LJEEST
ISSN 2710-5237
www.srcest.org.ly/jou

المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology(LJEEST)

DOI: https://doi.org/10.63359/hzfy0d15

تقييم ملوحة التربة وتغيراتها في حوض وادي موزع محافظة تعز باستخدام التقنيات الجيومكانية

ابراهيم عبد الله قائد درويش

ARTICLE INFO

Vol. 7 No. 3 Dec., 2025

Pages A(17- 26)

Article history:
Revised form 07 September 2025
Accepted 12 October 2025

Authors affiliation
Department of Geography and Geographic Information Systems, Ibb University, Yemen
ibra.dr2000@gmail.com

Keywords:
Soil Salinity, Spectral Indicators, Remote Sensing, Wadi Mawza, Taiz Governorate.

© 2025
Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.

الملخص

تعتبر ملوحة التربة أحد أكثر عمليات تدهور الأراضي شيوعاً، لاسيما في المناطق الجافة وشبة الجافة، حيث يتجاوز معدل التبخر كمية هطول الأمطار. وفي ظل هذه الظروف المناخية، تتراكم الأملاح القابلة للذوبان في سطح التربة، مما يؤثر على خصائصها، وتراجع قدراتها الإنتاجية. لذا تهدف هذه الدراسة الى تقييم ملوحة التربة ومعرفة تغيراتها المكانية والزمانية في حوض وادي موزع بين عامي 2000 – 2023، باستخدام مرئيات لاندسات 5، 8، وتطبيق عدد من المؤشرات الطيفية لاشتقاق طبقات ملوحة التربة، وكشف التغيرات التي طرأت عليها خلال هذه المدة، وتمثيل ذلك مكانياً من خلال رسم خرائط ملوحة التربة، وتحديد مواضع واتجاه تغيرات ملوحة التربة، بما قد يساعد الجهات التخطيطية في وزارة الزراعية والري من وضع حلول مناسبة لمعالجة مشكلة تدهور التربة بالملوحة. وعليه فقد توصلت نتائج الدراسة إلى أن تربة الحوض تتعرض للتدهور بالملوحة بين مدة وأخرى، ومما يؤكد ذلك التغير السلبي لمساحة التربة غير المالحة، والتي تراجعت خلال هذه المدة بنحو 120.1 كم^2، والتغير الايجابي لمساحة كل من: التربة قليلة الملوحة التي زادت بنحو 41.8 كم^2، والتربة معتدلة الملوحة بزيادة بلغت 29 كم^2، والتربة عالية الملوحة التي زادت مساحة تغطيتها بحوالي 49.2 كم^2 من إجمالي مساحة الحوض.

Assessment of Soil Salinity and Its Variability in the Wadi Mawza Basin, Taiz Governorate, Using Geospatial Techniques

Ibrahim Abdullah Qaid Darwish

Soil salinity is one of the most common land degradation processes, especially in arid and semi-arid regions, where evaporation rate exceeds amount of rain. under these climatic conditions, soluble salts accumulate on the soil surface, affecting its properties and reducing its productive capacity. Therefore, this study aims to evaluate soil salinity and identify its spatial and temporal variability in Wadi Mawza basin between 2000- 2023, using Landsat 5, 8 images, and applying a number of spectral indicators to derive soil salinity layers, identify the changes that occurred during this period, and represent this spatially by drawing soil salinity maps, and determining the locations, rate and direction of soil salinity changes, which may help planning authorities in Ministry of Agriculture and Irrigation to develop appropriate solutions to address the problem of soil degradation due to salinity. Accordingly, the study results concluded that the basin soil is exposed to deterioration due to salinity from time to time, and what confirms this is the negative change in the area of non-saline soil, which decreased during this period by about 120.1 km^2, and the positive change in the area of each of: slightly saline soil, which increased by about 41.8 km^2, moderately saline soil, which increased by 29 km^2, and highly saline soil, which increased its coverage area by about 49.2 km^2 of total area basin

المقدمة

ملوحة التربة واحدة من اخطر مشاكل البيئة التي تؤثر على عدد من مناطق العالم، حيث تؤكد منظمة الاغذية والزراعة (F.A.O)، ومنظمة اليونسكو التابعة للأمم المتحدة أن إجمالي مساحة الاراضي ذات الترب المالحة في العالم نحو 322.9 مليون هكتار، منها 69.5 مليون هكتار في افريقيا، 53.1 مليون هكتار في الشرق الأدنى والأوسط، وتمثل المناطق المتأثرة بالملوحة 20٪ من الأراضي المروية في العالم، بينما يرتفع الرقم إلى أكثر من 30٪ في الأراضي الجافة وشبه الجافة.

وتختلف الإحصاءات حول المناطق الملحية في العالم، حيث تؤكد التقديرات أن مليار هكتار بنسبة 7٪ من هذه المناطق تتأثر بالملح الطبيعي كونها تقع بالمدى القاري للأرض، ونحو 77 مليون هكتار تتملح بفعل الأنشطة البشرية، وينتشر تملح التربة بمعدل 2 مليون هكتار/سنة، وهو ما يقابل جزءاً كبيراً من المحاصيل التي يمكن إنتاجها باستخدام أفضل الممارسات الإدارية (Ivushkin, 2014, p.1). وتزاد مشكلة تملح التربة في المناطق الجافة وشبة الجافة بسبب أن 40% من ترب هذه المناطق معرضة للتملح بأشكال مختلفة (موصلي، 1983، 225). ويحضى تدهور التربة الزراعية بفعل العوامل الطبيعية والبشرية باهتمامات كبيرة، لأنه يهدد استدامة نظم إنتاج الغذاء (Scudiero *et al*, 2015, p.335).

ويعتبر تملح التربة من أهم المشاكل البيئية في المناطق الجافة وشبة الجافة، فهو شكل من أشكال تدهور ترية المناطق الزراعية، وعليه فان توفير معلومات عن مدى وحجم ملوحة التربة، مهمة لتحسين تخطيط وتنفيذ برامج فعالة لاستصلاحها. ويؤدي تبخر الرطوبة من سطح أو أعماق التربة الضحلة، وعدم كفاية الأمطار السنوية للتخلص من الأملاح في المنطقة الجذرية للنبات إلى تراكم الأملاح القابلة للذوبان في ترية المناطق الجافة وشبة الجافة، مما يضعف من نجاح هذه الأراضي (Abdelfattah *et al*, 2009, p.343).

وتتأثر ترية البيئات الجافة بالأملاح، اما بسبب الري أو ارتفاع معدلات التبخر، فمساحات كبيرة تتحول سنوياً إلى أراضي غير منتجة لأسباب طبيعية أو بفعل أنشطة الإنسان، ويؤدي تراكم الأملاح في طبقة التربة العليا، إلى الحد من أنماط استخدام الأرض الزراعية، كونها خطر بيئي شديد يؤثر على نمو عدة محاصيل. وتعد ملوحة التربة مشكلة خطيرة في المناطق التي تستخدم فيها المياه الجوفية ذات المحتوى العالي من الأملاح لأغراض الري (Zewdu *et al*, 2017, 92).

وتقلل الملوحة من قدرة التربة على الإنتاج، فالملوحة العالية تحد من قدرة النبات في الحصول على المياه من التربة، مما يؤثر سلباً على نمو المحاصيل والإنتاجية، ويقود في نهاية المطاف إلى تدهور التربة. وتحدث ملوحة التربة في المناطق الجافة وشبة الجافة بسبب الري والزراعة الكثيفة، وتعد واحدة من أكثر المشاكل خطورة بين مظاهر تدهور التربة (Akramkhanov, 2011, p.55). وملوحة التربة تعني تركز كبير للمركبات الكيمائية مثل كلوريد وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم في التربة، وبالتالي تسمى التربة بالملحية (اصيلح، 2015، 2). أو أنها عملية تراكم الأملاح في سطح التربة والمنطقة الجذرية للنبات، مما يتسبب في آثار ضارة على النبات والتربة، يتبعه انخفاض الغلال، وفي النهاية عقم التربة (Lhissou *et al*, 2014, p.82).

وتتفوق تقنية الاستشعار عن بعد على الطريقة التقليدية في تقييم ملوحة التربة حيث تقدم تقييم سريع أكثر إفادة ومهنية لرصد ورسم خرائط ملوحة التربة، ويمكن تحديد ملوحة التربة من بيانات الاستشعار عن بعد التي تم الحصول عليها بواسطة مستشعرات مختلفة عن طريق المؤشرات المباشرة التي تشير إلى خصائص الملح الظاهرة على سطح التربة، أو من خلال المؤشرات غير المباشرة مثل وجود النباتات الملحية، وتقييم مستوى أداء المحاصيل التي تتحمل الملوحة. ويستخدم التصوير الجوي والأشعة تحت الحمراء والبيانات المتعددة الأطياف مثل بيانات لاندسات في اكتشاف ملوحة التربة وتغيراتها (Allbed & Kumar, 2013. p.374).

