ISSN 2789-4843

مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية

مجلة علمية محكمة تصدر عن الجمعية الجغرافية الليبية فرع المنطقة الوسطى

المجلد الخامس، العدد الأول، يناير 2025

WWW.LFGS.LY

مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية

مجلة علمية محكمة نصف سنوية

تصدر عن الجمعية الجغرافية الليبية – فرع المنطقة الوسطى

المجلد الخامس، العدد الأول، يناير 2025م

رئيس التحرير

أ. د. حسين مسعود أبومدينة

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. عبدالسلام أحمد الحاج	الاكاديمية الليبية/ بني وليد - ليبيا
د. عمر امحمد علي عنيبه	جامعة مصراتة - ليبيا
د. سليمان يحيى السبيعي	جامعة سرت - ليبيا
د. محمود أحمد زاقوب	جامعة الجفرة - ليبيا
د. بشير عبدالله بشير	المركز الوطني للأرصاد الجوية - ليبيا
د. علي مصطفى سليم	جامعة مصراتة - ليبيا
د. نوح محمد علي الصبابحة	جامعة اليرموك - الاردن
د. محمد عبدالمعتمد عبدالرسول	جامعة الوادي الجديد - مصر

المراجعة اللغوية

د. فوزية أحمد عبدالحفيظ الواسع

مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية

مجلة علمية محكمة نصف سنوية

تصدر عن الجمعية الجغرافية الليبية – فرع المنطقة الوسطى.

المجلد الخامس، العدد الأول : يناير 2025م

الموقع الإلكتروني للمجلة:

https://journal.su.edu.ly/index.php/jlgs
www.lfgs.ly

البريد الالكتروني:

Email: research@lfgs.ly
Email: jlgs@su.edu.ly

الدعم الفني والالكتروني:
أ . د. جمال سالم النعاس
د. صلاح محمد اجبارة م . سفيان سالم الشعالي

الغلاف من تصميم : أ. د. جمال سالم النعاس/ جامعة عمر المختار

دار الكتب الوطنية بنغازي - ليبيا

رقم الإيداع القانوني 557 / 2021م

ISSN 2789 - 4843

العنوان: الجمعية الجغرافية الليبية / فرع المنطقة الوسطى

مدينة سرت – ليبيا

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمجلة ليبيا للدراسات الجغرافية

جميع البحوث والآراء التي تنشر في المجلة لا تعبر إلا عن وجهة نظر أصحابها ، ولا تعكس بالضرورة رأي هيئة تحرير المجلة.

أعضاء الهيئة الاستشارية للمجلة:

أ .د. منصور محمد الكيخيا	رئيس الجمعية الجغرافية الليبية
أ. د. مفتاح علي دخيل	نائب رئيس الجمعية الجغرافية الليبية
أ. د. أبوالقاسم محمد العزابي	جامعة طرابلس - ليبيا
أ. د. امحمد سيتي	جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا -الجزائر
أ. د. أنور فتح الله عبدالقادر اسماعيل	الاكاديمية الليبية/ درنة - ليبيا
أ. د. جمال سالم النعاس	جامعة عمر المختار - ليبيا
أ. د. جمعة رجب طنطيش	جامعة طرابلس - ليبيا
أ. د. جميل الحجري	جامعة منوبة - تونس
أ. د. حمزة علي أحمد خوالدة	الجامعة الأردنية - الأردن
أ. د. خالد محمد بن عمور	جامعة عمر المختار - ليبيا
أ. د. رشيدة نافع	جامعة الحسن الثاني - المغرب
أ. د. سميرة محمد العياطي	جامعة طرابلس - ليبيا
أ. د. عبدالحميد صالح بن خيال	جامعة بنغازي - ليبيا
أ. د. عبداللطيف حمود النافع	جامعة الامام محمد بن سعود الإسلامية-السعودية
أ. د. لطفي كمال عبده عزاز	جامعة المنوفية - مصر
أ. د. مازن عبدالرحمن جمعة الهيتي	جامعة الأنبار – العراق
أ. د. مجيد ملوك السامرائي	جامعة تكريت -العراق
أ. د. محمد حميميد محمد	الجامعة الاسمرية الإسلامية - ليبيا
أ. د. محمد مجدي مصطفى تراب	جامعة دمنهور - مصر
أ. د. مصطفى أحمد الفرجاني	جامعة الزاوية - ليبيا
أ. د. مصطفى منصور جهان	الاكاديمية الليبية/ مصراتة - ليبيا
أ. د. مفيدة أبوعجيلة بلق	الاكاديمية الليبية/ طرابلس - ليبيا
أ. د. ناجي عبدالله الزناتي	جامعة طرابلس - ليبيا
أ. د. نسرين علي السلامة	جامعة دمشق - سوريا
أ. د. الهادي البشير المغيربي	جامعة الزاوية - ليبيا
أ. د. الهادي عبدالسلام عليوان	جامعة المرقب - ليبيا

القشرة البيولوجية للتربة في حوض وادي الرام باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد دراسة في جغرافية البيئة

https://doi.org/10.37375/jlgs.v5i1.3110

د. إبراهيم عبدالله درويش
أستاذ المخاطر الطبيعية ونظم المعلومات الجغرافية المساعد
قسم الجغرافيا/ كلية الآداب/ جامعة آب– اليمن
ibra.qads@gmail.com

الملخص:

يُعَدُّ تتبع وجود القشرة البيولوجية في التربة وتغير توزيعها مكانياً وزمانياً من الأمور المهمة في إدارة الأنظمة البيئية في المناطق الصحراوية، ويوفر معلومات ذات أهمية للغاية عن دراسة التصحر وتغير المناخ في البيئات الجافة، وبذلك تهدف الدراسة إلى كشف توزيع وتغير نمط توزيع القشرة البيولوجية للتربة في حوض وادي الرام باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن مساحة المنطقة التي تتصف بكثافة القشرة البيولوجية تغيرت بالموجب في مختلف الفترات، ومما يؤكد ذلك زيادة مساحة المنطقة التي تتصف بكثافة القشرة البيولوجية للتربة بنحو 33.3 كم^2 بين عامي 2000 – 1990، وازدادت مساحة هذه المنطقة بنحو 42.1 كم^2 بين عامي 2000 – 2018.

الكلمات المفتاحية: التربة، القشرة البيولوجية للتربة، حوض وادي الرام، الاستشعار عن بعد.

Biological Crust of Soil in Wadi AL-Ram Basin Using Remote Sensing Technology (Study in Environmental Geography

brahim Abdullah Qaid Darwish
Assistant Professor of Natural Hazards and GIS
Department of Geography and Geographic information system, Ibb University
ibra.qads@gmail.com

Abstract:

Following the existence of biological crust in the soil and changing its distribution spatially and temporally is important in the management of ecosystems in desert areas, It provides very important information on the study of desertification and climate change in dry environments, The aim of the research is to reveal the distribution and change of the distribution of the biological crust of the soil in Wadi Al-Ram basin using remote sensing technology, The results of the research found that the area of the area that is characterized by the density of the biological cortex changed by positive in different periods, This is confirmed by an increase in the area of the biological crust of the soil by 33.3 km^2 between 2000 and 1990, and the area increased by 42.1 km^2 between 2018 and 2000.

Keywords: Soil, Biological Soil crust, AL-Ram Wadi, Remote Sensing.

مقدمة:

تُعرف القشرة البيولوجية للتربة بالكائنات الحية، كالطحالب والبكتريا التي تعيش على سطح التربة في مجموعة من البيئات ذات الظروف الصحراوية والمعتدلة، وترتبط ارتباطاً وثيقاً بمكونات سطح التربة المعدنية، وتخلق طبقة أفقية رقيقة متماسكة، وهذه المجتمعات شائعة الانتشار في الأنظمة البيئية التي تتمتع بمدخلات عالية من الضوء في التربة السطحية بالبيئات الجافة، وتشكل نحو 40% من النظم الأيكولوجية الأرضية، ولكنها تحدث كسلسلة تتابعيه سريعة الزوال في معظم النظم الأيكولوجية الأرضية الأخرى غير الجافة.

