

Assessment the Unconfined Aquifer Resources Under Climate Change Impacts: Case Study of Akkar Plain

Dr. Sharif Hayek *
Dr. Munzer Hammad**
Diala Al-Kamouh***

(Received 11 / 8 / 2022. Accepted 14 / 12 / 2022)

□ ABSTRACT □

Assessing the impact of climate change on groundwater recharge is crucial for depicting the vulnerability of water resources and identifying proper adaptation measures. This study used Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to simulate the impact of climate change on groundwater recharge and streamflow in Al-Abrash downstream catchment which is located in Akkar Plain. The model performance was tested for monthly flow under a ten-year calibration period (2004–2014). Climate predictions was used from the synthetic weather generator WGEN under two climate scenarios (RCP4.5, and RCP8.5). The result of study indicated satisfactory precision in fitting observed and simulated flow using statistical indices. The model indicated that for winter conditions the scenarios predict an increase in water levels and a considerable decrease during summer, the average annual recharge of groundwater will decrease by around (26–28) % in the near future (2021–2040) under the two RCP future scenarios.

Keywords: soil and water assessment tool (SWAT); hydrological modeling; calibration; climate change, Akkar plain.

* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. sharif.hayek@yahoo.com.

** Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ali.alasaad@tishreen.edu.sy.

***Postgraduate Student (Master), Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. eng.dimah.86@gmail.com.

تقييم موارد طبقة المياه الجوفية الحرة تحت تأثير التغيرات المناخية: دراسة حالة سهل عكار

د. شريف بدر حايك *

د. منذر علي حماد **

ديالا سعدالله القاموح ***

(تاريخ الإيداع 11 / 8 / 2022. قُبِلَ للنشر في 14 / 12 / 2022)

□ ملخّص □

يعد تقييم تأثير تغير المناخ على تغذية المياه الجوفية أمراً في غاية الأهمية لتقدير قابلية تأثر موارد المياه، وتحديد تدابير التكيف المناسبة. استخدمت هذه الدراسة أداة تقييم التربة والمياه (SWAT) لمحاكاة تأثير تغير المناخ على موارد تغذية المياه الجوفية، وتدفق مجرى المياه السطحية في الحوض السفلي لنهر الأبرش الواقع في سهل عكار. تم اختبار أداء النموذج في ظل فترة معايرة مدتها عشر سنوات (2004-2014). استخدمت نتائج النمذجة إلى جانب السجلات التاريخية، وتم أخذ التنبؤات المناخية من مولد الطقس الاصطناعي WGEN وفق سيناريوهين مناخيين هما: (RCP4.5 و RCP8.5). أظهرت نتائج الدراسة دقة مرضية في التوافق بين التدفق المقيس والتدفق الناتج عن المحاكاة باستخدام المؤشرات الإحصائية. كما أشار النموذج إلى أن السيناريوهات تتنبأ بحدوث ارتفاع في منسوب المياه الجوفية في أشهر الشتاء يقابله انخفاض كبير في أشهر الصيف، كذلك سيحدث انخفاض في متوسط التغذية السنوية للمياه الجوفية في المستقبل القريب بين عامي (2021-2040) بنسبة تتراوح بين (26-28)% بموجب سيناريو RCP المستقبلين.

الكلمات المفتاحية: أداة تقييم التربة والمياه، النمذجة الهيدرولوجية، المعايرة، تغير المناخ، سهل عكار.

* أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

لقد أصبحت التغيرات المناخية من أكبر التهديدات التي تواجه الأمن الغذائي، ومن المتوقع أن يتأثر القطاع الزراعي من جراء ذلك. ووفقاً لأحدث تقرير للجنة الأمم المتحدة المعنية بتغيرات المناخ (IPCC) هناك أدلة لا لبس فيها على أن النظام المناخي للأرض يزداد حرارة بسبب انبعاث غازات الدفيئة (Green House Gases (GHG) التي تنتج عن النشاطات البشرية. فقد ازداد تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بشكل كبير في القرنين الماضيين، وتتوقع النماذج المناخية أن درجة الحرارة العالمية سوف ترتفع من (1.4-5.8) درجة مئوية بحلول عام 2100 [1].

على الرغم من أن التأثير الملحوظ لتغير المناخ يمكن مشاهدته في المياه السطحية وجودتها، لكن الشاغل الأكبر لمخططي المياه والحكومات هو احتمال حدوث انخفاض في مناسيب وإمدادات المياه الجوفية التي تعتبر مصدر أساسي لمياه الشرب والاستهلاك البشري وري المنتجات الزراعية في جميع أنحاء العالم. وبما أن تغذية طبقات المياه الجوفية تتم بواسطة هطول الأمطار بشكل أساسي أو من خلال التفاعل مع المسطحات المائية السطحية فإن التأثير المباشر لتغيرات المناخ على هطول الأمطار يؤثر في النهاية على أنظمة المياه الجوفية. ومن المعروف أنه لا يمكن النظر إلى المياه الجوفية بمعزل عن مشهد المياه السطحية أو عن الدورة الهيدرولوجية الإقليمية، ويجب إدارتها بشكل كلي من أجل فهم العواقب للتغيرات المحتملة (المناخية وغير المناخية) على أنظمة المياه الجوفية وعلى الدورة الهيدرولوجية. استخدمت أداة تقييم التربة والمياه (SWAT)، وهي نموذج فيزيائي، للتنبؤ بتدفق المجاري المائية وتغذية المياه الجوفية [2-3]، كما يمكن يتم استخدام SWAT في معالجة مشاكل جودة المياه وكميتها في الأحواض المائية الناجمة عن حدوث تغيرات في التربة واستخدام الأراضي والمناخ [4]. قام Raposo et al. في عام 2013 بتقييم تأثير تغير المناخ على تغذية المياه الجوفية في غاليسيا كوستا في إسبانيا بواسطة أداة تقييم التربة والمياه (SWAT). استخدموا التوقعات المناخية من نماذج مناخية إقليمية مختلفة وتم تقييم سيناريوهين لتغير المناخ، وإجراء المعايرة والتحقق من صحة النموذج باستخدام خطوة زمنية يومية في أربعة أحواض تمثيلية في المنطقة [5]. وفي عام 2015 أعد المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) في دمشق بالتعاون مع الشركة العامة للدراسات المائية في حمص والهيئة العامة للموارد المائية في دمشق مشروع دراسة الموازنة المائية التفصيلية في حوض الساحل. كان هدف الدراسة هو إعداد نموذج رياضي للمنطقة الممتدة من نبع عين الزرقا وحتى الحدود اللبنانية حيث أن المناسيب المائية الجوفية قريبة أو فوق سطح الأرض، وبالتالي سيتمكن النموذج الرياضي من إعداد توقعات مستقبلية للاستثمار انطلاقاً من الخطة التي تقدمها الإدارة [6]. لقد أظهرت دراسات أجريت في مناطق مختلفة من العالم أنه من المحتمل أن يكون لتغير المناخ تأثير على معدلات التغذية المستقبلية وبالتالي على موارد المياه الجوفية الأساسية. قد لا يكون التأثير سلبياً بالضرورة، كما يتضح من بعض التحقيقات، لكنه يخضع لشكوك موجودة في التنبؤات المناخية المستقبلية. أسفرت عمليات المحاكاة القائمة على نماذج الدوران العامة (GCMS) عن نتائج مختلطة ومتضاربة. ومع ذلك، فمن الواضح أن خطر الاحتباس الحراري حقيقي وأن عواقب ظاهرة تغير المناخ عديدة ومقلقة.