يعتبر حوض وادي موزع من أكثر الأحواض الزراعية أهمية على مستويي اليمن ومحافظة تعز، ويقع الحوض بمنطقة تمتاز بتركز كبير للسكان، حيث تأتي محافظة تعز في المرتبة الأولى من حيث عدد السكان في اليمن، وفي المرتبة الثانية من حيث كثافة السكان، لذا فأن اكتشاف ملوحة التربة من المرئيات الفضائية من الأمور المهمة لإدارة تربة الحوض التي تعد من أهم الموارد المتجددة، ويعتبر الحوض سلة غذائية لعدد كبير من سكان محافظة تعز، فضلاً عن نمو عدد السكان، وزيادة الضغط على الموارد الطبيعية كالتربة التي تتعرض للتدهور بمظاهر مختلفة يأتي في مقدمتها تملح التربة، وهذا يعني اتساع الفجوة بين احتياجات سكان الحوض من الغذاء وكمية الإنتاج سنوياً.

وتطرقت عدد من الأدبيات لملوحة التربة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، حيث تناولت دراسة (Madani, 2005) ملوحة التربة ومراقبتها باستخدام مرئيات لاندسات في واحة سيوة (مصر) عامي 1987، 1999، وتوصلت النتائج إلى زيادة ملوحة التربة بمقدار الضعف خلال هذه المدة. واستخدم (Dehni & Lounis, 2012) الاستشعار عن بعد لتحديد الترب المتأثرة بالملوحة دراسة تطبيقية على منطقة وهران في الجزائر، واستخدمت الدراسة مرئيات لاندسات (7)، وعدد من المؤشرات الطيفية لاكتشاف ملوحة التربة. وتناول (Allbed & Kumar, 2013) تخطيط ورصد ملوحة التربة في المناطق الجافة وشبة الجافة باستخدام الاستشعار عن بعد، وكان هدف الدراسة مناقشة مؤشرات ملوحة التربة والطرق المستخدمة لرصدها لرسم خريطة تملح التربة في المناطق الجافة وشبة الجافة. وتطرق (Moreira *et al*, 2015) لإمكانية استخدام البيانات متعددة الاطياف للكشف عن الترب التي تعاني من التملح في البرازيل من خلال استخدام مرئيات لاندسات (8)، وأظهرت نتائج الدراسة انتشار الترب الملحية بمناطق سطوع التربة بدلاً من نطاقات الامتصاص. ورصد (Narmada *et al*, 2015) ملوحة التربة من حيث الاستجابة الطيفية في ضواحي كودالور باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتم اكتشاف تباين ملوحة التربة وتغيراتها من مرئيات لاندسات (5، 7) لثلاث فترات (97، 2000، 2009)، واعتمدت عدة مؤشرات طبفية لتحقيق اهدافها. وقيم (Elhag, 2015) خرائط ملوحة التربة في النظم البيئية الجافة بالمملكة العربية السعودية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، وتم تطبيق العديد من مؤشرات الملوحة، وتقيمها للكشف عن ملوحة التربة، وتم إنتاج خرائط موضوعية لملوحة التربة بصورة مرضية. وتنبأ (Gorji *et al*, 2015) بملوحة التربة ورصدها ورسم خرائطها باستخدام التقنيات الحديثة، واستخدمت الدراسة صور الأقمار الصناعية في إنتاج خرائط ملوحة التربة، اما بالاعتماد على مؤشرات الملوحة التي تولدها النطاقات الطيفية المختلفة، أو باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي. وقيم (Iqbal & Mastorakis, 2016) ملوحة التربة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بمنطقة زراعة القطن والقمح في باكستان، واستخدمت الدراسة عدد من مؤشرات الملوحة والنبات.

ورسم (Azabdaftari & Suna, 2016) خرائط ملوحة التربة في منطقة أضنه، تركيا، باستخدام بيانات لاندسات (7) بين عامي 2009 – 2010، واعتمدت عدة مؤشرات لتحقيق ذلك منها مؤشر اختلاف الملوحة الطبيعي، ومؤشر السطوع، ومؤشر الملوحة. ونمذج (Ibrahim, 2016) ملوحة التربة ورسم خرائطها في المناطق الجافة وشبة الجافة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد، واعتمدت الدراسة على عدة مؤشرات للملوحة والغطاء النباتي لإنتاج خرائط تملح التربة من مرئيات لاندسات 8. ورسم (Elhag & Bahrawi, 2017) خرائط ملوحة التربة وتقييم مؤشرات الجفاف الهيدرولوجي في البيئات الجافة بحوض وادي الدواسر بالمملكة العربية السعودية بتقنيات الاستشعار عن بعد، واستخدمت الدراسة مرئيات لاندسات (8) لمعرفة مؤشرات الغطاء النباتي الاكثر استجابة لملوحة التربة. ونمذج (Asfaw *et al*, 2023) ملوحة التربة ورسم خرائطها باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: حالة مزرعة قصب السكر في ونجي اثيوبيا، واستخدمت الدراسة ستة مؤشرات تتعلق بالملوحة والنبات لتحقيق هدفها، وتوصلت إلى فاعلية بيانات الاستشعار عن بعد في نمذجة وكشف التباين المكاني لملوحة التربة. وقدر (Tran *et al*, 2023) ترسب الملوحة في دلتا نهر ميكونغ (فيتنام) باستخدام مرئيات (Landsat 8)، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن ملوحة التربة المشتقة من المرئيات متسقة مع نتائج الدراسة الميدانية.

يعاني حوض وادي موزع من تدهور الموارد بسبب زيادة السكان، وتقلبات المناخ بالذات الحرارة والأمطار، ويؤدي ضغط السكان على الموارد من خلال ممارسة الزراعة الكثيفة، والرعي الجائر، وإتباع اساليب الري التقليدية، إلى ارتفاع ملوحة التربة، التي تؤدي على المدى الطويل إلى الحد من نمو وتطور المحاصيل الزراعية، وتحد الملوحة العالية للتربة بالذات أدنى الحوض من قدرة النبات في الحصول على المياه، وهذا يعني فشل زراعة كثير من المحاصيل، وما ينجم عن ذلك من هجر الترب المالحة، وتعد ظاهرة تملح التربة ظاهرة ديناميكية ينبغي مراقبتها بانتظام، لمعرفة توزيعها

وتغيراتها زمانياً ومكانياً، ويمكن تحقيق ذلك من خلال مرئيات الاستشعار عن بعد.

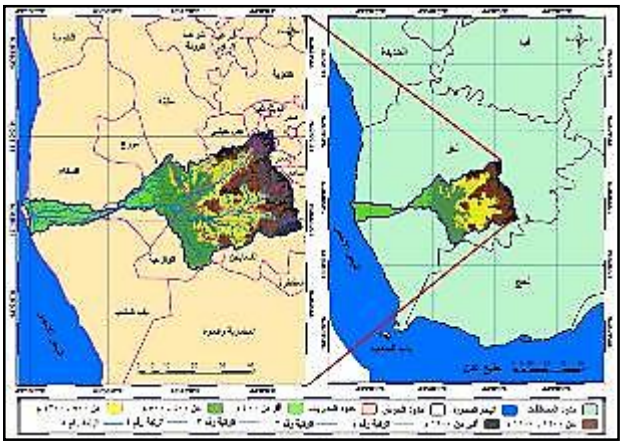
وعلى الرغم من البدء برسم خرائط التربة منذ عقود، لكن لا تتوفر خرائط موثوقة وحديثة على مساحات جغرافية واسعة. وبالتالي هناك حاجة إلى معلومات عن ملوحة التربة لتحسين تخطيط وتنفيذ برامج فعالة لاستصلاح التربة؛ لذا من المهم مراقبة ورسم خرائط تملح التربة في مراحل مبكرة من أجل تفعيل اساليب استصلاح التربة، وبما يساعد على الحد من اتساع مساحة الترب المالحة.

وتنبع أهمية هذا الدراسة من عدم توفر قاعدة معلومات تحدد مواقع التربة التي تعرضت للتملح وتغيراتها خلال 23 عام من بيانات الاستشعار عن بعد، لما لها من أهمية تساعد المخطط وصانع القرار في وزارة الزراعة والري على الحد من اتساع هذه الظاهرة والمخاطر المترتبة عليها.

وبذلك تهدف هذه الدراسة لرصد ملوحة التربة في حوض وادي موزع باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد وتطبيق عدد من المؤشرات الطيفية. والكشف عن تغير ملوحة التربة في الحوض بين عامي 2000 -2023. وتقييم ملوحة تربة الحوض على نمذجة نتائج مختلف المؤشرات الطيفية.

المواد والطرق

يقع حوض وادي موزع وسط محافظة تعز ضمن مديريات: المعافر والشمايتين والمواسط والمسراخ وصبر الموادم وجبل حبشي والوازعية وموزع وباب المندب، ويقع الحوض فلكياً كما يوضح شكل (1) بين دائرتي عرض "36 '07 °13 N - "10 33 °13 N، وبين خطي طول "50 '14 °41 E - "12 '07 °44 E، ، بمساحة 1675.8 كم^2، وهو أحد أودية اليمن الرئيسية التي تصب في البحر الأحمر، تبدأ روافده العليا من مرتفعات ذبحان والاصابح والعزاعز التابعة ادارياً لمديرية الشمايتين، ومرتفعات الأشروح وبني حماد والأعلوم والأيفوع وبني عباس وبني يوسف التابعة ادارياً لمديرية المواسط، ومرتفعات الجبزية والشعوبة والسواء التابعة ادارياً لمديرية المعافر، ويصب مجرى الوادي في البحر الأحمر شمال مديرية باب المندب جنوب مديرية المخا.