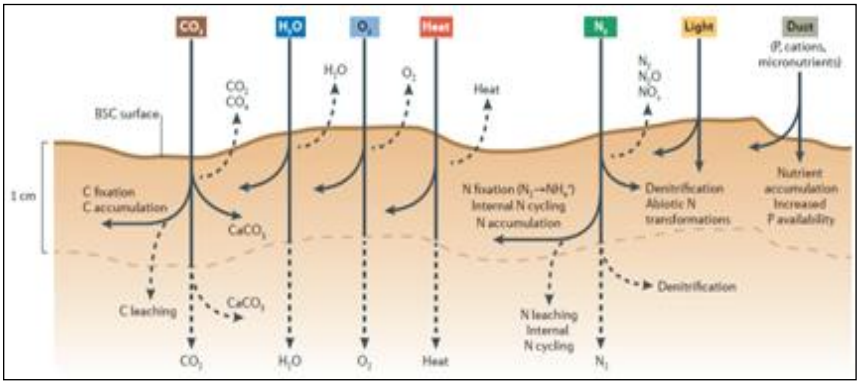
وعلى الرغم من وجود القشرة البيولوجية للتربة على سطح الأرض منذ بلايين السنين، لكنها لم تعرف إلا مؤخراً باعتبارها ذات تأثير كبير على النظم البيئية الأرضية، حيث تحتوي على اتحاد من الكائنات الحية في التربة التي تتشابه في الوظيفة والهيكل والتكوين. وتتكون قشور التربة البيولوجية من كائنات حية متعددة غير مترابطة تحدث على سطح التربة، وتشترك الأنواع المختلفة من الكائنات الحية التي تشكل القشرة في بعض السمات الفسيولوجية المهمة، كمقاومة الجفاف، والتوقف المؤقت عن التنفس دون آثار سلبية، على عكس النباتات، ومعظمها يوازن محتوى الماء مع الرطوبة الجوية أو محتوى رطوبة سطح التربة (Belnap, 2001, p.3).

وتفتقر أسطح التربة في الأراضي الجافة وشبة الجافة إلى حياة ذاتية التغذية، لكنها مغطاة بمجتمع من الكائنات العضوية على سطح الأرض التي تتكيف مع الجفاف، وتكون قادرة على تحمله، وتعرف هذه المجتمعات باسم قشرة التربة البيولوجية، وتشمل مجموعة معقدة من البكتيريا والطحالب وغيرها (Moghtaderi et al, 2011,p13)، وتؤثر القشرة البيولوجية على خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية، مثل الاستقرار الكلي، والاحتفاظ بالماء، وتثبيت الكربون العضوي، ومحتوى النيتروجين المرتبط بالعمليات الأولية للنظام الإيكولوجي، مثل توفر المياه وخصوبة التربة، ومع ذلك تعتمد الطريقة التي تقوم بها القشرة البيولوجية للتربة في تعديل خصائص التربة على نوعية هذه القشور (Chamizo, et al, 2012,p.96).

وتعتبر القشرة البيولوجية للتربة في المناطق الجافة وشبة الجافة كمهندس للأنظمة البيئية، كونها مسؤولة عن بنية وإمداد الماء للكائنات الحية، كما تحمي الكائنات من الاشعة فوق

البنفسجية، وتوفر عنصر الكربوهيدرات من التمثيل الضوئي في حالة عدم وجود الماء، إلى جانب حماية التربة من التعرية، وتجميع المواد العضوية وغير العضوية في طبقة التربة العليا، وتتحكم في تسرب المياه وجريانها، وتلعب أهمية في دورة النيتروجين والفسفور المحلي ودورة الكربون الأرضية (Lehnert, et al, 2018). وتوضح صور رقم (1) حركة مغذيات القشرة البيولوجية للتربة في المناطق الجافة وشبة الجافة.

صورة (1) ديناميكية المغذيات التي تقدمها القشور البيولوجية
داخل سطح التربة في الأنظمة البيئية الصحراوية.



المصدر: (Pointing & Belnap, 2012, p.559).

وتقلل القشرة البيولوجية للتربة أو تقضي تماماً على تعرية التربة بالرياح التي ينشط دورها على نطاق واسع في هذه المناطق، وتحفظ قشور التربة البيولوجية رطوبة التربة، وتثبت النيتروجين من الغلاف الجوي، وتوفر مناطق محمية للنباتات، ومن هنا تأتي أهمية قشور التربة في النظم البيئية الجافة (Miller et al, 2017, p2). وتلعب القشرة البيولوجية للتربة التي تغطي 35٪ من القارات، وتتجاوز 70٪ من الغطاء الحي في بعض المناطق، دوراً بيئياً مهماً في تطور أنظمة التربة والمياه في المناطق الجافة وشبه الجافة، وبالتالي أصبحت دراسة القشرة البيولوجية للتربة من موضوعات الجغرافيا الطبيعية الساخنة (Bu, et al, 2013, p899). وبسبب إفراز القشرة البيولوجية للتربة مواد تؤدي إلى تماسك حبيبات التربة فقد أصبحت تستخدم في المناطق الجافة، حيث تنتشر الترب الرملية للحد من تسرب ملوثات السطحية نحو المياه الجوفية وانتشارها في المحيط الحيوي، وبالتالي تكمن أهمية ذلك في

البيئات الجافة كحوض وادي الرام. لأنها كائنات حية في النظام البيئي، لها قدرة على الحياة في ظل الجفاف ودرجات الحرارة المرتفعة والإشعاع الشمسي والتغيرات المناخية (Dody, et al, 2011, p478). وبذلك تعتبر مهندس النظم أدنى ووسط حوض وادي الرام. لاسيما عندما تعزز الملوثات الغازية من نمو بعض النباتات الغريبة، حيث تحول القشرة البيولوجية للتربة من نشأة وتوسع هذا النوع من النباتات من خلال تثبيط نمو البذور، وتخفيض الانبات بنسبة تتراوح بين 54 – 93%، لكنها في الوقت نفسه توفر لها المياه والغذاء (Song, et al, 2017, p9441).

وبذلك تتصف الأنظمة البيئية السائدة في حوض وادي الرام خاصة أدنى الحوض بقلة الأمطار وشح المياه السطحية وندرة الغطاء النباتي وشدة جفاف التربة وارتفاع الحرارة ومعدلات التبخر؛ لذا تحتل قشور التربة البيولوجية جزءاً كبيراً من سطح التربة أدنى ووسط الحوض، وبالتالي تكمن أهمية دراسة القشرة البيولوجية للتربة في حوض وادي الرام من قدرتها على استقرار وتثبيت حبيبات الترب الرملية الجافة وشبة الجافة، التي تنتشر وتغطي أدنى ووسط حوض وادي الرام من خلال إفراز مواد تؤدي إلى تماسك حبيبات التربة.

وبذلك تركز هذه الدراسة على تحليل توزيع القشرة البيولوجية للتربة وتغيراتها المكانية والزمانية في حوض وادي الرام الذي يصنف مناخياً وبحسب تصنيف ديمارتون بموقع غالبية مساحته خاصة في الأجزاء العليا من الحوض ضمن المناطق شبة الجافة بينما يقع الجزء الأدنى منه ضمن المناطق الجافة، وسوف تستخدم الدراسة في تحقيق ذلك مرئيتي لاندسات (5) لعامي 1990 و2000، ومرئية لاندسات عام (2018)، وتم استخلاص مواضع انتشار القشرة البيولوجية للتربة باستخدام مؤشر (BSCI)، وتم تحليل التغيرات التي طرأت عليها باستخدام خوارزمية (Change Difference).

