تقييم مخاطر انجراف التربة في حوض الأزرق باستخدام نموذج تقييم التربة والمياه ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

Assessment of soil erosion risk in the Azraq basin using soil and water assessment model, GIS, and remote sensing

عاطف الغميض[1،*]، و حسن أبو سمور[2]

Atef Ghumaid[1] & Hassan Abo Sammor[2]

[1]مديرية التربية والتعليم، منطقة لواء البادية الشمالية، وزارة التربية والتعليم الأردنية، الأردن.
[2]قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الجامعة الأردنية، الأردن

[1]Directorate of Education, Northern Badia District, Jordanian Ministry of Education, Jordan. [2]Department of Geography, Faculty of Arts, University of Jordan, Jordan

*الباحث المراسل: atef05969@gmail.com

تاريخ التسليم: (2021/4/10)، تاريخ القبول: (2021/7/28)

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مخاطر انجراف التربة لحوض الأزرق باستخدام نموذج تقييم التربة والمياه والتقنيات ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد؛ وذلك لما له من آثار سلبية على الموارد الأرضيَّة في الحوض، حيث يعاني حوض الأزرق كغيره من الأحواض المائية في الأردن من مشكلة انجراف التربة، والناتجة عن انخفاض إنتاجية التربة في المنطقة قبل تعرضها للانجراف. كما يرتبط انجراف التربة بالعديد من المشكلات البيئية الأخرى، مثل: تموضع الرواسب في مجاري الأودية ، والسدود المائية وتدهور نوعيه المياه، مما يتطلب وضع استراتيجيات لإدارة الأحواض المائية وحماية تربتها من الانجراف. وتوصَّلت الدراسة إلى أن حوض الأزرق يتلقى معدل مطري يبلغ 99.8 ملم / سنويًا، يفقد الجزء الأعظم منها بواسطة عملية التبخر، حيث إن 73.8% من مجمل الهطول المطري يذهب نتيجة عملية التبخر الفعلي، في حين إن الجريان السطحي يستأثر بـ 8.9% من إجمالي الهطول المطري على حوض الأزرق، كما أوضحت الدراسة أن 24.5% من مساحة حوض الأزرق تصنَّف بأنها ذات معدل انجراف شديد جدًا للتربة، وتتمثل هذه المساحة في: حوضي واديي الغدف والمديدسسات. وأظهرت الدراسة أن حوض وادي المديدسسات هو أكثر الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في معدل العائد الرسوبي المتوقع والذي يشكل ما نسبته 58.4% من أصل المواد المنجرفة فيه.

الكلمات المفتاحية: نموذج تقييم التربة والمياه، حوض الأزرق، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، انجراف التربة، العائد الرسوبي.

Abstract

The study aims at evaluating soil erosion in Azraq Basin using soil and water assessment model, GIS and remote sensing. The soil erosion has important negative effects on the ground resources in the basin. As other basins in Jordan, Azraq Basin suffers extremely from soil erosion that resulted from the decrease of soil productivity before being eroded. Soil erosion is related to many environmental problems such as sedimentation in the river channels and dams, and deterioration water quality, so strategies for managing water basins and protecting soil from erosion are needed. The results of the study showed that Azraq Basin has annually an average of 99.8 Mm of rainfall; the majority lost by evaporation process, and 73.8% of the total precipitation is wasted because of the actual evaporation process, whereas surface runoff has 8.9% of the total precipitation of the Basin. The study reveals that about 24.5% of Azraq Basin area suffers from severe soil erosion mainly In Wadi Al-Ghadf and Modaisisat. The Study also reveals that Wadi Modaissat is the largest basin in Azraq Basins, it Produces 58.4% of the total eroded materials.

Keywords: Soil and Water Model Assessment, Al-Azraq Basin, Remote Sensing, Geographic Information Systems, Soil Erosion, Sediment Yield.

المقدمة

تُعدُّ التربة التي -لا شك أنها- المحصلة النهائية لتفاعل عوامل المناخ والغطاء النباتي والصخور الأم والفترة الزمنية التي تكونت خلالها أهم الموارد الطبيعية المتاحة للبشرية، حيث تمثل الوعاء الحاضن لمختلف الأنشطة الاقتصادية خاصة الزراعية منها. لذا لابد قبل القيام بأي مشروع تنموي اقتصادي الأخذ بعين الاعتبار معرفة التربة وخصائصها سواء الفيزيائية أو الكيميائية، بالإضافة إلى تحديد الأخطار المحدقة بها سواء الطبيعية منها كالانجراف والانزلاقات الأرضية، أو البشرية مثل: التوسع العمراني العشوائي وإنهاكها بالزراعة المستمرة.

يهددُ الانجراف بأشكاله المتنوعة التربة، حيث يُعدُّ من أهم التحديات الكبرى التي تواجهها وخاصة المناطق الزراعية، والتي تشكل تحديًا للكثير من المزارعين لتفادي أثارها السلبية (عودات، 2019). وقد تم إعداد عدة نماذج رياضية وحاسوبية لتفادي مخاطر انجراف التربة، والتي تعمل على التنبؤ بمقدار الانجراف والأماكن المعرضة للانجراف أكثر من غيرها. وقد أصبح اقتران نماذج التقدير والتنبؤ بالانجراف بتقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)

ونظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems) من الاتجاهات الحديثة (Vijith, *et al*. 2012 & Pandey, *et al*. 2007). وقد طُورَ العديد من النماذج المقترنة مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية مثل: نموذج التلوث الزراعي (Agricultural Non-Point Source Pollution model) ونموذج الاستجابة (RM)، ونموذج أداة تقييم التربة والمياه (SWAT). وتعدد هذه النماذج ناتج عن الاهتمام العالمي بموضوع انجراف التربة لارتباطه بمختلف القطاعات الاقتصادية.

ويعاني الأردن من خطر انجراف التربة والتي ليست - بأي حال - مشكلة جديدة وإنما اشتدَّت مؤخرًا إثرَ الزيادة السكانية والضغط الزراعي والرعوي على الأراضي؛ لتلبيةً مختلف متطلبات تلك الزيادة سواء على القطاع الزراعي أو القطاعات الإنشائية المختلفة، حيث يواجه الأردن نمطًا معقدًا بين التوسع العمراني والأنشطة الزراعية لمواجهة الزيادة السكانية في ظل الظروف السياسية المجاورة، والمتمثلة في ازدياد موجات حركات النزوح بسبب الحروب ويقابلها محدودية الموارد الطبيعية والمتمثلة في قلة الأراضي الزراعية والموارد المائية (Al-Bakri, *et al*. 2013). وتسبب مشكلة انجراف التربة على المدى البعيد تدهورها جراء إزالة ذراتها بواسطة الجريان السطحي (Runoff)، فعلى سبيل المثال: يعمل انجراف التربة على ملئ قناة الملك عبدالله بالرواسب والتي قدرتَّها وزارة الزراعة بـ 11000 دونم من الأراضي الصالحة للزراعة في منطقة الأغوار من أصل 54000 دونم، الأمر الذي تسبب بتحمل تكلفة مالية بلغت 4.5 مليون دولار لإزالة تلك الرواسب خلال ثلاثة أشهر (Natural Recourse Authority, 1965).

وقد أولى العلماء والباحثين موضوع انجراف التربة وما ينجم عنه من مشاكل ومخاطر عناية خاصة، والمتمثل بما تزخر المكتبات العالمية والإقليمية والمحلية من الأبحاث والدراسات المتعلقة بمشكلة الانجراف. فعلى الصعيد العالمي قام (Yue Qing, *et al*. 2007) بدراسة مشكلة انجراف التربة في مقاطعة (فويتشو) الواقعة ضمن المنطقة الكارستية جنوب غرب الصين؛ وذلك من خلال إجراء تكامل بين المعادلة العالمية لفقدان التربة ونظم المعلومات الجغرافية؛ وذلك من أجل تقدير فقدان التربة وتحديد مناطق الانجراف الخطرة في حوض نهر ماوتيلو (Maotiao). وقد عمل الباحثون على ربط النتائج المتحصل عليها من المعادلة العالمية لفقدان التربة بأنماط استعمالات الأراضي وخرائط الارتفاع والمنحدرات؛ وذلك لاكتشاف العلاقة بين انجراف التربة والعوامل البيئية وتحديد المناطق المعرضة أكثر لانجراف التربة.

كما عمل (Terranova, *et al*. 2009) في دراسته على تحديد المناطق التي تأثرت بانجراف التربة بواسطة المياه سواء مياه الأنهار أو مياه الأمطار، واعتمادًا على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لمعالجة البيانات مكانيًا والتي تم الحصول عليها على نطاق إقليمي لتطبيقها على المعادلة العالمية لفقدان التربة، وقد توصل فيها إلى أن إدارة الأراضي عن طريق التدابير والإجراءات للحد من الانجراف المائي للتربة أدَّت إلى انخفاض ملحوظ في المعدل العالمي لانجراف التربة من 30 إلى 12 طن/ هكتار/ سنويًا.

وبالنسبة للمستوى الإقليمي فقد قيم (Kefi, *et al.* 2012) خرائط انجراف التربة باستخدام سلسلة بيانات زمنية لمرئيات القمر الصناعي MODIS في تونس. وتوصل إلى أن تونس تعاني من خطر حقيقي في انجراف التربة، حيث إن 25% من منطقة الدراسة تقع ضمن نطاق انجراف 30 طن/هكتار من التربة سنويًا.

وأما على المستوى المحلي فقد تعددت الدراسات التي تناولت موضوع انجراف التربة منها دراسة الظاهر (1989) لحوض وادي شعيب مستخدمًا أسلوب ITC والتحليل العاملي والذي اختزل العوامل المسؤولة عن انجراف التربة على عدة عوامل وهي: المقاومة والحماية، والعمليات الجيومورفولوجية، ومورفولوجية السطح، وشكل المنحدر، وطول المنحدر وبناء التربة وتشكلها. كما أشار النوايسة (2006) في دراسة الأخطار البيئية وإدارة الأراضي في حوض وادي الكرك جنوبي الأردن إلى أن الوضع العام لانجراف التربة في الحوض مرتفع وبشكل كبير ومدمَّر أحيانًا، حيث تصل كمية الانجراف إلى أكثر من 150 طن/ هكتار/ سنويًا. كما تناولت المحمد وآخرون (2018) موضوع تقدير تدهور التربة في حوض وادي العرب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد والمعادلة العالمية لانجراف التربة، وتوصلت إلى الكشف عن مناطق التدهور والتي تراوحت بين الخفيف والمدمَّر في أراضي الحوض. كما قامت عودات (2019) بتقدير الناتج الرسوبي لحوض كفرسوم من حوض نهر اليرموك باستخدام المعادلة العالمية للانجراف ونظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت فيها إلى معدلات الانجراف تراوح ما بين 1 إلى 442 طن/ سنويًا، كما بينت دراستها إلى أن حوالي 95.6% من مساحة الحوض تعاني من انجراف خفيف بلغ أقل من 10 طن/ هكتار/ سنويًا.

وتكمن مشكلة الدراسة في حاجة منطقة الدراسة لتقدير انجراف التربة؛ لما له من آثار سلبية على الموارد الأرضية فيها، حيث يعاني حوض الأزرق كغيره من الأحواض المائية في الأردن من مشكلة انجراف التربة، والمتأتية من خلال انخفاض إنتاجية التربة في المنطقة قبل تعرضها للانجراف، حيث تتصف منطقة الدراسة بقلة الغطاء النباتي وندرته وتذبذبه بأجزاء مختلفة من منطقة الدراسة. كما أن طبيعة الأمطار الهاطلة في فصل الشتاء توصف بأنها من النوع الفجائي والقوي مما يزيد من احتمالية الجريان السطحي. كما أن تقدير حجم الناتج الرسوبي المتحصل بفعل انجراف التربة سيفيد في تحديد مدى الجدوى وكفاءة أي سد سيقام في منطقة الدراسة والعمر الافتراضي له، بالإضافة إلى تحديد المناطق الأكثر عرضة للانجراف.

