Journal of Insights in Basic and Applied Sciences
مجلة رؤى في العلوم الأساسية والتطبيقية
ISSN: 3106-1737
Volume 2, Issue 4, 2026, Pages: 198-213
Journal homepage: https://jibas.com.ly/index.php/jibas/en

Assessing the Soil Quality Index in Northeast Libya and its Impact on Environmental Sensitivity to Desertification through Geographic Information Systems

Suad Mohammed Ali Suhayb [1 *], Yousof Salih Hamid[2], Prof.Mukhtar Mahmud Elaalem[3]
[1] Libyan Center for Climate Change Research- Tripoli, Libya
[2,3] Department of soil and water, Faculty of Agricultural - University of Tripoli- Tripoli, Libya

تقييم مؤشر جودة التربة في شمال شرق ليبيا وأثرها على الحساسية البيئية للتصحر من خلال نظم المعلومات الجغرافية

أ. سعاد محمد علي صهيب [1*]، د. يوسف صالح حامد [2]، أ.د مختار محمود العالم [3]
[1] المركز الليبي لأبحاث تغير المناخ، طرابلس، ليبيا
[2،3] قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس - طرابلس، ليبيا

[*]Corresponding author: suadm3691@gmail.com

Received: July 14, 2026	Accepted: September 25, 2026	Published: October 16, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
This study aims to evaluate the Soil Quality Index (SQI) in Northeast Libya, specifically targeting the areas of Ain Hizam, Batta, and Taknis, covering a total area of 195,000 hectares. The methodology integrates Geographic Information Systems (GIS) with the Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS) model. All available soil data were synthesized to calculate the SQI and generate an Environmentally Sensitive Areas Index (ESAI) map for desertification. To produce the component maps of the SQI, the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method was employed.
By applying seven SQI scenarios and eight ESAI scenarios, the study utilized Weighted Overlay and Sensitivity Analysis, guided by local expertise. The findings revealed that soil quality maps from scenarios 6 and 7 were highly consistent, while significant spatial agreement was observed among maps for scenarios 1 through 5. All SQI scenarios categorized the land into only two classes: high quality and moderate quality.
Regarding the ESAI maps, scenarios 7 and 8 identified two land classes: critically sensitive and slightly critically sensitive. In contrast, scenarios 2, 3, 6, 7, and 8 resulted in a single classification: slightly critically sensitive. Furthermore, the results indicated that assigning a weight of 70-80% to the "surface stoniness" parameter yielded the most accurate results, given the low percentage of gravel and stones in the region's soil.
The study concludes with a detailed ESAI map of the region, clearly identifying the areas most vulnerable to desertification. It recommends broader implementation of GIS and the MEDALUS model in combating desertification, alongside the development of adaptive localized models to address specific environmental challenges.

Keywords: Desertification, Climate Change, Environmental Sensitivity to Desertification, Soil quality, Geographic Information Systems, MEDALUS.

الملخص

تهدف هذه الدراسة، إلى تقييم مؤشر جودة التربة في المناطق الواقعة شمال شرق ليبيا، وتحديدًا في عين حزام، قرية بطة، وتاكنس، والتي تبلغ مساحتها الإجمالية 195,000 هكتار. في هذه الدراسة تم الدمج بين نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونموذج البحر المتوسط للتصحر واستعمال الأراضي (MEDALUS).

تم جمع كافة البيانات المتاحة عن التربة لحساب مؤشر جودة التربة، وإنشاء خريطة للحساسية البيئية للتصحر. ولإنتاج خرائط العناصر المكونة لمؤشر جودة التربة، استُخدمت طريقة مقلوب المسافة الوزنية (IDW).

عبر تطبيق سبعة سيناريوهات لمؤشر جودة التربة وثمانية سيناريوهات لخريطة الحساسية البيئية للتصحر، تم استخدام خاصيتي التطابق الموزون (Weighted Overlay) وتحليل الحساسية (Sensitivity Analysis) بالاستعانة بالخبرة المحلية. أظهرت النتائج أن خرائط جودة التربة من السيناريوهات 6 و7 كانت متشابهة جدًا، مع تطابق كبير بين خرائط السيناريوهات من 1 إلى 5. وقد صنفت جميع سيناريوهات جودة التربة الأراضي إلى مجموعتين فقط: عالية الجودة ومتوسطة الجودة.

فيما يخص خرائط الحساسية البيئية للتصحر، من خرائط السيناريوهات 7 و8 تم الحصول على نوعين من الأراضي: أراضٍ ذات حساسية حرجة وأراضٍ ذات حساسية حرجة طفيفة. أما السيناريوهات 2 و3 و6 و7 و8 فقد نتج عنها صنف واحد من الأراضي وهو أراضٍ ذات حساسية حرجة بدرجة طفيفة. كما أوضحت النتائج أن إعطاء وزن يتراوح بين 70-80% لخاصية الحجارة على السطح أعطى نتائج دقيقة، نظرًا لانخفاض نسبة الحصى والحجارة في تربة المنطقة.

توصلت الدراسة إلى خريطة مفصلة للحساسية البيئية للتصحر في المنطقة، وحددت بوضوح المناطق الأكثر عرضة لهذه الظاهرة، كما توصي الدراسة بالاستفادة بشكل أكبر من نظم المعلومات الجغرافية ونموذج MEDALUS لمكافحة التصحر، وتطوير نماذج جديدة تتكيف مع البيئة المحلية لمواجهة التحديات البيئية.

الكلمات المفتاحية: التصحر ، التغير المناخي ، الحساسية البيئية للتصحر، جودة التربة، نظم المعلومات الجغرافية، نموذج البحر المتوسط للتصحر.

المقدمة

تعتبر التربة الركيزة الأساسية للأمن الغذائي والتوازن البيئي، إلا أنها تواجه في الآونة الأخيرة ضغوطاً غير مسبوقة ناتجة عن التداخل بين الأنشطة البشرية المكثفة وظاهرة التغير المناخي .حيث أصبحت التغيرات في معدلات الأمطار، وارتفاع درجات الحرارة، وتكرار ظواهر الجفاف عوامل مباشرة تؤدي إلى تدهور الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مما يحتم ضرورة مراقبة جودتها باستخدام تقنيات حديثة تضمن سرعة الاستجابة ودقة التنبؤ .(Doran & Parkin, 1994).

تعد منطقة شمال شرق ليبيا، وتحديداً النطاق الجغرافي الممتد بين (تاكنس، وبطة، وعين حزام)، من أكثر المناطق حيوية وتأثراً بهذه التحولات. فهذه المنطقة تمثل حلقة وصل تضاريسية وبيئية فريدة في الجبل الأخضر، حيث تتداخل فيها الأراضي الزراعية مع الغابات والمراعي. ومع ذلك، فإن تعرض هذه المنطقة لتقلبات مناخية حادة في السنوات الأخيرة أدى إلى زيادة مخاطر الانجراف المائي وتدهور المادة العضوية، مما يهدد إنتاجية التربة وقدرتها على الصمود (Ben-Mahmoud, 1995).