أدبيات الدراسة:

ازداد الاهتمام بدراسة القشرة البيولوجية للتربة مع تزايد الاهتمام بدورها البيئي، وكانت هناك دراسات قليلة نسبياً نشرت حول استخدام الاستشعار عن بعد لاكتشافها وتخطيط توزيعاتها، وكان كل من: (Wessels & Vuuren) أول من استخدما مرئيات لاندسات (TM) لاكتشاف وتخطيط قشور التربة البيولوجية عام 1986 جنوب أفريقيا، وازداد الاهتمام الإيكولوجي بالقشرة البيولوجية للتربة في المناطق الصحراوية خلال العقدين

الماضيين، حيث أُجريت عدة دراسات لاستقصاء الخصائص الطيفية لقشور التربة البيولوجية وتصنيفها ورسم خرائطها، ومنها:

استخدم (Karnieli, et al, 2001) الاستشعار عن بعد لدراسة القشرة البيولوجية للتربة، وتناول (Pichel, et al, 2003) التوزيع العمودي للكتلة الحيوية البكتيرية، والتنوع في قشور التربة البيولوجية في المنطقة الجافة بهضبة كولورادو، وتوصل إلى أن (سم) الأعلى من التربة يحتوي على مجموعات بكتيرية كبيرة غير نمطية أكبر بعشرات الأضعاف من تلك الموجودة في التربة العميقة. وتطرق (Yuanming, et al, 2005) لأنماط توزيع القشرة البيولوجية للتربة في صحراء الصين باستخدام مرئيات لاندسات (7)، وتوصلت الدراسة إلى أن غالبية مساحة القشرة البيولوجية للتربة 28.7% تتركز جنوب الصحراء، وتتدرج نحو الإجزاء الشمالية والغربية والشرقية. واستخدم (Chen, et al, 2005) مؤشر جديد لرسم خرائط القشرة البيولوجية للتربة في المناطق الصحراوية بالاعتماد على مرئيات لاندسات، وتوصلت نتائج الدراسة لوجود دقة بلغت 94.7% في الكشف عن القشرة البيولوجية للتربة في الصحاري البادرة في الصين باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد. وتناول دراسة (Zhang, et al, 2007) أنماط التوزيع المكاني للقشرة البيولوجية للتربة في صحراء شمال (شينجيانغ) الصين، وأكدت نتائج هذا الدراسة كثافة القشرة البيولوجية للتربة جنوب الصحراء، في حين يقل توزيعها في بقية المناطق.

واستخدم (Weber, et al, 2008) طريقة جديدة لرسم خرائط القشرة الحيوية للتربة في المناطق شبة الجافة باستخدام المرئيات عالية الدقة، وتم الاستناد في ذلك على بيانات المجال الطيفي والملاحظات الميدانية، وتوصلت النتائج الى أن 16.2% من إجمالي مساحة المنطقة قيد الدراسة تغطى بالقشرة البيولوجية للتربة. واستخدمت دراسة (Moghtaderi, et al, 2011) مرئيات (Aster) وطريقة التقييم الرياضي في اكتشاف القشرة البيولوجية للتربة وسط إيران، وتوصلت نتائج الدراسة إلى قدرة مرئيات (Aster) في الكشف عن القشرة البيولوجية للتربة في المنطقة. واهتمت دراسة (Caballero, et al, 2012) بتأثير القشرة البيولوجية للتربة على خشونة السطح وآثارها على الجريان السطحي والتعرية، وأكدت النتائج علاقة القشرة البيولوجية للتربة بسعة التخزين السطحي. وتناولت دراسة (Bu, et al, 2013) القشرة البيولوجية للتربة،

وركزت على مدى أهميتها في تثبيت الكربون والنيتروجين، ومراقبة أنماط توزيعها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. وقيمت دراسة (Alonso, et al, 2014) المؤشرات الطيفية المختلفة لرسم خرائط القشرة البيولوجية للتربة باستخدام مرئيات الأقمار الصناعية، وتمت المقارنة على نطاقين مختلفين من حيث المساحة والنظام البيئي. ودرس (Rosas, et al, 2014) المجتمعات المجهرية المرتبطة بالقشرة البيولوجية للتربة في صحراء شمال غرب المكسيك، واعتمد الدراسة على أخذ نحو 25 عينة من التربة من ثلاثة مواقع، وأظهرت النتائج أن انعدام التغطية النباتية أثرت على الظروف البيئية للأحياء الدقيقة. وحدد (Rozenstein & Karnieli, 2015) القشرة البيولوجية للتربة في البيئة الصحراوية للكثبان الرملية عبر الحدود الفلسطينية المصرية، واستخدم الدراسة أجهزة استشعار حرارية أرضية لفصل القشور عن الرمال من خلال انشاء مؤشر طيفي في تحقيق ذلك. ودرس (الزايط، محمد، 2014) القشرة الحيوية للتربة بهضبة الجبل الأخضر: أنماطها ودورها في استعمالات الأرض الزراعية، حيث تم معرفة عدد من هذه المكونات، وتصنيفها والعوامل المؤثرة في انتشارها، ودورها في تطور استعمال الأرض من خلال تحسين خصائص التربة وتطوير النظام البيئي. وقدر (Lehnert, et al, 2018) التمثيل الضوئي للقشرة البيولوجية للتربة في صحراء اتكاما باستخدام الاستشعار عن بعد، وتوصلت نتائج الدراسة لوجود اختلافات طيفية بين انواع قشور التربة البيولوجية المختلفة.

مشكلة الدراسة:

على الرغم من أهمية القشرة البيولوجية للتربة ودرها في استقرار النظم البيئية بالذات ادنى ووسط حوض وادي الرام، إلا إنه لا توجد أي دراسة جغرافية أو بيولوجية تغطي هذا الموضوع، وبالتالي تحاول هذه الدراسة سد هذه الثغرة، من خلال تحليل توزيع القشرة البيولوجية للتربة وتغيراتها في الحوض، بما قد يؤثر في النظم البيئية؛ سواء في استقرار التربة، أو تباين خصوبتها، وتغذية النبات، وحركة الجريان السطحي، والتقليل من تلوث المياه الجوفية، وانتشار النباتات الغريبة وغيرها، ويعزز من مشكلة الدراسة ما تعانيه القشرة البيولوجية للتربة في المناطق الجافة وشبة الجافة خلال المدة الأخيرة من مختلف أنواع الاضطرابات كالاحترار العالمي، والأنشطة البشرية المكثفة في عدد من المناطق، وبذلك أصبحت مسألة الحفاظ على قشرة التربة البيولوجية أولوية في إدارة المناطق الجافة وشبة الجافة، لذا لابد من رسم خريطة

التوزيع المكاني للقشرة البيولوجية للتربة بدقة، ومراقبة التغير الزمني لها باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد.

أهمية الدراسة:

تعتبر القشرة البيولوجية للتربة رائدة في النظم البيئية الجافة وشبه الجافة، لأنها تستعمر التربة السطحية من خلال اندماجها مع حبيبات سطح التربة، وبالتالي تقوم بتجميع واستقرار سطح التربة ضد تعرية الرياح والمياه، وتلعب دوراً مهماً في الدورة الهيدرولوجية للجريان السطحي، وتؤثر على خصوبة التربة عن طريق تثبيت الكربون، وتوفر العناصر الغذائية المناسبة للنبات من خلال رفع خصوبة التربة، والرطوبة، ودرجة الحرارة.

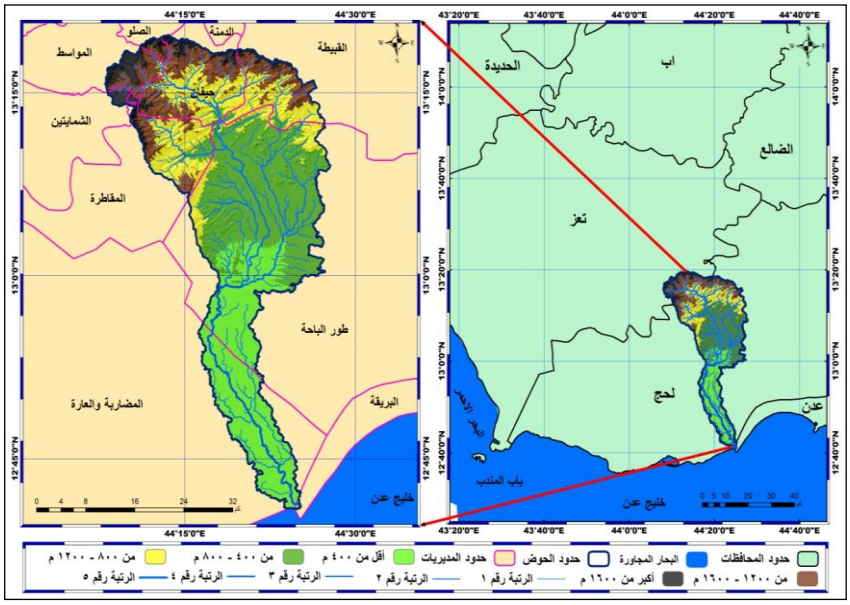
وتسهم بيانات الاستشعار عن بعد في كشف نمط توزيع وتخطيط القشرة البيولوجية للتربة، بما يتيح الفرصة لتوسيع الدراسات البيئية الخاصة بكل مواقعها على نطاق إقليمي، وبما يقلل من الوقت والتكاليف المرتبطة بالمسوح الأرضية، لاسيما مع تزايد الاهتمام بالدور البيئي الذي تقوم به القشرة البيولوجية للتربة خاصة فيما يتعلق بتأثيرها في خصائص التربة واستقرارها الكلي، والتحكم في حركة وتوفير المياه السطحية، وتثبيت الكربون العضوي، والنيتروجين وخصوبة التربة وغيرها، ومع ذلك هناك عدد قليل من الدراسات العربية المتعلقة باكتشاف القشور البيولوجية للتربة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، ومن هنا تأتي أهمية هذا الدراسة.

منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي الرام جنوب غرب اليمن، ويمتد من المنطقة الجنوبية لمحافظة تعز عبر بمديريات (المواسط والصلو والشمايتين وحيفان)، ويتحرك نحو الجنوب في محافظة لحج عبر مديرات (القبيطة والمقاطرة وطور الباحة والمضاربة والعارة)، ليصب في خليج عدن بمديرية البريقة غرب محافظة عدن، ويقع الحوض فلكياً كما يوضح شكل رقم (1) بين دائرتي عرض 12.56° - 13.31° شمالاً، وخطي طول 44.13° - 44.47° شرقاً، بمساحة بلغت 1133.1 كم^2، وتبدأ الروافد العليا للحوض من مرتفعات قدس التابعة لمديرية (المواسط) والاشعوب التابعة لمديرية (الصلو) والاعبوس والاعروق والاثاور والاحكوم التابعة لمديرية (حيفان)، والمداحج التابعة لمديرية (الشمايتين)، واليوسفين التابعة لمديرية (القبيطة)، والأكاحلة والأشبوط والصوالحة والزعازع والزعيفة والمدجرة وبعيمة والحنشة والاشاهية ومعبق

والانبوه التابعة لمديرية (المقاطرة)، ويصب بمديرية البريقة غرب محافظة عدن.

شكل (1) موقع منطقة الدراسة.



المصدر: الباحث بالاعتماد على طبقات (Shapfile) للمديريات والمحافظات، ونموذج ارتفاع رقمي للقمر الصناعي (SRTM).

هدف الدراسة:

رصد توزيع القشرة البيولوجية للتربة وتغير توزيعها بين عامي 1990 – 2018، في حوض وادي الرام باستخدام الاستشعار عن بعد، ولتحقيق هذا الهدف اتبع الدراسة المنهجية الآتية.

منهجية الدراسة:

أكدت الدراسات السابقة أن بيانات الاستشعار عن بعد تمتلك خصائص طيفية متميزة في الأشعة المرئية الخضراء والحمراء وتحت الحمراء القريبة، مما يتيح باستخدام التحليل الطيفي والاستشعار عن بعد لرسم خريطة توزيع القشرة البيولوجية للتربة في النظم البيئية المماثلة لبيئة الحوض، وقد استخدمت عدة مؤشرات طيفية لتحديد القشرة البيولوجية للتربة، وبالتالي يمكن الكشف عن مناطق انتشارها وتغير كثافتها من المرئيات الفضائية باستخدام

البصمة الطيفية المميزة لمكونات هذه القشرة. وتزداد أهمية استخدام المرئيات الفضائية مع تطوير مؤشرات طيفية لاشتقاق القشرة الحيوية للتربة من المرئيات، وعليه فقد اقترح كارنيلي (1997) مؤشراً لرسم خريطة القشرة البيولوجية للتربة التي تسيطر عليها البكتيريا (Zhang, et al, 2007,p.600). وبما أن قشور التربة البيولوجية تتكون من طحالب وفطريات وبكتيريا بسمك يتراوح بين 2 – 15 ملم تقريباً ولها خصائص طيفية مختلفة، وبالتالي فإن استشعار القشرة البيولوجية عن بعد مفيد في رسم خرائطها كمتغير بيئي، ومن ثم في تقييم التربة والبيئة معاً (Panah, et al, 2016.p.7).

وبذلك فقد استخدمت الدراسة منهجية التحليل المكاني القائمة على بيانات الاستشعار عن بعد وتقنية نظم المعلومات الجغرافية لتحقيق هدفها، وعليه فقد تدرجت منهجية الدراسة على النحو الآتي:

أ) جمع المرئيات الفضائية: في البداية قامت الدراسة بجمع بيانات المرئيات الفضائية، وتتمثل بالحصول على نموذج ارتفاع رقمي (DEM) للقمر (SRTM) بدقة مكانية 30 م، من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، وكذلك تم الحصول على ثلاثة مرئيات فضائية لثلاثة أعوام، الأولى والثانية مرئيتين للقمر لاندسات (5) بالمستشعر (TM) الأولى ملتقطة بتاريخ (1990/6/4)، والثانية التقطت بتاريخ (2000/6/15)، أما المرئية الثالثة فهي للقمر الصناعي لاندسات (8) بالمستشعر (OLI) الملتقطة بتاريخ (2018/6/1)، وتم الحصول على هذه مرئيات لاندسات من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (https://earthexplorer.usgs.gov/) بتاريخ (2018/6/15).

ب) معالجة المرئيات الفضائية: تحتوي مرئيات الاستشعار عن بعد على ثروة كبيرة من المعلومات التي تتعلق بظاهرات سطح الأرض، لذا قبل تطبيق معادلة مؤشر القشرة البيولوجية للتربة بغرض إنتاج خرائط القشرة البيولوجية للتربة في الحوض، وبما أن المرئيات الفضائية تلتقط بشكل رقمي؛ كان لابد أن تخضع مرئيات لاندسات للمعالجة الرقمية على مستويي النطاقات المفردة والمدمجة لتحويل قيم (DN) إلى قيم إشعاعية، من خلال استخدام بعض الأساليب الإحصائية، أو تقنيات المعالجة الحاسوبية لإجراء سلسلة من عمليات المعالجة على بكسلات المرئيات لتحسينها، أي تحسين جودتها، وقابليتها للقراءة، بما يساعد على تحليل نتائجها بشكل فعال، واستخراج أدق التفاصيل المتعلقة بالقشرة البيولوجية للتربة في الحوض،

وعليه بدأت الدراسة بمعالجة بيانات نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام اداة (FILL) لاستكمال قيم الارتفاع ببعض الخلايا، وأداة (Mosaic to New Raster) لدمج عدة لوحات من نموذج الارتفاع الرقمي تشترك في تغطية الحوض، أعقبها استخدام ادوات هيدرولوجي (Hydrology) في برنامج (Arc GIS 10.6) لاشتقاق شبكة مجاري الاودية، وبالتالي اشتقاق أو تحديد حوض حوض وادي الرام.

في المقابل تضمنت معالجة مرئيات لاندسات في هذا الدراسة: التصحيح الإشعاعي لزاوية اشعة الشمس والتضاريس أثناء التقاط المرئيات، والتصحيح الجوي لغرض التقليل من التأثيرات الجوية في امتصاص وتشتت الإشعاع، والتصحيح الهندسي وجميعها تهدف إلى استعادة المرئيات وإعادة بنائها، كما تم تحسين الدقة المكانية لمرئية لاندسات (8) من خلال دمج نطاقاتها مع النطاق البنكروماتي رقم (8)، ومن ضمن معالجة دمج نطاقات كل مرئية لنحصل على مرئيات مدمجة مكونه من 7 نطاقات لمرئتي لاندسات (5)، و 12 نطاق مدمج من مرئية لاندسات (8) لاجل تحسين جودتها وعرضها بتراكيب لونية مختلفة، ومن ضمن خطوات المعالجة عمل موازييك لعدد من اللواحات بكل مرئية تشترك في تغطية منطقة الدراسة، وأخيرًا تم الاقتطاع من مرئيات لاندسات على حدود منطقة الحوض، وتمت معالجة المرئيات بواسطة تقنيات المعالجة الحاسوبية في برنامج (ERDAS IMAGINE 15).

ج) اشتقاق خرائط القشرة البيولوجية للتربة: بعد الانتهاء من معالجة النطاقات المفردة لكل مرئية استخدمت الدراسة حاسبة (Raster Calculator) في برنامج نظم المعلومات الجغرافية (Arc GIS 10.6) ونطاقات الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريبة والخضراء لتطبيق معادلة مؤشر القشرة البيولوجية للتربة بالصيغة الرياضية الآتية:

$$BSCI = \frac{(1 - L) * (R - G)}{meanG * R * NIR}$$ (Chen, et al, 2005, p.169).

