخدام المؤشرات

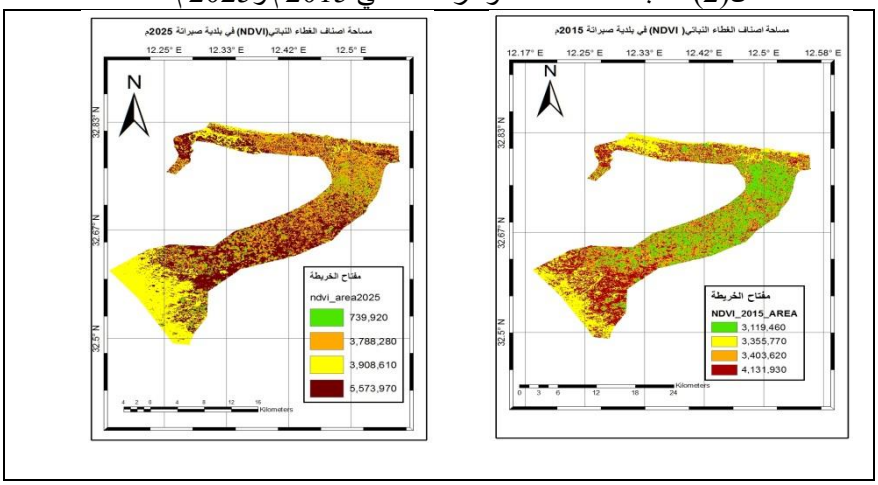
المؤشر	الغطاء النباتي (NDVI)		رطوبة التربة (NDMI)		التربة العارية (BSI)	
الصنف	NDVI 2015	NDVI 2025	NDMI 2015	NDMI 2025	BSI 2015	BSI 2025
1	3355770	3908610	5728140	8265330	6334110	8877720
2	4131930	5573970	3038880	4328700	5204040	3926850
3	3403620	3788280	4285290	1143720	1984350	935520
4	3119460	739920	958470	273030	488280	270690

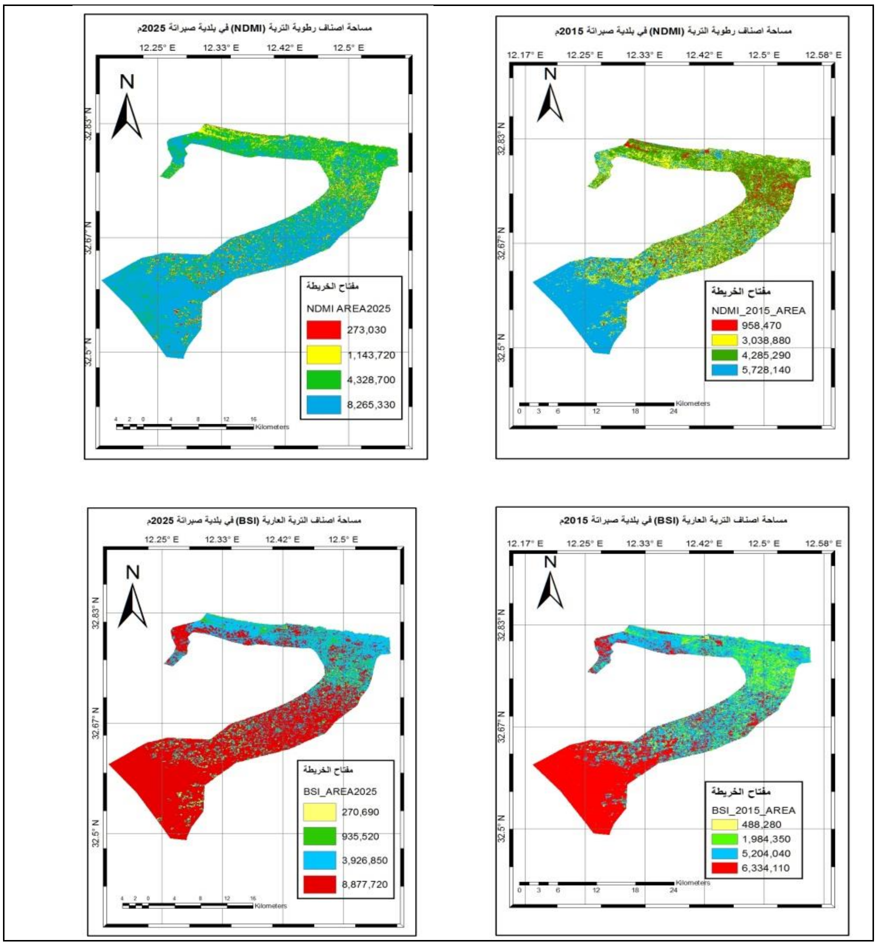
المصدر: الباحث استنادا على تطبيق معادلات المؤشرات الطيفية ضمن بيئة برمجية ArcGIS10.8

