

دراسة التغير في الظروف الهيدرولوجية لحوض عمان الزرقاء باستخدام سيناريوهات التغير المناخي التدريجية ونموذج تقييم التربة والماء والتقنيات الجيومكانية

Study the change in hydrological conditions for the Amman-Zraqa Basin, using incremental climate change scenarios, a soil and water assessment model, and geospatial techniques

عاطف الغميص

Atef Ghumaid

مديرية التربية والتعليم لمنطقة البادية الشمالية الشرقية، وزارة التربية والتعليم الأردنية، الأردن
Directorate of Education, Northern Badia District, Jordanian Ministry of Education, Jordan.

الباحث المراسل: atef05969@gmail.com

تاريخ التسليم: (2021/8/3)، تاريخ القبول: (2021/11/7)

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى توضيح اثر التغير في الظروف الهيدرولوجية لحوض عمان-الزرقاء باستخدام أسلوب السيناريوهات التدريجية (Incremental Scenarios) ونموذج تقييم التربة والمياه والتقنيات الجيومكانية؛ 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 قِبل 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. وتوصلت الدراسة إلى أن حوض عمان-الزرقاء يتلقى معدل مطري 293.2 ملم / سنوياً، يُفقد الجزء الأعظم منها بواسطة عملية التبخر، حيث أن 69.9% من مجمل الهطول المطري يذهب نتيجة عملية التبخر الفعلي، في حين أن الجريان السطحي يستأثر بـ 10.1% من إجمالي الهطول المطري. كما أوضحت الدراسة أن 21.7% من كميات الهطول المطري التي يتلقاها حوض عمان-الزرقاء تذهب لما يعرف بالعائد المائي (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 المفتاحية: نموذج تقييم التربة والمياه، حوض عمان الزرقاء، نظم المعلومات الجغرافية، الظروف الهيدرولوجية، الاستشعار عن بعد، التغير المناخي.

Abstract

This study aims to clarify the impact the climate change on the hydrological conditions of the Amman - Zarqa Basin using the gradual scenarios method, the soil and water assessment model, and geospatial techniques 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 Amman - Zarqa Basin receives a rainfall rate of 293.2 mm annually, the bulk of which is lost through the evaporation process, as 69.9% of the total precipitation goes to waste as a result of the actual evaporation, while the surface runoff accounts for 10.1 percent of the total precipitation. on the Amman - Zarqa Basin. The study also showed that 21.7 percent of the precipitation received by the Amman- Zarqa 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: Soil and Water Assessment Model, Amman-Zraqa basin, Remote Sensing, GIS, Hydrological conditions, Climate Change.

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 أثر إيجابي عليها أو سلبي. كما يتضح الاهتمام بأثر التغير المناخي على الموارد المائية من خلال ارتباطه بمصدر القوت اليومي للإنسان، ومن خلال التأثير 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 (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 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 معارضين ومناصرين لآثار النشاطات البشرية على التغير المناخي.

ويعدُّ الأردن من البلدان محدودة الموارد المائية إن لم يكن أفقرها؛ بحكم الظروف الهيدرولوجية والمناخية السائدة 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 (العمرى، 2017). ويعزى هذا التزايد في الطلب على الموارد المائية بالدرجة الأولى إلى الزيادة السكانية بنوعيتها: 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 مناطق سيادة المناخ الجاف وشبه الجاف والتي تتصف بقلة أمطارها وتذبذبها وانتشارها على شكل بقعي.

وتتمحور مشكلة الدراسة وأهميتها في أن حوض عمان-الزرقاء يُعدُّ أحد الأحواض المائية الرئيسية في الأردن والواقع في الجزء الغربي منه، والذي يعدُّ المورد الأساسي لتزويد التجمعات السكانية في شمال ووسط المملكة، وهي اربد والزرقاء ومادبا، وأن 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 اختلال 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 يرتادها السياح وهواة التنزه بحكم التنوع الجيومورفولوجي والطبوغرافي.

لذا سوف يتم العمل على محاكاة الظروف الهيدرولوجية للموارد المائية في الحوض سواء السطحية منها أو الجوفية باستخدام ملحق ArcSwat ضمن بيئة برنامج ArcGis 10.6، بهدف

إجراء تقدير للواقع الهيدرولوجي في منطقة الدراسة مما يعمل على تسهيل مهمة صناع القرار في اتخاذ الإجراءات والسياسات المناسبة والهادفة إلى مواجهة الانخفاض المتوقع في الهطول المطري والذي تشير له النماذج المناخية؛ نتيجة زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو، ما ينجم عنه تغيرات في كل من رطوبة التربة والجريان السطحي. وقد تم الاستعانة باداء تقييم التربة والمياه بسبب قدرتها على محاكاة الموازنة المائية سواء السطحية أو الباطنية ومختلف عملياتها ضمن المساحة الطبيعية الممثلة للأحواض المائية. (الغميض، 2021).

وتتركز أهداف الدراسة في التعرف على الظروف الهيدرولوجية الحالية والموارد المائية السطحية لحوض عمان الزرقاء. كما تهدف الدراسة إلى توضيح أثر التغير المناخي المتوقع على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية السطحية في حوض عمان-الزرقاء 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 عمان-الزرقاء على التحقق من صحة افتراضين هاميين؛ هما: (1) لن يكون هنالك تأثير للتغير المناخي المحتمل على الظروف الهيدرولوجية والموارد المائية في حوض عمان الزرقاء، (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 التغييرات 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, et al 2017) وضع مقياس كمي للتصريف والانجراف باستخدام أداة تقييم التربة والمياه في حوض وادي شليف، وخلص 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%.

كما قام الغميض (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.

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.

منهجية الدراسة وأساليب المعالجة

استخدمت هذه الدراسة المنهج الوصفي والتحليلي الكمي والمنهج التاريخي 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 عمان-الزرقاء 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 وأم الجمال وعمان وجرش وقصر المنشية وصويلح والمفرق وقصر الحلابات وقصير عمرة والحמידية وصباحا والسلط، ضمن مقياس رسم (1:50000). (المركز الجغرافي الملكي، 1997).
 - خريطة التربة (1993) وهي: لوحات أم القطين وأم الجمال وعمان وجرش وقصر المنشية وصويلح والمفرق وقصر الحلابات وقصير عمرة والحמידية وصباحا والسلط، ضمن مقياس رسم (1:50000). (المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993).
 - خرائط جيولوجية (1997) وهي: لوحات أم القطين وأم الجمال وعمان وجرش وقصر المنشية وصويلح والمفرق وقصر الحلابات وقصير عمرة والحמידية وصباحا والسلط، ضمن مقياس رسم (1:25000). (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 استعماله 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، بحيث توزع كل فئة من الفئات الى التوزيع النظامي لها، بحيث يتم وضع كل خليه في الصنف الأكثر احتمالية له، بالاستناد على قيم انعكاس هذه الخلايا (غيت، 2010). وقد تم تصنيف أراضي حوض عمان-الزرقاء وفق نظام تصنيف أندرسون لاستعمالات الأراضي (Anderson Land Use Classification)، مع إجراء بعض التعديلات لتناسب ظروف منطقة الدراسة. وقد تم لاستعانة بمناطق التدريب (Training Area) والتي تمثل أصناف الأغطية الأرضية واستعمالاتها في حوض عمان-الزرقاء؛ وذلك ليتم تصنيف أراضي الحوض وفقها من خلال القيم الانعكاسية لها. وتم استخلاص الغطاء الأرضي واستعمالاته ودقته لحوض عمان-الزرقاء وفق الجدول (2) و(3). (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>).

جدول (1): محدّدات المرئيات الفضائية لحوض عمان-الزرقاء.

محدّدات المرئية	الحوض
Tile Number	
T37SBR, T37SCR, T37SCS, T37SBS, T37RCQ, T37RBQ,	عمان الزرقاء

المصدر: من عمل الباحث.

جدول (2): تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض عمان-الزرقاء.

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

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نظام تصنيف أندرسون.

جدول (3): دقة تصنيف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض عمان-الزرقاء.

دقة المستخدم	مجموع الصفوف	السدود المائية	مراعي	الأراضي الجرداء	الغطاء النباتي	المناطق العمرانية	الغطاء الأرضي واستعمالاته
85.3	34	0	0	1	4	29	المناطق العمرانية
100	21	0	0	0	21	0	الغطاء النباتي
92	28	0	5	23	0	0	الأراضي الجرداء
81.3	16	0	13	1	2	0	مراعي
100	1	1	0	0	0	0	السدود المائية
	100	1	18	25	27	29	مجموع الأعمدة
		100	72.2	82.1	77.8	100	دقة المنتج
						87	الدقة الإجمالية
						83	معامل كابتا

المصدر: من عمل الباحث

4. البيانات المناخية

تتضمن كميات الأمطار اليومية، ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية، والإشعاع الشمسي للمحطات المتواجدة في حوض عمان-الزرقاء، للفترة الممتدة من 1985 وحتى 2020م. ويبين الجدول (4) المحطات المناخية مع خصائصها العامة إلى التابعة لدائرة الأرصاد. (دائرة الأرصاد الجوية، 2020).

جدول (4): المحطات المناخية في حوض عمان-الزرقاء وخصائصها العامة.

الرقم	المحطات المناخية	الإحداثيات الفلكية		
		خط الطول	دائر العرض	منسوب الارتفاع
1	المفرق	36.25	32.37	686
2	الغباوي	36.13	31.59	725
3	راس منيف	35.75	32.37	1150
4	الزرقاء	36.07	32.08	644
5	مطار عمان	35.98	31.98	781
6	دير علا	35.62	32.22	-224
7	السلط	35.73	32.37	796

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات دائرة الأرصاد الجوية.