شكل (1) موقع حوض وادي موزع

اقتصر منهجيات قياس ملوحة التربة على جمع وتحليل العينات من أجل تحديد الموصلية الكهربائية للتربة، أو مدى التركز الكلي لأملاح التربة، وتحتاج هذه الطريقة الى وقت طويل، وتكاليف أعلى. ومع ظهور تقنية الاستشعار عن بعد برزت منهجية جديدة ذات كفاءة وسرعة في رصد ملوحة التربة، ورسم خرائطها، من صور الأقمار الصناعية، الملتقطة بأجهزة الاستشعار عن بعد (Terra, Aster, Irs, ،Eoi, Ikonos, Spot, Landsat)، (Azabdaftari & Suna, 2016, p3).

هناك طريقتان للكشف عن ملوحة التربة من بيانات الاستشعار عن بعد الأولى من خلال تحليل الانعكاس الطيفي للتربة العارية، وتحديداً البحث عن الملوحة والقشرة، باستخدام مؤشرات الملوحة (Salem and Jia, 2024). والثانية تحليل الانعكاس الطيفي للنباتات على التربة المتأثرة باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي (Matinfar, 2023). وبذلك يعتبر الاستشعار عن بعد اداة مفيدة في رصد الاراضي المتأثرة بالملوحة، واتخاذ القرار المناسب للحد من المخاطر المترتبة عليها، ولتحقيق أهداف الدراسة، تم اتباع منهجية تدرجت كما يأتي:

مراجعة الأدبيات: لتحديد المؤشرات الطيفية اللازمة لتحقيق هذه الأهداف، كمؤشر الملوحة والسطوع واختلاف الملوحة الطبيعي وغيرها، ويتم استخدام مؤشرات ملوحة التربة بشكل اساسي لاكتشاف ملوحة التربة بالاعتماد على الاستجابات المختلفة للتربة المالحة في مختلف الاطياف.

جمع البيانات: وتتمثل بنموذج ارتفاع رقمي (DEM) للقمر (SRTM)، ومرئيات لاندسات (5، 8) خلال شهري مارس عامي (2000 – 2023) من المساحة الجيولوجية الأمريكية (https://earthexplorer.usgs.gov).

معالجة البيانات: وفيها تمت معالجة نموذج الارتفاع الرقمي بعمل موزاييك (Moosic) لعدة لوحات، واستكمال القيم الغير معروفة لارتفاع بعض الخلايا، وبالتالي تم تحديد اتجاه وحجم الجريان واشتقاق شبكة التصريف، وبالتالي تحديد حدود الحوض أو خط تقسيم مياه الحوض باستخدام أدوات هيدرولوجي (Hydrology). وبالتالي معالجة مرئيات لاندسات، من خلال استعمال عدد من ادوات المعالجة في برنامج (Erdas Imagine)، ليسبق تطبيق مؤشرات الملوحة تصحيح نطاقات المرئيات، اذ يمكن أن تتسبب التشوهات الهندسية تحليل غير دقيق لملوحة التربة، وبدأت الدراسة بإجراء تصحيح هندسي. وكذلك تصحيح إشعاعي لإزالة تأثير الظروف الجوية، وبما يضمن أن تكون قيم الانعكاس في خلايا مرئيتي لاندسات (2000 – 2023) اكثر دقة في تمثيل ملوحة تربة الحوض، ليتم تحويل القيم الانعكاسية إلى قيم إشعاعية. وبما أن هناك عدة مرئيات تشترك في تغطية الحوض قامت الدراسة بعمل (Moosic) لنطاقات المرئيات. وبعدها تم استخدام اداة (Create subset image) للاقتطاع على حدود الحوض. وبعد الانتهاء من المعالجة انتقلت الدراسة للخطوة الخامسة المتمثلة ب:

تطبيق مؤشرات الملوحة: هناك علاقة وطيدة بين الانعكاس الطيفي للتربة وخصائصها كالملوحة، لذا طورت مجموعة من المؤشرات الطيفية لمراقبة الملوحة، فبعد معالجة نطاقات المرئيات تم استخدام الحاسبة الخلوية (Raster Calculator) في برنامج (ARC GIS) لتطبيق الصيغ الرياضية الخاصة بالمؤشرات الطيفية الاتية:

مؤشر الملوحة (Salinity index) مؤشر الملوحة يحسب من خلال الجذر التربيعي لحاصل ضرب قيم انعكاس النطاقين الأخضر (G) والأحمر (R). ويقدم رؤىً جيدة عن ملوحة التربة ويحسب بالمعادلة:

$$SI = \sqrt{Green * Red}$$. (Douaoui *et al*, 2006).

مؤشر الاختلاف الطبيعي للملوحة (Normalized difference salinity index)، وهو أداة استشعار تُستخدم لتقييم ملوحة كل من التربة والمسطحات المائية، ويحسب بالمعادلة:

NDSI= (Red – NIR) / (Red + NIR). (Khan *et al*, 2005)

مؤشر النبات المعدل للتربة (Soil Adjusted Vegetation Index)، يحسب بالصيغة الرياضية الاتية:

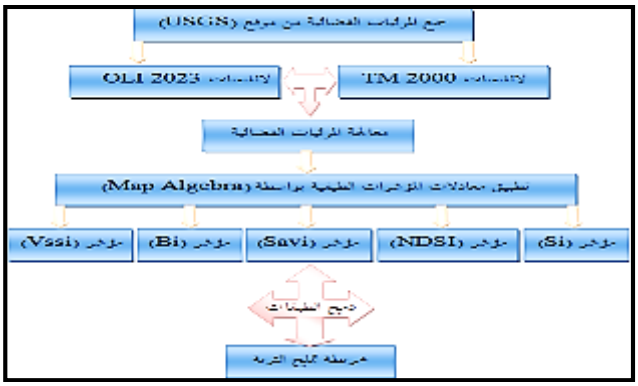
SAVI= (Nir – Red) / (Nir + Red + 0.5) * 1.5.(Bouaziz *et al*, 2011).

مؤشر السطوع (Brightness index) وهو مقياس لشدة انعكاسية سطح التربة، ويقاس بالمعادلة:

$$BI = \sqrt{(Red2+NIR2)}$$. (Khan *et al*, 2005)

مؤشر ملوحة النبات (Vegetation soil salinity index) أحد المؤشرات التي تستخدم لقياس ملوحة التربة من خلال تحديد مدى إجهاد الغطاء النباتي بالملوحة، ويحسب بالصيغة الرياضية:

VSSI = (2 * Green – 5) * (Red + NIR). (Dehni & Lounis, 2012).

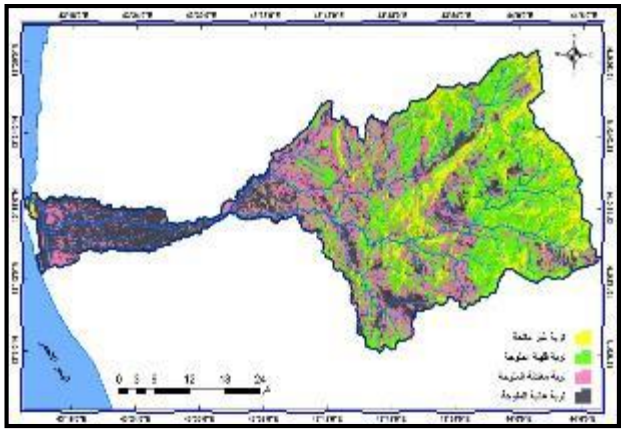


شكل (2) مخطط منهجية الدراسة

النتائج والمناقشة:

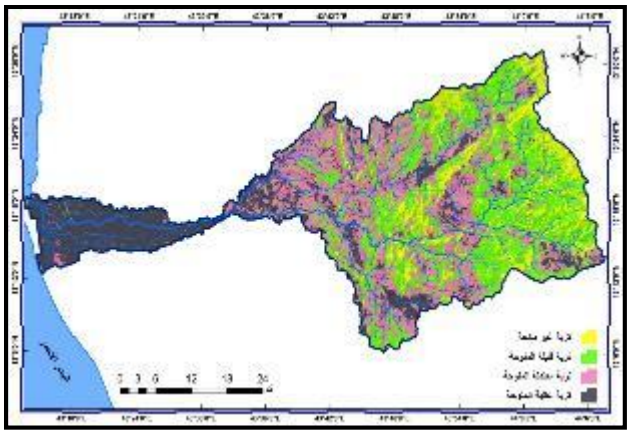
اولاً: مؤشر الملوحة: يقيس علاقة الموصلية الكهربائية برطوبة التربة، ويبين مدى تركز الملوحة في الترب الرطبة. وعليه توضح نتائج اشتقاق ملوحة التربة في حوض وادي موزع باستخدام مؤشر الملوحة (Salinity index) من مرئية عام 2000، في الشكل (3) تباين توزيع ملوحة التربة، اذ ترتفع أدنى الحوض، حيث تشتد الحرارة، وتقل كمية الأمطار، وترتفع معدلات التبخر؛ مما يؤدي إلى تملح التربة، وتعتبر هذه المنطقة ارسابية للمواد المنقولة من أعالي الحوض، وتتأثر بملوحة مياه البحر.

