

The impact of climate change on Hydrological Conditions of the Mujeb Basin, Using Incremental Climate Change Scenarios, Soil and Water Assessment Model and Geospatial Techniques

Salman Ra'ad Alsharafat

North Eastern Badia Education Directorate || Ministry of Education || Jordan

Abstract: This study aimed at clarify the impact the climate change on the hydrological conditions of the Mujib Basin using the gradual scenarios method, the soil and water assessment model, and geospatial techniques (GIS) for the purposes of supporting the water management plans of the basin, making the most of the available water resources in the basin, and building a hydrological database for the basin through the availability of climatic and hydrological data available by the Jordan Meteorological Department. In addition to facing future challenges in light of potential climate change, whether it is positive towards increasing precipitation rates and the prevalence of humid conditions or negatively towards decreasing precipitation rates and thus dry conditions prevail.

The study concluded that the Mujib Basin receives a rainfall rate of 119.9 mm annually, the bulk of which is lost through the evaporation process, as 61% of the total precipitation goes to waste as a result of the actual evaporation, while the surface runoff accounts for 16.6 percent of the total precipitation. on the blue basin. The study also showed that 22.4 percent of the precipitation received by the Mujib Basin goes to what is known as water yield. The study recommends the need to intensify reliance on the soil and water assessment model and geospatial techniques in the processes of surface hydrological modeling of basins, because of the effectiveness and efficiency of the results given by it in the water management of water basins, whether in the current or future reality.

Keywords: Model Soil and Water Assessment, Mujeb basin, R.S, GIS, Hydrological conditions, Climate change.

تأثير التغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية لحوض الموجب باستخدام سيناريوهات التغير المناخي التدريجية ونموذج تقييم التربة والماء والتقنيات الجيومكانية

سلمان رعد الشرفات

مديرية تربية البادية الشمالية الشرقية || وزارة التربية والتعليم || الأردن

المستخلص: هدفت هذه الدراسة إلى توضيح أثر التغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية لحوض الموجب باستخدام أسلوب السيناريوهات التدريجية (Incremental Scenarios) ونموذج تقييم التربة والمياه والتقنيات الجيومكانية (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. بالإضافة إلى مواجهة التحديات المستقبلية في ضوء التغير المناخي المحتمل سواء كان إيجابياً نحو زيادة معدلات الهطول وسيادة الظروف الرطبة، أو سلبياً نحو تناقص معدلات الهطول وبالتالي تسود الظروف الجافة.

بينت نتائج الدراسة أن حوض الموجب يتلقى معدلاً مطرياً مقداره 119.9 ملم / سنوياً، يُفقد الجزء الأعظم منها بواسطة عملية التبخر، حيث أن 61% من مجمل الهطول المطري يذهب سدى نتيجة عملية التبخر الفعلي، في حين أن الجريان السطحي يستأثر بـ 16.6% من

إجمالي الهطول المطري على حوض الموجب. كما أوضحت الدراسة أن 22.4% من كميات الهطول المطري التي يتلقاها حوض الموجب تذهب لما يعرف بالعائد المائي. 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 المفتاحية: نموذج تقييم التربة والمياه، حوض الموجب، نظم المعلومات الجغرافية، الظروف الهيدرولوجية، الاستشعار عن بعد، 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 أثرٍ إيجابيٍ عليها من حيث زيادة كمية الهطول، أو سلبيٍّ 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 (الغميض، 2019).

وعلى الرغم من الاهتمام المتنامي بالتغير المناخي وتأثيراته والمتمثل بالمؤتمرات والندوات والأبحاث والتقارير وإنشاء هيئات تعنى به؛ كالفريق الحكومي الدولي المعني بالتغير المناخي (Intergovernmental Panel on Climate Change)، 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 أن 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 معارضٍ 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 أنه 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 (العمري، 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 والتي تتصف بقلة أمطارها وتذبذبها وانتشارها على شكل بقعي.

وتتمحور مشكلة الدراسة وأهميتها في أن حوض الموجب يُعدُّ أحد الأحواض المائية الرئيسية في الأردن والواقع في الجزء الغربي منه، والذي يعدُّ المورد الأساسي لتزويد التجمعات السكانية في وسط وجنوب المملكة، وهي مادبا والكرك، وأنّ 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 والتي تعاني أصلاً من قلة كميات الهطول المطري وارتفاع معدلات درجات الحرارة والتبخّر؛ 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 تعد منطقة الدراسة من المناطق السياحية في الأردن والتي يرتدها السياح وهوواة التنزه بحكم التنوع الجيومورفولوجي والطبوغرافي.

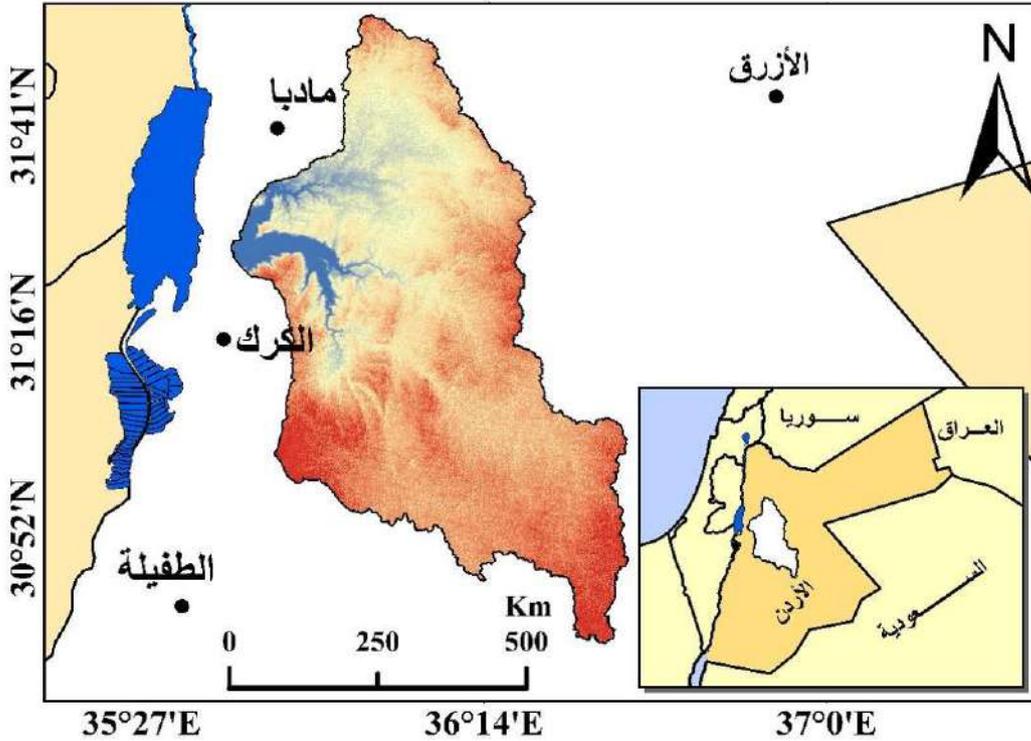
وتتركز أهداف الدراسة في التعرف على الظروف الهيدرولوجية الحالية والموارد المائية السطحية لحوض الموجب. كما تهدف الدراسة إلى توضيح أثر التغير المناخي المتوقع على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية السطحية في حوض الموجب باستخدام طريقة السيناريوهات التراكمية في منطقة تشهد أصلاً تناقصاً حاداً في الموارد 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 سلبياً بتناقص مواردها.

وقد اعتمدت الدراسة في معالجتها لموضوع تحليل التغير في الظروف الهيدرولوجية نتيجة التغير المناخي المتوقع في حوض الموجب على الإجابة على سؤالين هامين؛ هما: (1) لن يكون هنالك تأثير للتغير المناخي المحتمل على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية في حوض الموجب، (2) ازدياد مساحة المناطق الأكثر مطراً لصالح المناطق الجافة.

ومن الدراسات التي تناولت موضوع التغير المناخي ما قام به 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. كما حاول Hallouz وجماعته (2017) وضع مقياس كمي للتصريف والانجراف باستخدام أداة تقييم التربة والمياه في حوض وادي شليف، وحُصِّن إلى ازدياد حجم الرواسب السنوي في الحوض؛ نتيجة ازدياد كمية الجريان السطحي فيه عما سبق. 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%. وقد أشار الغنميين (2018) 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 الرئيسي في تشكل تلك الرواسب عمليات الحت والتعرية الشديدة والمترافقة بتدني نسبة الغطاء النباتي وتدهور التربة الناتجة عن هطول مطري بمعدل يصل إلى 300 ملم/ سنة على المرتفعات الشرقية من الحوض والتميزة بتضرسها الشديد وبميل انحداراتها الكبير. وكما 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، وأظهر فيها أنه من المتوقع انخفاض الجريان السطحي لعينة الأحواض المائية المختارة. وهدف الغميص (2021) الدراسة إلى تحليل ومحاكاة الواقع الهيدرولوجي لحوض الموجب باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ونموذج تقييم 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.

منطقة الدراسة.

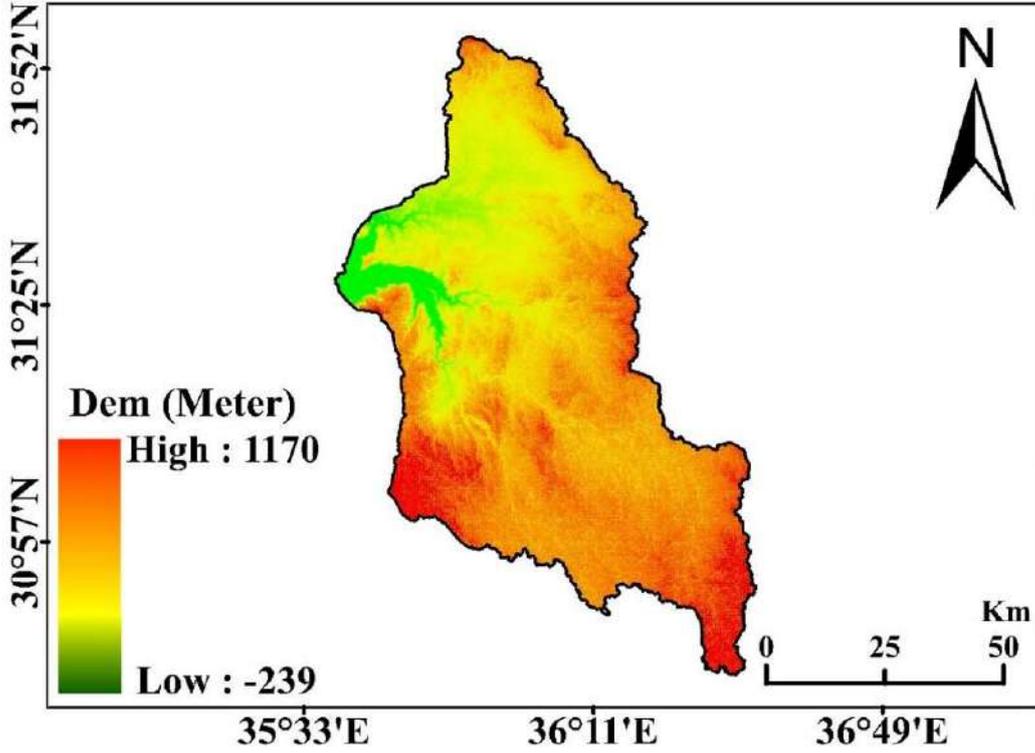
تقع منطقة الدراسة الممتدة فلكياً بين خطي طول $35^{\circ}32'38''$ و $36^{\circ}45'58''$ شرقاً، ودائرتي عرض $30^{\circ}2'09''$ و $31^{\circ}44'37''$ شمالاً. ويُعدُّ حوض الموجب من الأحواض التي تتبع المنطقة الجغرافية المعروفة بالأغوار، وهو أحد الروافد الشرقية الأساسية التي تغذي البحر الميت. ويقع حوض الموجب جغرافياً ضمن أربع محافظات وهي: عمان ومادبا والكرك والطفيلة. وعليه فإنَّ حوض الموجب يمتد من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي وتبلغ مساحته (4484.6 كم^2) ، أي ما نسبته 5% من مساحة الأردن. ويوضح الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث.

