تقدير الواقع الهيدرولوجي لأراضي حوض الموجب باستخدام نموذج تقييم التربة والمياه وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

عاطف عايد الغميض

الملخص

تهدف الدراسة إلى تحليل ومحاكاة الواقع الهيدرولوجي لحوض الموجب باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونموذج تقيم التربة والمياه، وذلك لأغراض دعم خطط الإدارة المائية للحوض والاستفادة القصوى من الموارد المائية المتوافرة في الحوض وبناء قاعدة بيانات هيدرولوجية للحوض من خلال توفر البيانات المناخية والهيدرولوجية المتاحة من قبل دائرة الأرصاد الجوية الأردنية.

وتوصلت الدراسة إلى أن حوض الموجب يتلقى معدلاً مطرياً 119.6 ملم/سنويًا، يفقد الجزء الأعظم منها بواسطة عملية التبخر، حيث إن 44.3% من مجمل الهطول المطري يذهب سدى، نتيجة علمية التبخر الفعلي، في حين إن الجريان السطحي يستأثر بـ ١٦,٧% من إجمالي الهطول المطري على حوض الموجب. وتوصي الدراسة إلى ضرورة تكثيف الاعتماد على نموذج تقييم التربة والمياه في عمليات النمذجة الهيدرولوجية للأحواض؛ لما أثبته من فاعلية وكفاءة النتائج المعطاة منه في الإدارة المائية للأحواض المائية وتحديد كميات الرواسب التي ينتجها الجريان السطحي في الحوض، مما يساعد في تحديد مدى الجدوى من المشاريع المائية المقامة كسد الموجب.

الكلمات الدالة: نموذج تقييم التربة والمياه، حوض الموجب، الإدارة المائية، نظم المعلومات الجغرافية، النمذجة الهيدرولوجية، الاستشعار عن بعد.

Assessment of the Hydrological Situation of the Mujeb Basin Using Soil and Water Assessment Model (SWAT), Geographic Information Systems Techniques, and Remote Sensing.

Abstract

The study aims to analyze and simulate the hydrological situation of Al-Mujeb basin using both the Geographic Information Systems Techniques (GIS) and the soil and water assessment model. This is to support the basin water management plans, and to make use of the most of the water resources available. It is also to build a hydrological database for the basin by making the climate and hydrological data available and recorded by the Jordanian Meteorological Department and the Ministry of Water and Irrigation.

The results show that the Mujeb basin receives an average rainfall of 119.6 mm/year, where 44.3% of the total rainfall evaporates and a 16.7% is accounted as runoff. Also, the reliance on the soil and water assessment model in hydrological modeling of the basin is based on the efficacy and efficiency of the results given by the model in terms of the water

management of basins, determining the quantities of sediment produced by runoff, which in turns determining the feasibility of water projects such as the Mujeb dam.

Keywords: Soil and Water Assessment Model (SWAT), Mujeb basin, Water Management, .GIS, hydrological Modeling, RS.

المقدمة

يعد الماء الركيزة الأساسية للحياة اليومية، والذي لا يمكن الاستغناء عنه وذلك لتعدد استخداماته، فهو المقوم الرئيس لأي عملية تنمية بمختلف أشكالها، فمسألة الاكتفاء أو الأمن المائي لا يمكن اختزالها فقط في العوامل الطبيعية، على الرغم من أهميتها إلا أنّ مقدرة الدولة على توفير مواردها المائية يعكس مدى التقدم الذي تشهده في استخدامها بكفاءة عالية وإدارتها بشكلً فعّال (الزغول، ٢٠١٦). ويفسر الاهتمام العالمي بالتغير المناخي بالدرجة الأولى إلى تأثيره على الموارد المائية، حيث ارتفعت درجة حرارة سطح الأرض في أواخر القرن التاسع عشر ما بين ٠,٣° و٠,٦°، واستمر نهج ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض على مدار الأربعين عامًا الماضية في القرن العشرين ما بين ٠,٢° و٠,٣° (Houghton et. al, 1995). وعلى الرغم من إثبات ارتفاع درة حرارة سطح الأرض، إلا أنّ هذا الإثبات يتضمن بعض التعميم، حيث إن هذا الارتفاع في درجة الحرارة السطحية يتباين من منطقة لأخرى ولا يتماثل، كما أن الاختلاف لا يقتصر على درجات الحرارة وإنما يتعدى إلى كميات الهطول (Jaber,2012).

وتعدّ قضية الأمن المائي إحدى القضايا الرئيسة التي تشغل الأردن، حيث يعد من أفقر دول العالم في الموارد المائية، إذ يصنف الأردن من أفقر أربع دول في العالم، والتي تعاني من ضعف قدرتها على توفير الموارد المائية، حيث تبلغ حجم الموارد المائية المتاحة في الأردن ٨٠٠ مليون م٣ ، في حين إن الطلب على تلك الموارد يبلغ ١١٠٠ مليون م٣ (العمري،٢٠١٧). وتعد الزيادة السكانية بشقيها الطبيعية وغير الطبيعية الناجمة عن حركات نزوح اللاجئين إلى بلد، يعاني صعوبة في توفير الموارد المائية لمواطنيه أصلاً بحكم العوامل الطبيعية الأخرى مثل: وقوعه ضمن نطاق سيادة المناخ الجاف وشبه الجاف، والتي تتصف بقلة أمطارها وتذبذبها ونمط انتشارها المحدد بأجزاء بذاتها السبب الرئيس في ازدياد الطلب على الموارد المائية بالدرجة الأولى إلى الزيادة السكانية بنوعي.

وتكمن مشكلة الدراسة في أن منطقة حوض الموجب تعاني من قلة كميات الهطول المطري وارتفاع معدلات درجات الحرارة والتبخر؛ وذلك بحكم وقوعها في إقليم جاف، مما يعرض غالبية النشاط الزراعي السائد في أراضي الحوض والمتمثل بالزراعة البعلية في أوقات توفر كميات كافية من رطوبة التربة، إلى

احتمالية تدني الناتج الزراعي أو حتى فشل الموسم الزراعي بكامله. كما تعدّ منطقة الدراسة من المناطق السياحية في الأردن والتي يرتادها السياح وهواة التنزه بحكم التنوع الجيومورفولوجي والطبوغرافي. لذا سوف يتم العمل على محاكاة الظروف الهيدرولوجية للموارد المائية في الحوض، سواء السطحية منها أو الجوفية باستخدام ملحق ArcSwat ضمن بيئة برنامج ArcGis10.6، بهدف إجراء تقدير للواقع الهيدرولوجي في منطقة الدراسة، مما يعمل على تسهيل مهمة صناع القرار في اتخاذ الإجراءات والسياسات المناسبة والهادفة إلى مواجهة الانخفاض المتوقع في الهطول المطري، والذي تشير له النماذج المناخية؛ نتيجة تضاعف نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو، وممّا ينجم عنه انخفاض رطوبة التربة وتناقص الجريان السطحي. وقد تم الاستعانة بأداة تقييم التربة والمياه، بسبب قدرتها على محاكاة الموازنة المائية، سواء السطحية أو الباطنية ومختلف عملياتها ضمن المساحة الطبيعية الممثلة للأحواض المائية.

وتنبع أهمية هذه الدراسة من الوقوف على الواقع الهيدرولوجي في منطقة تعاني من نقص الموارد المائية المتاحة، وذلك بحكم وقوعها في إقليم جاف يعاني من قلة الأمطار وارتفاع درجات الحرارة، مما يعمل على زيادة الفاقد منها بمختلف العمليات وخاصة التبخر، وبالتالي تزويد صناع القرار بماهية الظروف الحالية، مما يسهم في إجراء عمليات إدارة مائية فعّالة، تسهم في الحفاظ على الموارد المائية النادرة في الحوض من خلال المشاريع المائية المقامة والمقترحة، سواء السدود ترابية كانت أو إسمنتية، أو عمل مشاريع تشجير تسهم في زيادة احتفاظ التربة بالرطوبة وتقليل الفاقدة بواسطة التبخر على المدى البعيد.

تمحور الهدف الرئيس للدراسة في بناء نموذج هيدرولوجي لأراضي حوض الموجب، بالاعتماد على عناصر الموازنة المائية، مستعينًا بأداة تقييم التربة والمياه The Soil and Water Assessment Tool (SWAT)؛ وذلك من أجل محاكاة وفهم العمليات الهيدرولوجية في الحوض وتقدير قيم الموازنة المائية في منطقة تعاني من شح الموارد المائية المتاحة؛ وذلك بحكم وقوعها في إقليم جاف يعاني من قلة كميات الأمطار وارتفاع معدلات درجات الحرارة والتبخر، الأمر الذي يعرض غالبية النشاط الزراعي السائد في أراضي الحوض، والمتمثل بالزراعة البعلية في أوقات توفر كميات كافية من رطوبة التربة، إلى احتمالية تدني الحاصل الزراعي أو حتى فشل الموسم الزراعي بكامله.

وقد تجلى الاهتمام على مختلف الصعد سواء العالمي أو الإقليمي أو المحلي بالموارد المائية في تنوع وكثرة الدراسات والأبحاث التي أولت الموضوع عناية خاصة. فقد أظهرَ (Kusangaya, 2015) إلى

الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ أن هناك إجماعاً على أن زيادة غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ستؤدي إلى تغير المناخ، الذي سيؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر، وزيادة تواتر الأحداث المناخية العنيفة وزيادة تكرارها بما في ذلك العواصف الشديدة، والأمطار الغزيرة والجفاف. سيزيد هذا من تواتر الأخطار المرتبطة بالمناخ، مما يتسبب في خسائر في الأرواح واضطراب اجتماعي وصعوبات اقتصادية. كما استعرضت الدراسة الآثار المحتملة لتغير المناخ على موارد المياه في الجنوب الإفريقي.

كما قام Jaber (٢٠١٢) بتقييم آثار التغير المناخي على الموارد المائية في حوض الموجب مستخدمًا أداة تقييم التربة والمياه، وأسلوب سيناريوهات التغييرات المناخية التراكمية، حيث تشير السيناريوهات الجافة إلى انخفاض الجريان السطحي بمعدل ١٠% – ٣٠% عندما ترتفع درجة الحرارة بمعدل ٢ إلى ٤ درجات مئوية، في حين تشير السيناريوهات الرطبة إلى زيادة الجريان السطحي بأكثر من ثلاثة أضعاف الجريان السطحي. كما حاول Hallouz, et al(٢٠١٧) وضع مقياس كمي للتصريف والانجراف باستخدام أداة تقييم التربة والمياه في حوض وادي شليف، وخلصَ إلى ازدياد حجم الرواسب السنوي في الحوض؛ نتيجة ازدياد كمية الجريان السطحي فيه عما سبق.

وقد درس Al-Hassani (٢٠١٨) التأثيرات المحتملة للتغير المناخي على مصادر المياه السطحية في حوض الموجب باستخدام نموذج الدوران الإقليمي المقلص، وأداة تقييم التربة والمياه، وتوصلَ إلى أنه من المتوقع الانخفاض في كل من: كميات الهطول المطريّ ما بين ٣,٧% و٢٠,٧%، والجريان السطحي ٢٥% و٤٧%، وفي الناتج المائي ٢١,٥% و٤١,٤%.

وقد أشار الغنميين (٢٠١٨) إلى عدم كفاءة إنشاء سد مائي على حوض وادي عربة الشمالي؛ وذلك بسبب تشكل كميات كبيرة من المواد المترسبة في حوض وادي العربة الشمالي والتي تم التحقق منها من خلال استخدام أداة تقييم التربة والمياه (SWAT). وقد كان السبب الرئيس في تشكل تلك الرواسب عمليات الحت والتعرية الشديدة والمترافقة بتدني نسبة الغطاء النباتي، وتدهور التربة الناتجة عن هطول مطري بمعدل يصل إلى ٣٠٠ ملم/ سنة على المرتفعات الشرقية من الحوض، والمتميزة بتضرسها الشديد وبميل انحداراتها الكبير.

وقد جاءت دراسة Saha, et al (2019)لتقدير الآثار المحتملة لتغير استخدام الأراضي مع تغير المناخ على مجرى نهرMurrumbidgee في جنوب شرق أستراليا باستخدام أداة تقييم التربة والمياه (SWAT) وبتطبيق ثلاثة سيناريوهات تغير مختلفة، سواء للمناخ أو استخدام الأراضي. وقد وجد أن تأثير

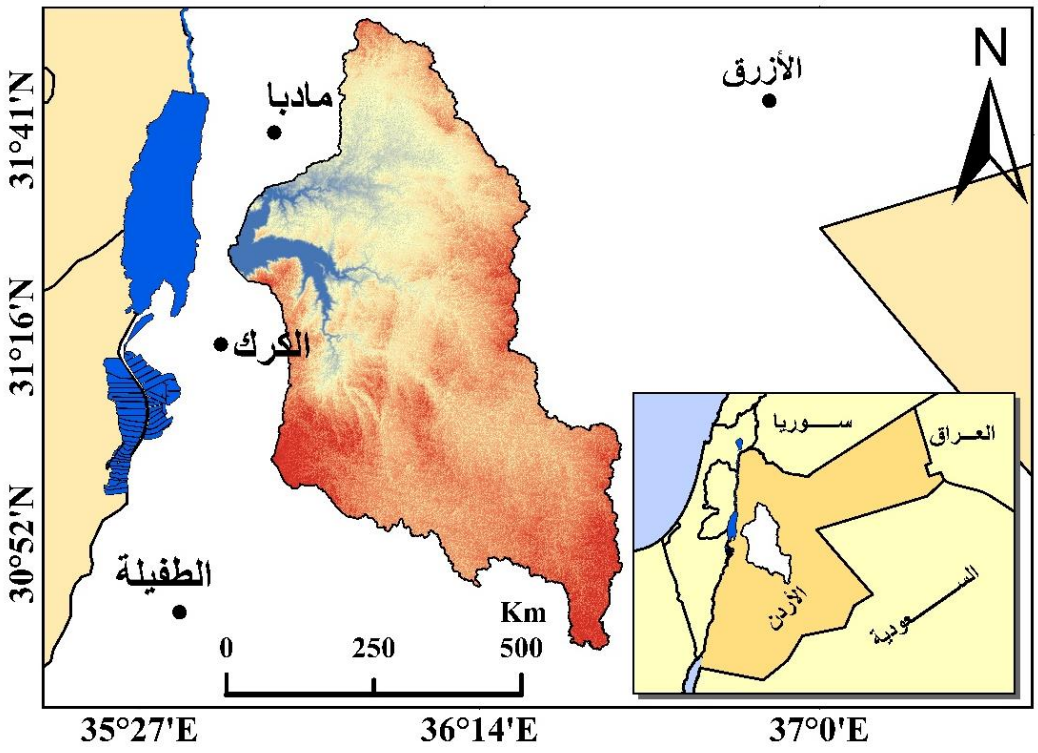
تغير استخدام الأراضي كان أقل من تأثير التغير في الهطول المطري ودرجة الحرارة، حيث أدى انخفاض معدل هطول المطري بنسبة ١٠٪ إلى انخفاض تدفق المياه بنسبة ١٨٪، بينما أدى انخفاض معدل تحويل المراعي إلى الغابات بنسبة ١٠٪ إلى تقليل التدفق بنسبة ١,٥٪ فقط.