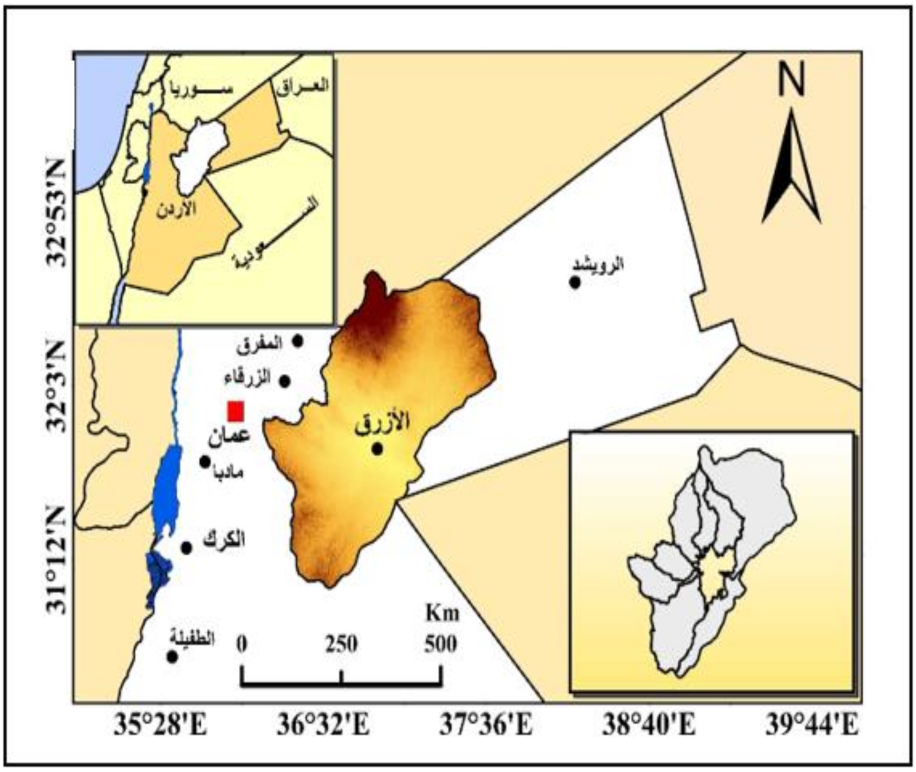
وتبرز أهمية الدراسة في توضيح أهمية وكيفية استخدام التقنيات المكانية (Geographic Information Systems) وتقنيات الاستشعار عن بُعد (Remote Sensing) ونموذج تقيم التربة والمياه (Soil and Water Model Assessment) في دراسة تدهور التربة وانجرافها. بالإضافة إلى ندرة الدراسات التي تناولت قضية انجراف التربة في حوض الأزرق على الرغم من أهمية هذا الحوض فهو يُعدُّ المصدر الرئيسي لتوريد الماء للعاصمة والزرقاء. كما أن دراسة انجراف التربة ذات أهمية فيما يتعلق بالتخطيط وإدارة الموارد الطبيعية ووضع اقتراحات وحلول لمشكلة تدهور الموارد الطبيعية. ويرتبط انجراف التربة بالعديد من المشكلات البيئية مثل: توضع

الرواسب في القنوات النهرية والسدود المائية وتدهور نوعيه مياه الأنهار، مما يتطلب وضع استراتيجيات لإدارة الأحواض المائية وحماية تربتها من الانجراف.

وتسعى الدراسة إلى تقدير كميات التربة المفقودة بفعل الانجراف المائي باستخدام المعادلة العالمية لانجراف التربة Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)، بواسطة نموذج تقييم التربة والمياه وتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. بالإضافة إلى تحديد التباين المكاني لأنماط الانجراف في حوض الأزرق وتزويد المزارعين بها الأمر الذي يسهل عليهم وضع خطط لتفادي المشكلة. كما تسعى الدراسة إلى إنتاج خارطة للانجراف لتعطي تصورًا واضحًا للمشكلة. كما تستهدف الدراسة الوقوف على مدى كفاءة أداء نموذج تقييم التربة والمياه في التنبؤ بالعائد الرسوبي باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لانجراف التربة Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) في ضوء تحديد أولويات الأحواض الفرعية الأكثر تدهورًا على أساس تقدير الجريان السطحي والانجراف. كما تسعى الدراسة إلى تحديد المناطق التي تتسم بالظروف الحرجة لتآكل التربة التي تتطلب تدابير عاجلة لحفظ التربة وإدارة الأراضي.

منطقة الدراسة

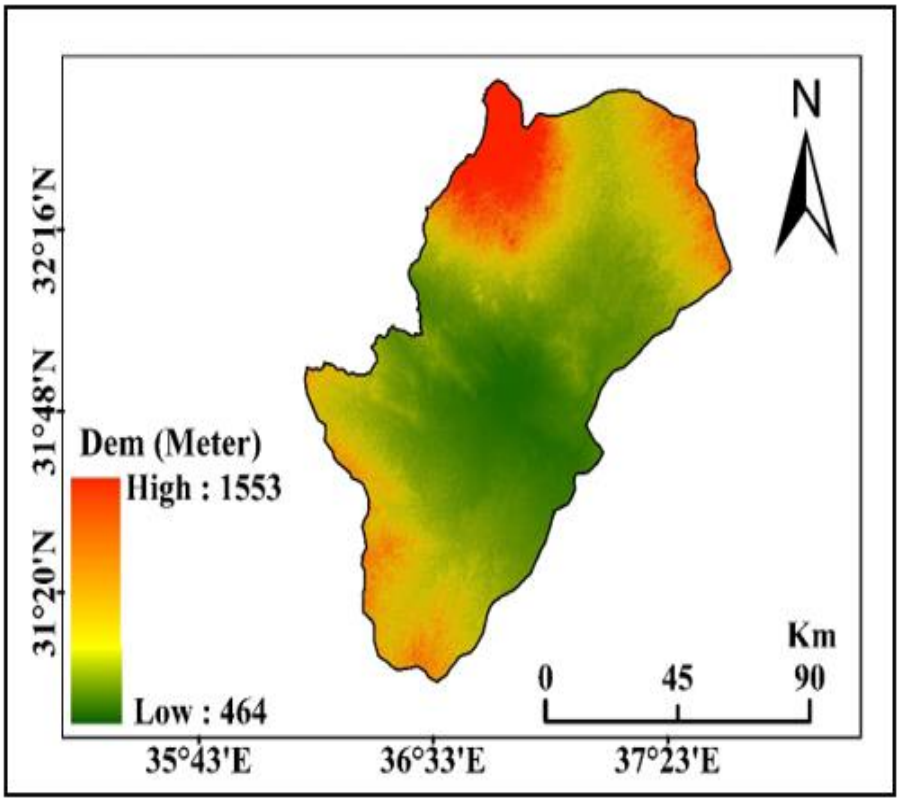
يقع حوض الأزرق في الجانب الشمالي الشرقي من البادية الأردنية، وتترامى جوانبه على الهضبة الجيرية بين خطي طول "25 '9 °36 و"9 '39 °37 شرقاً، ودرجتي عرض '4 °31 "11 و"14 '37 °32 شمالاً. وتبلغ مساحة حوض الأزرق حوالي 12528.7كم^2، يدخل بامتداده الواسع الأراضي السورية من الجهات الشمالية بنسبة 6% من المساحة الإجمالية للحوض، بالمرتفعات العالية والتي يزيد ارتفاعها عن 1500م عن سطح البحر في جبل العرب، بينما يحد حوض السرحان حوض الأزرق من الامتداد داخل الأراضي السعودية، حيث لا يمتد سوى 1% داخل الأراضي السعودية متخذًا شكلاً شبهُ مستدير، أي أن جل مساحة الحوض تتركز في الأردن بنسبة بلغت 93% من إجمالي مساحته. ويحد حدود تقسيم مياه حوض الأزرق حدود تقسيم مياه كل من الأحواض التالية: الحماد من الجهة الشرقية والسرحان والموجب من الجهة الجنوبية والشرقية في الجانب الأردني (الغميض، 2022). ويوضح الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.



شكل (1): موقع منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثيَن بالاعتماد على الخرائط الطبوغرافية، المركز الجغرافي الملكي الأردني.

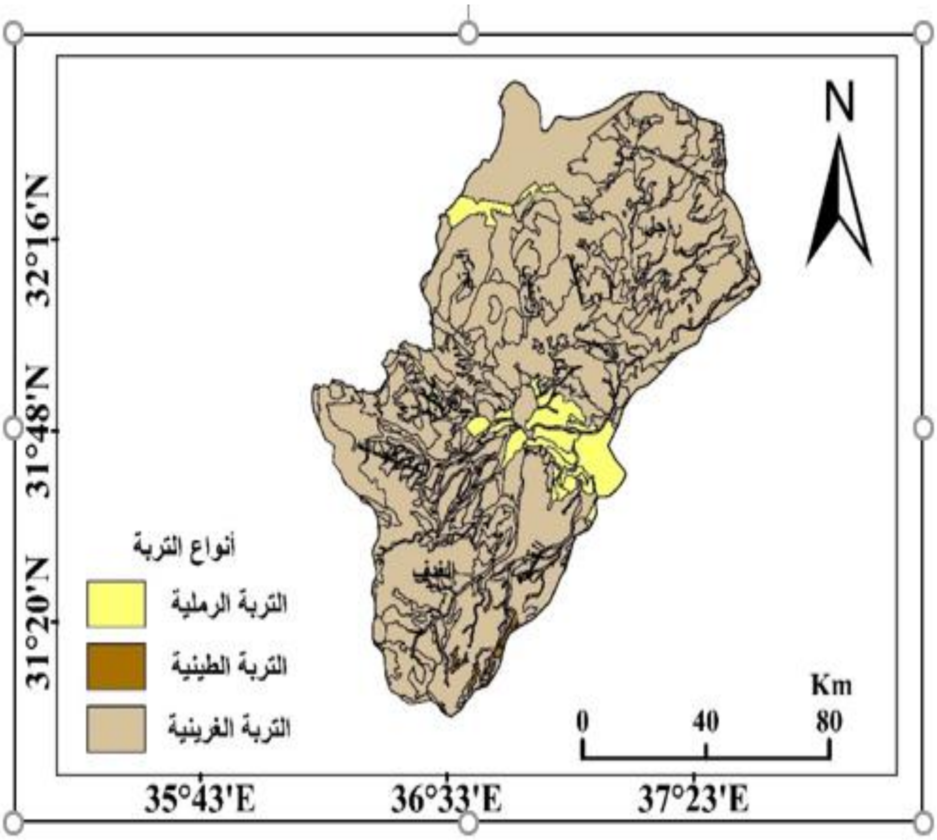
وتقع غالبية التجمعات السكانية في وسط حوض الأزرق عند ادنى ارتفاعاته عن سطح البحر 500م، بما يطلق عليه القاع (Qa'a)، أو أراضي السبخة (Sabkhah)، وتتبع إداريا لمحافظة الزرقاء، وتقع على بعد حوالي 100كم شرقي العاصمة عمان، وتتبع مجمل أراضي الحوض لأربع محافظات هي: العاصمة عمان، والزرقاء، والمفرق، ومعان (النوايسة، 2017). يُعدُّ حوض الأزرق من الأحواض التي تشهد انسجامًا وتماثلاً تضاريسيًا وطبوغرافيًا، حيث تتراوح مناسيب الارتفاعات فيه بين 464م و1553م، أي أن التضرس لحوض الأزرق بلغ 1089م وهي التي تشكل 4.1% والتي تشير إلى أن حوض الأزرق ذو تضرس قليل وذلك بحكم اتساع مساحة أراضي الحوض، حيث إن نسبة التضرس تتناسب عكسيًا مع مساحة الحوض. كما يبين المعامل الهبسومتري لحوض الأزرق أنه يمر بمرحلة الشيخوخة حيث بلغت قيمته 24.2% والتي بدورها تشير إلى ضعف النشاط الحتي للوادي، الأمر الذي يؤكد على التماثل التضاريسي والطبوغرافي لأراضيه. ويشير الشكل (2) نموذج الارتفاعات الرقمي لحوض الأزرق.



شكل (2): نموذج الارتفاعات الرقمي لحوض الأزرق.
المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي.

وبحسب تصنيف كوبن فإن حوض وادي الأزرق يخضع لسيادة المناخ الجاف بنمطية الحار والبارد والمناخ شبه الجاف بنمطية البارد والحار. ويتواجد في أراضي الحوض محطتين تابعتين لدائرة الأرصاد الجوية وهما: الصفاوي والأزرق الجنوبي، حيث يبلغ معدل درجة الحرارة السنوي في محطتي الصفاوي والأزرق الجنوبي على التوالي 20.3°م و20.5°م لعام 2019م. أما بالنسبة لكميات الامطار فهي لا تشهد تباينًا بين اجزاءه المختلفة، فقد بلغ المعدل العام لكميات الأمطار الهاطلة في محطتي الصفاوي والأزرق الجنوبي على الترتيب 71 ملم/ سنويًا و59.2 ملم/ سنويًا (دائرة الأرصاد الجوية، 2019م).

وتنتشر في أراضي حوض الأزرق ثلاث أنواع من التربة وهي: الطينية والرملية والغرينية، إلا أن التربة الغرينية الأوسع انتشارا في أراضي الحوض، حيث بلغت نسبة انتشاره 92.5% من إجمالي مساحة الحوض، وهي موزعة على صنفين رئيسين هما: الغرين الغني بالطفل الطيني وهو الأكثر انتشارًا بنسبة بلغت 90.1% من جل مساحة الحوض، والغرين الغني بالطفل والتي بلغت نسبة انتشاره 2.4% من مجمل مساحة الحوض. ثم تأتي التربة الرملية بنسبة انتشار بلغت 7% وتركزت في الجزء الشرقي من الحوض مع وجدود امتداد شريطي في الجزء الشمالي الغربي منه. وأخيرًا التربة الطينية وهي الأقل انتشارًا في حوض الأزرق بنسبة بلغت 0.5% من إجمالي مساحته، وتركزت في اقصى الطرف الجنوبي الشرقي على شكل اشرطه طولية ويبين الشكل (3) أنواع الترب المنتشرة في حوض الأزرق. المسح الوطني للتربة واستعمالات الأراضي، 1993.



شكل (3): أنواع الترب في حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على المسح الوطني للتربة استعمالات الأراضي، 1993

منهجية الدراسة وأساليب المعالجة

استخدمت هذه الدراسة المنهج الوصفي والتحليلي الكمي لتقييم ومحاكاة الوضع الهيدرولوجي والجيومورفولوجي، بعد معالجة البيانات المكانية والزمانية حاسوبياً باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على بيانات مناخية يومية متمثلة بعنصري: درجات الحرارة الصغرى والعظمى وكميات الهطول المطري للفترة منذ عام 1984 وحتى 2019م. بالإضافة إلى استخدام الأساليب الكمية والكارتوغرافية لحساب المتغيرات الهيدرولوجية المتعلقة بالموازنة المائية الحالية، من حيث الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بعد وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية ونموذج واداة تقييم التربة والمياه من خلال ملحقه ArcSwat ضمن بيئة ArcGis 10.6 وبرمجية Microsoft Excel 2016.

