



Study the Change in Hydrological Conditions for the Azraq Basin using Incremental Climate Change Scenarios: A Soil and Water Assessment Model and Geospatial Techniques

Atef Ghumaid*

Northeastern Badia Education Directorate, Jordan.

<https://doi.org/10.35516/hum.v49i3.1336>

Received: 22/11/2020

Revised: 31/12/2020

Accepted: 7/4/2021

Published: 15/5/2022

Abstract

The study aims to Demonstrate the effect of the change in the Hydrological Conditions for the Azraq basin using the incremental scenarios method, the soil and water assessment mode, and geospatial technologies to support the water management plans for the basin, making the most of the available water resources in the basin, building it as a hydrological database through the availability of climatic and hydrological data available by the Jordanian meteorological department and the ministry of water and irrigation. In addition to facing future challenges in light of potential climate change, whether positive towards increasing rates of height and the prevail of wet conditions, or negative towards decreasing precipitation rates and thus, prevail dry conditions. Study results show that the Azraq basin receives an average of 99.8 mm / year rainfall, which loses the greater part of through evaporation process, as 73.8% of the total precipitation is wasted as a result of the actual evaporation process, while the surface runoff accounts for 8.9% of the total rainfall on the Azraq basin. As the study showed, 11.4% of the amounts of precipitation received by the Azraq basin go to what is known as the water yield (blue water). The recommendations were; focusing on the necessity of intensifying the reliance on the model of soil and water assessment and geospatial techniques in surface hydrological modeling processes for basins; as it has proven the effectiveness and efficiency of the results given in the water management of water basins, whether in the current or future reality.

Keywords: Soil and Water Assessment Model ; Al-Azraq basin; Water Management; GIS; Hydrological Conditions; Incremental Scenarios; Climate Change.

* Corresponding author:

atef05969@gmail.com

دراسة التغير في الظروف الهيدرولوجية لحوض الأزرق باستخدام سيناريوهات التغير المناخي التراكمية ونموذج تقييم التربة والماء والتقنيات الجيومكانية

عاطف الغميص*

مديرية تربية البادية الشمالية الشرقية، الأردن.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى توضيح أثر التغير في الظروف الهيدرولوجية لحوض الأزرق باستخدام أسلوب السيناريوهات التدريجية (Incremental Scenarios) ونموذج تقييم التربة والمياه والتقنيات الجيومكانية) نظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ 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 ووزارة المياه والري. بالإضافة إلى مواجهة التحديات المستقبلية في ضوء التغير المناخي المحتمل سواء كان إيجابياً نحو زيادة معدلات الطول وسيادة الظروف الرطبة، أو سلبياً نحو تناقص معدلات الهطول وبالتالي تسود الظروف الجافة. وتوصلت الدراسة إلى أن حوض الأزرق يتلقى معدل مطري 99.8 ملم / سنوياً، يُفقد الجزء الأعظم منها بواسطة عملية التبخر، حيث أن 73.8% من مجمل الهطول المطري يذهب سدى نتيجة عملية التبخر الفعلي، في حين أن الجريان السطحي يستأثر بـ 8.9% من إجمالي الهطول المطري على حوض الأزرق. كما أوضحت الدراسة أن 11.4% من كميات الهطول المطري التي يتلقاها حوض الأزرق تذهب لما يعرف بالنتائج المائية (المياه الزرقاء). (وتوصي الدراسة بضرورة تكثيف الاعتماد على نموذج تقييم التربة والمياه والتقنيات الجيومكانية في عمليات النمذجة الهيدرولوجية السطحية للأحواض؛ لما أثبتته من فاعلية وكفاءة النتائج المعطاة منه في الإدارة المائية للأحواض المائية سواء في الواقع الحالي أو المستقبلي. الكلمات الدالة: نموذج تقييم التربة والمياه، حوض الأزرق، الإدارة المائية، نظم المعلومات الجغرافية، الظروف الهيدرولوجية، السيناريوهات التراكمية، التغير المناخي.

المقدمة

يُعدُّ التغير المناخي من القضايا التي تحظى بالاهتمام، وتشغل فكر الباحثين وصناع القرار على مختلف المستويات المحلية والإقليمية والعالمية؛ لما لها من ارتباط وثيق بحياة الإنسان. ويتجلى هذا الاهتمام بصورة واضحة من خلال التركيز على الارتباط الوثيق بين التغير المناخي والظروف الهيدرولوجية والموارد المائية، سواء أكان هذا الارتباط ذا اثر إيجابي عليها من حيث زيادة كمية الهطول، أو سلبي من خلال تناقص كميات الهطول السنوي. كما يتضح الاهتمام بأثر التغير المناخي على الموارد المائية من خلال ارتباطه بمصدر القوت اليومي للإنسان، ومن خلال تأثير المباشر على النبات الطبيعي، وغير المباشر على الكائنات الحية (الغميص، 2019).

وعلى الرغم من الاهتمام المتنامي بالتغير المناخي وتأثيراته والمتمثل بالمؤتمرات والندوات والأبحاث والتقارير وإنشاء هيئات تعنى به؛ كالفريق الحكومي الدولي المعني بالتغير المناخي (IPCC)، إلا أنه لا يوجد اتفاق بين العلماء والباحثين على آلية التغير المناخي المتوقع، مما يزيد من الغموض الذي يكتنف مستقبل الأرض وقاطنيها، فبعض العلماء يتجه نحو أنَّ الأرض سوف تشهد تشكل عصر جليدي، في حين يرى القسم الآخر من العلماء أن الاحترار العالمي قادم لا محالة. ولا يقتصر الاختلاف بين العلماء على كيفية حدوث التغير المناخي المتوقع، وإنما يتعدى إلى آثار النشاط البشري عليه؛ فقد انقسم العلماء بين معارضي ومناصرٍ لأثر النشاطات البشرية على التغير المناخي.

ويعدُّ الأردن من البلدان محدودة الموارد المائية إن لم يكن أفقرها؛ بحكم الظروف الهيدرولوجية والمناخية المتواجدة في الأردن، حيث إنَّه يعدُّ البلد الثاني في العالم من حيث القصور في توافر الموارد المائية (Al-Hassani, 2018)، حيث يبلغ حجم الموارد المائية المتاحة في الأردن 800 مليون م³، في حين أن الطلب على تلك الموارد يبلغ 1100 مليون م³ والمتوقع أن يزداد الطلب عليه بحلول عام 2020م إلى 1400 مليون م³ (العمرى، 2017). ويعزى هذا التزايد في الطلب على الموارد المائية بالدرجة الأولى إلى الزيادة السكانية بنوعها: الطبيعية منها وغير الطبيعية الناجمة عن حركات نزوح اللاجئين إلى بلد يعاني أصلاً من صعوبة توفير تلك الموارد لمواطنيه، بحكم العوامل الطبيعية الأخرى، مثل: وقوعه ضمن سيادة المناخ الجاف، وشبه الجاف التي تتصف بقلة أمطارها، وتذبذبها وانتشارها على شكل بقعي.

وتتمحور مشكلة الدراسة وأهميتها في أن حوض الأزرق يُعدُّ أحد الأحواض المائية الرئيسة في الأردن، والواقع في الجزء الشمالي الشرقي منه، كما يعدُّ المورد الأساسي لتزويد التجمعات السكانية الكبرى الرئيسة في الأردن، وهي العاصمة عمان والزرقاء واربد، وأنَّ تكثيف الاعتماد المائي على هذا الحوض تجاوز الحدود الآمنة للإنتاج المائي الجوفي، وبالتالي أصبح من أكثر الأحواض استنزافاً لموارده المائية؛ بسبب الإفراط في الضخ بأسلوب جائر، مما أدى إلى التأثير على نوعية وكمية مياه الحوض. كما ترافق هذا الاستنزاف مع ظهور مشاكل بيئية أخرى مثل: تدهور الأراضي بسبب سوء استعمالها، أو التضارب الكبير بين الاستعمالات المختلفة؛ مما أدى إلى إحداث اختلالٍ في التوازن البيئي ضمن أراضي هذا الحوض (النوايسة، 2017).

وتتركز أهداف الدراسة في التعرف على الظروف الهيدرولوجية الحالية والموارد المائية السطحية والباطنية (الجوفية) لحوض الأزرق. كما تهدف الدراسة إلى توضيح أثر التغير المناخي المتوقع على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية السطحية في حوض الأزرق باستخدام طريقة السيناريوهات التراكمية في منطقة تشهد أصلاً تناقصاً حاداً في الموارد المائية بسبب استنزافها بواسطة الضخ الجائر لها، من حيث معرفة مدى الأثر المتوقع لذلك التغير الموارد المائية، سواء كان هذا التغير إيجابياً بزيادة كمياتها، أو سلبيًا بتناقص مواردها.

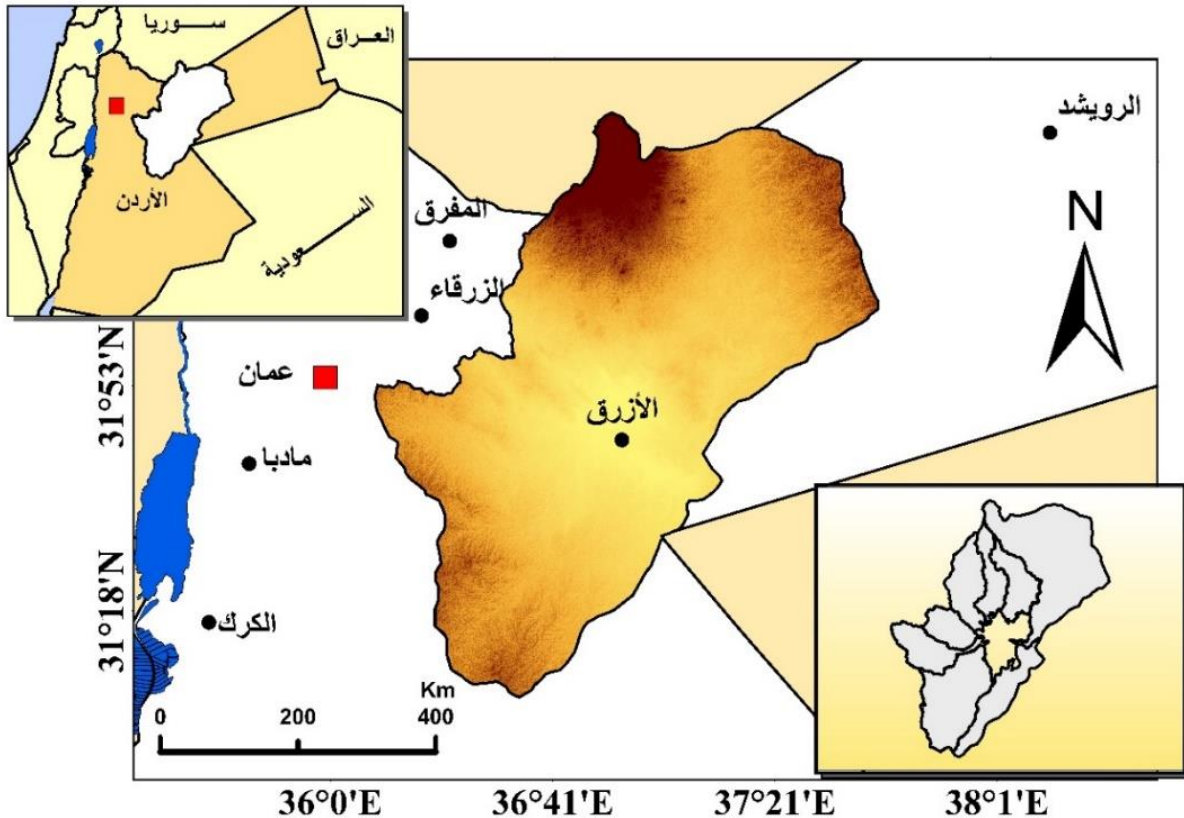
وقد اعتمدت الدراسة في معالجتها لموضوع تحليل التغير في الظروف الهيدرولوجية نتيجة التغير المناخي المتوقع في حوض الأزرق على التحقق من صحة افتراضين مهمين؛ هما: (1) لن يكون هنالك تأثير للتغير المناخي المحتمل على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية في حوض الأزرق. (2) ازدياد مساحة المناطق الأكثر مطراً لصالح المناطق الجافة.

ومن الدراسات التي تناولت حوض الأزرق دراسة الملكاوي (1997)، والتي تهدف إلى تحديد مناطق التصحر في منطقة حوض الأزرق المائي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظام المعلومات الجغرافية، وقد تم استخدام صور لاندسات TM و MSS في تاريخين مختلفين، وذلك عامي 1975 و1997، إضافة على المعلومات المتوفرة عن الحوض لدراسة التغير الحاصل بين التاريخين، وقد توصل الباحث إلى تحديد مناطق؛ لتنميتها كمراعي أو مناطق زراعية بواسطة الري. وتناول أبو عجمية (1999) دراسة التحولات السكانية والتغيرات البيئية في واحة الأزرق؛ بهدف تتبع التغيرات البيئية، وقد خلصت الدراسة إلى أنَّ التدهور البيئي، والتغيرات المصاحبة له في واحة الأزرق تعود بشكل أساسي إلى استنزاف الموارد المائية بسبب الضخ الجائر للمياه. كما قام Jaber (2012) بتقييم آثار التغير المناخي على الموارد المائية في حوض الموجب مستخدماً أداة تقييم التربة والمياه، وأسلوب سيناريوهات التغيرات المناخية التراكمية، حيث تشير السيناريوهات الجافة إلى انخفاض الجريان السطحي بمعدل 10% - 30% عندما ترتفع درجة الحرارة بمعدل 2 إلى 4 درجات مئوية، في حين تشير السيناريوهات الرطبة إلى زيادة الجريان السطحي بأكثر من ثلاثة أضعاف الجريان السطحي الحالي. وقد عملت Al-Husban (2017) في دراستها على تقدير التباين المكاني لكمية الأمطار الشهرية والسنوية في حوض الزرق خلال الفترة الممتدة ما بين 1980 و2016، وتوصلت إلى وجود اختلافات وتباين كبير في كميات الأمطار الشهرية والسنوية. كما حاول Hallouz, et al (2017) وضع مقياس كمي للتصريف والانجراف باستخدام أداة تقييم التربة والمياه في حوض وادي شليف، وحُصِّنَ إلى ازدياد حجم الرواسب السنوي في الحوض؛ نتيجة ازدياد كمية الجريان

السطحي فيه عما سبق. وعمل النوايسة (2017) على تحليل وتصنيف الخصائص المورفومترية لحوض الأزرق، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ لأغراض دعم خطط إدارته من الناحية البيئية المتكاملة، وتوصل إلى وجود أربعة عوامل وأنماط حوضية تتجمع حولها المتغيرات المورفومترية، لذا أوصى بضرورة اعتبار الحوض المائي، وحدة أساسية تمثل أفضل الوحدات لإجراء تصنيف لأغراض تطوير، وإدارة أراضي الحوض. وقد درس Al-Hassani (2018) التأثيرات المحتملة للتغير المناخي على مصادر المياه السطحية في حوض عمان الزرقاء باستخدام نموذج الدوران الإقليمي المقلص، وأداة تقييم التربة والمياه، وتوصل إلى أنه من المتوقع الانخفاض في كل من: كميات الهطول المطري ما بين 3.7% و 20.7%، والجريان السطحي 25% و 47%. وفي الناتج المائي 21.5% و 41.4%. كما قام الغميص (2019) 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.