ثانياً: البرمجيات المستخدمة

استعانت الدراسة في معالجتها لموضوعها بمجموعة من البرمجيات وهي:

1. تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وخاصة برنامج ArcGIS 10.6 في إجراء عمليات التصحيح الجغرافي للخرائط الورقية وتحويلها إلى رقمية، وتحديد الأحواض المائية المختارة، ودورها في عملية الإخراج الكارتوغرافي.
2. ملحق ArcSwat 2012 والمختص بإجراء المحاكاة والنمذجة للحوض. 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 Erdas Imagine 2016 لتصنيف الغطاءات الأرضية واستعمالاتها.

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

ثالثاً: إجراءات الدراسة

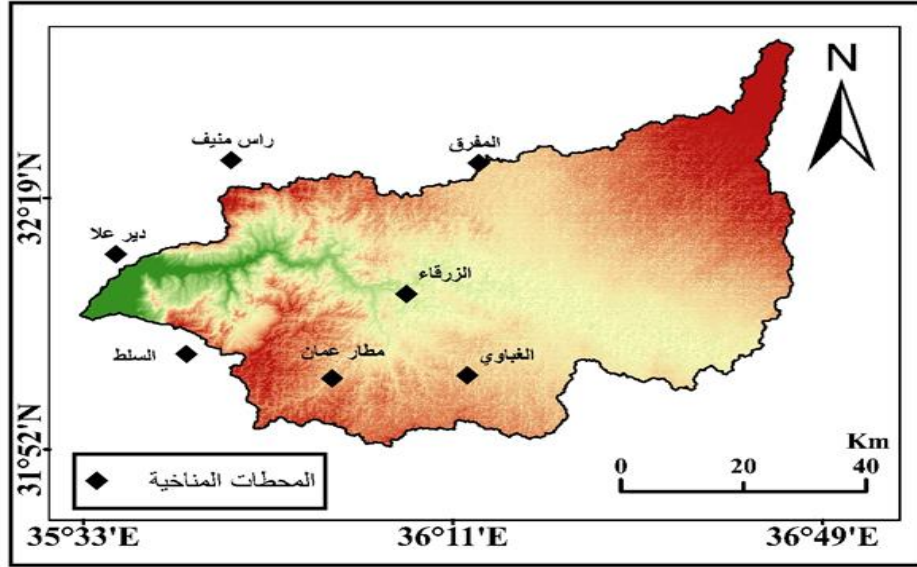
يتضمن إجراء هذه الدراسة للنموذج الحالية للواقع الهيدرولوجي الحالي والمستقبلي في ضوء سيناريوهات التغير المناخي التراكمية على مجموعة من المراحل وهي: الاطلاع على الدراسات السابقة، ومن ثم إعداد بيانات الدراسة وتجهيزها، قبل التعامل معها في نموذج وأداة تقييم التربة والمياه من مصادرها المختلفة، من خلال التصحيح 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 تعبئتها برقم 99- لكي يتعرف النموذج على أن هذه البيانات مفقودة.

بعد مرحلة جمع وتجهيز البيانات، تأتي مرحلة تحديد الحوض بالطريقتين التقليدية أولاً، باستخدام الخرائط الطبوغرافية، ومن ثم تحديده باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، أو باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) مباشرة بواسطة الأداة Hydrology 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، والمكونة 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 عمان-الزرقاء. 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 (1) المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض عمان الزرقاء.



شكل (1): المحطات المناخية المتواجدة ضمن أراضي حوض عمان الزرقاء. 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 هارغريفز (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 بريسلر تايلور (Priestly-Taylor)، والمعادلة التي تستند بشكل أساسي على درجة حرارة الهواء وهي هارغريفز (Hargraves) وهي التي سوف يتم الاعتماد عليها في هذه الدراسة؛ نظرًا لتوفر جميع مدخلاتها المناخية والتي يمكن تمثيلها في المعادلة التالية (Weib & Menzel, 2008):

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

حيث يمثل Erc التبخر المحتمل بناءً على معادلة هار قريفز ملم/يومياً، و Ra متوسط الإشعاع اليومي (ميغا جول/يوم)، ويشير δ إلى الفرق في درجة الحرارة المنوية (متوسط درجة الحرارة العظمى الشهرية - متوسط درجة الحرارة الدنيا)، و T إلى متوسط درجة حرارة الهواء.

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

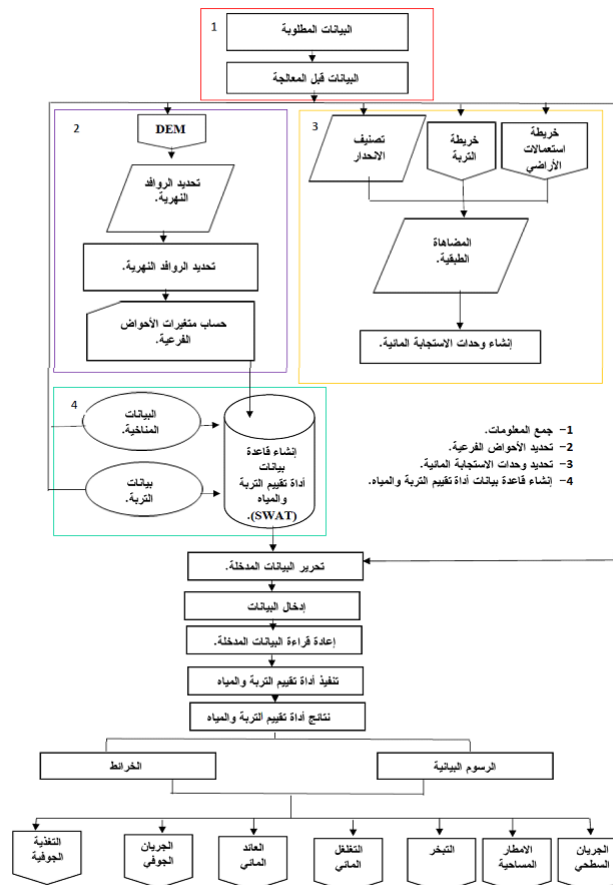
$$s = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

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 عمان-الزرقاء 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 (2).



شكل (2): 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+ و 2+ و 3+ و 4+، ويرافق ذلك التغير حالات متوقعة للأمطار؛ وهي عدم تأثرها بها أو ازديادها مثلاً 10+% أو 20+%، أو تناقصها 10%- و 20%- (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+ و 2+ ويرافقه الحالات المتوقعة للأمطار، وتطبيقها على حوض عمان الزرقاء، ومن ثم إجراء مقارنات بين الظروف الهيدرولوجية الحالية والمستقبلية. ويوضح الجدول (5) السيناريوهات المستقبلية التي تم اختيارها.

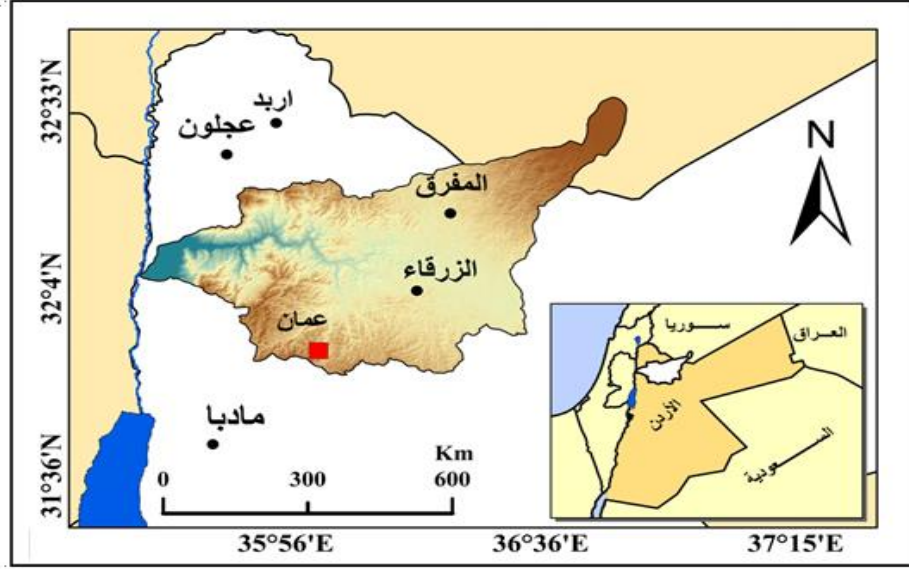
جدول (5): السيناريوهات المستقبلية للتغير المناخي باستخدام السيناريوهات التراكمية.

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.