في ظل هذه التحديات، تبرز أهمية تقييم مؤشر جودة التربة (SQI) لتقدير قدرة التربة على أداء وظائفها الحيوية، ولتحقيق أقصى استفادة من هذا المؤشر يأتي دور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كمنصة تقنية متطورة تتيح ربط النتائج التحليلية بالمواقع الجغرافية بدقة عالية. إن دمج هذه التقنيات في دراسة منطقة (تاكنس ، بطة، عين حزام) سيسهم في إنتاج خرائط مكانية رقمية توضح التباين في جودة التربة، مما يوفر قاعدة بيانات أساسية لمواجهة آثار التغير المناخي ووضع استراتيجيات مستدامة لإدارة الموارد الطبيعية في المنطقة (McBratney et al., 2003) .

ونظراً للأضرار التي تنجم عن تدهور التربة، فقد زاد الاهتمام الدولي بها في العقود الأخيرة. حيث تم وضع اتفاقيات بيئية تهدف إلى الحفاظ على الموارد الطبيعية وترشيد استخدامها لضمان استدامتها.

تم تطوير العديد من الأنظمة والطرق التي تمكن من تخريط تدهور الأراضي وتصحرها، مثل نظم الإنذار المبكر، التي تُعد أداة حيوية تدعم صانعي القرار بالمعلومات اللازمة في الوقت المناسب للسيطرة على هذه

الظاهرة وتقليل حدتها. يعد نظام الإنذار المبكر بالتصحر جزءًا من برامج العمل الوطنية وفقاً لاتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر. وقد تم الترويج للعديد من المبادرات لتطوير وتنفيذ نظم الإنذار المبكر بالتصحر على المستويات الوطنية والإقليمية و العالمية .وعلى الرغم من التقدم الكبير في هذه الأنظمة في العديد من البلدان، إلا أنه لا توجد حتى الآن نظم تشغيلية تنفذ بنجاح في استراتيجيات وخطط وبرامج مكافحة التصحر.

وفرت تقنية نظم المعلومات الجغرافية طرائق عدة مفيدة في فهم وتفسير التنبؤ المكاني لخصائص التربة المختلفة، فلقد استخدمت على نحو متزايد من قبل مختصي علم التربة في السنوات الأخيرة في دراسة التغايرات المكانية والزمانية لخصائص التربة الكيميائية والطبيعية للمواقع التي لم تؤخذ منها عينات ، مثل طريقة مقلوب المسافة الوزنية (Inverse Distance Weighting) (IDW) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية ، وأظهرت هذه الطريقة دقتها وجودتها العالية، حيث أثبت أن استخدام طريقة IDW مناسبة للتنبؤ المكاني لبعض خواص التربة.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مؤشر جودة التربة وذلك بالاعتماد على استخدام نموذج البحر المتوسط للتصحر واستعمال الأراضي (موديلس) (MEDALUS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)لدراسة بعض أراضي المناطق الشمالية الشرقية من ليبيا، بما في ذلك مناطق عين حزام، قرية بطة، وتاكنس كما تهدف الدراسة إلى إنتاج خريطة حساسية منطقة الدراسة للتصحر تحت ظروف البيئة المحلية.

الدراسات السابقة

لقد قدر البنك الدولي في عام 2004 أن الخسائر الناجمة عن تدهور الأراضي في منطقة الشرق الأدنى تصل إلى 1.5مليار دولار سنويًا .وفيما يتعلق بإحصائيات الأمم المتحدة لعام 2003، فقد أظهرت أن أكثر من 250 مليون شخص في العالم يتضررون بشكل مباشر من التصحر، بينما يواجه 135مليونًا خطر مغادرة أراضيهم. كما أن أكثر من مليار شخص (أي حوالي خمس سكان العالم) مهددون بسبب التصحر، حيث أن 70% من الأراضي الجافة المستخدمة في الزراعة في حالة تدهور. وبالنسبة لتكلفة التصحر على المستوى العالمي، فقد قدرت الأمم المتحدة أن التكلفة السنوية للتصحر تبلغ 42 مليار دولار.
قد عمل برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) لسنوات طويلة للتعريف بالتصحر وإبرازه كقضية عالمية هامة. وقد تم تعريف التصحر في مؤتمر ريو سنة 1992 بأنه تدهور الأراضي الجافة الحساسة الناتج عن عدة عوامل تشمل الاختلافات المناخية والأنشطة البشرية. أما اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD) في عام 1997 فقد عرفت التصحر بإنه تدهور الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة والناتج عن الأنشطة البشرية والاختلافات المناخية .
كما عرف تدهور الأراضي بأنه ما يحدث في المناطق الجافة وشبه الجافة من انخفاض أو فقدان للإنتاجية والتنوع الحيوي لأراضي المحاصيل والمراعي والغابات نتيجة لاستخدامات الأراضي الناجمة عن الأنشطة البشرية والأنماط السكانية مثل: تعرية التربة بفعل الرياح أو المياه، وتدهور الخواص الفيزيائية والكيميائية والخصوبية والحيوية للتربة، والفقدان الطويل الأمد للغطاء النباتي الطبيعي (بن محمود،2013).

استخدم عبد الرحمن و بوزيد (2023) منهجية MEDALUS في جنوب مدينة طبرق بعد تعديلاته ليلائم منطقة الدراسة على أربعة مؤشرات رئيسية، وهي جودة: التربة، الغطاء النباتي،المناخ، إدارة الأراضي وقد تم استبعاد مؤشر جودة الارض وذلك لعدم وجود اي نوع من الادراة في منطقة الدراسة. اظهرت النتائج ان تطبيق نموذج MEDALUS ملائم بدقة عالية لتقييم حساسية منطقة طبرق للتصحر، وذلك بعد اختبار 273 نقطة عشوائياً ، حيث وصلت دقة النتائج إلى 0.90 من خلال استخدام نموذج كابا للتحليل الاحصائي.
استخدم Abd El-Aziz وآخرون (2023) منهج MEDALUS المعدل في محافظة اسوان بجمهورية مصر العربية. تم الاخذ في الاعتبار خمسة مؤشرات رئيسية في تصميم حساسية المنطقة للتصحر. اوضحت الدراسة ان منطقة اسوان تعاني من حساسية شديدة للتصحر بسبب سوء الإدارة، والحالة الطبوغرافية، وندرة الغطاء النباتي وقلة استغلال الأر ض، ونوعية التربة، وتعرية الرياح، فضلا عن الظروف المناخية.

استخدم الهباش (2022) نموذج البحر المتوسط وأستعمالات الأراضي (MEDALUS) بسهل الجفارة وتطويره تبعا للظروف المحلية من جهة وكذلك لمدي توفر البيانات والمعلومات من جهة اخرى. وتم اختيار

عدد من المؤشرات التي شملت مؤشر جودة التربة، مؤشر جودة المناخ، مؤشر جودة المياه ومؤشر جودة الغطاء النباتي.كما تم تجربة عدد من السيناريوهات التي اعطيت من خلالها اوزان مختلفة للمؤشرات المستخدمة. بينت النتائج انه عندما اعطيت المؤشرات أوزان متساوية 20 % تم الحصول على درجتين من الحساسية ذات حساسية منخفضة 90 %، وذات حساسية متوسطة بنسبة 10 %.