حيث (BSCI) مؤشر القشرة البيولوجية للتربة، NIR, R, G تشير إلى انعكاسات الأشعة الخضراء والحمراء وتحت الحمراء القريبة على التوالي، أما (L) معيار تصحيح لتقوية الفرق بين انعكاس الأشعتين الخضراء والحمراء، ويتراوح بين (2-4) عندما يكون البسط في المعادلة سالب، $^{mean}G*R*NIR$ متوسط النطاقات الأخضر والأحمر وتحت الأحمر القريب.

مناقشة نتائج الدراسة:

أولاً: القشرة البيولوجية للتربة في الحوض عام 1990:

تعتبر القشرة البيولوجية للتربة جزء مهم من عمليات النظم البيئية في الأراضي الجافة، لأنها تغطي معظم سطح التربة، وتتوسط جميع مدخلات ومخرجات التربة بهذه المناطق، وهناك عدد من الوظائف التي تلعبها في الأراضي الجافة، منها التقاط العناصر الغذائية، والتأثير على حركة وتوزيع المغذيات والمياه داخل التربة الجافة، والقدرة على بناء المجتمعات النباتية، وخلق نقاط ساخنة للتنوع البيولوجي، وإمكانية استخدامها كمؤشر لمدى صحة التربة (Belnap, et al, 2016.p3). وتوضح الصور رقم (2) أشكال القشرة البيولوجية للتربة.

صورة (2) القشرة البيولوجية للتربة.

المصدر: (U.S. Geological Survey).

وبذلك تظهر نتائج تطبيق مؤشر القشرة البيولوجية للتربة للكشف عن توزيعها في حوض وادي الرام باستخدام مرئية لاندسات (5) لعام 1990 في الشكل رقم (2) تركز القشرة البيولوجية للتربة في أدنى الحوض، حيث تسود التضاريس المنخفضة ذات السطح شبة المستوي، وحيث يسود المناخ الجاف إذ تقل كمية الأمطار عن 100 ملم سنوياً، وترتفع متوسط درجات الحرارة السنوي عن 30°م والتبخر والملوحة. وللقشرة البيولوجية للتربة قدرة على البقاء مع درجة حرارة تصل الى 70°م، وفي تربة عالية الملوحة أو الحموضة، وتقوم بدور أساسي في اعادة تشكيل التربة وتثبيتها وإخصابها والمحافظة على عناصرها المعدنية، وتكون موطناً ملائما للتنبت (الغامدي، 2008، 124).

وتقل القشرة البيولوجية للتربة تدريجياً كلما اتجهنا نحو المنطقة الوسطى من الحوض، حيث تتراوح كمية الأمطار بين 100 – 300 ملم سنوياً، وتختفي بشكل شبة كلي في

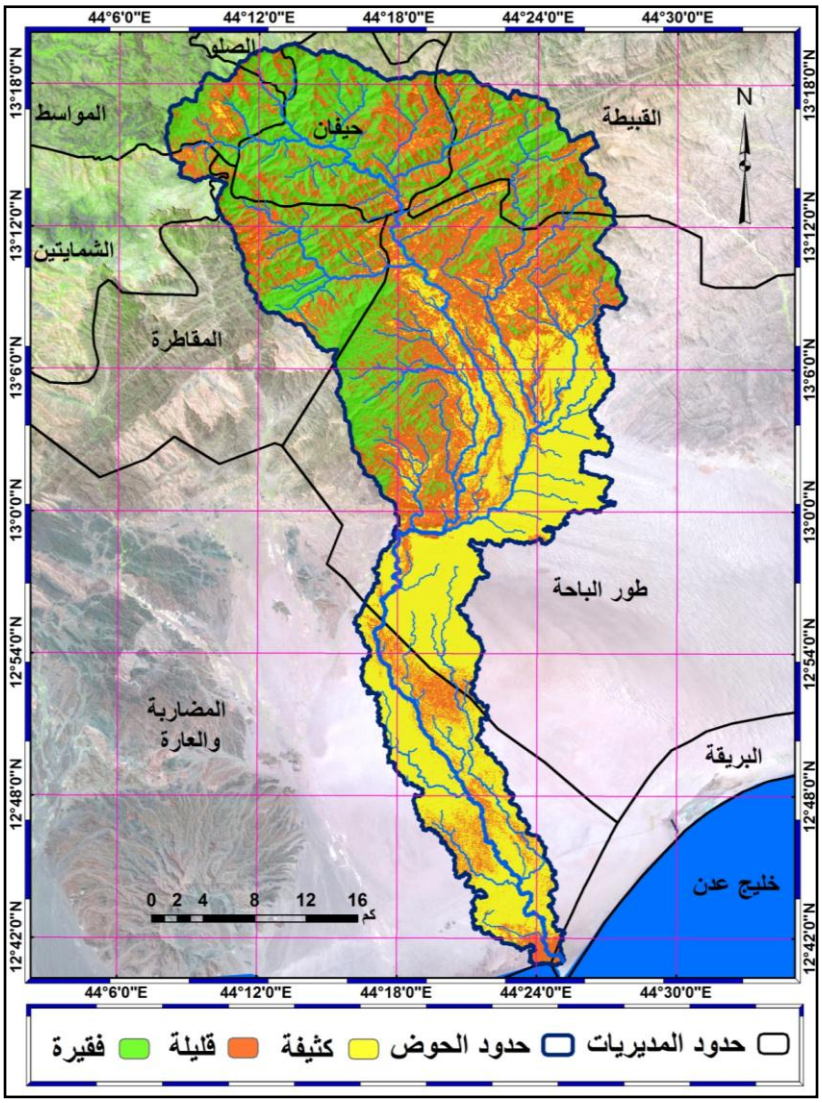
أعالي الحوض، حيث تتراوح كمية الأمطار بين 300 – 600 ملم سنوياً، وتظهر القشرة البيولوجية للتربة في أعالي الحوض بهضبة الكدرة في مديرية المواسط شمال غرب الحوض، وتتفق هذه النتائج مع عدة من أن قشور التربة البيولوجية تغطي المناطق الأكثر جفافًا. وتتكون من حبيبات التربة والبكتريا والطحالب والفطريات، وهي من أهم مكونات النظام البيئي في الأراضي الجافة، حيث تسهم في تثبيت واستقرار التربة، وحمايتها من التعرية المائية والريحية، وتعمل على تثبيت النيتروجين والكربون، ولها علاقات معقدة مع النبات. (Rozenstein & Karnieli, 2015, p.75).

وبذلك تقع المنطقة التي تتصف بكثافة عالية للقشرة البيولوجية للتربة أدنى الحوض بمساحة بلغت 380 كم^2، بنسبة 33.5% من إجمالي مساحة الحوض، ويوضح شكل رقم (2) انتشار القشرة البيولوجية للتربة في مديريتي طور الباحة والمضاربة والعارة بمحافظة لحج، مما يعني مدى أهميتها في النظم البيئية لهذه المنطقة، لاسيما فيما يتعلق باستقرار وحماية التربة من التعرية.

وبلغت مساحة المنطقة التي تتصف بقلة القشرة البيولوجية للتربة 416.9 كم^2، بنسبة 36.8% من إجمالي مساحة الحوض، ويظهر الشكل رقم (2) انتشارها بشكل واضح جنوب الحوض بمديريتي طور الباحة والمضاربة والعارة، وبصورة أقل في المديريات الواقعة وسط الحوض كالقبيطة وحيفان والمقاطرة.

كما بلغت مساحة المنطقة التي تفتقر للقشرة البيولوجية للتربة 336.1 كم^2، بنسبة 29.7% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع في مديريات المواسط والصلو وغرب حيفان في أعالي الحوض.

شكل (2) القشرة البيولوجية للتربة في الحوض عام 1990م.



المصدر: الباحث بالاعتماد على مرئية لاندسات (5)، 1990.

ثانياً: القشرة البيولوجية للتربة في الحوض عام 2000:

تظهر القشرة البيولوجية للتربة في كل مكان في المناطق الجافة وشبة الجافة، حيث تعيش على الجفاف الشديد، وكثيراً ما تشتمل هذه الكائنات على جزء كبير من صافي تبادل النظم البيئية، حيث تقلل من التعرية وتوفر استقرار التربة، وتحتفظ بمياه التربة، وتتراكم

المغذيات في هذه المناظر الطبيعية ذات الغطاء النباتي المنخفض.(Ustin, et al, 2014.p.2). وتوضح صورة رقم (3) طرق انتشار القشرة البيولوجية للتربة.

صورة (3) انتشار القشرة البيولوجية في التربة والصخور بالمناطق الجافة وشبة الجافة.

المصدر: (Pointing & Belnap, 2012, p.554).