يقع سهل عكار في الجزء الجنوبي الغربي من سورية، جنوب مدينة طرطوس بين (27° 34' - 34° 56') شمالاً، و (35° 51' - 36° 28') شرقاً. نركز في بحثنا على الحوض السفلي لنهر الأبرش الواقع ضمن سهل عكار وتبلغ مساحته 6303.288 هكتار، حيث يعد حوض الأبرش من أهم الأحواض النهرية في المنطقة الساحلية يصب في البحر المتوسط عند بلدة الحميدية، وتتوضع المياه الجوفية في منطقة الدراسة على أعماق ليست كبيرة وذات تركيب

كيميائي يجعلها صالحة للري والشرب. تزداد ملوحتها في بعض المناطق القريبة من الشاطئ، ومن المحتمل أن ترتفع مناسيب المياه الجوفية تحت تأثير التغيرات المناخية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقييم تأثير التغيرات المناخية على طبقة المياه الجوفية الحرة في المنطقة المدروسة، من خلال استخدام حزمة من البرمجيات التي تتوافق مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS (Geographical Information System).

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق أهداف البحث اعتمدت الدراسة على البيانات والطرائق التالية:

- تقييم الدراسات السابقة التي أجريت في المنطقة والمناطق المجاورة ومناطق أخرى في العالم لمعرفة العوامل التي يتوقع تأثيرها على المياه الجوفية من الناحية الكمية.
- تحليل الأوضاع الطبيعية السائدة (الهيدرولوجية والجيولوجية والهيدروجيولوجية) من خلال البيانات والمعطيات والتقارير المتوفرة.
- استخدام حزمة من البرمجيات التي تعمل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

GIS (Geographical Information System)

تتطلب النمذجة العددية معالجة كميات كبيرة من المعطيات والنتائج، ويعتبر نظم المعلومات الجغرافية مناسباً لهذه الغاية. إذ يمثل نظاماً لإدارة قاعدة البيانات يزود بخطة متكاملة للإدارة والتحليل وعرض البارامترات وتحديد الحوض المطلوب بدقة.

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

النموذج الهيدرولوجي الفيزيائي الذي يعمل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS لنمذجة موارد المياه الجوفية ودراسة العلاقة التفاعلية بين الجريان السطحي والمياه الجوفية GW-SW تحت تأثير التغيرات المناخية. يعد SWAT أحد أشهر نماذج التحليل الهيدرولوجي وأعمقها، يُستخدم لمحاكاة نوعية وكمية المياه السطحية والجوفية والتنبؤ بالتأثير البيئي لاستخدام الأراضي وممارسات إدارة الأراضي وتغير المناخ. يستخدم أيضاً على نطاق واسع في تقييم منع تآكل التربة والسيطرة عليها، والتحكم في التلوث ذو المصادر غير المحددة، والإدارة الإقليمية للأحواض المائية. يعمل البرنامج على تقسيم الحوض المدروس إلى وحدات مكانية تسمى وحدات الاستجابة الهيدرولوجية HRUS التي يمكن تعريفها كأصغر وحدة مكانية للنموذج يكون فيها استخدام الأراضي ونوع التربة والانحدار متماثل بناءً على العتبات المحددة من قبل المستخدم.

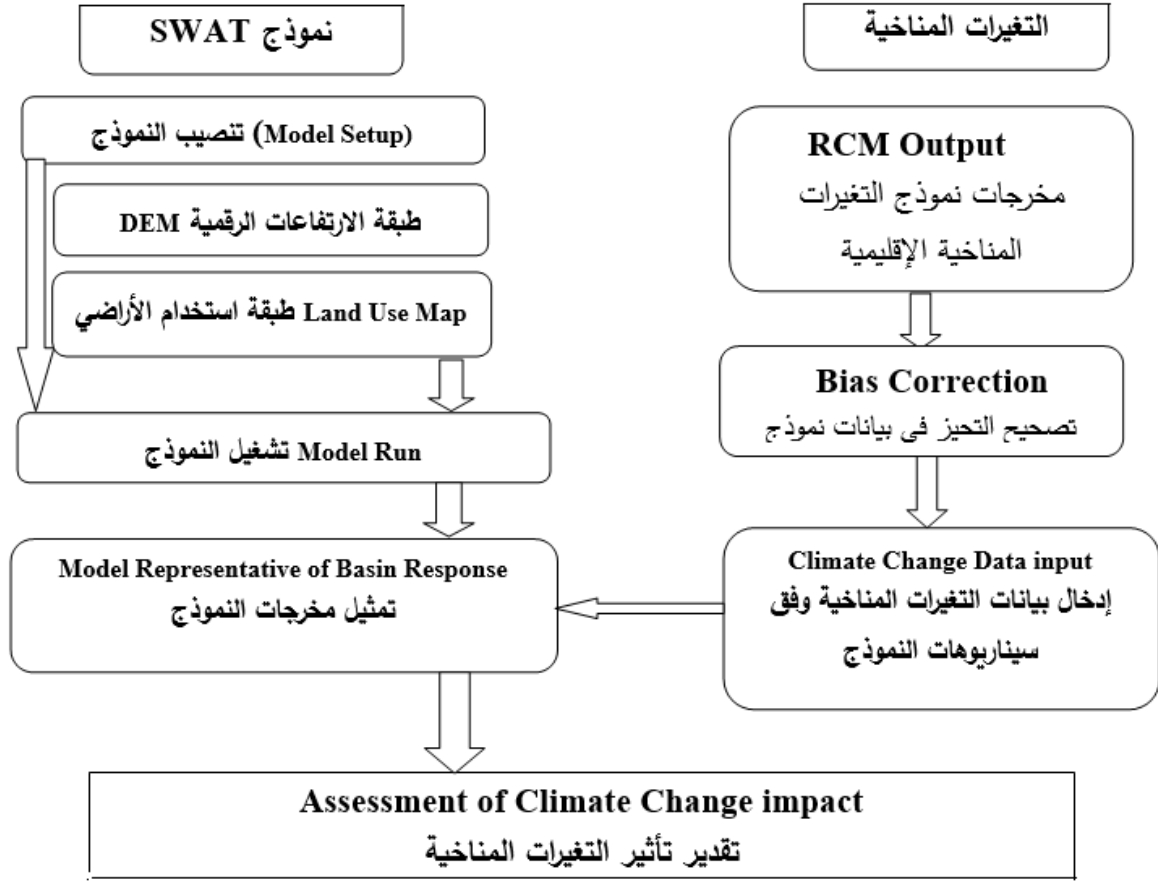
المعادلة الأساسية في SWAT هي معادلة التوازن المائي [7]

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

حيث: SW_t المحتوى المائي النهائي للتربة (mm)، SW_0 : المحتوى الأولي للمياه في التربة في اليوم (mm) ،
 T : الزمن بالأيام ، R_{day} : كمية الهطل في اليوم (mm) ، Q_{surf} : كمية الجريان السطحي في اليوم (mm).
 E_a : كمية التبخر في اليوم (mm)

W_{seep} : كمية المياه التي تدخل إلى الخزان الجوفي في اليوم (mm) ، Q_{gw} : كمية التدفق المتسربة (mm)