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

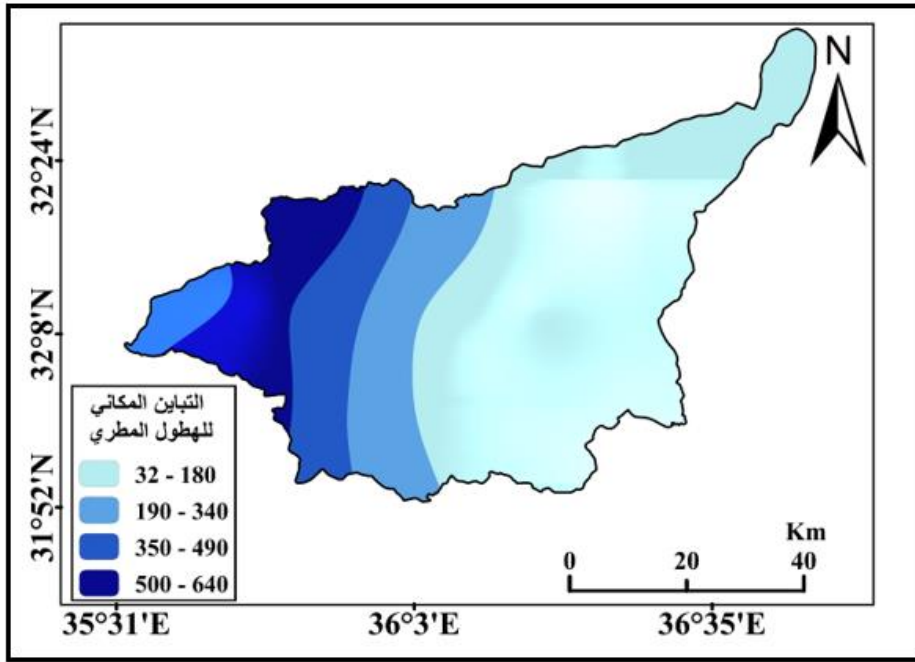
يقع حوض عمان-الزرقاء في الجانب الشمالي الغربي من الأردن، وتتراعى جوانبه في المنطقة الممتدة بين وسط وشمال الأردن بين خطي طول 35° 42' و 36° 36' شرقاً، ودرجتي عرض 31° 54' و 32° 24' شمالاً. وتبلغ مساحة حوض عمان-الزرقاء حوالي 4123.9 كم²، يدخل بامتداده الواسع الأراضي السورية من الجهات الشمالية بمقدار بلغ 8% من المساحة الإجمالية للحوض، في المرتفعات العالية والتي يرنو ارتفاعها عن 1500م عن سطح البحر في جبل العرب، متمثلاً بواديي الزعتري والعاقب. وبمعنى آخر فإن جل مساحة الحوض تتركز في الأردن بنسبة بلغت 93% من إجمالي مساحته والذي تمثل 3835.3 كم². ويحد حدود تقسيم مياه حوض عمان-الزرقاء حدود تقسيم مياه كل من الأحواض التالية وهي: الأزرق من الجهة الشرقية والأزرق والموجب من الجهة الجنوبية ومن الجهة الغربية أحواض أودية الغور الشرقية، ومن الشمال حوض اليرموك (الزغول، 2016). ويوضح الشكل (3) موقع منطقة الدراسة.



شكل (3): موقع منطقة الدراسة.
المصدر: من عمل الباحث.

ويعد حوض عمان-الزرقاء في المرتبة الثانية من حيث الأهمية كرافد لنهر الأردن من حيث المساحة وكمية التصريف النهري (أبو سمور، 1997). وتتباين في حوض عمان-الزرقاء مناسيب الارتفاعات حيث يبلغ أعلى منسوب ارتفاع له من منابع أي في منطقة جبل العرب في القسم السوري منه والذي يبلغ 1577م. في حين كان أقل منسوب ارتفاع له في منطقة المصب وهي نهر الأردن 366- تحت سطح البحر، وهذا يدل على أن الحوض ذو تضرس حاد، حيث يبلغ التضرس في حوض عمان-الزرقاء 1943م.

ويشهد حوض عمان-الزرقاء تبايناً مناخياً جلياً بين أجزاءه، حيث يسود المناخ الجاف في منطقة الأغوار، في حين تخضع مناطق المرتفعات لسيادة المناخ شبه الرطب، وأما المناطق الشرقية منه والمتمثلة بالبادية الأردنية فإنه يسود فيه المناخ الجاف. وبشكل عام فإن الظروف المناخية في حوض عمان-الزرقاء هي بطبيعة الحال جزء لا يتجزأ من الظروف المناخية للأردن، حيث يعد فصل الشتاء هو فترة الهطول المطري للحوض؛ وذلك بحكم وقوعه ضمن المنطقة المعتدلة في الشتاء، في حين يقع صيفاً ضمن المناطق المدارية (شحادة، 1991). ونلاحظ من الشكل (4) تناقص تدريجي لكميات الهطول المطري في الحوض من الغرب إلى الشرق؛ ويمكن رده إلى التباين في طبوغرافية الحوض والغطاء الأرضي واستعمالاته بالإضافة إلى وقوع المناطق الشرقية منه ضمن ما يعرف بمناطق ظل المطر. ويمثل الشكل (4) التوزيع المكاني لهطول المطري في حوض زرقاء عمان لعام 2019م.



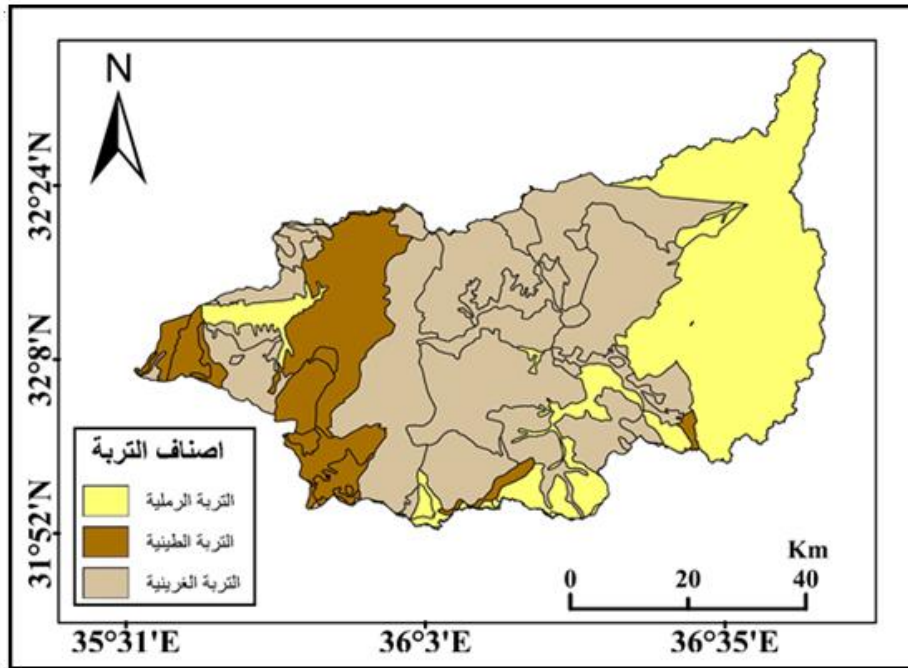
شكل (4): التوزيع المكاني للهطول المطري في حوض عمان-الزرقاء لعام 2020م. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات دائرة الأرصاد الجوية، 2020م.

وأما فيما يتعلق بدرجات الحرارة فهي بطبيعة الحال بمثابة انعكاس للأقاليم المناخية المتواجدة في الحوض، حيث تشهد المناطق الشرقية والأغوار ارتفاعاً ملحوظاً في المعدل السنوي لدرجات الحرارة يزيد عن 20° درجة مئوية؛ وذلك بحكم وقوعها في منطقة الإقليم الجاف. في حين تشهد المناطق المرتفعة ذات المناخ شبه الرطب اعتدالاً في المعدل السنوي لدرجات الحرارة حيث تسجل أقل من 17° درجة مئوية، وتتمثل هذه المرتفعات في مناطق عجلون وجرش (الزغول، 2016).

وبالنسبة للتربة المنتشرة في الحوض فهي تشهد تنوعاً في أصنافها المنتشرة؛ 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 12 نسيجة من أنسجة التربة في الحوض. الأمر الذي أدى إلى اختلاف الخصائص الهيدرولوجية والفيزيائية للتربة من حيث تأثيرها على قيم الجريان السطحي في الحوض، ومن هذه الخصائص السعة الحقلية ونقطة الذبول للتربة واللتان

تؤثران على مدى احتفاظ التربة بالرطوبة، فكلما زادت قدرة التربة على الاحتفاظ بالتربة كلما زاد الجريان السطحي أي أن العلاقة بينهما علاقة طردية (عابد، 2009).

ويمكن تصنيف التربة بناءً على أنسجتها المنتشرة في الحوض إلى ثلاثة أصناف وهي: 1. التربة الرملية والتي تشكل ما نسبته (13.4%) من أراضي الحوض، وتتواجد هذه التربة في المناطق الشرقية والجنوبية من الحوض، مع تواجد لمساحة بقعية في الجزء الغربي من الحوض. 2. التربة الطينية والتي تتميز بانها ذات نفاذية منخفضة ومسامية عالية وبالتالي تكوّن جريان سطحي بمعدلات أعلى من غيرها من أصناف التربة. وتنتشر 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 (19.8%) من المساحة الكلية للحوض. 3. والتربة الغرينية وهي الأكثر انتشاراً في الحوض، حيث تتواجد في مختلف مناطقه والتي تشكل ما نسبته (66.8%) من إجمالي مساحة الحوض (المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993)، ويبين الشكل (5) أصناف الترب المنتشرة في حوض عمان زرقاء.



شكل (5): أصناف الترب المنتشرة في حوض عمان زرقاء. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، 1993م.