وبذلك تؤكد نتائج الكشف عن توزيع القشرة البيولوجية للتربة في حوض وادي الرام باستخدام مرئية لاندسات (5) لعام 2000 في الشكل رقم (3) ما سبق تأكيده باستخدام مرئية لاندسات لعام 2000 من تركز القشرة البيولوجية في أدنى الحوض حيث ينخفض ارتفاع التضاريس، ويندر وجود الغطاء النباتي، ويسود المناخ الجاف الذي تقل كمية أمطاره عن 100 ملم سنوياً.

ويظهر الشكل رقم (3) تراجع كثافة القشرة البيولوجية للتربة بشكل واضح كلما اتجهنا من المنطقة الدنيا للحوض نحو المنطقة الوسطى، حيث تزداد كثافة الغطاء النباتي مع تزايد كمية الأمطار التي تتراوح في هذه المنطقة بين 100 – 300 ملم سنوياً.

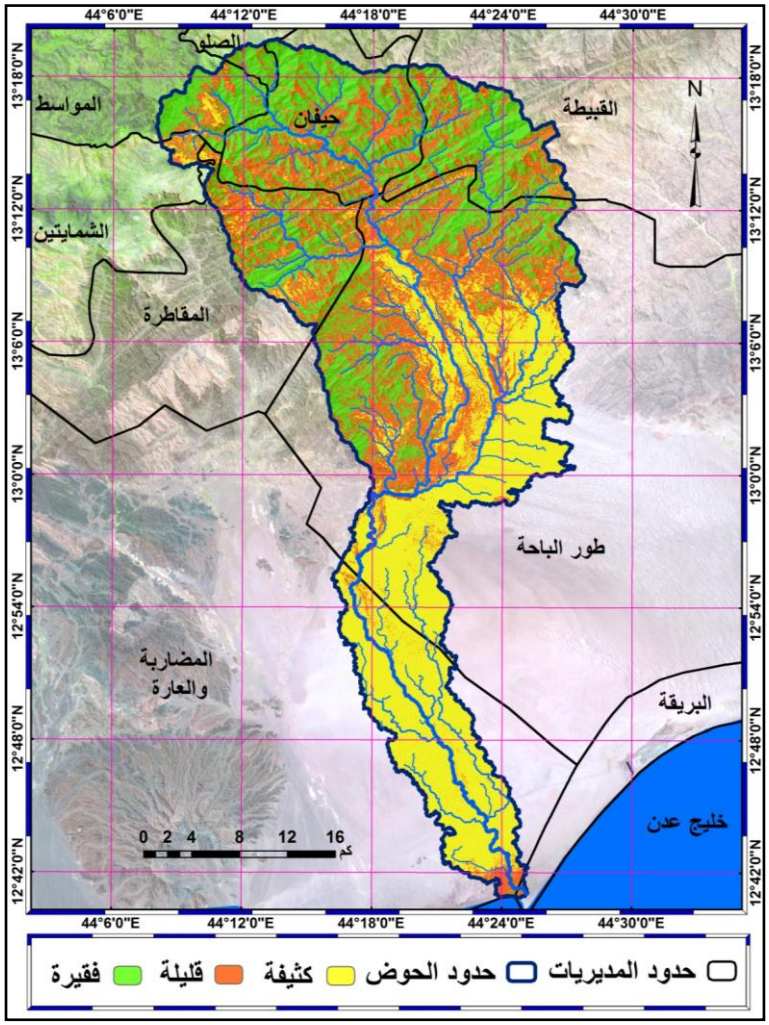
وتكاد تختفي القشرة البيولوجية للتربة بشكل شبة كلي إلا من بعض النتؤات الصغيرة هنا وهناك في أعالي الحوض، ويترافق ذلك مع زيادة كثافة الغطاء النباتي المرتبط في الأساس بارتفاع كمية الأمطار التي تتراوح بين 300 – 600 ملم سنوياً، ومن أهم المناطق التي تتواجد فيها القشرة البيولوجية للتربة في أعالي الحوض هضبة الكدرة الواقعة في مديرية المواسط، وهضبة ذبحان الواقعة في مديرية الشمايتين شمال غرب الحوض.

بلغت مساحة المنطقة التي تتصف بكثافة القشرة البيولوجية للتربة عام 2000 نحو 413.3 كم^2، بنسبة 36.5% من إجمالي مساحة الحوض، بزيادة قدرها 33.3 كم^2 عن عام 1990، ويبرز الشكل رقم (3) انتشار القشرة البيولوجية للتربة شرق مديرية المضاربة

والعارة ووسط مديرية طور الباحة بمحافظة لحج، وأجزاء صغيرة بمديريتي المواسط والشمايتين في محافظة تعز، مما يعني أهميتها في النظم البيئية الجافة لهذه المنطقة.

وبلغت مساحة المنطقة التي تتصف بقلة القشرة البيولوجية للتربة 385 كم^2، بنسبة 34% من إجمالي مساحة الحوض، بتراجع بلغ 31.9 كم^2 عن عام 1990، ويوضح الشكل رقم (3) انتشارها بشكل واضح في مصب الحوض بمديرية المضاربة والعارة، وبمساحة أقل في مديريات طور الباحة والقبيطة وحيفان والمقاطرة.

شكل (3) القشرة البيولوجية للتربة في الحوض عام 2000م.



المصدر: الباحث بالاعتماد على مرئية لاندسات (5)، 2000.

وبلغت مساحة المنطقة التي تفتقر للقشرة البيولوجية للتربة عام 2000 نحو 334.8 كم2، بنسبة 29.5% من إجمالي مساحة الحوض، بتراجع بلغ 1.3 كم^2 عن عام 1990، وتقع هذه المنطقة في مديرات الصلو والمواسط وحيفان وشرق الشمايتين في أعالي الحوض.

ثالثاً: القشرة البيولوجية للتربة في الحوض عام (2018):

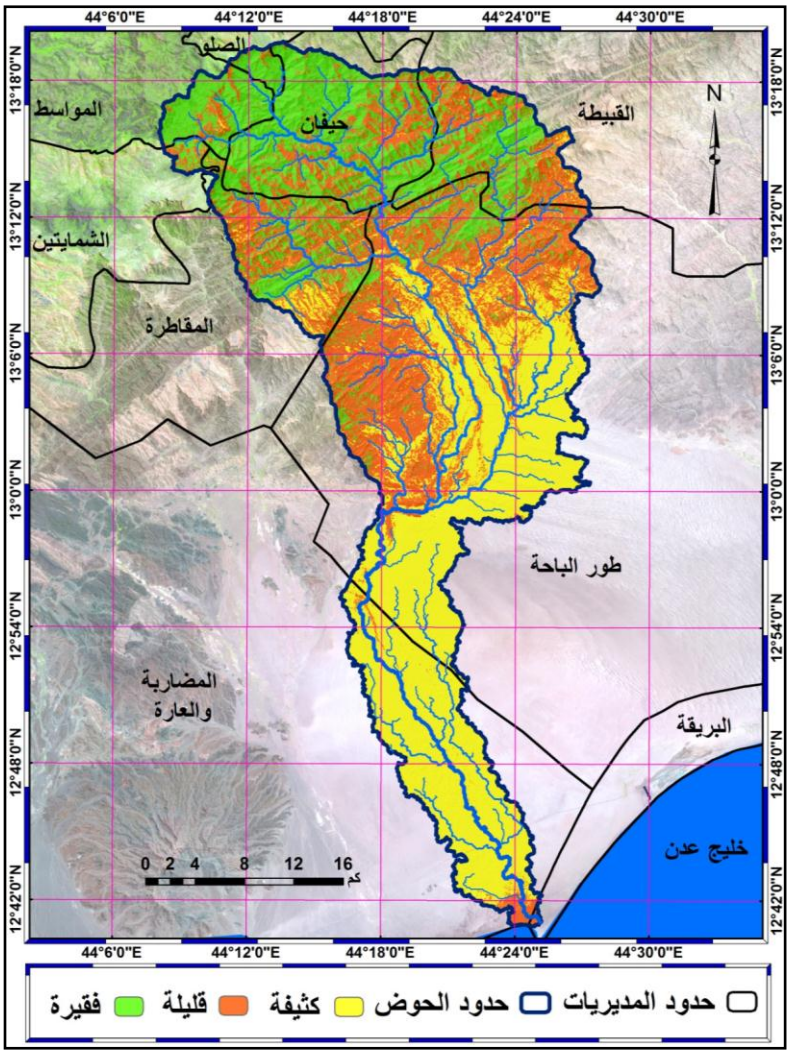
يتصف الغطاء النباتي في الأراضي الجافة وشبة الجافة بندرته، ومع ذلك لا يكون سطح التربة في المناطق الخالية من الغطاء النباتي مجرد من الكائنات الحية، لكنها تغطى بمجموعة من الكائنات عالية التخصص، تعرف باسم قشور التربة البيولوجية، وهي عبارة عن فسيفساء معقدة من البكتيريا والطحالب التي تنسج الشعيرات الزرقاء والميكروفلوجية عبر بضعة مليمترات من التربة، وتلتصق بجزيئات التربة لتشكل مصفوفة تعمل على استقرار وحماية سطح التربة من التعرية (Belnap, 2001, p.1) .