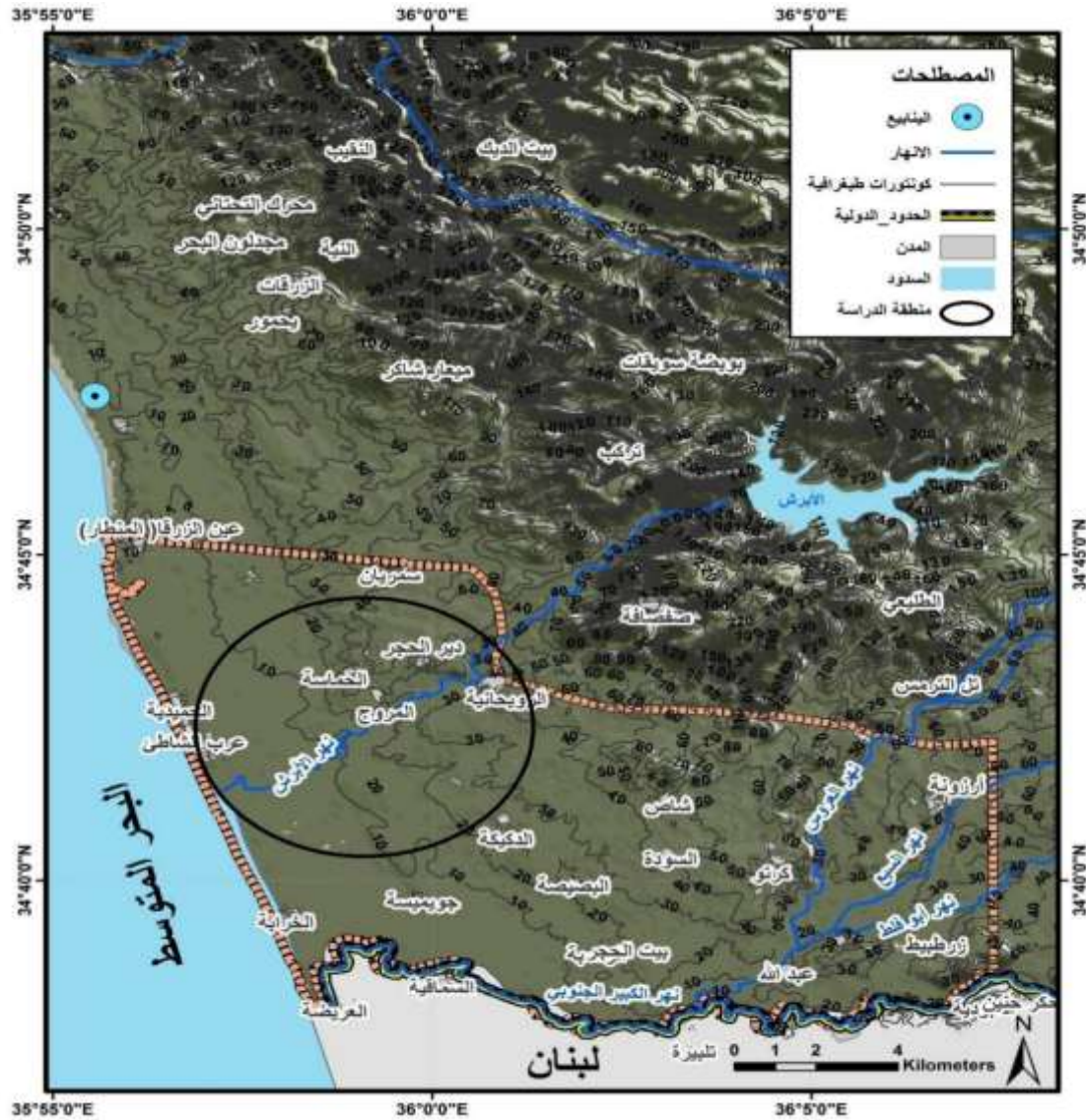
- التحليل الإحصائي لنتائج النموذج بواسطة برنامج **EXCEL** ورسم العلاقات البيانية المطلوبة. يمثل الشكل (1) الخوارزمية المتبعة في دراسة تأثير التغيرات المناخية.



(الشكل 1). منهجية البحث

1. موقع منطقة البحث وخصائصها The site of research area and its properties

يقع حوض نهر الأبرش على المنحدرات الغربية للجبال الساحلية، بين خطي عرض $36^{\circ} 18' 47''$ و $35^{\circ} 56' 57''$ شمالاً وبين خطي طول $34^{\circ} 55' 58''$ و $34^{\circ} 40' 27''$ شرقاً. تمثل منطقة البحث الحوض السفلي لنهر الأبرش بمساحة تقدر بـ 6303.288 هكتار، وهي تعادل ثلث مساحة الحوض الكلي لنهر الأبرش، الذي ينبع من جبال الكفرون في صافيتا ثم ينحدر سريعاً حتى يصل جنوب قرية (اليازدية) ليصبح جريانه أكثر أريحية، وبعد عدة روافد يسير عبر أراضي عشرات القرى مثل: الصفصافة، الريحانية في سهل عكار ليصل ويصب في البحر المتوسط. يقع سد الباسل جنوب غرب صافيتا ويغذي نهر الأبرش قادماً من نبع الشيخ حسن ونبع الحومة في الكفرون بالإضافة إلى نهر العروس عبر قناة طولها 2,5 كم. يبين (الشكل 2) موقع منطقة البحث.



(الشكل 2). موقع منطقة البحث

1-1 الخصائص المناخية والطبيعية Climatic and natural properties

تمتاز منطقة الدراسة بهضاب منخفضة متموجة، وأراض مستوية وشبه مستوية، حتى تصل إلى مستوى سطح البحر. تقع ضمن مناخ البحر المتوسط الذي يمتاز بشتاء ماطر رطب وصيف حار وجاف مع فصلين انتقاليين قصيرين [8]. يتراوح معدل هطول الأمطار ما بين (850-1250) mm والرطوبة النسبية مرتفعة طيلة العام، مع رياح غربية وشرقية [9]. تتوضع المياه الجوفية على أعماق ليست كبيرة وذات تركيب كيميائي يجعلها صالحة للري والشرب، وتزداد ملوحتها في بعض المناطق القريبة من الشاطئ، ومن المحتمل أن ترتفع مناسيب المياه الجوفية إلى قرب سطح الأرض، وتظهر بعض السليبات المتعلقة بتملح التربة خاصة في حال عدم وجود شبكات الصرف أو قلة فعاليتها.

تتميز التربة في منطقة الدراسة بأنها تربة خصبة ملائمة لجميع الزراعات وهي قليلة التماسك، تتصف بقوام طيني لومي في بعض المناطق، وطيني في مناطق أخرى وبسماكات مختلفة لا تتعدى 1 م، وهي تتميز بمحتوى عالي من كربونات الكالسيوم يتفاوت بين منطقة وأخرى، وقد تشكلت هذه الترب نتيجة تضافر العوامل المناخية والتضاريس والغطاء النباتي [10]. تبين الدراسات السابقة أن كامل منطقة الدراسة مشمولة بالري السطحي من نهر الأبرش، وفي حال عدم كفايتها أو عدم توفرها يتم اللجوء إلى استخدام المياه الجوفية، وتأخذ المياه السطحية الأولية الأولى لري المساحات المزروعة ضمن منطقة الدراسة [11].

2-1 الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية

Geological and hydrogeological properties

أكدت جميع التحريات والدراسات السابقة، وجود طبقات حاملة للمياه الجوفية في غالبية توضعات الأدوار الجيولوجية المنتشرة في سهل عكار. تشكلت المياه الجوفية في رسوبيات الكريتاسي (سينومانيان، تورونيان، سينونيان)، ورسوبيات البليوسين والرباعي. وتُقسم الطبقات الحاملة للمياه الجوفية في منطقة البحث إلى:

- الطبقات الحاملة للمياه الجوفية في الكريتاسي الأعلى.
- الطبقات الحاملة للمياه الجوفية في البليوسين.
- الطبقات الحاملة للمياه الجوفية في الرباعي [12].