وبذلك بلغت مساحة التربة التي لا تعاني من الملوحة نحو 279.3 كم^2، بنسبة 16.7% من مساحة الحوض، وتقع في المناطق المرتفعة، حيث تزداد كمية الأمطار، وتتعرض التربة لغسل الأملاح بشكل دوري. ومساحة التربة التي تتصف بقلة الملوحة 565 كم^2، بنسبة 33.7%، وتظهر بجوار التربة غير المالحة أعالي ووسط الحوض. وتغطي التربة التي تتسم بملوحة معتدلة حوالي 497.3 كم^2، بنسبة 29.7%، وتنتشر على مقربة من الترب قليلة الملوحة وسط الحوض. وتمثل التربة ذات الملوحة العالية 334.1 كم^2، بنسبة 19.9% من إجمالي مساحة الحوض، وتبرز أدنى الحوض حيث تقل كمية الأمطار وترتفع درجات الحرارة ومعدلات التبخر.



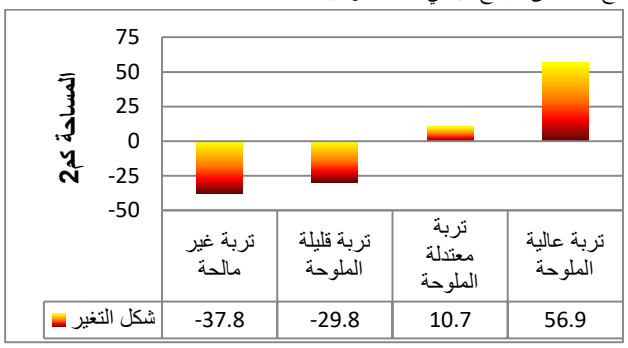
شكل (3) فئات ملوحة التربة بمؤشر الملوحة عام 2000

من جهة أخرى توصلت تطبيق مؤشر الملوحة على مرئيات لاندسات 2023 أن مساحة التربة التي لا تعاني من ملوحة بلغت نحو 241.5 كم^2، بنسبة 14.4%، وتظهر كما في شكل (4) أعالي الحوض، حيث كمية الأمطار مناسبة لغسل الطبقة العليا من التربة سنوياً. وتمثل التربة التي تتسم بقلة الملوحة 535.2 كم^2، بنسبة 31.9%، وتتوزع بجوار الترب غير المالحة أعالي ووسط حوض وادي موزع. وبلغت مساحة التربة معتدلة الملوحة 508 كم^2، بنسبة 30.1%، وتنتشر بالقرب من الترب قليلة الملوحة وسط الحوض. وتغطي التربة التي تتصف بارتفاع الملوحة حوالي 391 كم^2، بنسبة 23.3% من إجمالي مساحة الحوض، وتظهر أدنى الحوض، حيث تقل كمية الأمطار، وترتفع درجات الحرارة ومعدلات التبخر، ويتم الاعتماد على المياه الجوفية في ري المحاصيل.



شكل (4) فئات ملوحة التربة بمؤشر الملوحة عام 2023

وتظهر نتائج كشف أنماط التغيرات التي طرأت على ملوحة تربة الحوض بين عامي 2000 – 2023 في الشكل (5) تغير التربة التي لا تعاني من ملوحة بشكل سلبي، حيث تراجعت مساحتها بنحو 37.8 كم^2. وكذلك الحال مع التربة قليلة الملوحة التي تراجعت مساحتها بحوالي 29.8 كم^2. في مقابل ذلك زادت مساحة التربة معتدلة الملوحة بنحو 10.7 كم^2، فضلاً عن التربة التي تعاني من ملوحة عالية بنحو 56.9 كم2 خلال المدة نفسها، مما يعني تفاقم مخاطر تملح التربة على الإنتاج الزراعي بين مدة وأخرى.

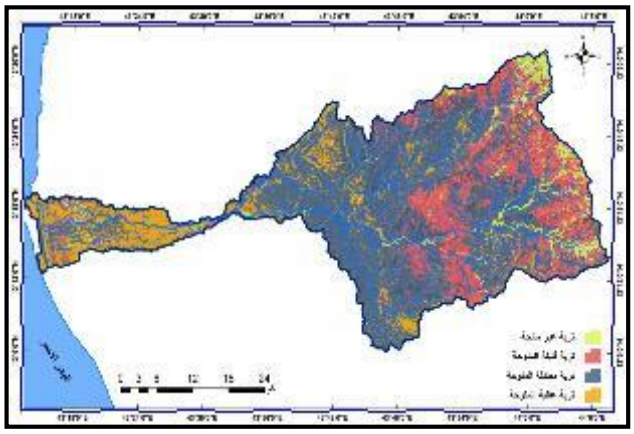


شكل (5) تغير تملح التربة بمؤشر الملوحة بين عامي 2000 – 2023

ثانياً: مؤشر الاختلاف الطبيعي للملوحة: مؤشر مهم لرصد ملوحة التربة، وتقييم صحتها، وفهم ظروف الجفاف الهيدرولوجي، خاصة في المناطق الجافة وشبة الجافة، ويستخدم في مراقبة ملوحة التربة، التي تعتبر مشكلة بيئية خطيرة لأنها تعيق نمو النباتات وتؤثر على إنتاج المحاصيل، وتدل درجة الانعكاس العالي في النطاق الأحمر ودرجة الانعكاس المنخفضة في الأشعة تحت الحمراء القريبة إلى ارتفاع مستوى ملوحة التربة والعكس.

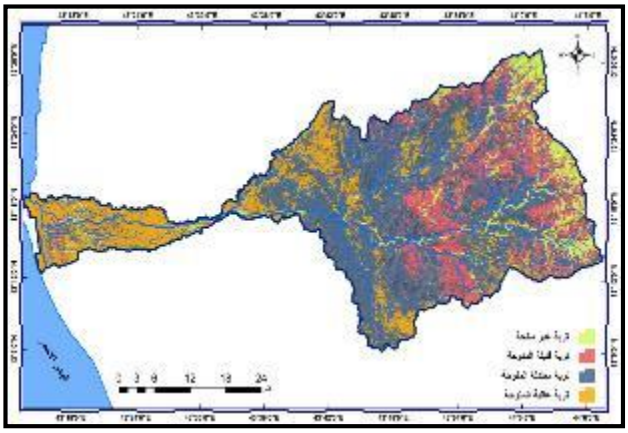
توضح نتائج اشتقاق طبقة تملح التربة باستخدام مؤشر اختلاف الملوحة الطبيعي من مرئية عام 2000 شكل (6) تباين توزيع مستويات تملح التربة، حيث ترتفع ملوحة التربة أدنى الحوض اينما ترتفع درجات الحرارة، وتقل كمية الأمطار، وترتفع معدلات التبخر، مما يؤدي إلى ظهور طبقة ملحية في سطح التربة، ويعاني أدنى الحوض من ترسب الأملاح المنقولة بمياه السيول من أعالي الحوض، فضلاً عن تأثير ملوحة مياه البحر، وتقل ملوحة التربة تدريجياً كلما اتجهنا من أدنى الحوض نحو أعالي الحوض أي مع ازدياد كمية الأمطار وانخفاض درجات الحرارة ومعدلات التبخر.

وبذلك فقد بلغت مساحة التربة غير المالحة عام 2000 نحو 139 كم^2، بنسبة 8.3%، وتقع حيث ترتفع كمية الأمطار التي تعرض التربة لغسل الأملاح بشكل مستمر. فيما تمثل مساحة التربة التي تنخفض فيها الملوحة 253.5 كم^2، بنسبة 27%، وتظهر بمحاذاة التربة التي تتصف بأنها غير مالحة أعالي ووسط الحوض. وتغطي التربة التي تتصف باعتدال الملوحة 822.4 كم^2، بنسبة 49%، وتبرز بجوار الترب قليلة الملوحة وسط وغرب الحوض. وبلغت مساحة التربة التي تتصف بملوحة عالية 260.8 كم^2، بنسبة 15.6% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع حيث تقل كمية الأمطار وترتفع درجات الحرارة، ومعدلات التبخر غرب ووسط الحوض.



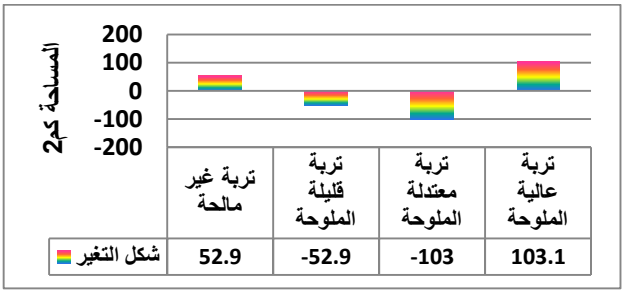
شكل (6) فئات ملوحة التربة بمؤشر الاختلاف الطبيعي للملوحة 2000

في المقابل بلغت مساحة التربة التي تتصف بكونها غير مالحة عام 2023 نحو 191.9 كم^2، بنسبة 11.5% من مساحة الحوض، وتقع كما يوضح شكل (7) أعلى الحوض، حيث تمارس الزراعة المعتمدة على مياه الأمطار الموسمية. وغطت التربة التي تتسم بقلة ملوحتها 400.6 كم^2، بنسبة 23.9%، وتظهر بمناطق محاذية للسابقة اينما لا توجد ملوحة أعالي ووسط الحوض. ومساحة التربة معتدلة الملوحة 719.4 كم^2، بنسبة 42.9% من مساحة الحوض، وتقع بالقرب من الترب قليلة الملوحة وسط وغرب الحوض. فيما بلغت مساحة التربة ذات الملوحة العالية 363.9 كم^2، بنسبة 21.7% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع غرب الحوض حيث تترسب الأملاح المنقولة من المرتفعات، وتقل الأمطار، وترتفع الحرارة والتبخر.