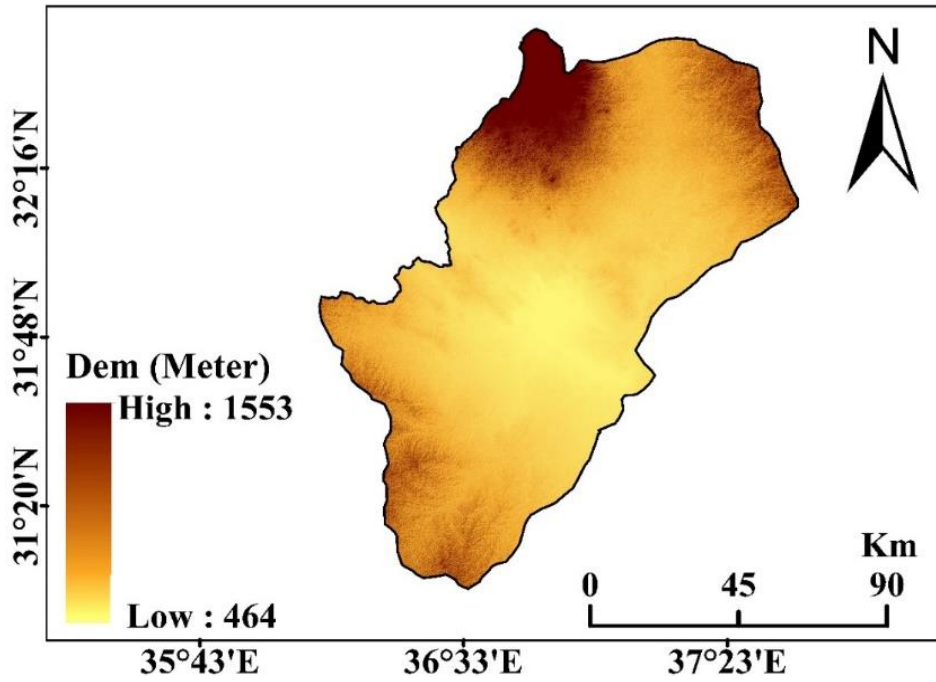
يقع حوض الأزرق في الجانب الشمالي الشرقي من البادية الأردنية، وتترامى جوانبه على الهضبة الجيرية بين خطي طول "25° 9' 36" و "9° 39' 37" شرقاً، ودرجتي عرض "11° 4' 31" و "14° 37' 32" شمالاً. وتبلغ مساحة حوض الأزرق حوالي 12528.7 كم². يدخل بامتداده الواسع الأراضي السورية من الجهات الشمالية بمقدار بلغ 6% من المساحة الإجمالية للحوض، في المرتفعات العالية، التي يزيد ارتفاعها عن 1500 م 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 متخذاً شكلاً شبه 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 وهي: الحماد من الجهة الشرقية والسرحان، والموجب من الجهة الجنوبية والشرقية في الجانب الأردني. ويوضح الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.

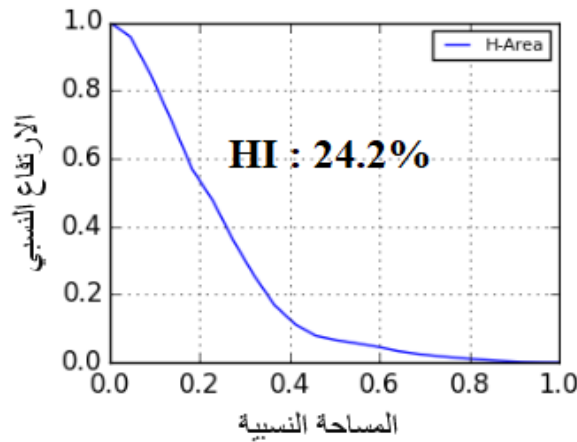
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الطبوغرافية، المركز الجغرافي

وتقع غالبية التجمعات السكانية في وسط حوض الأزرق عند أدنى ارتفاعاته عن سطح البحر 500م، بما يطلق عليه القاع Qa'a، أو أراضي السبخة Sabkhah، وتتبع إداريا محافظة الزرقاء، وتقع على بعد حوالي 100 كم شرقي العاصمة عمان، وتتبع مجمل أراضي الحوض لأربع محافظات هي: العاصمة عمان، والزرقاء، والمفرق، ومعان (النوايسة، 2017). ويُعدُّ حوض الأزرق من الأحواض التي تشهد انسجامًا وتماتلاً تضاريسيًا وطبوغرافيًا؛ حيث تتراوح مناسيب الارتفاعات فيه بين 1553 م و464 م، أي أن تضرس لحوض الأزرق بلغ 1089 م، وهي التي تشكل 4.1%، والتي تشير إلى أن حوض الأزرق ذو تضرسٍ قليل؛ وذلك بحكم اتساع مساحة أراضي الحوض، حيث أن نسبة التضرس تتناسب عكسيًا مع مساحة الحوض. كما يبين المعامل الهيسومتري لحوض الأزرق أنه يمر بمرحلة الشيخوخة، حيث بلغت قيمته 24.2%، والتي بدورها تشير إلى ضعف النشاط الحثي للوادي، وتعرض معظم أراضيها لعملية الحث، الأمر الذي يؤكد على التماثل التضاريسي والطبوغرافي لأراضيه. ويشير الشكل (2) إلى نموذج الارتفاعات الرقمي في حوض الأزرق، كما يشير الشكل (3) إلى المنحنى الهيسومتري لحوض الأزرق.



الشكل (2) نموذج الارتفاعات الرقمي في حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي.

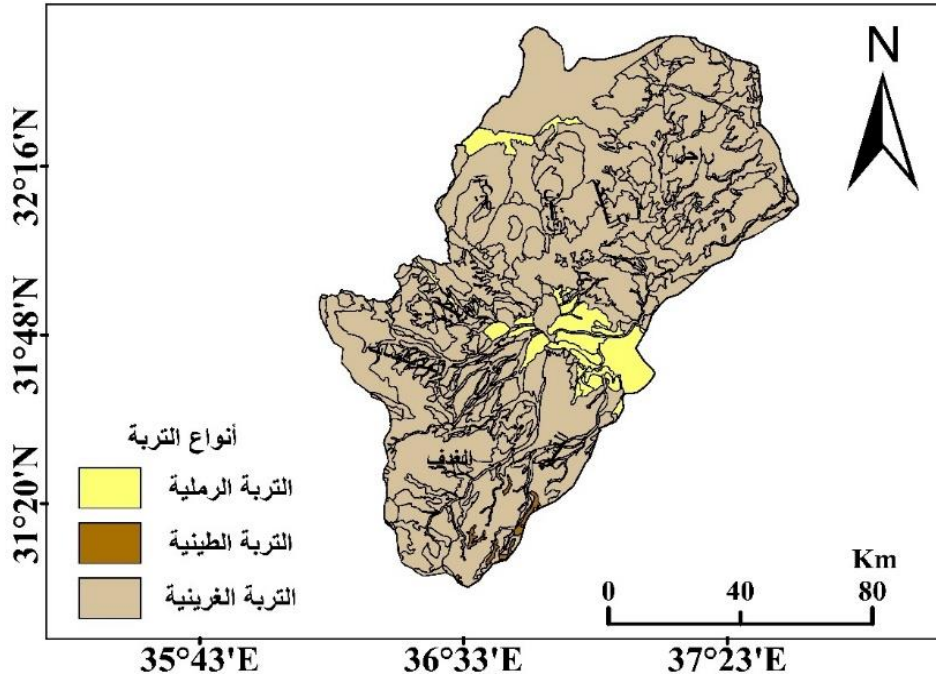


الشكل (3) المنحنى والتكامل الهيسومتري لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي.

وبحسب تصنيف كوبن؛ فإنّ 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 الأمطار؛ فهي لا تشهد تبايناً بين أجزائه المختلفة؛ فقد بلغ مجموع كميات الأمطار الهاطلة في محطتي الصفاوي والأزرق الجنوبي خلال عام 2019م على الترتيب 89.1 ملم/سنوياً و88.9 ملم/سنوياً (دائرة الأرصاد الجوية، 2019م).

وتنتشر في أراضي حوض الأزرق ثلاث أنواع من التربة، وهي: الطينية الرملية والغرينية، إلا أنّ التربة الغرينية هي الأوسع انتشاراً 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 انتشاراً 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 وجود امتدادٍ شريطي في الجزء الشمالي الغربي منه. وأخيراً التربة الطينية، وهي الأقل انتشاراً في حوض الأزرق بنسبة بلغت 0.5% من إجمالي مساحته، وتركزت في أقصى الطرف الجنوبي الشرقي على شكل أشرطةٍ طولية، ويبين الشكل (4) أنواع التربة المنتشرة في حوض الأزرق.



الشكل (4) أنواع التربة المنتشرة في حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993

تعد الخصائص الجيولوجية لحوض الأزرق مسؤولاً رئيساً عن تطور مورفولوجية سطحه، حيث عملت كل من الصدوع والتراكيب الجيولوجية وتطورها التاريخي وأنواع الصخور على إعادة تشكيل شبكة المجاري المائية في الحوض (النوايسه، 2017). ويتواجد في حوض الأزرق عدة تكوينات جيولوجية، وينتشر تكوين البازلت هو الطاغي في الجزء الشمالي من الحوض، والذي تكون أثناء فترة النشاط البركاني في الميوسين. ثم يأتي تكوين الشلالة (B5) Shallala والمتمثل في الأجزاء الشرقي من الحوض. وأما الأجزاء الغربية من الحوض؛ فينتشر تكوين أم الرجام (B4) Rijam والمتكون من الصخر الجيري. وأما الأجزاء الشمالية الغربية؛ فينتشر فيها تكوين الموقر (B3) Muwaqer (Ibrahim, et al 2018). ويتواجد خزان المياه الجوفية الرئيسي لحوض الأزرق المتكون من البازلت ضمن الطبقات الجوفية الضحلة (Shallow Aquifer)، حيث أنّ معظم آبار المياه الجوفية محفورة ضمن هذا النطاق. مع وجود بعض آبار المياه الجوفية في نطاق الطبقات الجوفية المتوسطة (Intermediate Aquifer)، والتي تتكون من تكوينات وادي السير (مجموعة عجلون)، وتكوينات عمان (مجموعة البلقاء). وأما بالنسبة لنطاق الطبقات الجوفية العميقة (Deep Aquifer)، فاقصر على حفر آبار البترول فقط، والمتمثلة في حقل حمزة (Ibrahim, et al 2018).

منهجية الدراسة وأساليب المعالجة.

استخدمت هذه الدراسة المنهج الوصفي والتحليلي الكمي لتقييم محاكاة الوضع الهيدرولوجي الحالي والمستقبلي، في ضوء سيناريوهات التغير المناخي التراكمية، 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 1985 وحتى 2019م. بالإضافة إلى استخدام الأساليب الكمية والكارتوغرافية لحساب المتغيرات الهيدرولوجية المتعلقة بالموازنة المائية الحالية والمستقبلية، من حيث الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بعد، وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية، ونموذج اداة تقييم التربة والمياه من خلال ملحق ArcSwat ضمن بيئة ArcGis 10.6، وسيناريوهات التغير المناخي التراكمية (Incremental Scenarios)، وبرمجية Microsoft Excel 2016.

أولاً: مصادر البيانات.

اعتمدت الدراسة في تناولها وتحليلها موضوع التغير في الظروف الهيدرولوجية في حوض الأزرق باستخدام السيناريوهات التراكمية، ونموذج تقييم التربة والماء على عدة مصادر من المعلومات والبيانات، وهي:

1. الخرائط بكافة أنواعها وأشكالها، وفق مقاييس مختلفة باختلاف نوعها، ومنها:
 - الخرائط الطبوغرافية (1997) وهي: لوحات أم القطين، ودير الكهف وجبل أم دهام والسبيكة والصفواي وراجل والأزرق ووادي الغدق وقصير عمرة، ضمن مقياس رسم (1:50000). (المركز الجغرافي الملكي، 1997).
 - خريطة التربة (1993) وهي: لوحات أم القطين، ودير الكهف وجبل أم دهام والسبيكة والصفواي وراجل والأزرق، ووادي الغدق وقصير عمرة، ضمن مقياس رسم (1:50000). (المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993).
 - خرائط جيولوجية (1997) وهي: لوحات أم القطين ودير الكهف وجبل أم دهام والسبيكة والصفواي وراجل والأزرق ووادي الغدق وقصير عمرة، ضمن مقياس رسم (1:50000). (سلطة المصادر الطبيعية، 1997).
2. نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بقدرة تمييزية 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 تمييزية 10م؛ بهدف إجراء تصنيف أو التعرف على الغطاء الأرضي، وأنماط استعمالاته وفق المعطيات والمحددات الموضحة في الجدول (1). 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 (Image Enhancement and Classification) باستخدام برمجية Erdas imagine 2016، بالاعتماد على أسلوب التصنيف الموجه (Supervised Classification)، وفق طريقة تصنيف احتمالية غاوس العظمى (Maximum Likelihood Classification)، والتي تمتاز بدقة تصنيف أعلى للخلايا من غيرها من طرق التصنيف الموجه، 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، 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 الأغشية 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 (2).

(<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>).

الجدول (1) محددات المرئيات الفضائية لحوض الأزرق.

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

المصدر: من عمل الباحث

الجدول (2) 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 لرعى 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	السودود المائية	وتمثل الخزانات ومشاريع الحصاد المائي.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نظام تصنيف أندرسون

4. البيانات المناخية تتضمن كميات الأمطار اليومية، ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية، والإشعاع الشمسي للمحطات المتواجدة في حوض الأزرق، للفترة الممتدة من 1985 وحتى 2019م. وتقسم هذه المحطات المناخية والميمنية في الجدول (3) مع خصائصها العامة إلى قسمين رئيسيين، وهما: المحطات التابعة لدائرة الأرصاد الجوية والمحطات التابعة لوزارة المياه والري. (دائرة الأرصاد الجوية، 2019)، (وزارة المياه والري، 2019).