كما هدف Francesconi, et al (2016) في دراسته إلى تقديم نظرة عامة على الجهود المبذولة باستخدام SWAT لتحديد خدمات النظام البيئي، وتحديد قدرة النموذج على فحص أنواع مختلفة من الخدمات، حيث تم إجراء مراجعة للأدبيات بهدف تحديد الدراسات التي تم فيها استخدام SWAT بشكل صريح لتقدير خدمات النظام البيئي من حيث: التزويد والتنظيم والدعم والجوانب الثقافية. وقد تبين استخدام SWAT لتحديد خدمات التزويد (٣٤٪)، ولتنظيم الخدمات (٢٧٪)، في حين كان الاستخدام المعتمد على مزج بين استخدامين (٢٥٪). في حين إن الدراسات التي تستخدم SWAT لتقييم خدمات النظام الإيكولوجي محدودة، والتي تمثل حوالي ١ ٪ من المنشورات المستخدمة لأداةSWAT.

كما قام الغميض (٢٠١٩) بدراسة أثر التغير المناخي المتوقع على الموارد المائية، سواء السطحية أو الجوفية ضمن أربعة أحواض مائية في الأردن، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وأظهرَ فيها أنه من المتوقع انخفاض الجريان السطحي لعينة الأحواض المائية المختارة.

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة.

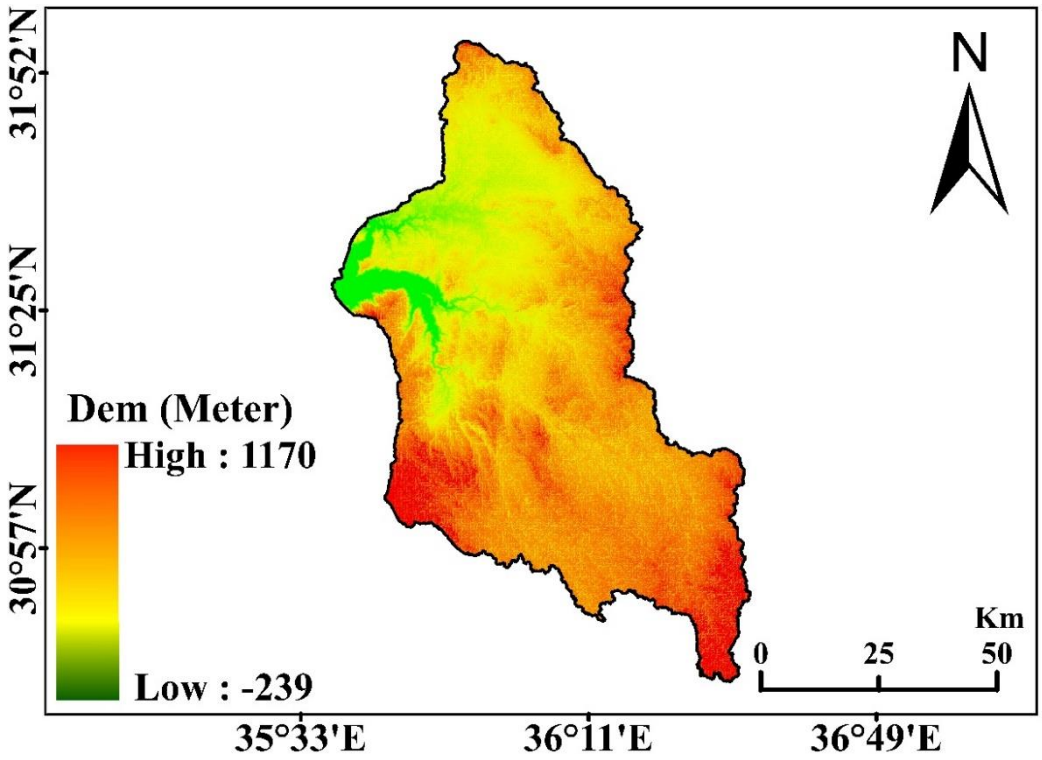
تتواجد منطقة الدراسة الممتدة فلكيًا بين خطي طول "38 '32 °35 و"58 '50 °35 شرقًا، ودائرتي عرض "09 '2 °30 و"37 '44 °31 شمالًا. ويُعدُّ حوض الموجب من الأحواض التي تتبع المنطقة الجغرافية المعروفة بالأغوار، وهو أحد الروافد الشرقية الأساسية التي تغذي البحر الميت. ويقع حوض الموجب جغرافياً (نسبياً) ضمن أربع محافظات وهي: عمان ومادبا والكرك والطفيلة. وعليه فإنَّ حوض الموجب يمتد من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي وتبلغ مساحته (٤٤٨٤,٦) كم^{٢}، أي ما نسبته ٥% من مساحة الأردن. ويوضح الشكل (١) موقع منطقة الدراسة.



الشكل (١) موقع منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث.

ويُعدُّ حوض الموجب في المرتبة الثانية من حيث الأهمية كرافد للبحر الميت من حيث المساحة وكمية التصريف النهري بعد نهر الأردن. وتتباين في حوض الموجب مناسيب الارتفاعات حيث يبلغ أعلى منسوب ارتفاع له١١٧٠م، والمتواجد في القسم الجنوبي منه، وبالتحديد في منطقة المزار الجنوبي. في حين كان أقل منسوب ارتفاع له في منطقة المصب في البحر الميت٢٣٩- تحت سطح البحر، وهذا يدل على عن أن الحوض ذو تضرس حاد، حيث يبلغ التضرس في حوض الموجب ١٤٠٩م. ويشير الشكل (٢) إلى قيم الارتفاعات لأراضي حوض الموجب.



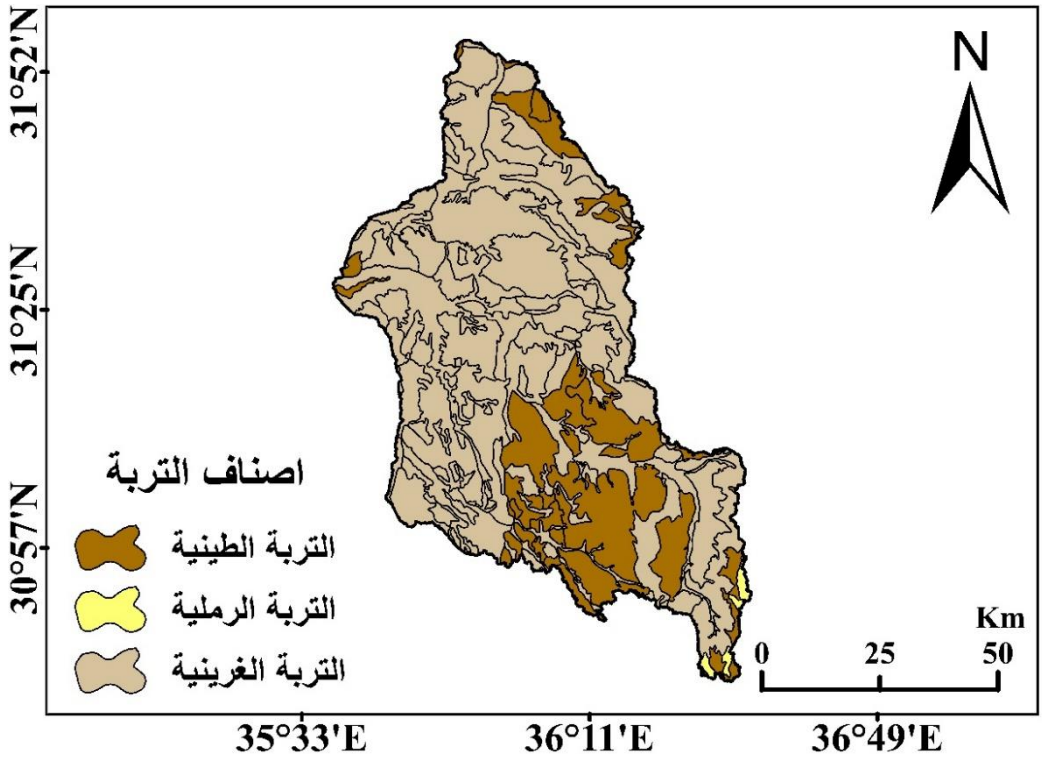
الشكل (٢) قيم الارتفاعات الرقمي في حوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي.

ويشهدُ حوض الموجب تباينًا مناخيًا جليًا بين مناطقه، حيث يسود مناخ البحر المتوسط في المنطقة الشمالية والغربية، وأما المناطق الشرقية والجنوبية منه فيسود فيها المناخ الجاف وشبه الجاف. وبشكل عام فإن الظروف المناخية في حوض الموجب هي بطبيعة الحال جزء لا يتجزأ من الظروف المناخية للأردن، حيث يعد فصل الشتاء هو فترة الهطول المطري للحوض؛ وذلك بحكم وقوعه ضمن المنطقة المعتدلة في الشتاء، في حين يقع صيفًا ضمن المنطقة المدارية (شحادة، ١٩٩١).

وبالنسبة للتربة المنتشرة في الحوض فهي تشهد تنوعًا في أصنافها أو أنواعها واختلاف في قوامها؛ وذلك بسبب تضافر كل من اختلاف التراكيب الجيولوجية (الصخرية) ومورفولوجية وطبوغرافية الحوض والظروف المناخية لأراضي الحوض. ونتيجة للعوامل آنفة الذكر فقد تبين من خلال الاطلاع على الخرائط الرقمية التي توفرها وزارة الزراعة، والمستندة على بيانات مشروع المسح الوطني للتربة واستعمالات الأراضي عام ١٩٩٣ انتشار خمسة أنواع من التربة، الأمر الذي أدى إلى اختلاف الخصائص الهيدرولوجية والفيزيائية للتربة من حيث تأثيرها على قيم الجريان السطحي في الحوض، ومن هذه الخصائص السعة الحقلية ونقطة الذبول للتربة، واللتان تؤثران على مدى احتفاظ التربة بالرطوبة، فكلما زادت قدرة التربة على الاحتفاظ بالتربة كلما زاد الجريان السطحي أي أن العلاقة بينهما علاقة طردية (عابد، ٢٠٠٩).

ويمكن تصنيف التربة بناءً على أنسجتها المنتشرة في الحوض إلى ثلاثة أصناف وهي: ١. التربة الرملية، والتي تشكل ما نسبته (٠,٨٤%) من أراضي الحوض، وتتواجد في المناطق الجنوبية من الحوض. ٢. التربة الطينية والتي تمتاز بأنها ذات نفاذية منخفضة ومسامية عالية، وبالتالي تكوّن جرياناً سطحياً بمعدلات أعلى من غيرها من أصناف التربة. وينتشر هذا الصنف في أربع مناطق رئيسة وهي: أقصى الجزء الغربي من الحوض، والمنطقة المحاذية للمنطقة الوسطى من الحوض، وبعض البقع المساحية في الجهات الشرقية والجنوبية من الحوض، وتمثل تلك المساحات ما نسبته (٣٠,٤%) من المساحة الكلية للحوض. ٣. والتربة الغرينية وهي الأكثر انتشارًا في الحوض، حيث تتواجد في مختلف مناطقه والتي تشكل ما نسبته (٦٨,٨%) من إجمالي مساحة الحوض(المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، ١٩٩٣).، ويبين الشكل (٣) أصناف الترب المنتشرة في حوض الموجب.



الشكل (3) أصناف الترب المنتشرة في حوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، ١٩٩٣م

منهجية الدراسة وأساليب المعالجة.

استخدمت هذه الدراسة المنهج الوصفيَّ والتحليليَّ الكميّ لتقييم ومحاكاة الوضع الهيدرولوجي الحالي، بعد معالجة البيانات المكانية والزمانية حاسوبياً باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، بالاعتماد على بيانات مناخية يومية، متمثلة بدرجات الحرارة الصغرى والعظمى، وكميات الهطول

المطري والإشعاع الشمسي للفترة منذ عام ١٩٨٥ وحتى ٢٠٢٠م. بالإضافة إلى استخدام الأساليب الكمية والكارتوغرافية لحساب المتغيرات الهيدرولوجية المتعلقة بالموزانة المائية الحالية، من حيث الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بعد، وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية، ونموذج وأداة تقييم التربة والمياه من خلال ملحقArcSwat ضمن بيئة ArcGis 10.6، وبرمجية Microsoft Excel 2016.

أولاً: مصادر البيانات.

اعتمدت الدراسة في تناولها وتحليلها لموضوع تقييم الظروف الهيدرولوجية في حوض الموجب باستخدام نموذج تقييم التربة والماء على عدة مصادر من المعلومات والبيانات، وهي:

١. الخرائط بكافة أنواعها وأشكالها وفق مقاييس مختلفة باختلاف نوعها، ومنها:

- الخرائط الطبوغرافية (١٩٩٧) وهي: لوحات مادبا والكرك وسواقة والقطرانة وأدر والطفيلة، ضمن مقياس رسم (١:٥٠٠٠٠). (المركز الجغرافي الملكي، 1997).
- خريطة التربة (١٩٩٣) وهي: لوحات مادبا والكرك وسواقة والقطرانة وأدر والطفيلة، ضمن مقياس رسم (١:٥٠٠٠٠). (المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، ١٩٩٣).
- خرائط جيولوجية (١٩٩٧) وهي: لوحات مادبا والكرك وسواقة والقطرانة وأدر والطفيلة، ضمن مقياس رسم (١:٢٥٠٠٠). (سلطة المصادر الطبيعية، ١٩٩٧).