وتحتوي المنطقة من وجهة النظر الليتولوجية والستراتيغرافية على ثلاث تشكيلات هيدروجيولوجية رئيسة حاملة للمياه الجوفية هي:

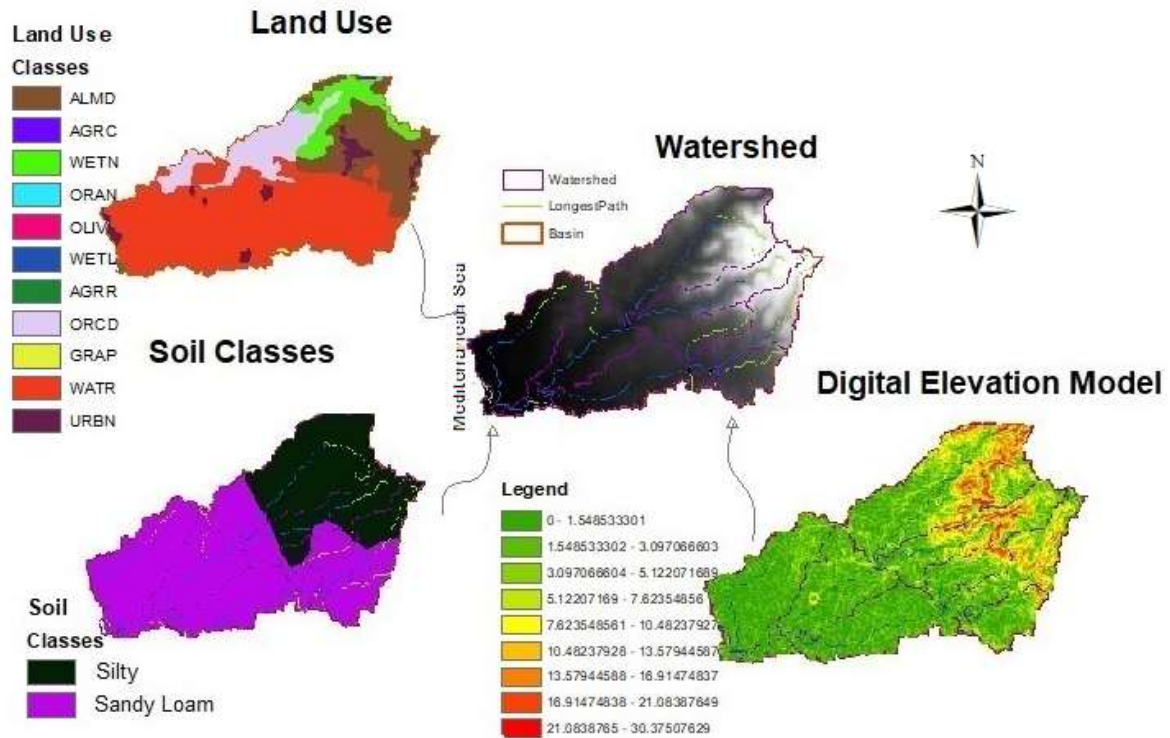
- تشكيلة الصخور الكلسية والدولوميتية المشققة من عمر الكريتاسي والتي تعتبر الحامل المائي الرئيسي نظراً للانتشار الأفقي الواسع، حيث تشغل مساحة حوالي (200) كم²، وثخانة تصل إلى (450) م تتناقص ظاهرياً كلما اتجهنا نحو الغرب بسبب الميل العام للتتابع الطبقي.
- تشكيلة الصخور البركانية وتغطي حوالي (50) كم² من مساحة منطقة الدراسة وتتوزع بكثافة في الجزء الأوسط للنهر وتعود إلى البليوسين Pliocen حيث تتوضع فوق الكريتاسي الأعلى وتبلغ ثخانتها عدة عشرات من الأمتار وتتكون من صبات لافية وبيروكلاستية وهي بمعظمها مرتبطة باندفاعات شقية ذات اتجاهات معترضة على اتجاه الفالق السوري-الإفريقي [13].
- التوضعات الرباعية القارية Quaternary فتغطي أجزاء غير قليلة من التشكيلات السابقة وتتكون من اللحيات النهرية الحديثة والغضار والرمال الناعمة لتشكل التربة الخصبة الصالحة للزراعة في السهل الساحلي الجنوبي، علماً أن المواد اللحيية مغسولة جيداً وتتوضع المياه الجوفية الحرة (موضوع دراستنا) في هذه الطبقة على عمق 1-3 م وأقل أحياناً. ويبلغ عامل الرشح في هذه التوضعات باستخدام طريقة نيسترفوف (25-40) م/يوم. كما تنتشر التوضعات اللحيية الحديثة aQ4 Recent alluvial deposits في أودية المجاري الرئيسية لنهر الأبرش.

النتائج والمناقشة:

1- إنشاء النموذج

البيانات المطلوبة: (ملف الارتفاعات الرقمية في منطقة الدراسة DEM، طبقة استخدام الأراضي Land Use، طبقة أنواع التربة Soil، تحديد نقطة المصب Power Point).

مصدر البيانات: الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق.



(الشكل 3): إدخال البيانات في برنامج SWAT

تقوم بإجراء التراكب بين الطبقات الثلاثة Overlay وتعريف التحليل HRU Definition باختيار Multiple HRUs وتحديد عتبة حدية لكل وحدة بنسبة تقدر بـ 20% من مساحة الحوض. فنحصل على 27 (سبعة وعشرين حقلاً).

2- إنشاء ملفات الإدخال Creating Input Files/Tables

تقوم بكتابة ملفات الإدخال المطلوبة لإنشاء قاعدة البيانات المناخية التي تم الحصول عليها من محطتين مطريتين (محطة سد الباسل، محطة زاهد).

(الجدول 1): الإحداثيات الجغرافية لمحطتي الرصد المطريتين

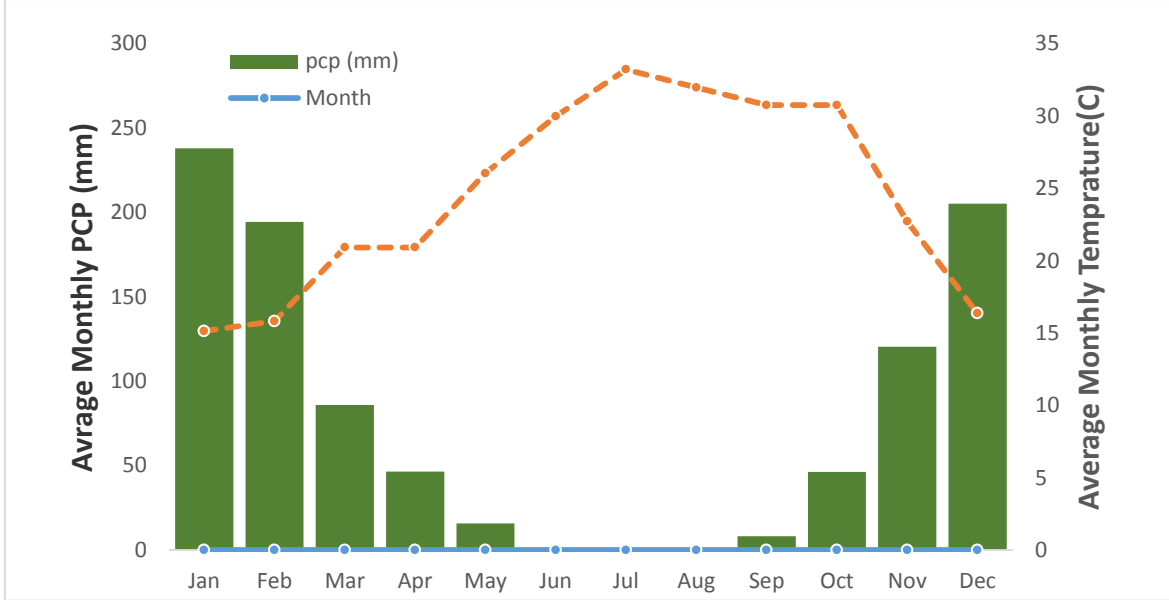
الإحداثيات			المحطات المناخية
Z(m)	N	E	
12	34°38'	35°36'	محطة زاهد
141	34°45'35.3"	36°4'17"	محطة سد الباسل