اهتم Boudjemline (2018) بتحديد المناطق الحساسة بيئيا للتصحر باستخدام نموذج (MEDALUS وGIS) في حوض الهدنة بالجزائر. وتم تقييم أربعة مؤشرات وهي مؤشر التربة ومؤشر المناخ، ومؤشر الغطاء النباتي، وأظهرت النتائج أن 61 % من منطقة الدراسة منخفضة الحساسية وبشكل خاص المناطق الجبلية، إما المناطق الحساسة إلى التدهور فهي المنطقة السفلي من الحوض.

قام Lahlaoi وآخرون (2017) بتحديد المناطق الحساسة للتصحر في مستجمعات المياه والوادي المالح بالمغرب باستخدام نموذج البحر المتوسط، وتم التقييم بواسطة أربعة مؤشرات وهي مؤشر (التربة، المناخ الإدارة، الغطاء النباتي) وأظهرت النتائج أن 35 % من مستجمعات المياه المالحة عالية الحساسية للتصحر وهي تتركز في شمال منطقة الدراسة ويتوافق مع السهول والارتفاع.

هناك العديد من النماذج المستخدمة لتقييم الحساسية البيئية للتصحر، وقد تم تطويرها من قبل هيئات ومنظمات علمية ومؤسسات حكومية مختصة في هذا المجال. هذه النماذج تهدف إلى دراسة وتحديد المناطق الأكثر عرضة للتصحر، وتحليل العوامل المختلفة التي تؤثر في هذه الظاهرة. وفيما يلي بعض من النماذج المعروفة التي وضعتها مختلف الهيئات. خلال هذه الدراسة استخدم نموذج البحر المتوسط للتصحر واستعمال الاراضي Mediterranean Desertification and Land Use model او (MEDALUS). تم تمويل نموذج التصحر واستخدام الأراضي في البحر الأبيض المتوسط (MEDALUS) من قبل المفوضية الأوروبية (kosmas وآخرون،1999)، تتمثل إحدى مزايا هذا النموذج في دقته العالية (Fozooni وآخرون، 2012). يركز نموذج MEDALUS على اختيار المؤشرات المناسبة على المستويين الأوروبي والوطني ويوضح تطبيقها لتحديد المناطق الحساسة بيئيًا لثلاث مناطق مستهدفة تم تحديدها أثناء تنفيذ مشروع MEDALUS وتقع في اليونان (جزيرة ليسفوس)، وإيطاليا (حوض أغري في بازيليكاتا)، والبرتغال (منطقة ألينتيخو).

في هذا النموذج، يمكن تحليل أنواع مختلفة من المناطق الحساسة بيئيًا للتصحر من حيث معايير مختلفة مثل تضاريس الأرض والتربة والجيولوجيا والنباتات والمناخ والأنشطة البشرية .يتم تجميع كل من هذه المعايير في فئات موحدة مختلفة ويتم تعيين عامل ترجيح لكل فئة، وفي المستوى التالي تم تقييم أربع طبقات: جودة التربة، وجودة المناخ، وجودة الغطاء النباتي، وجودة الإدارة.

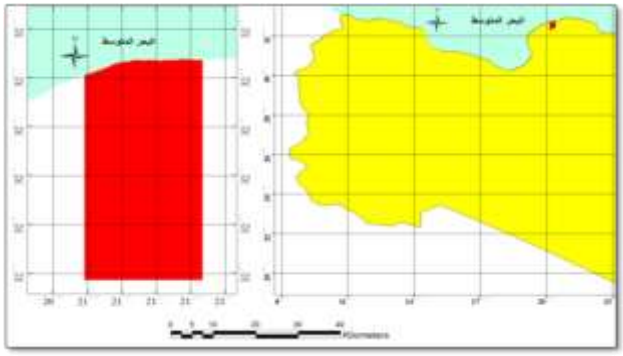
بعد تحديد المؤشرات لكل طبقة، يتم تحديد المناطق المعرضة للتصحر من خلال الجمع بين طبقات الجودة الأربع .يتم إدخال جميع البيانات التي تحدد الطبقات الأربع الرئيسية في نظام معلومات جغرافي إقليمي (GIS) وتراكبها وفقًا لخوارزمية تأخذ المتوسط الهندسي لتجميع خرائط المناطق المعرضة للتصحر (kosmas وآخرون، 1999).

نظرًا للدقة العالية والمزايا التي يتمتع بها نموذج MEDALUS في تقييم التصحر وتحديد الأراضي الحساسة لذلك، فقد تم استخدامه في العديد من الدراسات العلمية والبيئية على نطاق واسع في مناطق متعددة حول العالم، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعاني من مخاطر التصحر. يتيح هذا النموذج رصد مخاطر التصحر وتحديد الأراضي الحساسة بناءً على مجموعة من المؤشرات البيئية والاجتماعية.

المواد وطرائق البحث

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في النطاق الشمالي الشرقي من ليبيا، وتشمل لوحات عين حزام، و قرية بطة، و تاكنس . تقدر المساحة الكلية لمنطقة الدراسة بحوالي 195,000هكتار، والشكل (1) يوضح الموقع العام لمنطقة الدراسة.

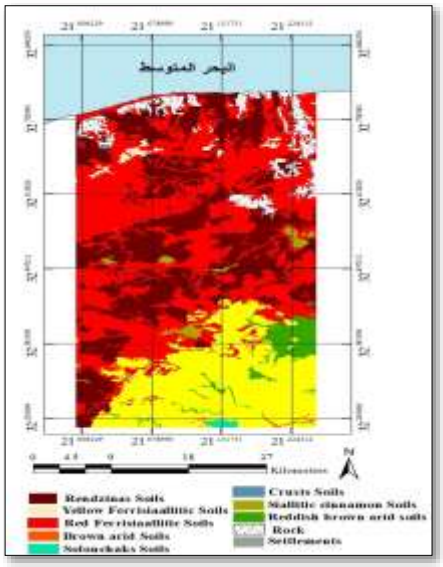


شكل **1**. الموقع العام لمنطقة الدراسة.

تتأثر معظم ترب منطقة الدراسة بمناخ إقليم البحر المتوسط، حيث يقدر المتوسط السنوي لدرجات الحرارة بحوالي 19 درجة مئوية، ويبلغ متوسط الهطول السنوي 450 ملم/ السنة .كما تجدر الإشارة إلى أن غالبية أجزاء ترب المنطقة تتأثر بالنظام الرطوبي المميز لمنطقة البحر الأبيض المتوسط (بن محمود، 1995).

تتميز منطقة الدراسة بوجود العديد من التكوينات الجيولوجية، التي تشمل تكوين بنغازي، والبيضاء، واجدابيا، وقصر البياضة، وتكوين درنة .بعض هذه التكوينات تعود إلى عصر ما قبل الكمبري، وتشمل صخور الجرانيت، و الكوراتز، و النيس، وصخور الحجر الرملي .كما تحتوي المنطقة على الرواسب البحرية، التي تشمل الرواسب الرملية والرواسب الجيرية .بالإضافة إلى ذلك، تحتوي منطقة الدراسة على تكوينات جيولوجية تحتوي على رواسب ملحية ذات قوامات مختلفة (Nwer،2005)

أشارت الدراسة التي أجرتها شركة سلخوزبروم إكسبورت (Solkhozprom، 1980) إلى أن منطقة الدراسة تحتوي على عدة أنواع من التربة، وهى Rendzina و Yellow Fernsiaallitic Soils و Red Fernsiaallitic Soils و Brown arid Soils و Solonchaks و Sialtitic cinnamon soils و Reddish brown arid Soils و Crusts Soils، والشكل (2) يبين نوعيات وتوزيع الترب في منطقة الدراسة.