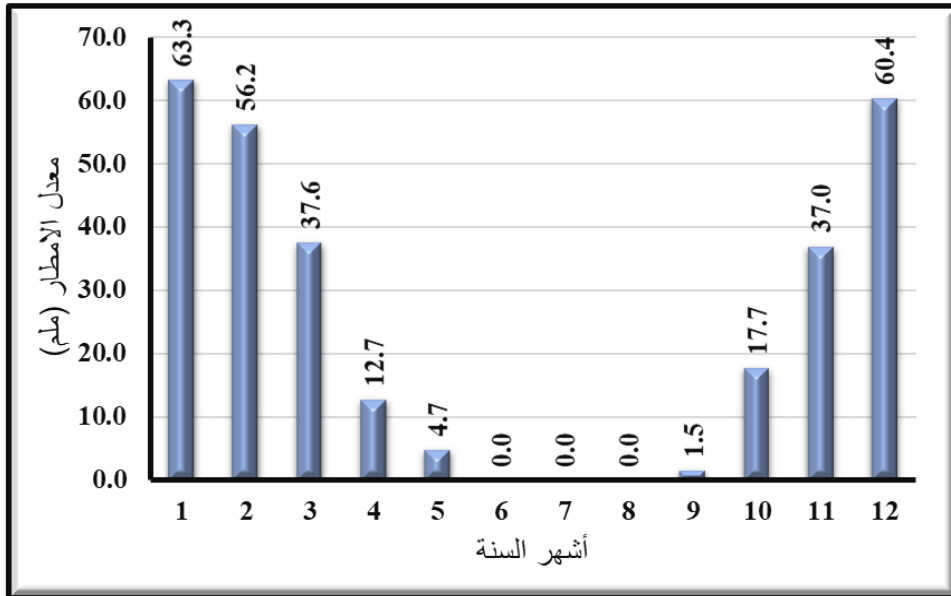
2. محاكاة الموازنة المائية السطحية

وتضم 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 التساقط وما يتم فقد عن طريق التبخر والنتح (الزغول، 2016). وتضم هذه المحاكاة العناصر الآتية:

الهطول (التساقط)

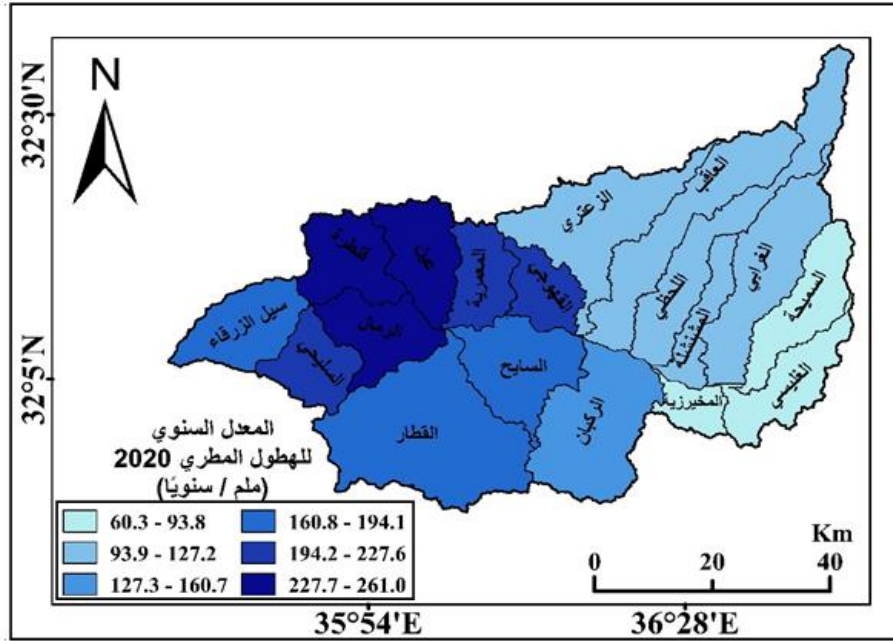
يعد الهطول المحرك الرئيسي للموازنة المائية في أي حوض مائي وذلك بسبب اعتماد بقية عناصر الموازنة عليه خاصة التبخر الفعلي والجريان السطحي. كما أن بعض العمليات النهرية تعتمد بشكل رئيسي على كميات الهطول وشدته مثل الحث النهري بكافة أنواعه وانجراف التربة وانزلاقاتها.

وقد أظهرَ نموذج SWAT أن معدل كميات الهطول المطري خلال فترة الدراسة 293.2 ملم. كما أوضح هذا النموذج تبايناً زمنياً خلال اشهر السنة ضمن فترة الدراسة حيث تلقى الحوض أكثر معدل أمطار خلال فترة الدراسة أثناء شهر كانون الثاني بقيمة بلغت 63.3 ملم، في حين تفتقر اشهر الصيف خلال فترة الدراسة لأي كميات أمطار. ويظهر الشكل (7) التباين الزمني لمعدل الأمطار في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.



شكل (7): التباين الزمني لمعدل الأمطار في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel.

كما أظهرت نتائج SWAT أن اغلب الأحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء يبلغ فيها معدل الهطول السنوي لعام 2020 يقل عن 194.4 ملم بلغ عددها 12 حوضًا فرعيًا، وتواجد اغلب تلك الأحواض في القسم الجنوبي والجنوبي الشرقي والشمالي الشرقي من حوض عمان الزرقاء. أما بقية الأحواض الفرعية فقد كان معدل الهطول المطري فيه أقلها كان من 194.4 ملم، وبلغ عدد تلك الأحواض 6 أحواض تواجد اثنان منهما في القسم الغربي من الحوض الرئيس، في حين تواجد الحوض الأخير في الجهة الشمالية الغربية والشمالي. ويبين الشكل (8) التباين المكاني لمعدل الهطول المطري المساحي بين الأحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء لعام 2020م



شكل (8): التباين المكاني لمعدل الهطول المطري المساحي بين الأحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء.

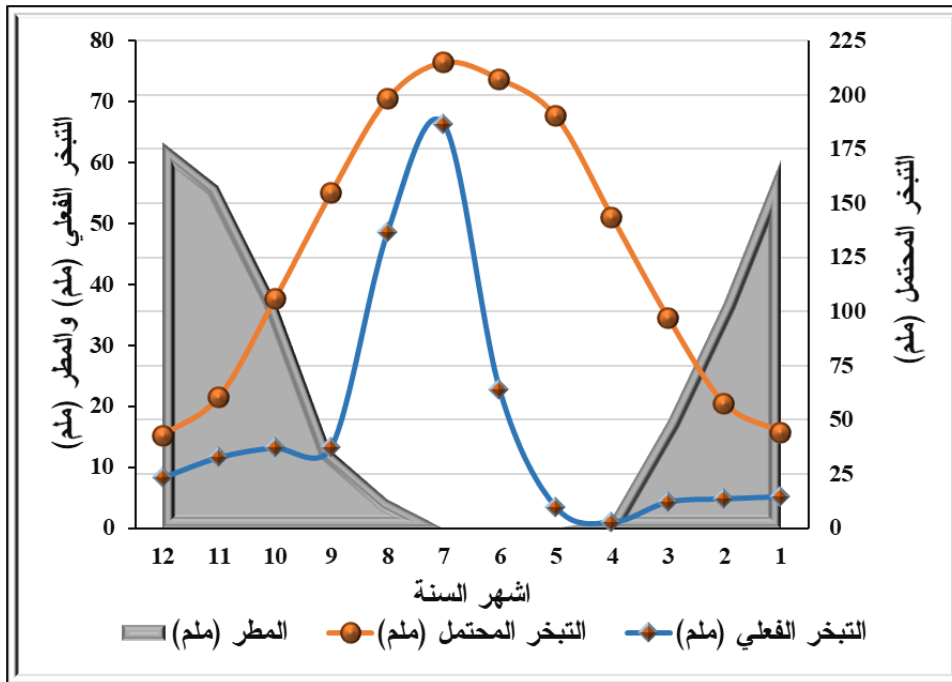
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGis 10.5

التبخّر

يعرف التبخّر بأنه تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ويعد التبخّر من العمليات المهمة والأساسية عن التوازن الحراري لسطح الأرض والغلاف الجوي (العروذ، 2002). ويقسم

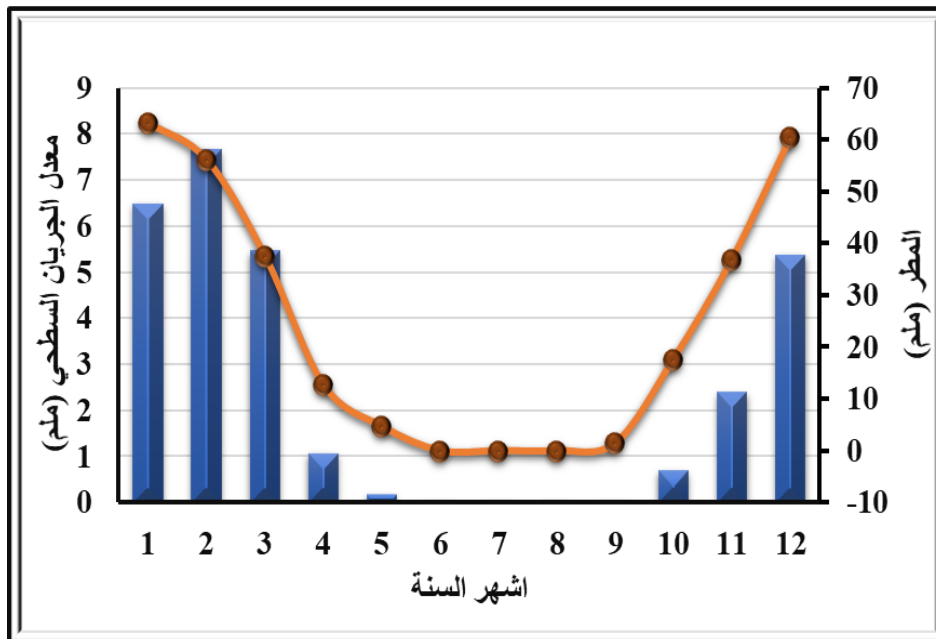
التبخّر إلى نوعين أساسيين هما التبخّر الفعلي (Actual Evaporation) والتبخّر المحتمل (Potential Evaporation).