ويعد نموذج تقييم التربة والمياه نموذج مناخيا وهيدرولوجيا في آن واحد والذي تم تطويره على أساس زمني مستمر من قبل وزارة الزراعة الأمريكية (Arnold, *et al*. 1998). ويقوم نموذج تقييم التربة والمياه على تجزئة الحوض الرئيسي إلى الأحواض الفرعية المشكلة له؛ بهدف إجراء نمذجة على وحدات مكانية متجانسة، يتم فيها جمع المعلومات والبيانات: المناخية والمياه الجوفية والشبكة المائية. كما يعمل هذا النموذج على تقسيم الأحواض الفرعية للحوض الرئيسي إلى وحدات استجابة مائية Hydrologic Response Unit (HRU) والتي تشير إلى الأراضي المجمعة داخل الحوض المتكونة من غطاء نباتي وأراضٍ وتربة.

ويمكن تمثيل الدورة المائية باستخدام نموذج أداة تقيم التربة والمياه بالاعتماد على معادلة الموازنة المائية من خلال المعادلة المبينة أدناه (Hallouz, *et al*. 2017):

$$SWt = SW0 + \sum_{i=1}^{i=t}(Rday - Qsurf - Ea - Wperc - Qgw)$$

حيث يمثل SW_t وSW_0 على التوالي المحتوى المائي الأولي والنهائي في التربة، كما يشير رمز R_{day} إلى كميات الهطول اليومية، ويمثل الجريان السطحي في المعادلة بالرمز Q_{surf}، كما تضمنت المعادلة عنصر التبخر وهو العنصر الأساسي في الموازنة المائية والممثل بالرمز E_a، كما اشتملت المعادلة على عنصر التغلغل (Percolation) المشار له بالرمز W_{perc}، وكما يشير رمز Q_{gw} إلى عودة التدفق (الجريان) وجميع العناصر يتم قياسها أو تسجيلها بملم/ يوميًا، أما رمز t فأنه يمثل الفترة الزمنية بالأيام.

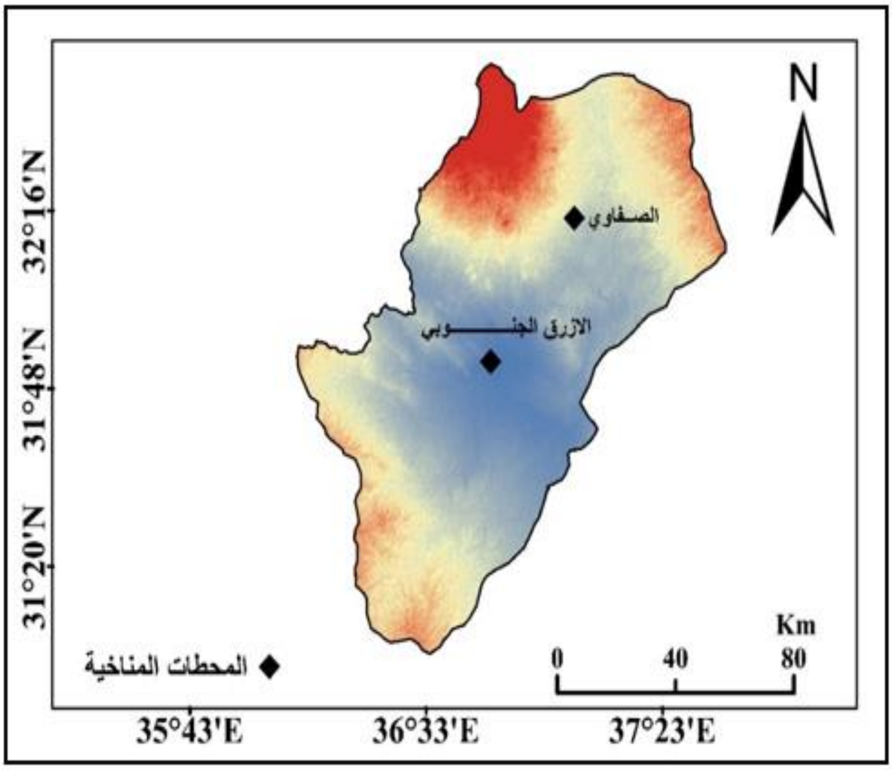
يتضمن إجراء هذه الدراسة مجموعة من المراحل وهي: الاطلاع على الدراسات السابقة ومن ثم إعداد بيانات الدراسة وتجهيزها قبل التعامل معها في نموذج وأداة تقييم التربة والمياه من مصادرها المختلفة من خلال التصحيح الهندسي والإشعاعي للمرئيات الفضائية، وتحويل البيانات والخرائط الورقية إلى رقمية وتبويبها حتى يسهل التعامل معها حاسوبيًا، كالخرائط الجيولوجية، وبعض العناصر المناخية، كما قامت الدراسة أيضًا بمعالجة البيانات المفقودة سواء البيانات

المناخية أو الجريان السطحي من خلال تعبئتها برقم 99- لكي يتعرف النموذج على أن هذه البيانات مفقودة.

بعد مرحلة جمع وتجهيز البيانات تأتي مرحلة تحديد الحوض بالطريقتين التقليدية أولا باستخدام الخرائط الطبوغرافية ومن ثم تحديده باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، أو باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) مباشرة بواسطة الأداة Hydrology ضمن Spatial Analysis. وبعد تحديد الحدود الخارجية للحوض يتم استخلاص الروافد المائية والمصب (Outlet) والأحواض الفرعية (Sub Basin) وحساب المتغيرات المساحية والتضاريسية له وتتم هذه المرحلة والتي تتبعها باستخدام ملحق ArcSwat 2012.

ثم تأتي مرحلة تحديد وحدات الاستجابة المائية (HRU) والتي تشير إلى الأراضي المجمعة داخل الحوض والمتكونة من غطاء نباتي وأراضي وتربة ومجموعة إدارة متجانسة (الغنميين، 2018م). ويتم تحديد هذه الوحدات من خلال التعامل مع ثلاث متغيرات رئيسية وهي: تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته باستخدام برمجية Erdas Imagine 2016 وفق تصنيف مخصص يستخدمه نموذج تقييم التربة والمياه (SWAT Landuse Classification). ثم يأتي تعريف المتغير الثاني والمتعلق بالتربة وفق النسيج باستخدام عدة تصنيفات سواء FAO وهو المعتمد بالدراسة وذلك بسبب اعتماد خرائط التربة في الأردن على هذا النوع من التصنيف أو تصنيف الأمريكي والمبني عليه النموذج، ويتم إضافة تصنيف منظمة الأغذية والزراعة الدولية FAO إلى قاعدة بيانات نموذج SWAT لكي يتعرف عليها ويسهل التعامل معها. ثم يأتي المتغير الثالث والمتعلق بالانحدار وإجراء تصنيف له. بعد تحديد وتعريف نموذج SWAT على متطلبات ومتغيرات تحديد وحدات الاستجابة المائية يتم إجراء تطابق (Overlay) بين الخرائط الثلاثة الناتجة عن تحديد تلك المتغيرات والخروج بخريطة تبين وحدات الاستجابة المائية.

بعد المراحل السابقة تأتي المرحلة المهمة وهي عمل المحطات المناخية للحوض المائي وتعريف ملحق نموذج SWAT عليها من خلال برنامج Access. وقد بُنيَ نموذج SWAT على أن يتضمن الحوض المائي على الأقل محطتين مناخيتين لذا تم الاعتماد على قراءات محطات تابعة لدائرة الأرصاد الجوية وليس على محطات وزارة المياه والري وذلك بسبب دقة المحطات التابعة لدائرة الأرصاد الجوية نوعًا ما. ويبين الشكل (4) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الأزرق.



شكل (4): المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الأزرق.
المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على بيانات دائرة الأرصاد الجوية، 2019م.

بعد إجراء هذه الخطوة يتم إنشاء قاعدة بيانات SWAT وفق المتغيرات السابقة ومن ثم تحديد طريقة حساب التبخر المحتمل (PET) وفق طريقة هارقيز (Hargraves)، ونظرًا لأهمية هذا العنصر فقد احتوى نموذج SWAT على ثلاث طرق حسابية لحساب التبخر المحتمل (PET) والتي تتيح للمستخدم إمكانية اختيار الطريقة المناسبة في ضوء ما يتوفر من عناصر مناخية لديه، بالإضافة إلى إمكانية إضافة ملف يحتوي على قيم محسوبة للتبخر. وهذه المعادلات هي بنمان (Penman-Monteith)، ومعادلة بريسلي تايلور (Priestly-Taylor)، والمعادلة التي تستند بشكل أساسي على درجة حرارة الهواء وهي هارقيز (Hargraves) وهي التي سوف يتم الاعتماد عليها في هذه الدراسة نظرًا لتوفر جميع مدخلاتها المناخية والتي يمكن تمثيلها في المعادلة التالية :(Weib & Menzel, 2008)

$$Erc = 0.002 * \mathrm{Ra} * \ \delta T^{0.5} * (T + 17.8)$$

حيث يمثل Erc التبخر المحتمل بناءً على معادلة هارقيز ملم/ يوميًا، وRa متوسط الإشعاع اليومي ميجا جول/ يوم، ويشير δ الفرق في درجة الحرارة المئوية (متوسط درجة الحرارة العظمى الشهرية - متوسط درجة الحرارة الدنيا الشهرية)، وT ومتوسط درجة حرارة الهواء.

بعد كل المراحل السابقة يتم عمل تنفيذ للنموذج (Run) وعمل خرائط توضح كل عنصر من عناصر الموازنة المائية السطحية (Water Surface Budget) والموازنة المائية الجوفية (Ground Water Budget)، وإعداد الجداول والأشكال البيانية التي تمثل الخصائص الإحصائية لتلك المتغيرات. ويحاكي نموذج تقييم التربة والمياه حجم الجريان السطحي ومعدلات الجريان القصوى لكل وحدة الاستجابة الهيدرولوجية باستخدام كميات الأمطار اليومية وفق طريقة رقم المنحنى خدمة التربة The Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) والتي يمكن تمثيلها رياضيًا كما يلي (Mosbahi, *et al*. 2012):

$$Q = \frac{(R-0.2\,s)^2}{(R+0.8\,s)} \qquad R > 0.2\,s$$

$$Q = 0.0 \qquad R \leq 0.2\,s$$

حيث يمثل Q الجريان السطحي اليومي (ملم)، R هو هطول الأمطار اليومي (ملم)، وS هي مخزون الحوض المائي. ويختلف المخزون المائي بين الأحواض المائية وذلك بسبب تضافر عدة عوامل وهي: التربة، واستخدامات الأراضي وإدارتها ، والمنحدرات تختلف جميعها، مع مرور الوقت بسبب التغيرات في محتوى الماء في التربة. ويرتبط المحتوى المائي للحوض بـرقم المنحى (CN) بواسطة معادلة SCS:

$$s = 254\left(\frac{100}{\mathrm{CN}} - 1\right)$$

ويتم تقدير انجراف التربة باستخدام المعادلة العالمية للانجراف التربة Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)، والتي تم تعديلها في أواخر الستينات، حيث هناك مجموعة من النماذج المستخدمة في دراسات لتقدير معدلات انجراف التربة، مثل: مشروع التنبؤ بالانجراف المائي Water Erosion Prediction Project (WEPP)، والنموذج الأوروبي لانجراف التربة European Soil Erosion Model (EUROSEM)، إلا ان السبب في استخدام نموذج RUSLE في هذه الدراسة يكمن في انه الأكثرُ تطبيقًا واستخدامًا في معظم الابحاث العربية والاجنبية، ومنها: (العوض، 2012)، (القطيش، 2013)، (Farhan & Nawaiseh, 2015)، بالإضافة إلى توافقه مع بيئة أنظمة المعلومات الجغرافية. ويمكن تمثيل المعادلة العالمية للانجراف التربة المعدلة كما يلي (Farhan & Nawaiseh, 2015):

$$A = R\ K\ L\ S\ C\ P$$

حيث يمثل كل من A مقدار الترب المنجرفة او المفقودة المحسوبة بطن/هكتار/سنة، وR (Rainfall - Runoff erosivity factor) عامل التعرية المطرية، وK (Soil erodibility factor) عامل مدى قابلية التربة للانجراف، وLS (slope length and steepness) العامل الطبوغرافي (طول المنحدر وعامل ميله)، وC (Cover management) عامل الغطاء الأرضي وإدارة المحاصيل ويترواح قيمه ما بين 0 و1.5، وP (Conservation practice) عامل إجراءات الصيانة وتترواح قيمه ما بين 0 و1.