شكل **2**. تصنيف ترب منطقة الدراسة

استخدام نموذج البحر المتوسط للتصحر واستعمال الاراضي (Mediterranean Desertification and Land Use model) في منطقة الدراسة

تم اختيار نموذج البحر المتوسط للتصحر واستخدام الأراضي، الذي تم تكييفه بواسطة(Ali، 2018) ليتناسب مع الظروف الليبية، وذلك لدراسة مؤشرات التصحر واستخدام الأراضي في منطقة قرية بطة وعين حزام وتاكنس في المنطقة الشمالية الشرقية من ليبيا.

مرحلة تجميع البيانات

خلال هذه المرحلة تم الحصول وتجميع البيانات والمعلومات المتوفرة عن تربة المنطقة ومناخ المنطقة والغطاء النباتي والمياه الجوفية. هذه البيانات تعتبر قاعدة البيانات المكانية والوصفية لتصميم نموذج البحر المتوسط للتصحر واستعمال الاراضي في منطقة الدراسة. وفيما يلي مصادر البيانات والمعلومات التى تم استخدامها.

- خريطة مواقع قطاعات التربة الممثلة بالنظام الروسي الحديث: خلال هذه المرحلة تم الحصول على خريطة مواقع القطاعات الرقمية لمنطقة الدراسة وبمقياس رسم 1:50000 (Solkhozprom Export ،1980) و (القماطي، 2020).
- قاعدة بيانات مكانية ووصفية لخصائص التربة في منطقة الدراسة: تم الحصول علي قاعدة البيانات المكانية والوصفية لخصائص قطاعات التربة الممثلة والبالغ عددها 224 قطاع ممثل، والمتمثلة في الاحداثيات السينية والصادية الخصائص الطبيعية والكيميائية والغدائية للتربة من الدراسة التى تمت بواسطة (القماطي، 2020). هذه البيانات محفوظة في ملفExcel Spreadsheet model ومخزنة في صورة Csv* بحيث يمكن ربطها مع برنامج ArcGIS
- البيانات المناخية: تم الحصول على البيانات المناخية والمتمثلة فى المتوسط الشهري لدرجات الحرارة ومعدلات الامطار والمتوفرة من بعض المحطات المناخية فى نطاق منطقة الدراسة من وكالة ناسا الفضائية للفترة من (1981، 2019).
- **المياه الجوفية فى منطقة الدراسة**: تم الحصول على بيانات الابار داخل منطقة الدراسة لعدد 10 ابار في حدود قريبة من منطقة الدراسة (الهيئة العامة للمياه 2010). هذه الابار تحتوي على تحاليل لكافة الخصائص الكيميائية لمياه هذه الابار.

مرحلة انتاج خرائط الحساسية لمؤشرات النموذج باستخدام طريقة مقلوب المسافة الوزنية

خلال هذه المرحلة من الدراسة تم استخدام طريقة مقلوب المسافة الوزنية (Inverse Distance Weighting) (IDW) لانتاج خرائط مؤشرات التصحر في منطقة الدراسة.

تعتمد هذه الطريقة على الاستفادة من البيانات المقاسة في نقاط محددة داخل المنطقة لحساب البيانات المطلوبة في نقاط أخرى لا تتوفر فيها أي قياسات. حيث تؤثر بيانات كل نقطة معلومة بشكل أكبر كلما كانت قريبة من النقطة التي لا تتوفر فيها القياسات، ويقل تأثيرها كلما ابتعدت عنها. بمعنى آخر، كل نقطة معلومة لها وزن معين يُدخل في الحسابات. المعادلة العامة المستخدمة في طريقة IDW هي كما يلي:

$$Z^*(u) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, z(u_i) \qquad (1)$$

$$\lambda_{i=} \frac{\left[\frac{1}{d_i^p}\right]}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p}} (i = 1, \dots, n) \qquad (2)$$

حيث تمثل di المسافة بين النقطة المراد تقدير قيمة الخاصية عندها والنقطة المعلومة i، Z*(u) النقطة المراد تقدير الخاصية عندها، Z(ui) النقطة المعلوم عندها قيمة الخاصية، و i ترمز للنقطة، و p أس المسافة لتحديد الوزن، λ معامل الوزن على أساس المسافة، تتلخص فكرة الوزن في إعطاء أوزان خاصة للنقطة عند حساب المركز المتوسط، حيث أن الأوزان لا تعتمد فقط على المسافة الفاصلة بين النقاط، إنما تعتمد أيضا على التوزيع المكاني لهذه النقاط، والذي يعتمد بدوره على الارتباط الذاتي بين النقاط، ومن عيوب هذه الطريقة أن الخرائط المنتجة أنها تنتج ما يشبه العيون الكروية أو ما يعرف باسم (Bulls eyes) (Burrough 1993).

مؤشر جودة خصائص التربة لنموذج Soil Quality Index (SQI) MEDALUS في منطقة الدراسة

يعتمد مؤشر جودة التربة على عدد من الخصائص الرئيسة والمؤشرات الثانوية. لتحديد مؤشر جودة خصائص التربة تم أعطاء درجات تتراوح ما بين 1، 2 درجة لكل فئة من فئات خصائص المؤشر، حيث تم منح درجة قوام التربة الجيد (طمي رملي، طيني طمي،رملي طيني طمي،طمي) درجة 1، والتي تمثل حساسية منخفضة للتصحر، والدرجة 2 للفقيرة جداً للقوام (الرملي)، والتي تمثل حساسية عالية للتصحر، في حين تم اعطاء 1.2 و 1.6 للفقيرة والمتوسطة الحساسية على التوالي، الجدول (1) يوضح مؤشرات جودة التربة والخصائص الواجب اخذها في الاعتبار لتحديد الحساسية البيئية للتصحر.

جدول 1. مؤشرات التربة المأخوذة في الأعتبار عند تحديد الحساسية البيئية للتصحر.

الطبقة	الفئات	الوصف	الحالة	الاوزان
قوام التربة	1	جيدة	طمي رملي، طيني طمي،رملي طيني طمي،طمي	1
	2	متوسطة	رملي طيني،سلت طمي، سلت طيني طمي	1.2
	3	فقيرة	سلتي، سلت طيني رملي	1.6
	4	فقيرة جدا	رملي	2
عمق التربة (cm)	1	عميقة	150<cm	1
	2	متوسطة	100- 150cm	1.3
	3	ضحلة	50- 100cm	1.6
	4	ضحلة جدا	50> cm	2
مادة أصل التربة	1	متوسطة	Alluvial Deposit, Proluvial Deposity, Deluvial Deposit	1.5
	2	عالي	Eloian Deposit, Eluvial-Deluvial, Deposit, Marine Saline deposit	2
المادة العضوية (%)	1	جيدة	% 1<	1
	2	متوسطة	% 1 - 0.5	1.5
	3	فقيرة جدا	% 0.5 >	2
وجود الحجارة على السطح (%)	1	شديد الحصى	% 60<	1
	2	متوسط	% 20 - 60	1.3
	3	قليل	% 20 >	2
الميل (%)	1	منبسط	%6 >	1
	2	قليل الانحدار	% 18- 6	1.2
	3	منحدر	% 35- 18	1.5
	4	شديد الانحدار	% 35 <	2

المصدر: (**Kosmas** وآخرون , 1999).