أظهر نموذج SWAT أن معدل التبخّر الفعلي والمحمّل في حوض عمان-الزرقاء بلغ على التوالي 205 ملم و1521.2 ملم خلال الفترة الممتدة ما بين 1985 و2020م. إلا أن هذه القيم تتأبّن زمنياً (خلال أشهر السنة) ومكانياً (ضمن أحواض الفرعية). كما أن قيم التوزيع الزمني والمكاني للتبخّر الفعلي والمحمّل يوصف بأنه متغاير، فقد كانت أعلى قيمة لمعدل التبخّر الفعلي خلال شهر حزيران 66.3 ملم بينما بلغت أعلى قيمة لمعدل التبخّر المحتمل في شهر تموز 215.2 ملم، أما بالنسبة لأدنى قيمة لمعدل التبخّر الفعلي 1.01 ملم في حين بلغت أدنى قيمة لمعدل التبخّر المحتمل 42.94 ملم خلال شهر كانون أول. ويبيّن الشكل (9) قيم معدل التبخّر الفعلي والمحمّل في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.



شكل (9): قيم معدل التبخّر الفعلي والمحمّل والمطر في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel.

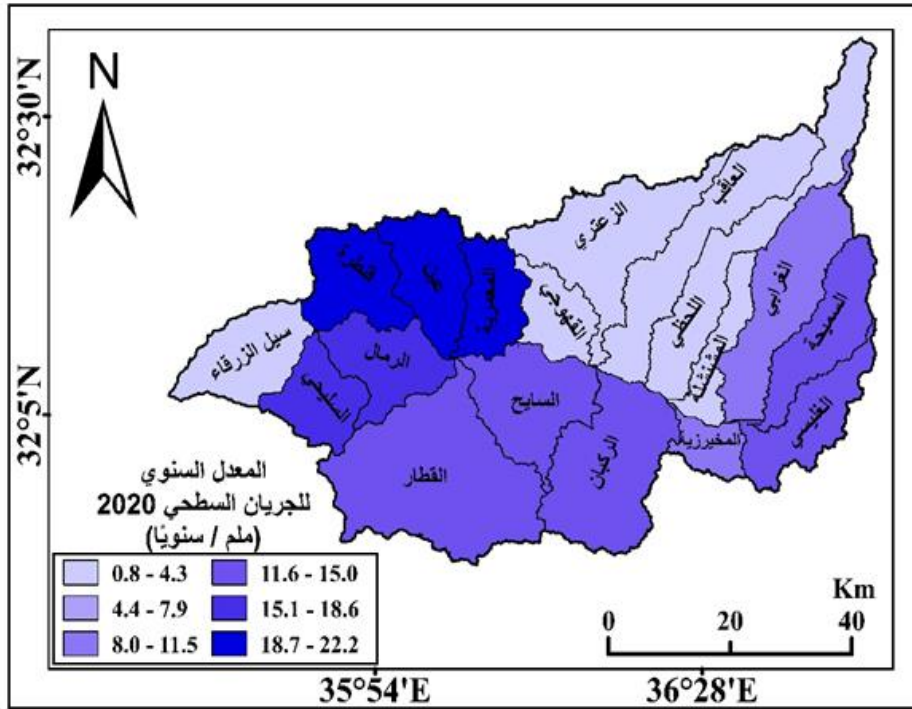
قيمة له خلال أشهر الصيف. ويظهر الشكل (11) التباين الزمني لمعدل الجريان السطحي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.



شكل (11): التباين الزمني لمعدل الجريان السطحي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.

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

وبالنسبة للتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء في قيم الجريان السطحي لعام 2020م فقد اتضح أن الأحواض الجنوبية والشرقية منه ذات قيم جريان سطحي 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 (12) التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء.

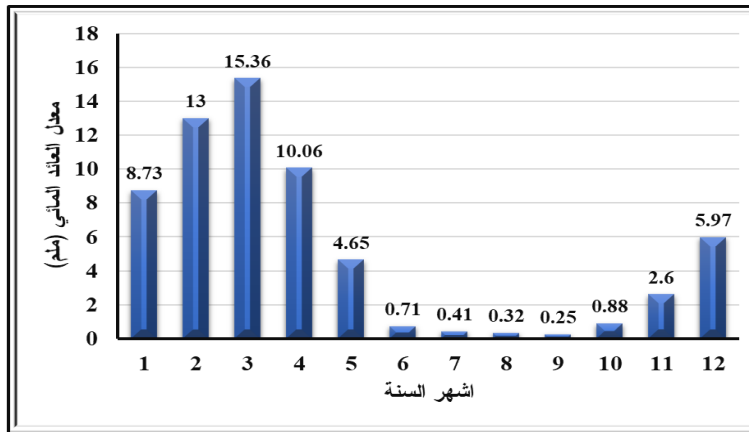


شكل (12): التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGis 10.5

العائد المائي

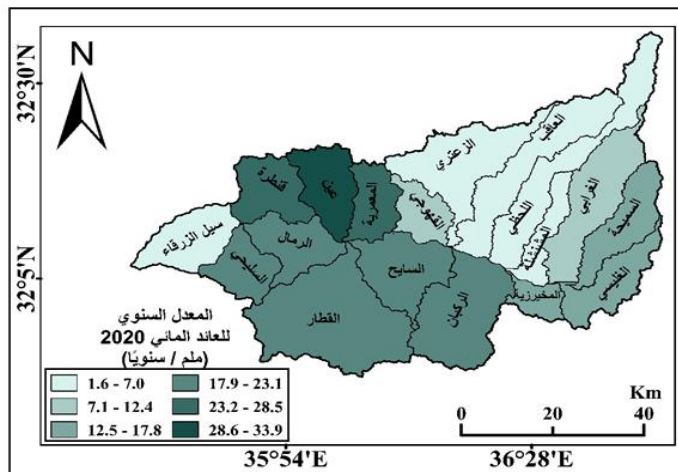
ويعرف بالغلة المائية أو الحصيصة المائية (Water Yield) والتي تعد بمثابة المحصلة النهائية والمستفادة من المياه الهاطلة على الحوض في استخداماتها المختلفة (الغميص، 2019). ويتأثر العائد المائي بعدة ظروف أسهمت في إحداث تبايناً واضحاً وجلباً بين الأحواض المائية خاصة الظروف المناخية بما في درجات الحرارة وكميات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

وقد أظهر تطبيق نموذج SWAT أن معدل العائد المائي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة 63.55 ملم، إلا أن هذه القيمة تتباين على مدار شهور السنة خلال فترة الدراسة، حيث بلغت أعلى قيمة له في شهر آذار 15.36 ملم، في حين كانت أقل قيمة 0.25 ملم وذلك خلال شهر أيلول. ويبيّن الشكل (13) التباين الزمني لمعدل العائد المائي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.



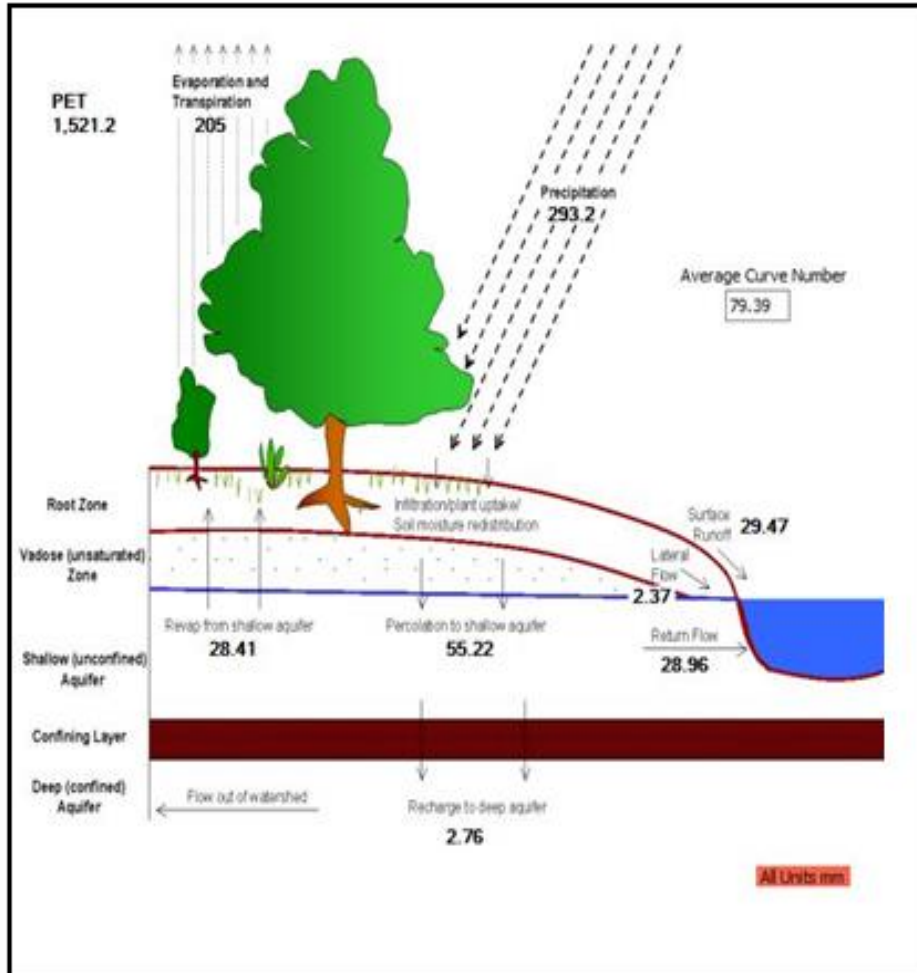
شكل (13): التباين الزمني لمعدل العائد المائي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel

وبالنسبة للتباين المكاني بين أحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء في قيم العائد المائي لعام 2020م فقد اتضح أن الأحواض الشرقية 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 الجريان السطحي بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء.