كشف التغير للتصحر بمنطقة الدراسة:

لتتبع ومقارنة حالة الأرض زمنيا يتم استخدام التقنيات الجيومكانية بهدف رصد التغير والكشف عن تدهور الأراضي ان وجد، والتغير في انتاجيتها، وذلك من خلال ربط الخصائص الطبيعية لعناصر الأرض (النبات، الماء، التربة) وتفاعل هذه العناصر مع الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة من الشمس، كما تعد هذه العملية أداة تشخيصية يمكن من خلالها تحديد بؤر التدهور(التصحر)، حتى يستطيع المختصون وصناع القرار من وضع خطط لعلاج المناسبة كإنشاء المصدات او الحد من الانتشار السريع للمناطق العمرانية (Coppin,1996, pp. 207).
امكن رصد التغير زمنيا في مساحات اصناف التصحر مابين العامين 2015م و2025م بمنطقة الدراسة، في طبقة واحدة وبيان نوعه سلباً أو إيجاباً وكذلك انتشاره مكانيا من خلال تصنيفه الى ثلاثة انواع من التغير (صنف بدون تغير، وصنف تغير بالزيادة، وصنف تغير بالنقص)، الشكل (5) والجدول رقم (5) .

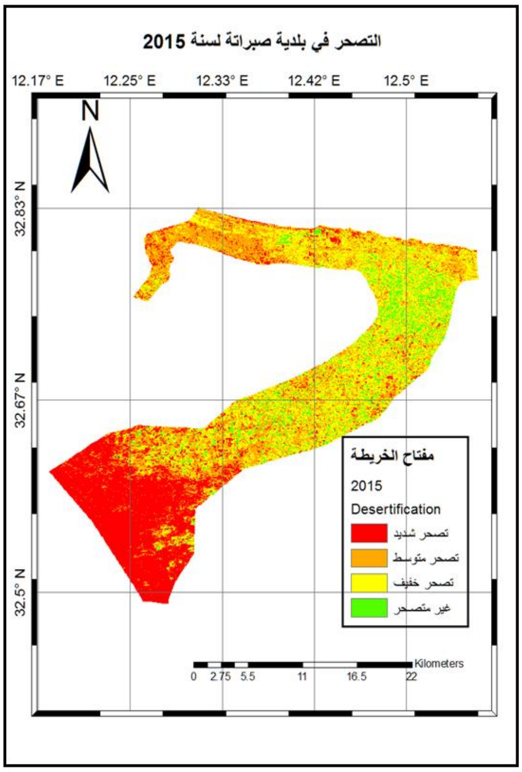
الشكل(2) الطبقات الممثلة للمؤشرات لعامي 2015م و2025م

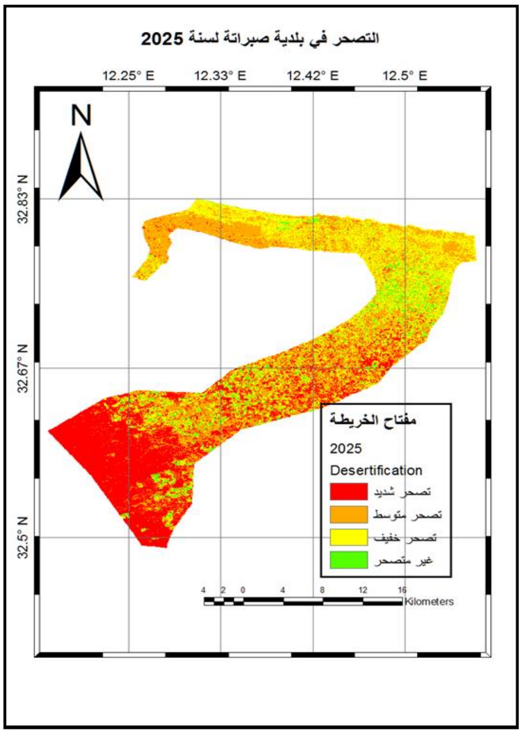




المصدر: الباحث باستخدام برمجية ArcGIS10.8 وبتطبيق معادلة (NDVI) و(NDMI) و(BSI)