استخدام خاصية التطابق الموزون (Weighted Overlay) للحصول على مؤشر جودة التربة والحساسية البيئة للتصحر في منطقة الدراسة

تم خلال هذه المرحلة استخدام عدد 7 سيناريوهات متحصل عليها من الدراسة التى تمت بواسطة الهباش (2022). حيث تم توقيع اوزان مختلفة لكل سيناريو من السيناريوهات (جدول 8). هذه السيناريوهات اعطيت اوزان لكل طبقة من خصائص التربة المنتجة في صورة شبكية بواسطة استخدام طريقة (IDW).

هذه السيناريوهات سوف تساعد في التعرف على مؤشر التربة الاكثر تاثيرا في حساب مؤشر جودة التربة. كما تم استخدام عدد 8 سيناريوهات لحساب الحساسية البيئية للتصحر في منطقة الدراسة. هذه الخطوة تتطلب توقيع اوزان لكل طبقة من نموذج MEDALUS في منطقة الدراسة. والجدول (9) يبين السيناريوهات المستخدمة لحساب الحساسية البيئية للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول 2. السيناريوهات المستخدمة في الحصول على مؤشر جودة التربة في منطقة الدراسة.

السيناريوهات	قوام التربة	عمق التربة	مادة أصل التربة	مادة عضوية التربة	الحجارة علي السطح
1	20	20	20	20	20
2	30	25	10	10	25
3	60	10	5	5	20
4	70	10	5	5	10
5	25	25	10	10	30
6	10	10	5	5	70
7	10	2	3	5	80

المصدر : (الهباش، 2022).

النتائج والمناقشة

عند دراسة حساسية عمق التربة للتصحر في منطقة الدراسة، أوضحت النتائج ان منطقة الدراسة تم تخريطها إلى اربعة مستويات من اعماق التربة، وهي ضحلة جداً وضحلة ومتوسطة العمق وعميقة. والشكل (3) والجدول (3) يوضحان مستويات اعماق التربة ومدي الحساسية للتصحر.

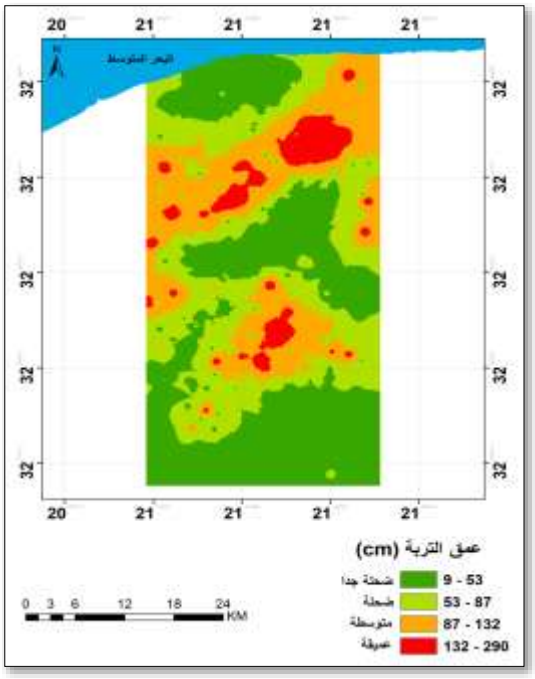
بينت النتائج ان منطقة الدراسة صنفت وفق حساسيتها للتصحر بناءا على خاصية المادة العضوية في التربة إلى فقيرة ومتوسطة وجيدة، والشكل (4) والجدول (4) يبينان درجات حساسية المادة العضوية بالتربة للتصحر في منطقة الدراسة

اظهرت النتائج ان منطقة الدراسة تم تخريطها إلى جيدة ومتوسطة وفقيرة وذلك وفق خاصية قوام التربة، والشكل (5) والجدول (5) يوضحان حساسية منطقة الدراسة للتصحر بناءا على خاصية قوام التربة.

اوضحت النتائج ان منطقة الدراسة تم تصنيفها إلى متوسطة وعالية الحساسية للتصحر وذلك وفق مادة الاصل بالتربة، والشكل (6) والجدول (6) يوضحان درجات حساسية مادة الاصل في منطقة الدراسة للتصحر.

تظهر النتائج ان منطقة الدراسة صنفت إلى مستويات وفق حساسية الحجارة على السطح للتصحر، وهي شديدة ألحصى متوسطة ألحصى وقليلة ألحصى، والشكل (7) والجدول (7) يوضحان درجات حساسية الحجارة على السطح للتصحر في منطقة الدراسة.

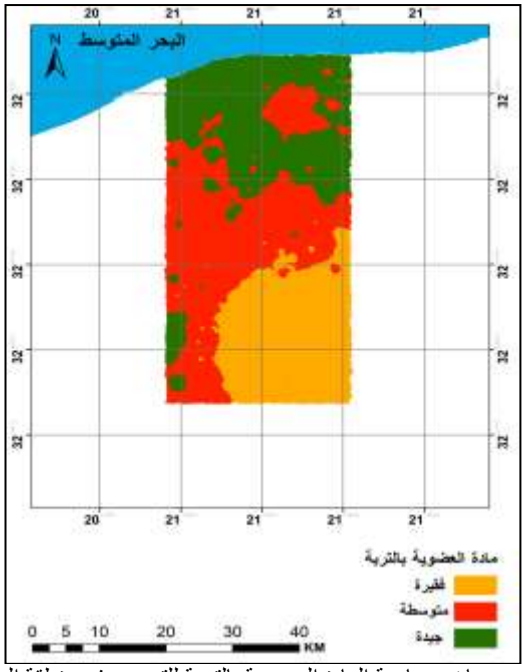
عندما تم حساب حساسية الميل للتصحر تم الحصول على اربعة مستويات من درجات الحساسية، وهي منبسط وقليل الانحدار ومنحدر وشديد ألانحدار، والشكل (8) والجدول (8) يوضحان مستويات حساسية الميل للتصحر في منطقة الدراسة.



شكل **3**. درجات حساسية اعماق التربة للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول3. درجات حساسية عمق التربة للتصحر في منطقة الدراسة.