٢.نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بقدرة تميزية ٣٠م، والذي توفره وكالة المساحة الجيولوجية الأمريكية؛ بهدف اشتقاق الأحواض المائية المختارة في هذه الدراسة، ودرجات انحدار السطح.(https://earthexplorer.usgs.gov/).

٣. المرئيات الفضائية.

اعتمدت الدراسة على المرئيات الفضائية التي يوفرها القمر الصناعي Sentinel 2 بقدرة تميزية ١٠م؛ بهدف إجراء تصنيف أو التعرف على الغطاء الأرضي وأنماط استعمالاته وفق المعطيات والمحددات الموضحة في الجدول (١). وبعد الحصول على المرئيات الفضائية الممثلة لمنطقة الدراسة تم تجميعها في مرئية واحدة، فيما يعرف بعملية (Mosaicking). وبعد إجراء دمج للمرئيات تم القيام بعملية تحسين المرئيات الفضائية وتصنيفها (ImageEnhancementandClassification) باستخدام برمجية Erdasimagine 2016،

بالاعتماد على أسلوب التصنيف الموّجه(Supervised Classification)، وفق طريقة تصنيف احتمالية غاوس العظمى(MaximumLikelihood Classification)، والتي تمتاز بدقة تصنيف أعلى للخلايا من غيرها من طرق التصنيف الموّجه، بحث توزع كل فئة من الفئات إلى التوزع النظامي لها، بحيث يتم وضع كل خلية في الصنف الأكثر احتمالية له، بالاستناد على قيم انعكاس هذه الخلايا (غيث، ٢٠١٠). وقد تم تصنيف أراضي حوض الموجب وفق نظام تصنيف أندرسون لاستعمالات الأراضي (Anderson Land Use Classification)، مع إجراء بعض التعديلات لتناسب ظروف منطقة الدراسة. وقد تم الاستعانة بمناطق التدريب (Training Area) والتي تمثل أصناف الأغطية الأرضية واستعمالاتها في حوض الموجب؛ وذلك ليتم تصنيف أراضي الحوض وفقها من خلال القيم الانعكاسية لها. وتم استخلاص الغطاء الأرضي واستعمالاته لحوض الموجب وفق الجدول(٢).

الجدول (1) محددات المرئيات الفضائية لحوض الموجب.

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

المصدر: من عمل الباحث

جدول (٢) تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الموجب

الرقم	التصنيف	الوصف
١	المناطق العمرانية	تشمل المناطق السكنية، والمنشأة التجارية، والصناعية، والتجارية.
٢	الغطاء النباتي	تشمل جميع الأراضي الزراعية سواء البعلية أو المروية، بالإضافة إلى الغطاء النباتي الطبيعي
٣	المراعي	تضم الأراضي التي تحتوي على النباتات الرعوية، والمخصصة لرعي الحيوانات.
٤	الأراضي الجرداء	هي الأراضي التي تفتقر لوجود أي مظهر من مظاهر الحياة النباتية.

٥	السدود المائية	وتمثل الخزانات ومشاريع الحصاد المائي.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نظام تصنيف أندرسون

٤. البيانات المناخية تتضمن كميات الأمطار اليومية، ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية، والإشعاع الشمسي للمحطات المتواجدة في حوض الموجب، للفترة الممتدة من ١٩٨٥ وحتى ٢٠٢٠م. وتقسم هذه المحطات المناخية والمبينة في الجدول (٣) مع خصائصها العامة وهي المحطات التابعة لدائرة الأرصاد الجوية. (دائرة الأرصاد الجوية، ٢٠٢٠).

الجدول (٣) المحطات المناخية في حوض الموجب وخصائصها العامة.

الرقم	المحطات المناخية	الإحداثيات الفلكية		
		خط الطول	دائرة العرض	منسوب الارتفاع (م)
١	مطار الملكة علياء	٣٥,٩٨	٣١,٧٢	٧٢٢
٢	القطرانة	٣٦,١٢	٣١,٢٥	٦٨٣
٣	الربة	٣٥,٧٥	٣١,٢٧	٩٢٠
٤	الغور الصافي	٣٥,٤٧	٣١,٠٣	-٣٥٠
٥	الطفيلة / العيص	٣٥,٣٨	٣٠,٥٠	١٢٦٠

المصدر: من عمل الباحث

ثانياً: البرمجيات المستخدمة.

استعانت الدراسة في معالجتها لموضوعها بمجموعة من البرمجيات وهي:

١. 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.

٢. ملحق ArcSWAT 2012 والمختص بإجراء المحاكاة والنمذجة للحوض.حيث يُعدُّ نموذج تقييم التربة والمياه من النماذج المناخية والهيدرولوجية في آن واحد؛ من حيث اعتماده على بيانات مناخية يومية لعدة عناصر وهي درجة الحرارة، والأمطار، والرطوبة النسبية، والإشعاع الشمسي، وسرعة الرياح واتجاها، في تقييم الوضع الهيدرولوجي الحالي للحوض المائي. كما يُمكّن هذا النموذج المستخدمين والمهتمين من إمكانية إجراء تنبؤات مستقبلية للعناصر المناخية وتوظيفها في

عملية نمذجة الأحواض المائية؛ بهدف إجراء مشاريع وتنفيذ خطط وإستراتيجيات مائية مستقبلية في ضوء تلك التنبؤات.

وقد تم تطوير نموذج أداة تقييم التربة والمياه من قبل دائرة البحوث الزراعية ومركز الأبحاث التابع لجامعة تكساس في الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك في أوائل التسعينيات من القرن الماضي (Bell, 2015). وكانا يهدفان إلى تطوير نموذج قادر على تقييم التأثير طويل المدى لإدارة الأراضي واستخدامها على كمية المياه المتواجدة في الأحواض المائية الكبيرة والصغيرة على حدٍ سواء.

٣. برمجية Erdas Imagine 2016لتصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالاتها.

٤. برمجية Microsoft Excel 2016لعمل الأشكال البيانية للمتغيرات الهيدرولوجية والمناخية.

ثالثاً: إجراءات الدراسة.

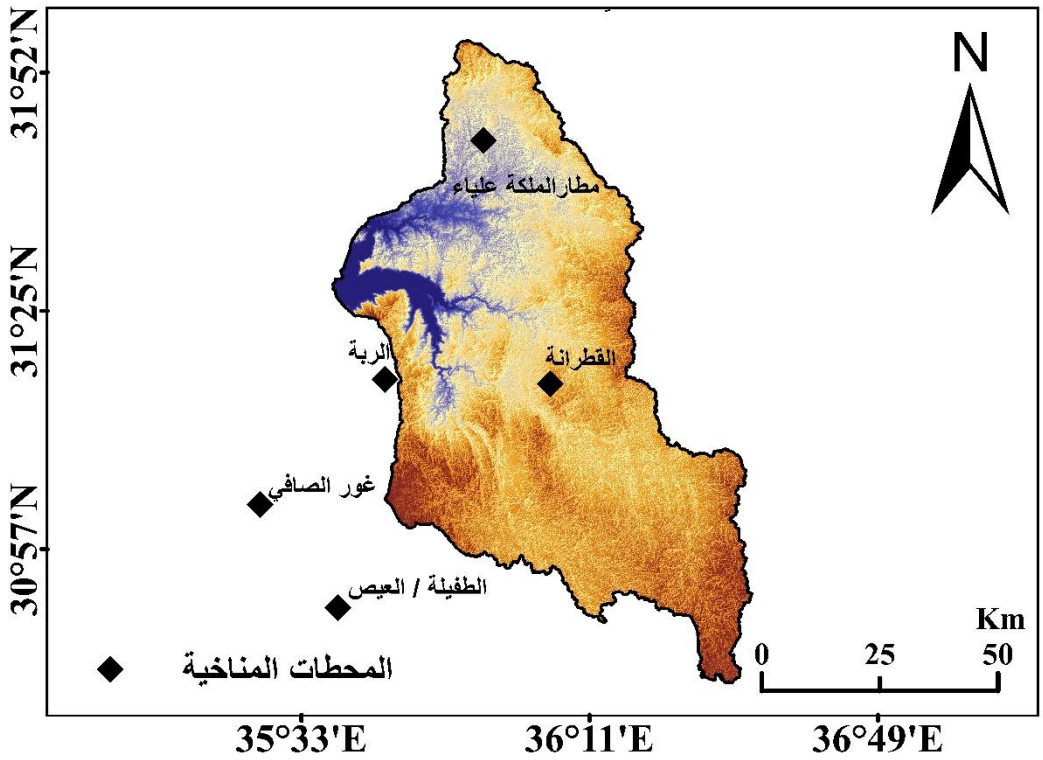
يتضمن إجراء هذه الدراسة للنمذجة الحالية للواقع الهيدرولوجي الحالي والمستقبلي في ضوء سيناريوهات التغير المناخي التراكمية على مجموعة من المراحل وهي: الاطلاع على الدراسات السابقة، ومن ثم إعداد بيانات الدراسة وتجهيزها قبل التعامل معها في نموذج وأداة تقييم التربة والمياه من مصادرها المختلفة، من خلال التصحيح الهندسي والإشعاعي للمرئيات الفضائية، وتحويل البيانات والخرائط الورقية إلى رقمية وتبويبها، حتى يسهل التعامل معها حاسوبيًا كالخرائط الجيولوجية وبعض العناصر المناخية. كما قام الباحث 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 أولاً، 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، وتمت هذه المرحلة والتي تتبعها باستخدام ملحقArcSWAT 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،٢٠١٨م). ويتم تحديد هذه الوحدات من خلال التعامل مع ثلاثة متغيرات رئيسة، وهي: تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته باستخدام برمجية Erdas Imagine 2016، وفق نظام تصنيف أندرسون لاستعمالات الأراضي (Anderson Land Use Classification). ثم يأتي تعريف المتغير الثاني والمتعلق بالتربة وفق النسيج، باستخدام عدة تصنيفات تصنيف منظمة الأغذية والزراعة الدولية(FAO) وهو المعتمد بالدراسة؛ وذلك بسبب اعتماد خرائط التربة في الأردن على هذا النوع من التصنيف، أو التصنيف الأمريكي والمبني عليه نموذج تقييم التربة والمياه. ويتم إضافة تصنيف منظمة الأغذية والزراعة الدولية إلى قاعدة بيانات نموذج SWAT؛ لكي يتعرف عليها ويسهل التعامل معها، من حيث الخصائص الفيزيائية لأنواع التربة المنتشرة في حوض الموجب. 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 إدخال المحطات المناخية والتعريف ببياناتها، وتعريف ملحق نموذج SWAT عليها من خلال برنامجAccess. وقد بُنيَ نموذج SWAT على أن يتضمن الحوض المائي على الأقل محطتين مناخيتين، لذا تم الاعتماد على قراءات محطات تابعة لدائرة الأرصاد الجوية، ويبين الشكل (٤) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الموجب.



الشكل (٤) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات دائرة الأرصاد الجوية، ٢٠٢٠م

بعد إجراء هذه الخطوة يتم إنشاء قاعدة بيانات SWAT وفق المتغيرات السابقة، ومن ثم تحديد طريقة حساب التبخر المحتمل (PET)وفقا طريقة هارقيز(Hargraves)، ونظرًا لأهمية هذا العنصر فقد احتوى نموذجSWAT 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 and 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) إلى الفرق في درجة الحرارة المئوية (متوسط درجة الحرارة العظمى الشهرية – متوسط درجة الحرارة الدنيا)، و (T) إلى متوسط درجة حرارة الهواء.

ويحاكي نموذج تقييم التربة والمياه حجم الجريان السطحي ومعدلات الجريان القصوى لكل وحدة الاستجابة الهيدرولوجية باستخدام كميات الأمطار اليومية وفق طريقة رقم منحنى الحفاظ على التربة The Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) والتي يمكن تمثيلها رياضيًا كما يلي (Mosbahi et al. 2013):

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

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

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 تظافر عدة عوامل وهي: التربة، واستخدامات الأراضي وإدارتها، والمنحدرات. تختلف جميعها، مع مرور الوقت بسبب التغيرات في محتوى الماء في التربة. ويرتبط المحتوى المائي للحوض برقم المنحى (CN) بواسطة معادلة SCSوالتي يمكن تمثيلها رياضيًا كما يلي (Mosbahi et al. 2013):