شكل (14): التباين المكاني لمعدل الحصيلة المائية بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء. المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام ArcGis 10.5

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 عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.



شكل (19): نمذجة الواقع الهيدرولوجي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة. المصدر: من عمل الباحث وهو أحد مخرجات نموذج SWAT.

ثالثاً: محاكاة الظروف الهيدرولوجية السطحية المستقبلية لحوض عمان الزرقاء

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

1. التبخر

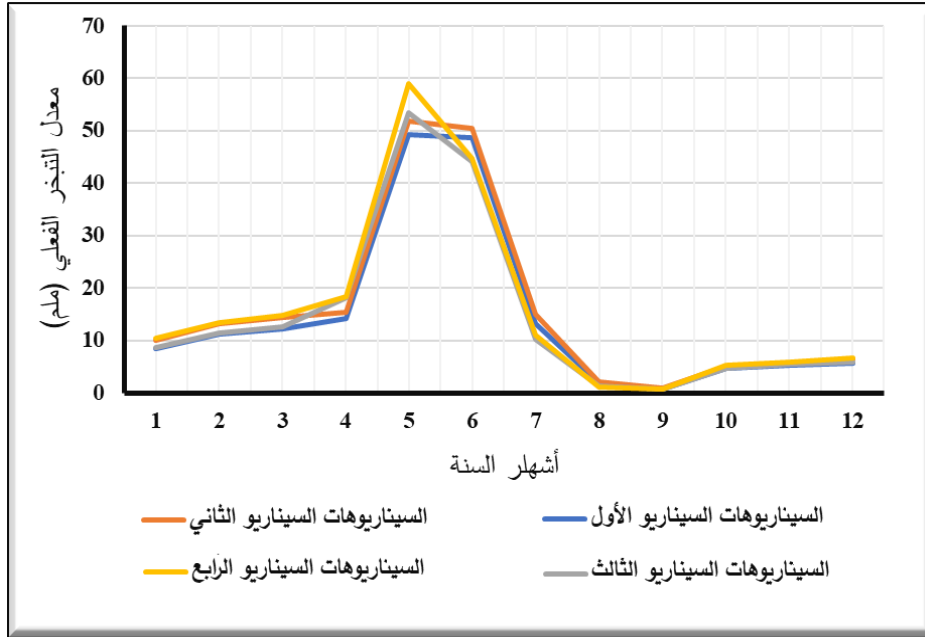
يعد معرفة السلوك المستقبلي للتبخر بشقيه: الفعلي والمحتمل أمر في غاية الأهمية؛ لارتباطه بالانحياز الحراري للأرض. وفي ضوء السيناريوهات التراكمية للتغير المناخي المطبقة في هذه الدراسة، نلاحظ التباين بين القيم المستوفاة منها، فالنسبة للتبخر الفعلي فقد كان السيناريو الثالث ذو القيمة الأقل من بين السيناريوهات الأخرى، فقد بلغت قيمته 36.6 ملم سنوياً، في حين كان السيناريو الثاني هو الأكثر قيمةً، فقد بلغت قيمة التبخر الفعلي فيه 39.2 ملم سنوياً. وأما بالنسبة للتبخر المحتمل فقد كانت أقل قيمة في السيناريو الأول والتي بلغت 62.5 ملم سنوياً، في حين بلغت قيمه في السيناريو الثالث والرابع 63.7 ملم سنوياً. ويبين الجدول (7) معدل التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان لحوض عمان-الزرقاء بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

جدول (7): معدل التبخر الفعلي والمحتمل المتوقعان لحوض عمان-الزرقاء بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	معدل التبخر الفعلي المتوقع		المعدل المطري المتوقع (ملم سنوياً)
		(ملم سنوياً)	%	
1	الأول	176.9	68.9	256.9
2	الثاني	192.1	61.1	314.2
3	الثالث	178.3	69.4	256.9
4	الرابع	193.1	61.5	314.2

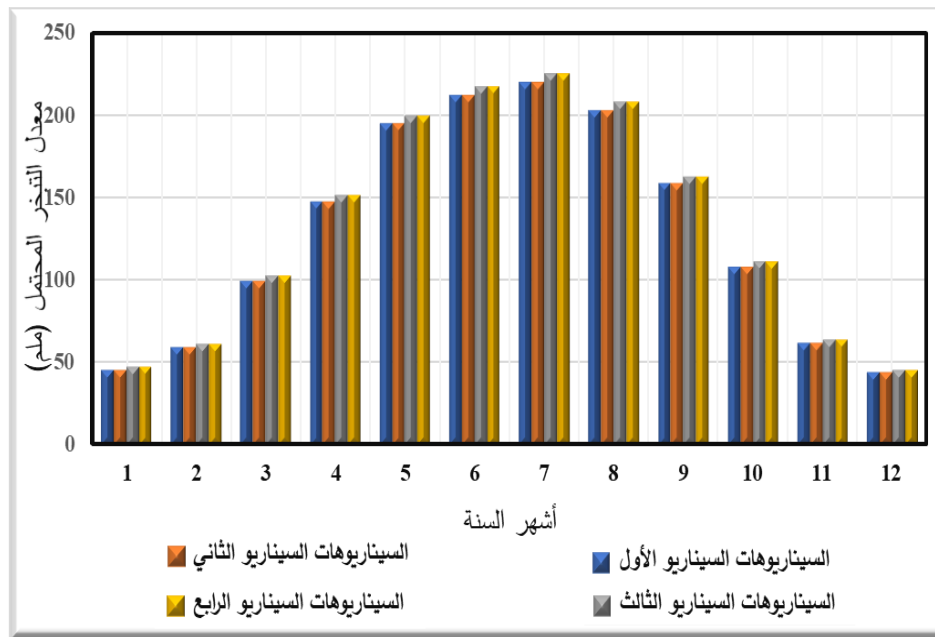
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012.

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 ايلول 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 تموز 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 والمحمّل المتوقعان في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.



شكل (20): التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر الفعلي المتوقع في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.

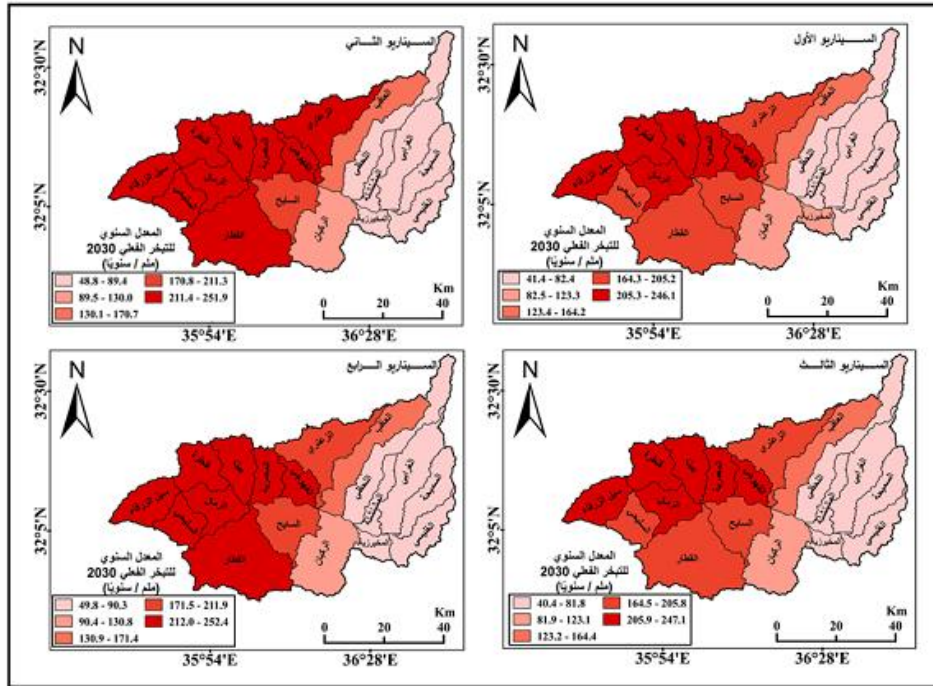
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج SWAT وباستخدام Excel



شكل (21): التباين الزمني الشهري لمعدل التبخر المحتمل المتوقع في حوض عمان-الزرقاء 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 عمان-الزرقاء لعام 2030م، فقد اتضح أن الأحواض الفرعية الشمالية الغربية والغربية والجنوبية الغربية كانت أكثر الأحواض الفرعية في قيم معدل التبخر الفعلي، حيث تراوح فيه معدل التبخر الفعلي المتوقع ما بين 205.3 و252.4 ملم سنوياً. في حين كان الأحواض في الجهات الشرقية ذات القيم الأقل في معدل التبخر الفعلي، فقد تراوح فيهما معدل التبخر الفعلي المتوقع ما بين 40.4 و90.3 ملم سنوياً. ويظهر الشكل (22) التباين المكاني السنوي لمعدل التبخر الفعلي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء.