وُعدُّ حوض الموجب في المرتبة الثانية من حيث الأهمية كرافد للبحر الميت من حيث المساحة وكمية التصريف النهري بعد نهر الأردن. وتباين في حوض الموجب مناسيب الارتفاعات حيث يبلغ أعلى منسوب ارتفاع له 1170م والمتواجد في القسم الجنوبي منه وبالتحديد في منطقة المزار الجنوبي. في حين كان أقل منسوب ارتفاع له في منطقة المصب في بحر الميت -239- تحت سطح البحر، وهذا يدل على أن الحوض ذو تضرساً حاداً، حيث تبلغ درجة التضرس في حوض الموجب 1409م. ويشير الشكل (2) إلى قيم الارتفاعات لأراضي حوض الموجب.



الشكل (2) قيم الارتفاعات الرقمي في حوض الموجب.

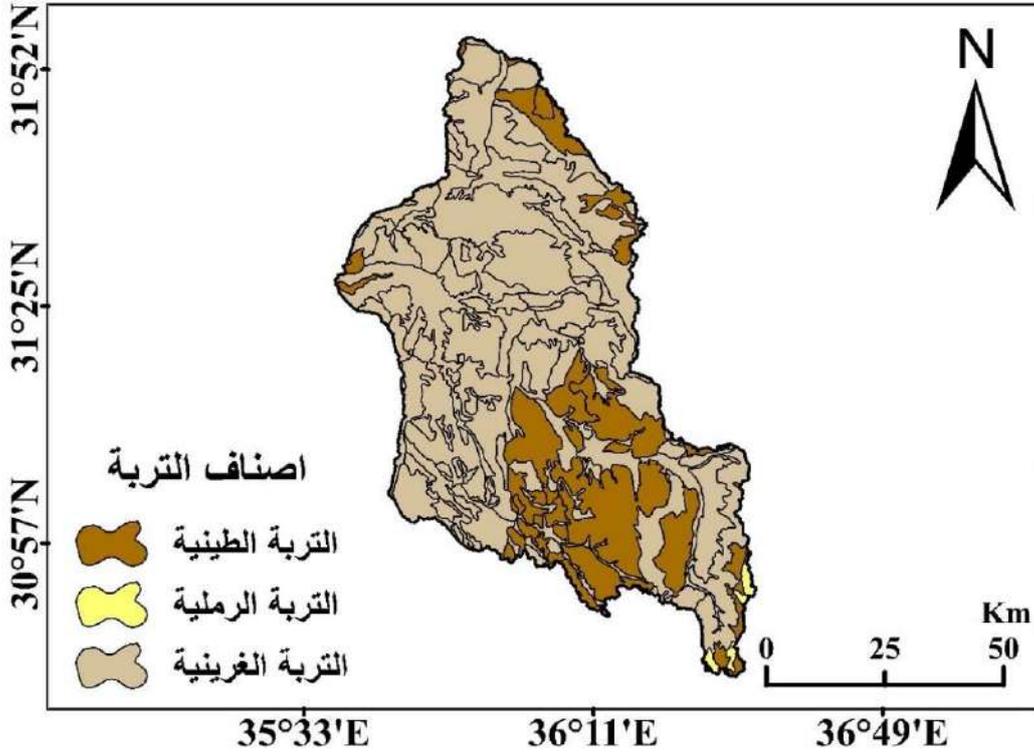
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي.

ويشهد حوض الموجب تبايناً مناخياً جلياً بين مناطقه، حيث يسود المناخ بحر المتوسط في منطقة الشمالية والغربية، وأما المناطق الشرقية والجنوبية منه فإنه يسود فيه المناخ الجاف وشبه الجاف. وبشكل عام فإن الظروف المناخية في حوض الموجب هي بطبيعة الحال جزءاً 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 صيفاً ضمن المنطقة المدارية (شحادة، 1991).

وبالنسبة للتربة المنتشرة في الحوض فهي تشهد تنوعاً في أصنافها أو أنواعها واختلاف في قوامها؛ وذلك بسبب تضافر كل من اختلاف التراكيب الجيولوجية (الصخرية) ومورفولوجية وطبوغرافية الحوض والظروف المناخية للأراضي الحوض. ونتيجة للعوامل أنفة الذكر فقد تبين من خلال الاطلاع على الخرائط الرقمية التي توفرها وزارة الزراعة والمستندة على بيانات مشروع المسح الوطني للتربة واستعمالات الأراضي عام 1993 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 واللتين تؤثران على مدى احتفاظ التربة بالرطوبة، فكلما زادت قدرة التربة على الاحتفاظ بالتربة كلما زاد الجريان السطحي أي أن العلاقة بينهما علاقة طردية (عابد، 2009).

ويمكن تصنيف التربة بناءً على أنسجتها المنتشرة في الحوض إلى ثلاثة أصناف وهي: 1. التربة الرملية والتي تشكل ما نسبته (0.84%) من أراضي الحوض، وتتواجد في المناطق الجنوبية من الحوض. 2. التربة الطينية والتي تمتاز بانها ذات نفاذية منخفضة ومسامية عالية، وبالتالي تكوّن جريان سطحي بمعدلات أعلى من غيرها من أصناف التربة. وينتشر هذا الصنف في أربعة 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 (30.4%) من المساحة الكلية للحوض. 3. والتربة الغرينية وهي الأكثر انتشاراً في الحوض، حيث تتواجد في

مختلف مناطقه والتي تشكل ما نسبته (68.8%) من إجمالي مساحة الحوض (المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993). ويبين الشكل (3) أصناف الترب المنتشرة في حوض الموجب.



الشكل (3) أصناف الترب المنتشرة في حوض الموجب.

المصدر: من عمل الباحث

منهجية الدراسة وأساليب المعالجة.

استخدمت هذه الدراسة المنهج الوصفي والتحليلي الكمي لتقييم ومحاكاة 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 2020م. 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 وإداة 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 الموجب باستخدام السيناريوهات التراكمية ونموذج تقييم التربة والماء على عدة مصادر من المعلومات والبيانات، وهي:
- الخرائط بكافة أنواعها وأشكالها وفق مقاييس مختلفة باختلاف نوعها، ومنها:
- الخرائط الطبوغرافية (1997) وهي: لوحات مادبا والكرك وسواقة والقطرانة وأدر والطفيلة، ضمن مقياس رسم (50000:1). (المركز الجغرافي الملكي، 1997).

- خريطة التربة (1993) وهي: لوحات مادبا والكرك وسواقة والقطرانة وأدر والطفيلة، ضمن مقياس رسم (50000:1). (المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993).
- خرائط جيولوجية (1997) وهي: لوحات مادبا والكرك وسواقة والقطرانة وأدر والطفيلة، ضمن مقياس رسم (25000:1). (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 الممتلئة 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 التوزيع النظامي لها، بحيث يتم وضع كل خلية في الصنف الأكثر احتمالية له، بالاستناد على قيم انعكاس هذه الخلايا (غيبث، 2010). 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 لاستعانة بمناطق التدريب (Training Area) والتي تمثل أصناف الأغذية 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 (2).

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

الجدول (1) محددات المرئيات الفضائية لحوض الموجب.

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

المصدر: من عمل الباحث

الجدول (2) تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض الموجب وفق نظام تصنيف أندرسون

م	التصنيف	الوصف
1	المناطق العمرانية	تشمل المناطق السكنية، والمنشآت التجارية، والصناعية، والتجارية.
2	الغطاء النباتي الطبيعي	تشمل جميع الأراضي الزراعية سواء البعلية أو المروية، بالإضافة إلى الغطاء النباتي الطبيعي
3	المراعي	تضم الأراضي التي تحتوي على النباتات الرعوية، والمخصصة لرعي الحيوانات.
4	الأراضي الجرداء	هي الأراضي التي تفتقر لوجود أي مظهر من مظاهر الحياة النباتية.

م	التصنيف	الوصف
5	الأراضي البازلتية	وتشمل المناطق البركانية، والأراضي ذات الصخور العارية
6	السدود المائية	وتمثل الخزانات ومشاريع الحصاد المائي.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نظام تصنيف أندرسون

4. البيانات المناخية تتضمن كميات الأمطار اليومية، ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية، والإشعاع الشمسي للمحطات المتواجدة في حوض الموجب، للفترة الممتدة من 1985 وحتى 2020م. وبين الجدول (3) المحطات المناخية مع خصائصها العامة إلى التابعة لدائرة الأرصاد. (دائرة الأرصاد الجوية، 2019).
الجدول (3) المحطات المناخية في حوض الموجب وخصائصها العامة.

الإحداثيات الفلكية				
الرقم	المحطات المناخية	خط الطول	دائرة العرض	مستوى الارتفاع (م)
1	مطار الملكة علياء	35.98	31.72	722
2	القطرانة	36.12	31.25	683
3	الربة	35.75	31.27	920
4	الغور الصافي	35.47	31.03	-350
5	الطفيلة / العيص	35.38	30.50	1260

المصدر: من عمل الباحث

ثانياً- البرمجيات المستخدمة.

استعانت الدراسة في معالجتها لموضوعها بمجموعة من البرمجيات وهي:

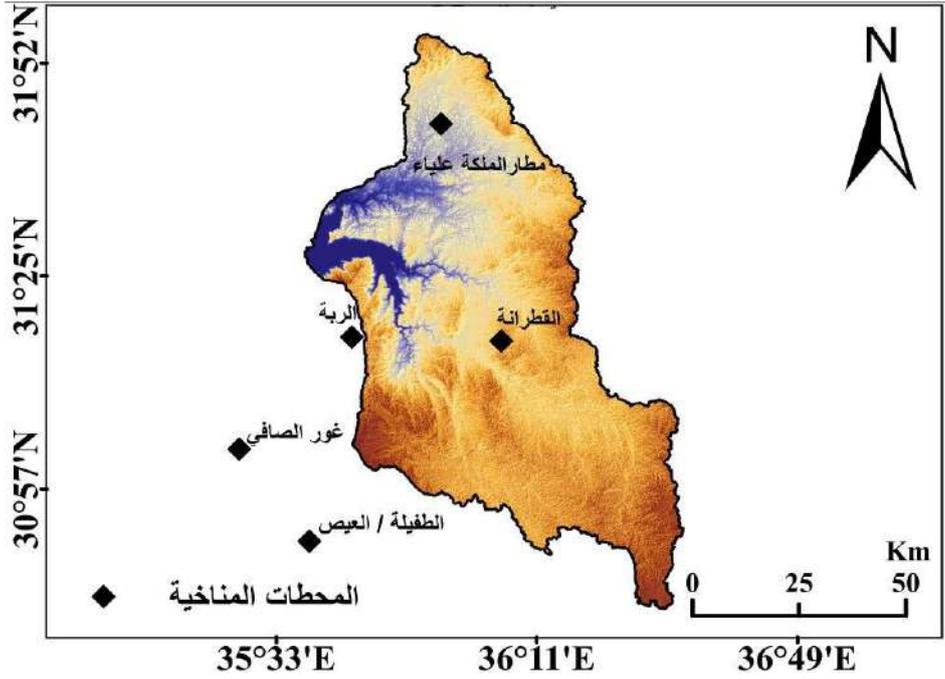
1. بتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وخاصة برنامج ArcGIS10.6 في إجراء عمليات التصحيح الجغرافي للخرائط الورقية وتحويلها إلى رقمية، وتحديد الأحواض المائية المختارة، ودورها في عملية الإخراج الكارتوغرافي.
2. ملحق 2012 ArcSwat والمختص بإجراء المحاكاة والنمذجة للحوض. حيث يُعدُّ نموذج تقييم التربة والمياه من 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). 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.
3. برمجية 2016 Erdas Imagine لتصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالها.
4. برمجية 2016 Microsoft Excel 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 للمرئيات 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 تعيئتها 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 واستعمالاته باستخدام برمجية Erdas Imagine 2016، وفق تصنيف مخصص يستخدمه نموذج تقييم التربة والمياه (SWAT Landuse Classification). ثم يأتي تعريف المتغير الثاني والمتعلق بالتربة وفق النسيج، باستخدام عدة تصنيفات 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 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 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، ويبين الشكل (5) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض الموجب.