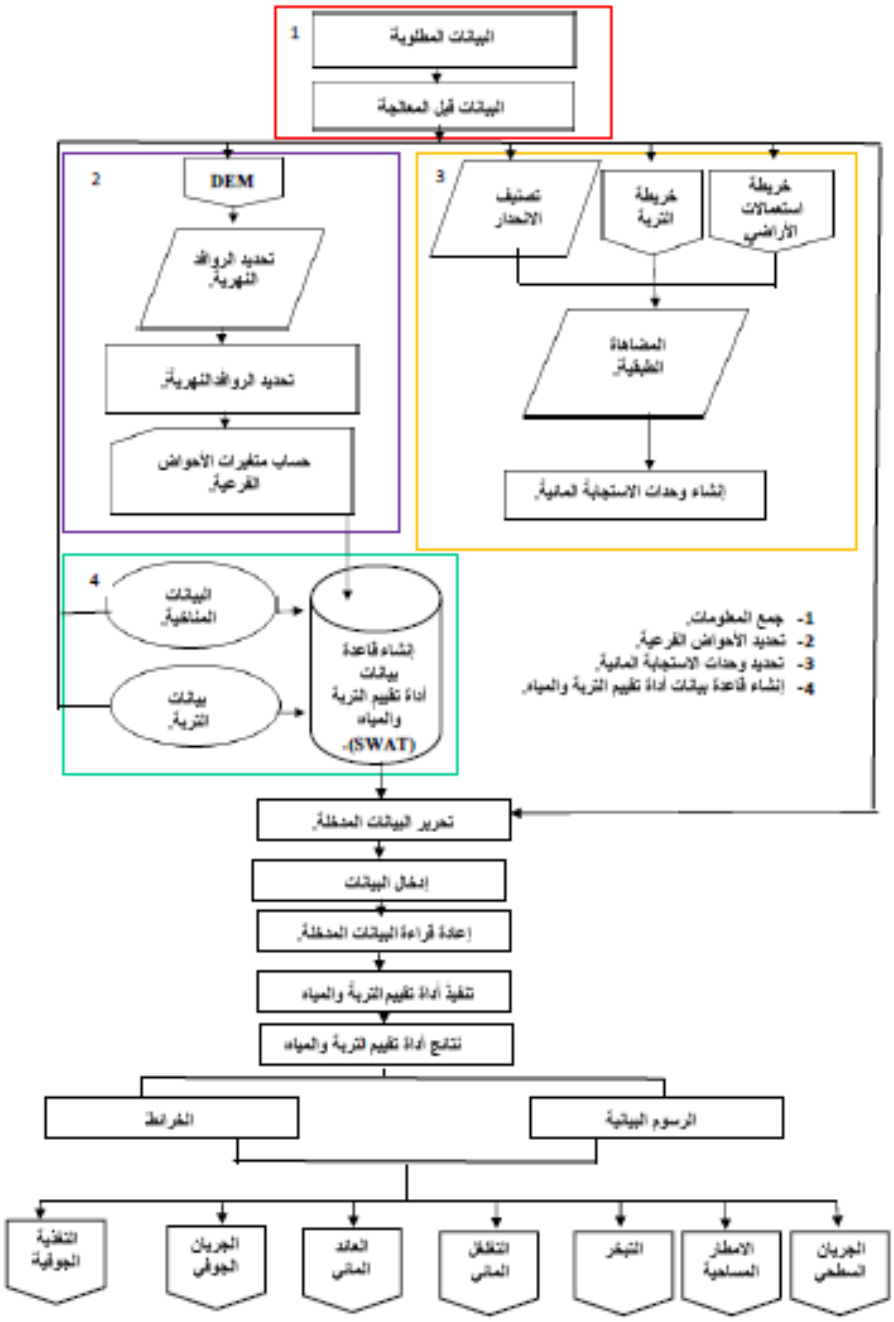
$$s = 254\left(\frac{100}{\mathrm{CN}} - 1\right)$$

بعد كل المراحل السابقة يتم عمل تنفيذ للنموذج(Run)، وعمل خرائط توضح كل عنصر من عناصر الموازنة المائية السطحية (Water Surface Budget)، والموازنة المائية الباطنية (Water Ground Budget)، وإعداد الجداول والأشكال البيانية التي تمثل الخصائص الإحصائية لتلك المتغيرات. ويمكن تمثيل الدورة المائية باستخدام نموذج أداة تقييم 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 S_{Wt} وS_{W0} على التوالي المحتوى المائي الأولي والنهائي في التربة، حيث تم الحصول على مصدر رطوبة التربة الأولي من خلال الخرائط الرقمية للتربة، المعدة من قبل وزارة الزراعة، على شكل ملفات رقمية (Shapefile)، تتضمن الخصائص الفيزيائية لكل صنف من أصناف التربة المنتشرة في حوض الموجب كالسعة الحقلية ونقطة الذبول. كما يشير رمز R_{day} إلى كميات الهطول اليومية، ويتمثل الجريان السطحي في المعادلة بالرمز Q_{surf}، كما تضمنت المعادلة عنصر التبخر، وهو العنصر الأساسي في الموازنة المائية، والمتمثل بالرمز Ea، 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 فإنه يمثّل الفترة الزمنية بالأيام. ويمكن تمثيل خطوات نموذج تقييم التربة والمياه كما في الشكل (٥).



الشكل (٥) تمثيل خطوات نموذج تقييم التربة والمياه.

المصدر: من عمل الباحث

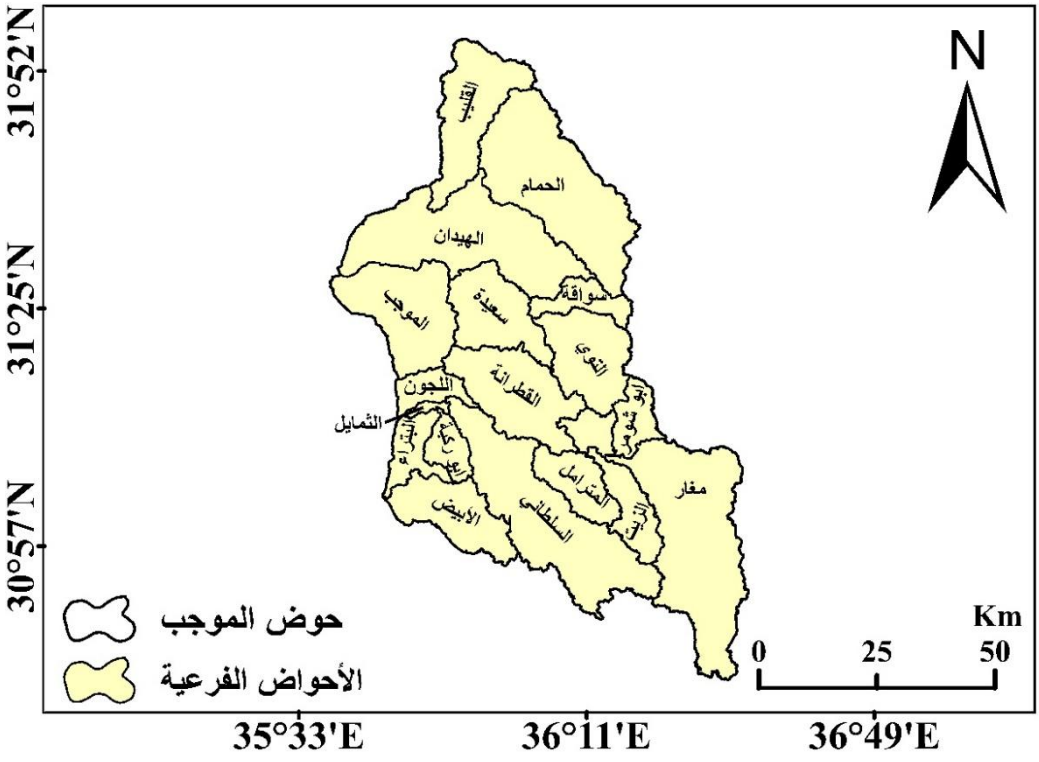
نتائج الدراسة ومناقشتها

المحاكاة الهيدرولوجية لحوض الموجب.

تتضمن المحاكاة الحالية لحوض الموجب محاكاة الواقع المائي فيه، سواء أكان الموازنة المائية السطحية منه مثل: كميات الهطول والتبخر الفعلي والكامن والجريان السطحي، أو الموازنة المائية الباطنية وتضم عدة عناصر كالتغلغل والجريان الباطني. كما أن هنالك بعض النتائج مشتركة بين الموازنة المائية السطحية والباطنية وهي:

١. الأحواض الفرعية ووحدات الاستجابة المائية.

تم إجراء تقسيم للحوض المائي إلى أحواض فرعية (Sub Basin) ووحدات الاستجابة المائية (HRU)، وقد تبين من خلال تطبيق أداة تقييم التربة والمياه على حوض الموجب احتواؤه على ثمانية عشر حوضًا فرعيًا، و٤٠٥ وحدة استجابة مائية عند مستوى عتبة ٥% لكل من التربة والانحدار واستعمالات الأراضي. ويظهر الشكل (٦) الأحواض الفرعية في منطقة الدراسة.



الشكل (٦) الأحواض الفرعية في حوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGis 10.6.

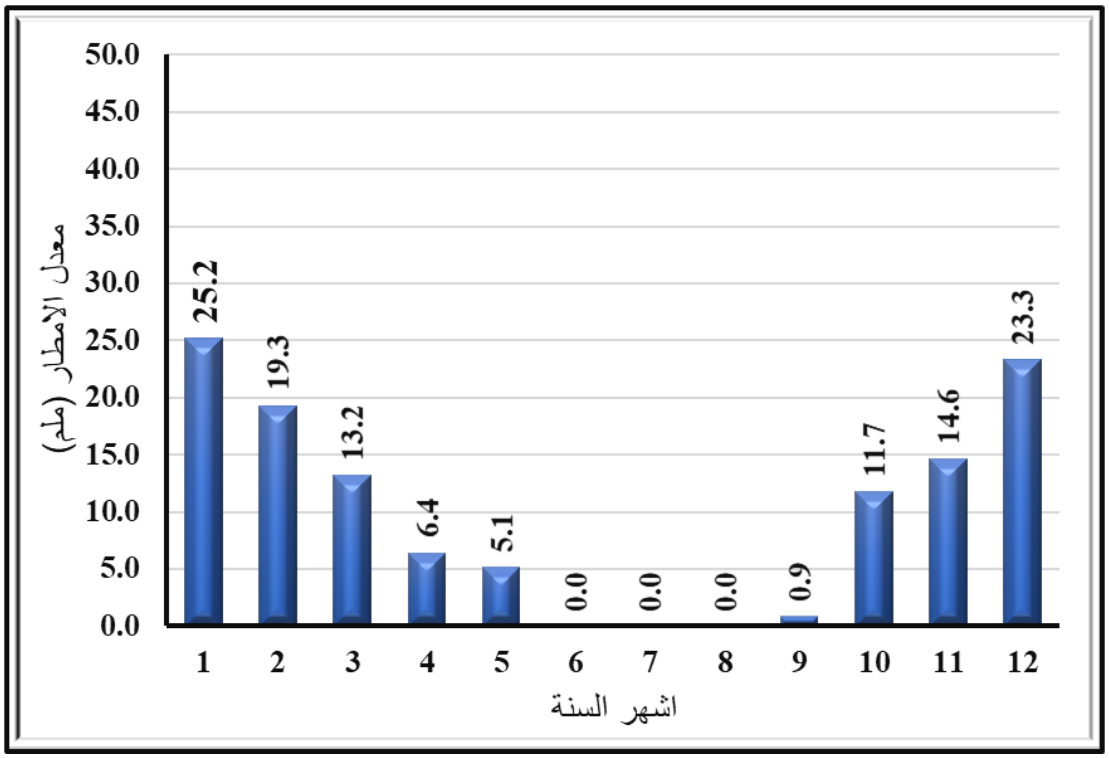
٢. محاكاة الموازنة المائية السطحية.

وتضم الموازنة المائية السطحية عدة متغيرات، تتحكم في كمية العجز أو الفائض المائي، حيث إنها تعد بمثابة عملية توزان ديناميكي بين ما يتم اكتسابه عن طريق الهطول المطري وما يتم فقده عن طريق التبخر والنتح (الزغول، ٢٠١٦). وتضم هذه المحاكاة العناصر الآتية:

الهطول (التساقط).

يعد الهطول المحرك الرئيس للموازنة المائية في أي حوض مائي؛ وذلك بسبب اعتماد بقية عناصر الموازنة عليه، خاصة التبخر الفعلي والجريان السطحي. كما أن بعض العمليات النهرية تعتمد بشكل رئيس على كميات الهطول وشدته مثل: الحت النهري بكافة أنواعه وانجراف التربة وانزلاقاتها.

وقد أظهرَ نموذج SWAT أن معدل كميات الهطول المطري خلال فترة الدراسة ١١٩,٦ ملم. كما 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 ٢٥,٢ ملم، في حين تفتقر أشهر الصيف خلال فترة الدراسة لأي كميات أمطار. ويظهر الشكل (٧) التباين الزماني لمعدل الأمطار في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

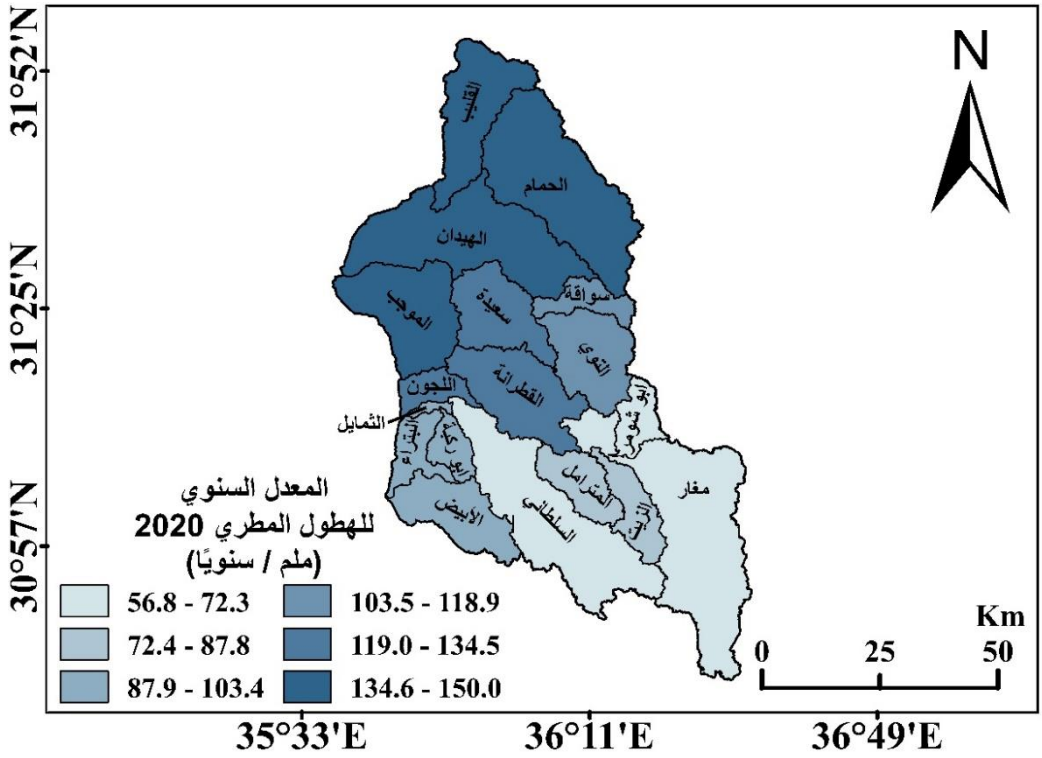


الشكل (٧) التباين الزماني لمعدل الأمطار في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام Excel

كما أظهرت نتائج SWAT أن الأحواض الفرعية الشمالية لحوض الموجب ذات معدل هطول مطري أعلى من بقية الأحواض، حيث بلغ أكثر من ١١٩ ملم/ سنويًا. أما بقية الأحواض الفرعية، فقد كان معدل الهطول المطري فيه أقلها كان من ١٠٣,٤ملم، وبلغ عدد تلك الأحواض٥أحواض تواجدت في الأحواض الفرعية الجنوبية والجنوبية الشرقية.