إلا أن المعادلة العالمية لانجراف التربة يشوبها بعض الأمور التي من الواجب الأهتمام بها كالجريان السطحي، والنقل والترسيب. كما يقوم مبدأ عملها على تقدير متوسط انجراف التربة السنوي لفترة طويلة ولكل وحدة مساحة، ولمدة لا تقل عن 22 عام على الأقل. كما أن معادلة RUSLE هي عبارة عن مقياس حقلي لانجراف التربة ضمن مساحة معينة لكنها تكون ذات جدوى قليلة عند استخدامها كمؤشر على كمية أو تقدير الرواسب الواصلة إلى منطقة المصب (Outlet)، حيث تغفلُ إمكانية ارساب بعض التربة المتأكلة ضمن القنوات والمجاري المائية. وفي ضوء ما سبق يتم حساب العائد الرسوبي في نموذج تقيم التربة والمياه وفق المعادلة العالمية المعدلة للانجراف التربة أو للعائد الرسوبي Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)، والتي تعمل على تقدير العائد الرسوبي لكل عاصفة مطرية وليس متوسط العواصف المطرية على مدى 22 عام على الأقل، كما أنها لا تغفل إمكانية توضع بعض التربة والمواد المنقولة ضمن القنوات والمجاري المائية. وعليه فإن القيم المحسوبة من معادلة RUSLE تكون ذات قيم أعلى من القيم الناتجة من معادلة MUSLE. ويمكن تمثيل معادلة MUSLE رياضيًا كما يلي (Williams & Berndt, 1977):

$$S_Y = 11.8 * (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} * K* P *C * LS$$

حيث يمثل S_Y اجمالي العائد الرسوبي (طن/م)، Q_{surf} هو حجم الجريان السطحي ($م^3$/هكتار)، وQ_{peaq} هو ذروة الجريان السطحي ($م^3$/ثانية)، و$area_{hru}$ مساحة وحدات الاستجابة المائية (هكتار)، وK يشير إلى مدى قابلية التربة للإنجراف، وP يبين ممارسات الحفاظ على التربة وإجراءات الصيانة لها وتترواح قيمه ما بين 0 و1، ويبين C معامل الغطاء الأرضي وإدارة المحاصيل ويترواح قيمه ما بين 0 و1.5، ويوضح LS العامل الطبوغرافي.

وبناءً على الاختلاف الواضح بين قيم معادلتي انجراف التربة (RUSLE) والعائد الرسوبي الفعلي (MUSLE) فأنه يمكن حساب نسبة الرواسب الواصلة إلى المصب سواء كان المصب طبيعي (حوض مائي) أو صناعي (سدود) باستخدام معادلة وضعت خصيصًا لذلك وهي معادلة نسبة التوصيل الرسوبي (Sediment Delivery Ratio) والتي تتضمن متغيرين رئيسين وهما: قيمة انجراف التربة والمشار له في المعادلة بالرمز (E)، وقيمة العائد الرسوبي (S_Y). ويمكن تمثيل المعادلة رياضيًا كما يلي (Lim, *et al*. 2005):

$$SDR = S_Y / E$$

بعد كل المراحل السابقة تأتي مرحلة تصنيف قابلية أراضي الحوض واحواضة الفرعية للانجراف ومقدار العائد الرسوبي بالاعتماد على تصنيف وفق فئات معينة معتمدة في هذه الدراسة والمبينة في الجدول (1). ومن ثم عمل خرائط اللازمة التي توضح قابلية أراضي الحوض واحواضة الفرعية للإنجراف ومقدار العائد الرسوبي.

جدول (1): تصنيف فئات المعدل السنوي لإنجراف التربة والعائد الرسوبي لحوض الأزرق.

الرقم	فئة الانجراف / العائد الرسوبي	المعدل السنوي للانجراف (طن / هكتار)
1	خفيف	12 – 0
2	معتدل	25 – 12
3	شديد	60 – 26
4	شديد جدًا	100 – 61
5	مدمر	< 100

المصدر: من عمل الباحثيَن.

وقد اعتمدت الدراسة في تناولها وتحليلها موضوع تقييم مخاطر انجراف التربة لحوض الأزرق باستخدام نموذج تقييم التربة والمياه ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد على عدة مصادر من المعلومات والبيانات وهي:

1. الخرائط بكافة أنواعها وأشكالها وفق مقاييس مختلفة باختلاف نوعها ومنها:
– الخرائط الطبوغرافية (1997) لوحات أم القطين ودير الكهف وجبل أم دهام والسبيكة والصفاوي وراجل والأزرق ووادي الغدف وقصير عمرة ضمن مقياس رسم (50000:1). (المركز الجغرافي الملكي الأردني، 2019).
– خريطة التربة (1993)، لوحات أم القطين ودير الكهف وجبل أم دهام والسبيكة والصفاوي وراجل والأزرق ووادي الغدف وقصير عمرة ضمن مقياس رسم (50000:1). (المسح الوطني للتربة ،1993).
– خرائط جيولوجية (1997)، لوحات أم القطين ودير الكهف وجبل أم دهام والسبيكة والصفاوي وراجل والأزرق ووادي الغدف وقصير عمرة ضمن مقياس رسم (50000:1). سلطة المصادر الطبيعية، 2009).
2. نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بقدرة تميزية 30م والذي توفره وكالة المساحة الجيولوجية الأمريكية بهدف اشتقاق الأحواض المائية المختارة في هذه الدراسة وإجراء تحليلات مورفومترية وهيدرولوجية. (https://earthexplorer.usgs.gov/).
3. المرئيات الفضائية: اعتمدت الدراسة على المرئيات الفضائية التي يوفرها القمر الصناعي Sentinel 2 بقدرة تميزية 10م؛ بهدف إجراء تصنيف أو التعرف على الغطاء الأرضي وأنماط استعمالاته وفق المعطيات والمحددات الموضحة في الجدول (2). وبعد الحصول على المرئيات الفضائية الممثلة لمنطقة الدراسة تم تجميعها في مرئية واحده فيما يعرف

بعملية (Mosaicking). وبعد إجراء دمج للمرئيات تم القيام بعملية تحسين المرئيات الفضائية وتصنيفها (Image Enhancement and Classification) باستخدام برمجية Erdas imagine 2016، بالاعتماد على أسلوب التصنيف الموّجه Supervised (Classification)، وفق طريقة تصنيف احتمالية غاوس العظمى (Maximum Likelihood Classification)، والتي تمتاز بدقة تصنيف أعلى للخلايا من غيرها من طرق التصنيف الموّجه، بحث توزع كل فئة من الفئات الى التوزع النظامي لها، بحيث يتم وضع كل خليه في الصنف الأكثر احتمالية له، بالاستناد على قيم انعكاس هذه الخلايا (غيث، 2010). وقد تم تصنيف أراضي حوض الأزرق وفق نظام تصنيف أندرسون لاستعمالات الأراضي (Anderson Land Use Classification)، مع إجراء بعض التعديلات لتناسب ظروف منطقة الدراسة. وقد تم لاستعانة بمناطق التدريب (Training Area) والتي تمثل أصناف الأغطية الأرضية واستعمالاتها في حوض الأزرق؛ وذلك ليتم تصنيف أراضي الحوض وفقها من خلال القيم الانعكاسية لها. وتم استخلاص الغطاء الأرضي واستعمالاته لحوض الأزرق وفق الجدول (3). (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home).

جدول (2): محددات المرئيات الفضائية لحوض الأزرق.

الحوض	محددات المرئية Tile Number
الأزرق	T37SBR, T37SCR,T37SCS, T37SBS,T37RCQ,T37RBQ,

المصدر: من عمل الباحث

جدول (3): تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الأزرق.

الرقم	التصنيف	الوصف
1	المناطق العمرانية	تشمل المناطق السكنية، والمنشأة التجارية، والصناعية، والتجارية.
2	الغطاء النباتي	تشمل جميع الأراضي الزراعية سواء البعلية أو المروية، بالإضافة إلى الغطاء النباتي الطبيعي
3	المراعي	تضم الأراضي التي تحتوي على النباتات الرعوية، والمخصصة لرعي الحيوانات.
4	الأراضي الجرداء	هي الأراضي التي تفتقر لوجود أي مظهر من مظاهر الحياة النباتية.
5	الأراضي البازلتية	وتشمل المناطق البركانية، والأراضي ذات الصخور العارية
6	السدود المائية	وتمثل الخزانات ومشاريع الحصاد المائي.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نظام تصنيف أندرسون.

4. بيانات مناخية تتضمن كميات الأمطار اليومية ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية لمحطتي الصفاوي والأزرق الجنوبي للفترة الممتدة من 1984 وحتى 2019م (دائرة الأرصاد الجوية، 2019)

كما وقد استعانت الدراسة في معالجتها لموضوعها بمجموعة من البرمجيات وهي:

1. تقنيات نظم المعلومات الجغرافية وخاصة برنامج ArcGIS10.6 في إجراء عمليات التصحيح الجغرافي للخرائط الورقية وتحويلها إلى رقمية، وتحديد الأحواض المائية المختارة، ودورها في عملية الإخراج الكارتوغرافي.
2. ملحق ArcSwat 2012 والمختص بإجراء المحاكاة والنمذجة للحوض.
3. برمجية Erdas Imagine 2016 لتصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالاتها.
4. برمجية Microsoft Excel 2016 لعمل الاشكال البيانية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية.

نتائج الدراسة ومناقشتها

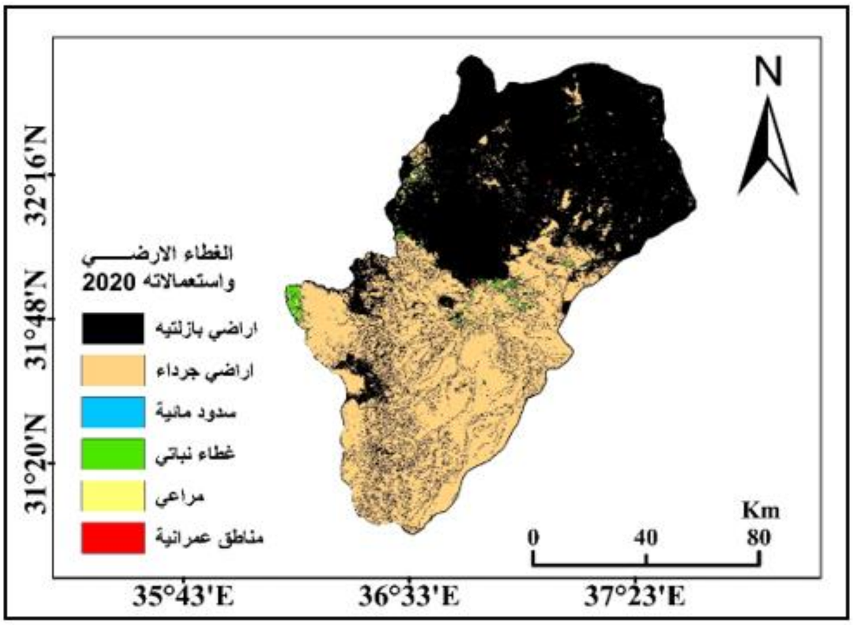
أنماط الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الأزرق

يشهدُ حوض الأزرق تنوعًا في الغطاء الأرضي واستعمالاته، وذلك بحكم كبر مساحته، بالإضافة إلى الزيادة السكانية التي تؤدي إلى زيادة في الاستعمالات الحضرية المختلفة، بالإضافة إلى التوسع في القطاع الزراعي لسد الاحتياجات المتزايدة من الطلب على الغذاء. وتنحصر الغطاءات الأرضية واستعمالاتها في حوض الأزرق على الأصناف التالية الموضحة في الشكل (7)، والجدول (4):

جدول (4): أصناف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الأزرق.

الرقم	أصناف الغطاء الأرضي واستعمالاته	المساحة	
		كم^2	%
1	الأراضي البازلتية	5956.3	47.5
2	الأراضي الجرداء	6359.5	50.8
3	السدود المائية	0.4	0.003
4	الغطاء النباتي	138.7	1.1
5	المراعي	68.9	0.5
6	المناطق العمرانية	4.9	0.04
المجموع		12528.7	100

المصدر: من عمل الباحث



شكل (7): الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الأزرق.

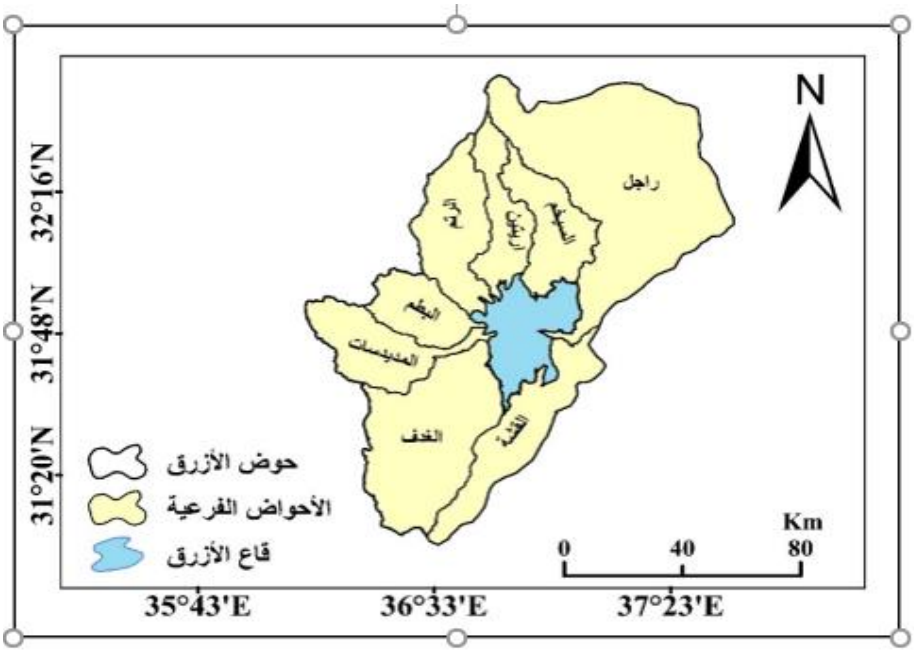
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئيات فضائية من القمر الصناعية Sentinel2، 2020م.