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

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات دائرة الأرصاد الجوية، 2020م

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 للتبخّر. وهذه المعادلات هي: بنمان (Penman-Monteith)، ومعادلة بريسي 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):

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

حيث يمثل Erc التبخر المحتمل بناءً على معادلة هارقيز ملم/ يوميًا، Ra متوسط الإشعاع اليومي (ميغا جول/ يوم)، و δ يشير 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 منحى الحفاظ على التربة The Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) والتي يمكن تمثيلها رياضياً كما يلي (Mosbahi et al. 2013):

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

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

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

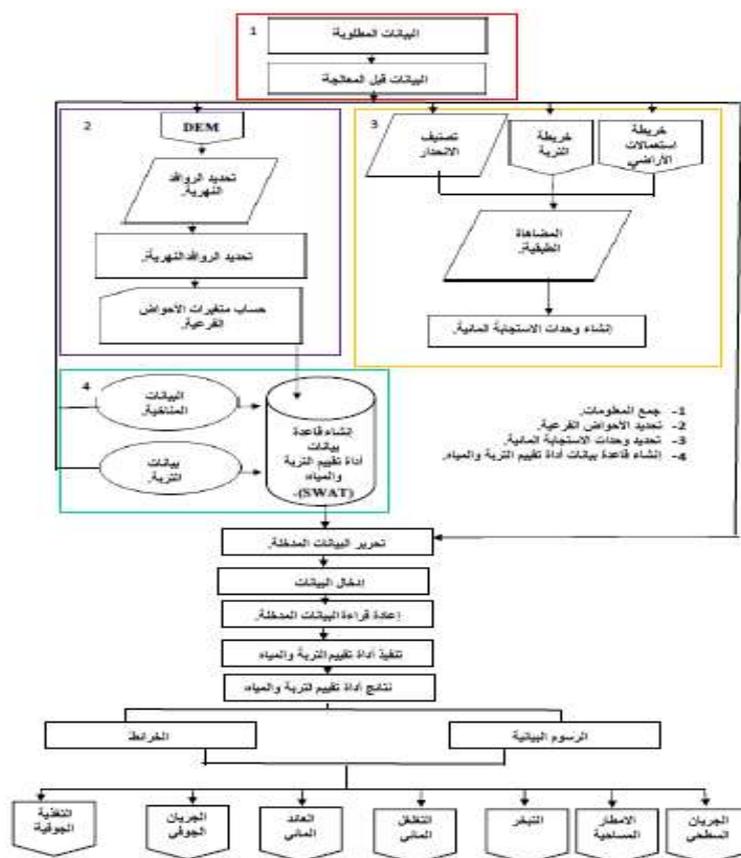
وإدارتها، والمنحدرات تختلف جميعها، ومع مرور الوقت بسبب التغيرات في محتوى الماء في التربة. ويرتبط المحتوى المائي للحوض برقم المنحى (CN) بواسطة معادلة SCS والتي يمكن تمثيلها رياضياً كما يلي (Mosbahi et al. 2013):

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

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_t و SW_0 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 E_a ، كما اشتملت المعادلة على عنصر التغلغل (Percolation) المشار له بالرمز W_{perc} ، وكما يشير رمز Q_{gw} إلى عودة التدفق (الجريان) وجميع العناصر يتم قياسها أو تسجيلها بملم/ يومياً، 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 ازدياداً 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 الموجب، 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

النتائج والمناقشة.

أولاً- محاكاة الظروف الهيدرولوجية الحالية لحوض الموجب.

تتضمن المحاكاة الحالية لحوض الموجب 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 أحواضه فرعية (Sub Basin) ووحدات الاستجابة المائية (HRU)، وقد تبين من خلال تطبيق أداة تقييم التربة والمياه على حوض الموجب احتواه على ثمان عشر حوضاً فرعياً، و405 وحدة استجابة مائية عند مستوى عتبة 5% لكل من التربة والانحدار واستعمالات الأراضي. ويظهر الشكل (6) الأحواض الفرعية في منطقة الدراسة.



الشكل (6) الأحواض الفرعية في حوض الموجب.

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

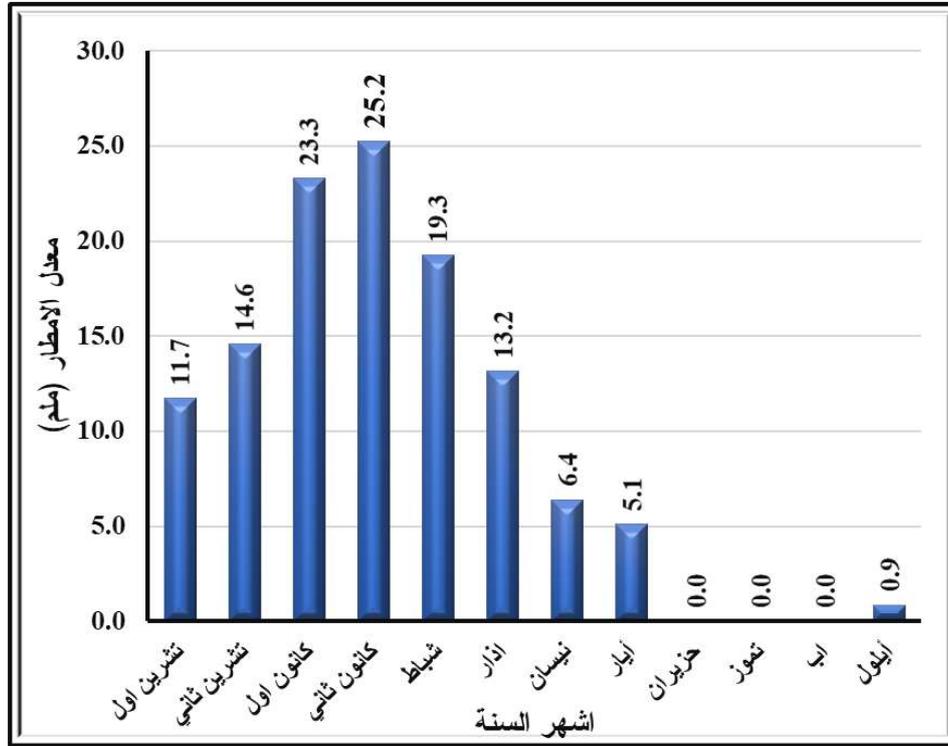
2. محاكاة الموازنة المائية السطحية.

وتتضمن الموازنة المائية السطحية عدة متغيرات تتحكم في كمية العجز أو الفائض المائي، حيث أنها 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 الآتية:

أ- الهطول (التساقط).

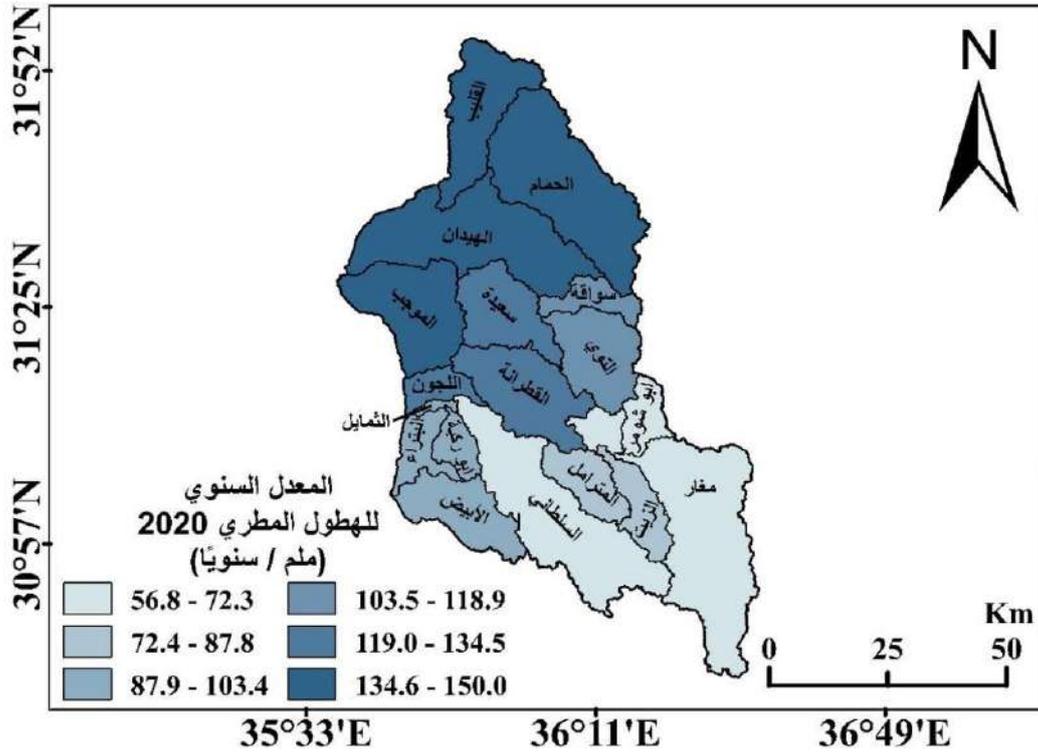
يعد الهطول المحرك الرئيسي للموازنة المائية في أي حوض مائي وذلك بسبب اعتماد بقية عناصر الموازنة عليه خاصة التبخر الفعلي والجريان السطحي. كما أن بعض العمليات النهرية تعتمد بشكل رئيسي على كميات الهطول وشدته مثل: الحث النهري بكافة أنواعه وانجراف التربة وانزلاقاتها.