الجدول (3) المحطات المناخية في حوض الأزرق وخصائصها العامة.

الرقم	المحطات المناخية	الإحداثيات الفلكية		
		منسوب الارتفاع	دائر العرض	خط الطول
1	الصفراوي	715	31.83	36.82
2	الأزرق الجنوبي	533	32.2	37.13
3	تلال الأشقف	900	32.31	37.53
4	وادي سلحوب	700	32.01	37.45
5	دير الكهف	1025	32.25	36.85
6	اريتين	800	32.1	36.9
7	البيطم	580	31.8	36.6
8	قصر الخرانة	650	31.73	36.46
9	العمري	525	31.73	37.02

المصدر: من عمل الباحث

ثانياً: البرمجيات المستخدمة.

استعانته الدراسة في معالجتها لموضوعها بمجموعة من البرمجيات، وهي:

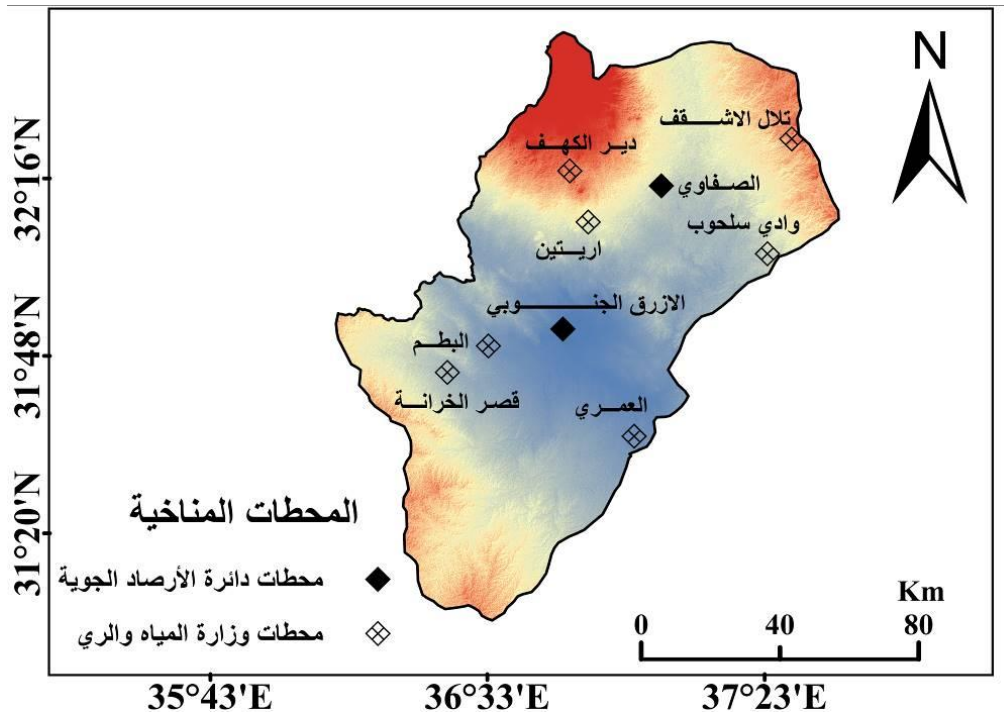
1. بتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وخاصة برنامج ArcGIS 10.6 في إجراء عمليات التصحيح الجغرافي للخرائط الورقية وتحولها إلى رقمية، وتحديد الأحواض المائية المختارة، ودورها في عملية الإخراج الكارتوغرافي.
2. ملحق ArcSwat 2012 والمختص بإجراء المحاكاة والنمذجة للحوض. حيث يُعدُّ نموذج تقييم التربة والمياه من 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 واتجاهها في تقييم الوضع الهيدرولوجي الحالي للحوض المائي. كما يُمكن هذا النموذج المستخدمين والمهتمين من إمكانية إجراء تنبؤات مستقبلية للعناصر المناخية وتوظيفها في عملية نمذجة الأحواض المائية؛ بهدف إجراء مشاريع وتنفيذ خطط واستراتيجيات 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 التسعينات من القرن الماضي (Bell, 2015). وكاننا 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.
3. برمجية Erdas Imagine 2016 لتصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالاتها.
4. برمجية Microsoft Excel 2016 لعمل 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 للمرتبات الفضائية، وتحويل البيانات والخرائط الورقية إلى رقمية وتبويبها، حتى يسهل التعامل معها حاسوبياً كالخرائط الجيولوجية وبعض العناصر المناخية. كما قامت الدراسة أيضاً بمعالجة البيانات المفقودة، سواء البيانات المناخية أو الجريان السطحي، من خلال تعيبتها 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 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 (الغنمين، 2018م). ويتم تحديد هذه الوحدات من خلال التعامل مع ثلاث متغيرات رئيسية، وهي: تصنيف الغطاء الأرضي واستعماله 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 مثل FAO وهو المعتمد بالدراسة؛ وذلك بسبب اعتماد خرائط التربة في الأردن على هذا النوع من التصنيف، أو التصنيف الأمريكي والمبني عليه النموذج، ويتم إضافة تصنيف منظمة الأغذية والزراعة الدولية FAO إلى قاعدة بيانات نموذج SWAT؛ لكي يتعرف عليها ويسهل التعامل معها، من حيث الخصائص الفيزيائية لأنواع التربة المنتشرة في حوض الأزرق. 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 بُني نموذج SWAT على أن يتضمن الحوض المائي على الأقل محطتين مناخيتين، لذا تم الاعتماد على قراءات محطات تابعة لوزارة المياه والري ودائرة الأرصاد الجوية، وببين الشكل (5) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الأزرق.



الشكل (5) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات وزارة المياه والري ودائرة 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، التي يمكن تمثيلها في المعادلة التالية (Weib and Menzel, 2008):

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

حيث يمثل Erc التبخر المحتمل بناءً على معادلة هارقيز ملم/ يوميًا، و Ra متوسط الإشعاع اليومي (ميجا جول/ يوم)، ويشير δ إلى الفرق في درجة الحرارة المثوية (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 القصى لكل وحدة الاستجابة الهيدرولوجية باستخدام كميات الأمطار اليومية، وفق طريقة رقم منحني الحفاظ على التربة (SCS-CN) The Soil Conservation Service Curve Number والتي يمكن تمثيلها رياضياً كما يلي (Mosbahi et al. 2013):

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

$$Q = 0.0 \quad R \leq 0.2 s$$

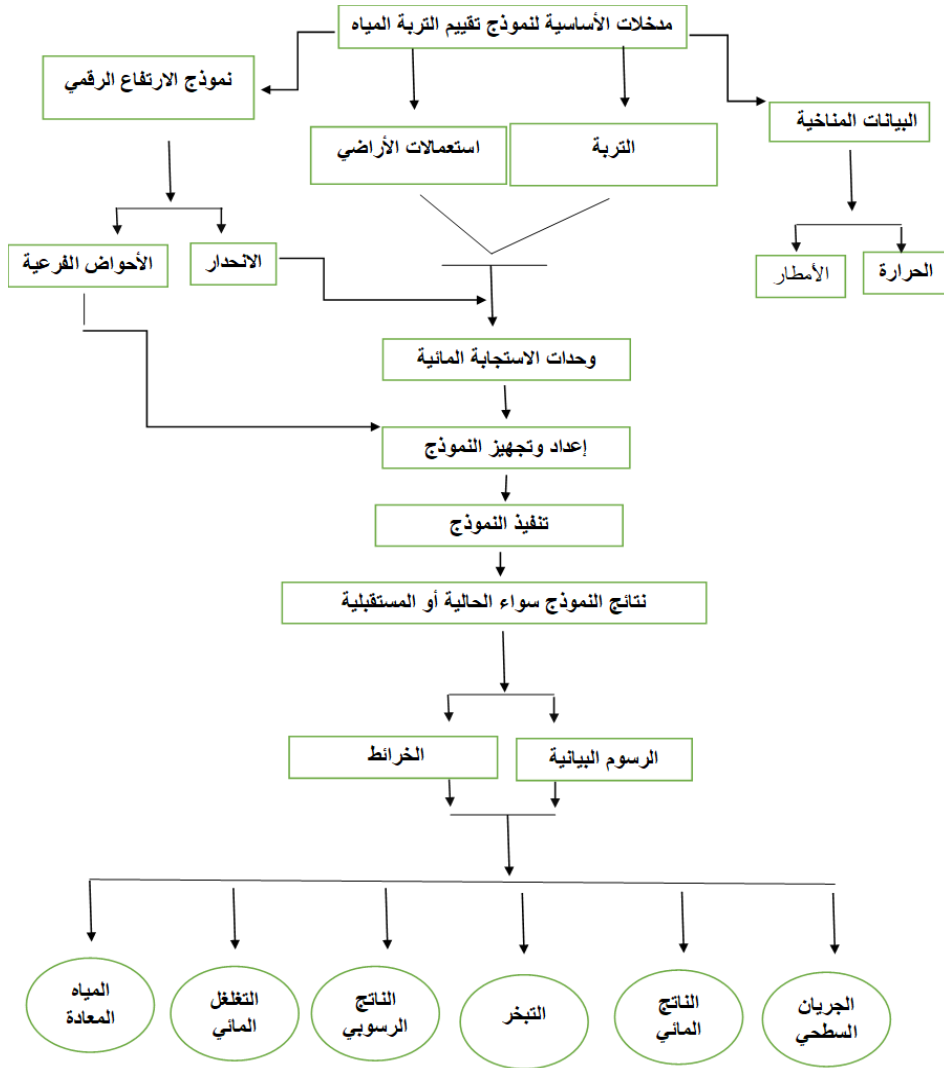
حيث يمثل Q الجريان السطحي اليومي (ملم)، R هو هطول الأمطار اليومي (ملم)، و S هي مخزون الحوض المائي. ويختلف مخزون المائي بين الأحواض المائية، وذلك بسبب تضافر عدة عوامل، وهي: التربة، واستخدامات الأراضي وإدارتها، والمنحدرات تختلف جميعها، ومع مرور الوقت بسبب التغيرات في محتوى الماء في التربة. ويرتبط المحتوى المائي للحوض برقم المنحني (CN) بواسطة معادلة SCS والتي يمكن تمثيلها رياضياً كما يلي (Mosbahi et al. 2013):

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

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):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{i=t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{perc} - Q_{gw})$$

حيث يمثل SW_0 و SW_t 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 الأزرق 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 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 بـملم/ يوميًا، أما رمز t فإنه يمثل الفترة الزمنية بالأيام. ويمكن تمثيل خطوات نموذج تقييم التربة والمياه كما في الشكل (6).



الشكل (6) تمثيل خطوات نموذج تقييم التربة والمياه.

المصدر: من عمل الباحث

وبعد إجراء النمذجة الحالية للظروف الهيدرولوجية، وفق المعطيات الحالية، تبدأ مرحلة إجراء النمذجة المستقبلية للفترة منذ 2020م وحتى 2030م وفق السيناريوهات التراكمية (Incremental Scenarios)، التي تفترض ازديادا تدريجياً في درجات الحرارة مثل 1+ و2+ و3+ و4+، ويرافق ذلك التغير حالات متوقعة للأمطار؛ وهي عدم تأثرها بها أو ازديادها مثلاً 10+ أو 20+، أو تناقصها 10%- و20% (Abdulla et al., 2008 & Oroud, 2015). وسيتم في هذه الدراسة بناء ثلاثة سيناريوهات مناخية بناءً على السيناريوهات التراكمية بالاعتماد على الزيادة في درجات الحرارة بمقدار 1+ و2+ ويرافقه الحالات المتوقعة للأمطار، وتطبيقها على حوض الأزرق، ومن ثم إجراء مقارنات بين الظروف الهيدرولوجية الحالية والمستقبلية. ويوضح الجدول (4) السيناريوهات المستقبلية التي تم اختيارها.

الجدول (4) السيناريوهات المستقبلية للتغير المناخي باستخدام السيناريوهات التراكمية.

رقم السيناريو	التغير في درجات الحرارة	التغير في كميات الأمطار
1	1+	10%-
2	1+	10+%
3	2+	10%-
4	2+	10+%

المصدر: من عمل الباحث

نتائج الدراسة ومناقشتها

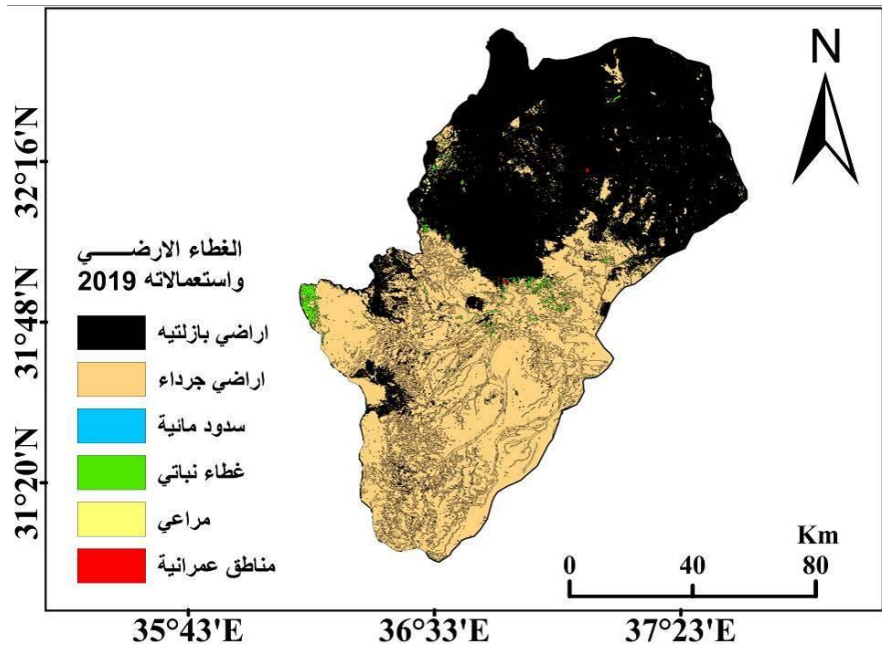
أولاً: أنماط الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الأزرق.

يشهد حوض الأزرق تنوعاً 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 (5):

الجدول (5) 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



الشكل (7) الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئيات فضائية من القمر الصناعي Sentinel2، 2019م.

وقد تبين من الجدول (5) والشكل (7) أن أغلبية مساحة الحوض تنصف ضمن فئتين رئيسيتين وهما: الأراضي البازلتية والجرداء، حيث بلغت مساحتهما 98.3% من جِل 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.