ويبين الشكل (٨) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري المساحي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب لعام ٢٠٢٠م



الشكل (٨) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب

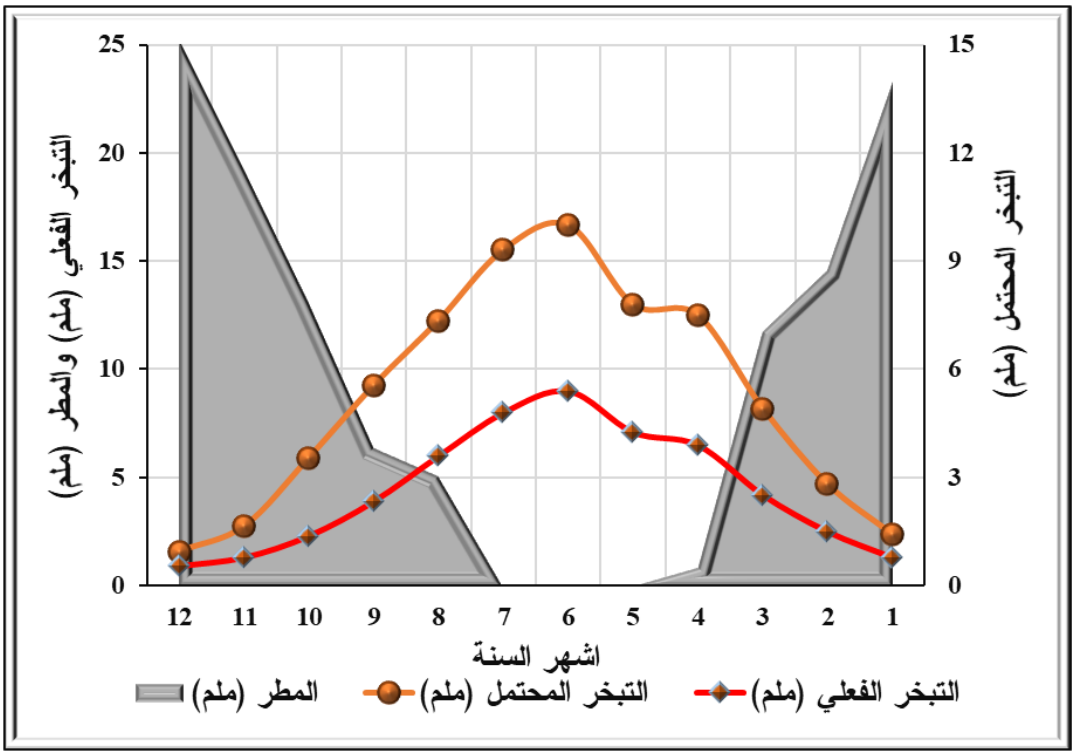
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

التبخر.

يعرف التبخر بأنه تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ويعد التبخر من العمليات المهمة والأساسية في التوازن الحراري لسطح الأرض والغلاف الجوي (العرود، ٢٠٠٢). ويقسم التبخر إلى نوعين أساسين هما: التبخر الفعلي ،(Actual Evaporation) والتبخر المحتمل (Potential Evaporation).

وقد اظهر نموذج SWAT أن معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الموجب بلغ على التوالي ٥٣ ملم و٦٢,٩ ملم، خلال الفترة الممتدة ما بين ١٩٨٥ و٢٠٢٠م. إلا أن هذه القيم تتابين

زمنيًا (خلال أشهر السنة) ومكانيًا (ضمن أحواض الفرعية). كما أن التوزيع الزمني والمكاني للتبخر الفعلي والمحتمل يوصف بأنه متغاير، فقد كانت أعلى قيمة لمعدل التبخر الفعلي خلال شهر حزيران٩ ملم، بينما بلغت أعلى قيمة لمعدل التبخر المحتمل في شهر حزيران١٠ ملم، أما بالنسبة لأدنى قيمة لمعدل التبخر الفعلي ٠,٩ ملم، في حين بلغت أدنى قيمة لمعدل التبخر المحتمل ١,٠ ملم، خلال شهر كانون أول. ويبين الشكل (٩) قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



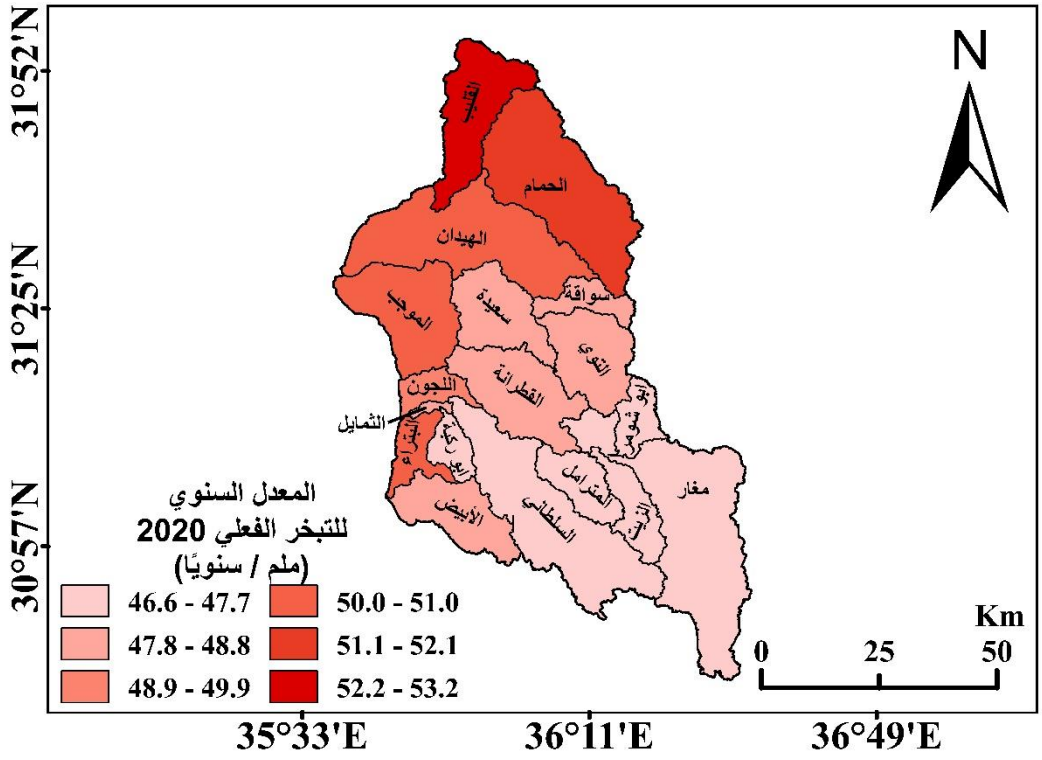
الشكل (٩) قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل والمطر في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام Excel

وبالنسبة للتباين المكاني بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب في قيم التبخر الفعلي لعام ٢٠٢٠م، فقد اتضح أن الأحواض الشمالية وخاصة الشمالية الغربية والغربية والشمالية الشرقية منه ذات قيم تبخر فعلي أعلى من الأحواض الشرقية والجنوبية والجنوبية والشرقية منها، ويرد ذلك إلى أن الأحواض الشمالية وخاصة الشمالية الغربية والغربية ذات معدل هطول مطري أعلى من الأحواض الشرقية والجنوبية الشرقية. ويبين الشكل (١٠) التباين المكاني للتبخر الفعلي لعام ٢٠٢٠م في حوض الموجب.

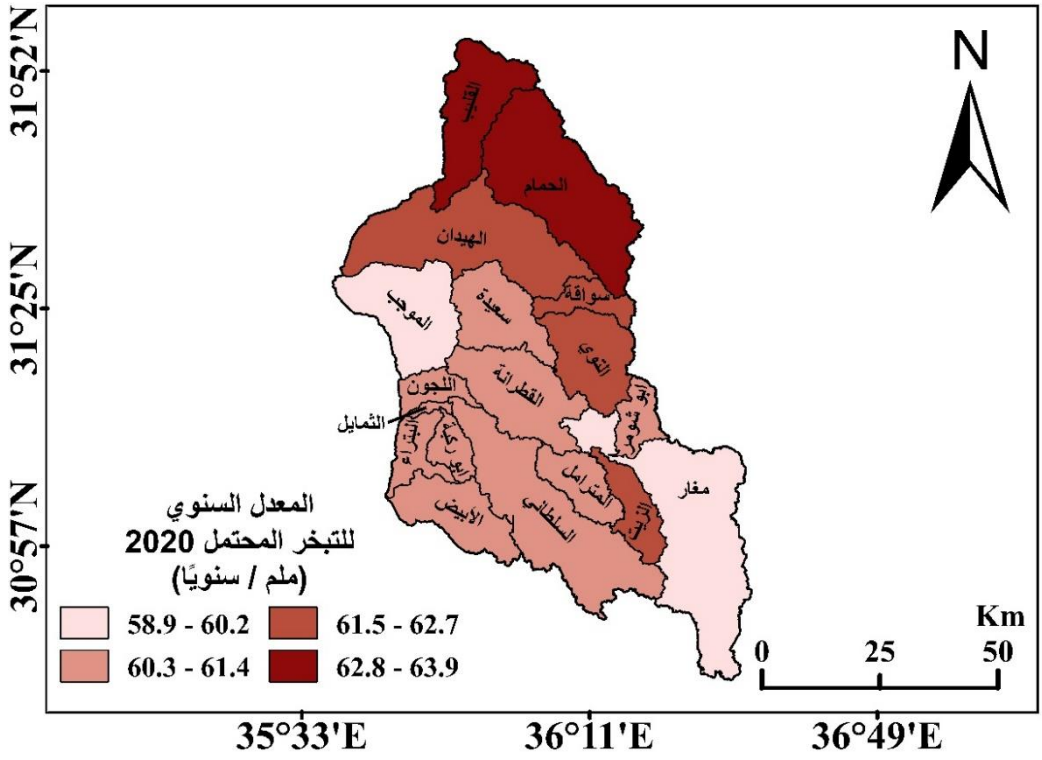
وأما فيما يتعلق بالتباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل للأحواض الفرعية لحوض الموجب فقد لوحظ توافقٌ نوعًا ما مع التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي للأحواض الفرعية لحوض

الموجب. حيث كانت الأحواض الشمالية والشرقية ذات معدل تبخر محتمل أعلى من الأحواض الجنوبية، فقد بلغ معدل قيم التبخر المحتمل في الأحواض الفرعية الشمالية والشرقية أكثر من ٦١,٥ ملم. ويبين الشكل (١٠) التباين المكاني للتبخر المحتمل لعام ٢٠٢٠م في حوض الموجب.



الشكل (١٠) التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

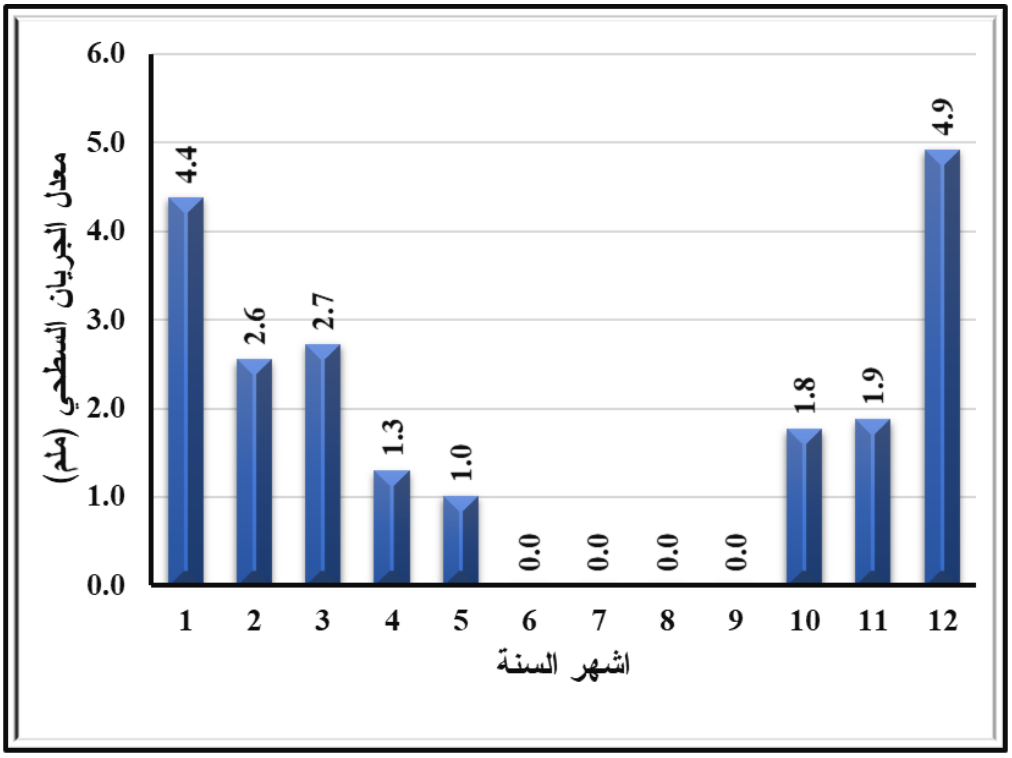


الشكل (١٠) التباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

الجريان السطحي.