شكل (7) فئات ملوحة التربة الاختلاف الطبيعي للملوحة 2023

وفيما يتعلق بنمط التغير الذي طرأ على مستويات تملح التربة في الحوض بين عامي 2000 – 2023، يظهر شكل (8) زيادة مساحة التربة التي تتصف بأنها غير ملحية بنحو 52.9 كم^2، كما زادت مساحة التربة التي تتصف بارتفاع الملوحة بحوالي 103.1 كم^2، مما يعني تعرض التربة في الحوض لمزيد من التدهور بين مدة وأخرى. في الوقت نفسه تراجعت مساحة كل من: التربة التي تتصف بقلة الملوحة بنحو 52.9 كم^2، والتربة التي تتصف باعتدال الملوحة بنحو 103 كم^2.



شكل (8) تغير ملوحة التربة بمؤشر الاختلاف الطبيعي للملوحة بين عامي 2000 – 2023

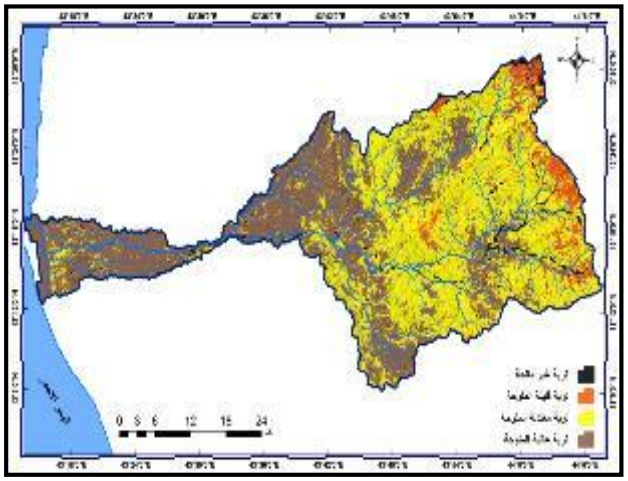
ثالثاً: مؤشر النبات المعدل للتربة: تم تطوير مؤشر النبات المعدل للتربة لتصحيح تأثير سطوع التربة عندما تقل كثافة الغطاء النباتي عن 40%، أي عندما يكون الغطاء النباتي مفتوح جداً، وهناك مساحة واسعة من التربة العارية التي يؤثر لونها بشكل كبير على الإشارة الطيفية، وبالتالي يفضل تقدير الكتلة الحيوية باستخدام مؤشر (SAVI).

ويعتبر هذا المؤشر من أفضل مؤشرات قياس العلاقة الخطية بين الانعكاسات الطيفية الحمراء والقريبة للترب العارية مختلفة النوع والرطوبة والخشونة (Gilabert *et al*, 2002, p.303).

ويستخدم هذا المؤشر للتقليل من تأثير سطوع التربة، بناءً على الموجات الطيفية الحمراء والقريبة، ويعد أكثر كفاءة من مؤشر (NDVI) في اشتقاق الغطاء النباتي بالمناطق الجافة وشبة الجافة (Vain, 2017, p. 560).

توضح نتائج تطبيق مؤشر النبات المعدل للتربة (Soil Adjusted Vegetation Index) على نطاقات مرئية لاندسات عام 2000، كما يوضح الشكلين (9، 10) ارتفاع مستويات ملوحة أدنى الحوض حيث تمارس الزراعة المعتمدة على المياه الجوفية، وترتفع درجات الحرارة، وتقل كمية الأمطار، وترتفع معدلات التبخر. والعكس تماماً في الجزء الأعلى من الحوض حيث ترتفع كثافة الغطاء النباتي؛ مما يشير إلى وجود الترب غير المالحة أو القليلة الملوحة.

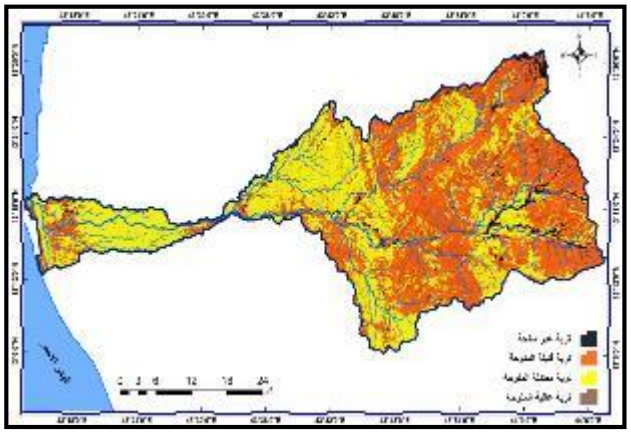
وبذلك بلغت مساحة التربة التي لا تعاني من ملوحة نحو 37.4 كم^2، بنسبة 2.2%، وتقع كما يوضح شكل (9) حيث تغسل تربة المدرجات الزراعة وتربة مجاري الأودية بشكل مستمر بمياه الأمطار الموسمية. وتمثل التربة قليلة الملوحة حوالي 199.2 كم^2، بنسبة 11.9% من مساحة الحوض، وتظهر بمناطق انتشار الترب غير المالحة في أعالي ووسط الحوض. وبلغت مساحة التربة التي تتسم بملوحة معتدلة 765 كم^2، بنسبة 45.7% من مساحة الحوض، وتنتشر بالقرب من الترب قليلة الملوحة وسط وغرب الحوض. وتغطي التربة ذات الملوحة العالية 674 كم^2، بنسبة 40.2% من إجمالي مساحة الحوض، وتبرز أدنى الحوض حيث تتوفر المتغيرات المناخية والطبوغرافية المناسبة لتملح التربة.



شكل (9) فئات ملوحة التربة بمؤشر النبات المعدل للتربة عام 2000

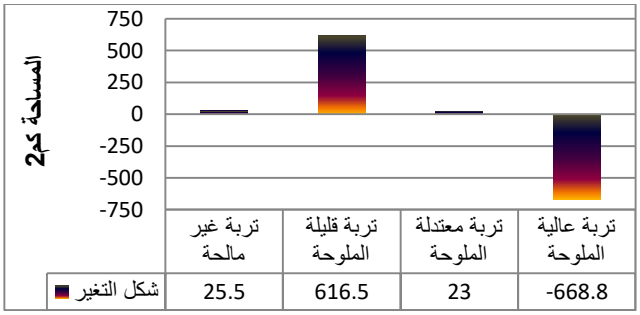
من جانب آخر توصلت نتائج التحقق من ملوحة التربة بتطبيق مؤشر النبات المعدل للتربة على نطاقات مرئية لاندسات عام 2023 أن مساحة التربة التي لا تعاني من تملح قد بلغت نحو 65.9 كم^2، بنسبة 3.9% من مساحة الحوض، وتظهر كما يوضح شكل (10) حيث تغسل مياه الأمطار ترب المدرجات والأودية العليا سنوياً. وبلغت مساحة التربة التي تتسم بقلة الملوحة 815.7 كم^2، بنسبة 48.7%، وتقع بمحاذاة التربة السابقة حيث تقل الملوحة أعالي ووسط الحوض. وتمثل التربة التي تتصف باعتدال الملوحة حوالي 789 كم^2، بنسبة 47%، وتبرز على مقربة من الترب قليلة الملوحة وسط وأدنى الحوض. وتشكل التربة التي تتصف بارتفاع الملوحة

5.2 كم^2، بنسبة 0.3% من إجمالي مساحة الحوض، وتظهر في مصب المجرى بمحاذاة مياه البحر الأحمر، حيث تتأثر التربة بملوحة مياه البحر، والأملاح المنقولة من أعالي الحوض عبر المجرى الرئيس.



شكل (10) فئات ملوحة التربة بمؤشر النبات المعدل للتربة عام 2023

توصلت نتائج تحليل التغيرات المكانية لملوحة التربة من مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة بين عامي 2000 – 2023، في الشكل (11) إلى زيادة مساحة التربة التي تتصف بأنها غير ملحية بنحو 25.5 كم^2. وشهدت التربة التي تتصف بقلة الملوحة نمواً ايجابياً سريعاً بحوالي 616.5 كم^2. كما حدث تغير ايجابي محدود بمساحة التربة معتدلة الملوحة بنحو 23 كم^2. فيما تراجعت مساحة التربة التي تتسم بملوحة عالية بنحو 668.8 كم^2، وتؤكد نتائج مؤشر النبات المعدل للتربة عدم تعرض تربة الحوض للتدهور بسبب الملوحة بين مدة وأخرى.