وقد أظهرَ نموذج SWAT أن معدل كميات الهطول المطري خلال فترة الدراسة 119.6 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 25.2 ملم، في حين تفتقر أشهر الصيف خلال فترة الدراسة لأي كميات أمطار. ويظهر الشكل (7) التباين الزمني لمعدل الأمطار في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (7) التباين الزمني لمعدل الأمطار في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel
كما أظهرت نتائج SWAT أن الأحواض الفرعية الشمالية لحوض الموجب ذات معدل هطول مطري أعلى من بقية الأحواض، حيث بلغ أكثر من 119 ملم/ سنويًا. أما بقية الأحواض الفرعية فقد كان معدل الهطول المطري فيه أقلها كان من 103.4 ملم، وبلغ عدد تلك الأحواض 5 أحواض تواجدت في الأحواض الفرعية الجنوبية والجنوبية الشرقية. ويبين الشكل (8) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري المساحي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب لعام 2020م



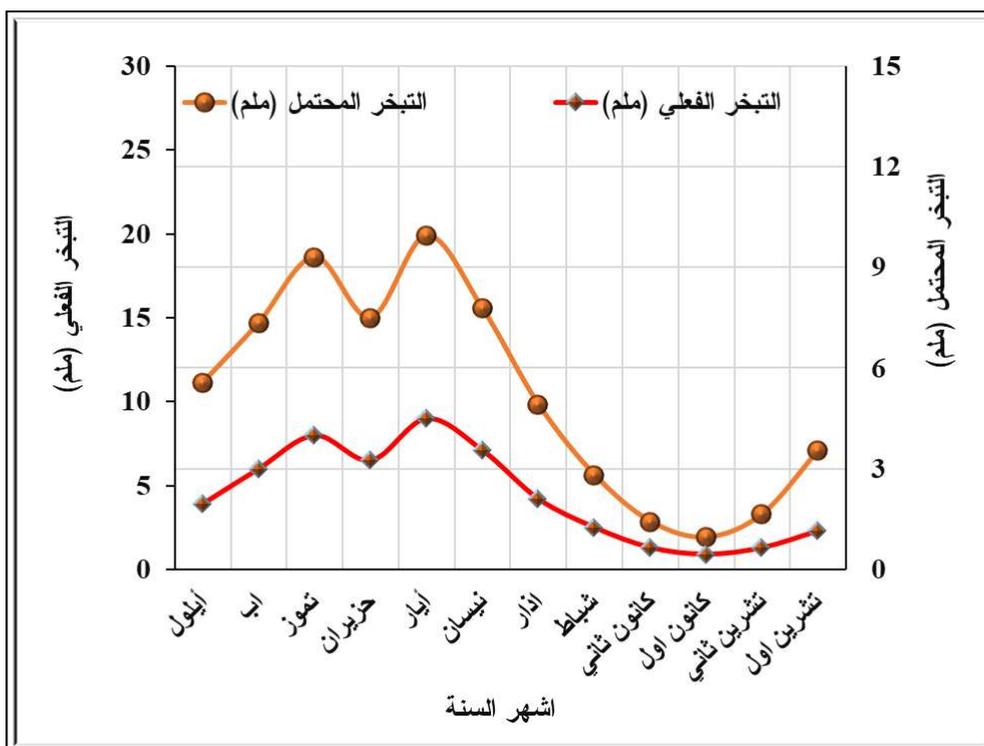
الشكل (8) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب

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

ب- التبخر.

يعرف التبخر بأنه تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ويعد التبخر من العمليات المهمة والأساسية عن التوازن 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 والمحمّل في حوض الموجب بلغ على التوالي 53 ملم و62.9 ملم خلال الفترة الممتدة ما بين 1985 و2020م. إلا أن هذه القيم تتباين زمنياً (خلال أشهر السنة) ومكانياً (ضمن أحواض الفرعية). كما أن التوزيع الزمني والمكاني للتبخر الفعلي والمحمّل يوصف بأنه متغاير، فقد كانت أعلى قيمة لمعدل التبخر الفعلي خلال شهر حزيران 9 ملم بينما بلغت أعلى قيمة لمعدل التبخر المحتمل في شهر حزيران 10 ملم، أما بالنسبة لأدنى قيمة لمعدل التبخر الفعلي 0.9 ملم في حين بلغت أدنى قيمة لمعدل التبخر المحتمل 1.0 ملم خلال شهر كانون أول. ويبين الشكل (9) قيم معدل التبخر الفعلي والمحمّل في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

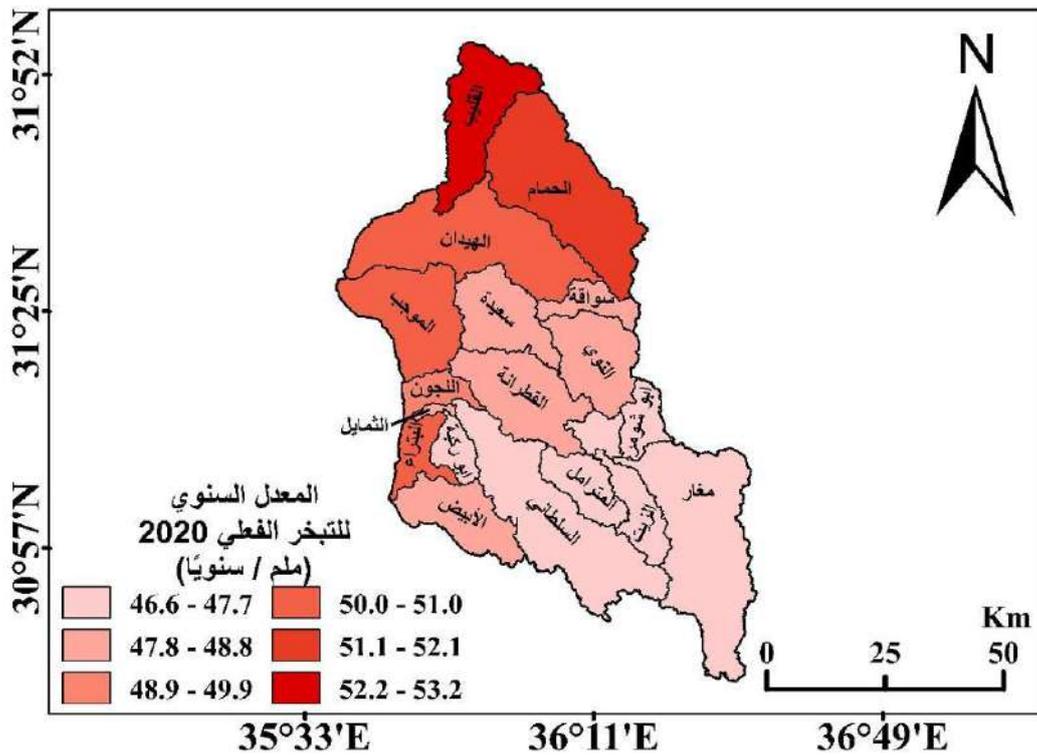


الشكل (9) قيم معدل التبخر الفعلي والمحتمل في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

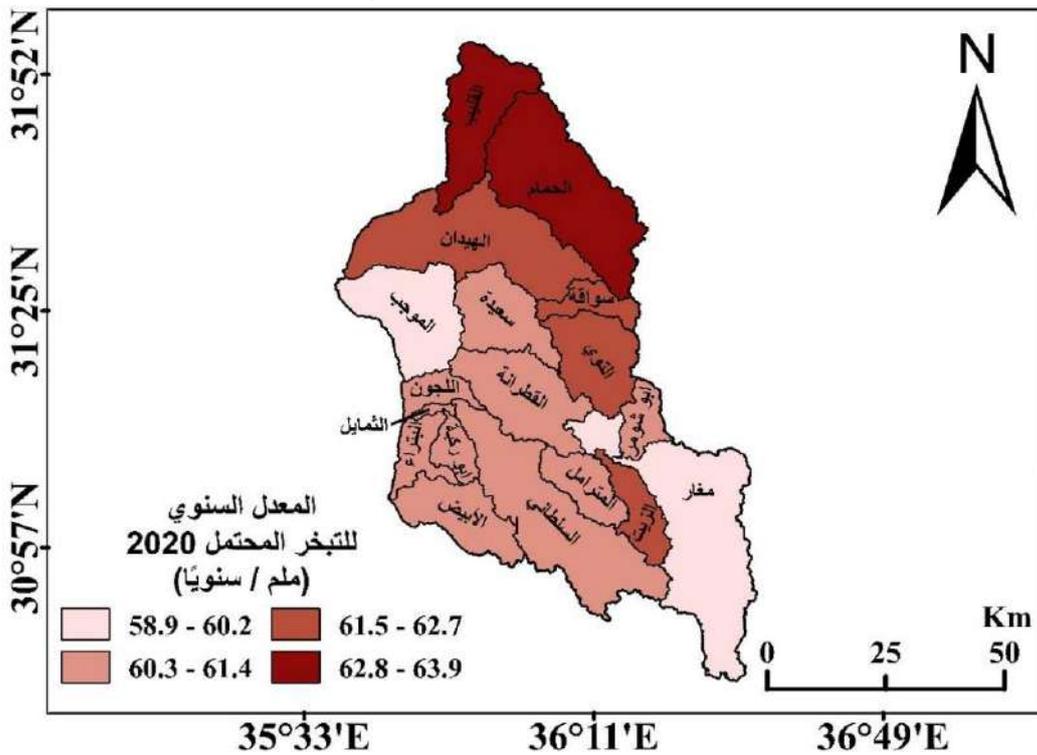
وبالنسبة للتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض الموجب في قيم التبخر الفعلي لعام 2020م فقد انضح أن الأحواض الشمالية وخاصة الشمالية الغربية والغربية والشمالية الشرقية منه ذات قيم تبخر فعلي أعلى من الأحواض الشرقية والجنوبية والجنوبية والشمالية منها، ويرد ذلك إلى أن الأحواض الشمالية وخاصة الشمالية الغربية والغربية ذات معدل هطول مطري أعلى من الأحواض الشرقية والجنوبية الشرقية. ويبين الشكل (10) التباين المكاني للتبخر الفعلي لعام 2020م في حوض الموجب.

وإما فيما يتعلق بالتباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل للأحواض الفرعية لحوض الموجب فقد لوحظ توافقاً نوعاً 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 61.5 ملم. ويبين الشكل (10) التباين المكاني للتبخر المحتمل لعام 2020م في حوض الموجب.



الشكل (10) التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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

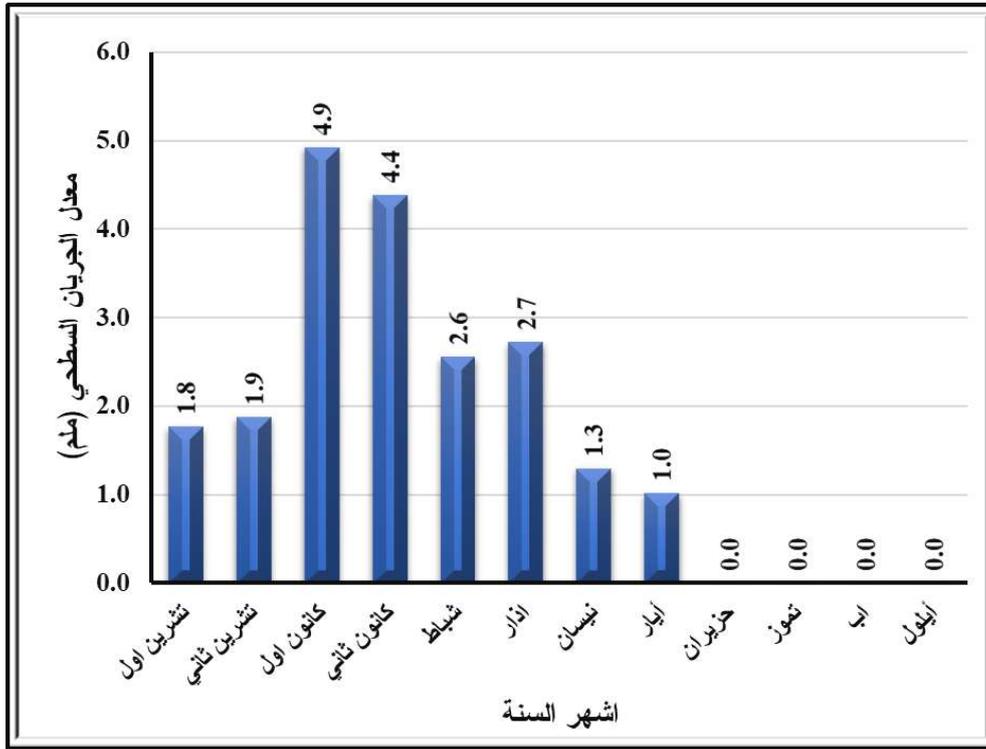


الشكل (10) التباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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

ج- الجريان السطحي.