الشكل(3) طبقة دمج المؤشرات 2015م الشكل (4) طبقة دمج المؤشرات 2025م





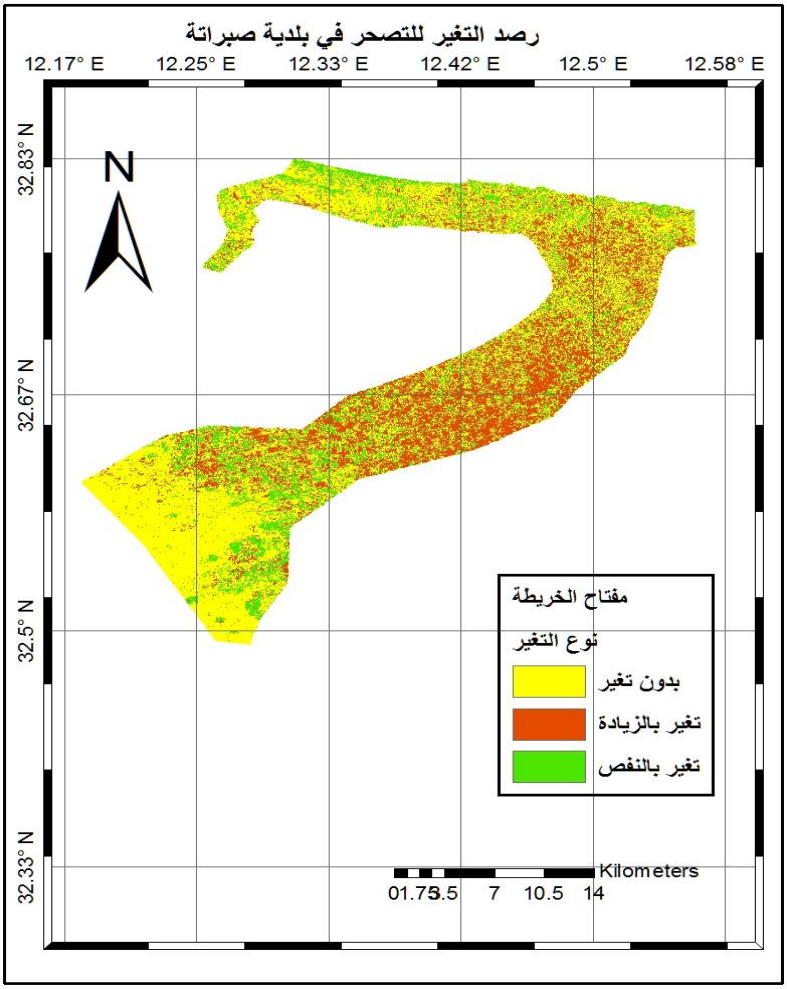
المصدر: الباحث استنادا على معالجة وتصنيف مرئية Landsat لعامي 2015 و2025 باستخدام برمجية ArcGIS10.8

الجدول(4) القيم المستخرجة من طبقة دمج المؤشرات وتصنيفها بمنطقة الدراسة

صنف التصحر	سنة2015م		سنة2025م	
	المساحة بالهكتار	النسبة%	المساحة بالهكتار	النسبة%
تصحر شديد	12610.26	30.00	13453.74	32.00
تصحر معتدل	12117.96	28.83	15826.23	37.65
تصحر خفيف	13896.54	33.06	10470.51	24.91
غير متصحر	3407.58	8.10	2281.86	5.42
المساحة الكلية بالهكتار	42032.34	%100	42032.34	%100

المصدر: الباحث استنادا على تطبيق اسلوب التراكب الموزون ضمن بيئة برمجية ArcGIS10.8

الشكل (5) طبقة رصد التغير وبيان الفرق مابين مرئيتي2015م و2025م



المصدر: الباحث استنادا على معالجة وتصنيف مرئية Landsat لسنتي2015 و2025 باستخدام برمجية ArcGIS10.8