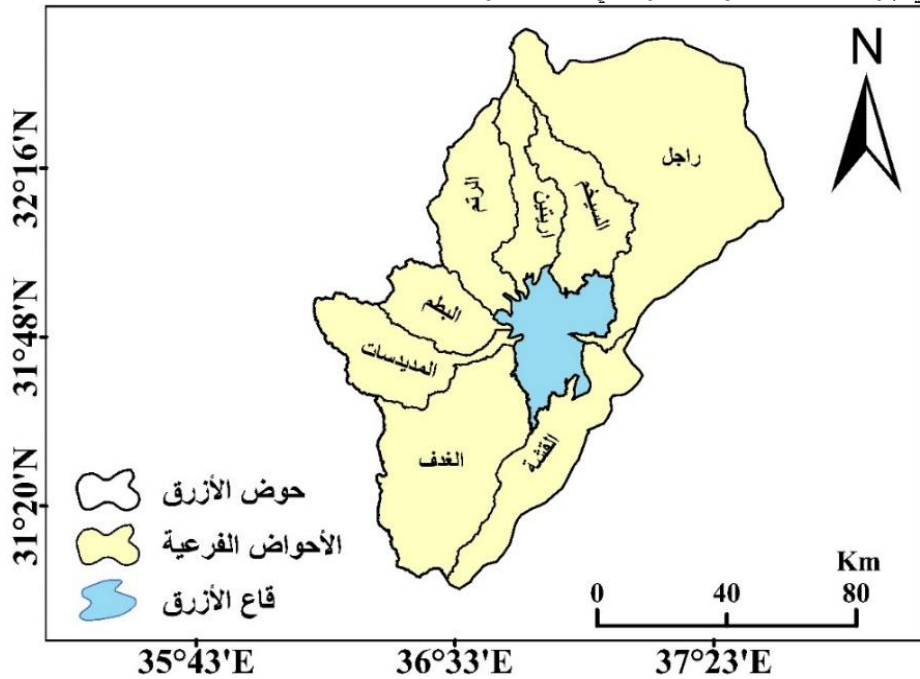
وأما فيما يتعلق بالغطاء النباتي سواء كان طبيعيًا أو مناطق الزراعة فيتواجد في منطقتين رئيسيتين، وهما: منطقة الوسطى من الحوض، والتي تمثل منطقة القاع، وفي أقصى الطرف الغربي من الحوض. إلا أن هذا التركيز لا ينفى وجود بعض البقع المساحية المتناثرة ضمن إرجاء الحوض، خاصة في القسم الشمالي منه. وقد بلغت المساحة 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.

ثانيًا: محاكاة الظروف الهيدرولوجية الحالية لحوض الأزرق.

تتضمن المحاكاة الحالية لحوض الأزرق محاكاة الواقع المائي فيه، والمتمثلة بعناصر الموازنة المائية السطحية، مثل كميات الهطول والتبخر الفعلي والكامن والجريان السطحي، وهي:

1. الأحواض الفرعية ووحدات الاستجابة المائية.

تم إجراء تقسيم للحوض المائي إلى أحواض فرعية (Sub Basin)، ووحدات الاستجابة المائية (HRU)، وقد تبين من خلال تطبيق نموذج تقييم التربة والمياه على حوض الأزرق أنه احتوى على ثمان أحواض فرعية، و 111 وحدة استجابة مائية عند مستوى عتبة 5% لكل من التربة والانحدار واستعمالات الأراضي. ويظهر الشكل (8) الأحواض الفرعية في منطقة الدراسة.



الشكل (8) الأحواض الفرعية في حوض الأزرق.

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

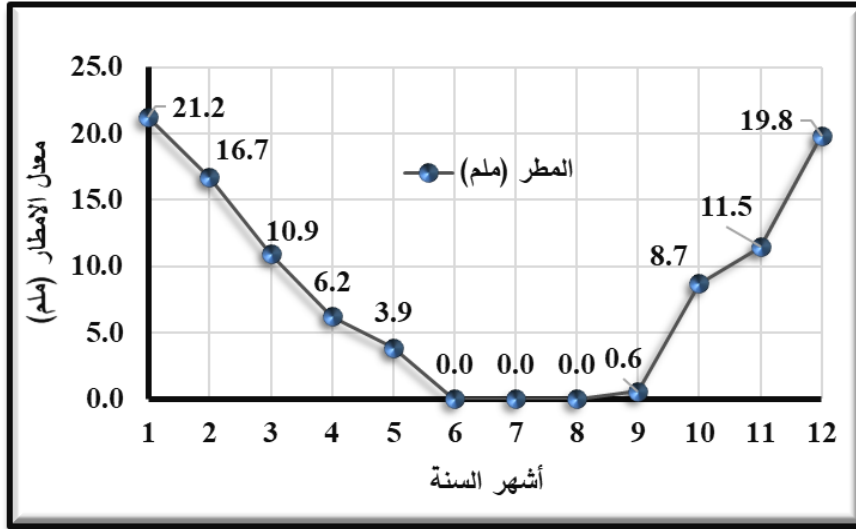
2. محاكاة الموازنة المائية السطحية.

وتتضمن الموازنة المائية السطحية عدة متغيرات تتحكم في كمية العجز أو الفائض المائي، حيث إنها تعد بمثابة عملية توازن ديناميكي بين ما يتم اكتسابه عن طريق الهطول المطري، وما يتم فقده عن طريق التبخر والنتح (الزغول، 2016). وتتضمن هذه المحاكاة العناصر الأتية:

أ- الهطول المطري.

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

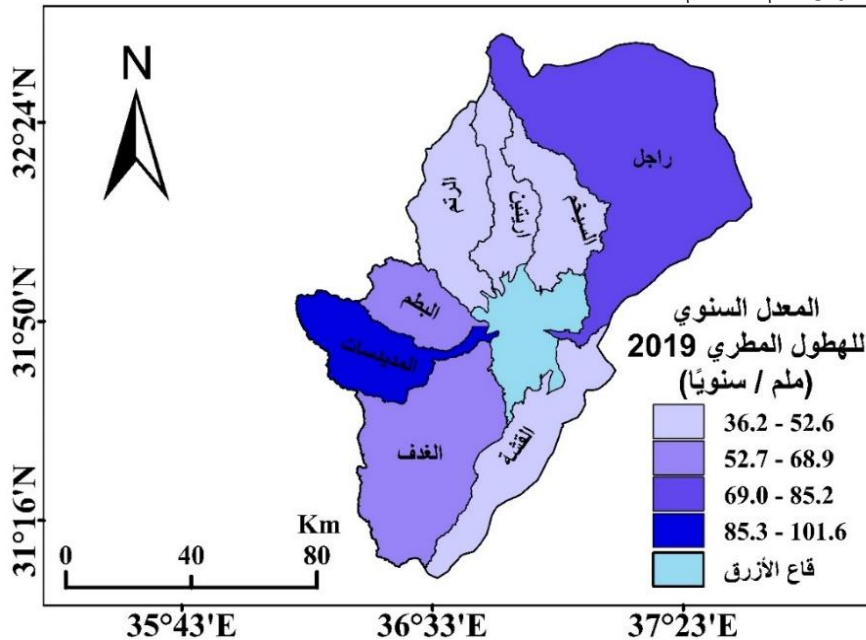
وقد أظهر نموذج SWAT أن معدل كميات الهطول المطري في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة 99.8 ملم/سنويًا. وكما أوضح هذا النموذج تباينًا زمنيًا خلال أشهر السنة ضمن فترة الدراسة؛ حيث تلقى الحوض أكثر معدل أمطار خلال فترة الدراسة أثناء شهر كانون الثاني بقيمة بلغت 21.2 ملم، في حين تفتقر أشهر الصيف خلال فترة الدراسة لأي كميات أمطار تذكر. ويظهر الشكل (9) التباين الزمني لمعدل الأمطار في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



الشكل (9) التباين الزمني لمعدل الأمطار في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

كما أظهرت نتائج SWAT أن أغلب 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 وأريتين والرتم والقشة، وتواجد أغلب تلك الأحواض في القسم الشمالي الغربي من حوض الأزرق ما عدا حوض وادي القشة. وقد كان حوض وادي المديسوات 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 (10) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق لعام 2019م



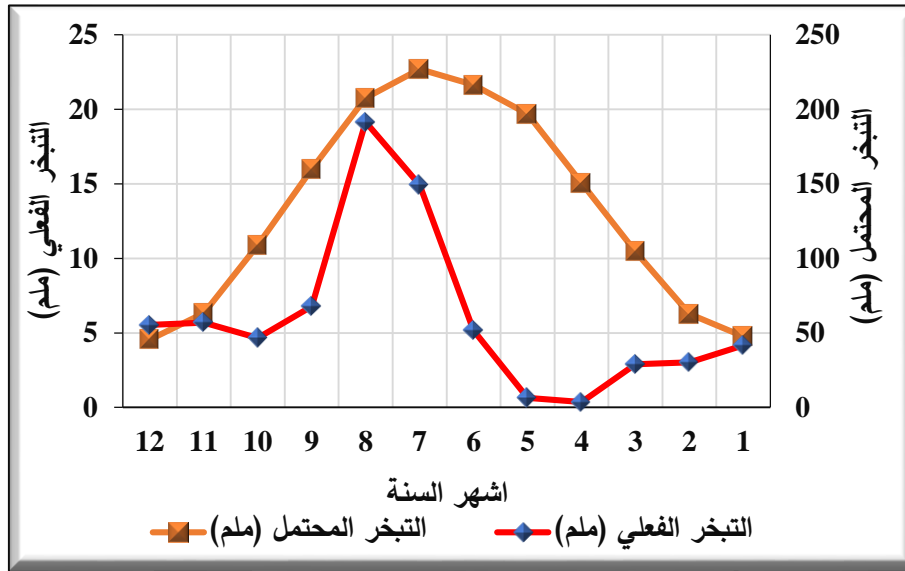
الشكل (10) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق

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

ب- التبخر.

يُعرف تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية بعملية التبخر. ويُعدُّ التبخر من العمليات المهمة والأساسية التي توضح سلوك نظام الاتزان الحراري لسطح الأرض والغلاف الجوي (العروود، 2002). ويقسم التبخر إلى نوعين أساسيين هما: التبخر الفعلي (Actual Evaporation) والتبخر المحتمل (Potential Evaporation).

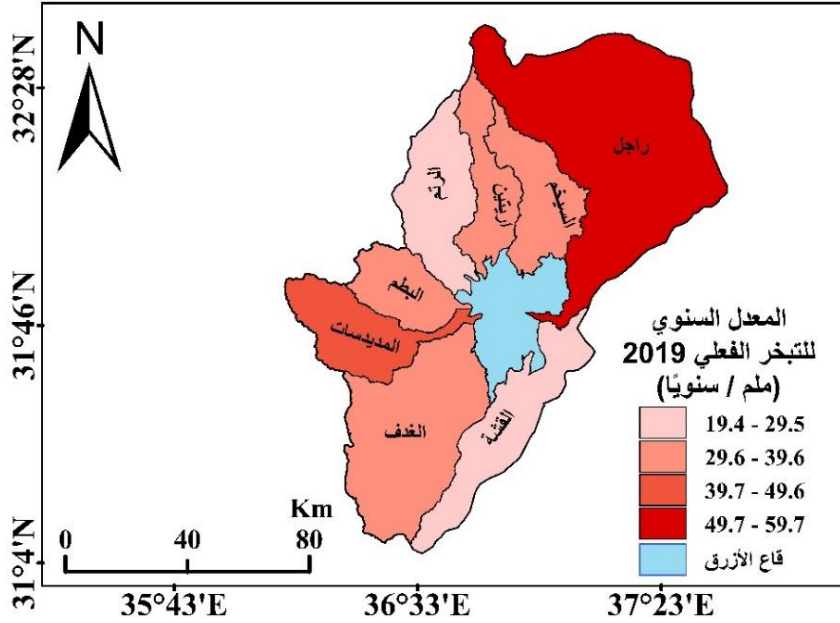
وقد أظهر نموذج SWAT أن معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الأزرق بلغ على التوالي 73.6 ملم سنويًا و1592.5 ملم سنويًا خلال الفترة الممتدة ما بين 1985 و2019م. إلا أن هذه القيم تتباين زمنيًا (خلال أشهر السنة) ومكانيًا (ضمن الأحواض الفرعية). كما أن قيم التوزيع الزمني والمكاني للتبخر الفعلي والمحتمل يوصف بأنه 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 قيمة لمعدل التبخر المحتمل 45.6 ملم خلال شهر كانون أول. ويبين الشكل (11) قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



الشكل (11) قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

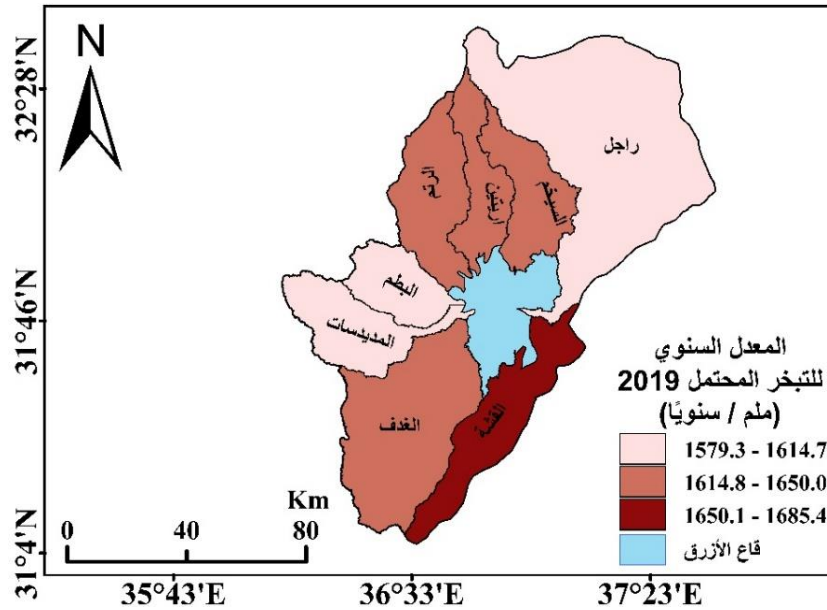
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

أما بالنسبة للتباين المكاني بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في قيم التبخر الفعلي والمحتمل لعام 2019م، فقد اتضح أن حوض وادي راجل ذو المعدل 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 إن أغلب أراضيه تغطيها صخور الحرة السوداء، التي تعمل على زيادة الفاقد المائي بواسطة عملية التبخر الفعلي. في حين كان أقل معدل للتبخر الفعلي في حوضي وادي الرتم والقشة والبالغ فيهما ما بين 19.4 ملم سنويًا و29.5 ملم سنويًا. أما بالنسبة لمعدل التبخر المحتمل فقد كانت النتائج مغايرة تمامًا عن نتائج معدل التبخر الفعلي، حيث كان حوض وادي راجل هو الأقل، بالإضافة إلى حوضي وادي البطم والمديدسسات، ويرد هذا الانخفاض إلى أن هذه الأحواض الثلاث تشهد هطولًا مطريًا أكثر من بقية الأحواض، مما يسبب انخفاضًا في معدل التبخر المحتمل فيها، كما أظهرت النتائج أن حوض وادي القشة الواقع في أقصى الجنوب الشرقي لحوض 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 و1685.4 ملم سنويًا. ويوضح الشكلين (12) و(13) التباين المكاني للتبخر الفعلي والمحتمل لعام 2019م في حوض الأزرق.