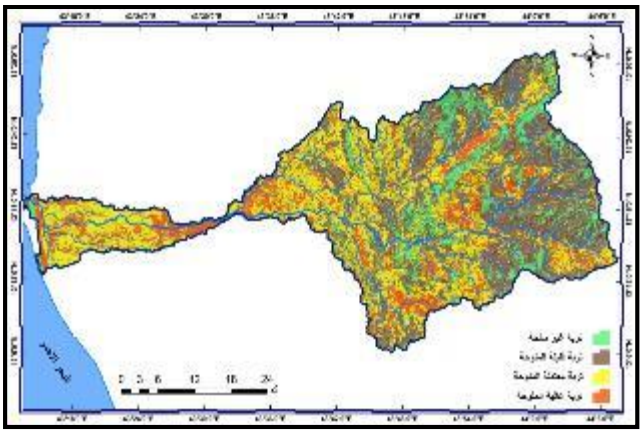


شكل (11) تغير ملوحة التربة بمؤشر النبات المعدل للتربة بين عامي 2000 – 2023

رابعاً) مؤشر سطوع التربة: هو مؤشر عام يوضح مدى بياض التربة وخصائصها الإشعاعية المتأثرة بتراكم الأملاح السطحية، وبالتالي يعتبر من المؤشرات المهمة في تقييم ملوحة التربة، فغالباً ما تتسبب الملوحة العالية في تبلور الأملاح على سطح التربة، مما يزيد من بياضها، ويظهر ذلك من خلال ارتفاع قيم مؤشر السطوع، لذلك يُستخدم إلى جانب مؤشرات طيفية أخرى لرسم خرائط أكثر شمولاً ودقة لملوحة التربة.

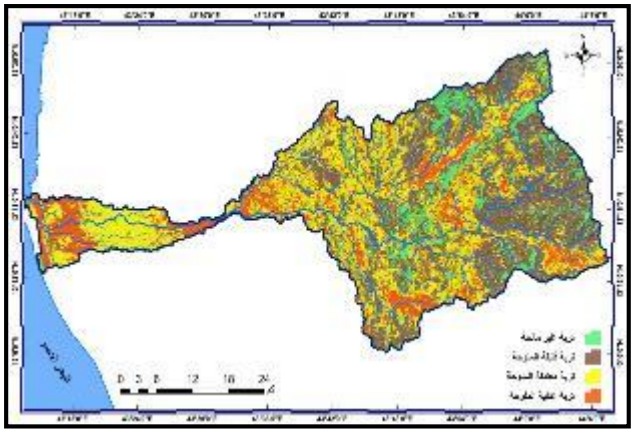
وتبين نتائج تطبيق مؤشر السطوع (Brightness index) على نطاقات مرئية لاندسات عام 2000 في الشكل (12) تباين توزيع ملوحة التربة حسب مؤشر السطوع، حيث ترتفع ملوحة التربة أدنى الحوض بمناطق تتوفر فيها كل مقومات تملح التربة بما في ذلك الحرارة المرتفعة والأمطار القليلة، والتبخر العالي، والري؛ فضلاً عن ترسب الأملاح المنقولة من أعالي الحوض، فضلاً عن تأثرها بملوحة مياه البحر الأحمر، وتقل ملوحة التربة تدريجياً نحو أعالي الحوض؛ أي مع تراجع تأثير العوامل المؤثرة في تملح التربة.

وبذلك بلغت مساحة التربة غير المالحة نحو 266.7 كم^2، بنسبة 15.9%، وتقع كما يوضح شكل (12) أعالي الحوض. فيما تغطي التربة قليلة الملوحة ما مساحته 584.9 كم^2، بنسبة 34.9% من مساحة الحوض، وتحاذي التربة غير المالحة في أعالي ووسط الحوض. فيما بلغت مساحة التربة التي تتسم بملوحة معتدلة 536.9 كم^2، بنسبة 32%، وتظهر بجوار التربة قليلة الملوحة وسط وغرب الحوض. وبلغت مساحة التربة التي تتصف بملوحة عالية 287.3 كم^2، بنسبة 17.1% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع أدنى الحوض حيث تتوافر كل مقومات تملح التربة.



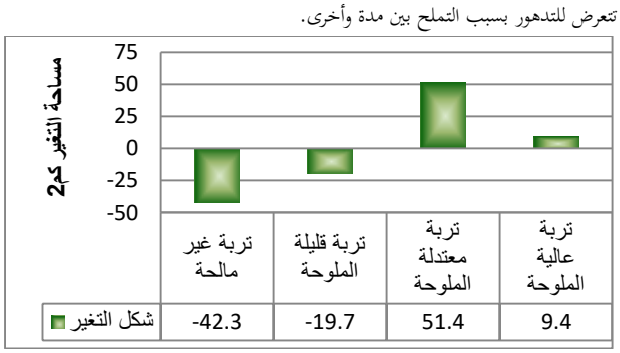
شكل (12) فئات ملوحة التربة حسب مؤشر السطوع عام 2000

في المقابل بلغت مساحة التربة غير المالحة عام 2023 نحو 224.5 كم^2، بنسبة 13.4%، وتقع كما يبين شكل (13) أعلى ووسط الحوض، حيث تغسل مياه الأمطار الموسمية ملوحة التربة. فيما تمثل مساحة التربة قليلة الملوحة 565.2 كم^2، بنسبة 33.7%، وتبرز بمحاذاة التربة غير المالحة أعالي ووسط الحوض. وتغطي التربة التي تتسم بملوحة معتدلة 588.3 كم^2، بنسبة 35.1%، وتظهر بالقرب من التربة التي تنخفض فيها الملوحة وسط وغرب الحوض. وبلغت مساحة التربة عالية الملوحة 297.7 كم^2، بنسبة 17.2% من إجمالي مساحة الحوض، وتظهر بمناطق مختلفة من الحوض بالذات حيث تتوافر ظروفها المناسبة أدنى الحوض.



شكل (12) فئات ملوحة التربة حسب مؤشر السطوع عام 2023

وفيما يتعلق بالتغير الذي طرأ على ملوحة التربة بين عامي 2000– 2023، يظهر شكل (14) تراجع مساحة التربة غير مالحة بنحو 42.3 كم^2، وكذلك مساحة التربة التي تتصف بملوحة قليلة بنحو 19.7 كم^2. وزادت مساحة التربة التي تتصف بملوحة معتدلة بنحو 51.4 كم^2، والتربة التي تتصف بارتفاع ملوحة التربة بنحو 9.4 كم^2، وتعكس هذه النتائج أن التربة تتعرض للتدهور بسبب التملح بين مدة وأخرى.



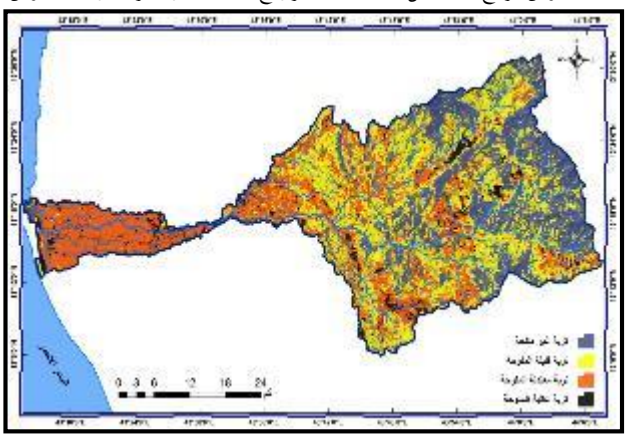
شكل (14) تغير تملح التربة بمؤشر السطوع بين عامي 2000 – 2023

خامساً) مؤشر ملوحة النبات: أحد المؤشرات التي تقيس ملوحة التربة عن طريق الغطاء النباتي،

وذلك من خلال تحليل تأثير الإجهاد الملحي على الانعكاس الطيفي للنبات، خاصة في نطاقي المجال المرئي، والأشعة تحت الحمراء القريبة، حيث تؤدي الملوحة الى إجهاد النبات، مما يؤدي إلى زيادة انعكاس المجال المرئي، وانخفاض انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة.

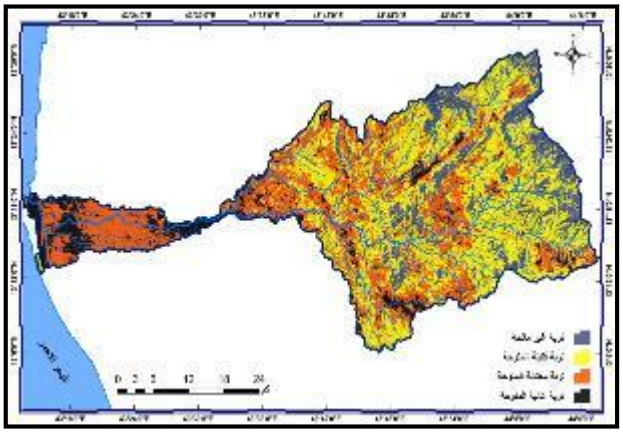
توضح نتائج الكشف عن ملوحة التربة بمؤشر (Vegetation soil salinity index) في الشكلين (15، 16) ارتفاعها أدنى الحوض، حيث تتوافر كل مقومات الملوحة؛ لاسيما درجات الحرارة الشديدة، وانخفاض كمية الأمطار، وارتفاع معدلات التبخر، وأساليب الري. وتقل ملوحة التربة كلما اتجهنا نحو أعالي الحوض، حيث تتوافر متغيرات بيئة تحول دون تراكم الأملاح في الطبقة العليا من التربة.