الجدول (5) رصد التغير بمنطقة الدراسة مابين مرئيات عامي 2015- 2025م

نوع التغير	رصد التغير مابين عامي2015م و 2025م	
	المساحة بالهكتار	النسبة%
بدون تغير	7538.94	17.93
تغير بالزيادة	22247.1	52.92
تغير بالنقص	12246.3	29.13
المساحة الكلية بالهكتار	42032.34	%100

المصدر: الباحث استنادا على تطبيق اسلوب كشف التغير ضمن بيئة برمجية ArcGIS10.8

النتائج والمناقشة:

اولا: بينت النتائج المستخرجة باستخدام المؤشرات المستخدمة في الدراسة بشكل منفرد الاتي:

بالنسبة لمؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ففي سنة 2015م بلغت مساحة الصنف رقم (1) تربة جرداء (3355770) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (2) نباتات هزيلة ورمل (4131930) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (3) غطاء نباتي ضعيف (3403620) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (4) غطاء نباتي جيد (3119460) هكتار.
وفي سنة 2025م بلغت مساحة الصنف رقم (1) تربة جرداء (3908610) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (2) نباتات هزيلة ورمل (5573970) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (3) غطاء نباتي ضعيف (3788280) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم(4) غطاء نباتي جيد (739920) هكتار .
بالنسبة لمؤشر رطوبة التربة (NDMI) ففي سنة 2015م بلغت مساحة الصنف رقم (1) جفاف حاد (5728140) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (2) جفاف متوسط (3038880) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (3) رطوبة منخفضة (4285290) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (4) رطوبة جيدة (958470) هكتار.
وفي سنة 2025م بلغت مساحة الصنف رقم (1) جفاف حاد (8265330) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (2) جفاف متوسط (4328700) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (3) رطوبة منخفضة (1143720) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (4) رطوبة جيدة (273030) هكتار .
بالنسبة لمؤشر التربة العارية (BSI) ففي سنة 2015م بلغت مساحة الصنف رقم (1) قيم عالية (6334110) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (2) قيم متوسطة (5204040) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (3) قيم منخفضة (1984350) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (4) قيم منخفضة جداً (488280) هكتار.
وفي سنة 2025م بلغت مساحة الصنف رقم (1) قيم عالية (8877720) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (2) قيم متوسطة (3926850) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (3) قيم منخفضة (935520) هكتار وبلغت مساحة الصنف رقم (4) قيم منخفضة جداً (270690) هكتار.

ثانيا: بالنسبة للخريطة الغرضية الممثلة لأصناف التصحر لسنة 2015م، بلغت مساحة الصنف رقم (1) تصحر شديد باللون الاحمر بلغت مساحته (12610.26 هكتار) وبنسبة (30.00 %)، والصنف رقم (2) تصحر متوسط (معتدل) باللون البني بلغت مساحته (12117.96 هكتار) وبنسبة (28.83 %)،اما الصنف رقم (3) تصحر خفيف باللون الاصفر بلغت مساحته (13896.54 هكتار) وبنسبة (33.06 %)، فيما بلغت مساحة الصنف رقم (4) غير المتصحر باللون الاخضر (3407.58هكتار) وبنسبة (8.10 %)، مع غياب للصنف تصحر شديد جدا من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة البالغة (42032.34 هكتار) .
في الخريطة الغرضية الممثلة لأصناف التصحر لسنة 2025م، بلغت مساحة الصنف رقم (1) تصحر شديد باللون الاحمر بلغت مساحته (13453.74 هكتار) وبنسبة (32.00 %)، والصنف رقم (2) تصحر متوسط (معتدل) باللون البني بلغت مساحته (15826.23 هكتار) وبنسبة (37.65 %)، اما الصنف رقم (3) تصحر خفيف باللون الاصفر بلغت مساحته (10470.51 هكتار) وبنسبة (24.91%)، فيما بلغت مساحة الصنف رقم (4) غير المتصحر باللون الاخضر (2281.86 هكتار) وبنسبة (5.42 %)، من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة التي تبلغ (42032.34 هكتار) .