الشكل (12) التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق

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



الشكل (13) التباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق

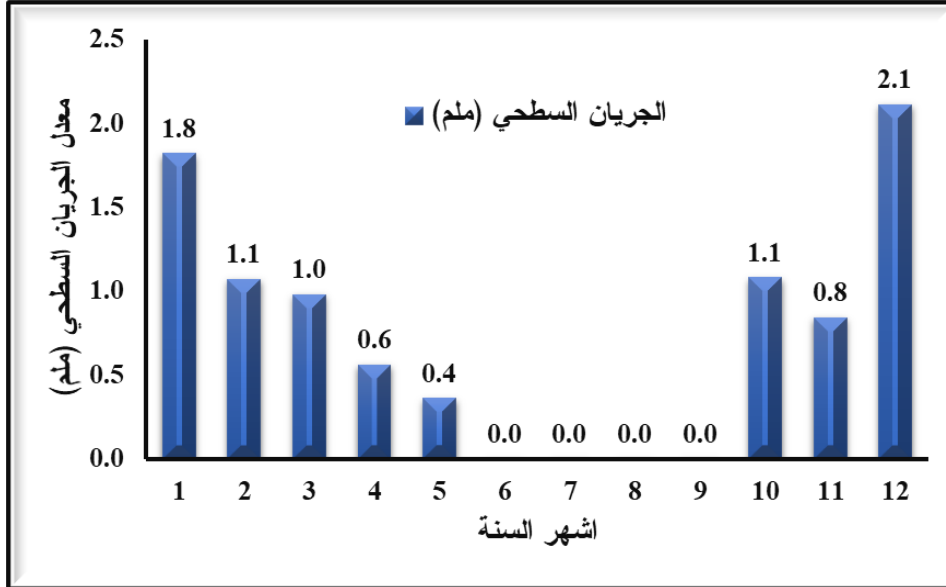
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGIS 10.6

ج- الجريان السطحي.

يعدّ الجريان 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 بالاعتماد على معادلة رقم المنحنى (CN) 8.83 ملم سنويًا على مدى فترة الدراسة الممتدة من عام 1985م وحتى 2019م. إلا أنّ قيمة الجريان السطحي تتباين بين أشهر السنة، حيث بلغت أعلى قيمة له في شهر كانون الثاني والبالغة 1.1 ملم، في حين كانت أدنى قيمة له خلال أشهر الصيف.

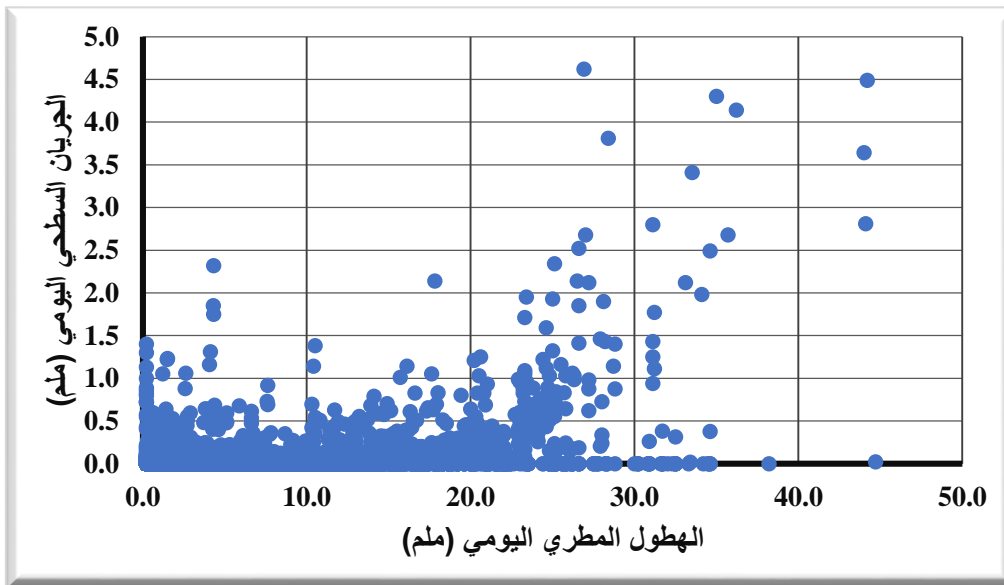
وأما بالنسبة للتباين اليومي للجريان السطحي والذي يمثل العواصف المطرية التي شهدها حوض الأزرق طيلة فترة الدراسة، فقد أوضحت الدراسة أن 99% من الجريان السطحي اليومي لحوض الأزرق طيلة فترة الدراسة كان أقل من 2 ملم، في حين كان عدد الأيام التي تجاوز فيها الجريان السطحي أكثر من 2 ملم 19 يوم موزعة على أربع أيام أكثر من 4 ملم، و3 أيام كان الجريان السطحي أكثر من 3 ملم، و12 يوم كان الجريان السطحي أكثر من 2ملم.

وقد كانت أعلى قيمة للجريان السطحي في عام 1992 م بقيمة بلغت 4.62 ملم. ويظهر الشكل (14) و(15) التباين الزمني الشهري واليومي لمعدل الجريان السطحي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



الشكل (14) التباين الزمني الشهري لمعدل الجريان السطحي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

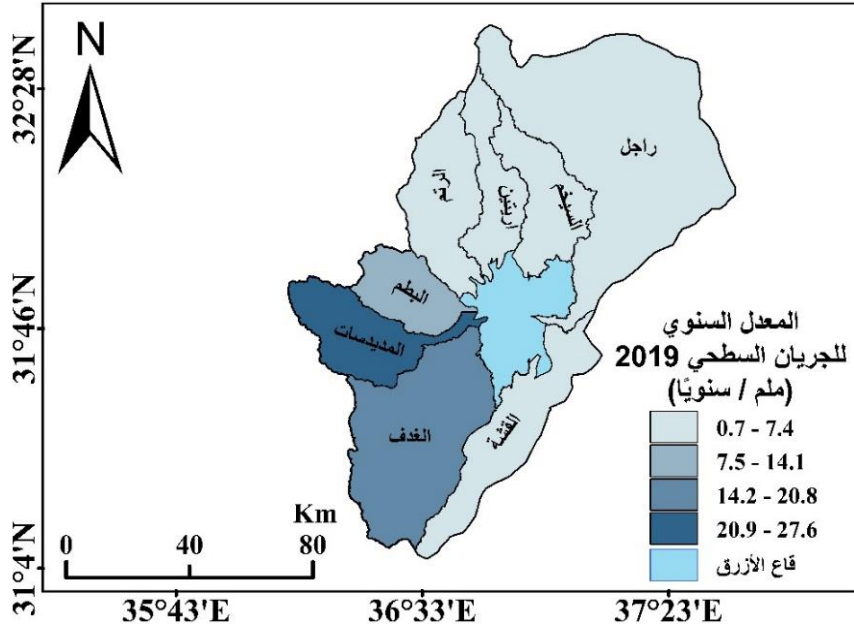
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel



الشكل (15) التباين الزمني اليومي لمعدل الجريان السطحي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وفيما يتعلق بالتباين المكاني بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في قيم معدل الجريان السطحي لعام 2019م، فقد اتضح أن الأحواض الجنوبية والجنوبية الغربية وهي: المديسرات 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 (16) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.



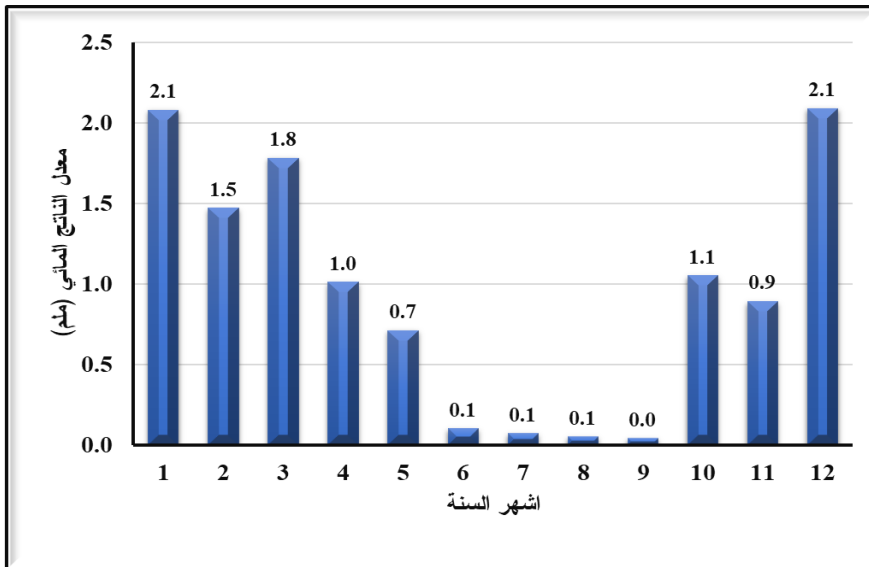
الشكل (16) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

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

د- الناتج المائي.

ويعرف بالغلة المائية أو الحصيصة المائية أو العائد المائي (Water Yield)، والتي تعد بمثابة المحصلة النهائية والمستفادة من المياه الهائلة على الحوض في استخداماتها المختلفة (الغميض، 2019). ويتأثر الناتج المائي بعدة ظروف؛ كالظروف المناخية بما فيها 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 الأزرق خلال فترة الدراسة 11.37 ملم/ سنويًا، إلا أن هذه القيمة تتباين على مدار شهور السنة خلال فترة الدراسة، حيث بلغت أعلى قيمة له في شهري كانون الأول والثاني 2.1 ملم، في حين تنعدم خلال شهر أيلول. ويبين الشكل (17) التباين الزمني لمعدل الناتج المائي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

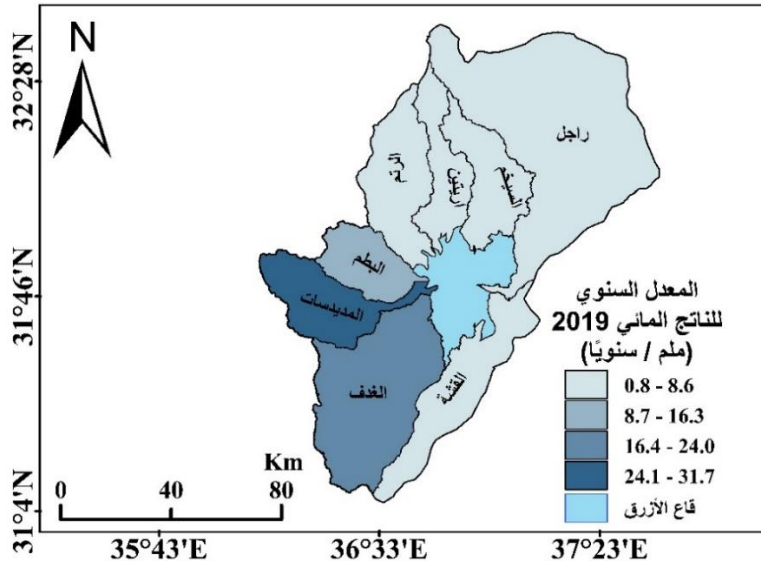


الشكل (17) التباين الزمني لمعدل الناتج المائي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وبالنسبة للتباين المكاني بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في قيم الناتج المائي لعام 2019م، فقد تماثل مع التباين المكاني للجريان السطحي،

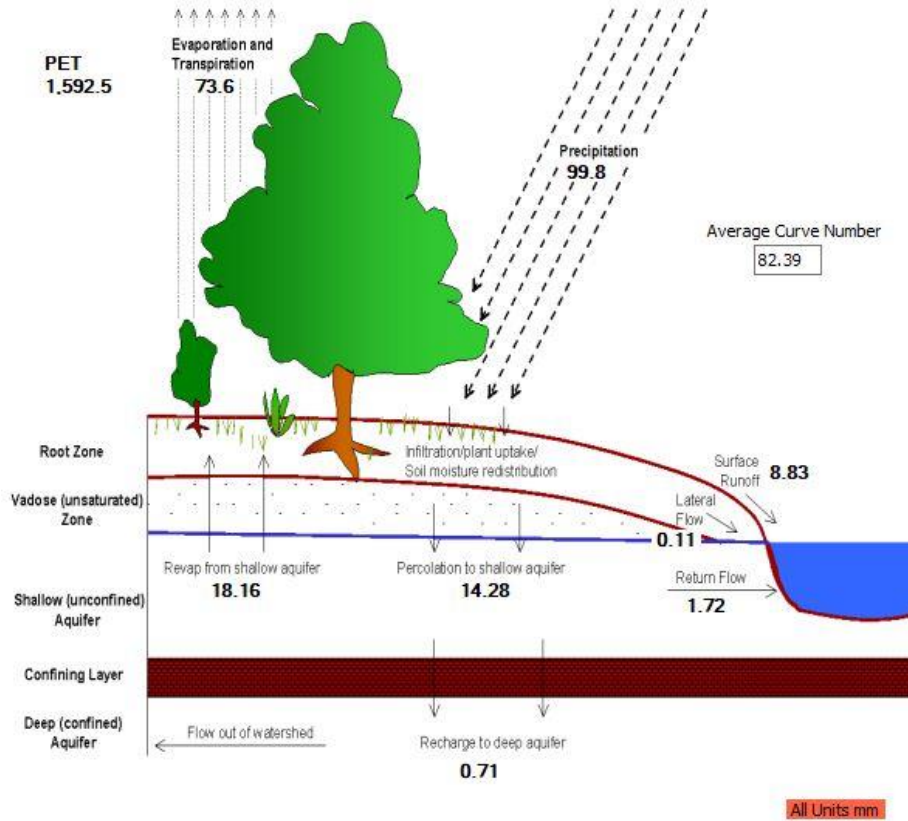
حيث كانت أحواض أودية المديسوات والبطم والغدف هي الأكثر في معدل الناتج المائي خلال عام 2019م بقيمة تجاوزت 16.3 ملم سنوياً، في حين أنّ بقية الأحواض الفرعية لحوض الأزرق قل فيها معدل الناتج المائي عن 8.6 ملم سنوياً. ويظهر الشكل (18) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.