وبذلك بلغت مساحة التربة غير الملحية نحو 469.2 كم^2، بنسبة 28% من مساحة الحوض، وتظهر حيث تغسل مياه الأمطار الموسمية الأملاح من الطبقة العليا للتربة. وتمثل مساحة التربة التي تتصف بقلة الملوحة 595 كم^2، بنسبة 35% من مساحة الحوض، وتقع بمحاذاة التربة التي لا تعاني من الملوحة أعلي ووسط الحوض. وتغطي التربة التي تتصف بملوحة معتدلة 483 كم^2، بنسبة 28.8% من مساحة الحوض، وتبرز بجوار التربة قليلة الملوحة وسط وغرب الحوض. فيما بلغت مساحة التربة التي تتسم بملوحة عالية 128.5 كم^2، بنسبة 7.7% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع حيث تقل كمية الأمطار، وترتفع درجات الحرارة، والتبخر أدنى الحوض.



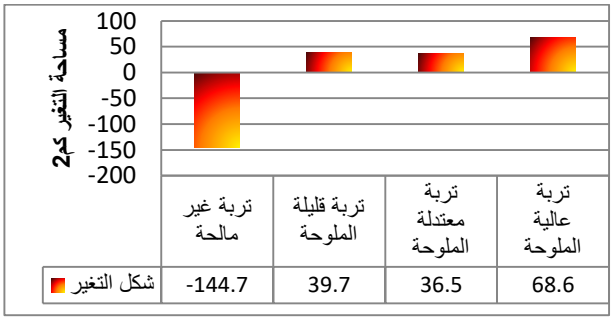
شكل (15) فئات ملوحة التربة حسب مؤشر تملح النبات 2000

في مقابل ذلك تظهر نتائج تطبيق مؤشر ملوحة النبات من مرئية لاندسات عام 2023، أن مساحة التربة غير الملحة في الحوض غطت ما مساحته نحو 324.5 كم^2، بنسبة 19.4%، وتقع كما يبين شكل (16) حيث تتركز الأمطار الغزيرة التي تغسل سطح التربة بشكل سنوي. وبلغت مساحة التربة التي تتصف بقلة الملوحة 634.7 كم^2، بنسبة 37.9% من مساحة الحوض، وتظهر في أعالي ووسط الحوض. وتغطي التربة التي تتسم بملوحة معتدلة 519.4 كم^2، بنسبة 31% من مساحة الحوض، وتظهر بمحاذاة التربة قليلة الملوحة وسط وأدنى الحوض. فيما بلغت مساحة التربة التي تتصف بملوحة عالية 197.1 كم^2، بنسبة 11.8% من إجمالي مساحة الحوض، وذلك عند مخرج الحوض حيث تتوفر مقوماتها.



شكل (16) فئات ملوحة التربة حسب مؤشر تملح النبات 2023

وفيما يتعلق بتغير ملوحة التربة بين عامي 2000 – 2023 يظهر شكل (17) تراجع مساحة التربة غير الملحية بنحو 144.7 كم^2. وزيادة تغطية كل من التربة قليلة الملوحة بنحو 39.7 كم^2، والتربة معتدلة الملوحة بنحو 36.5 كم^2، والتربة عالية الملوحة بحوالي 68.6 كم^2، وعليه فإن تربة الحوض تتعرض للتدهور بين مدة وأخرى.

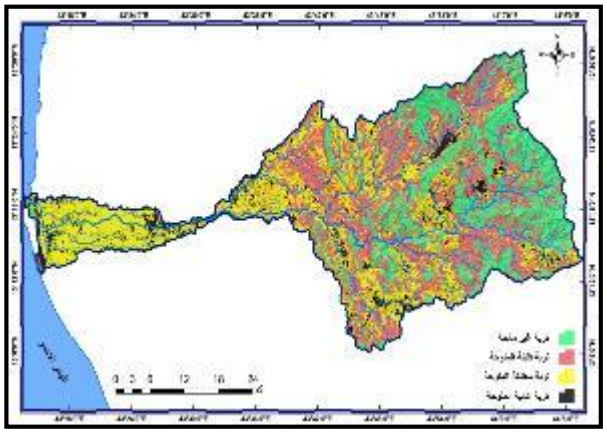


شكل (17) تغير تملح التربة بمؤشر ملوحة النبات بين عامي 2000 – 2023

سادساً) تقييم ملوحة التربة: قامت الدراسة بتقييم كلي لملوحة التربة في حوض وادي موزع من خلال دمج طبقات جميع المؤشرات الطيفية لكل عام على حده في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، للحصول على خريطتين رقميتين توضحان الصورة العامة لملوحة التربة في الحوض عامي 2000 و 2023، بناءً على الوزن المرجع لمختلف المؤشرات في كل عام.

وتظهر نتائج ذلك في الشكلين (17، 18) ارتفاع ملوحة التربة أدنى الحوض حيث تتوافر متغيراتها المناخية، فضلاً عن ممارسة طرق الرى الخاطئ، والإسراف في مياه الري، في أوقات غير مناسبة، واستعمال مياه جوفية مالحة في الري، والضخ المفرط للمياه الجوفية يؤدي في المناطق الساحلية إلى خفض ضغط المياه العذبة، مما يسمح للمياه المالحة بالتسرب إلى التربة، وسوء صرف المياه الزائدة، وإزالة الغطاء النباتي الفقير. بينما تقل ملوحة التربة كلما اتجهنا نحو أعالي الحوض حيث تتوافر متغيرات البيئة المناخية والطبوغرافية اللتان تحدان من تراكم الأملاح في التربة.

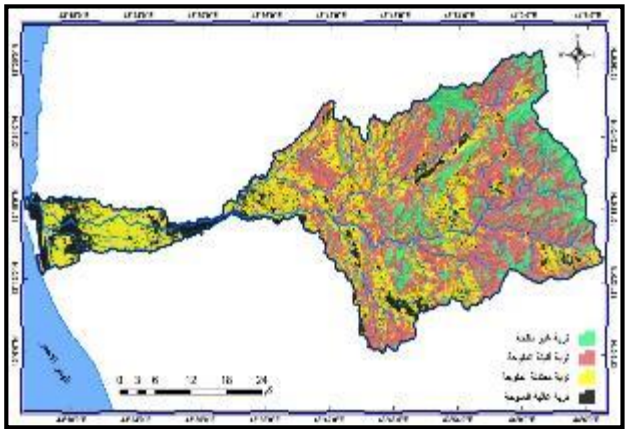
وبذلك أكدت نتائج دمج طبقات المؤشرات الخمسة عام 2000 أن مساحة التربة التي لا تعاني من ملوحة نحو 444.5 كم^2، بنسبة 28%، وتقع بمناطق الغسيل المنتظم لسطح التربة بمياه الأمطار الموسمية. فيما تشكل التربة التي تتسم بملوحة قليلة 592.9 كم^2، بنسبة 35.4%، وتظهر بجوار التربة التي لا تعاني من ملوحة في أعالي ووسط الحوض. فيما بلغت مساحة التربة معتدلة الملوحة 490.5 كم2، بنسبة 29.3%، وتنتشر بجانب التربة قليلة الملوحة وسط وغرب الحوض. وتغطي التربة عالية الملوحة 147.9 كم^2، بنسبة 8.8% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع أدنى الحوض حيث ترتفع درجات الحرارة ومعدلات التبخر.



شكل (17) تقييم ملوحة التربة في الحوض عام 2000

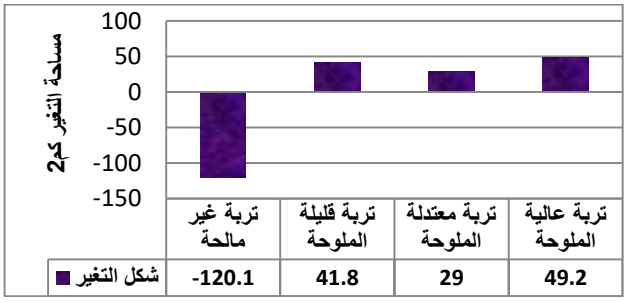
من جانب آخر تظهر نتائج تقييم ملوحة التربة بعد دمج طبقات المؤشرات الطيفية لعام 2023 تغطية التربة التي لا تعاني من ملوحة لحوالي 324.4 كم^2، بنسبة 19.4% من مساحة الحوض، وتبرز كما يوضح شكل (18) في المنطقة الأكثر غزارة بالأمطار الموسمية أعالي الحوض.

فيما بلغت مساحة التربة التي تتصف بملوحة قليلة 634.7 كم^2، بنسبة 37.9% من مساحة الحوض، وتقع بالقرب من التربة التي لا تعاني من ملوحة في أعالي ووسط الحوض. وتمثل التربة معتدلة الملوحة 519.5 كم^2، بنسبة 31% من مساحة الحوض، وتظهر في مناطق قريبة من التربة التي تقل فيها الملوحة وسط وأدنى الحوض، فيما بلغت مساحة التربة التي تتصف بملوحة عالية 197.1 كم^2، بنسبة 11.8% من إجمالي مساحة الحوض، وتقع أدنى الحوض حيث يكون الميزان المائي لصالح التبخر.