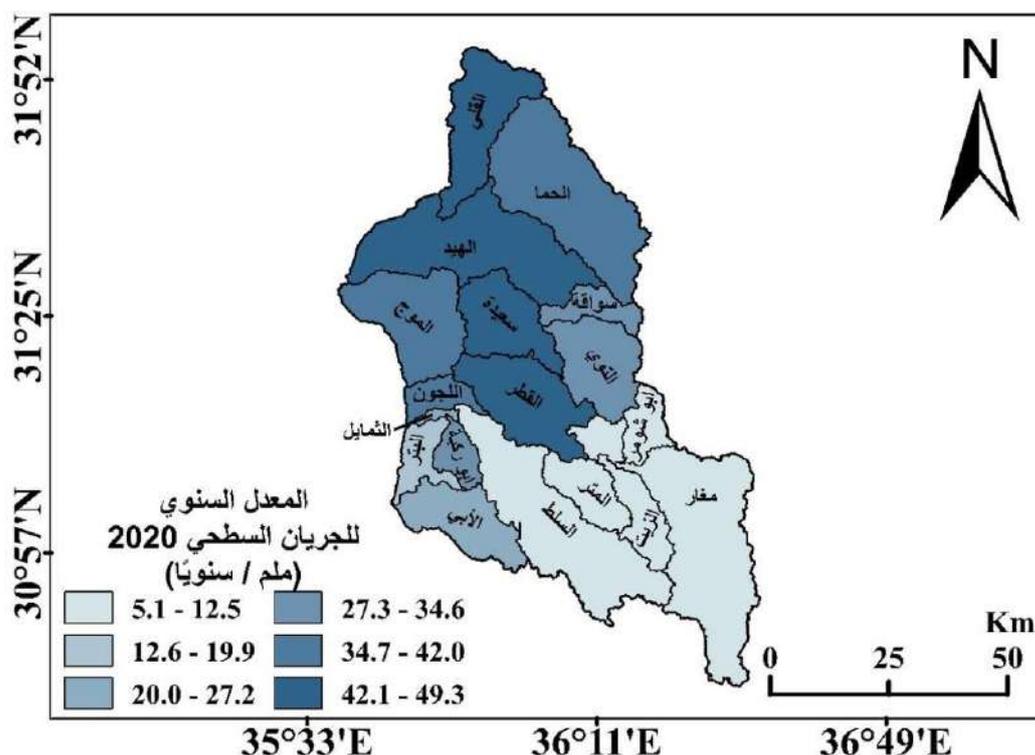
يعدُّ الجريان المحصلة النهائية بعد وصول الأمطار لسطح الأرض وفقدانها بواسطة التبخر والتسرب وامتصاصه من قبل الغطاء النباتي. وقد بلغت قيمته معدل الجريان السطحي 20.4 ملم على مدى فترة الدراسة الممتدة من عام 1985م وحتى 2020م. إلا أن قيمة الجريان السطحي تتباين بين أشهر السنة، حيث بلغ أعلى قيمة له في شهر كانون الأول والبالغة 4.9 ملم، في حين كانت أقل قيمة له خلال أشهر الصيف. ويظهر الشكل (11) التباين الزمني لمعدل الجريان السطحي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (11) التباين الزمني لمعدل الجريان السطحي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وبالنسبة للتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض الموجب في قيم الجريان السطحي لعام 2020م 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 (12) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



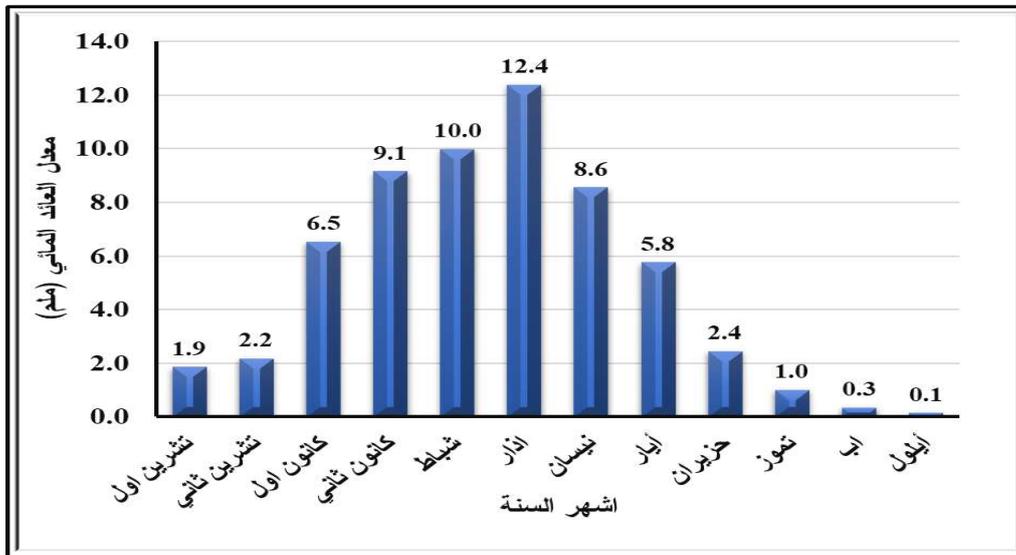
الشكل (12) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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

د- العائد المائي.

وتعرف بالغلة المائية أو الحصيلة المائية (Water Yield) والتي تعد بمثابة المحصلة النهائية والمستفادة من المياه الهاطلة على الحوض في استخداماتها المختلفة (الغميض، 2019). ويتأثر العائد المائي بعدة ظروف أسهمت في إحداث تباينًا واضحًا وجليًا بين الأحواض المائية خاصة الظروف المناخية بما في درجات الحرارة وكميات الهطول السنوي، بالإضافة طبيعة الغطاء الأرضي واستعمالاته ونوعية التربة والصخور.

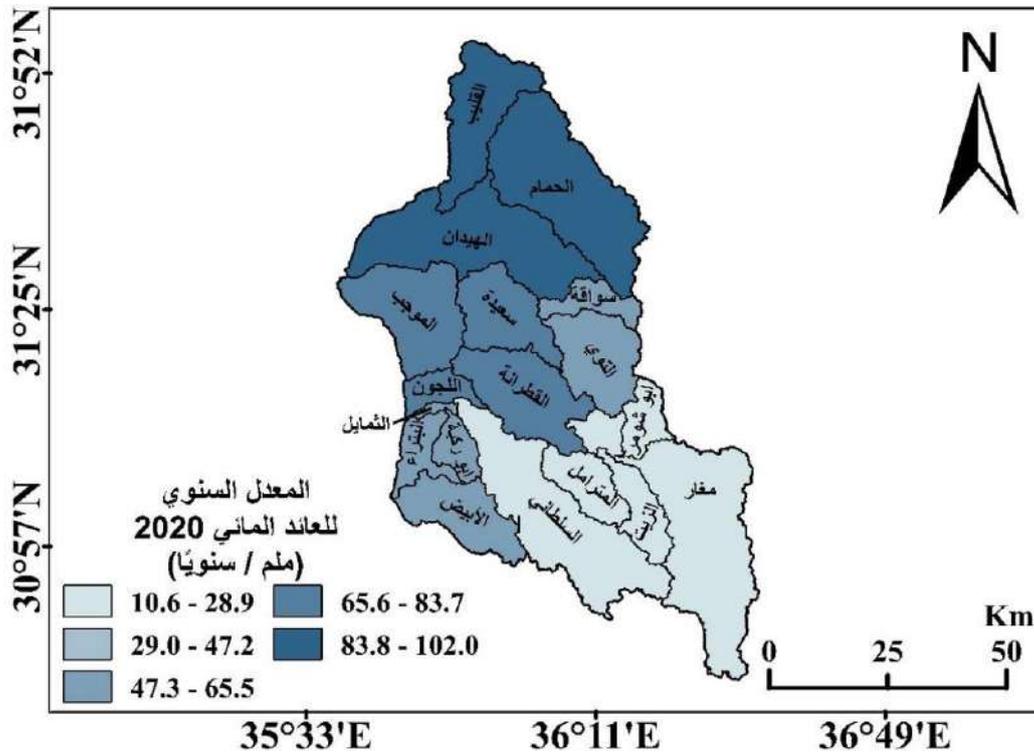
وقد أظهر تطبيق نموذج SWAT أن معدل العائد المائي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة 59.91 ملم، إلا أن هذه القيمة تتباين على مدار شهور السنة خلال فترة الدراسة، حيث بلغت أعلى قيمة له في شهر آذار 12.4 ملم، في حين كانت أقل قيمة 0.1 ملم وذلك خلال شهر أيلول. ويبين الشكل (13) التباين الزمني لمعدل العائد المائي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (13) التباين الزمني لمعدل العائد المائي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

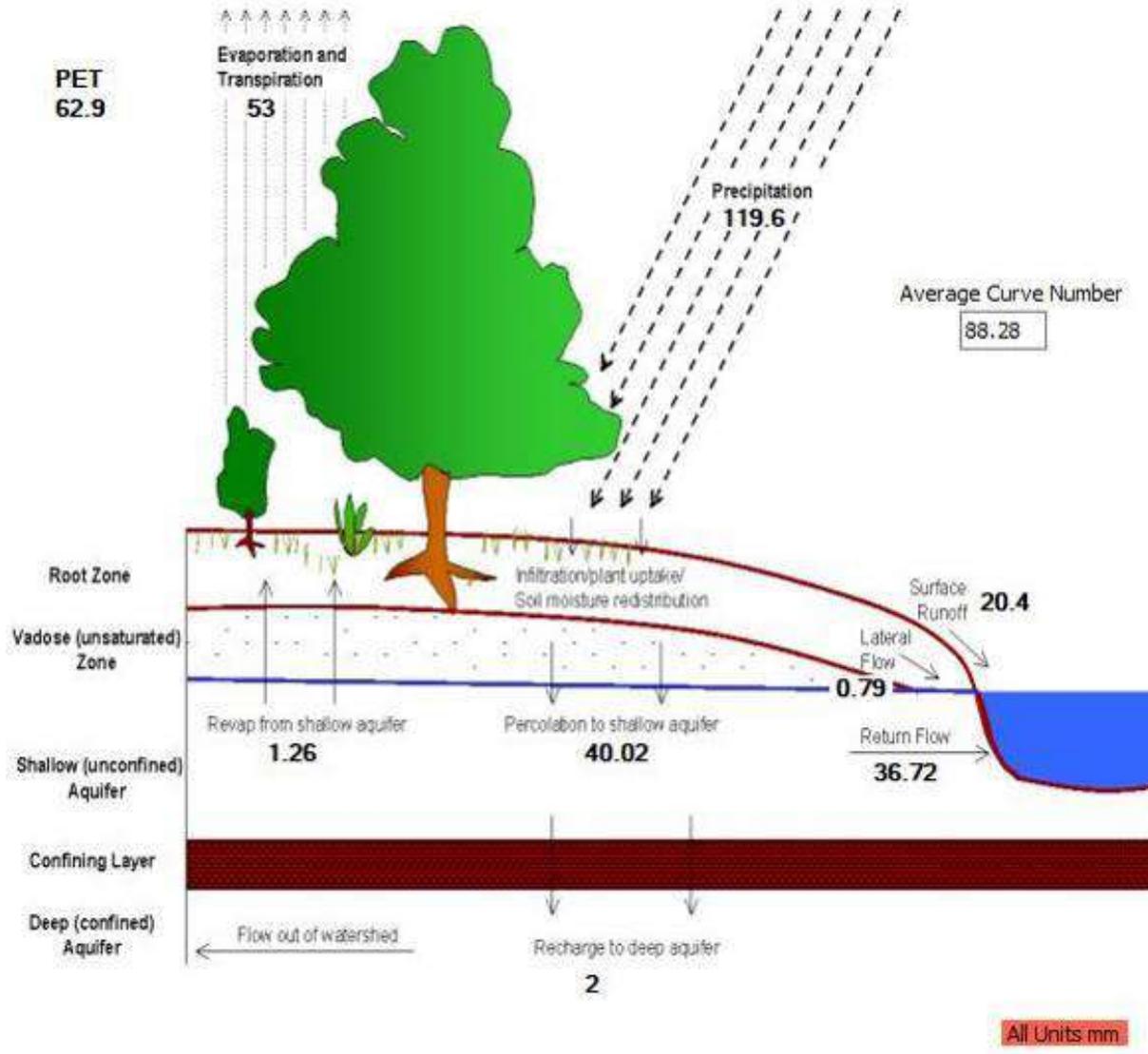
وبالنسبة للتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض الموجب في قيم العائد المائي لعام 2020م فقد اتضح أن الأحواض الشرفية والجنوبية الشرقية منه ذات قيم أقل من الأحواض الشمالية والشمالية الغربية منها، ويرد ذلك إلى أن الأحواض الشمالية والشمالية الغربية ذات معدل هطول مطري أعلى من الأحواض الجنوبية والشرقية. ويظهر الشكل (14) التباين المكاني لمعدل العائد المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (14) التباين المكاني لمعدل العائد المائي بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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 الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (15) نمذجة الواقع الهيدرولوجي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث وهو أحد مخرجات نموذج SWAT

ثالثاً- محاكاة الظروف الهيدرولوجية السطحية المستقبلية لحوض الموجب.