تتضمن قاعدة البيانات المناخية:

الهطل المطري اليومي (mm)، درجة الحرارة اليومية القصوى والدنيا (°C)، الإشعاع الشمسي (W/m²)، الرطوبة النسبية %، سرعة الرياح m/sec.

البيانات المتوفرة من تاريخ 1979/1/13 إلى تاريخ 2014/7/31.

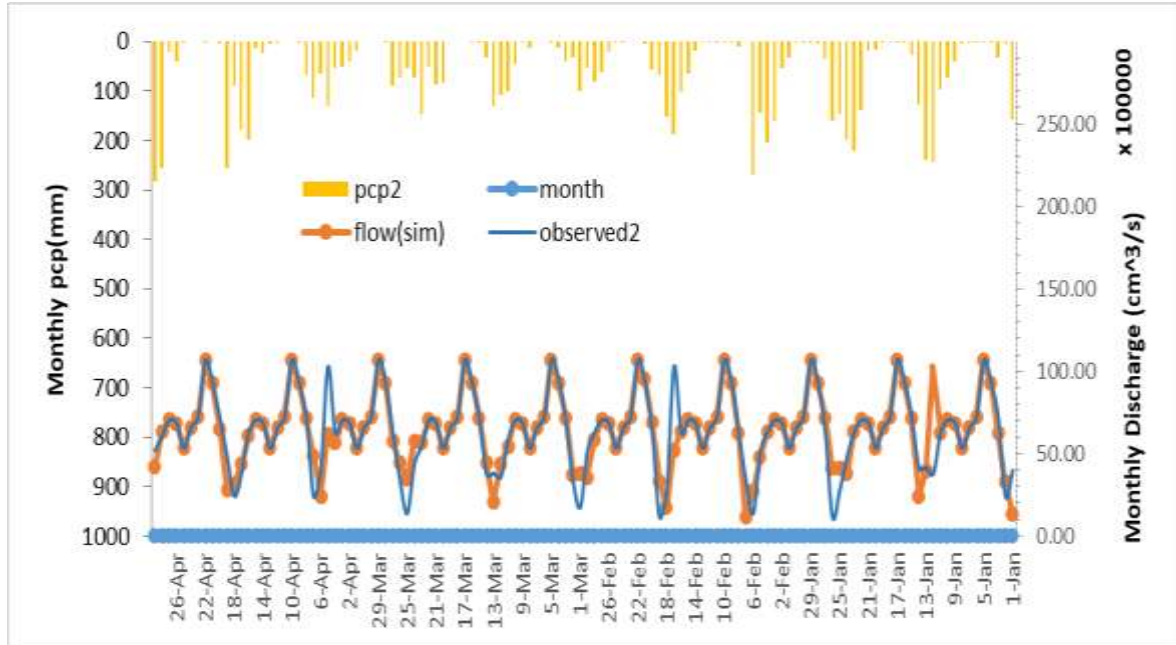
نحدد فترة المحاكاة من 2004/1/1 إلى 2014/1/1 ونغير إعدادات المخرجات إلى (يومية) مع ترك الخيارات الافتراضية الأخرى دون تغيير. نحدد فترة إحماء النموذج: NYSKIP=1 قبل معالجة مخرجات النموذج نقوم بتمثيل متوسط درجات الحرارة الشهرية ومجموع التساقط الشهري المسجل خلال فترة المحاكاة (2004-2014) في محطة زاهد (الشكل 4)



(الشكل 4): متوسط درجة الحرارة الشهرية ومجموع التساقط الشهري في محطة زاهد: تمثل القيم متوسط درجات الحرارة المسجلة وهطول الأمطار شهرياً خلال الفترة التاريخية (2004-2014)

3- معايرة النموذج والتحقق من صحته

في الشكل (5) نقوم بإجراء المعايرة يدوياً في برنامج Excel للتحقق من صحة النموذج باستخدام بيانات التدفق الشهري المسجلة في الفترة الممتدة من تاريخ 2004/1/1 إلى تاريخ 2014/1/1 ومقارنتها مع مخرجات النموذج، ورسم التدفق الشهري الناتج عن المحاكاة (Simulated) والتدفق المسجل وفق البيانات التاريخية (Observed) بالنسبة لجميع الأحواض الجزئية [14].



(الشكل 5): مقارنة نتائج التدفق الشهرية الناتجة عن محاكاة نموذج SWAT مع التدفقات المسجلة تاريخياً بين عامي (2004-2014)

يمكن تقييم أداء النموذج أيضاً باستخدام المؤشرات الإحصائية التالية:

(الجدول 2): إحصائيات معايرة النموذج

المؤشر الإحصائي	المعادلة	الدلالة
معامل كفاءة ناش Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i - Q_{sim}^i)}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i - Q_{obs}^{mean})}$	يشير إلى أن النموذج لديه نفس المهارة التنبؤية بالمقارنة بالبيانات المرصودة.
نسبة جذر مربع الخطأ إلى الانحراف المعياري Standard Deviation Ratio (RSR)	$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i - Q_{sim}^i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i - Q_{obs}^{mean})^2}}$	يشير إلى الخطأ المعياري
النسبة المئوية للتحيز (PBIAS)	$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i - Q_{sim}^i)}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i)} * 100$	يحدد متوسط ميل بيانات المحاكاة لتكون أكبر أو أصغر من نظيراتها المرصودة.
معامل الارتباط R (CORREL)	يحسب في برنامج Excel.	يشير إلى قوة ارتباط عينتين ببعضهما البعض