وقد تبيّن من الجدول (4) والشكل (7) أن أغلبية مساحة الحوض تنصف ضمن فئتين رئيسيتين وهما: الأراضي البازلتية والجرداء، حيث بلغت مساحتهما 98.3% من جلّ مساحة الحوض، وهي موزعة على 47.5% والتي صنفت على أنها أراضي بازلتية، والمتواجدة في القسم الشمالي من الحوض، مع تواجد لبعض المساحات في الأطراف الغربية والشرقية منه، في حين كانت نسبة الأراضي الجرداء 50.8% من مساحة الحوض، والتي توزعت في الجزء الأوسط والجنوبي منه. وبالنسبة للسدود المائية والمناطق العمرانية فقد كانت أقل أصناف الأغطية الأرضية المتواجدة ضمن أراضي حوض الأزرق، حيث بلغت المساحة الممثلة لهما أقل من 0.5% من مساحة الكلية للحوض.

وأما فيما يتعلق بالغطاء النباتي سواء كان طبيعيًا أو مناطق الزراعية فيتواجد في منطقتين رئيستين وهما: منطقة الوسطى من الحوض والتي تمثل منطقة القاع، وفي أقصى الطرف الغربي من الحوض. إلا أن هذا التركز لا ينفي وجود بعض البقع المساحية المتناثرة ضمن أرجاء الحوض، خاصة في القسم الشمالي منه. وقد بلغت المساحة التي شغلها الغطاء النباتي 1.1% من المساحة الممثلة للحوض. وبالنسبة للمناطق التي صنفت على أنها مناطق رعوية فقد بلغت مساحتها 0.5% من المساحة الممثلة للحوض، وهي نسبة ضئيلة جدًا بالمقارنة مع مساحة الإجمالية للحوض.

الأحواض الفرعية ووحدات الاستجابة المائية

تم تقسيم الحوض المائي إلى أحواضه فرعية (Sub Basin) ووحدات الاستجابة المائية (HRU)، وقد تبين من خلال تطبيق نموذج تقييم التربة والمياه على أن حوض الأزرق احتوى على ثمان أحواض فرعية، و111 وحدة استجابة مائية عند مستوى عتبة 5% لكل من التربة والانحدار واستعمالات الأراضي. وقد تبين أن حوض وادي راجل أكبر الأحواض مساحةً والتي بلغت 3883.3كم^2، في حين كان حوض وادي البطم هو الأقل مساحةً من بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق بجمالي مساحة بلغت 666.8كم^2. ويظهر الشكل (5) الأحواض الفرعية في منطقة الدراسة.



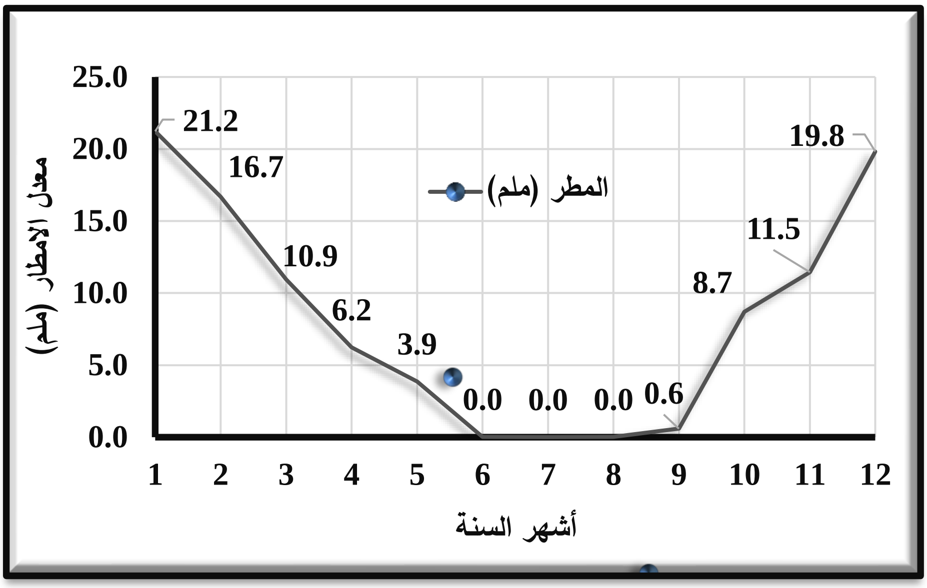
شكل (5): الأحواض الفرعية في حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGis 10.6

الهطول المطري والتبخر

يمثل الهطول بكافة أشكاله وأنواعه المحرك الأساسي للموازنة المائية في أي حوض مائي، حيثُ تعتمد بقية عناصر الموازنة عليه خاصة التبخر الفعلي والجريان السطحي. كما أن بعض العمليات النهرية تعتمد بشكل رئيسي على كميات الهطول وشدتها مثل الحت النهري بكافة أنواعه وانجراف التربة وانزلاقاتها (الغميض، 2019).

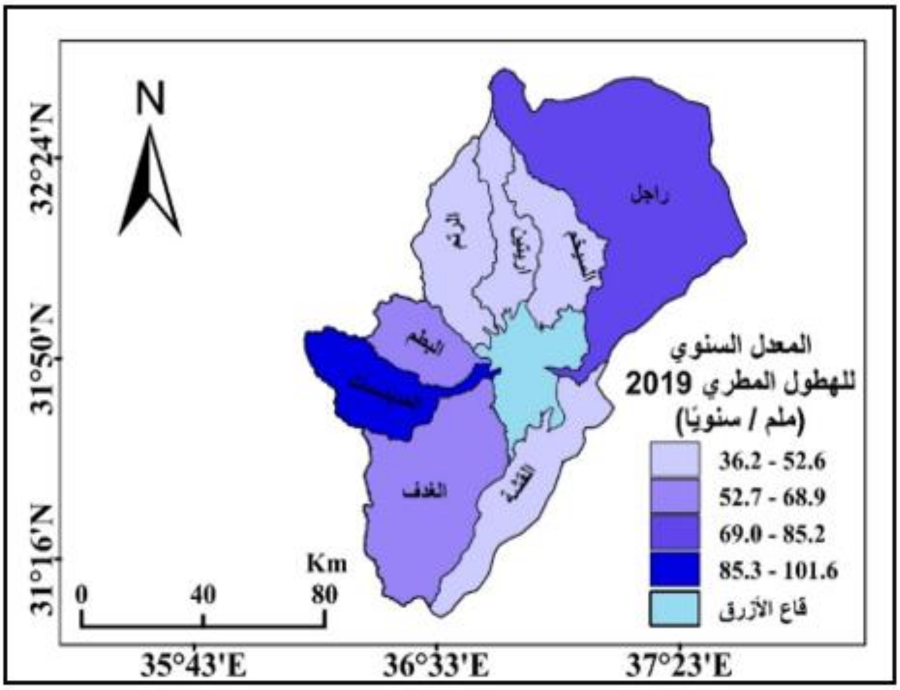
وقد أظهرَ نموذج SWAT أن معدل كميات الهطول المطري في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة 99.8 ملم/سنويًا. وكما أوضح هذا النموذج تباينًا زمنيًا خلال أشهر السنة ضمن فترة الدراسة حيث تلقى الحوض أكثر معدل أمطار خلال فترة الدراسة أثناء شهر كانون الثاني بقيمة بلغت 21.2 ملم، في حين تفتقر أشهر الصيف خلال فترة الدراسة لأي كميات أمطار تذكر. ويظهر الشكل (6) التباين الزماني لمعدل الأمطار في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



شكل (6): التباين الزماني لمعدل الأمطار في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثيْن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel.

كما أظهرت نتائج SWAT أن اغلب الأحواض الفرعية لحوض الأزرق يبلغ فيها معدل الهطول السنوي لعام 2019م ما بين 36.2 ملم سنويًا و52.6 ملم سنويًا، حيث بلغ عددها 4 أحواض فرعية وهي أحواض أودية السخيم واريتين والرتم والقشة، وتوجد اغلب تلك الأحواض في القسم الشمالي الغربي من حوض الأزرق ما عدا حوض وادي القشة. وقد كان حوض وادي المديدسسات والواقع في الجهة الغربية من حوض الأزرق هو الأكثر هطولاً، حيث تراوح الهطول المطري فيه ما بين 85.5 ملم سنويًا و101.6 ملم سنويًا. ويبين الشكل (7) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق لعام 2019م

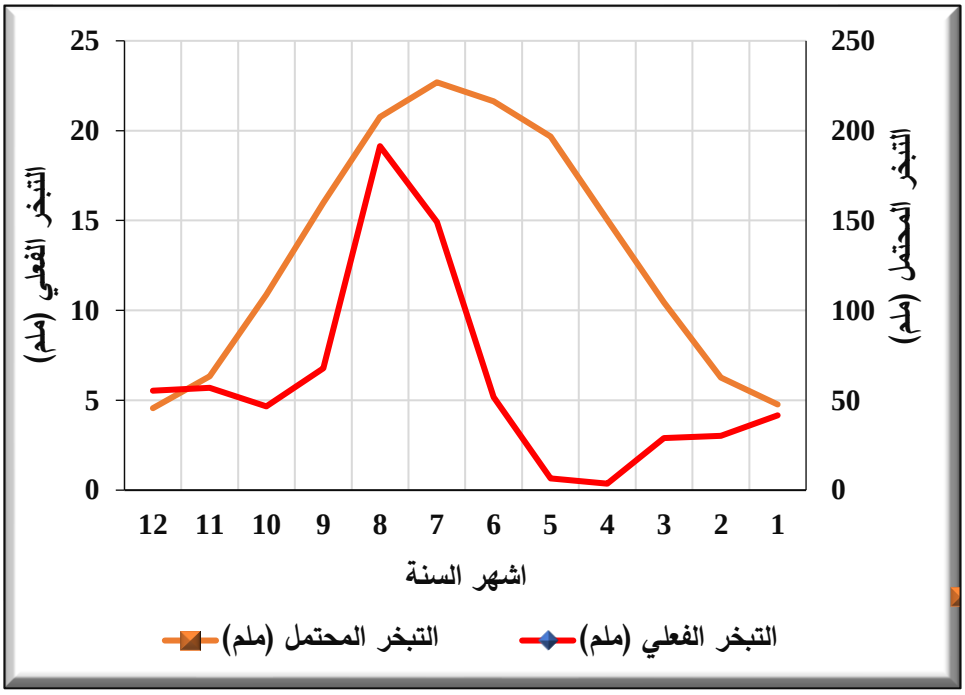


شكل (7): التباين المكاني لمعدل الهطول المطري بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

وأما فيما يتعلق بالتبخر والذي يُعرف بأنه:- تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ويُعدُّ التبخر من العمليات المهمة والأساسية التي توضح سلوك نظام الاتزان الحراري لسطح الأرض والغلاف الجوي (العرود، 2002). ويقسم التبخر إلى نوعين أساسين هما :التبخر الفعلي (Actual Evaporation) والتبخر المحتمل (Potential Evaporation).

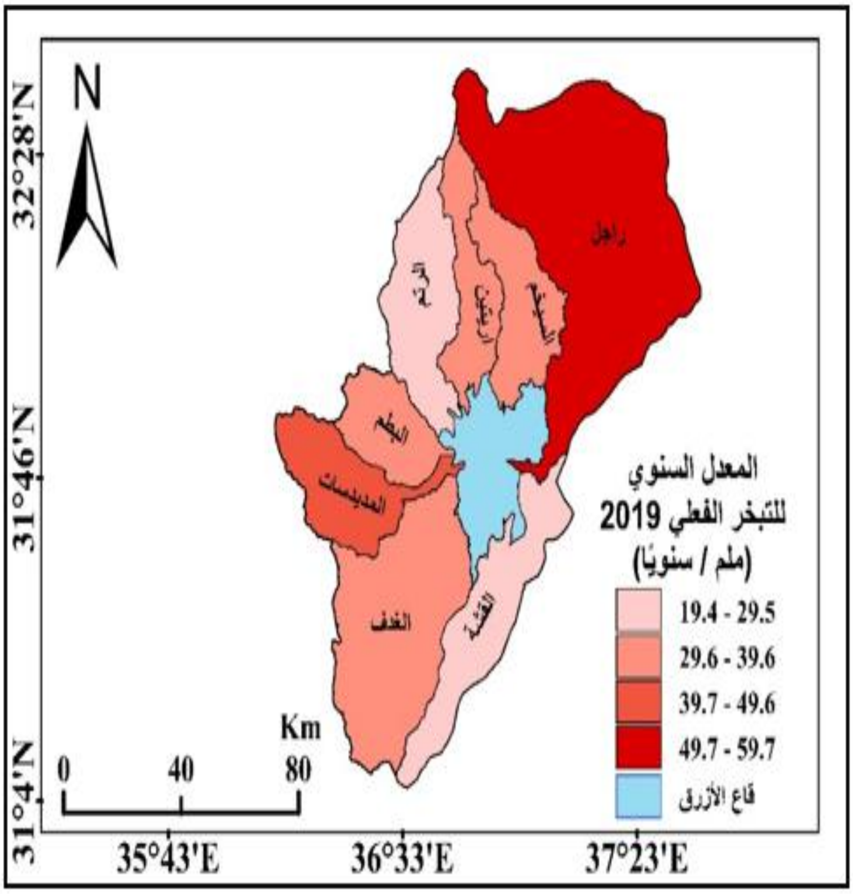
وقد أظهر نموذج SWAT أن معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الأزرق بلغ على التوالي 73.6 ملم سنويًا و1592.5 ملم سنويًا خلال الفترة الممتدة ما بين 1984 و2019م. إلا أن هذه القيم تتابين زمنيًا (خلال اشهر السنة) ومكانيًا (ضمن أحواض الفرعية). كما أن قيم التوزيع الزمني والمكاني للتبخر الفعلي والمحتمل يوصف بأنه متغاير، فقد كانت أعلى قيمة لمعدل التبخر الفعلي خلال شهر أيار بقيمة بلغت 19.1 ملم بينما بلغت أعلى قيمة لمعدل التبخر المحتمل في شهر تموز 226.9 ملم، أما بالنسبة لأدنى قيمة لمعدل التبخر الفعلي 0.4 ملم وذلك خلال شهر أيلول، في حين بلغت أدنى لقيمة لمعدل التبخر المحتمل 45.6 ملم خلال شهر كانون أول. ويبين الشكل (8) قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