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 الموجب؛ 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 اعتباطياً، 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 الموجب، وذلك لبيان تأثير التغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية له. وفيما يلي عرض للنتائج:

1. التبخر.

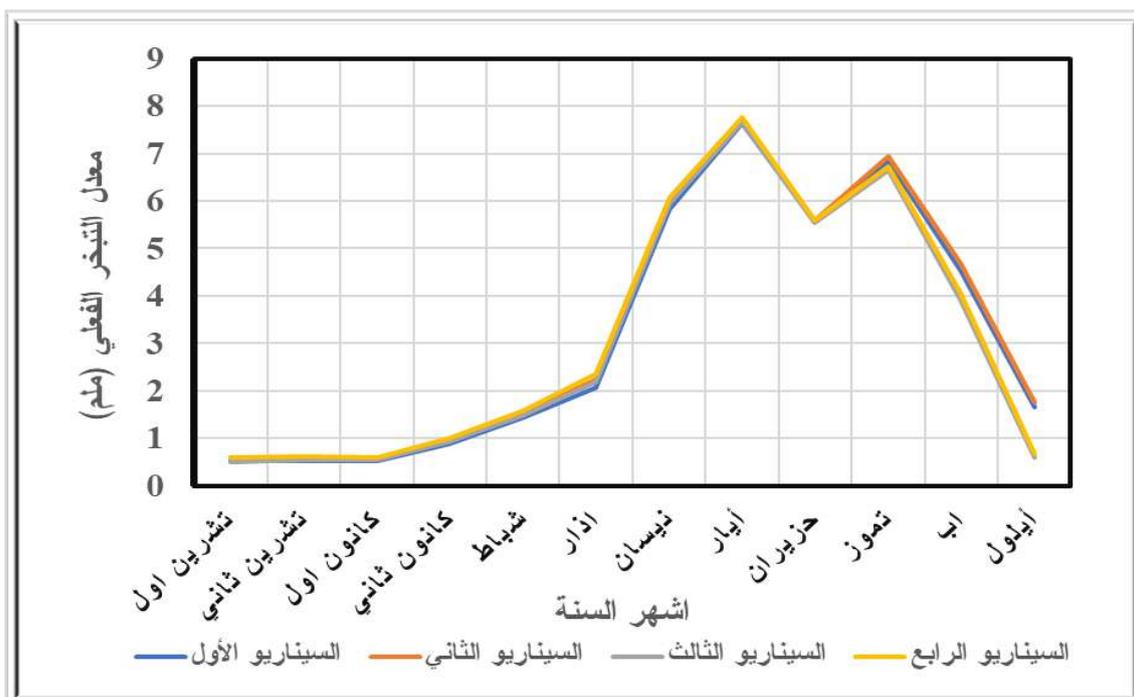
يعد معرفة السلوك المستقبلي للتبخر بشقيه: الفعلي والمحتمل أمر في غاية الأهمية؛ لارتباطه بالاتزان الحراري للأرض. وفي ضوء السيناريوهات التراكمية للتغير المناخي المطبقة في هذه الدراسة، نلاحظ التباين بين القيم المستوفاة منها، فالنسبة للتبخر الفعلي فقد كان السيناريو الثالث ذو القيمة الأقل من بين السيناريوهات الأخرى، فقد بلغت قيمته 36.6 ملم سنويًا، في حين كان السيناريو الثاني هو الأكثر قيمةً، فقد بلغت قيمة التبخر الفعلي فيه 39.2 ملم سنويًا. وأما بالنسبة للتبخر المحتمل فقد كانت أقل قيمه في السيناريو الأول والتي بلغت 62.5 ملم سنويًا، في حين بلغت قيمه في السيناريو الثالث والرابع 63.7 ملم سنويًا. ويبيّن الجدول (6) معدل التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان لحوض الموجب بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

الجدول (6) معدل التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان لحوض الموجب بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

م	السيناريوهات	معدل التبخر الفعلي المتوقع		المعدل المطري المتوقع (ملم سنويًا)
		(ملم سنويًا)	%	
1	الأول	38.1	35.4	107.5
2	الثاني	39.2	29.8	131.5
3	الثالث	36.6	34.1	107.5
4	الرابع	37.7	28.7	131.5

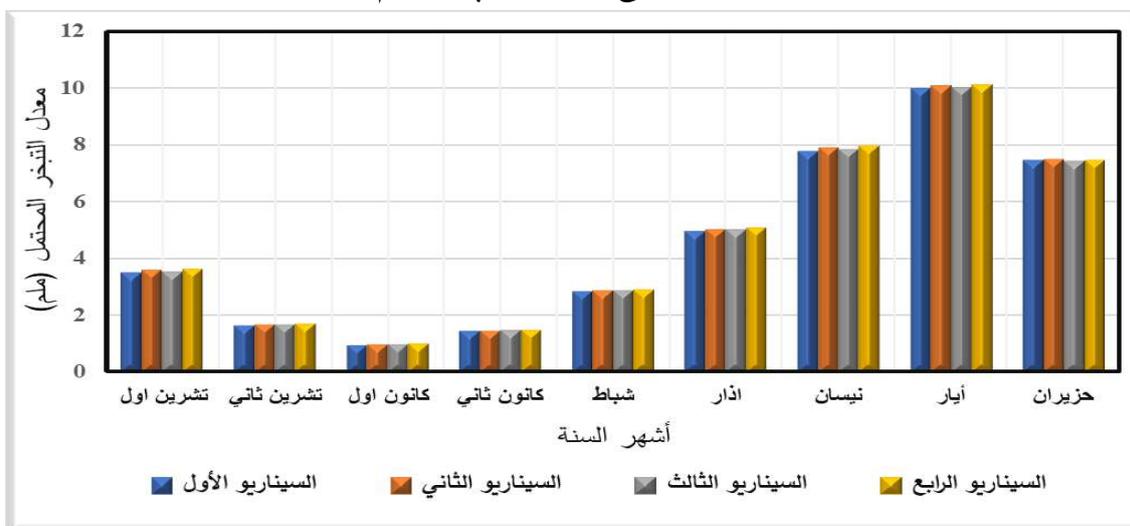
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

وفيما يتعلق بالتباين الزمني الشهري للتبخر الفعلي، فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التدريجية 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 2021 وحتى 2030م. وأما بالنسبة للتباين الزمني الشهري لمعدل التبخر المحتمل المتوقع في ضوء تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية، فقد تبين أن شهر أيار كان أكثر شهور السنة في معدل التبخر المحتمل المتوقع، في حين كان شهر كانون الأول هو الأقل. ويظهر الشكل (20) و(21) التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.



الشكل (16) التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر الفعلي المتوقع في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

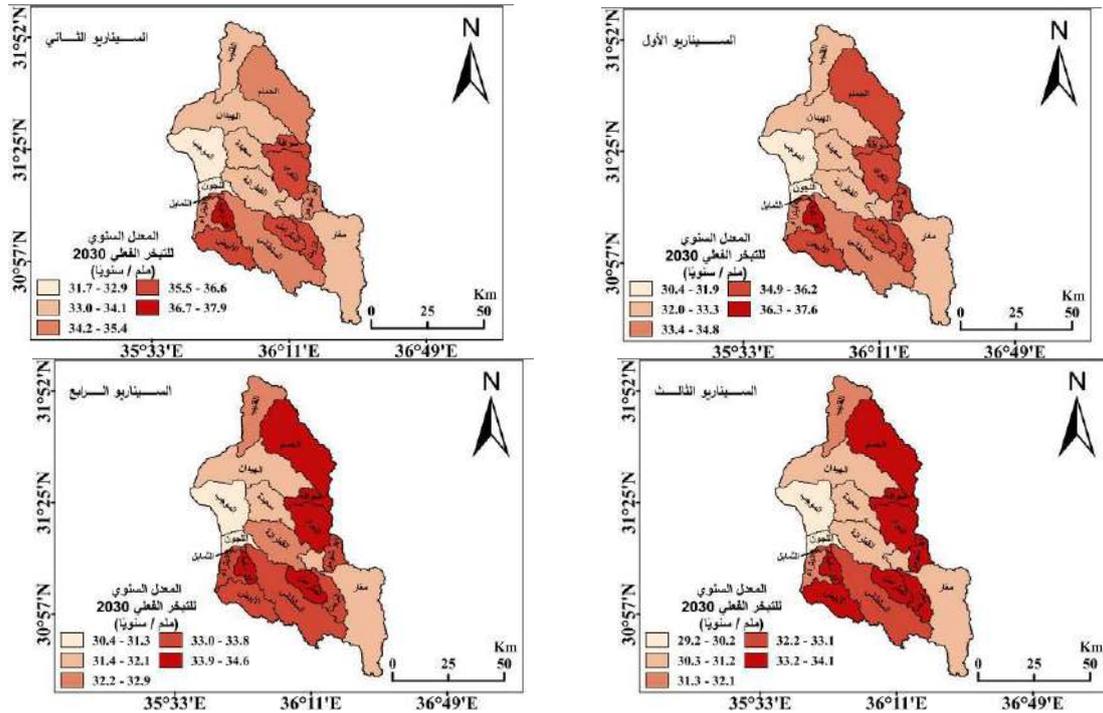


الشكل (17) التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر المحتمل المتوقع في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