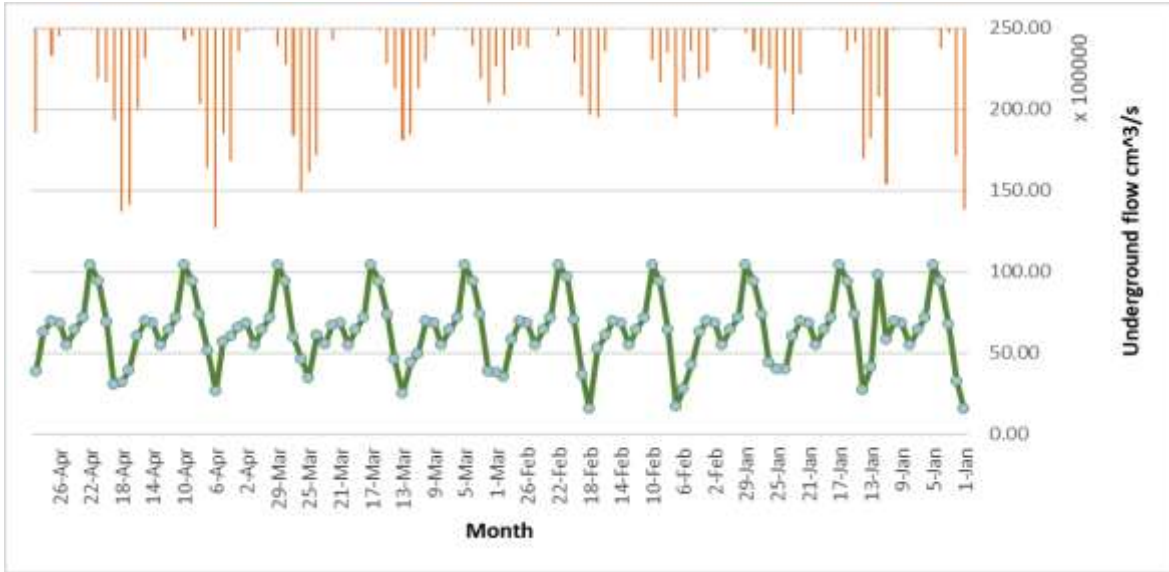
حيث تمثل Q_{sim}^i ، Q_{obs}^i التدفق المحاكى والتدفق المسجل في الخطوة الزمنية i على التوالي، Q_{obs}^{mean} هو متوسط

التدفق المسجل. نحسب قيم المؤشرات الإحصائية في الجدول (3)

(الجدول 3): القيم الحسابية للمؤشرات الإحصائية

المؤشر الإحصائي			
NSE معامل كفاءة ناش	RSR نسبة جذر مربع الخطأ إلى الانحراف المعياري	PBIAS النسبة المئوية للتحيز	R2 معامل الارتباط
0.73	0.53	%0.05	0.74

تشير مقاييس الأداء إلى أن النموذج كان قادراً على محاكاة التدفق السطحي في أحد عشر حوضاً جزئياً بنتائج جيدة. حيث: بلغت قيمة معامل كفاءة ناش $NSE=0.73$ وكلما اقتربت القيمة من 1 تشير إلى دقة التطابق بين العينة المقاسة والنموذج، وبلغت قيمة نسبة جذر مربع الخطأ إلى الانحراف المعياري $RSR=0.53$ (من الأفضل أن تكون قريبة من الصفر)، النسبة المئوية للتحيز $PBIAS=0.05\% < 10\%$. بعد التحقق من صحة نتائج النموذج بالنسبة لمركبة الجريان السطحي يمكننا تمثيل مركبة الجريان الجوفي من نتائج النموذج الشكل (6).



(الشكل 6): نتائج نمذجة مركبة التغذية الجوفية في منطقة الدراسة بين عامي (2004-2014)

4- إدخال نموذج المناخ وسيناريو الانبعاثات إلى منطقة الدراسة

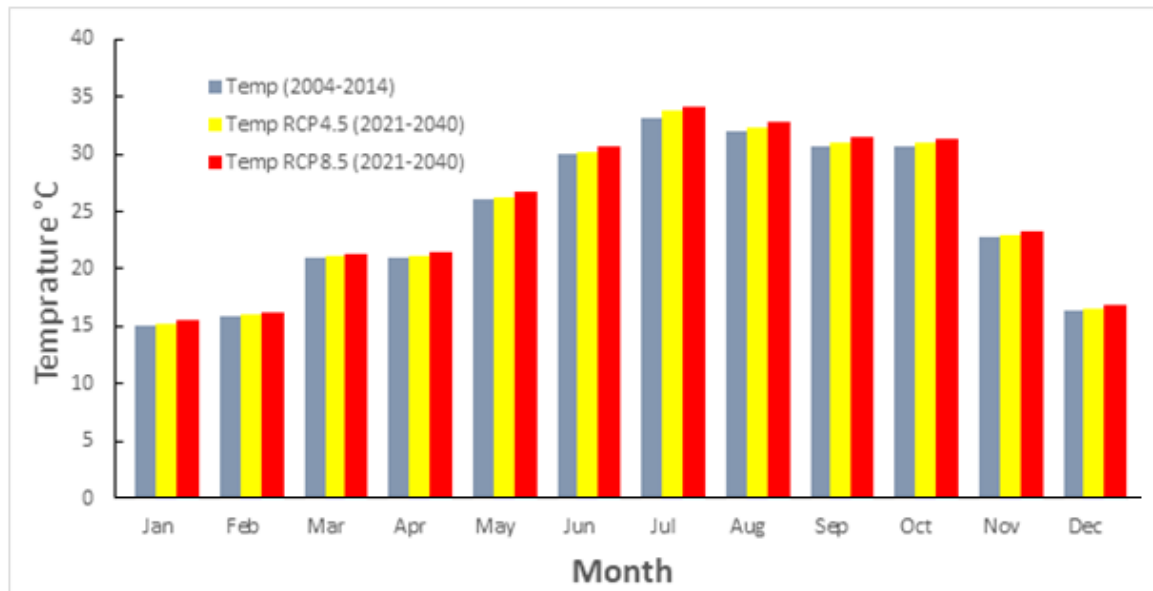
تم استخدام مخرجات نموذج نظام الأرض الجديد لمعهد ماكس بلانك MPI-ESM MR تحت مسارين تمثليين للتركيز (RCP4.5 و RCP8.5) لتقييم المناخ في المستقبل من ناحية درجة الحرارة وهطول الأمطار حيث يظهر النموذج ميلاً نحو مناخ أكثر دفئاً، وبالتالي تسريع الاحترار في السنوات اللاحقة. بإدخال بيانات النموذج في برنامج SWAT وإجراء محاكاة في الفترة الزمنية الممتدة بين عامي 2021 و 2040 يمكننا دراسة التغيرات في مركبة الجريان الجوفي. نظراً لأن التغيرات في درجة الحرارة وهطول الأمطار لها تأثير كبير على أنظمة الموارد المائية والزراعة والبيئة، فقد ركزت الدراسات الأولية في سياق تأثير ظاهرة تغير المناخ بشكل أساسي على هذين المتغيرين [15]. يبين الجدول (4)

متوسط الزيادة السنوية المتوقعة في درجات الحرارة عن معدلها السنوي المقاس خلال الفترة السابقة (فترة المحاكاة بين عامي 2004-2014).

(الجدول 4): مقدار الزيادة المتوقعة في متوسط درجة الحرارة السنوية عن معدلاتها المقيسة خلال فترة المحاكاة خلال أربع فترات زمنية

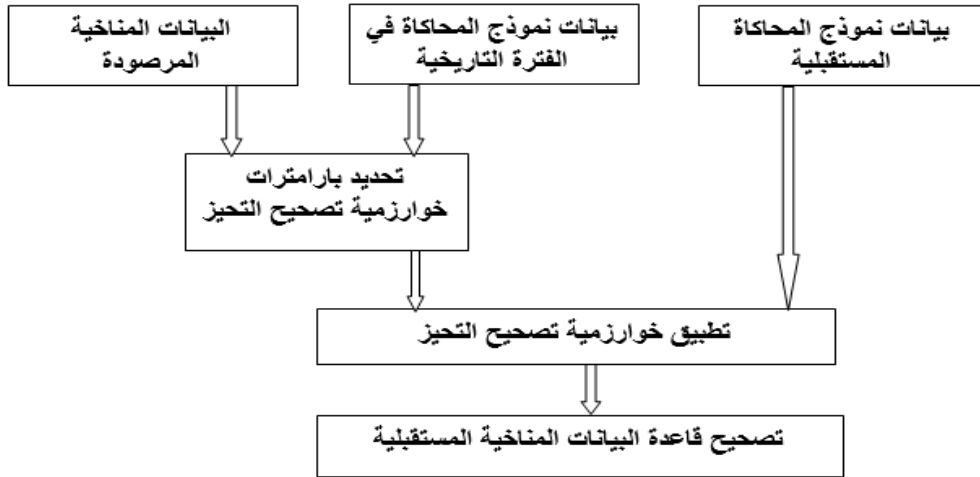
الفترة الزمنية	ارتفاع درجة الحرارة وفق السيناريو RCP 4.5	ارتفاع درجة الحرارة وفق السيناريو RCP 8.5
2021-2040	0.31	0.6