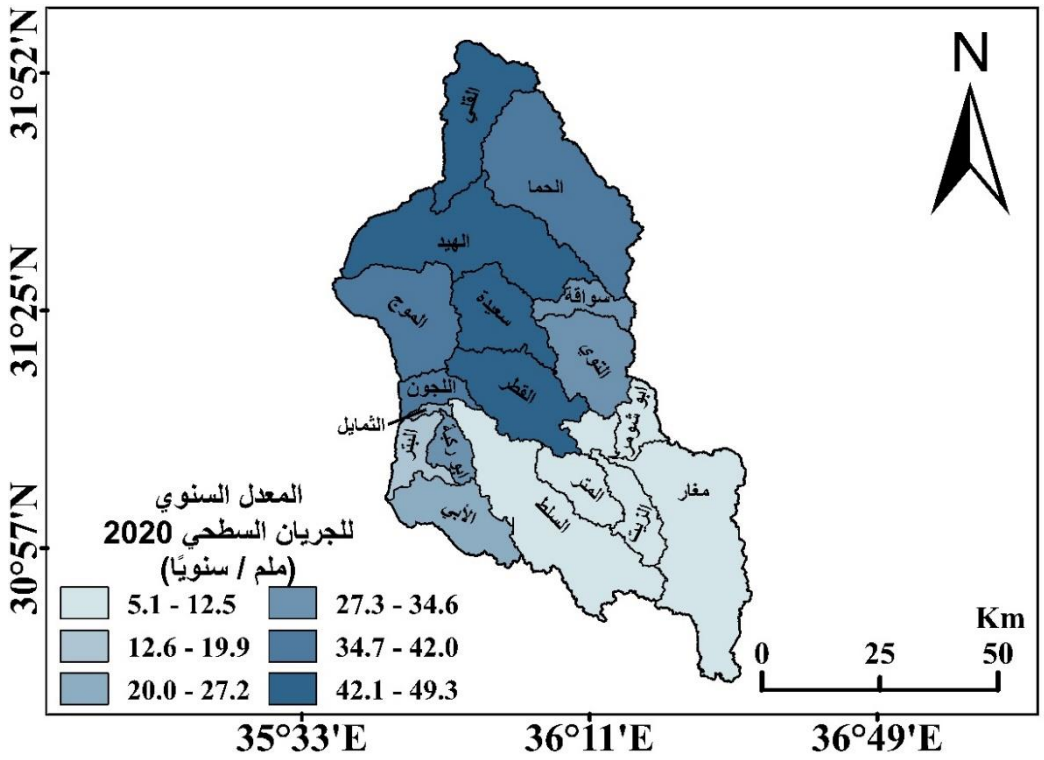
يعدُّ الجريان المحصلة النهائية بعد وصول الأمطار لسطح الأرض وفقدانها بواسطة التبخر والتسرب وامتصاصه من قبل الغطاء النباتي. وقد بلغت قيمة معدل الجريان السطحي ٢٠,٤ملم على مدى فترة الدراسة الممتدة من عام ١٩٨٥م وحتى ٢٠٢٠م. إلا أن قيمة الجريان السطحي تتباين بين أشهر السنة، حيث بلغ أعلى قيمة لها في شهر كانون الأول والبالغة ٤,٩ ملم، في حين كانت أقل قيمة لها خلال أشهر الصيف. ويظهر الشكل (١١) التباين الزماني لمعدل الجريان السطحي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (١١) التباين الزماني لمعدل الجريان السطحي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام Excel

وبالنسبة للتباين المكاني بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب في قيم الجريان السطحي لعام ٢٠٢٠م فقد اتضح أن الأحواض الجنوبية والشرقية منه ذات قيم جريان سطحي أقل من الأحواض الشمالية والشمالية الغربية منها، ومرد ذلك إلى أن الأحواض الشمالية والشمالية الغربية ذات معدل هطول مطري أعلى من الأحواض الجنوبية والشرقية. ويظهر الشكل (١٢) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



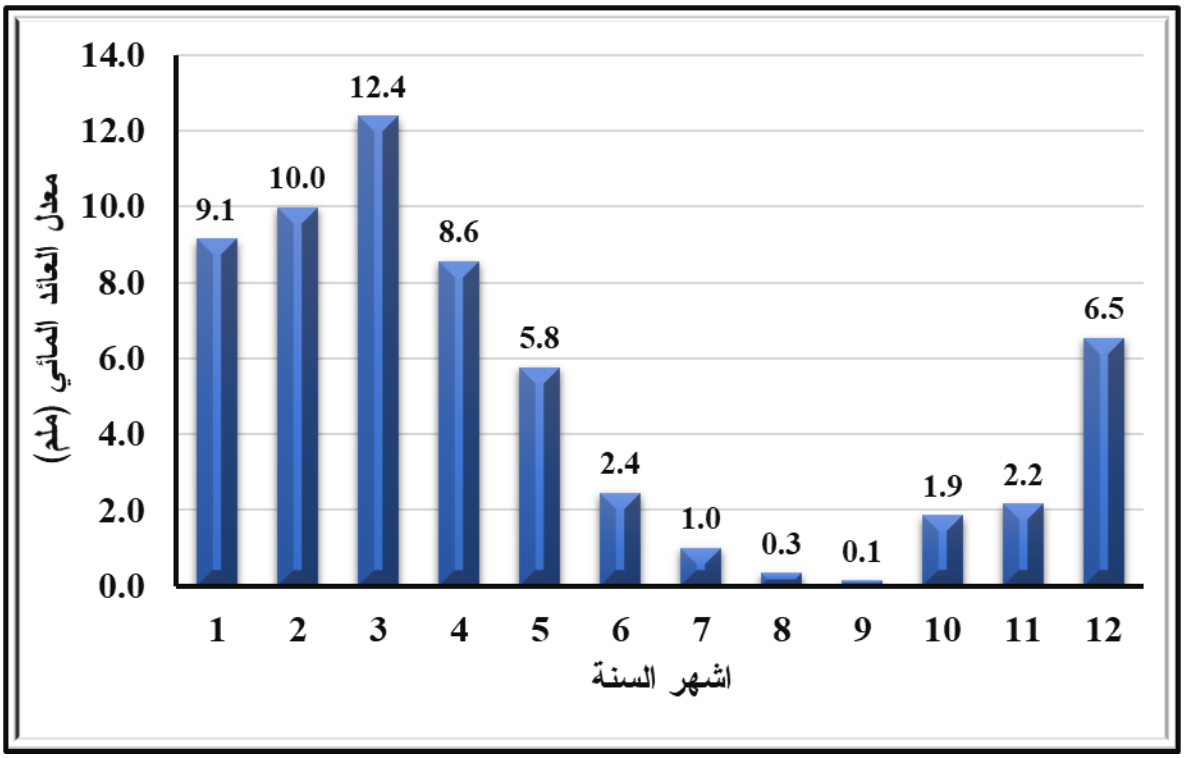
الشكل (١٢) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعيةلحوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

الناتج المائي.

وتعرف بالغلة المائية أو الحصيلة المائية (Water Yield) والتي تعد بمثابة المحصلة النهائية والمستفادة من المياه الهاطلة على الحوض في استخداماتها المختلفة (الغميض، ٢٠١٩). ويتأثر الناتج المائي بعدة ظروف أسهمت في إحداث تباين واضح وجليّ بين الأحواض المائية، خاصة الظروف المناخية بما في درجات الحرارة وكميات الهطول السنوي، بالإضافة إلى طبيعة الغطاء الأرضي واستعمالاته ونوعية التربة والصخور.

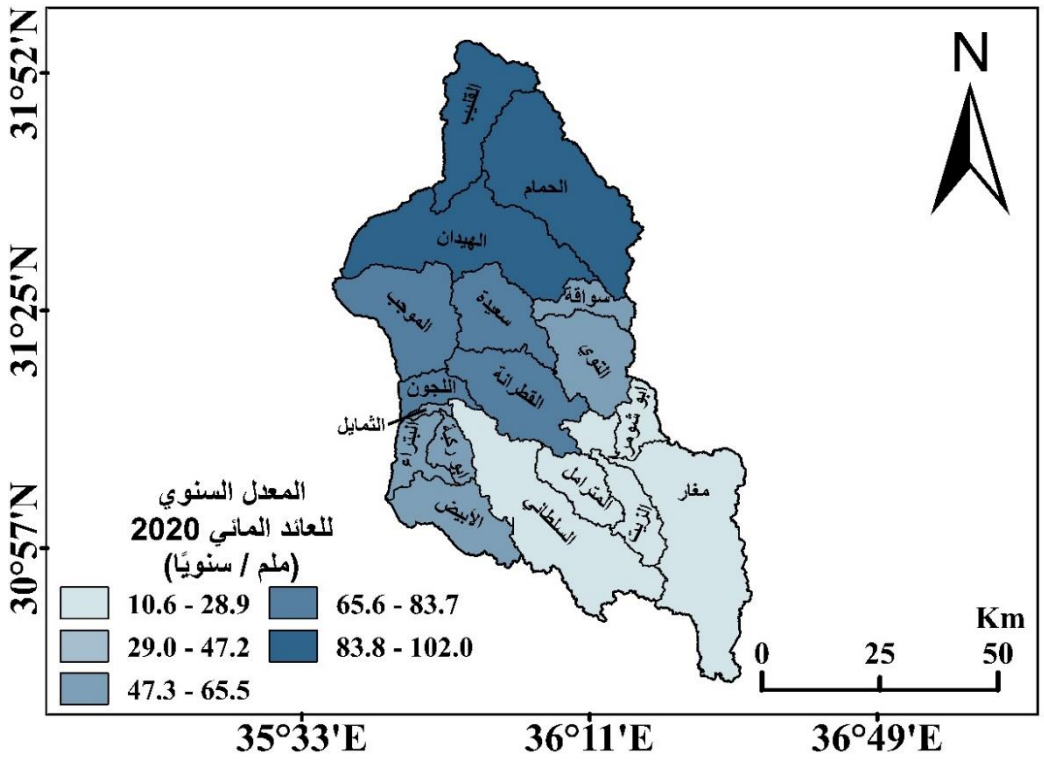
وقد أظهر تطبيق نموذج SWAT أن معدل الناتج المائي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة ٥٩,٩١ ملم، إلا أن هذه القيمة تتباين على مدار شهور السنة خلال فترة الدراسة، حيث بلغت أعلى قيمه له في شهر آذار ١٢,٤ملم، في حين كانت أقل قيمة ٠,١ ملم وذلك خلال شهر أيلول. ويبيّن الشكل (١٣) التباين الزماني لمعدل الناتج المائي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (١٣) التباين الزماني لمعدل العائد المائي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام Excel

وبالنسبة للتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض الموجب في قيم العائد المائي لعام ٢٠٢٠م، فقد اتضح أن الأحواض الشرفية والجنوبية الشرقية منه ذات قيم أقل من الأحواض الشمالية والشمالية الغربية منها، ويرد ذلك إلى أن الأحواض الشمالية والشمالية الغربية ذات معدل هطول مطري أعلى من الأحواض الجنوبية والشرقية. ويظهر الشكل (١٤) التباين المكاني لمعدل العائد المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (١٤) التباين المكاني لمعدل العائد المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

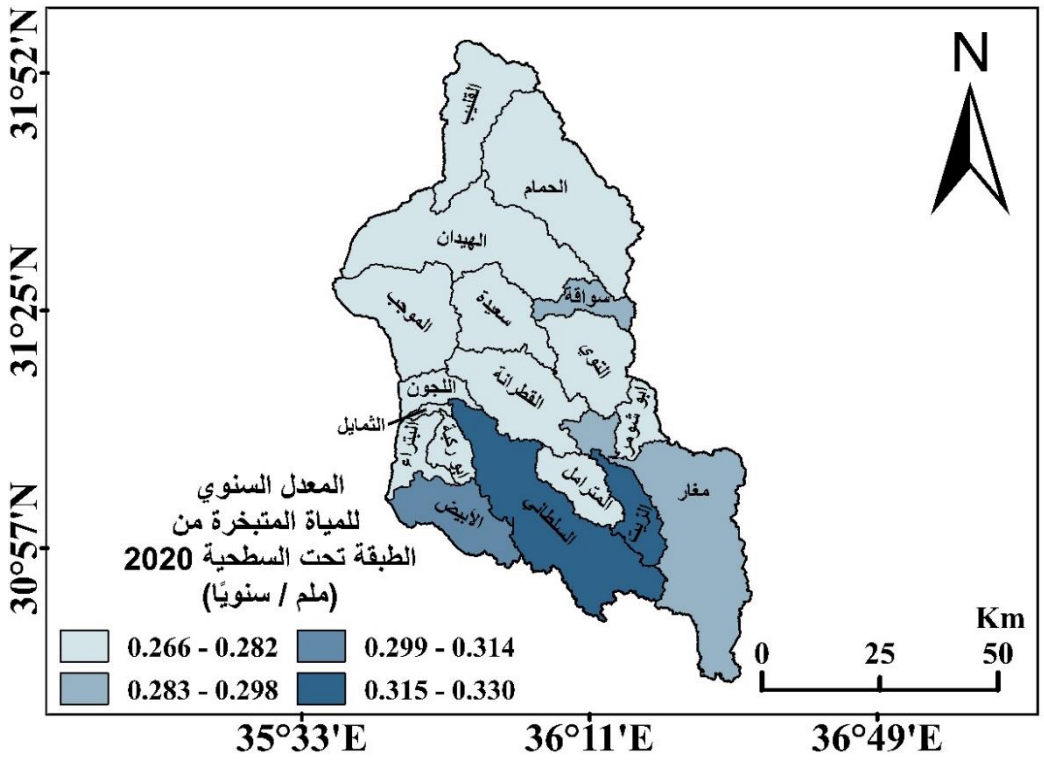
٣. محاكاة الموازنة المائية الباطنية.

تشير الموازنة المائية الباطنية إلى عدة متغيرات تدخل في حسابها يمكن إجمالها في المتغيرات الآتية:

المياه المتبخرة من الطبقة تحت السطحية.

وتعرف أيضًا بالمياه المعادة إلى سطح من الأرض(Revap from shallow aquifer) وذلك بسبب الخاصية الأسموزية، والتي تعبر عن انتقال المياه عبر الأغشية من المناطق ذات الكثافة المائية المرتفعة إلى المناطق ذات الكثافة المائية المنخفضة (الغميض، ٢٠١٩). وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها من نموذج SWAT أن معدل كمية المياه العائدة للسطح ١,٢٦ ملم خلال فترة الدراسة.