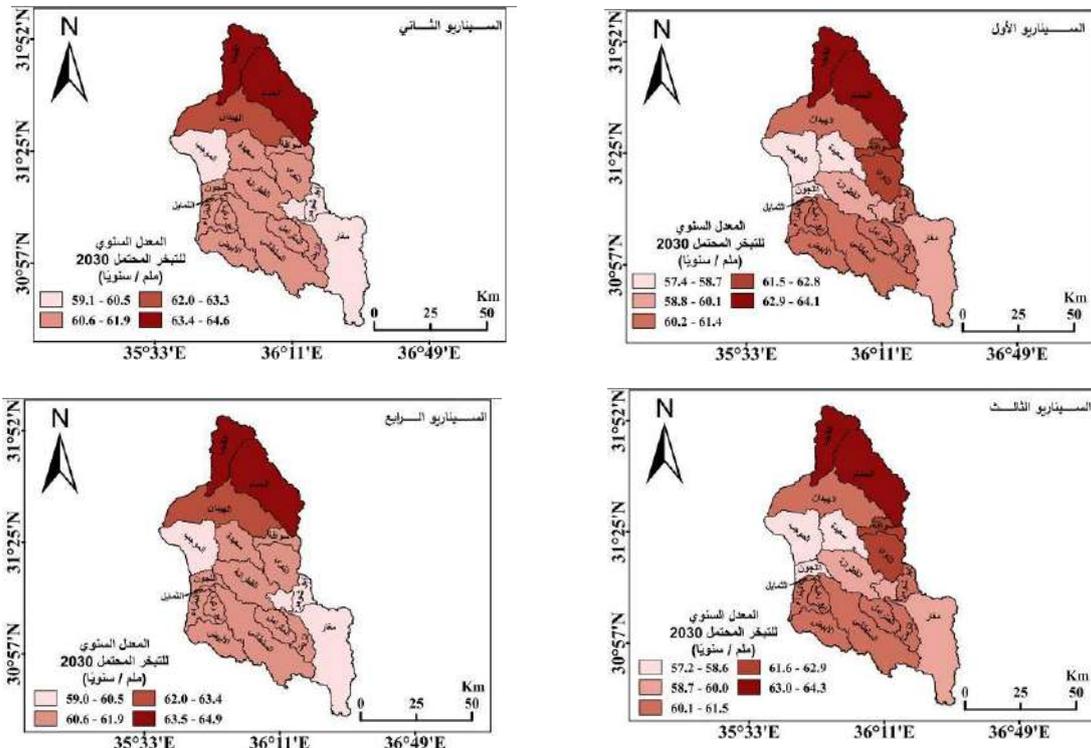
وبالنسبة للتباين المكاني للمعدل السنوي المتوقع للتبخر الفعلي في الأحواض الفرعية لحوض الموجب لعام 2030م، فقد اتضح أن الأحواض الفرعية الشمالية الشرقية والشرقية والجنوبية الغربية كانت أكثر الأحواض الفرعية في قيم معدل التبخر الفعلي، حيث تراوح فيه معدل التبخر الفعلي المتوقع ما بين 32.2 و37.9 ملم سنويًا. في حين كان حوضي وادي الموجب واللجون هما الأقل، فقد تراوح فيهما معدل التبخر الفعلي المتوقع ما بين 29.2 و30.2 ملم سنويًا. وعلى النقيض من التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي المتوقع كان التباين المكاني لمعدل التبخر المحتمل، فقد كان الأحواض الشمالية أكثر الأحواض الفرعية لحوض الموجب في قيمة معدل التبخر المحتمل المتوقع، والتي تراوحت فيه ما بين 62.9 ملم سنويًا و64.9 ملم سنويًا، كما أظهرت نتائج تطبيق السيناريوهات أن حوض وادي

الموجب هو الأقل في معدل التبخر المحتمل في كافتها، حيث تراوح فيه ما بين 57.2 و60.5 ملم سنويًا. ويظهر الشكل (22) و(23) التباين المكاني السنوي لمعدلي التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (18) التباين المكاني السنوي لمعدل التبخر الفعلي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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



الشكل (19) التباين المكاني السنوي لمعدل التبخر المحتمل المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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

2. الجريان السطحي.

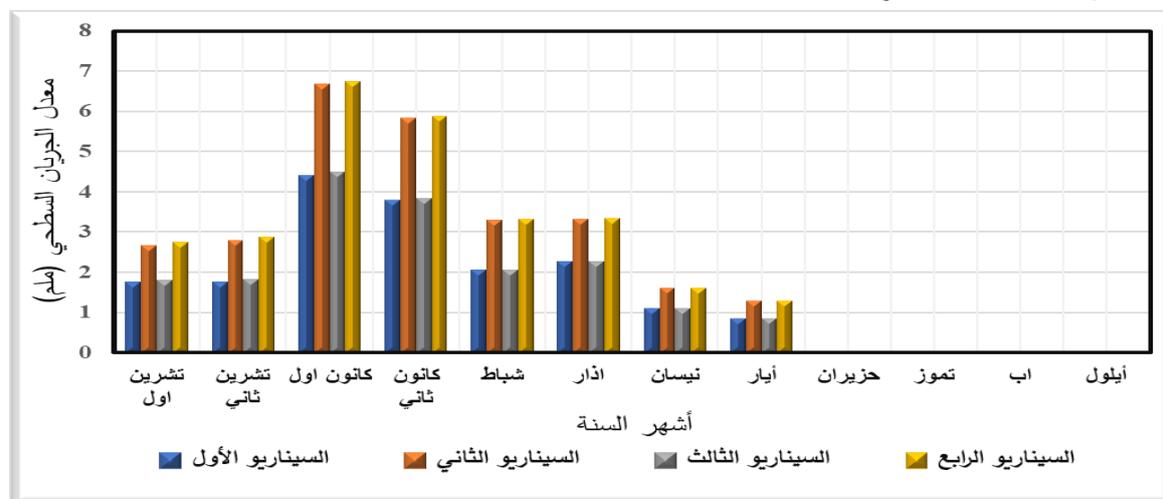
يُعدُّ التنبؤ بالجريان السطحي من الأمور بالغة الأهمية، حيث تسهم في معرفة مدى الجدوى من إنشاء المشاريع المائية المستقبلية، كمشاريع الحصاد المائي بما فيه الحفائر الترابية والسدود الإسمنتية. ويتأثر الجريان السطحي بالتغير في درجات الحرارة وكميات الهطول المطري، وعليه فأنه هو المتأثر الأول من التغير المناخي، سواء تأثراً إيجابياً من حيث زيادة كمية الجريان السطحي، أو سلبياً من حيث تناقص كميته. وقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية تأثير الجريان السطحي بالتغير المناخي المتوقع، فقد بلغت أقصى قيمة له أثناء السيناريو الرابع بقيمة بلغت 27.82 ملم سنوياً بفارق بسيط جداً عن قيمته في السيناريو الثاني والذي بلغ فيه 27.52 ملم سنوياً، في حين كان السيناريو الثالث هو الأقل بقيمة بلغت 18 ملم سنوياً. وبين الجدول (7) قيم معدل الجريان السطحي المتوقع المستقبلي في حوض الموجب بناء على سيناريوهات التغير المناخي التراكمية.

الجدول (7) معدل الجريان السطحي المتوقع لحوض الموجب بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	معدل الجريان السطحي المتوقع	
		المعدل المطري المتوقع (ملم سنوياً)	(ملم سنوياً) %
1	الأول	107.5	16.7
2	الثاني	131.5	20.9
3	الثالث	107.5	17
4	الرابع	131.5	21.2

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

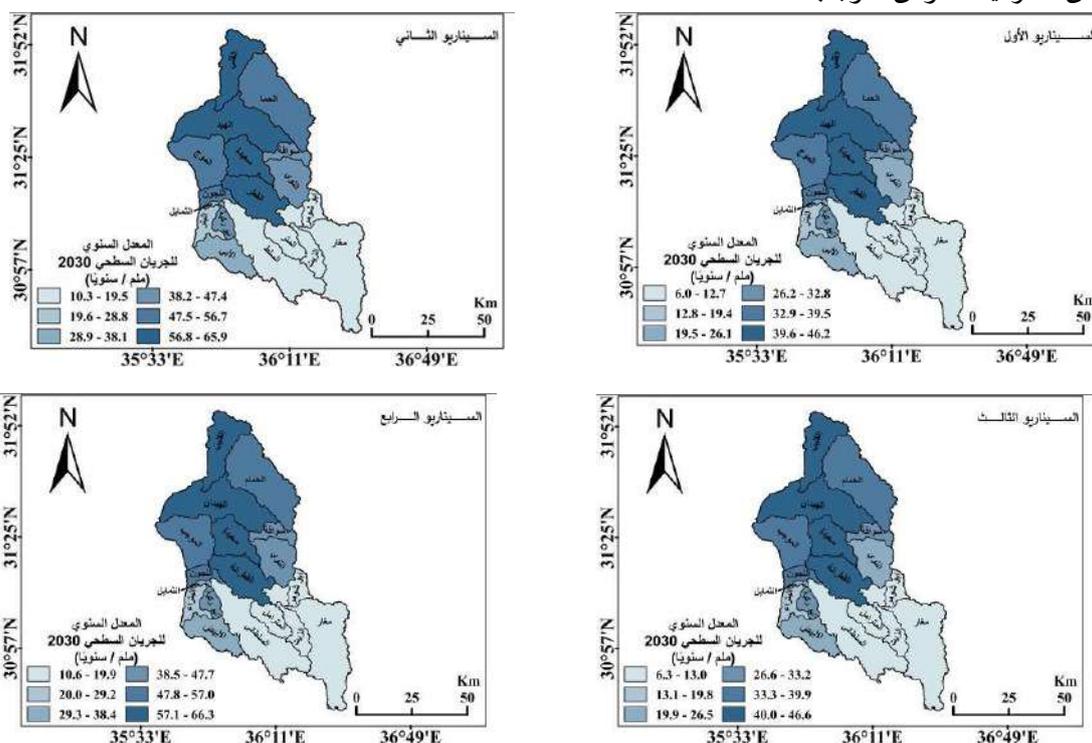
وأما بالنسبة للتباين الزمني الشهري للجريان السطحي المتوقع فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية أنّ شهر كانون الأول كان الأكثر معدلاً للجريان السطحي من بقية أشهر السنة في كافة السيناريوهات، في حين كانت أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) وشهر أيلول هي الأقل في معدل الجريان السطحي المتوقع وذلك بحكم انعدام الهطول المطري خلالها. ويوضح الشكل (24) التباين الزمني الشهري لمعدل الجريان السطحي المتوقع في حوض الموجب خلال فترة الدراسة (2021 - 2030).



الشكل (20) التباين الزمني الشهري لمعدل الجريان السطحي المتوقع في حوض الموجب 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 الموجب، 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 الشمالية والشمالية الغربية في صدارة الأحواض الفرعية في معدل الجريان السطحي المستقبلي، وهذه الأحواض هي: القليب والحمام والهيذان، وقد تراوح معدل الجريان السطحي المتوقع والذي تراوح ما بين 39.6 و66.3 ملم سنويًا. كما أظهرت النتائج المستسقة من السيناريوهات تماثل قيم معدل الجريان السطحي تقريبًا في الأحواض الفرعية لحوض الموجب بين كل من السيناريو الأول والثالث، والسيناريو الثاني والرابع، ويعود هذا التماثل في القيم إلى أنّ السيناريو الأول والثالث بلغ فيهما معدل الأمطار السنوي 107.5 ملم سنويًا، وفي السيناريو الثاني والرابع 131.5 ملم سنويًا، أي أنّ هنالك تماثل في قيم المعدل المطري أثناء فترة الدراسة. ويظهر الشكل (25) التباين المكاني السنوي لمعدل الجريان السطحي السنوي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (21) التباين المكاني السنوي لمعدل الجريان السطحي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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

3. الناتج المائي.