شكل (8): قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

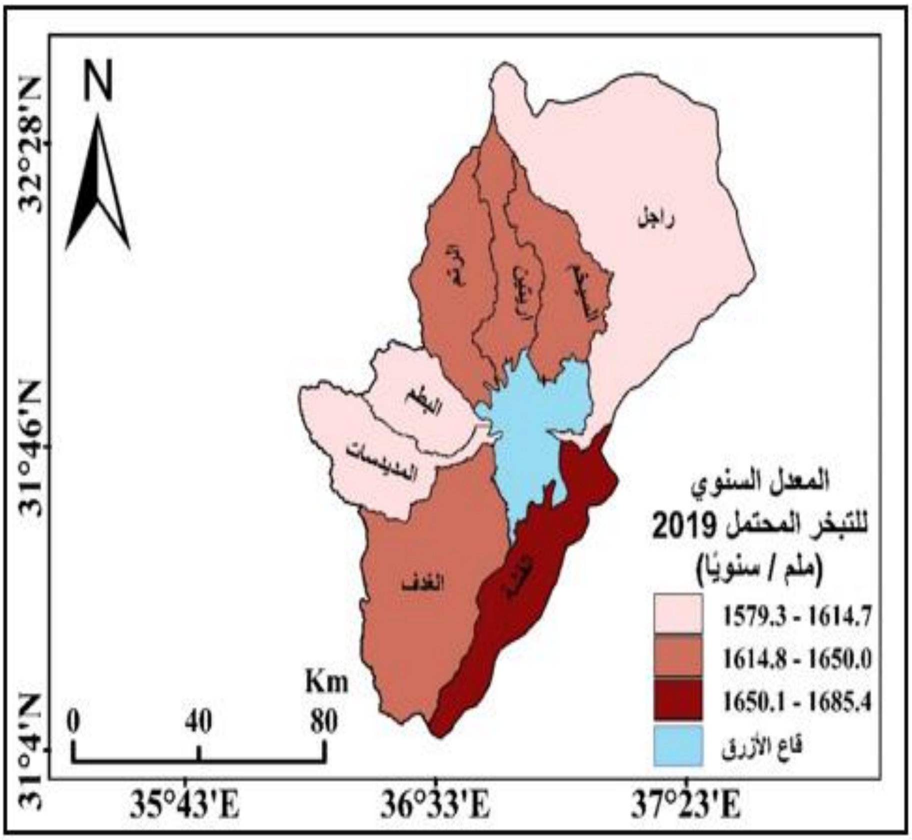
المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

أما بالنسبة للتباين المكاني بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في قيم التبخر الفعلي والمحتمل لعام 2019م فقد اتضح أن حوض وادي راجل ذو معدل التبخر الفعلي الأكبر والذي يتراوح ما بين 49.7 ملم سنويًا و59.7 ملم سنويًا، ويُعزى ارتفاع معدل التبخر الفعلي فيه إلى طبيعة سطحه، حيث أن أغلب أراضيه يغطيها صخور الحرة السوداء التي تعمل على زيادة الفاقد المائي بواسطة عملية التبخر الفعلي. في حين كان أقل معدل للتبخر الفعلي في حوضي واديي الرتم والقشة والبالغ فيهما ما بين 19.4 ملم سنويًا و29.5 ملم سنويًا. أما بالنسبة لمعدل التبخر المحتمل فقد كانت النتائج مغايرة تماما عن نتائج معدل التبخر الفعلي، حيث كان حوض وادي راجل هو الأقل بالإضافة على حوض واديي البطم والمديدسات، ويردُ هذا الانخفاض إلى أن هذه الأحواض الثلاث تشهد هطولا مطريًا أكبر من بقية الأحواض مما يسبب انخفاض في معدل التبخر المحتمل فيها، كما أظهرت النتائج أن حوض وادي القشة الواقع في اقصى الجنوب الشرقي لحوض على الأزرق على شكل امتداد شريطي من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي ذو القيمة الأكثر في معدل التبخر المحتمل والتي بلغت ما بين 1650.1 ملم سنويًا 1685.4 ملم سنويًا. ويوضح الشكلين (9) و(10) التباين المكاني للتبخر الفعلي والمحتمل لعام 2019م في حوض الأزرق.



شكل (9): التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

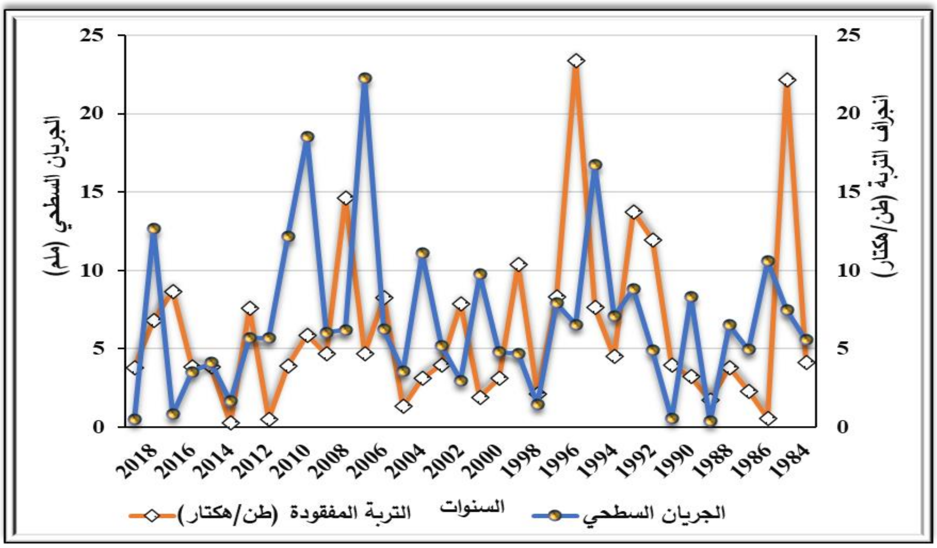


شكل (10): التباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

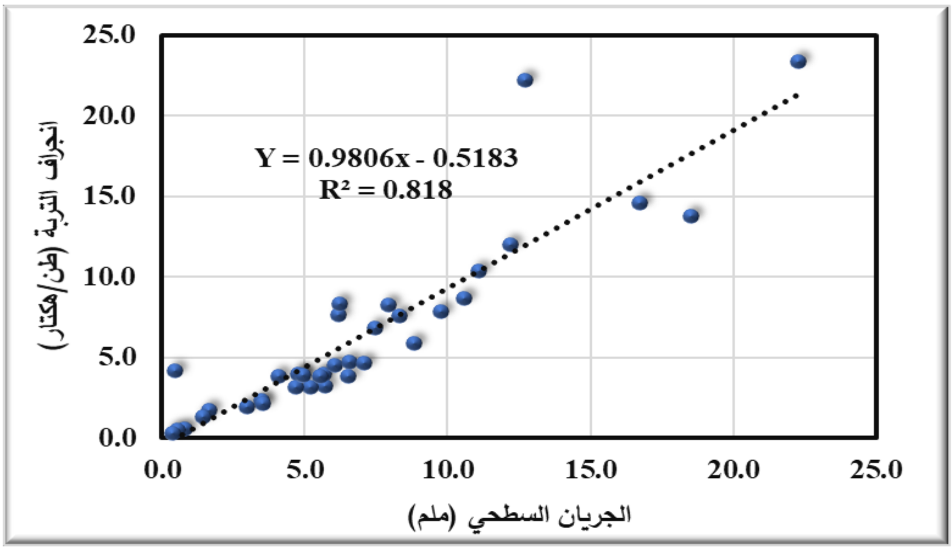
المتوسط السنوي لانجراف التربة والجريان السطحي

أظهرت الدراسة أن خسارة (انجراف) لتربة في حوض الأزرق كانت اعلى قيمه لها في عام 1996م، حيث بلغ 23.4 طن/هكتار، والذي كان أعلى أيضًا في الجريان السطحي والذي بلغ 22.3 ملم / سنويًا. في حين شهد عام 2014م أقل خسارة للتربة والتي بلغت 0.3 طن / هكتار، والذي ترافق أيضا بأقل قيمة في كمية الجريان السطحي والتي بلغت 0.4 ملم. ويعرض الشكل (12) متوسط خسارة حوض الأزرق من التربة خلال فترة الدراسة. كما يوضح الشكل (11) العلاقة بين الجريان السطحي وانجراف التربة، والتي تبين بأنها كلما زاد الجريان السطحي ازداد انجراف التربة.



شكل (11): متوسط خسارة حوض الأزرق من التربة خلال فترة الدراسة.

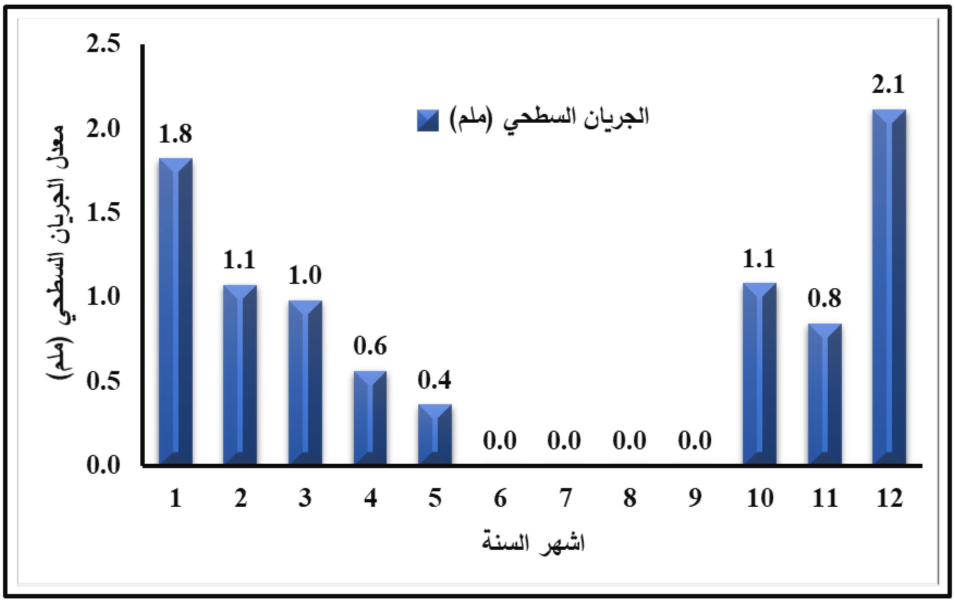
المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT



شكل (12): العلاقة بين معدل انجراف التربة والجريان السطحي في حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT

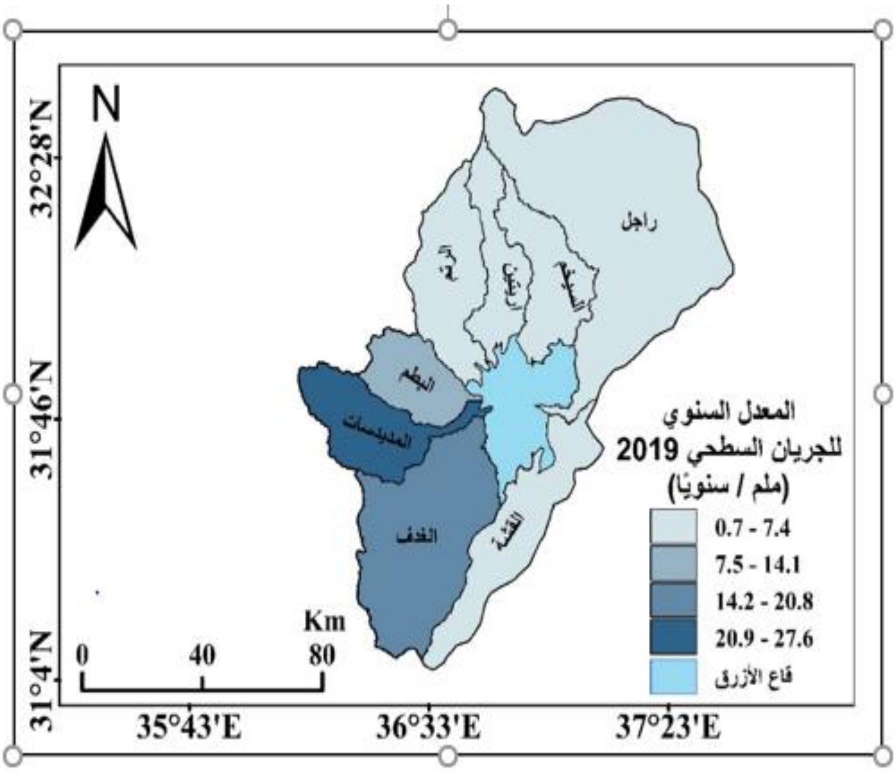
ويعدُّ الجريان السطحي المحصلة النهائية بعد وصول الأمطار لسطح الأرض وفقدانها بواسطة العمليات المختلفة ومنها: التبخر والتسرب وامتصاصه من قبل الغطاء النباتي. وقد بلغت قيمة معدل الجريان السطحي 8.83 ملم سنويًا على مدى فترة الدراسة الممتدة من عام 1984م وحتى 2019م. إلا أن قيمة الجريان السطحي تتباين بين أشهر السنة، حيث بلغ أعلى قيمة له في شهر كانون الثاني والبالغة 2.1 ملم، في حين كانت قيمته له خلال اشهر الصيف. ويظهر الشكل (13) التباين الزماني لمعدل الجريان السطحي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