أكدت نتائج الكشف عن توزيع القشرة البيولوجية للتربة في حوض وادي الرام باستخدام مرئية لاندسات (8) لعام 2018 في الشكل رقم (4) ما سبق تأكيده من كشف نمط توزيع القشرة البيولوجية للتربة باستخدام مرئيتي لاندسات لعامي 1990، 2000 المتمثل بتركز توزيعها في أدنى الحوض، حيث يقل ارتفاع التضاريس، وتسود التكوينات الرملية، ويتناثر الغطاء النباتي، ويسود المناخ الجاف حيث تقل كمية الأمطار عن 100 ملم سنوياً.

كما يوضح الشكل رقم (4) تراجع مساحة القشرة البيولوجية للتربة بوضوح كلما اتجهنا من أدنى الحوض نحو المنطقة الوسطى مع ازدياد كثافة الغطاء النباتي المرتبط في الأساس بزيادة كمية الأمطار التي تتراوح في هذه المنطقة بين 100 – 300 ملم سنوياً.

وتكاد تختفي القشرة البيولوجية للتربة بشكل شبة كلي باستثناء خلايا صغيرة جداً في أعلى الحوض، ويترافق ذلك مع زيادة كثافة الغطاء النباتي، وارتفاع كمية الأمطار التي تتجاوز 300 ملم سنوياً، ومن أهم المناطق التي تواجدت فيها القشرة البيولوجية للتربة عام 2018 في أعالي الحوض هضبة الكدرة الواقعة في مديرية المواسط.

شكل (4) القشرة البيولوجية للتربة في الحوض عام 2018م.



المصدر: الباحث بالاعتماد على مرئية لاندسات (8)، 2018.

وبذلك بلغت مساحة المنطقة التي تتصف بكثافة القشرة البيولوجية للتربة عام 2018 نحو 455.4 كم^2، بنسبة 40.2% من إجمالي مساحة الحوض، بزيادة قدرها 42.1 كم^2 عن عام 2000، وتأتي هذه الزيادة على حساب تراجع مساحة الغطاء النباتي في الحوض، ويظهر الشكل رقم (4) انتشار القشرة البيولوجية للتربة شرق مديرية المضاربة والعارة، وفي المنطقة الوسطى بمديرية طور الباحة، وجنوب شرق مديرية المقاطرة، وأجزاء صغيرة في هضبة

الكدرة بمديرية المواسط، وتعزز القشرة البيولوجية هذه المناطق من جودة التربة من خلال تجمع جزئياتها والحد من تعريتها بالرياح والمياه، وتزيد من درجة حرارة سطح التربة، وتعدل نظام حركة وتسرب المياه السطحية، وبالتالي تؤثر بقوة على الدورة الهيدرولوجية من خلال تغيير التوازن بين جريان المياه والتسرب، وتزيد من خصوبة التربة.

وبلغت مساحة المنطقة التي تتصف بقشرة بيولوجية قليلة في سطح التربة 380.7 كم^2، بنسبة 33.6% من إجمالي مساحة الحوض، بتراجع بلغ 4.3 كم^2 عن عام 2000، ويوضح الشكل رقم (4) انتشارها بشكل واضح في مصب الحوض بمديريتي البريقة والمضاربة والعارة، وبمساحة أقل في مديريات طور الباحة والقبيطة وحيفان والمقاطرة. وبلغت مساحة المنطقة التي تفتقر للقشرة البيولوجية للتربة عام 2018 نحو 297 كم^2، بنسبة 26.2% من إجمالي مساحة الحوض، بتراجع بلغ 37.8 كم^2 عن عام 2000، وتتركز المنطقة التي تفتقر للقشرة البيولوجية للتربة بمديرات المواسط والشمايتين والصلو وحيفان في أعالي الحوض.

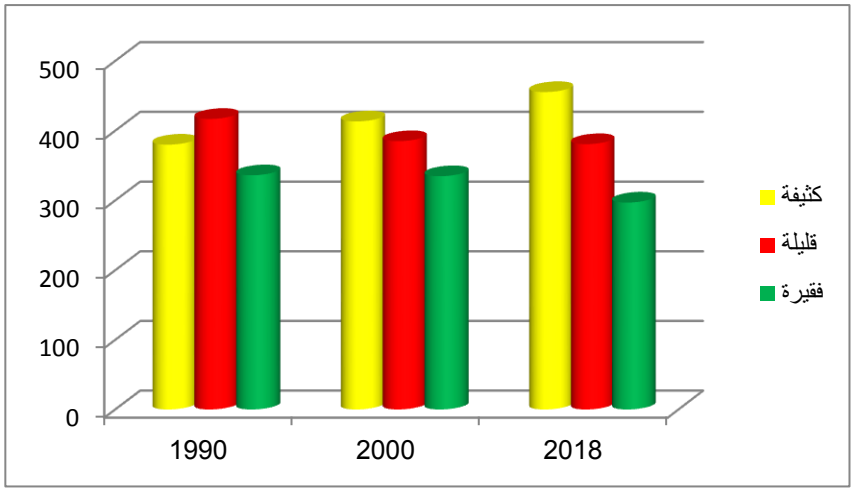
رابعاً: تغيرات القشرة البيولوجية للتربة بين (1990– 2018):

يوضح الشكل رقم (5) تغير نمط توزيع ومساحة فئات القشرة البيولوجية للتربة في الحوض، حيث زادت مساحة المنطقة التي تتصف بكثافة القشرة البيولوجية للتربة بنحو 33.3 كم^2 بين عامي 2000 – 1990، وزادت بنحو 42.1 كم^2 بين عامي 2018 – 2000 أي أن مساحة المنطقة التي تتصف بكثافة القشرة البيولوجية تغيرت بالموجب في مختلف الفترات.

في الوقت نفسه تراجعت مساحة المنطقة التي تتصف بقلة انتشار القشرة البيولوجية للتربة بنحو 31.9 كم^2 بين عامي 2000 – 1990، وتراجعت بنحو 4.3 كم^2 بين عامي 2018 – 2000 أي أن مساحة المنطقة التي تتصف بمحدودية انتشار القشرة البيولوجية تغيرت بالسالب في مختلف الفترات.

وشهدت المنطقة التي تتصف بافتقارها إلى انتشار القشرة البيولوجية للتربة للتراجع بنحو 1.3 كم^2 بين عامي 2000 – 1990، وتراجعت بنحو 37.8 كم^2 بين عامي 2018 – 2000 أي أن مساحة المنطقة التي تتسم بفقرها للقشرة البيولوجية تغيرت بالسالب في مختلف الفترات.

شكل (5) تغير نمط توزيع القشرة البيولوجية للتربة في الحوض بين عامي 2018 – 1990م.



المصدر: الباحث بالاعتماد على الاشكال (2، 3، 4).