الشكل (18) التباين المكاني لمعدل للناتج المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

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

ويمكن تلخيص كافة النتائج السابقة في الشكل (19) التي ينتجها نموذج SWAT عبر ملحقه ArcSwat ضمن بيئة ArcGIS، وهو بمثابة تمثيل واقعي لطبيعة الدورة المائية (الهيدرولوجية) في الأحواض المائية. وتبين الشكل (19) نمذجة الواقع الهيدرولوجي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



الشكل (19) نمذجة الواقع الهيدرولوجي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث وهو أحد مخرجات نموذج SWAT

ثالثاً: محاكاة الظروف الهيدرولوجية السطحية المستقبلية لحوض الأزرق.

يعد المستقبل المجهول للظروف الهيدرولوجية في ضوء التغير المناخي المحتمل، سواء كان التغير إيجابياً أو سلبياً مهماً جداً للإنسان؛ وذلك لمحاولة فهم المستقبل، واتخاذ الاحتياطات اللازمة. وقد تم تطبيق عدة سيناريوهات للتغير المناخي المتوقع لتقييم التأثير المتوقع للتغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية في حوض الأزرق؛ إذ تمت تجربة أربع سيناريوهات للتغير المناخي التراكمية. وقد تم الاعتماد على هذه السيناريوهات والتي تعد مناسبة للظروف المناخية للأردن، والمتصف بالتغير المكاني والزمني الكبير في هطول الأمطار (وزارة البيئة، 2009) ليس اعتبارياً، وإنما وفق قيم تغير درجات الحرارة وكميات الهطول والمحددة من قبل اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (Abu-allban, et al., 2015). وفيما يلي عرض نتائج تطبيق السيناريوهات التراكمية على حوض الأزرق، وذلك لبيان تأثير التغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية له. وفيما يلي عرض للنتائج:

1. التبخر.

يعد معرفة السلوك المستقبلي للتبخر بشقيه: الفعلي والمحمّل أمر في غاية الأهمية؛ لارتباطه بالانحياز الحراري للأرض. وفي ضوء السيناريوهات التراكمية للتغير المناخي المطبقة في هذه الدراسة، نلاحظ التباين بين القيم المستوفاة منها، فالنسبة للتبخر الفعلي فقد كان السيناريو الأول ذو القيمة الأقل من بين السيناريوهات الأخرى، فقد بلغت قيمته 67.9 ملم سنوياً، في حين كان السيناريو الرابع هو الأكثر قيمةً، فقد بلغت قيمة التبخر الفعلي فيه 79.6 ملم سنوياً. وأما بالنسبة للتبخر المحتمل؛ فقد كانت أقل قيمة في السيناريو الأول والثاني، التي بلغت 1634.4 ملم سنوياً، في حين بلغت قيمته في السيناريو الثالث والرابع 1676.4 ملم سنوياً. ويبين الجدول (6) معدل التبخر الفعلي والمحمّل المتوقعان لحوض الأزرق بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2020م و2030م.

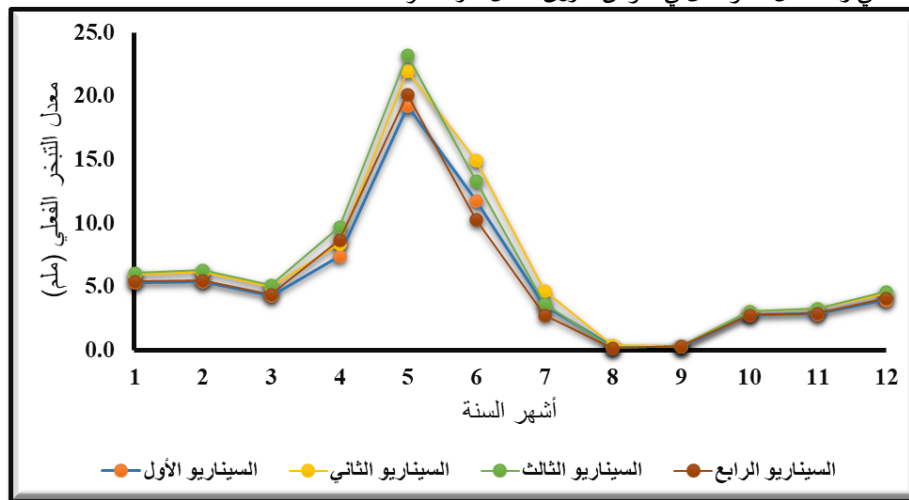
الجدول (6) معدل التبخر الفعلي والمحمّل المتوقعان لحوض الأزرق

بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2020م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	معدل التبخر الفعلي المتوقع		المعدل المطري المتوقع (ملم سنوياً)
		(ملم سنوياً)	%	
1	الأول	67.9	75.6	89.8
2	الثاني	79.4	72.3	109.8
3	الثالث	68.2	75.8	89.9
4	الرابع	79.6	72.5	109.8

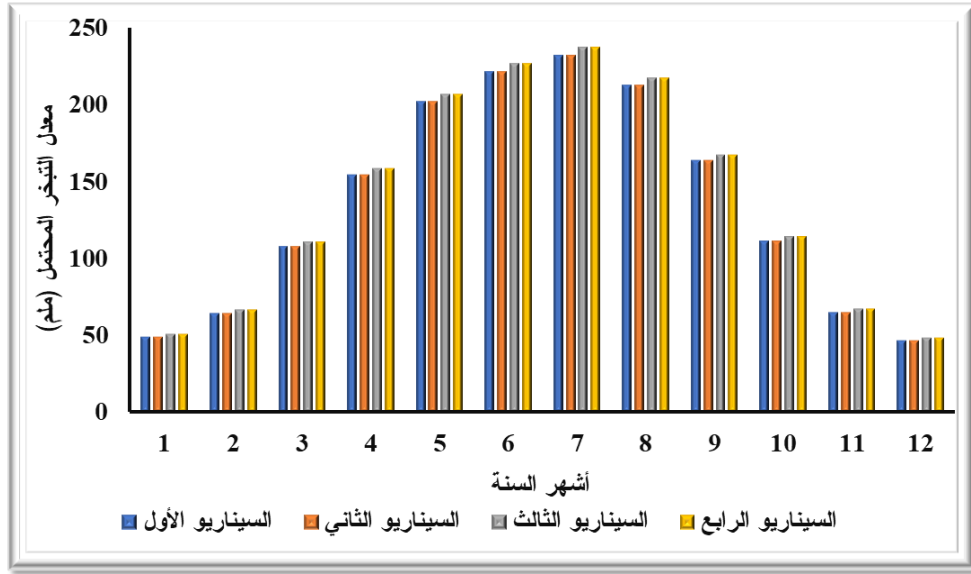
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

وفيما يتعلق بالتباين الزمني الشهري للتبخر الفعلي، فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التدرجية أن شهر أيار كان أكثر شهور السنة في معدل التبخر الفعلي المتوقع في كافة السيناريوهات، في حين كان شهر آب الأقل في قيم معدل التبخر الفعلي المتوقع للفترة الممتدة من 2020 وحتى 2030م. وأما بالنسبة للتباين الزمني الشهري لمعدل التبخر المحتمل المتوقع في ضوء تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية، فقد تبين أن شهر تموز كان أكثر شهور السنة في معدل التبخر المحتمل المتوقع، في حين كان شهر كانون الأول هو الأقل. ويظهر الشكل (20) والتباين الزمني الشهري لمعدل التبخر الفعلي والمحمّل المتوقعان في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.



الشكل (20) التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر الفعلي المتوقع في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

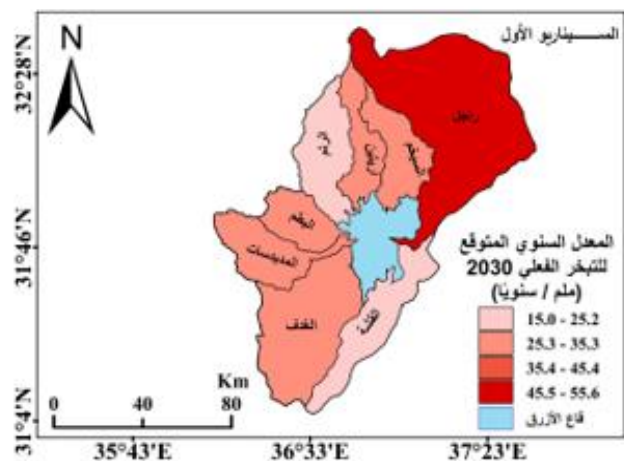
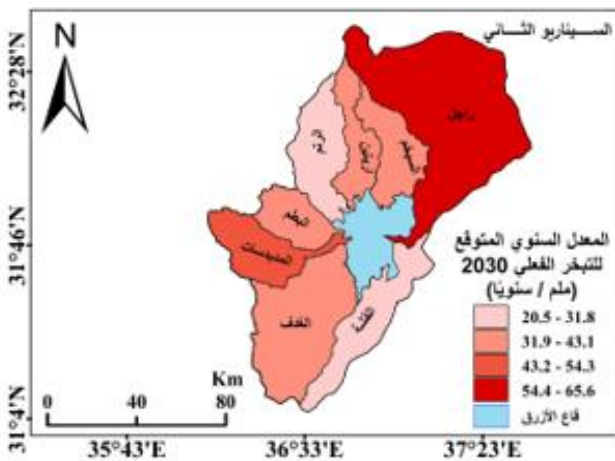
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

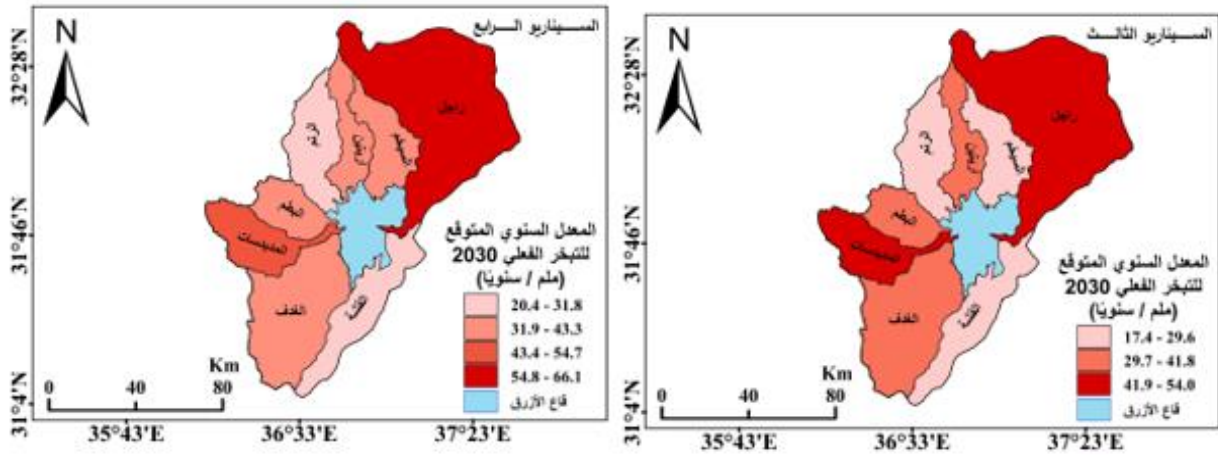


الشكل (21) التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر المحتمل المتوقع في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

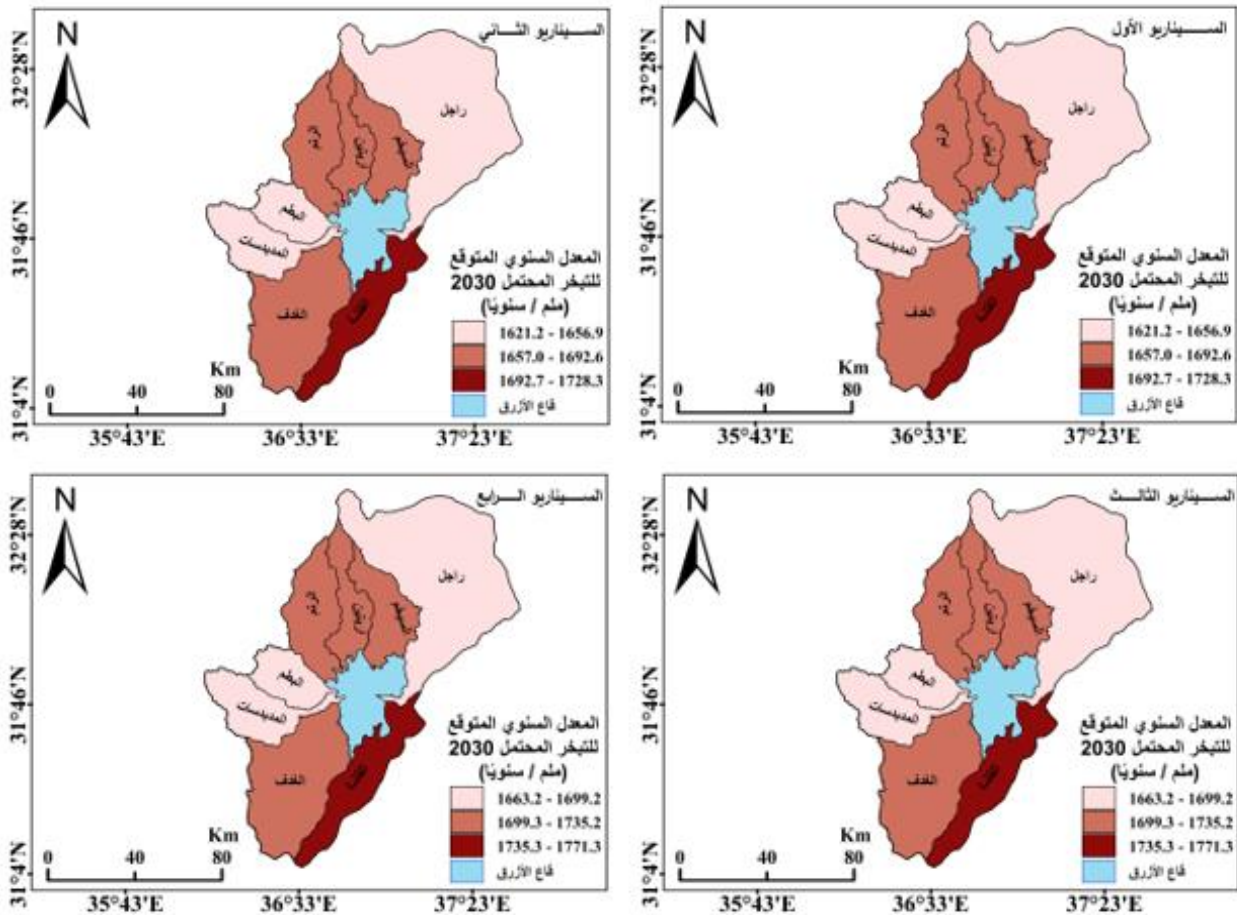
وبالنسبة للتباين المكاني للمعدل السنوي المتوقع للتبخر الفعلي في الأحواض الفرعية لحوض الأزرق لعام 2030م، فقد اتضح عدم وجود تأثير لتطبيق السيناريوهات التراكمية للتغير المناخي المختلفة على التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي المتوقع؛ حيث أظهرت كافة سيناريوهات التغير المناخي أنّ حوض وادي راجل كان أكثرها قيمة، حيث تراوح فيه معدل التبخر الفعلي المتوقع ما بين 15 و 31.8 ملم سنوياً. وعلى النقيض من التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي المتوقع كان التباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل، فقد كان حوض وادي القشة هو أكثر الأحواض الفرعية لحوض الأزرق في قيمة معدل التبخر المحتمل المتوقع، التي تراوحت فيه ما بين 1621.2 ملم سنوياً و 1735.3 ملم سنوياً، كما أظهرت نتائج تطبيق السيناريوهات أنّ حوض وادي راجل هو الأقل في معدل التبخر المحتمل في كافتها، حيث تراوح فيه ما بين 1621.2 و 1699.2 ملم سنوياً. ويظهر الشكل (22) و(23) التباين المكاني السنوي لمعدلي التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.