ثالثا: بمقارنة مساحة الاصناف بين الفترتين اشارت النتائج الكمية إلى زيادة مساحة صنف التصحر(تصحر شديد) من(12610.26 هكتار) في مرئية عام 2015م إلى (13453.74 هكتار) في مرئية عام 2025م، وزيادة مساحة صنف التصحر(تصحر معتدل) من(12117.96 هكتار)عام 2015م إلى (15826.23 هكتار)عام 2025م، فيما اشارت ايضا الى تناقص مساحة صنف التصحر(تصحر خفيف) من(13896.54 هكتار)عام 2015م إلى(10470.51 هكتار)عام 2025م، وتناقص مساحة صنف التصحر(غير متصحر) من (3407.58 هكتار)عام 2015م إلى (2281.86 هكتار) عام 2025م.

رابعا: أشارت نتائج كشف التغير ان مساحة الصنف بدون تغير(7538.94 هكتار)، والصنف تغير بالزيادة (22247.1 هكتار)، وصنف تغير بالنقص(12246.3 هكتار) ويتضح من هذه القراءات ارتفاع في مساحة صنفي التغير الايجابي والسلبي على التوالي من خلال ارتفاع قيمة التغير بالزيادة بنسبة 52.92%، ثم يليه قيمة التغير بالتناقص بنسبة 29.13% .

الاستنتاجات:

بناء الدراسة المكتبية والميدانية واستخدام التقنيات الحاسوبية الجيومكانية امكن انتاج خريطة نهائية موحدة لمنطقة الدراسة، حيث صنفت إلى (4) فئات للتصحر؛ مع غياب للصنف تصحر شديد جدا، وتم انجاز الخريطة من خلال تحليل المؤشرات الطيفية الثلاثة (NDVI, NDMI, BSI)، لتقييم التصحر وتحديد المناطق المتدهورة في بلدية صبراتة، وكشفت النتائج عن مساحات تتصف بتراجع في الغطاء النباتي الطبيعي والمحاصيل الزراعية وتعاني من جفاف هيدرولوجي حاد وموت للغطاء النباتي وتوسع في مساحات التربة العارية والرمال.

1- شكلت الاصناف الناتجة لكل واحد منها تركيبة اصناف التصحر الرئيسة كالاتي:

أ- الصنف تصحر شديد تكوّن من الاصناف، تربة جرداء، جفاف حاد، قيم عالية.
ب- الصنف متوسط تكوّن من الاصناف، نباتات هزيلة ورمل، جفاف متوسط، قيم متوسطة.
ت- الصنف خفيف تكوّن من الاصناف، غطاء نباتي ضعيف، رطوبة منخفضة، قيم منخفضة.

ث- الصنف غير متصحر تكوّن من الاصناف، غطاء نباتي جيد، رطوبة جيدة، قيم منخفضة جداً.

2 ـ من خلال التفسير البصري ومقارنة المرئيات والخرائط زمنيا بالاضافة الزيارة الاستطلاعية والتحقق الميداني يلاحظ زيادة في كل من التوسع العمراني وزحف الرمال وتناقص في الغطاء النباتي والشجري.

3 ـ توافق النتائج المستخرجة من استخدام المؤشرات المستخدمة في الدراسة بشكل منفرد مع النتائج المتحصل عليها باستخدام اسلوب الدمج وتراكب الطبقات حيث يتضح زيادة في قيم اغلب مساحات الدرجات التصنيفية لكل مؤشر ما يعطي دلالة واضحة للاتجاه نحو التصحر وتفاقم اثاره بالمنطقة .

4 ـ أشارت نتائج كشف التغير عبر الزمن الى ارتفاع في مساحة كل من صنف التغير الايجابي وصنف التغير السلبي على التوالي ما يعني زيادة انتشاره مكانيا.

التوصيات:

بناءً على النتائج السابقة، تقدم الدراسة مجموعة من المقترحات والتوصيات:

1 ـ اعتماد اسلوب الرصد والمتابعة الدورية والإنذار المبكر من خلال المؤشرات الطيفية المستخدمة في الدراسة لتفادي الوصول لمرحلة التصحر النهائي بالمنطقة .

2 ـ حماية وصيانة المناطق المتصحرة والمتدهورة في خريطة التصحر النهائية سواء المناطق المهددة بالتدهور عن طريق تشجيرها بطريقة مستدامة كحملات التشجير المستمرة ومصدات الرياح المتأقلمة بيئيا ومناخيا او الاراضي المتدهورة من خلال استصلاحها.

3 ـ الاستفادة من التطور التقني والافكار الحديثة في تحسين كفاءة الري في المناطق التي أظهرت انخفاضاً حاداً في رطوبة التربة لمنع تدهور الأراضي، مع التركيز على نظام الزراعة الحافظة.