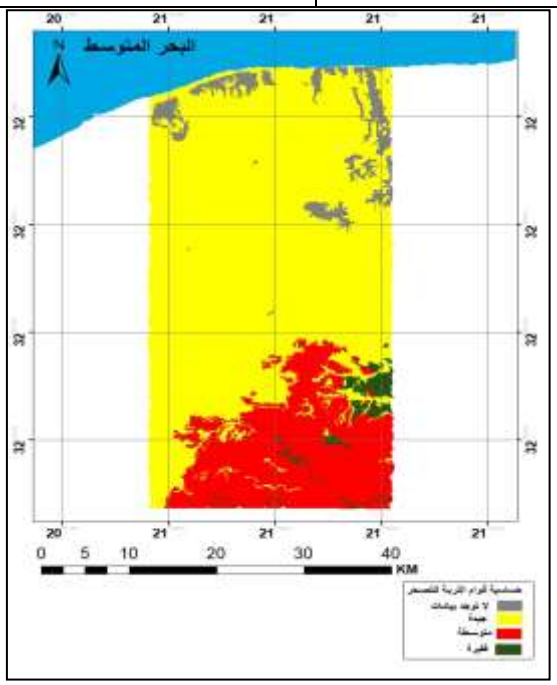
درجات حساسية عمق التربة للتصحر	المساحات (هكتار)	النسبة المئوية %
ضحلة جداً	97500	50
ضحلة	59163	30.34
متوسطة	20787	10.66
عميقة	17550	9



شكل4. درجات حساسية المادة العضوية بالتربة للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول4. درجات حساسية المادة العضوية بالتربة للتصحر في منطقة الدراسة.

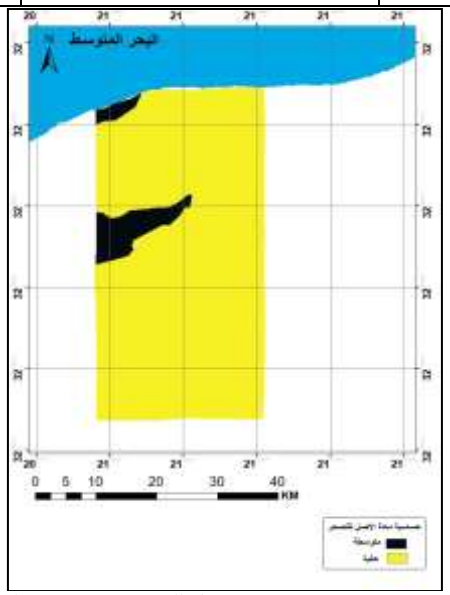
درجات حساسية المادة العضوية	المساحات (هكتار)	النسبة المئوية
فقيرة	22308	11
متوسطة	109200	56
جيدة	63492	33



شكل5. درجات حساسية قوام التربة للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول5. درجات حساسية قوام التربة للتصحر في منطقة الدراسة.

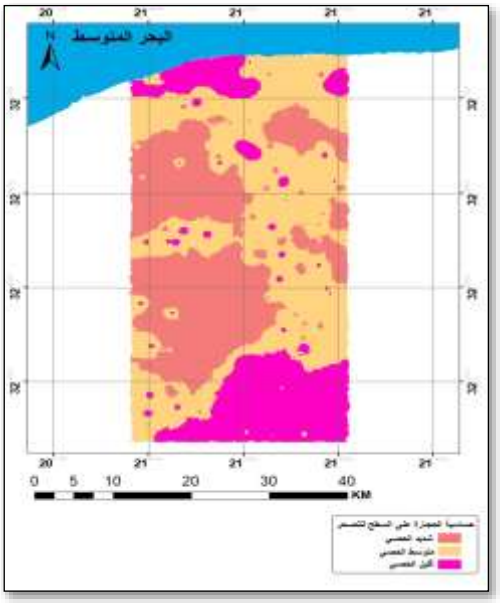
درجات حساسية قوام التربة	المساحات (هكتار)	النسبة المئوية
جيدة	156000	80
متوسطة	30000	15.4
فقيرة	9000	4.6



شكل6. درجات حساسية مادة الاصل للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول6. درجات حساسية مادة الاصل للتصحر في منطقة الدراسة.

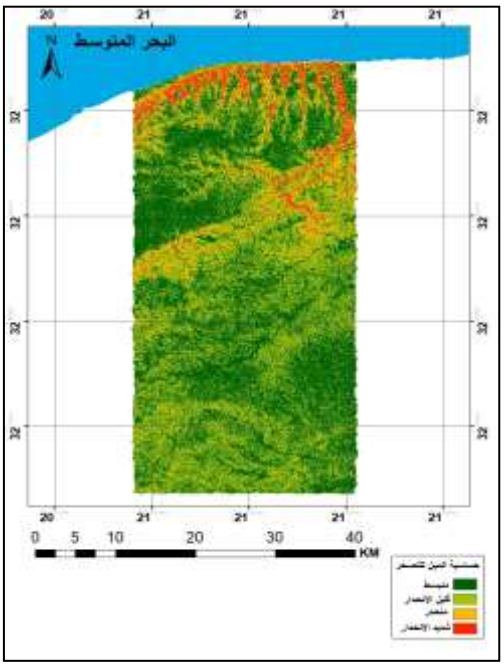
درجات حساسية مادة الاصل	المساحات (هكتار)	النسبة المئوية
متوسطة	9750	5
عالية	185250	95



شكل7. درجات حساسية الحجارة على السطح للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول 72. درجات حساسية الحجارة على السطح للتصحر في منطقة الدراسة.

درجات حساسية مادة الاصل	المساحات (هكتار)	النسبة المئوية
شديدة الحصى	61425	30
متوسطة الحصى	107250	55
قليل الحصى	26325	15

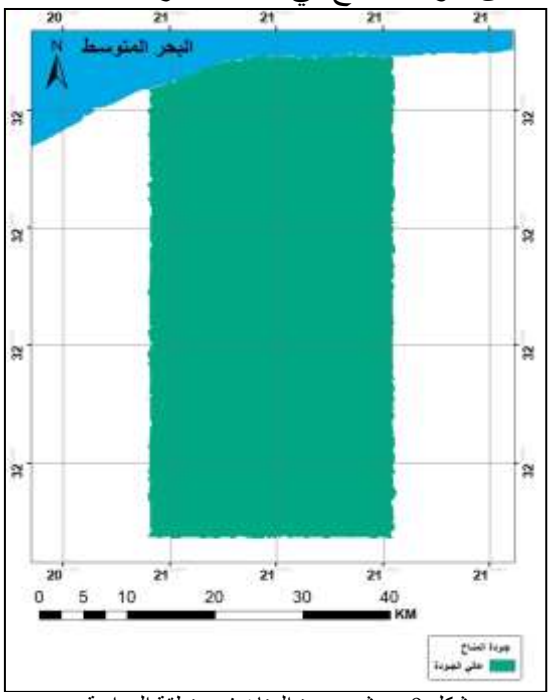


شكل 8. درجات حساسية الميل للتصحر في منطقة الدراسة.

جدول 8. درجات حساسية الميل للتصحر في منطقة الدراسة.

درجات حساسية الميل للتصحر	المساحات (هكتار)	النسبة المئوية
منبسط	85800	44
قليل الانحدار	85800	44
منحدر	12000	6
شديد الانحدار	11400	7

عند حساب مؤشر جودة المناخ في منطقة الدراسة، تبين ان المنطقة تم تخريطها إلى منطقة عالية الجودة ، وهذا إلى المناخ الشبه الجاف في منطقة الدراسة ومعدلات الامطار العالية التى تتأثر بها منطقة الدراسة. الشكل (9) والجدول (9) يوضحان جودة المناخ في منطقة الدراسة.