في الشكل (7) نقارن بين متوسط درجات الحرارة المقاسة شهرياً بين عامي (2004-2014) ومتوسط درجات الحرارة درجات الحرارة المتوقعة شهرياً وفق المسارين التمثيليين RCP4.5، RCP8.5 بين عامي (2021-2040):



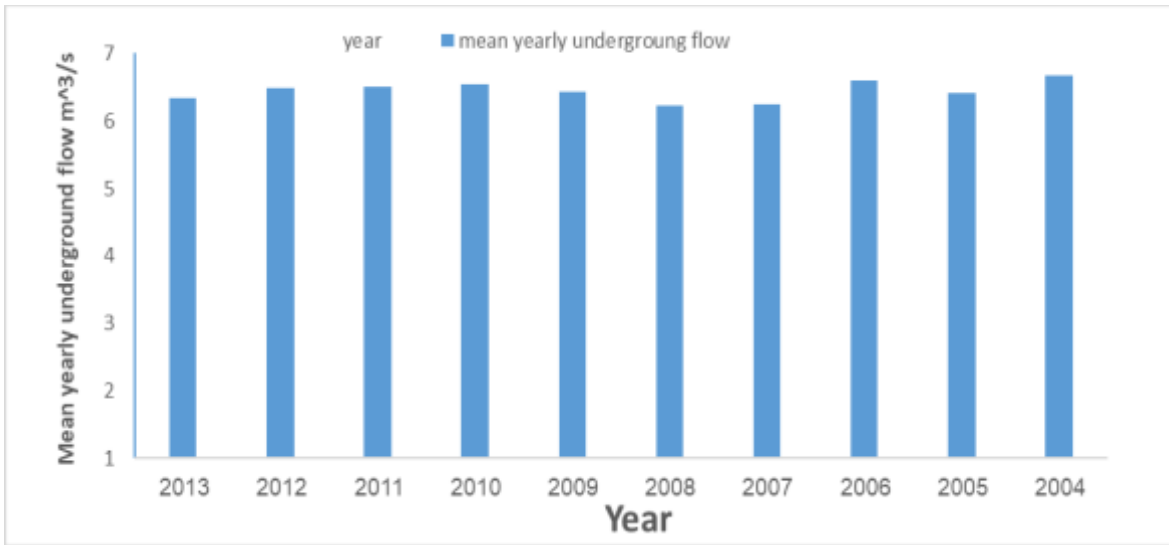
(الشكل 7): مقارنة بين متوسط درجات الحرارة المقاسة شهرياً بين عامي (2004-2014) ومتوسط درجات الحرارة درجات الحرارة المتوقعة شهرياً وفق المسارين التمثيليين RCP4.5، RCP8.5 بين عامي (2021-2040)

لتقدير تأثير تغيير المناخ على مركبة التغذية الجوفية، تم اعتماد مخرجات نموذج MPI-ESM-MR، وهو نموذج دوران عام (GCM) طوره معهد ماكس بلانك لمركز خدمات المناخ للأرصاء الجوية. بسبب الاختلاف الجغرافي بين محطة الرصد ومركز أقرب خلية شبكية يجب تصحيح التحيز أثناء مرحلة المعايرة باستخدام أداة CMhyd (Climate Model data for hydrologic modeling) [16]. وهي أداة يمكن استخدامها لاستخراج البيانات وتصحيح التحيز الذي تم الحصول عليه من النماذج المناخية العالمية والإقليمية، يعتمد CMhyd على خوارزمية إحصائية الشكل (8)، لتحليل آثار تغير المناخ على هطول الأمطار والتصرفات في حوض البحر المتوسط [17].

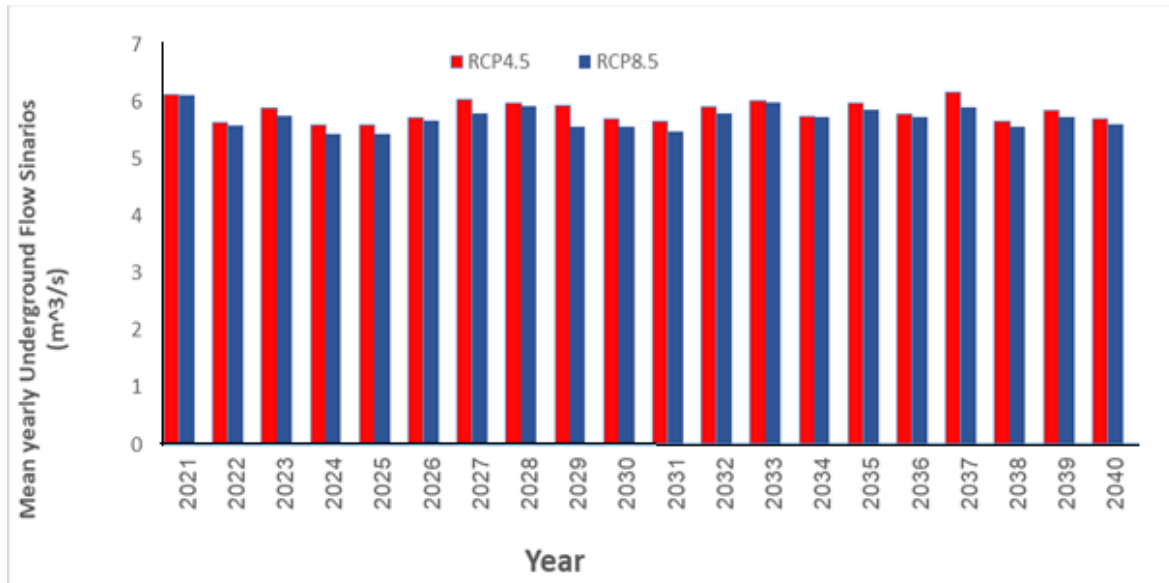


(الشكل 8): خوارزمية تصحيح قاعدة البيانات المناخية المستقبلية

ندخل قاعدتي البيانات المناخيتين المصححتين إلى نموذج SWAT وفق السيناريوهين RCP4.5 و RCP8.5 ونجري عملية المحاكاة في المستقبل القريب بين عامي (2021-2040). في الشكل (9) نقوم بتمثيل المتوسط السنوي لقيم مركبة التغذية الجوفية حسب نموذج SWAT الناتجة عن عملية المحاكاة بين عامي (2004-2014)، وفي الشكل (10) نمثل المتوسط السنوي لقيم مركبة التغذية الجوفية حسب نموذج SWAT نتيجة تنفيذ عملية المحاكاة بين عامي (2021-2040) وفق المسارين التمثيليين RCP4.5 و RCP 8.5.