شكل (22): التباين المكاني السنوي لمعدل التبخر الفعلي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزراعاء.

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 تأثرًا إيجابيًا من حيث زيادة كمية الجريان السطحي، أو سلبًا من حيث تناقص كميته. وقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية تأثر الجريان السطحي بالتغير المناخي المتوقع، فقد بلغت أقصى قيمة له أثناء السيناريو الثاني بقيمة بلغت 46.41 ملم سنويًا بفارق بسيط جدًا عن قيمته في السيناريو الرابع والذي بلغ فيه 46.37 ملم سنويًا، في حين كان السيناريو الثالث هو الأقل بقيمة بلغت 28.1 ملم سنويًا. ويكمن هذا التقارب في نتائج السيناريوهات في أن التغير في كميات الأمطار لها الأثر الأكبر في التأثير على سيناريوهات التغير المناخي التدريجية، بالمقارنة مع أثر التغير في درجات الحرارة، لذا نلاحظ بأن السيناريو الأول والثالث تتقارب فيهما النتائج وكذلك الثاني والرابع، حيث يفترض السيناريو الأول

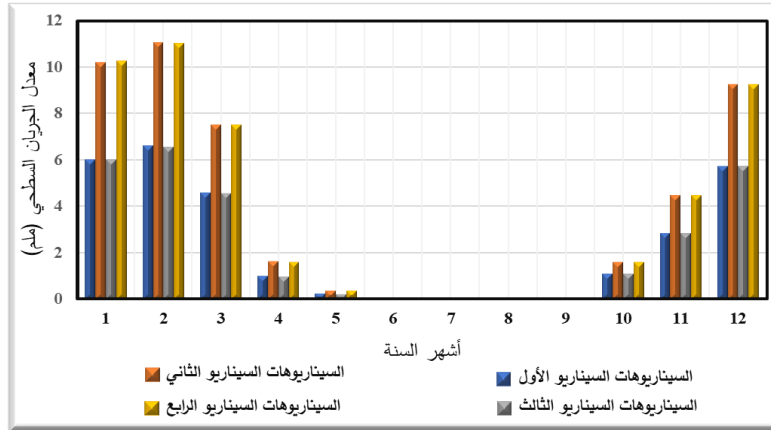
والثالث تناقص كميات الأمطار بنسبة 10%، في حين أن السيناريو الثاني والرابع يبني نتائج بالاعتماد على تناقص كميات الأمطار بنسبة 20%. ويبين الجدول (8) قيم معدل الجريان السطحي المتوقع المستقبلي في حوض عمان-الزرقاء بناء على سيناريوهات التغير المناخي التراكمية.

جدول (8): معدل الجريان السطحي المتوقع لحوض عمان-الزرقاء بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	معدل الجريان السطحي المتوقع	
		المعدل المطري المتوقع (ملم سنوياً)	(ملم سنوياً) %
1	الأول	256.9	11
2	الثاني	314.2	14.8
3	الثالث	256.9	10.9
4	الرابع	314.2	14.8

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012

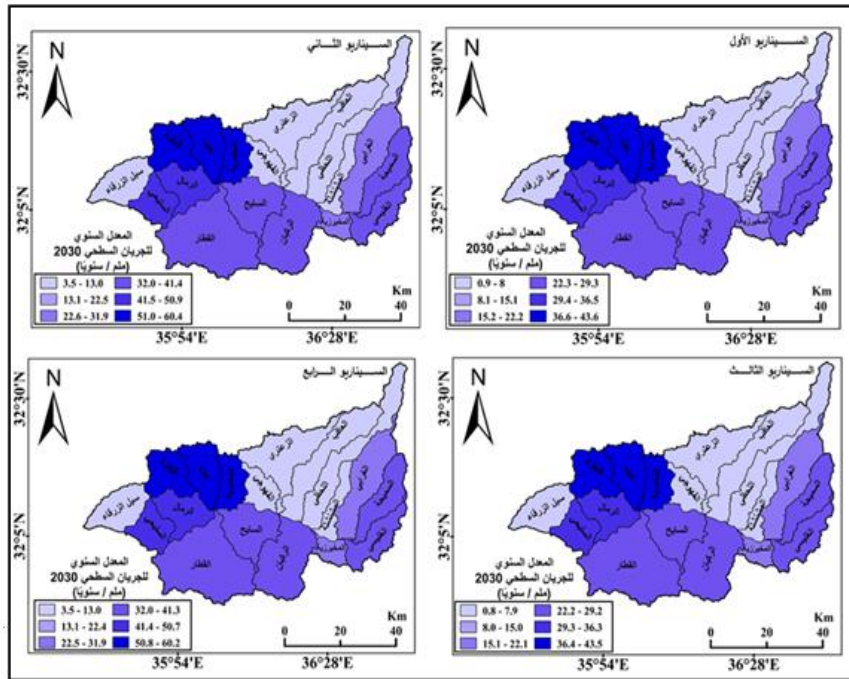
وأما بالنسبة للتباين الزمني الشهري للجريان السطحي المتوقع فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية أنّ شهر كانون الثاني كان الأكثر معدلاً للجريان السطحي من بقية أشهر السنة في كافة السيناريوهات، في حين كانت أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) وشهر أيلول هي الأقل في معدل الجريان السطحي المتوقع وذلك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



شكل (24): التباين الزمني الشهري لمعدل الجريان السطحي المتوقع في حوض عمان-الزرقاء 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 عمان الزرقاء، 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: المعمرية وعين والقنطرة، وقد تراوح معدل الجريان السطحي المتوقع والذي تراوح ما بين 36.4 و60.4 ملم سنويًا. كما أظهرت النتائج المستسقاة من السيناريوهات تماثل قيم معدل الجريان السطحي تقريبًا في الأحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء بين كل من السيناريو الأول والثالث، والسيناريو الثاني والرابع، ويعود هذا التماثل في القيم إلى أنّ السيناريو الأول والثالث بلغ فيهما معدل الأمطار السنوي 256.9 ملم سنويًا، وفي السيناريو الثاني والرابع 314.2 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 عمان الزرقاء.



شكل (25): التباين المكاني السنوي لمعدل الجريان السطحي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء.

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

3. العائد المائي

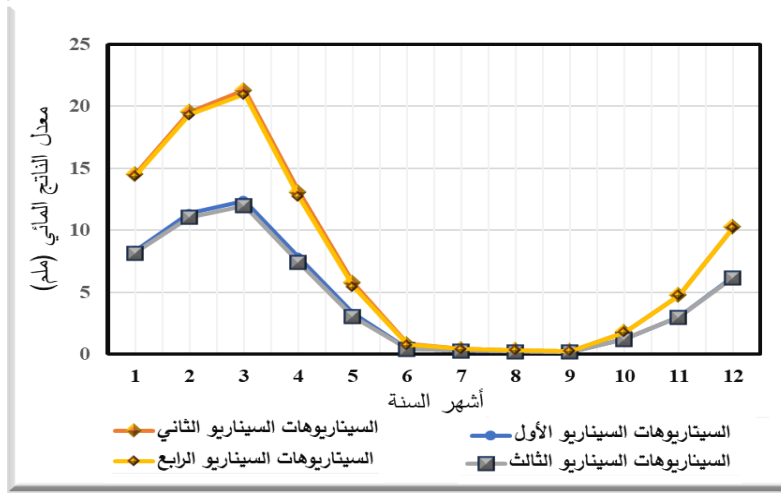
وكما أسفلت سابقاً فإنَّ العائد المائي هو بمثابة المحصلة النهائية للماء، أي أنها المياه الزرقاء والتي تشير إلى إجمالي الجريان السطحي والباطني والتغذية الجوفية (السوالمة، 2008). وقد أظهر تطبيق أسلوب سيناريوهات التغير المناخي التراكمية بأنَّ السيناريو الرابع والثاني هما كان أكثر السيناريوهات في معدل العائد المائي المتوقع، حيث بلغ فيهما 29.7% من إجمالي المعدل المطري الهاطل المتوقع على حوض عمان الزرقاء. كما أظهرت السيناريوهات أن السيناريو الثالث ذو أقل قيمة في معدل العائد المائي المتوقع خلال فترة الدراسة، والتي بلغت 20.9% من إجمالي المعدل المطري الهاطل المتوقع على الحوض. ويبين الجدول (9) قيم معدل العائد المائي المتوقع المستقبلي في حوض عمان-الزرقاء بناء على سيناريوهات التغير المناخي التراكمية.

جدول (9): معدل العائد المائي المتوقع لحوض عمان-الزرقاء بناء على السيناريوهات التراكمية للفترة بين 2021م و2030م.

الرقم	السيناريوهات	المعدل المطري المتوقع (ملم)		معدل العائد المائي المتوقع	
		سنوياً	(ملم سنوياً)	%	(ملم سنوياً)
1	الأول	256.9	55.5	21.6	
2	الثاني	314.2	93.4	29.7	
3	الثالث	256.9	53.8	20.9	
4	الرابع	314.2	93.4	29.7	

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج ArcSwat 2012.