استنتاجات الدراسة:

اتفقت جميع نتائج التحقق من نمط توزيع القشرة البيولوجية للتربة في حوض وادي الرام باستخدام مرئيات لاندسات لثلاث سنوات 1990، 2000، 2018، خلال مدة بلغت نحو 38 عام من أن القشرة البيولوجية للتربة تتركز في المنطقة الدنيا من الحوض، حيث تتوافر جميع مقومات انتشارها لاسيما المناخ الجاف، وتقل كلما اتجهنا نحو المنطقة الوسطى من الحوض، وتكاد تنعدم في أعالي الحوض حيث المناخ شبة الجاف، ومن ضمن استنتاجات الدراسة أن حوض وادي الرام يعاني من اتساع دائرة الجفاف، وما قد يترتب على ذلك من مخاطر، ومما يؤكد ذلك اتساع مساحة المنطقة التي تتصف بوجود قشرة بيولوجية كثيفة بين عامي 1990 – 2018. وتعتبر القشرة البيولوجية للتربة مهندس النظم ادنى ووسط الحوض، حيث تلعب القشرة البيولوجية للتربة ادنى الحوض دورًا مهمًا في المحافظة على توازن الانظمة الأيكولوجية واستقرارها كالحد من مظاهر تدهور التربة، وثبات حبيباتها واحتفاظها بالماء، وارتفاع محتوياتها من الكربون العضوي والنيتروجين، وكلاهما يعزز من خصوبة التربة، وتكمن أهمية القشرة البيولوجية الكثيفة بهذه المناطق في تحقيق التوازن الايكلوجي لمختلف النظم البيئية في مقدمتها التربة؛ في ظل ندرة الغطاء النباتي، وقلة الأمطار، وارتفاع درجات الحرارة، ومعدلات التبخر والنتح أدنى ووسط حوض وادي الرام. وتلعب القشرة البيولوجية

للتربة دورًا مهمًا في التخفيف من مخاطر التعرية الريحية للتربة، وتوفر مناطق محمية لنمو بعض النباتات أدنى ووسط الحوض، وتطور أنظمة التربة والمياه والحد من تسرب الملوثات نحو المياه الجوفية، وتقلل من مخاطر النباتات الغريبة بهذه المناطق، حيث تحول القشرة البيولوجية للتربة من نشأة وتوسع هذا النوع من النباتات من خلال تثبيط نمو بذورها، وتخفيض الإنبات.

توصيات الدراسة:

– توصي الدراسة باتباع سياسات مناسبة لمواجه مخاطر الجفاف في الحاضر والمستقبل في المناطق التي تفتقر للقشرة البيولوجية للتربة بصورة عامة، لاسيما أعلى الحوض الذي قد يتعرض لمخاطر التصحر وتدهور التربة بسبب افتقارها للقشرة البيولوجية للتربة.

– المحافظة على انتشار القشرة البيولوجية للتربة أدنى ووسط حوض وادي الرام بسبب دورها في المحافظة على توازن النظم البيئية كخصائص التربة وقدراتها على الاحتفاظ بالماء والإنتاج ومستوى خصوبتها، والتقليل من مظاهر تعرية وتدهور التربة.

– تعزيز الظروف البيئية لاستمرارية توافر القشرة البيولوجية للتربة وكثافتها أدنى ووسط حوض وادي الرام، بسبب توفر الظروف البيئية المناخية والنباتية التي يمكن إن تعزز من عدم استقرار النظم البيئية، لاسيما التعزيز من مخاطر التصحر وتعرية التربة وتدهور قدرات النظم البيئية بهذه المنطقة.

المصادر والمراجع:

- الزايط، نفيسة، ومحمد، عبدالرحمن: (2016)، **القشرة الحية للتربة بهضبة الجبل الأخضر: أنماطها ودورها في استعمالات الأرض الزراعية**، مجلة العلوم والدراسات الإنسانية، جامعة بنغازي، العدد، 11.

- الغامدي، سعد أبو رأس: (2008)، **مراقبة التصحر في أجزاء من غرب المملكة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد**، مجلة جامعة الملك سعود للعلوم الزراعية، المجلد، 20.

- Alonso.M, Rodríguez.C.E, Chamizo.S, Escribano.P, Cantón.Y: (2014), Evaluation of the different spectral indices to map biocrust using spectral information, Revista de teledetección Asociación Española de Teledetección, Vol, 42, pp.79-98.

- Belnap.J, Kaltenecker.J.K, Rosentreter.R, Williams.J, Leonard.S, Eldridge.D: (2001), Biological Soil Crusts: Ecology and Management, U.S. Department of the Interior Bureau of Land Management U.S. Geological Survey.

- Belnap.J, Weber.B, Budel.B:(2016), Biological Soil Crusts as an Organizing Principle in Drylands, Ecological Studies, Vol,226, pp.3-13.

- Bu.C, WU.S, Xie.Y, Zhang.X: (2013), The Study of Biological Soil Crusts: Hotspots and Prospects, Clean soil air water, Vol,41, Iss,9, pp.899-906.

- Caballero.E.R, Cantón.Y, Chamizo.S, Afana.A, Benet.A.S: (2012), Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion, Geomorphology, Vol, 145–146, PP. 81-89.

- Chamizo.S, Cantón.Y, Miralles.I, Domingo.F: (2012), Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems, Soil Biology & Biochemistry, Vol, 49,pp. 96-105.

- Chen.J, Zhang.M.Y, Wang.L, Shimazaki.H, Tamura.M: (2005), A new index for mapping lichen-dominated biological soil crusts in desert areas, Remote Sensing of Environment, Vol, 96, pp.165 – 175.

- Dody.A, Hakmon.R, Asaf.B, Zaady.E: (2011), Indices to monitor biological soil crust growth rate—lab and field experiments, Natural Science, Vol.3, No.6, pp. 478-483.

- Karnieli.A, Kokaly.R.F, Wese.N.E, Clark.R.N: (2001), Remote Sensing of Biological Soil Crusts, Ecological studies, Vol, 150, pp. 431-455.

- Lehnert.L.W, Jung.P, Obermeier.W.A, Budel.B: (2018), Estimating Net Photosynthesis of Biological Soil Crusts in the Atacama Using Hyperspectral Remote Sensing, Remote Sens, Vol, 10,pp.1-17.

- Miller.S, Warren.S, Clair.L.S: (2017), Don't Bust the Biological Soil Crust: Preserving and Restoring an Important Desert Resource, United States Department of Agriculture, January/ February 2017 | Issue 23.
- Moghtaderi.A, Moore. F, Taghavi, S, Rezaei. R: (2011), The application of ASTER imageries and mathematical evaluation method in detecting cyanobacteria in biological soil crust, Chadormalu area, central Iran. Iran. J. Sci. Technol. 1, 13-28.
- Rosas.J.V, Vargas.J.G.P, Maya.Y:(2014), Microarthropod communities related with biological soil crusts in a desert scrub in northwestern Mexico, Revista Mexicana de Biodiversidad, Vol, 85,pp. 513-522.
- Rozenstein. O, Karnieli.A: (2015), Identification and characterization of Biological Soil Crusts in a sand dune desert environment across IsraeleEgypt border using LWIR emittance spectroscopy,Journal of Arid Environments,Vol,112, pp. 75-86.
- Song.G, Li.X, Hui.R: (2014), Biological soil crusts determine the germination and growth of two exotic plants, Ecol Evol. Vol. 7(22).
- Panah.S.K.A, Damavandi.A, Rezaei.A, Hamzeh.S:(2016), Remote sensing application in evaluation of soil characteristics in desert areas, Natural Environment Change, Vol, 2, pp.1-24.
- Pointing.S.B, Belnap.j: (2012), Microbial colonization and controls in dryland systems, Nature Reviews Microbiology, Vol, 10, pp.551-562.
- Pichel.F.G, Johnson.S.L, Youngkin.D, Belnap.J: (2003), Small-Scale Vertical Distribution of Bacterial Biomass and Diversity in Biological Soil Crusts from Arid Lands in the Colorado Plateau, Microbial Ecology, Vol 46, pp 312–321.
- USGS, Landsat satellite images (5, 8), accessed on (6/15/2018), (https://earthexplorer.usgs.gov/).
- USGS, Digital Elevation Model, (SRTM), accessed on (6/15/2018), (https://earthexplorer.usgs.gov/).
- Ustin.S.L, Santos.M.J, Kefauver.S.C, Whiting.M.L, Remote Sensing of biological soil crust under simulated change, https: //www.researchgate.net/publication/229042040.
- Yuanming.Z, Jin.C,Xueqin.W, Huixia.P, Zhihui.G, Borong. P: (2005), The Distribution Patterns of Biological Soil Crust in Gurbantunggut Desert, Acta Geographica Sinica, Vol, 60, Issue, (1), pp. 53-60.
- Weber.B, Olehowski.C, Knerr.T, Hill.J: (2008), A new approach for mapping of Biological Soil Crusts in semidesert areas with hyperspectral imagery, Remote Sensing of Environment, Vol, 112 (5), pp.2187-2201.
- Zhang. Y. N., Chen. j., Wang. L., Wang, X. Q., Gu, Z. H: (2007), The spatial distribution patterns of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern Xinjiang, China, Journal of Arid Environments, Vol, 68,pp. 599–610.