(الشكل 9): المتوسط السنوي لقيم مركبة التغذية الجوفية حسب نموذج SWAT بين عامي (2004-2014)



(الشكل 10): المتوسط السنوي لقيم مركبة التغذية الجوفية حسب نموذج SWAT بين عامي (2021-2040) وفق المسارين التمثيليين RCP 8.5 و RCP4.5

يبين الجدول (5) المعدل الشهري لنمذجة مركبة الجريان الجوفي في ثلاث فترات: الأولى (2004-2014)، الثانية والثالثة (2021-2040) وفق سيناريوهين تمثيليين RCP4.5 و rcp8.5 على التوالي.

(الجدول 5): المعدل الشهري لنمذجة مركبة الجريان الجوفي في ثلاث فترات

الشهر	المعدل الشهري لمركبة الجريان الجوفي في كل فترة محاكاة (m ³ /sec)		
	(2004-2013)	RCP4.5(2021-2040)	RCP8.5(2021-2040)
كانون الثاني	2.98	3.07	3.16
شباط	3.69	3.85	4.00
آذار	7.00	7.50	7.86
نيسان	9.41	9.82	10.23
أيار	10.42	10.87	8.60
حزيران	7.15	5.60	5.67
تموز	6.47	4.96	4.97
آب	5.46	4.14	4.12
أيلول	6.87	5.17	5.09
تشرين الأول	6.93	5.17	5.06
تشرين الثاني	5.89	4.68	4.73
كانون الأول	5.09	5.18	5.26

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

- أظهرت نتائج نمذجة مركبة التغذية الجوفية في الفترة الممتدة بين عامي (2014-2004) ووفق مساري التركيز التمثيليين (RCP4.5 و RCP8.5) في الفترة المستقبلية بين عامي (2021-2040) ما يلي:
1. يمكن توقع مناخ أكثر دفئاً لمنطقة الدراسة في المستقبل القريب بحلول عام 2040 مع تغير متوقع في درجة الحرارة يتراوح بين $0.31-0.52^{\circ}\text{C}$ وفق المسار التمثيلي RCP4.5 و $0.6-1^{\circ}\text{C}$ وفق المسار التمثيلي RCP8.5.
 2. سيحدث ازدياد في مركبة التغذية الجوفية في فصل الشتاء وفق المسارين التمثيليين RCP4.5, RCP8.5 يقابله انخفاض في معدل التغذية الجوفية في أشهر الصيف يعزى ذلك إلى حدوث زيادة في التبخر والنتح مع ارتفاع درجات الحرارة.
 3. سيحدث انخفاض في كمية المياه المتسربة إلى الخزان الجوفي بنسبة 26% وفق المسار التمثيلي RCP4.5 و 28% وفق المسار التمثيلي RCP8.5.

التوصيات:

1. توسيع البحث لمحاكاة تأثير التغيرات المناخية على جودة المياه أيضاً، كذلك يجب التنويه إلى أن الطريقة الإحصائية ليست دقيقة بما يكفي للتنبؤ اليومي بهطول الأمطار ويمكن بناء نموذج شبكة عصبية (طريقة GRNN) للتنبؤ بهطول الأمطار، والطريقة الجديدة مناسبة لوصف العلاقات غير الخطية المختلفة.
2. وضع خرائط رقمية تفصيلية لأنواع الترب في منطقة الدراسة.
3. وضع خطط مستقبلية لاستخدام الأراضي؛ الأمر الذي يمكن من دراسة التغيرات المناخية على فترات زمنية بعيدة المدى.

References:

1. IPCC (2007), In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M., MILLER, H. L. (eds.), 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 966 p.
2. BIEGER, K.; HORMANN, G.; FOHER, N. Simulation of streamflow and sediment with the soil and water assessment tool in a data scarce catchment in the three gorges region, china. J. Environ. Qual. 2014, 43, 37-45.
3. GRUSSON, Y.; SUN, X.; GASCOIN, S.; SAUVAGE, S.; RAGHAVAN, S.; ANCTIL, F.; SACHEZ-PEREZ, J.M. Assessing the capability of the SWAT model to simulate snow, snow melt and streamflow dynamics over an alpine watershed. J. Hydrol. 2015, 531, 574-588.
4. GASSMAN, P.W.; REYES, M.R.; GREEN, C.H.; ARNOLD, J.G. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. Trans. ASABE 2007, 50, 1211-1250.
5. RAPOSO, JUAN RAMON, DAFONTE, JORGE and MOLINERO, JORGE (2013), *Assessing the impact of future climate change on groundwater recharge in Galicia-Costa, Spain*, Hydrogeology Journal, Volume 21, Issue 2, pp. 459-479.

6. AKSAD in cooperation with the General Authority for Water Resources in Damascus, and the General Company for Water Studies in Homs, 2015. Project for a detailed water budget study in the coastal basin, Akkar.
 7. NEITSCH, S.; ARNOLD, J.; KINIRY, J.; WILLIAMS, J. Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009; Texas Water Resource Institute: College Station, TX USA, 2011; 647p.
 8. AL-DAYA, ANA'AM. DARWISH, SAMI. 1989, Classification the soil of Akkar Plain region on a scale of 1/ 250000, with an area of 40,000 hectares. Ministry of Agriculture and Agrarian Reform - Tartous, Land Directorate.
 9. HAIDAR, MOHAMAD. SEIF EL-DIN, IBRAHIM. A study on the current reality of Akkar Plain in Tartous Governorate and its optimal investment. Ministry of Agriculture and Agrarian Reform - Tartous Agriculture Directorate, 2005
 10. HASSAN, HABIB. MOHAMAD, SAFWAN. *Assessing the suitability of land for current uses in Akkar Plain - Tartous Governorate*, an article published in the Journal of King Abdulaziz University, High Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture, Vol. (27), No. (2), 2017.
 11. ALASAAD, ALI MOHAMAD. AMMAR, GHATFAN. HAYEK, SHARIF. *Geological and Hydrogeological Conditions of the Southern Part of Akkar Plain*, Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research, Lattakia. 2002.
 12. HAYEK, SHARIF. The Hydrological changes and the development and guiding exploitation of groundwater resources, between Al-Kabeer Al-Janoubi and Al-Abrash rivers, 2004.
 13. KABER, YOUSEF. *Development and Evaluation of Water Resources in Al-Abrash River Basin*, an article published in Tishreen University Journal for scientific research, Basic Science Series. Volume (25), issue (15), 2003.
 14. MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Am. Soc. Agric. Biol. Eng. 2007, 50, 885–900.
 15. EURO-CORDEX. Guidance for EURO-CORDEX Climate Projections Data Use. 2017, pp. 1–27. Available online: <https://www.eurocordex.net/imperia/md/content/csc/cordex/euro-cordex-guidelines-version1.0-2017.08.pdf>
 16. RATHJENS, H.; BIEGER, K.; SRINIVASAN, R.; CHAUBEY, I.; Arnold, J.G. CMhyd User's Manual. 2016. Available
 17. AHMED, K.F.; WANG, G.; SILANDER, J.; WILSON, A.M.; ALLEN, J.M.; HORTON, R.; ANYAH, R. Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the U.S. northeast. Glob. Planet. Change. 2013, 100, 320–332.
 18. MITTAL, N.; BHAVE, A.G.; MISHRA, A.; SINGH, R. Impact of human intervention and climate change on natural flow regime. Water Resour. Manag. 2016, 30, 685–699.
 19. HUANG, S.; SHAH, H.; NAZ, B.S.; SHRESTHA, N. Impacts of Hydrological Model Calibration on Projected Hydrological Changes under Climate Change—A Multi-Model Assessment in Three Large River Basins. 2020. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-020-02872>.
-