شكل (13): التباين الزماني لمعدل الجريان السطحي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

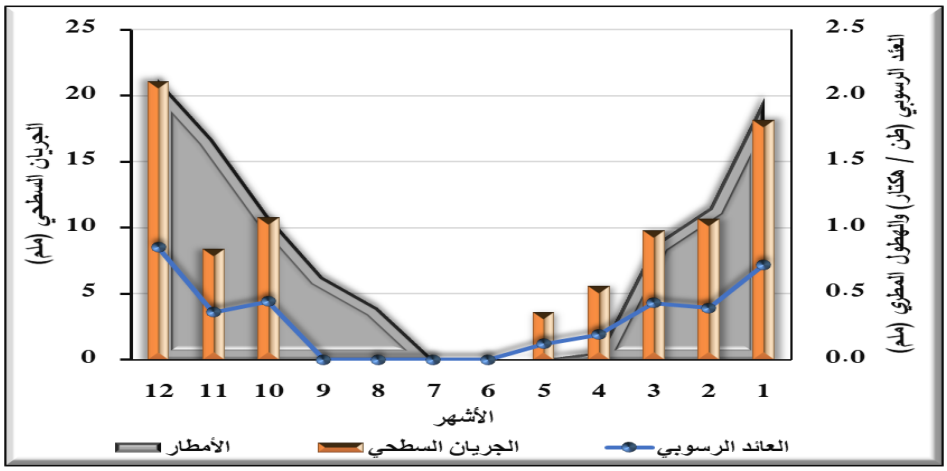
وفيما يتعلق بالتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض الأزرق في قيم معدل الجريان السطحي لعام 2019م فقد اتضح أن الأحواض الجنوبية والجنوبية الغربية وهي: المديديسسات والبطم والغدف ذات قيم جريان سطحي أعلى من الأحواض الشمالية والشرقية منها، ويرد ذلك إلى أن الأحواض الثلاث ذات معدل مطري أعلى من الأحواض الشمالية. ويظهر الشكل (14) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.



شكل (14): التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

وفيما يتعلق بالعائد الرسوبي (Sediment Yield) والذي يمثل العلاقة بين كل من الهطول المطري والجريان السطحي وذروته وتدفقه، حيث يعتبر الهطول المطري والجريان السطحي من العوامل المسؤولة عن تفكك ونقل وإرساب المواد المفككة والمنقولة. وعليه فأنه كلما زاد معدل الهطول المطري زاد الجريان السطحي والعائد الرسوبي، ويمثل الشكل (15) العلاقة بين التوزيع الشهري لهطول الأمطار والجريان السطحي والعائد الرسوبي، ونلحظ من هذا الشكل أن شهري كانون الأول والثاني كانا أعلى شهور السنة في كمية العائد الرسوبي، حيث بلغ فيهما العائد الرسوبي على التوالي 0.85 و0.72 طن / هكتار. كما ترافق هذا الارتفاع في كمية العائد الرسوبي في شهري كانون الأول والثاني بأعلى جريانًا سطحيًا وهطولا للأمطار، حيث بلغ أعلى مقدار للجريان السطحي الشهري لحوض الأزرق في شهري كانون الأول والثاني على التوالي 2.11 و1.82 ملم / شهريًا، وبالنسبة للهطول المطري الشهري فقد بلغ فيهما على التوالي 19.8 و21.2 ملم / شهريًا.



شكل (15): العلاقة بين التوزيع الشهري لهطول الأمطار والجريان السطحي والعائد الرسوبي.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

التوزيع الجغرافي لتأكل التربة (الخسارة)

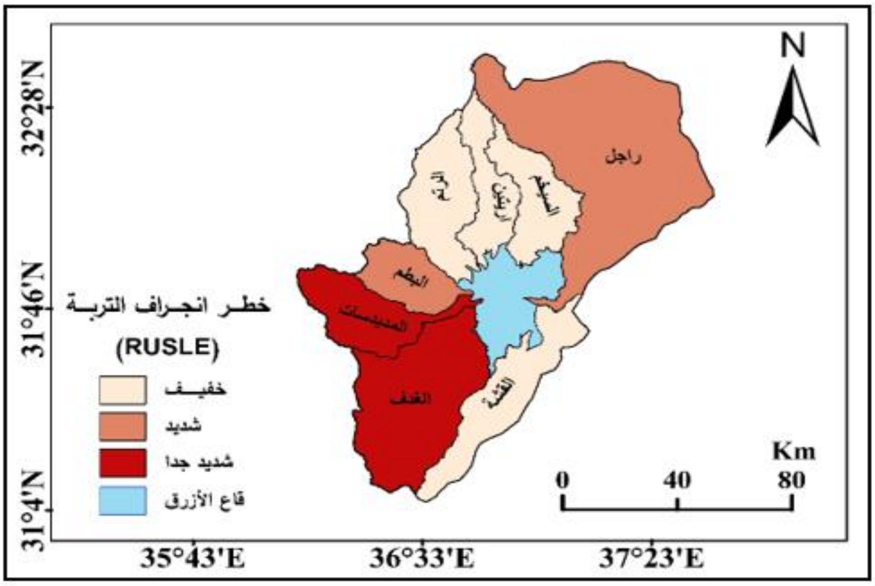
على الرغم من أن الخسارة المعتادة للتربة بطرقها المختلفة سواء الريحية أو المائية إلا أنه يتم تعويضه لو جزئيًا بواسطة عمليتي التجوية والتعرية، ولكن هذا التعويض يحتاج لفترة زمنية طويلة نسبيًا، بالإضافة إلى توافر عوامل مساندة كالمناخ ونوع الصخر وسمك التربة. ويتأثر التوزيع الجغرافي لتأكل التربة (انجرافها) بعدة عوامل وهي: طبوغرافية السطح ومورفولوجيته من حيث انحدار سطحه، وطبيعة الغطاء الأرضي واستعمالاته، وكميات الهطول المطري، والجريان السطحي وذروته.

ونلحظُ من الجدول (5) الذي يوضح قيم انجراف التربة في حوض الأزرق بالإضافة إلى قيم متغيرات المعادلة العالمية لانجراف التربة، ومن الشكل (16) الذي يمثل التباين المكاني لخطر انجراف التربة للأحواض الفرعية لحوض الأزرق **(**RUSLE**)** تواجد ثلاث فئات محددة لخطر انجراف التربة وهي: الخفيفة والتي تنحصر في أربع أحواض رئيسة من أحواض الفرعية لحوض الأزرق والتي تمثل 3915.5 كم^2 أي من 31.3% من مساحة حوض الأزرق، وهي أحواض أودية هي السيخم واريتين والرتم والقشة، وأما الأحواض التي تتبع فئة شديدة الخطورة فهي تنحصر في حوضي واديي راجل والبطم واللذان يمثلان 36.3% من المساحة الإجمالية للحوض، وهي الفئة الأكثرُ انتشارًا فيه. وأخيرًا الأحواض التي تتبع لفئة الانجراف شديدة الخطوة جدًا وهما حوضي واديي المديدسسات والغدف واللذان يشكلان ما نسبته 24.5% من المساحة الكلية للحوض، وهي الأقلُ انتشارًا فيه. وأما باقي المساحة المشكلة للحوض فهي تمثل قاع الأزرق. وبمعنى آخر فأن الأحواض الفرعية التي تتعرض لخطر الانجراف الخفيف والشديد، والشديد جدًا تبلغ على التوالي 31.3%، 36.3%، 24.5% من مساحة الحوض.

جدول (5): قيم انجراف التربة ومتغيرات معادلة RUSLE في الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

الأحواض الفرعية	قيم المتغيرات المعادلة العالمية لانجراف التربة RUSLE					مقدار الانجراف (طن/هكتار) (A)	تصنيف خطر الانجراف
	R	K	LS	C	P		
راجل	73	0.4	4.9	0.5	0.4	28.6	شديد
اريتين	36.2	0.5	1.65	0.2	0.6	3.6	خفيف
الرتم	36.3	0.2	1.3	0.3	0.78	2.2	خفيف
السيخم	36.3	0.3	1.62	0.2	0.5	1.8	خفيف
البطم	59.6	0.8	5.6	0.7	0.3	56.1	شديد
القشة	39.9	0.61	1.4	0.45	0.6	9.2	خفيف
المديدسسات	101.6	0.7	6.4	0.7	0.3	95.6	شديد جدا
الغدف	68.2	0.6	6.2	0.6	0.5	76.1	شديد جدا

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6



شكل (16): التباين المكاني لخطر انجراف التربة بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

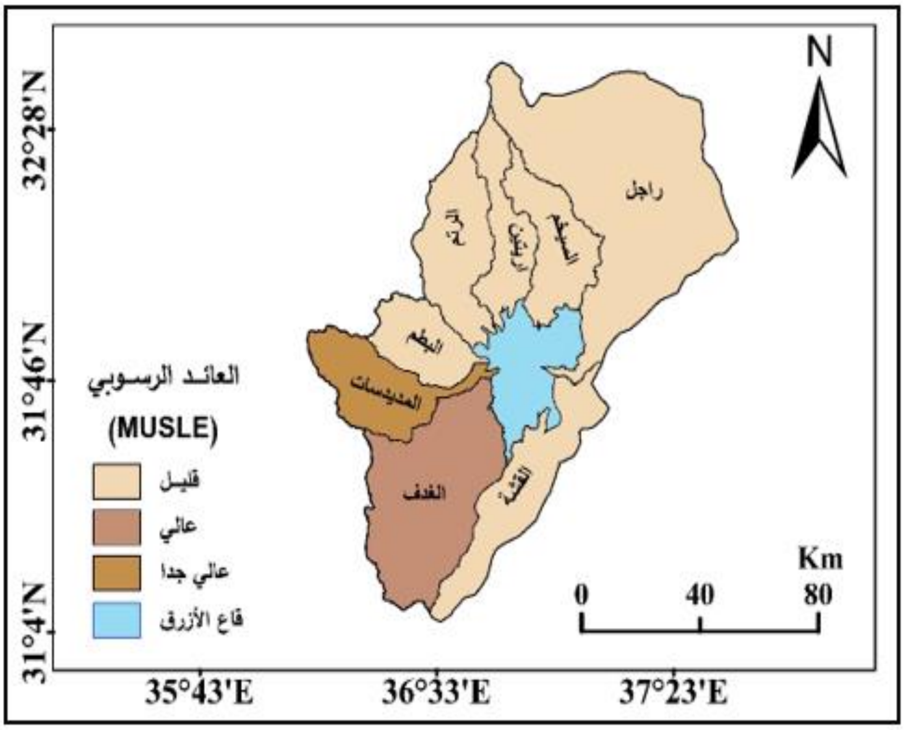
وأما بالنسبة للتباين للمكاني للعائد الرسوبي للأحواض الفرعية المشكلة لحوض الأزرق فقد تبين الجدول (6) الذي يوضح قيم العائد الرسوبي في حوض الأزرق بالإضافة إلى قيم متغيرات المعادلة العالمية المعدلة للعائد الرسوبي، ومن الشكل (17) أن أغلب الأحواض الفرعية لحوض الأزرق ذات عائد رسوبي قليل، وهذه الأحواض هي: راجل، السيخم، اريتين، الرتم، البطم، القشة وتشكل هذه الأحواض 67.6% من المساحة الكلية للحوض، وبالنسبة للعائد الرسوبي العالي فقط اقتصر على حوض وادي الغدف والذي يمثل 16.9% من مساحة الحوض وفيما يتعلق بالعائد الرسوبي العالي جدًا فقد اقتصر على حوض المديدسسات والذي يشكل ما نسبته 7.6% من مساحة الحوض.

جدول (6): قيم العائد الرسوبي ومتغيرات معادلة MUSLE في الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

الأحواض الفرعية	قيم المتغيرات المعادلة العالمية المعدلة لانجراف التربة MUSLE							مقدار العائد الرسوبي (طن/هكتار)	تصنيف العائد الرسوبي
	Q_{surf}	q_{peak}	$area_{hru}$	K	LS	C	P		
راجل	0.2	0.2	3052	0.4	4.9	0.5	0.4	5.1	قليل
اريتين	0.3	0.1	729.3	0.5	1.65	0.2	0.6	0.8	
الرتم	0.5	0.3	1105.3	0.2	1.3	0.3	0.78	1	قليل
السيخم	0.7	0.3	886.3	0.3	1.62	0.2	0.5	0.8	قليل
البطم	0.3	0.5	666.8	0.8	5.6	0.7	0.3	11	قليل
القشة	0.4	0.3	1194.7	0.61	1.4	0.45	0.6	3.3	قليل
المديدسسات	0.21	0.1	948.4	0.7	6.4	0.7	0.3	58.4	عالي جدا
الغدف	0.7	0.6	2120	0.6	6.2	0.6	0.5	43.6	عالي

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

ونلحظ من أشكال التباين المكاني للانجراف الرتبة والعائد الرسوبي أن هنالك توافق نوعًا ما بين الجريان السطحي وانجراف التربة والعائد الرسوبي، حيث تبين أن أعلى الأحواض ذات معدلات انجراف التربة وعائد رسوبي عالي مع الأحواض ذات الجريان سطحي عالي، وهذه الأحواض هي المديدسسات والغدف. وكما أظهرت الأشكال أن الأحواض السيخم واريتين والرتم والقشة ذات انجراف وعائد رسوبي قليل وكان الجريان السطحي الأقل بالنسبة للأحواض الفرعية الأخرى المشكلة للحوض.