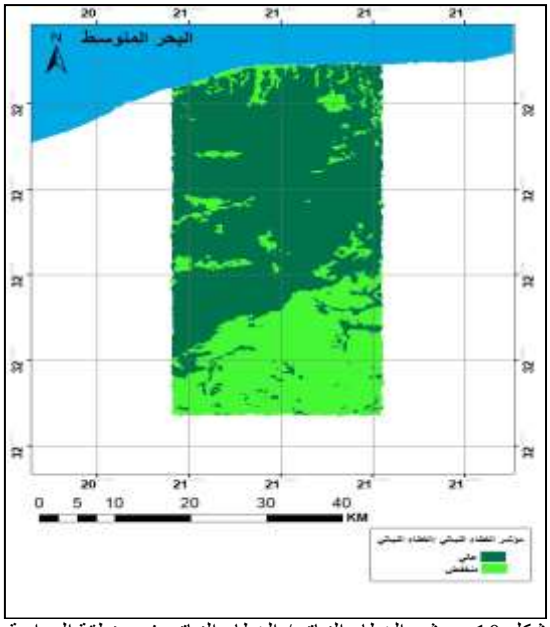


شكل 9. مؤشر جودة المناخ في منطقة الدراسة.

جدول 9. درجات حساسية المناخ للتصحر في منطقة الدراسة.

مؤشر جودة المناخ	المساحة (الهكتار)	النسبة المئوية (%)
عالي الجودة	195000	100

كما اشير سابقا تم الاعتماد على خريطة الغطاء الأرضي والنباتي تم إنتاجها بواسطة (Nwer وآخرون،2023)، والذي استخدمت منهجية (GEOVIS) والتحليل البصري للصور الفضائية، حيث شملت هذه المنهجية ومن رسم حدود الأغطية الأرضية استنادًا إلى الخلايا الموجودة في الصور. خريطة الغطاء النباتي المنتجة احتوت على معلومات كافية ليتم اعادة تصنيفها ومن ثم الحصول على درجات حساسية مخاطر الحرائق والحماية من التعرية ومقاومة الجفاف كما موضح بالشكل (10) والجدول (10).



شكل 10. مؤشر الغطاء النباتي/ الغطاء النباتي في منطقة الدراسة.

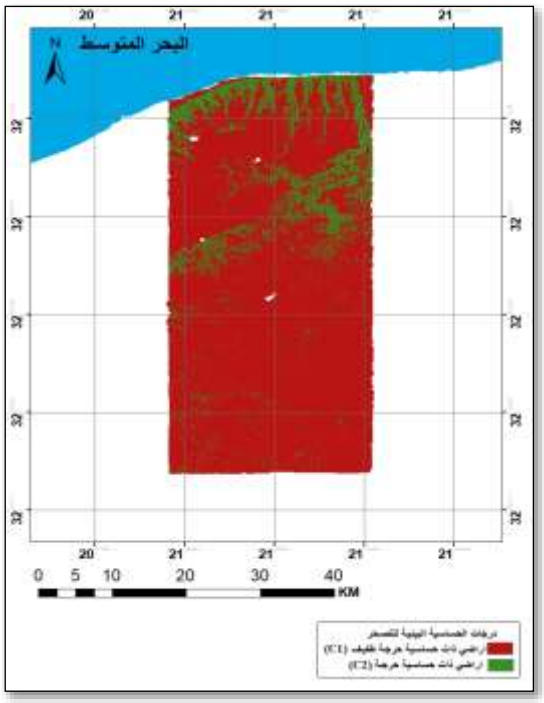
جدول 10. درجات حساسية الغطاء النباتي للتصحر في منطقة الدراسة.

حساسية الغطاء النباتي للتصحر	المساحة (الهكتار)	النسبة المئوية (%)
عالي	113100	58
منخفض	81900	42

خلال هذه المرحلة تم الاستعانة بالأوزان المستخدمة في دراسة الهباش (2022)، والمشار اليها سلفاً في الجدول رقم 8. هذه الاوزان وضعت من قبل خبراء مختصين في هذا المجال. ان الغرض الاساسي من أعطاء اوزان وسيناريوهات مختلفة لخصائص التربة المختلفة في منطقة الدراسة، وذلك لمعرفة اي من خصائص التربة المدروسة تأثيرا في انتاج خريطة مؤشر جودة التربة في منطقة الدراسة. وللحصول على خرائط حساسية مؤشر جودة التربة تم استخدام خاصية التطابق الموزون (Wighted Overlay) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

تشير نتائج التطابق الموزون للسيناريوهات السبعة المختلفة في منطقة الدراسة، ان كافة اجزاء منطقة الدراسة صنفت إلى مناطق عالية الجودة ومناطق متوسطة الجودة، وان خرائط التطابق الموزون للسيناريوهات من الرقم 1 إلى الرقم 5 لمؤشر جودة التربة قريبة من بعضها البعض، بينما خرائط التطابق الموزون للسيناريو رقم 6 والسيناريو رقم 7 تكاد تكون متساوية من حيث النسبة والمساحة.

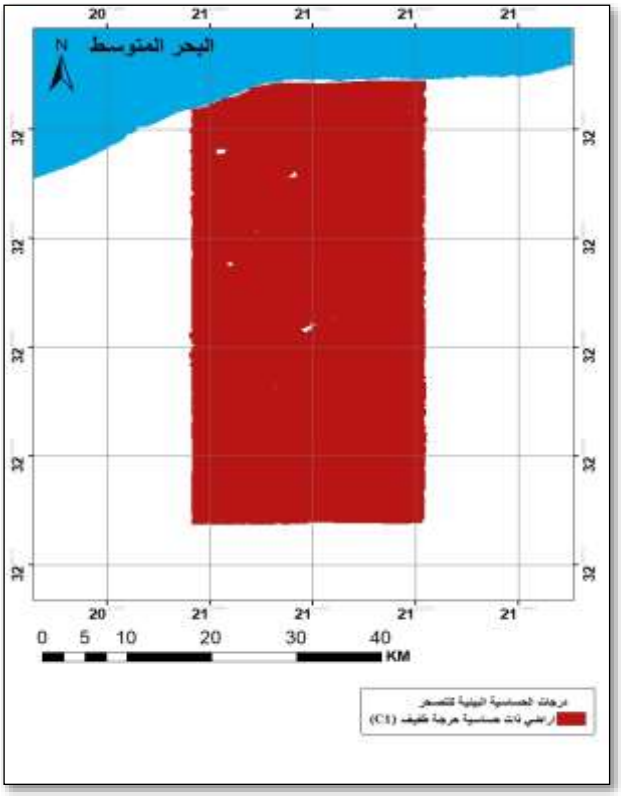
أن التشابه في نتائج السيناريوهات من الرقم 1 إلى الرقم 5 قد يكون راجع إلى ان قيم الاوزان لخاصية الحجارة علي السطح تراوحت ما بين 20 % و 25 % و 20 % و 10 % و 30 % للسيناريوهات 1 و 2 و3 و 4 و5 على التوالي، وانه بمجرد رفع قيم اوزان الحجارة علي السطح إلى 70 % و 80 % ، فان المساحات متوسطة الجودة لمؤشر جودة التربة في كل من السيناريو رقم 6 والرقم 7 زادت عن المساحات المصنفة متوسطة الجودة في السيناريوهات من الرقم 1 إلى الرقم 5، وهذا يدل عل ان خاصية وجود الحجارة على السطح كأحد خصائص التربة يعتبر عامل مؤثر في درجة جودة التربة في منطقة الدراسة، وبالتالي في حساسيتها للتصحر، وهذا يتوافق مع النتائج المتحصل عليها من الهباش (2022). والأشكال والجداول (11 و 12) يوضحوا درجات مؤشر جودة التربة والمساحات ونسبة تواجدها لكافة السيناريوهات.