ويتضح التباين بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب في المياه المعادة للسطح لعام ٢٠٢٠م أن الأحواض الشرقية والجنوبية والجنوبية الشرقية ذات معدلات تبخر من الطبقة تحت السطحية أعلى من أحوض المنطقة الوسطى والشمالية والشمالية الغربية، وذاك بحكم قلة الهطول المطري فيها. ويوضح الشكل (١٧) التباين المكاني لمعدل المياه المعادة بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (١٧) التباين المكاني لمعدل المياه المعادة بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

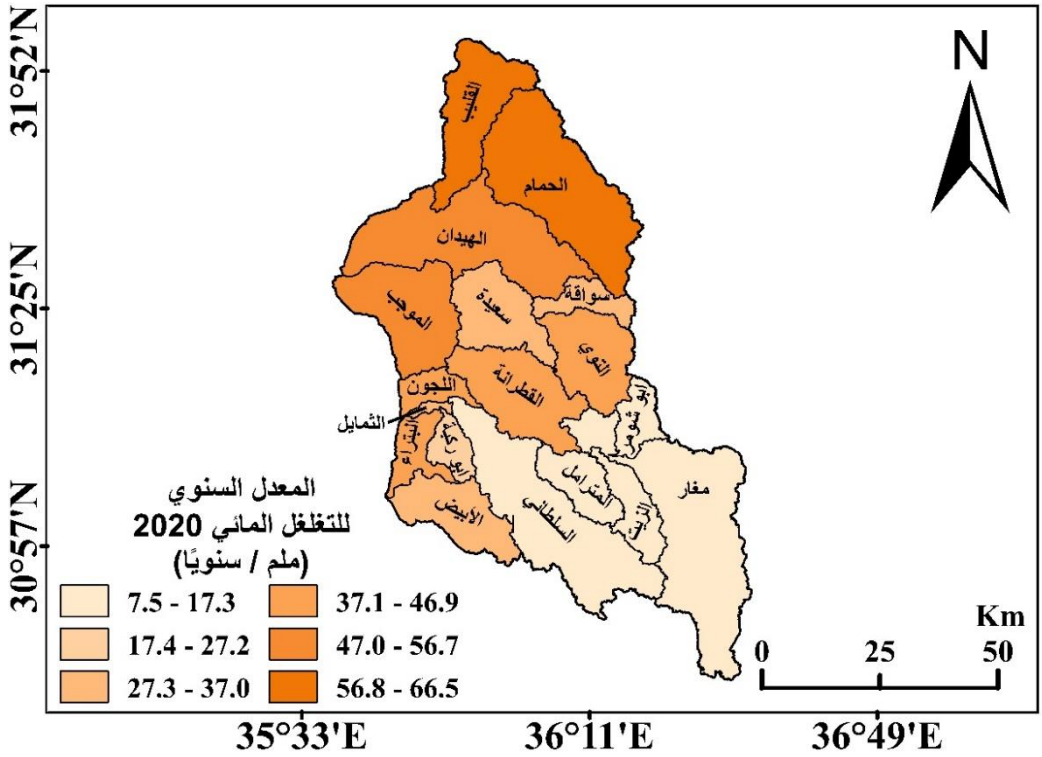
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

التغلغل المائي.

ويقصد بمصطلح التغلغل (Percolation) الترشيح من طبقات المياه الجوفية الضحلة إلى طبقات المياه الجوفية العميقة بخلاف الرشح (Filtration) الذي يشير إلى تسرب المياه إلى طبقات المياه الجوفية الضحلة (الغميض، ٢٠١٩). وبمعنى آخر فإن الرشح لا يتعدّى نطاق الجذور (Root Zone) في حين إن التغلغل يتخطى نطاق الجذور ويصل حتى نطاق المياه الجوفية الضحلة(Shallow aquifer ، ويتأثر التغلغل المائي بعدة ظروف، أسهمت في إحداث تباين واضح وجلي بين الأحواض المدروسة، خاصة الظروف المناخية، بما في ذلك درجات الحرارة وكميات الهطول السنوي، بالإضافة إلى طبيعة الغطاء الأرضي واستعمالاته ونوعية التربة والصخور(الغميض، ٢٠١٩)

وقد تبيّن أن معدل التغلغل خلال فترة الدراسة في حوض الموجب بلغ ٤٠,٠٢ ملم، إلا أن هذه القيمة تتباين بين الأحواض الفرعية، حيث نلاحظ أنّ الأحواض الفرعية الشمالية وهي الحمام والقليب والهيدان والموجب ذات تغلغل مائي كبير للمياه نحو نطاق المياه الجوفية؛ حيث بلغ معدل التغلغل فيها خلال عام ٢٠٢٠م ما بين ٤٧,٢و٦٦,٥ ملم سنويًا، ويعزى ارتفاع معدلات الهطول المطرية في الأحواض الشمالية الغربية عن بقية الأحواض بشكل ملحوظ ، بالإضافة إلى انخفاض

معدل المياه المتبخرة من الطبقة تحت السطحية (Revap from shallow aquifer) فيها. في حين بلغت أقل قيمة للتغلغل في الأحواض الجنوبية والجنوبية الشرقية ما بين ٧,٥ ملم سنويًا و١٧,٣ ملم سنويًا، وذلك بسبب أنّ هذه الأحواض هي أقل الأحواض في معدل الهطول المطري وارتفاع معدل المياه المتبخرة من الطبقة تحت السطحية. ويبين الشكل (١٨) التباين المكاني لمعدل التغلغل المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (١٨) التباين المكاني لمعدل التغلغل المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

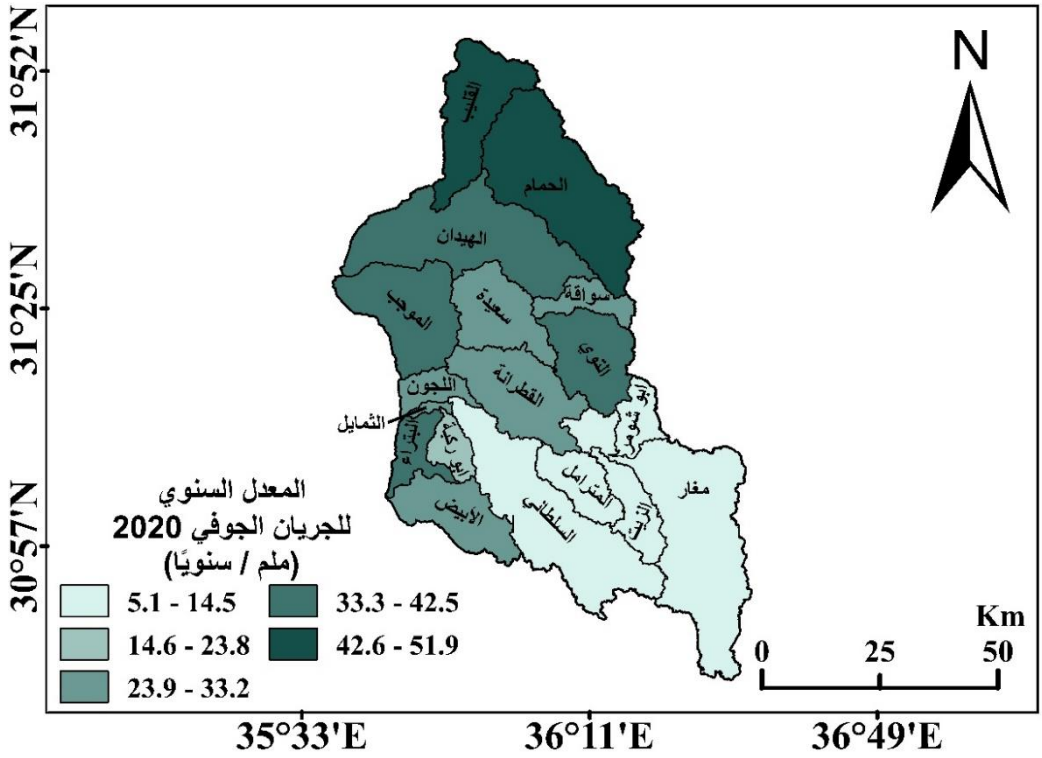
الجريان الجوفي (الباطني).

يعرف الجريان الجوفي(Ground Flow) بأنه جريان المياه ضمن الطبقة الباطنية والممتدة من نطاق الجذور وحتى المياه الجوفية العميقة (الغميض، ٢٠١٩). ويتحكم بمدى جريان المياه الجوفية أو عدمه وجود طبقات كتيمة أو وجود طبقات مشبعة بالمياه، مما يسمح بجريان المياه الباطنية ضمن الطبقات والفوالق والمفاصل الصخرية.

ويقسم الجريان الباطني إلى قسمين رئيسين هما: الجريان الجانبي (Lateral Flow) ، ويحدث ضمن نطاق الجذور(RootZone)، وينشأ بسبب اعتراض المياه المتسربة من السطح نحو باطن الأرض باتجاه المياه الجوفية طبقة مشبعة بالمياه، مما يعمل على استحالة تسرب أو امتصاص المياه وبالتالي جريانها. في حين يُعرف القسم الثاني بجريان العائد(Return Flow)

وهو عبارة عن تدفق المياه العذبة الجوفية نحو المياه السطحية، ويعود سبب هذا التدفق إلى اعتراض تسرب العامودي للمياه طبقة كتيمة تعرف بطبقة الحجز (Confining Layer) وهي الطبقة الفاصلة بين الطبقة الضحلة(Shallow Aquifer) والعميقة للمياه الجوفية (Deep Aquifer). وقد بلغ معدل الجريان الجانبي والعودة في حوض الموجب خلال فترة الدراسة على التوالي ٠,٧٩ ملم و ٣٦,٧٢ ملم.

ويتضح التباين بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب في الجريان الجوفي بشقيه لعام ٢٠٢٠م أن الأحواض الشرقية والجنوبية والجنوبية الشرقية ذات معدلات جريان جوفي أقل من أحوض المنطقة الوسطى والشمالية والشمالية الغربية، وذاك بحكم ارتفاع الهطول المطري فيها. ويوضح الشكل (١٩) التباين المكاني لمعدل الجريان الجوفي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (١٩) التباين المكاني لمعدل الجريان الجوفي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

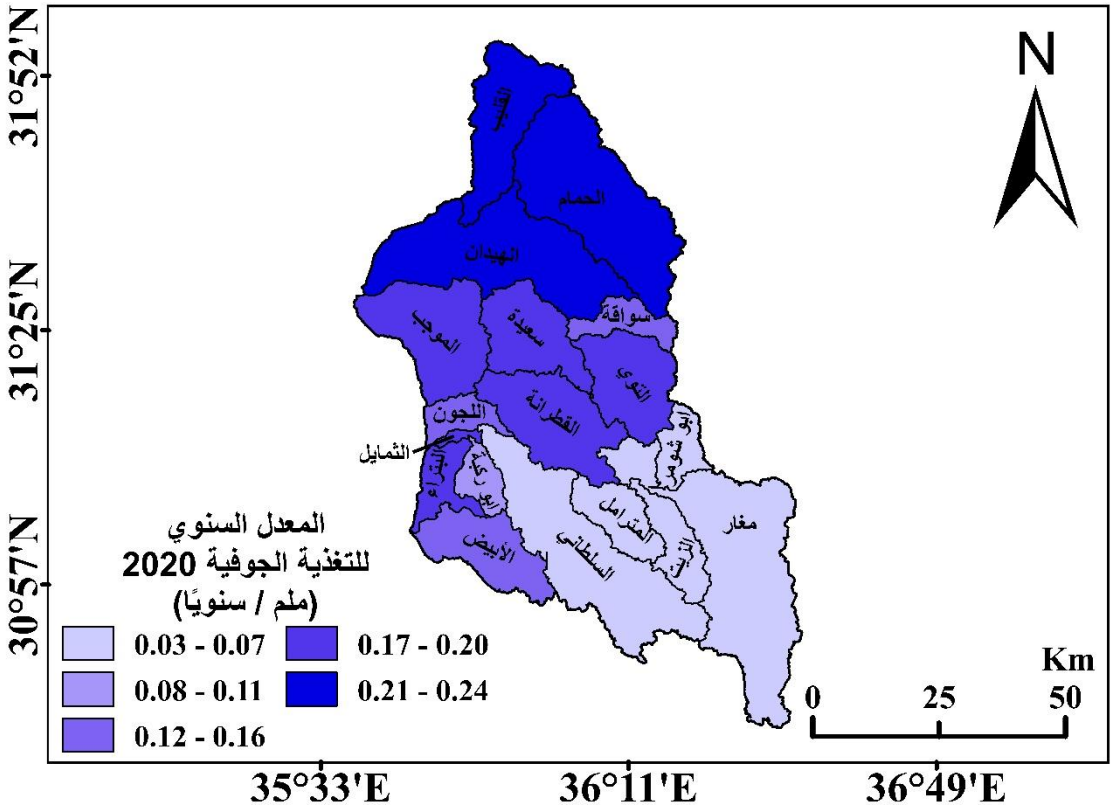
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

التغذية الجوفية.

يعنى بالتغذية الجوفية (Recharge) كميات المياه المتسربة نحو باطن الأرض، وبتم بها التزويد أو الزيادة الطبيعية لمخزون الطبقات المائية الجوفية (أبو سمور، ١٩٩٩). وهي تتأثر بعدة مؤثرات منها ما هو طبيعي أهمها الظروف المناخية لمنطقة الدراسة، ونوع التكوينات الجيولوجية

من حيث مساميتها ونفاذيتها والجاذبية والخاصية الشعرية والغطاء النباتي. ومنها ما هو بشري متعلق بالتوسع في حفر الآبار والنشاطات البشرية كالامتداد العمراني والسدود (أبو سمور، ١٩٩٩). وقد بلغ معدل مقدار التغذية الجوفية في حوض الموجب على مدار فترة الدراسة٢ ملم.