الشكل (22) التباين المكاني السنوي لمعدل التبخر الفعلي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012 باستخدام ArcGIS 10.6



الشكل (23) التباين المكاني السنوي لمعدل التبخر المحتمل المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012 باستخدام ArcGIS 10.6

2. الجريان السطحي.

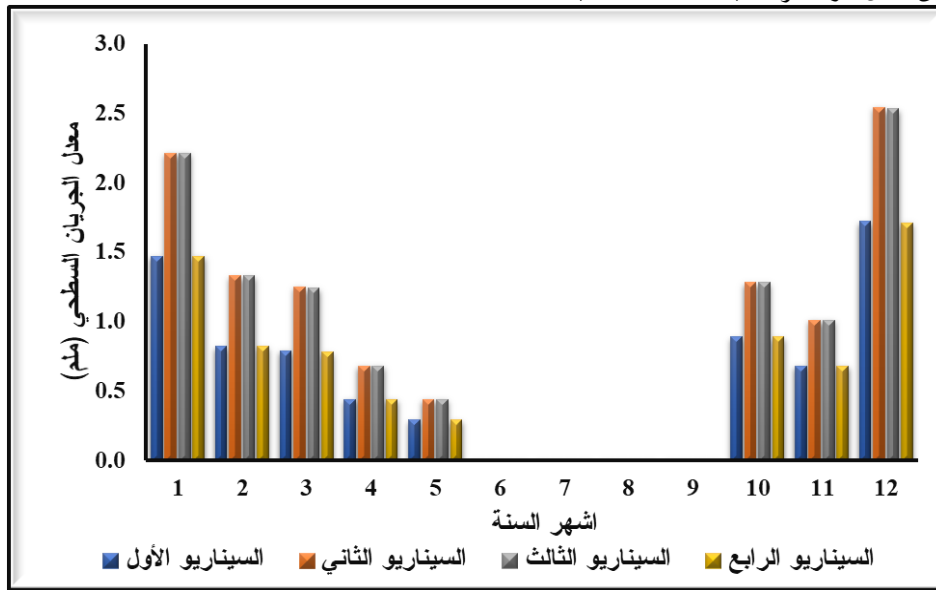
يُعدُّ التنبؤ بالجريان السطحي من الأمور بالغة الأهمية، حيث تسهم في معرفة مدى الجدوى من إنشاء المشاريع المائية المستقبلية، كمشاريع الحصاد المائي بما فيه الحفائر الترابية والسدود الإسمنتية. ويتأثر الجريان السطحي بالتغير في درجات الحرارة وكميات الهطول المطري، وعليه فإنه هو المتأثر الأول من التغير المناخي، سواء تأثرًا إيجابيًا من حيث زيادة كمية الجريان السطحي، أو سلبيًا من حيث تناقص كميته. وقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية تأثير الجريان السطحي بالتغير المناخي المتوقع، فقد بلغت أقصى قيمة له أثناء السيناريو الثاني بقيمة بلغت 10.75 ملم سنويًا بفارق بسيط جدًا عن قيمته في السيناريو الرابع والذي بلغ فيه 10.74 ملم سنويًا، في حين كان السيناريو الثالث هو الأقل بقيمة بلغت 7.08 ملم سنويًا. ويبين الجدول (7) قيم معدل الجريان السطحي المتوقع المستقبلي في حوض الأزرق بناء على سيناريوهات التغير المناخي التراكمية.

الجدول (7) معدل الجريان السطحي المتوقع لحوض الأزرق بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2020م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	معدل الجريان السطحي المتوقع	
		المعدل المطري المتوقع (ملم سنويًا)	(ملم سنويًا) %
1	الأول	89.8	7.1
2	الثاني	109.8	10.75
3	الثالث	89.9	7.08
4	الرابع	109.8	10.74

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

وأما بالنسبة للتباين الزمني الشهري للجريان السطحي المتوقع؛ فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية أنّ شهر كانون الأول كان الأكثر معدلًا للجريان السطحي من بقية أشهر السنة في كافة السيناريوهات، في حين كانت أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) وشهر أيلول هي الأقل في معدل الجريان السطحي المتوقع، وذلك بحكم انعدام الهطول المطري خلالها. ويوضح الشكل (24) التباين الزمني الشهري لمعدل الجريان السطحي المتوقع في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة (2020 – 2030).

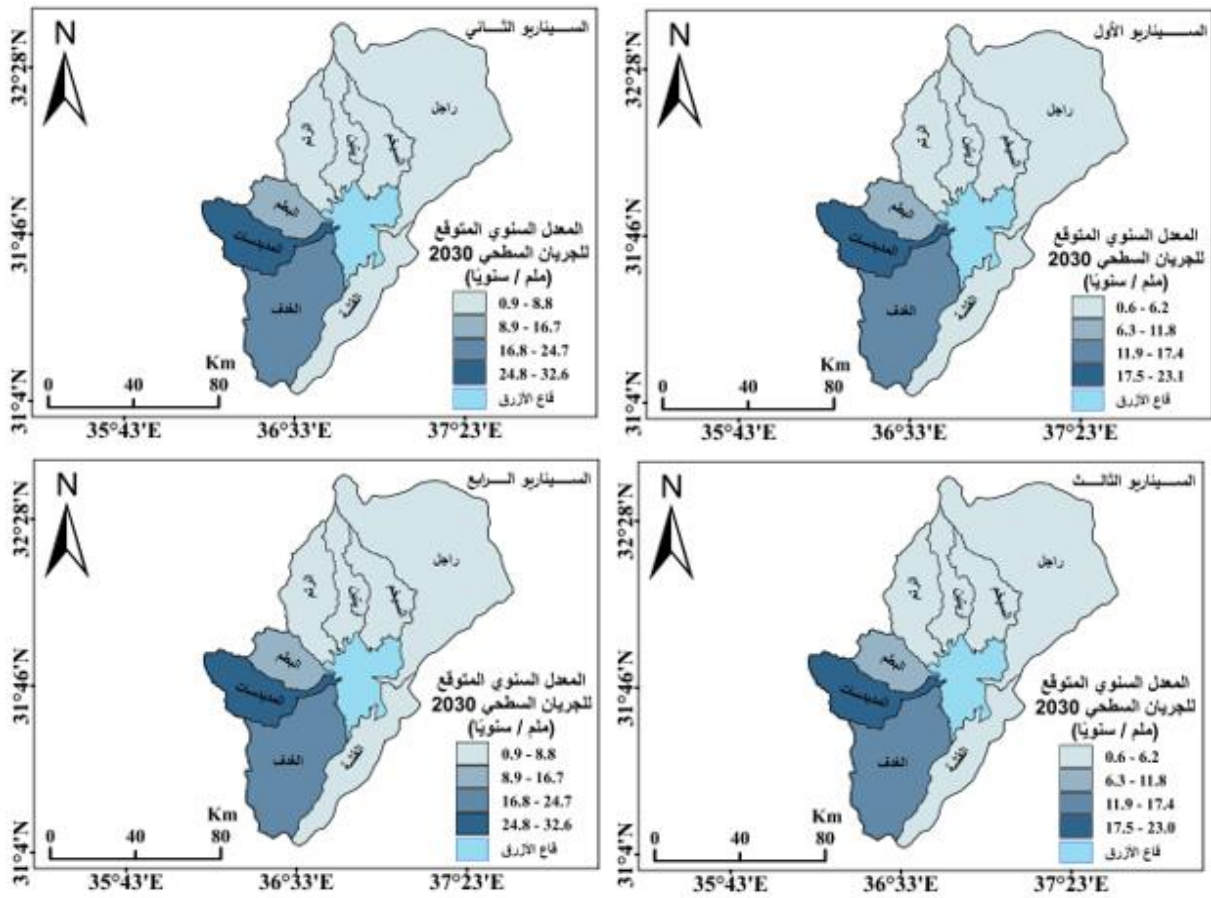


الشكل (24) التباين الزمني الشهري لمعدل الجريان السطحي المتوقع في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وفيما يتعلق بالتباين المكاني لمعدل الجريان السطحي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق، فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية عدم وجود اختلاف في التباين المكاني للأحواض الفرعية في معدل الجريان السطحي المستقبلي عن الواقع الحالي، فقد استمرت الأحواض الفرعية الجنوبية الغربية في صدارة الأحواض الفرعية في معدل الجريان السطحي المستقبلي، وهذه الأحواض هي: الغدفة المديسسات والبطم، وقد كان حوض وادي المديسسات هو الأكثر من بينها في معدل الجريان السطحي المتوقع، والذي تراوح ما بين 17.5 و32.6 ملم سنويًا. كما أظهرت النتائج المستسفة من السيناريوهات تماثل قيم معدل الجريان السطحي في الأحواض الفرعية لحوض الأزرق بين كل من السيناريو الأول والثالث، والسيناريو الثاني والرابع، ويعود هذا التماثل في القيم إلى أنّ

السيناريو الأول والثالث بلغ فيهما معدل الأمطار السنوي 89.9 ملم سنويًا، وفي السيناريو الثاني والرابع 109.8 ملم سنويًا، أي أنّ هنالك تماثل في قيم المعدل المطري أثناء فترة الدراسة. ويظهر الشكل (25) التباين المكاني السنوي لمعدل الجريان السطحي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.



الشكل (25) التباين المكاني السنوي لمعدل الجريان السطحي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012 باستخدام ArcGIS 10.6

3. الناتج المائي.

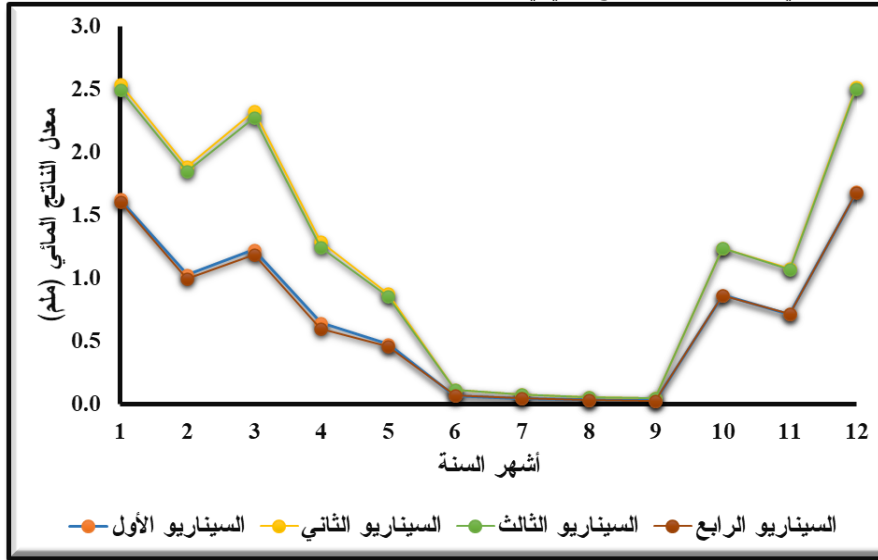
وكما أسفلت سابقًا؛ فإنّ الناتج المائي هو بمثابة المحصلة النهائية للماء، أي أنّها المياه الزرقاء والتي تشير إلى إجمالي الجريان السطحي والباطني والتغذية الجوفية (السوالمة، 2008). وقد أظهر تطبيق أسلوب سيناريوهات التغير المناخي التراكمية بأنّ السيناريو الثاني كان أكثر السيناريوهات في معدل الناتج المائي المتوقع، على الرغم من أنّ هذا السيناريو يشهد أكبر كمية للتبخّر الفعلي في هذا الحوض إلا أنّ كمية المياه الهاطلة كبيرة بالمقارنة مع السيناريوهات عليه، تعمل على تعويض الفاقد بواسطة التبخّر، حيث بلغ فيه 12.9% من إجمالي المعدل المطري الهاطل المتوقع على حوض الأزرق. كما أظهرت السيناريوهات أن السيناريو الثالث ذو أقل قيمة في معدل الناتج المائي المتوقع خلال فترة الدراسة. وبين الجدول (8) قيم معدل الناتج المائي المتوقع المستقبلي في حوض الأزرق بناء على سيناريوهات التغير المناخي التراكمية.