شكل 11. درجات الحساسية البيئية للتصحر للسيناريوهات رقم 1 و 4 و5 في منطقة الدراسة.

جدول 11. درجات الحساسية البيئية للتصحر للسيناريوهات رقم 1 و 4 و5 في منطقة الدراسة.

درجات الحساسية البيئية للتصحر.	المساحة (الهكتار)	النسبة المئوية (%)
أراضي ذات حساسية حرجة طفيف	154050	79
أراضي ذات حساسية حرجة	40950	21



شكل 12. درجات الحساسية البيئية للتصحر للسيناريوهات رقم 2 و 3 و 6 و 7 و8 في منطقة الدراسة.

جدول 123. درجات الحساسية البيئية للتصحر للسيناريوهات رقم 2 و 3 و 6 و 7 و8 في منطقة الدراسة.

درجات الحساسية البيئية للتصحر	المساحة (الهكتار)	النسبة المئوية (%)
أراضي ذات حساسية حرجة طفيف	195000	100

الخاتمة

تُمثّل هذه الدراسة خطوة علمية وتطبيقية هامة في إطار تقييم الحساسية البيئية للتصحر وجودة التربة في منطقة شمال شرق ليبيا (عين حزام، قرية بطة، وتاكنس) الممتدة على مساحة 195,000 هكتار، ومن خلال الدمج المنهجي بين نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونموذج البحر المتوسط للتصحر واستعمال الأراضي(MEDALUS) ، واستخدام تقنية مقلوب المسافة الوزنية (IDW) وتحليل الحساسية القائم على الخبرة المحلية، قدمت الدراسة إطاراً مكانيّاً دقيقاً لرصد وتقييم تدهور الأراضي.

وقد خلُصت الدراسة إلى النتائج الرئيسية التالية:

1. **تقييم جودة التربة والحساسية البيئية :**أظهر تطبيق سيناريوهات التقييم المتبعة تصنيف المنطقة ضمن فئتين أساسيتين لجودة التربة (عالية الجودة ومتوسطة الجودة). وفيما يتعلق بالحساسية للتصحر، بيّنت النتائج استجابة المنطقة لسيناريوهات محددة أدت إلى بروز أصناف تُعاني من حساسيات متدرجة، تركزت في الغالب بين أراضٍ ذات حساسية حرجة وأخرى حرجة بدرجة طفيفة.
2. **أهمية الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة:**

- كشفت نتائج التخريط المكاني عن تباين واضح في عمق التربة يتراوح بين أربع مستويات (ضحلة جداً، ضحلة، متوسطة العمق، وعميقة)، مما ينعكس مباشرة على مدى استجابتها للتدهور.
- أظهرت مستويات المادة العضوية وقوام التربة تدرجاً بين الأصناف (فقيرة، متوسطة، وجيدة)، في حين أظهرت مادة الأصل تبايناً تراوح بين متوسطة وعالية الحساسية للتصحر.
- أثبت تحليل الحساسية أن منح وزن يتراوح بين 70–80% لخاصية الحجارة على السطح حقق أعلى درجات الدقة والواقعية، نظراً للانخفاض الطبيعي لنسبة الحصى والحجارة في تربة منطقة الدراسة.

3. **أثر التضاريس (الميل :**أظهرت نتائج تحليل الانحدار أن المنطقة تتوزع على أربعة مستويات تضاريسية (منبسط، قليل الانحدار، منحدر، وشديد الانحدار)، وهو ما يعزز فهم تداخل عوامل التعرية وتأثير الميل على زيادة الحساسية للتصحر.

المراجع

[1] الأمم المتحدة (UNCCD) . 1997. المؤتمر الثاني لقمة الأرض، نيويورك ، اتفاقية مكافحة التصحر.

[2] الأمم المتحدة ، مؤتمر قمة الأرض ،اتفاقية مكافحة التصحر ، (ريودي جانيرو، البرازيل ، 1992) .

[3] بن محمود، خالد رمضان. 1995. الترب الليبية (تكوينها - تصنيفها -خواصها - إمكانياتها الزراعية). الهيئة القومية للبحث العلمي .طرابلس، ليبيا.

[4] بن محمود، خالد رمضان. 2013. نحو استراتيجية وطنية لاستدامة الموارد الطبيعية وتعزيز الأمن الغذائي في ليبيا (محاولة لدعم اتخاذ القرار)، 123 صفحة.

[5] عبد الرحمن، فرج عبد الرحمن.، بوزيد، محمد عبد المنعم. 2023. تقييم أداء منهجية MEDALUS واختبار مدى وملائمتها لمنطقة جنوب طبرق. مجلة البان العلمية المحكمة. العدد (16) 219-237.

[6] القماطي، اسماء على احمد. 2020. تطبيق الإحصاء المكاني في تخريط بعض الخواص الكيميائية لترب المنطقة الشمالية الشرقية من ليبيا - حالة دراسية :عين حزام، قرية بطة، تاكنس. رسالة ماجستر . كلية الزراعة،جامعة طرابلس، ليبيا.

[7] الهباش، عواطف محمد الفرجاني. 2022. تطبيق نموذج البحر المتوسط وأستعمالات الأراضي (موديلس) بسهل الجفارة. رسالة ماجستير، كلية الزراعة، قسم التربة والمياه، جامعة طرابلس.

[8] Abd El-Aziz Salah .,H., Ahmed Gh.M. lbrahim; Esraa G.M. Okashaa and Alaa H. Abd El-Azem. 2023.Using a Modified Medlaus Model to Assess the Environmental Sensitivity for Desertification in El-Gallaba Plain, New Aswan City, Aswan, Egypt. Assiut Journal of Agricultural Sciences 54 (4) (286-303). ISSN: 1110-0486 / EISSN: 2356-9840.

[9] Boudjemline, F, Semar, A., 2018. Assessment and mapping of desertification sensitivity with MEDALUS model and GIS - Case study: basin of Hodna, Algeria. University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Department of Geography and Spatial Planning, Algiers, Journal of Water and Land Development.

[10] Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.

[11] Kosmas, C., Kirkby, M.J. and Geeson, N. eds. 1999. The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use: Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification. Directorate-General Science, Research and Development.

[12] Lahlaoi, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., and Moukrim, S. 2017. Desertification assessment using MEDALUS model in watershed Oued El Maleh, Morocco. Geosciences, 7(3), 50.

[13] McBratney, A. B., et al. (2003). On Digital Soil Mapping. Geoderma.

[14] Solkhozprom Export. Soil Ecological Expedition, USSR. 1980. Soil studies in the western and eastern zones. Secret of Agriculture. Reclamation and Land Development. Tripoli, Libya.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JIBAS** and/or the editor(s). **JIBAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.