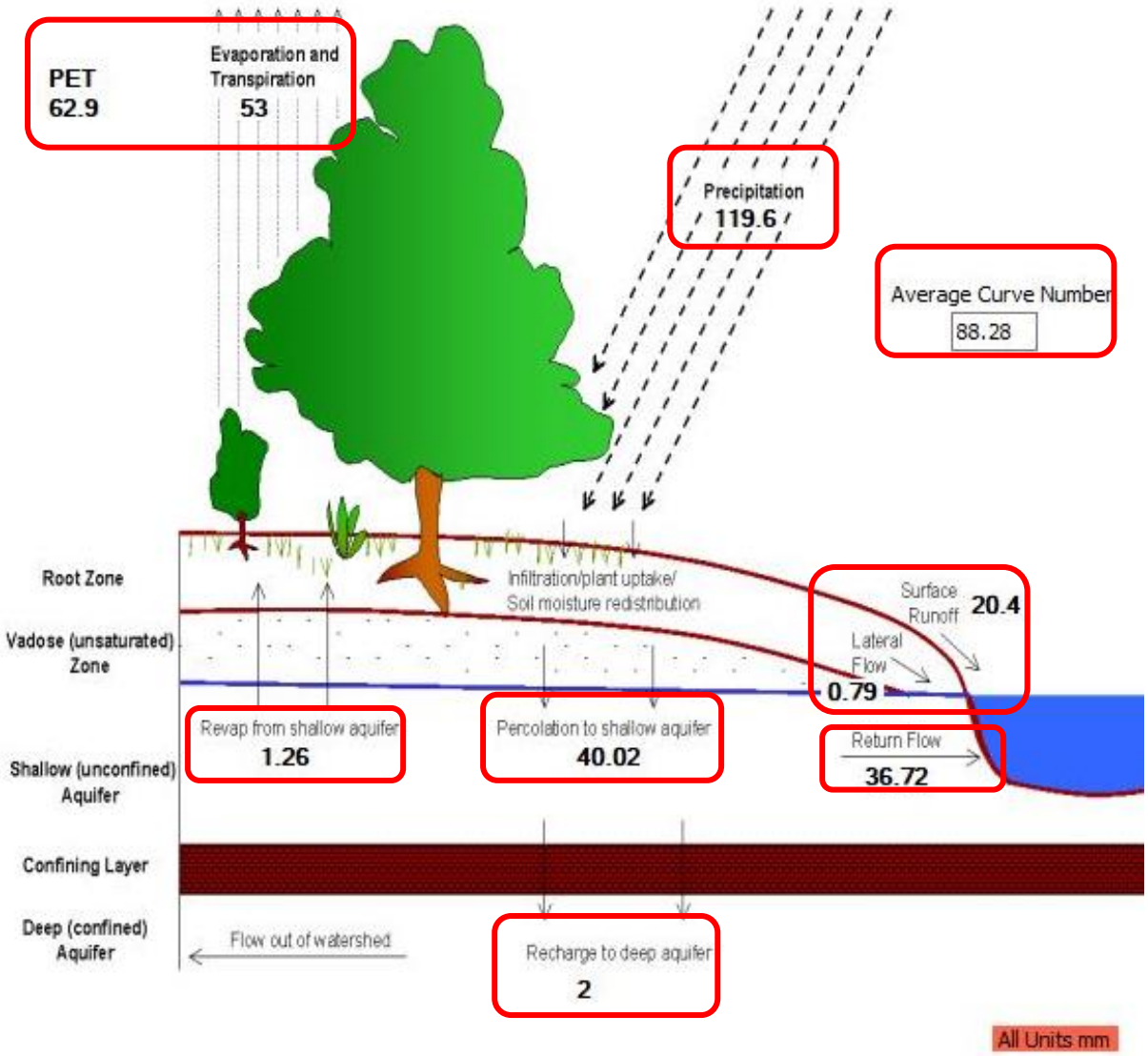
ويبين الشكل (20) التباين بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب في التغذية الجوفية لعام ٢٠٢٠م، حيث يتضح أن الأحواض الجنوبية والجنوبية الشرقية ذات معدلات تغذية جوفية أقل من أحواض المنطقة الوسطى والشمالية والشمالية الغربية؛ وذلك بسبب ارتفاع معدلات الهطول المطري في الأحواض الشمالية والغربية بالمقارنة مع الأحواض الجنوبية.



الشكل (٢٠) التباين المكاني لمعدل التغذية الجوفية بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWATوباستخدام ArcGis 10.6

ويمكن تلخيص كافة النتائج السابقة في الأشكال التي ينتجها نموذج SWAT عبر ملحقه ArcSWAT ضمن بيئة ArcGis، وهي بمثابة تمثيل واقعي لطبيعة الدورة المائية (الهيدرولوجية) في الأحواض المائية في الشكل (٢١) والذي يعرض نمذجة الواقع الهيدرولوجي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة. كما يبين الجدول (4) مفردات الموازنة المائية في حوض الموجب.



الشكل (٢١) قيم النموذج الهيدرولوجي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث وهو أحد مخرجات نموذج SWAT.

الجدول (4) مفردات الموازنة المائية في حوض الموجب.

الرقم	مفردات الموازنة المائية			
١	الموازنة المائية السطحية	المطر (ملم / سنويًا)		١١٩,٦
٢		التبخر	الكامن (ملم / سنويًا)	٦٢,٩
			الفعلي (ملم / سنويًا)	٥٣
٣		الجريان السطحي (ملم / سنويًا)		٢٠,٤
٤		العائد المائي (ملم / سنويًا)		٥٩,٩١
٥	الموازنة المائية الباطنية	المياه المعادة (ملم / سنويًا)		١,٢٦
٦		التغلغل المائي (ملم / سنويًا)		٤٠,٠٢
٧		الجريان الباطني	الجانبي (ملم / سنويًا)	٠,٧٩
			العائد (ملم / سنويًا)	٣٦,٧٢
٨		التغذية الجوفية (ملم / سنويًا)		٢

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائجSWATوباستخدامArcGis 10.6.

الخاتمة والتوصيات.

أظهرت الدراسة مدى كفاءة نموذج تقيم التربة والمياه في تمثيل الواقع الهيدرولوجي، سواء أكان السطحي أو الجوفي بكفاءة عالية، مما ساعد في بناء قاعدة بيانات هيدرولوجية لحوض الموجب، وذلك من خلال قدرة نموذج تقييم التربة والمياه على إنتاج معلومات وبيانات هيدرولوجية دقيقة، مما يساعد في تحقيق الإدارة المثلى لموارد المياه والتربة، حيث يعمل التمثيل الدقيق للواقع الهيدرولوجي على مواجهة الآثار المحتملة على الموارد المائية، جراء التغير المناخي المتوقع حدوثه، سواء أكان هذا التغير إيجابيًا أو سلبيًا، من حيث بناء مشاريع مائية قصيرة أو طويلة الأجل لتنميتها.

حيث أظهرت نتائج الدراسة أن الأحواض الفرعية الشمالية الغربية والغربية ذات معدل هطول مطري أعلى من الأحواض الشرقية. كما أوضحت نتائج الدراسة أن شهر حزيران كان أعلى شهور السنة في قيم التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الموجب. كما اتضح أن الأحواض الشمالية ذات معدلات تبخر الحقيقي أعلى من الأحواض الجنوبية والشرقية. وبيّنت نتائج الدراسة أن أكثر شهور السنة إنتاجًا للماء أو ما يعرف بالغلة المائية وهي ناتج مختلف عمليات تؤثر على كميات المياه الهاطلة على الحوض سواء التبخر والتسرب وغيرها كان آذار. وكما تطابق التباين المكاني للعائد

المائي من التباين المكاني لعناصر التبخر والهطول المطري الجريان فقد كانت الأحواض الشمالية من الأحواض الفرعية لحوض الموجب ذات عائد مائي أكبر من الأحواض الجنوبية والشرقية؛ وذلك بحكم ارتفاع معدلات الهطول المطري فيها على الرغم من ارتفاع معدلات التبخر فيها.

وأما بالنسبة لنمذجة الموازنة المائية الباطنية، فقد أوضحت الدراسة أن الأحواض الفرعية الشمالية والشمالية الغربية كانت ذات القيم الأعلى في التغلغل المائي والجريان الجوفي بشقيه الجانبي (Lateral Flow) والعائد (Return Flow) من الأحواض الجنوبية والشرقية؛ ويردُّ ذلك إلى انخفاض معدلات التبخر المياه من الطبقة السطحية في الأحواض الشمالية والغربية بالمقارنة مع الأحواض الجنوبية والشرقية، بالإضافة إلى ارتفاع معدلات الهطول المطري فيها.

وقد تم ملاحظة أن نتائج تطبيق أداة تقييم التربة والمياه المستخلصة لحوض الموجب تتماثل نوعًا ما مع نتائج دراسات أخرى أجريت في مناطق مماثلة لمنطقة الدراسة من الناحية المناخية مثل: الدراسة التي قام بها الغميض (٢٠١٩) ودراسة Jaber (2012) في حوض وادي ابن حماد، حيث بلغ معدل الجريان السطحي في حوض ابن حماد ٢٥,٤ ملم سنويًا، في حين بلغت قيمته لحوض الموجب ٢٠,٤ ملم سنويًا، ولعل السبب في الاختلاف بين قيمتها في أن حوض الموجب لها امتداد أكبر داخل النطاق الصحراوي في الجهات الشرقية والجنوبية الشرقية بحكم كبر مساحته بالمقارنة مع مساحة حوض وادي ابن حماد والبالغة في دراسة الغميض ١٢٣,٣ كم^{٢}. وهذا الامتداد أدى إلى تدني معدل الهطول المطري الذي يتلقاه حوض الموجب، بالمقارنة مع ما يتلقاه حوض وادي ابن حماد، الذي بلغ معدل الهطول المطري فيه ٢٠٩,٨ ملم، في حين بلغ لحوض الموجب ١١٩,٦ ملم سنويًا.

وفي ضوء النتائج المستخلصة التي توصلت لها الدراسة والمعتمدة بشكل رئيس على أداة تقييم التربة والمياه فإنها توصي بتكثيف الاعتماد عليه في مختلف عمليات النمذجة الهيدرولوجية للأحواض؛ وذلك لما أثبتته من فاعلية وكفاءة النتائج المعطاة منه في الإدارة المائية للأحواض المائية وتحديد كميات الرواسب التي ينتجها الجريان السطحي في الحوض، مما يساعد في تحديد مدى الجدوى من إنشاء مشاريع مائية كالسدود وتحديد فترة طمره بالرواسب.

كما توصي الدراسة بإجراء الدراسات لمعرفة تأثير تغير المناخ على الموازنة المائية السطحية والجوفية، كما تنبه الدراسة إلى ضرورة تنفيذ الدراسات لقياس تأثير تغير المناخ على جودة موارد المائية، لأنّ نموذج وأداة تقييم التربة والمياه يمتلك المتطلبات الأساسية لهذا الغرض. وتوصي

الدراسة أيضًا بإجراء الدراسات للكشف عن الأثر المتوقع عن تغير استعمالات الأراضي على الموازنة المائية بشقيها السطحية والجوفية ضمن فترات مناخية متشابها.

المراجع باللغة العربية

١. دائرة الأرصاد الجوية الأردنية.٢٠٢٠. بيانات مناخية، عمان، الأردن.

٢. الزغول، ميسون.2016. إدارة الموارد المائية وإمكانيات الحصاد المائي في حوض الزرقاء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

٣. سلطة المصادر الطبيعية، ١٩٩٧، خرائط جيولوجية ١:٥٠٠٠٠، عمان، الأردن.

٤. طارق، الغنميين. ٢٠١٨. تقييم المصادر المائية في حوض وادي عربة الشمالي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وأدوات تقييم المياه والتربة، أطروحة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

٥. العرود، إبراهيم.٢٠٠٢. مبادئ الجغرافيا الطبيعية، الطبعة الأولى، عمان: دار الشروق.

٦. العمري، علاء. ٢٠١٧. تقييم الموارد المائية في حوض وادي شعيب باستخدام النماذج الهيدرولوجية وتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.

٧. الغميض، عاطف .٢٠١٩. أثر التغير المناخي المتوقع على الموارد المائية ضمن أربعة أحواض مائية في الأردن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. أطروحة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

٨. غيث، دعاء. ٢٠١٠. تقييم تدهور الأراضي في منطقة قضاء الضليل باستخدام المرئيات الفضائية. رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

٩. المركز الجغرافي الملكي.١٩٩٧. خرائط طبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠، عمان، الأردن.

١٠. نعمان، شحادة.١٩٩١. مناخ الأردن، الطبعة الأولى، عمان: دار البشير.

١١. وزارة الزراعة الأردنية. ١٩٩٣. المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، المستوى الأول، عمان، الأردن.

١٢. عابد، عبدالقادر.٢٠٠٩. جيولوجية الأردن وبيئته ومياهه، الطبعة الثانية، عمان:نقابة الجيولوجيين الأردنيين.

١٣. أبو سمور، حسن و الخطيب، حامد.١٩٩٩. جغرافية الموارد المائية، الطبعة الأولى،عمان: دار المسيرة.

English References:

1. Al-Hassani, I. (2018). **Potential Impacts of Climate Change on Surface Water Resources of Amman-Zarqa Basin using Downscaled Regional Circulation Model and Soil Water Assessment Tool**. Unpublished master Dissertation, Hashemite University. Zarqa- Jordan.

2. Bell, S (2015), **Implementing the Soil and Water Assessment Tool for The Puyallup River Watershed of Washington State: A Feasibility Assessment.** Unpublished Master Dissertation, Unpublished master Dissertation. The Evergreen State College.
3. Hallouz, Faiza. Meddi, Mohamed. Maha, Gil. Alirahmani, Salaheddine, And Keddar, Abedelhader. (2018),**Modeling of discharge and sediment transport through the SWAT model in the basin of Harraza (Northwest of Algeria)**, ScienceDirect, 2018, 32.
4. Houghton, J. T., Meira Filho, L.G., Callander, B. A, Katenberg, A., and Markell, K., 1995. **Climate Change 1995**, The science of climate change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
5. Jaber, M (2012), **Assessment of climate change impacts on water resources in Mujib Basin (central Jordan).** Unpublished Master Dissertation, Unpublished master Dissertation. Zarqa- Jordan.
6. Kusangaya, E. (2015), **Climate change Impact on water resources in the desert area considering irregularity in rainfall intensity and distribution: a case study in wadi Mujib basin Jordan**, Journal of Environment and Earth science, Volume 5, No. 5
7. Mosbahi, M., Bendabdallah, S., &Boussema, M. (2013). **Assessment of soil erosion risk using swatmodel**. Arabian Journal of Geosciences, 6(10),4011-4019.
8. P. Saha, K. K. Zeleke, and M. Hafeez, Extreme Hydrology and Climate Variability," Elsevier, ٢٠١٩, Chapter 15, pp. 175-190.
9. W. Francesconi, R. Srinivasan,E. Minana, S. Willcock and M. Quintero, **"Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review**," Hydrology Journal, Vol. 535, 2016, pp. 625-636.
10. 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),15-23.