4 ـ تنفيد ومتابعة القوانين التي تنظم الانشطة البشرية وتقننها، كقوانين البناء والرعي للحد من الرعي الجائر والزحف العمراني في المناطق ذات الغطاء النباتي الضعيف التي اظهرتها نتائج الدراسة .

5 ـ تحديث قاعدة البيانات الجغرافية الناتجة عن الدراسة بشكل سنوي باستخدام بيانات ومعطيات الأقمار الاصطناعية لضمان استمرارية المراقبة .

المصادر والمراجع

المراجع العربية

اولا: الكتب

1. حسن محمد الجديدي، كتاب الزراعة المروية واثارها على استنزاف المياه الجوفية في شمال غرب سهل الجفارة، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والاعلان، 1986م .
2. خالد رمضان بن محمود، الترب الليبية تكوينها تصنيفها خواصها وامكانياتها الزراعية، الهيئة القومية للبحث العلمي، طرابلس، 1995م .
3. عبد القادر مصطفى المحيشي وآخر، التصحر مفهومه وانتشاره المكاني، طرابلس، الجامعة المفتوحة، 1999م .
4. علي صاحب طالب الموسوي، ظاهرة التصحر مشكلة بيئية خطيرة دراسة جغرافية لأسبابها وأبعادها عالمياً وقطرية، مجلة البحوث الجغرافية، العدد 2، المجلد1، 2011م .
5. محسن عبد الصاحب المظفر، الجغرافيا الطبيعية، دار شموع الثقافة، الزاوية، ليبيا، الطبعة الاولى، 2002م .
6. محمد عبد الفتاح القصاص، التصحر تدهور الأراضي في المناطق الجافة، الاصدار 242 من سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، دار عالم المعرفة، 1999.
7. محمد عبدالوهاب حسن الاسدي، التقنيات الجغرافية الحديثة، دمشق، الطبعة الاولى، دار تموز للطباعة والنشر والتوزيع، 2013م.

ثانيا: البحوث

1. إبراهيم بن علي الخالدي، تقييم حالة الجفاف بمحافظة أملج بمنطقة تبوك للفترة (2015م -2025 م)، دراسة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، قسم البحوث الإدارية والإنسانية، معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة بجامعة ام القرى،2025م.
2. ستار ترف رزاق القريشي، استخدام مؤشر تعرية التربة (BSI) لأصناف الموسم الحار الجاف لشهر تموز في محافظة واسط للمدة (1984–2022) جامعة واسط كلية التربية للعلوم الإنسانية،2024م.
3. يوسف فرج ابوبكر، تقييم التصحر من خلال تحليل مؤشري(NDVI وBSI) جنوب شرق طبرق ليبيا، قسم الموارد الطبيعية، كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة، جامعة عمر المختار، ليبيا،2023م.

ثالثا: التقارير

1. وزارة المرافق، صبراتة المخطط الشامل، اقليم طرابلس، مخطط التطوير، تقرير رقم7، 2000م.
2. ــــــــــــ ، مصدر سابق .

رابعا: المراجع الأجنبية (English References)

1 - A. Singh, "Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data," International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, No. 6, 1989, pp. 989-1003.

2 - Coppin, P.R. & Bauer, M.E. 1996, "Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery", Remote Sensing Reviews, vol. 13, no. 3-4, pp. 207-234.

3 - Epiphanio, J.C., Gleriani, J.M. and Rudoroff, B.F.) (1996) :Vegetation Indices for Remote Sensing of Beans (Phaseaolus Valgansi). Pesquisa Agropecu Aria Barasileira, Vol. 31, No. 6, pp.445- 454.

4- ESRI (Environmental Systems Research Institute). *ArcGIS Pro/Desktop Documentation: Raster Calculator and Weighted Overlay Analysis*.

5 - Gao, B. C. (1996). "NDWI.A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space". *Remote Sensing of Environment*.

6 - Rikimaru, A., et al. (2002). "Tropical forest cover density mapping combined with multi-spectral vegetation index and pass through forest canopy". *Advances in Space Research*.

7 -Tucker, C. J. (1979). "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation". *Remote Sensing of Environment*.

8 -USGS (United States Geological Survey). "Landsat 8-9 Characterization and Calibration".