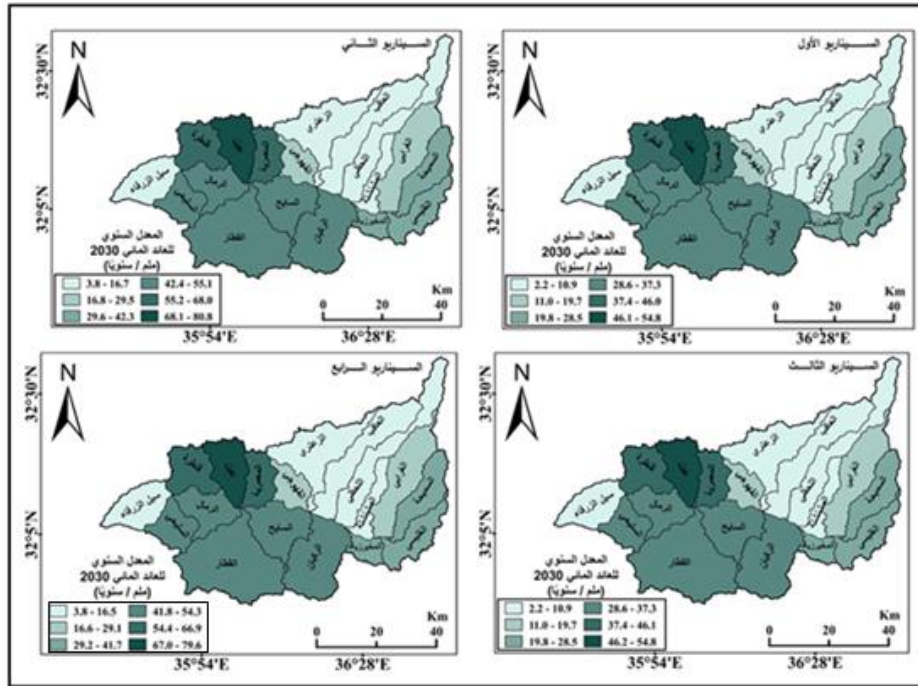
وأما فيما يتعلق بالتباين الزمني الشهري للنتائج المائي في حوض عمان الزرقاء، فقد أوضح تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية أنَّ شهر آذار كان أكثر شهور السنة في معدل العائد المائي الشهري المتوقع، وذلك في السيناريو الثاني بقيمة بلغت 21.3 ملم. كما أظهرت السيناريوهات أنَّ أشهر الصيف وبداية الخريف (أيلول) كانت أقل شهور السنة في معدل العائد المائي؛ وذلك بسبب عدمية الهطول المطري خلالها وارتفاع درجات الحرارة. ويوضح الشكل (26) التباين الزمني الشهري لمعدل العائد المائي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة (2021 - 2030).



شكل (26): التباين الزمني الشهري لمعدل العائد المائي المتوقع في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة.

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

وفيما يتعلق بالتباين المكاني لمعدل العائد المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء، فقد أظهر تطبيق سيناريوهات التغير المناخي التراكمية عدم وجود اختلاف في التباين المكاني للأحواض الفرعية في معدل العائد المائي المستقبلي عن الواقع الحالي، كما قد توافقت التباين المكاني لمعدل العائد المائي للأحواض الفرعية مع التباين المكاني لمعدل الجريان السطحي لها، فقد استمرت الأحواض الفرعية الشمالية والشمالية الغربية في صدارة الأحواض الفرعية في معدل العائد المائي المستقبلي، وهذه الأحواض هي: المعمرية وعين والقنطرة، وقد كان حوض وادي المغمرية هو الأكثر من بينها في معدل العائد المائي المتوقع والذي تراوح ما بين 46.1 و80.8 ملم سنوياً. كما أظهرت النتائج المستسقة من السيناريوهات تماثل قيم معدل العائد المائي المتوقع في الأحواض الفرعية لحوض عمان-الزرقاء بين كل من السيناريو الأول والثالث، ويعود هذا التماثل في القيم إلى أن السيناريو الأول والثالث بلغ فيهما معدل المطر السنوي 256.9 ملم سنوياً. ويظهر الشكل (27) التباين المكاني السنوي لمعدل العائد المائي السنوي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء.



شكل (27): التباين المكاني السنوي لمعدل العائد المائي المتوقع بين الأحواض الفرعية لحوض عمان الزرقاء.

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

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 استعمالاتها. 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 عمان-الزرقاء المصنف ضمن الأحواض شبه الرطبة في الأردن، يتلقى سنوياً من كميات الهطول المطري ما يبلغ 293.2 ملم سنوياً. إلا أنّ هذا المجموع المطري لحوض عمان-الزرقاء يتباين بين أحواضه الفرعية، فقد كانت أحواض أودية عين

والقطرة والرمال الأكثر تلقياً للهطول المطري من الأحواض الأخرى، حيث بلغ فيه ما بين 227.7 و261 ملم سنوياً. كما أوضحت نتائج الدراسة أن أعلى معدل للتبخر الفعلي كان أثناء شهر حزيران، في حين كان أعلى معدل للتبخر الكامن (المحتمل) أثناء شهر تموز. كما اتضح أن حوض الشمالية الغربية هي أكثر أحواض أودية عمان-الزرقاء في معدل التبخر الفعلي (الحقيقي)، في حين كانت الأحواض الشرقية هي أقل الأحواض في معدل التبخر الفعلي. وأظهرت الدراسة أيضاً أن أكثر شهور السنة إنتاجاً للماء أو ما يعرف بالعائد المائي وهي ناتج مختلف العمليات التي تؤثر على كميات المياه الهاطلة على الحوض سواء بالتبخر أو التسرب وغيرها كان شهر آذار. كما كانت الأحواض الشمالية والشمالية الغربية لحوض عمان-الزرقاء 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 الهاطلة على حوض عمان-الزرقاء خلال الفترة الممتدة بين 2021 و2030 يذهب سدىً بواسطة عملية التبخر الفعلي وذلك أثناء السيناريو الثاني وهي الأقل، حيث بلغت أعلى قيمة للتبخر الفعلي في حوض عمان-الزرقاء خلال فترة الدراسة 69.4% أثناء السيناريو الرابع. ولم تختلف نتائج الدراسة فيما يتعلق بالعائد المائي، فقد كان السيناريو الثاني والرابع هما الأكثر في العائد المائي بنسبة بلغت 93.4% من مجمل الأمطار الهاطلة على حوض عمان الزرقاء، في حين كان السيناريو الثالث الأقل في نسبة العائد المائي، والتي بلغت 53.8% 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.

المراجع العربية

- دائرة الأرصاد الجوية الأردنية. (2019). *بيانات مناخية، عمان، الأردن.*
- 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.*
- سلطة المصادر الطبيعية. (1997). *خرائط جيولوجية 1:50000، عمان، الأردن.*
- السوالمه، محمد. (2008). *كفاءة الناتج المائي في أحواض وادي العرب ووادي كفرنجة ووادي شعيب. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة مؤتة، الكرك، الأردن.*
- 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.*

- العرود، إبراهيم. (2002). *مبادئ الجغرافيا الطبيعية، الطبعة الأولى، عمان: دار الشروق.*
- 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.
- الغميص، عاطف. (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، عمان، الأردن.
- غيث، دعاء. (2010). *تقييم تدهور الأراضي في منطقة قضاء الضليل باستخدام المرئيات الفضائية.* رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
- المركز الجغرافي الملكي. (1997). *خرائط طبوغرافية مقياس 1:50000، عمان، الأردن.*
- وزارة البيئة الأردنية. (2009). *التقرير السنوي، عمان، الأردن.*
- وزارة الزراعة الأردنية. (1994). *المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الأراضي، المستوى الأول، عمان، الأردن.*

References (Arabic & English)

- Al Ghaith, Duaa. (2012). *Land Degradation Assessment In The Area Spend Dhuliel Using Satalite Imagre.* Unpublished master Dissertation, University of Jordan, Amman, Jordan.
- Al Sawalmeh, Mohamd. (2008). *The efficiency of water yield in Wadi Al Arab Basins: Wadi Kufranija, Wadi Shu'eib.* Unpublished master Dissertation, Mu'tah University. Karek- Jordan.
- Al-Ghonmieen, Tareq (2018). *Water Resources Assessment in Northern Wadi Araba Basin Using Geographic Information System and Soil and water assessment Tools,* unpublished doctoral thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.
- Al-Omari, Alaa (2017). *Assessment of water resources in the Wadi Shoaib Basin using hydrological models, remote sensing techniques and Geographic Information Systems,* Unpublished Master's Thesis, Yarmouk University, Irbid, Jordan.
- Aruod, Ibrahim (2002), *Principles of Natural Geography,* First Edition, Dar Al Shorouk: Amman.

- Ghumaid, Atef (2019). *The impact of climate change on water resources within four water basins in Jordan using GIS and remote sensing*, unpublished doctoral thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.
- Jordan Meteorological Department, (2019). *Climate Data*, Amman, Jordan.
- Ministry Of Water Agriculture. (1994), *Soil Map and Land Use Project for Jordan*, Hunting Technical Service LTD In Associated with Soil Survey and Land Research Center, UK, Level 1, Vol.3.
- Natural Resources Authority (1997). *Geological maps, (1:50000)* Amman, Jordan.
- Royal Geographical Center, (1997), *Topographic Maps Scale 1:50000*, Amman.
- The Jordanian Ministry of Environment. (2009). *Annual Report*, Amman, Jordan.
- Zagul, Mason. (2016). *Water Resources and Harvest Potential in the Zarqa Basin using remote sensing techniques and Geographic Information Systems*, Unpublished Doctoral Thesis, University of Jordan, Amman, Jordan.
- 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.
- 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.
- 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.
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>.