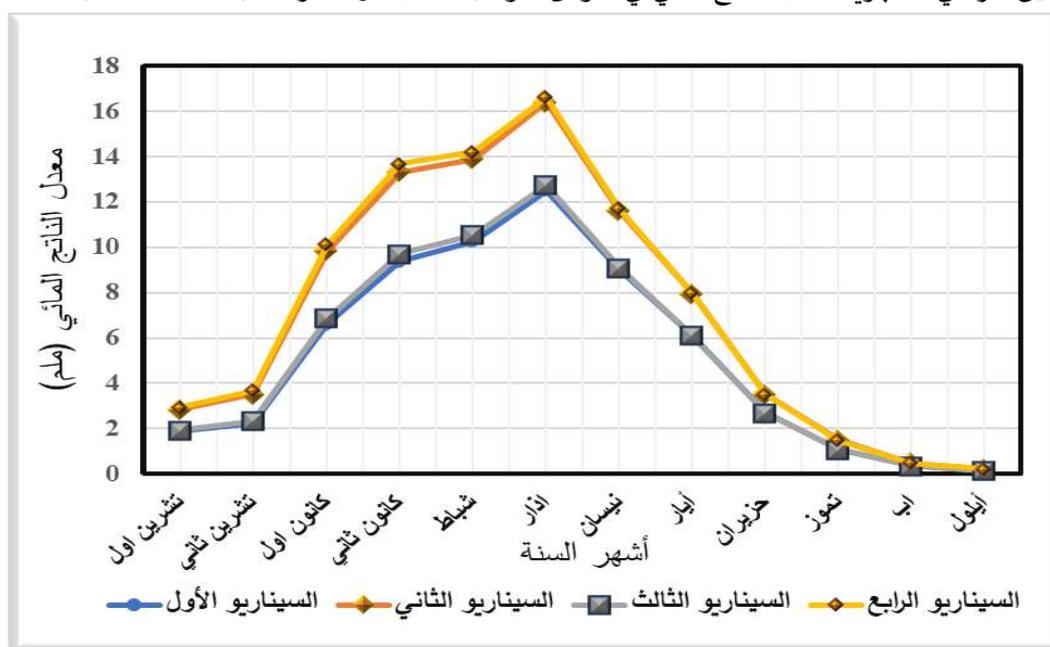
وكما أسفلت سابقاً فإن الناتج المائي هو بمثابة المحصلة النهائية للماء، أي أنّها المياه الزرقاء والتي تشير إلى إجمالي الجريان السطحي والباطني والتغذية الجوفية (السوالمة، 2008). وقد أظهر تطبيق أسلوب سيناريوهات التغير المناخي التراكمية بأنّ السيناريو الرابع كان أكثر السيناريوهات في معدل الناتج المائي المتوقع، حيث بلغ فيه 65.8% من إجمالي المعدل المطري الهاطل المتوقع على حوض الموجب. كما أظهرت السيناريوهات أنّ السيناريو الأول ذو أقل قيمة في معدل الناتج المائي المتوقع خلال فترة الدراسة. وبين الجدول (8) قيم معدل الناتج المائي المتوقع المستقبلي في حوض الموجب بناء على سيناريوهات التغير المناخي التراكمية.

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

الرقم	السيناريوهات	معدل الناتج المائي المتوقع	
		المعدل المطري المتوقع (ملم سنويًا)	(ملم سنويًا) %
1	الأول	107.5	62.33
2	الثاني	131.5	85.1
3	الثالث	107.5	63.77
4	الرابع	131.5	86.59

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

وأما فيما يتعلق بالتباين الزمني الشهري للناتج المائي في حوض الموجب، فقد أوضح تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية أنّ شهر آذار كان أكثر شهور السنة في معدل الناتج المائي الشهري المتوقع، وذلك في السيناريو الرابع بقيمة بلغت 16.6 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 الموجب خلال فترة الدراسة (2021 - 2030).

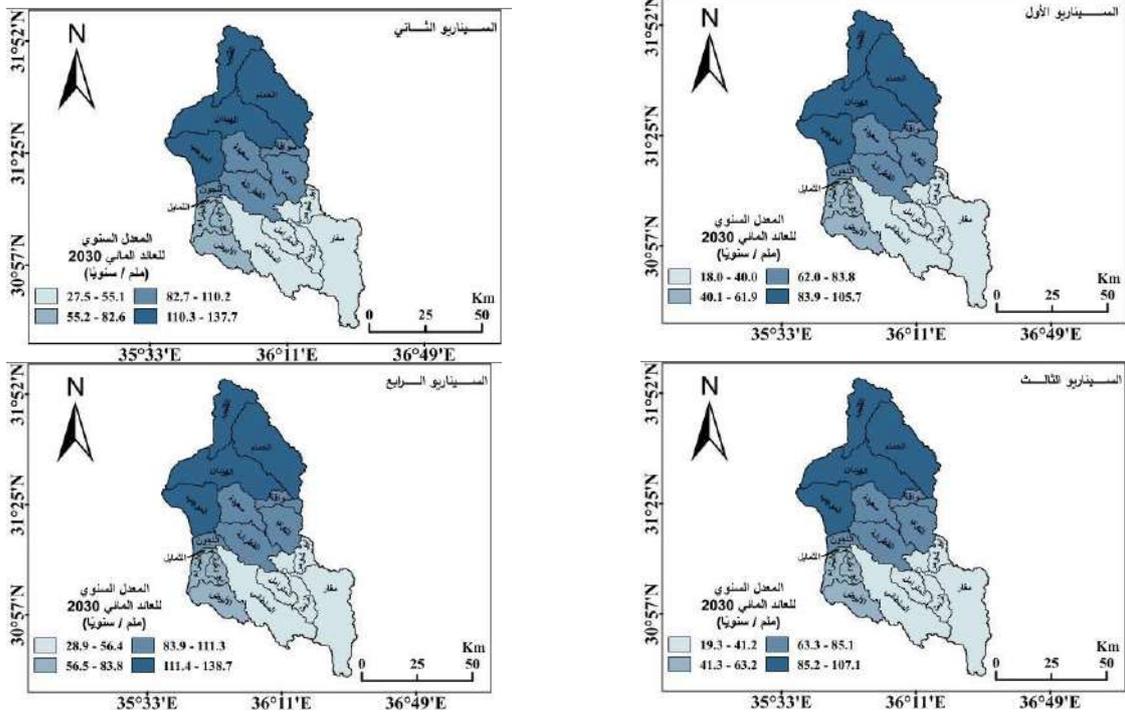


الشكل (22) التباين الزمني الشهري لمعدل الناتج المائي المتوقع في حوض الموجب خلال فترة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وفيما يتعلق بالتباين المكاني لمعدل الناتج المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب، 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 الشمالية والشمالية الغربية في صدارة الأحواض الفرعية في معدل الناتج المائي المستقبلي، وهذه الأحواض هي: القلب والحمام والبهدان، وقد كان حوض وادي المديسست هو الأكثر من بينها في معدل الناتج المائي المتوقع والذي تراوح ما بين 18.5 و39.7 ملم سنويًا. كما أظهرت

النتائج المستسقة من السيناريوهات تماثل قيم معدل الناتج المائي المتوقع في الأحواض الفرعية لحوض الموجب بين كل من السيناريو الأول والثالث، ويعود هذا التماثل في القيم إلى أن السيناريو الأول والثالث بلغ فيهما معدل المطر السنوي 107.5 ملم سنويًا. ويظهر الشكل (27) التباين المكاني السنوي لمعدل الناتج المائي السنوي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.



الشكل (23) التباين المكاني السنوي لمعدل الناتج المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض الموجب.

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

الاستنتاجات 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 إيجابيًا أو سلبيًا من حيث بناء مشاريع مائية قصيرة أو طويلة الأجل لتنميتها.

حيث أظهرت نتائج الدراسة أن حوض الموجب المصنف ضمن الأحواض الجافة في الأردن، يتلقى سنويًا من كميات الهطول المطري ما تبلغ 119.6 ملم سنويًا. إلا أن هذا المجموع المطري لحوض الموجب يتباين بين أحواضه الفرعية، فقد كان حوضي وادي الهيدان والقلب هما الأكثر تلقيًا للهطول المطري من الأحواض الأخرى، حيث بلغ فيه ما بين 85.3 و101.6 ملم سنويًا. كما أوضحت نتائج الدراسة أن أعلى معدل للتبخر الفعلي كان أثناء شهر تموز، في حين كان أعلى معدل للتبخر الكامن (المحتمل) أثناء شهر حزيران. كما اتضح أن حوض وادي راجل هو أكثر أحواض أودية الموجب في معدل التبخر الفعلي (الحقيقي)، في حين كان حوض وادي القشة أكثر الأحواض في معدل التبخر المحتمل (الكامن). وأظهرت الدراسة أيضًا أن أكثر شهور السنة إنتاجًا للماء أو ما يعرف بالعائد المائي وهي ناتج

مختلف العمليات التي تؤثر على كميات المياه الهائلة على الحوض سواء بالتبخر أو التسرب وغيرها كان شهر آذار. كما كانت الأحواض الشمالية والشمالية الغربية لحوض الموجب ذات المعدل الأعلى في العائد المائي لعام 2020م. أما بالنسبة لأثر التغير المناخي على الظروف الهيدرولوجية، فقد أظهرت نتائج الدراسة أن 62.5% من مجمل الأمطار الهائلة على حوض الموجب خلال الفترة الممتدة بين 2021 و2030 يذهب سدىً بواسطة عملية التبخر الفعلي وذلك أثناء السيناريو الأول وهي الأقل، حيث بلغت أعلى قيمة للتبخر الفعلي في حوض الموجب خلال فترة الدراسة 63.7% أثناء السيناريو الرابع. ولم تختلف نتائج الدراسة فيما يتعلق بالعائد المائي، فقد كان السيناريو الرابع ذو القيمة الأكثر في العائد المائي بنسبة بلغت 65.8% من مجمل الأمطار الهائلة على حوض الموجب، في حين كان السيناريو الأول الأقل في نسبة العائد المائي، والتي بلغت 58% من إجمالي مجموع الأمطار. وفي ضوء نتائج الدراسة فإنها 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.

قائمة المراجع.

أولاً- المراجع باللغة العربية.

1. دائرة الأرصاد الجوية الأردنية. (2019). بيانات مناخية، عمان، الأردن.
2. 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.
3. سلطة المصادر الطبيعية، (1997)، خرائط جيولوجية 1:50000، عمان، الأردن.
4. السوالمه، محمد. (2008). كفاءة الناتج المائي في أحواض وادي العرب ووادي كفرنجة ووادي شعيب. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة مؤتة، الكرك، الأردن.
5. طارق، الغنمين. (2018). تقييم المصادر المائية في حوض وادي عربة الشمالي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وأدوات تقييم المياه والتربة. أطروحة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
6. العرود، إبراهيم. (2002). مبادئ الجغرافيا الطبيعية، الطبعة الأولى، عمان: دار الشروق.
7. العمري، علاء. (2017). تقييم الموارد المائية في حوض وادي شعيب باستخدام النماذج الهيدرولوجية وتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة اليرموك، اربد، الأردن.
8. الغميص، عاطف. (2019). أثر التغير المناخي المتوقع على الموارد المائية ضمن أربعة أحواض مائية في الأردن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
9. الغميص، عاطف. (2021). تقدير الواقع الهيدرولوجي لأراضي حوض الموجب باستخدام نموذج تقييم التربة والمياه وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. مجلة جامعة الحسين بن طلال، 8 (1)، ص63-83.
10. غيث، دعاء. (2010). تقييم تدهور الأراضي في منطقة قضاء الضليل باستخدام المرئيات الفضائية. رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

11. المركز الجغرافي الملكي. (1997). خرائط طبوغرافية مقياس 1:50000، عمان، الأردن.
12. النوايسة، سامر. (2017). تحليل وتصنيف الخصائص المورفومترية لأحواض أودية قاع الأزرق باستخدام نظام المعلومات الجغرافي لأغراض دعم خطط إدارته البيئية المتكاملة. دراسات-العلوم الإنسانية، 44 (4)، ص 63-83.
13. وزارة البيئة الأردنية. (2009). التقرير السنوي، عمان، الأردن.
14. وزارة الزراعة الأردنية. (1994). المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، المستوى الأول، عمان، الأردن.

ثانياً- المراجع باللغة الإنجليزية.

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Ibrahim, K., & El-Naqa, A. (2018). Inverse geochemical modeling of groundwater salinization in Azraq Basin. Jordan. Advances in Geosciences, 11(10), 236-251.
8. Jaber, M. (2012). Assessment of climate change impacts on water resources in Mujib Basin (central Jordan). Unpublished master Dissertation, Hashemite University. Zarqa- Jordan.
9. Mosbahi, M., Bendabdallah, S., & Boussema, M. (2013). Assessment of soil erosion risk using swat model. Arabian Journal of Geosciences, 6(10), 4011-4019.
10. 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.
11. 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.