شكل (18) تقييم ملوحة التربة في الحوض عام 2023

وتظهر نتائج كشف التغير المكاني الذي طرأ على ملوحة تربة الحوض بين عامي 2000 – 2023 شكل (19) تراجع مساحة التربة غير الملحية بنحو 120.1 كم^2. وزيادة مساحة كل من: التربة قليلة الملوحة بنحو 41.8 كم^2، والتربة معتدلة الملوحة بحوالي 29 كم^2، والتربة عالية الملوحة التي زادت بنحو 29.2 كم^2، وتؤكد هذه النتائج تعرض تربة الحوض لمزيد من التدهور بين عامي 2000 – 2023.



شكل (19) تقييم شكل تغير ملوحة التربة بين عامي (2000–2023)

نتائج وتوصيات:

توصلت نتائج الدراسة الى تعرض تربة الحوض للتدهور بسبب الملوحة، حيث أكدت نتائج المؤشرات الطيفية عدا مؤشر النبات المعدل للتربة أن هناك زيادة في مساحة التربة التي تواجه مخاطر الملوحة العالية، وتباينت مساحة الزيادة من مؤشر الى آخر، حيث أظهرت نتائج مؤشر الاختلاف الطبيعي للملوحة أعلى زيادة في مساحة التربة عالية الملوحة بحوالي 103.1 كم^2، واقل زيادة ظهرت ضمن نتائج مؤشر سطوع التربة بنحو 9.4 كم^2. وأظهرت نتائج ثلاثة مؤشرات طيفية هي: الملوحة والسطوع وملوحة النبات تراجع مساحة التربة غير المالحة، وتختلف مساحة تراجعها من مؤشر الى آخر، حيث أظهرت نتائج مؤشر ملوحة النبات اعلى تراجع في التربة غير الملحية بحوالي 144.7 كم^2. وأكدت نتائج تتبع ملوحة التربة وتغيراتها بعد دمج طبقات مختلف المؤشرات الطيفية إلى أن تربة الحوض تتعرض للتدهور بالملوحة بين مدة وأخرى، بما ينعكس سلباً على التنمية البيئية المستدامة بالذات التنمية الزراعية والحيوية في الحوض، حيث تراجعت التربة غير الملحية بين عامي 2000 – 2023م بنحو 120.1 كم^2، وزادت مساحة التربة التي تعاني من ملوحة عالية بحوالي 50 كم^2. ومن المتوقع أن تفيد نتائج الدراسة المخططين والمزارعين عند ممارسة الأنشطة الزراعية، لأنها توفر الخريطة الأساسية لتملح التربة بما قد يساعد في اختيار أفضل أنواع المحاصيل مرونة للحد من الخسائر الاقتصادية في سياق التغيرات المناخية. وبذلك توصي الدراسة بتتبع ملوحة التربة في أحواض البيئات الجافة من خلال المرئيات الفضائية كونها تعطي نتائج مقبولة وبجهد وزمن وتكاليف اقل، كما توصي الدراسة بمطابقة نتائج اشتقاق ملوحة التربة من المرئيات الفضائية مع اخذ عينات من التربة وفحصها لمعرفة الموصلية الكهربية. وتوصي الدراسة بتطبيق استراتيجيات في مناطق الترب التي تواجه مخاطر الملوحة بتحسين صرف المياه، وتحسين بنية التربة من خلال إضافة المواد العضوية، واستعمال المحاصيل الملحية لامتصاص الملح، وتحسين طرق ري المحاصيل.

المراجع:

اصليح، إسلام. (2015). ملوحة التربة في محافظة خان يونس. رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، الجامعة الإسلامية، غزة.

موصلي، عماد الدين. (1981). جغرافية الترب. مطبعة ابن حيان، دمشق.

Abdelfattah, M. L., Shahid, S. A., Othman, Y. (2009). Soil Salinity Mapping Model Developed Using RS and GIS - A Case Study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. European Journal of Scientific Research ,26 (3), 342 - 35. http://www.eurojournals.com/ejsr.htm.

Akramkhanov, A., Martius, C., Park, S. J., Hendrickx, J. M. H. (2011). "Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain."Geoderma,163 (1-2), 55 - 62. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.001

Allbed, A., Kumar, L. (2013). Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology, A review." Advances in Remote Sensing, (2), 373-385. http://dx.doi.org/10.4236/ars.2013.24040.

Asfaw, E., Suryabhagavan, K. V., Argaw, M. (2023). Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences,17 (3), 250-258. DOI:10.1016/j.jssas.2016.05.003.

Azabdaftari, A., Suna, F. (2016). Soil Salinity Mapping Using Multitemporal Landsat Data, The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B7, 3-9. DOI:10.5194/isprs-archives-XLI-B7-3-2016.

Bouaziz, M., Matschullat, J., Gloaguen, R. (2011). Improved remote sensing detection soil salinty from a semi-arid climate in northeast Brazil. Comptes Rendus Geosciences, 343, 795-803. DOI:10.1016/j.crte.2011.09.003.

Dehni, A., Lounis, M. (2012). Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria, Procedia Engineering, 33, 188 -198. DOI:10.1016/j.proeng.2012.01.1193.

Douaoui, A. E. K., Nicolas, H., Walter, C. (2006). Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. Geoderma, 134, 217 – 230. DOI:10.1016/j.geoderma.2005.10.009.

Monitoring Using Landsat Data: A Case Study from Siwa Oasis, Egypt. GIS Science & Remote Sensing, 42 (2), 171-181. DOI:10.2747/1548-1603.42.2.171.

Matinfar, H.R. (2013). Detection of Soil Salinity Changes and Mapping Land Cover Types Based upon Remotely Sensed Data, Arab. J. Geosci, 6, 913–919

Moreira, L.C. G., Teixeira, A. D. S., Galvão, L. S. (2015). Potential of multispectral and hyperspectral data to detect saline-exposed soils in Brazil. GIScience & Remote Sensing, 25 (4), 416 - 436. DOI:10.1080/15481603.2015.1040227.

Narmada, K., Gobinath, K., Bhaskaran, G. (2015). Monitoring and evaluation of soil salinity in terms of spectral response using geoinformatics in Cuddalore environs, International journal Of Geomatics and Geosciences, 5 (4), 1-8. https://scholar.google.com/.

Salem, O. H., Jia, Z. (2024). Evaluation of Different Soil Salinity Indices Using Remote Sensing Techniques in Siwa Oasis, Egypt. Agronomy 2024, 14 (4), 723; https://doi.org/10.3390/agronomy14040723

Scudiero, E., Skaggs, T. H., Corwin, D. L. (2015). Regional-scale soil salinity assessment using Landsat ETM canopy reflectance, Remote Sensing of Environment, 169, 335 – 343. DOI:10.1016/j.rse.2015.08.026.

Tran, P. H., Nguyen, A. K., Liou, Y. A., Phung, H. P. (2023). Estimation of Salinity Intrusion by Using Landsat 8 OLI Data in The Mekong Delta, Vietnam, DOI: 10.20944/preprints 202308.0301.v1.

United States Geological Survey, Landsat Satellite Image, OLI_TIRS, date of obtain, (1-8-2023), Website link, (https://earthexplorer.usgs.gov).

Vain, V. Mandla, V. R. (2017). Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur district semi-arid areas. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 8 (4), 559–566. http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp.

Zewdu, S., Suryabhagavan, K. V., Balakrishnan, M. (2017). Geo-spatial approach for soil salinity mapping in Sego irrigation farm South Ethiopia. J. Saudi Soc. Agric. Sci., 16, 16- 24. DOI:10.1016/j.jssas.2014.12.003.

Elhag. M. (2015). Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. Journal of Sensors, 2016, Article ID 7596175, 1-8. DOI:10.3390/agronomy14040723.

Elhag, M., Bahrawi, J. (2017). Soil salinity mapping and hydrological drought indices assessment in arid environments based on remote sensing techniques. Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems, 6, 149-158. DOI:10.5194/gi-6-149-2017.

Gilabert, M. A,, Piqueras, J. G., Haro, F. G. G., Melia, J. (2002). A generalized soil-adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 82, 303 – 310. DOI:10.1016/S0034-4257(02)00048-2.

Gorji, T., Tanik, A., Sertel, E. (2015). Soil Salinity Prediction, Monitoring and Mapping Using Modern Technologies. Procedia Earth and Planetary Science, 15, 507 - 512. DOI:10.1016/j.proeps.2015.08.062.

Ibrahim, M. (2016). Modling Soil Salinity and Mapping Using Spectral Remote Sensing Data in the Arid and Semi-arid Region. international Journal of Remote sensing Application, 6, 76-83. DOI:10.14355/ijrsa.2016.06.008.

Iqbal, S., Mastorakis, N. (2015). Soil salinity mapping and monitoring using Remote sensing GIS, Conference: Dubai Agriculture science biotechnology, food and animal sciences, 15. http://elfe.tu-sofia.bg/mastorakis.

Ivushkin, K. (2014). Soil salinity assessment using Remote Sensing and GIS techniques in Syrdarya province of Uzbekistan, A thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science at Wageningen University and Research Centre, The Netherlands. https://library.wur.nl/WebQuery/theses/2063212.

Lhissou, B. E. l., Harti, A., Chokmani, K. (2014). Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data. Eurasian Journal of Soil Science, 3, 82 - 88. DOI: 10.18393/ejss.84540.

Khan, N. M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. Agricultural Water Management, 77, 96 - 109. DOI:10.1016/j.agwat.2004.09.038.

Madani, A. A. (2005). Soil Salinity Detection and