شكل (17): التباين المكاني للعائد الرسوبي (MUSLE) بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحثيّن بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

وأما فيما يتعلق بنسبة التوصيل الرسوبي والتي تشير إلى مقدار الرواسب التي وصلت إلى منطقة المصب من أصل إجمالي انجراف التربة، فقد تباينت الأحواض الفرعية فيها؛ وذلك بحكم اختلاف مقدار انجراف التربة والعائد الرسوبي بين الأحواض الفرعية. حيث تبين أن حوض وادي المديدسسات هو الأكثر الأحواض الفرعية في نسبة التوصيل الرسوبي والتي بلغت 58.4% والتي تعني أن إجمالي العائد الرسوبي الواصل إلى منطقة المصب تمثل 58.4% من إجمالي تأكل التربة. كما كان حوض وادي راجل هو الأقل في نسبة التوصيل الرسوبي بالنسبة لبقية الأحواض الفرعية لحوض الأزرق، حيث بلغت فيه 17.8% من إجمالي انجراف التربة فيه: وذلك بسبب طبيعة سطحه والغطاء الأرضي واستعمالاته فيه والتي طغى عليها البازلت التي تعمل على تقليل من إمكانية نقل التربة المتأكلة إلى منطقة المصب. ويوضح الجدول (7) نسبة التوصيل الرسوبي للأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

جدول (7): نسبة التوصيل الرسوبي للأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

الرقم	الحوض الفرعي	انجراف التربة (طن/هكتار)	العائد الرسوبي (طن/هكتار)	نسبة التوصيل الرسوبي (%)
1	راجل	28.6	5.1	17.8
2	اريتين	3.6	0.8	22.2
3	الرتم	2.2	1	40.1
4	السيخم	1.8	0.8	43.3
5	البطم	56.1	11	19.6
6	القشة	9.2	3.3	38
7	المديدسسات	95.6	58.4	58.4
8	الغدف	76.1	43.6	52.5

المصدر: من عمل الباحثيَن

ومن خلال ربط أو إجراء مضاها طبقية بين كل من خرائط الغطاء الأرضي واستعمالاته وانجراف التربة وعائدها الرسوبي تبين أن أغلب أحواض الفرعية لحوض الأزرق تتعرض لاحتمالية ضعيفة لانجراف التربة، وفي نفس الوقت ذات معدل عائد رسوبي قليل، والسبب في ذلك يعود إلى أن اغلب تلك الأحواض ذات معدل قليل لم يتجاوز 40 ملم/ سنويًا والذي يذهب سدى بواسطة عملية التبخر، حيث تراوحت نسبة التبخر فيها ما بين 49% و85.6% من جل الأمطار الهاطلة على تلك الأحواض ذات الاحتمالية الضعيفة لخطر انجراف التربة.

كما تبين أن الأحواض ذات الاحتمالية الضعيفة لخطر تشكل انجراف التربة ينتشر فيها البازلت ما عدا حوض وادي القشة والذي يطغى على أراضيه الأراضي الجرداء.

وأما فيما يتعلق بفئتي احتمالية الانجراف الشديد والذي تمثل في حوضي واديي راجل والبطم على الرغم من تواجد الغطاء الأراضي البازلتي في أراضيها إلا أن هذين الحوضين يشهدان ارتفاعًا في كميات الهطول المطري فيهما، الأمر الذي يضاعف خطر تشكل انجراف للتربة في أراضيهما بالمقارنة بالأحواض الفرعية السابقة ذات خطر الانجراف القليل.

إلا أن هذين الحوضين ذات معدل عائد رسوبي قليل ويتضح هنا تأثير الغطاء الأرضي البازلتي حيث من العائد الرسوبي يمثل كمية المواد المنقولة فعليًا وليس المحتمل والتي تشير إلى خطر انجراف والمتمثل في معادلة RUSLE، في حين يتمثل العائد الرسوبي بمعادلة MUSLE.

وبالنسبة لحوضي واديي المديدسسات والغدف ذوا احتمالية خطر شديدة جدا لانجراف التربة فقد طغى على أراضيهما الطابع الأراضي الجرداء مع تواجد نطاقات بازلتية وغطاء نباتي قليلة، وهذا الصنف الأرضي ذو احتمالية عالية لخطر انجراف التربة بحكم أن تربة تكون مفككه بحكم

افتقارها إلى الغطاء النباتي والصخور التي تعمل على تماسك التربة، خاصة إلى إذا ترافق هذا أيضًا مع ارتفاع في معدلات الهطول الجريان السطحي بحكم ارتفاع معدلات الهطول المطري، وانتشار نمط أراضي الجرداء.

الخاتمة والتوصيات

أوضحت الدراسة مدى الجدوى في الاعتماد على نموذج تقييم التربة والمياه في دراسة انجراف التربة والعائد الرسوبي للأحواض المائية، حيث كان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الجريان السطحي وانجرف التربة والعائد الرسوبي لحوض الأزرق من خلال تطبيق نموذج SWAT والتقنيات الجيومكانية، لما لهذه المعطيات أثر كبير على بناء مشاريع مائية لتنميتها سواء للأجل القصير أو الطويل.

وتبيّن هذه الدراسة الأنماط المكانية لفقدان تآكل التربة ومخاطر تآكلها في حوض الأزرق، أما لأسباب الطبيعية كالعواصف المطرية القوية والفيضانات الوميضية، أو لأسباب بشرية نتيجة للتدخل البشري القديم والحديث، والمتمثل في غياب تدابير الصيانة، والممارسات الزراعية غير السليمة في ظل الحاجة الملحّة لإنتاج الغذاء خلال الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي؛ نتيجة لارتفاع معدل النمو السكاني، مما اضطر المزارعون إلى زراعة المناطق الهامشية والجافة في الأردن من خلال تكثيف الاعتماد على ري المزروعات بالمياه الجوفية ما أدى إلى فقدان التربة لرطوبتها وخصائصها الفزيائية.

وبالتالي أدى إلى تفكيكها وتسهيل عملية تأكلها وانجرافها. كما عمل تحويل المراعي إلى الاستخدام الزراعي إلى تسريع تآكل التربة، حيث عمل الرعي الجائر، إلى جانب الجفاف المتكرر، إلى الإضرار تدريجياً بقدرة الأرض على الإنتاجية لنباتات المراعي.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن حوض الأزرق المصنف ضمن الأحواض الجافة في الأردن يتلقى سنويًا من كميات الهطول المطري ما تبلغ 99.8 ملم سنويًا. إلا أن هذا مجموع المطري لحوض الأزرق يتباين بين أحواضه الفرعية، فقد كان حوضي وادي راجل والمديدسسات هما أكثر تلقيً للهطول المطري من أحواض الأخرى، حيث بلغ فيه ما بين 85.3 و 101.6 ملم سنويًا.

كما أوضحت نتائج الدراسة أن أعلى معدل للتبخر الفعلي كان أثناء شهر آب، في حين كان أعلى معدل للتبخر الكامن (المحتمل) أثناء شهر تموز. كما اتضح أن حوض وادي راجل هو أكثر أحواض أودية الأزرق في معدل التبخر الفعلي (الحقيقي)، في حين كان حوض وادي القشة أكثر الأحواض في معدل التبخر المحتمل (الكامن).

كما بيّنت الدراسة أن حوضي المديدسسات والغدف هما أكثر الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في المعدلات المتوقعة لانجراف التربة والعائد الرسوبي، والذي ترافق أيضاً بأعلى معدلات للجريان السطحي من بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

وفي ضوء نتائج الدراسة فأنها توصي بتكثيف الاعتماد على نموذج تقييم التربة والمياه في عمليات النمذجة الهيدرولوجية للأحواض سواء الحالية أو المستقبلية؛ لما أثبته من فاعلية وكفاءة النتائج المعطاة منه في الإدارة المائية للأحواض، حيث يسهم في معرفة الأماكن الأنسب والأفضل لإنشاء المشاريع المائية كمشاريع الحصاد المائي كالسدود الإسمنتية والترابية، بالإضافة إلى التقنيات المعتمدة في هذه الدراسة وهي: GIS وRS ونموذج SWAT تعد تقنيات بسيطة ومنخفضة التكلفة لنمذجة وتقييم مخاطر تآكل التربة.

كما يوفر نموذج SWAT أداة فعالة لتقدير خسارة تآكل التربة ومخاطر تآكلها. ويمكن أيضا استخدام مخرجات الدراسة الحالية (الخرائط والمعلومات) للتطبيقات الفورية في تخطيط وتنفيذ صيانة التربة. ومع ذلك ، يوصى بشدة بإجراء المزيد من الأبحاث حول عوامل تآكل التربة في مناطق الأردن المختلفة.

References: (Arabic & English)

- Jordan Meteorological Department. (1985 - 2020). *Climate Data*, Amman, Jordan.
- Abu Samour, Hassan al-Khatib, Hamed. (1999). *Geography of Water Resources*. Dar al-Masrha: Amman.
- Al-Ghameid, Atef. (2019). *The impact of climate change on water resources within four water basins in Jordan using GIS and remote sensing*. Unpublished doctoral thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.
- Al-Ghonmieen, Tareq. (2018). *Water Resources Assessment in Northern Wadi Araba Basin Using Geographic Information System and Soil and water assessment Tools*. Unpublished doctoral thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.
- Al-Nawaisa, Samer. (2006). *Environmental risk assessment and land management in the Wadi Karak basin, southern Jordan*. Unpublished PhD thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.
- Al-Zahir, Naeem. (1989). *The susceptibility of soil erosion in the Wadi Shuaib Basin*. Unpublished MA thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.

- Arnold, JG. Srinivasan, R. Muttiah, RS. & Williams, JR. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment. Part I. Model development. *J Am Water Resour Assoc*. (34). 73–89.
- Castling. Maha, (2013). Estimate soil erosion using the RUSLE Global Equation Model, Case Study: Wadi Al-Hasa, Studies, *Humanities and Social Sciences*, 9(1). Appendix 2.
- Hallouz, Faiza. Meddi, Mohamed. Maha, Gil. Alirahmani, Salaheddine. & Keddar, Abedelhader. (2017). *Modeling of discharge and sediment transport through the SWAT model in the basin of Harraza (Northwest of Algeria)*, ScienceDirect. 32.
- Kefi, Yoshino. & Setiawan. (2012). Assessment And Mapping of Soil Erosion Risk by Water in Tunisia Using Time Series MODIS Data. *Paddy And water Environment*, (10). 1. 59-73.
- Bakri, J. Duqqah, M. & Brewer, T. (2013). Application of Remote Sensing and GIS for Modeling and Assessment of Land Use /Cover Change in Amman/Jordan. *Journal of geographic Information System*. (5). 509-519.
- Ministry of Water Agriculture. (1993). *Soil Map and Land Use Project for Jordan*. Hunting Technical Service LTD In Associated With Soil Survey And Land Research Center, UK, Level 1, Vol.3.
- Mosbahi, M. Benabdallh, S. & Boussema, R. (2013). Assessment of soil erosion risk using SWAT model, *Arabian Journal of Geosciences*. 6(10). 4011–4019.
- Muhammad, Haifa. & Al-Belbisi, Hussam. (2018). Estimation of Soil Degradation in the Wadi Al-Arab Basin Using Geographic Information Systems and Remote Sensing Techniques, Studies, *Humanities and Social Sciences*. 9(1). Appendix 2.
- Natural Resources Authority. (1997). *Geological maps*, (50000:1) Amman, Jordan.

- Natural Resources Authority. (1965). *Soil Erosion in the East Ghor Region*. Amman.
- Oruod, Ibrahim. (2002). *Principles of Natural Geography*, Dar Al Shorouk: Amman.
- Pandey, A. Chowdary, VM. & Mal, BC. (2007*).* Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resour Manag.* (21). 729–746.
- Royal Geographical Center. (1997). *Topographic Maps Scale 1:50000*. Amman.
- Terranova, O. Antronico, L. Coscarelli, R. & Iaquinta, P. (2009). Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology*. (112). 228–245.
- Vijith, H. Suma, M. Rekha, VB. Shiju, C. & Rejith, PG. (2012). An assess- ment of soil erosion probability and erosion rate in a tropical mountainous watershed using remote sensing and GIS[J]. *Arab J Geosci.* (5). 797–805.
- Weib, M. & Menzel, L. (2008). A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. *Advances in Geosciences*. 18(1).
- Williams, JR. & Berndt, HD. (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Trans ASAE*. (20). 1100–1104.
- Yue-ong, X. Xiao-mei, S. Xiang-bin, K. Jian, p. & Yun-Long, C. (2008). Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China, *Environmental Monitoring and Assessment*. 141. 275-286.

– Zagul, Mason. (2016). *Water Resources and Harvest Potential in the Zarqa Basin using remote sensing techniques and Geographic Information Systems.* Unpublished Doctoral Thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.