الجدول (8) معدل الناتج المائي المتوقع لحوض الأزرق بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2020م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	المعدل المطري المتوقع (ملم سنويًا)	معدل الناتج المائي المتوقع	
			(ملم سنويًا)	%
1	الأول	89.8	8.52	9.5
2	الثاني	109.8	14.14	12.9
3	الثالث	89.9	8.34	9.3
4	الرابع	109.8	13.97	12.7

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

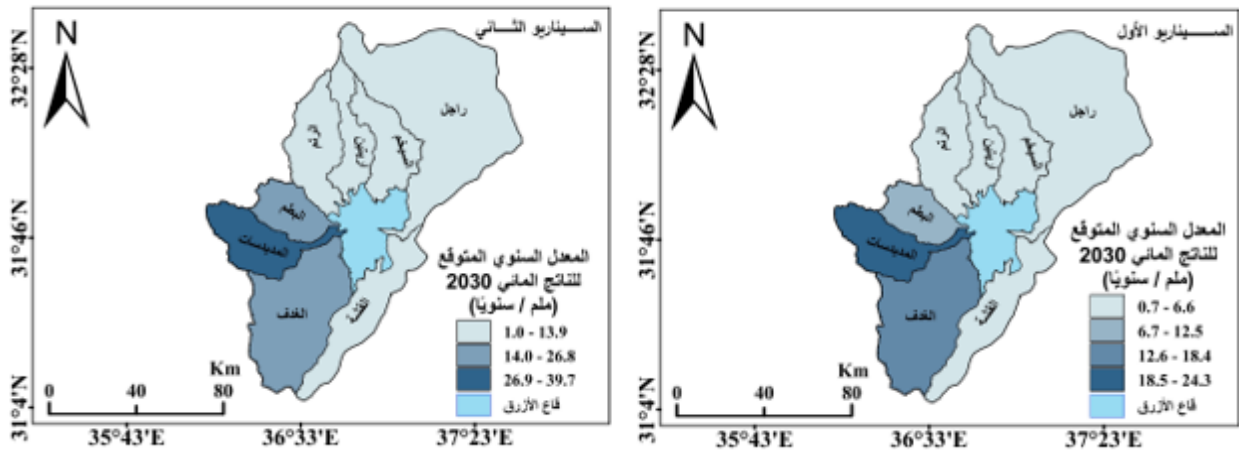
وأما فيما يتعلق بالتباين الزمني الشهري للناتج المائي في حوض الأزرق، فقد أوضح تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية أنّ شهر كانون الثاني كان أكثر شهور السنة في معدل الناتج المائي الشهري المتوقع، وذلك في السيناريو الثاني والثالث بقيمة بلغت 2.5 ملم، في حين كان شهر كانون الأول هو أكثر شهور السنة في معدل الناتج المائي الشهري المتوقع، وذلك في السيناريو الأول والرابع بقيمة بلغت 1.7 ملم. كما أظهرت السيناريوهات أنّ أشهر الصيف وبداية الخريف (أيلول) كانت أقل شهور السنة في معدل الناتج المائي؛ وذلك بسبب عدمية الهطول المطري خلالها وارتفاع درجات الحرارة. ويوضح الشكل (26) التباين الزمني الشهري لمعدل الناتج المائي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة (2020 – 2030).

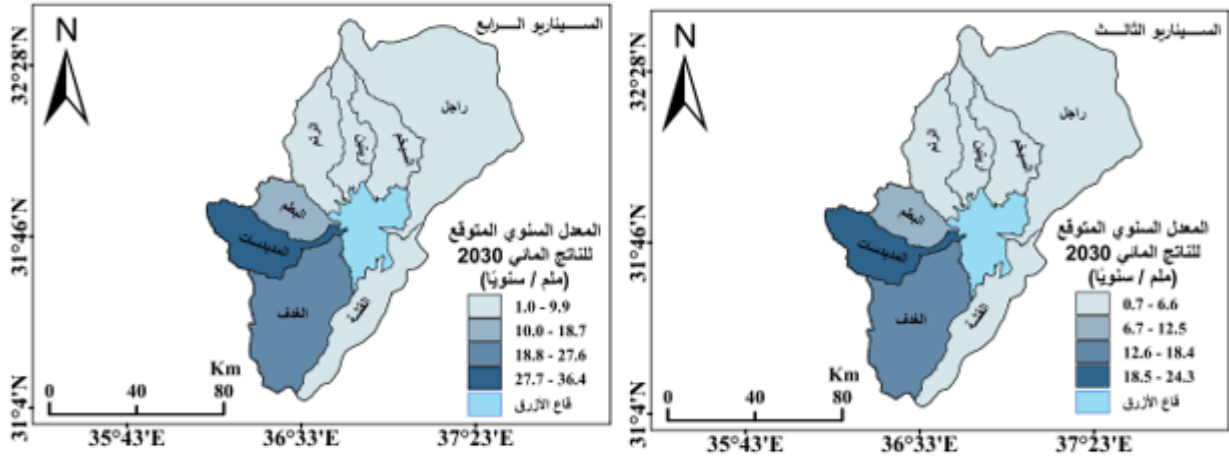


الشكل (26) التباين الزمني الشهري لمعدل الناتج المائي المتوقع في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وفيما يتعلق بالتباين المكاني لمعدل الناتج المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق، فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية عدم وجود اختلاف في التباين المكاني للأحواض الفرعية في معدل الناتج المائي المستقبلي عن الواقع الحالي، كما قد توافقت التباين المكاني لمعدل الناتج المائي للأحواض الفرعية مع التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي لها، فقد استمرت الأحواض الفرعية الجنوبية الغربية في صدارة الأحواض الفرعية في معدل الناتج المائي المستقبلي، وهذه الأحواض هي: الغدفة المديسسات والبطم، وقد كان حوض وادي المديسسات هو الأكثر من بينها في معدل الناتج المائي المتوقع والذي تراوح ما بين 18.5 و 39.7 ملم سنويًا. كما أظهرت النتائج المستسقة من السيناريوهات تماثل قيم معدل الناتج المائي المتوقع في الأحواض الفرعية لحوض الأزرق بين كل من السيناريو الأول والثالث، ويعود هذا التماثل في القيم إلى أنّ السيناريو الأول والثالث بلغ فيهما معدل المطر السنوي 89.9 ملم سنويًا. ويظهر الشكل (27) التباين المكاني السنوي لمعدل الناتج المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.





الشكل (27) التباين المكاني السنوي لمعدل الناتج المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الأزرق.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012 باستخدام ArcGIS 10

الخاتمة والتوصيات

أوضحت الدراسة مدى الجدوى في الاعتماد على نموذج تقييم التربة والمياه في دراسة الظروف الهيدرولوجية سواء الحالية أو المستقبلية، وذلك بفضل تمثيلها ذي الكفاءة العالية، مما أسهم في بناء تصور لتلك الظروف، وبناء قاعدة بيانات هيدرولوجية ومناخية للأحواض؛ بهدف إجراء ما يعرف بإدارة الموارد المائية، من حيث محاولة الاستفادة القصوى من الموارد المائية المتاحة الحالية في مختلف نواحي استعمالها. بالإضافة إلى مواجهة الآثار المحتملة على الموارد المائية جراء التغير المناخي المتوقع حدوثه، سواء أكان هذا التغير إيجابياً أو سلبياً من حيث بناء مشاريع مائية قصيرة أو طويلة الأجل لتنميتها.

حيث أظهرت نتائج الدراسة أن حوض الأزرق المصنف ضمن الأحواض الجافة في الأردن، يتلقى سنوياً من كميات الهطول المطري ما تبلغ 99.8 ملم سنوياً. إلا أنّ هذا المجموع المطري لحوض الأزرق يتباين بين أحواضه الفرعية، فقد كان حوضي وادي راجل والمديسسات هما الأكثر تلقياً للهطول المطري من الأحواض الأخرى، حيث بلغ فيه ما بين 85.3 و 101.6 ملم سنوياً. كما أوضحت نتائج الدراسة أنّ أعلى معدل للتبخّر الفعلي كان أثناء شهر آب، في حين كان أعلى معدل للتبخّر الكامن (المحتمل) أثناء شهر تموز. كما اتضح أنّ حوض وادي راجل هو أكثر أحواض أودية الأزرق في معدل التبخّر الفعلي (الحقيقي)، في حين كان حوض وادي القشة أكثر الأحواض في معدل التبخّر المحتمل (الكامن). وأظهرت الدراسة أيضاً أنّ أكثر شهور السنة إنتاجاً للماء أو ما يعرف بالعائد المائي وهي ناتج مختلف العمليات التي تؤثر على كميات المياه الهائلة على الحوض سواء بالتبخّر أو التسرب وغيرها كان شهري كانون الأول والثاني. كما كانت الأحواض الجنوبية والجنوبية الغربية لحوض الأزرق ذات المعدل الأعلى في العائد المائي لعام 2019م.

أما بالنسبة لأثر التغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية، فقد أظهرت نتائج الدراسة أنّ 72.3% من مجمل الأمطار الهائلة على حوض الأزرق خلال الفترة الممتدة بين 2020 و 2030 يذهب سدئاً بواسطة عملية التبخّر الفعلي، وذلك أثناء السيناريو الثاني وهي الأقل، حيث بلغت أعلى قيمة للتبخّر الفعلي في حوض الأزرق خلال فترة الدراسة 75.8% أثناء السيناريو الثالث. وعلى النقيض من نتائج الدراسة فيما يتعلق بالتبخّر الفعلي، فقد كان السيناريو الثاني ذو القيمة الأكثر في العائد المائي بنسبة بلغت 14.14% من مجمل الأمطار الهائلة على حوض الأزرق، في حين كان السيناريو الثالث الأقل في نسبة العائد المائي، والتي بلغت 8.34% من إجمالي مجموع الأمطار.

وفي ضوء نتائج الدراسة؛ فإنّها توصي بتكثيف الاعتماد على نموذج تقييم التربة والمياه في عمليات النمذجة الهيدرولوجية للأحواض سواء الحالية أو المستقبلية؛ لما أثبتته من فاعلية وكفاءة في النتائج المعطاة في الإدارة المائية للأحواض، حيث تسهم في معرفة الأماكن الأنسب والأفضل لإنشاء المشاريع المائية، مثل مشاريع الحصاد المائي كالسدود الإسمنتية والترابية.

المصادر والمراجع

- أبو عجمية، س. (1999). التحولات السكانية و التغيرات البيئية في واحة الأزرق: دراسة أنثروبولوجية ميدانية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة اليرموك، الأردن.
- دائرة الأرصاد الجوية الأردنية. 2019. بيانات مناخية، عمان، الأردن.
- الزغول، م. (2016). إدارة الموارد المائية وإمكانيات الحصاد المائي في حوض الزرقاء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، الأردن.
- سلطة المصادر الطبيعية. (1997). خرائط جيولوجية 1:50000، عمان، الأردن.
- السوالمه، م. (2008). كفاءة الناتج المائي في أحواض وادي العرب ووادي كفرنجة ووادي شعيب. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة مؤتة، الأردن.
- طارق، ا. (2018). تقييم المصادر المائية في حوض وادي عربة الشمالي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وأدوات تقييم المياه والتربة، أطروحة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، الأردن.
- العمري، ع. (2002). مبادئ الجغرافيا الطبيعية. (ط1). عمان: دار الشروق.
- العمري، ع. (2017). تقييم الموارد المائية في حوض وادي شعيب باستخدام النماذج الهيدرولوجية وتقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة اليرموك، الأردن.
- الغميص، ع. (2019). 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، الأردن.
- غيث، د. (2010). تقييم تدهور الأراضي في منطقة قضاء الضليل باستخدام المرئيات الفضائية. رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، الأردن.
- المركز الجغرافي الملكي. (1997). خرائط طبوغرافية مقياس 1:50000، عمان، الأردن.
- الملكاوي، ع. (1997). دراسة التصحر في حوض الأزرق باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة آل البيت، الأردن.
- النوايسة، س. 2017. تحليل وتصنيف الخصائص المورفومترية لأحواض أودية قاع الأزرق باستخدام نظام المعلومات الجغرافي لأغراض دعم خطط إدارته البيئية المتكاملة. دراسات-العلوم الإنسانية، 44(4)، 63-83.
- وزارة البيئة الأردنية. (2009). التقرير السنوي، عمان، الأردن.
- وزارة الزراعة الأردنية. (1994). المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، المستوى الأول، عمان، الأردن.
- وزارة المياه والري الأردنية. (2019). بيانات مناخية، عمان، الأردن.

References

- Abdulla, F., & Al-Omari, A. (2008). Impact of climate change on the monthly runoff of a semi-arid catchment: Case study Zarqa River Basin (Jordan). *Journal of Applied Biological Sciences*, 2 (1), 40 –50.
- Abu-allban, M, El-Naqa, A., Jaber, M.F, & Hammouri, N. (2015). Water scarcity impact of climate change in semi-arid regions: a case study in Mujib basin, Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2), 951-959.
- 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.
- Al-Husban. Y. (2017). Inverse Distance Weighting (IDW) for Estimating Spatial Variation of Monthly and Annually Rainfall in Azraq Basin during the monitor Period (1980-2016). *Al-Hussein Bin Talal University Journal of Research*, 3(2), 361 – 374.
- Bell, S. (2015). *Implementing The Soil And Water Assessment Tool For The Puyallup River Watershed Of Washington State: A Feasibility Assessment*. Unpublished Master Dissertation, The Evergreen State College, Washington, USA.
- Hallouz, F., Meddi, M., Maha, G., Alirahmani, S., & Keddar, A. (2017). Modeling of Discharge and Sediment Transport through the SWAT Model in the Basin Of Harraza (Northwest of Algeria). *Water Science*, 32(1), 79-88.
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>
- Ibrahim, K., & El-Naqa, A. (2018). Inverse geochemical modeling of groundwater salinization in Azraq Basin. Jordan. *Advances in Geosciences*, 11(10), 236-251.
- Jaber, M. (2012). *Assessment of climate change impacts on water resources in Mujib Basin (central Jordan)*. Unpublished

- Master Dissertation, Hashemite University. Zarqa- Jordan.
- Mosbahi, M., Bendabdallah, S., & Boussema, M. (2013). Assessment of soil erosion risk using swat model. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(10), 4011-4019.
- Oroud. I. (2015). Water Budget Assessment for a Typical Watershed in the Karak Plateau, Jordan. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(2), 369 –381.
- Sangpal, R. (2011). Upendra Kulkarni, Yogesh M. Nandurkar, An assessment of physic-chemical properties to study the pollution potential of Ujjani reservoir, Solapur district, India, *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, Asian Research Publishing Network (ARPN).
- Train R. (1979). Quality criteria for water, U.S. Environmental Agency, Washington D.C., Castlehe House publication Ltd.
- Venkatesharaju, K. (2010). Ravikumar, P.; Somashekar, R., Prakash, Kl., Physico-Chemical and Bacteriological Investigation on the River Cauvery of Kollegal Stretch in Karnataka, Kathmandu University. *Journal of Science, Engineering and Technology*, 6(I), 50-59.
- 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.
- World Health Organization, (2002). *Drinking Water Guidelines and Standard*, Geneva.
- Ziyadi, M., Jawad L. A., Almkhtar M. & Pohl T. (2015). Day's goby, *Acentrogobius dayi Koumans, 1941 (Pisces: Gobiidae)* in the desert Sawa Lake, south-west Baghdad, Iraq, *Marine Biodiversity Records*, Cambridge University Press.