

## العلاقة بين الهطل المطري والجريان النهري في حوض السفريقية

د. علي محمد الأسعد<sup>1</sup>

ربا علي<sup>1</sup>

تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2017. قُبل للنشر في 27 / 5 / 2018

### □ ملخص □

يقع الحوض الساكب (السفريقية) على السفوح الغربية لسلسلة الجبال الساحلية، وتبلغ مساحته  $132.58 \text{ km}^2$ ، وهو يشكل جزءاً من الحوض الساكب لنهر الروس، ويبدأ مجرى النهر على ارتفاع 1200م، وتلتقي مجموعة روافد فتشكل نهر الروس الذي يصب في البحر المتوسط. وشيّد سد صلاح الدين لتخزين 10 MCM على مجرى النهر عند موقع تلاقي نهر القرداحة مع نهر الشحادة. تهدف الدراسة إلى تحديد العلاقة بين الهطل المطري والجريان السطحي في حوض السفريقية. واعتمد البحث على التحليل الإحصائي لبيانات الهطل المطري والجريان، وبيّنت الدراسة أنّ الكمية الوسطية للهطل المطري السنوي تبلغ 159.6 MCM، والكمية الوسطية للجريان السطحي تبلغ 9.4 MCM خلال فترة الدراسة (2010-2012)، ومن ثمّ فإنّ قيمة عامل الجريان السطحي تبلغ 0.06؛ أي أنّ الفواقد المائية كبيرة جداً، وتمّ استنتاج علاقة رياضية تسمح بتقدير كميات الجريان السطحي اعتماداً على قيم الهطل، لما لذلك من أهمية في دراسة المشروعات المائية لتخزين المياه وإدارتها، ودرء الفيضانات.

الكلمات المفتاحية: الهطل المطري- الجريان السطحي، الحوض الساكب (السفريقية).

<sup>1</sup>. أستاذ في قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
<sup>1</sup>. طالبة دراسات عليا (ماجستير) في قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Rainfall – Runoff Relationship in Alsafarqieh Watershed

Dr. Ali M. ALASAAD\*  
Rouba ALI\*\*

(Received 31 / 8 / 2017. Accepted 27 / 5 / 2018)

### □ ABSTRACT □

The Alsafarqieh watershed is located on the western slopes of the coastal mountain range, Its area is 132.58 km<sup>2</sup>, It forms a part of the Alros river basin, The river starts at a height of 1200 m, A group of tributaries meet and form the Alros River, which flows into the Mediterranean Sea. Salaheddin Dam was constructed to store 10 MCM on the riverbed at the intersection of the Qurdaha River with the Shehada River. The study aims to determine the rainfall- runoff relationship in The Alsafarqieh watershed. The solution depends on the statistical analysis of precipitation and runoff data. Then the study found the mean annual precipitation is 159.6 MCM/year, and the mean annual flow into the Salaheddin lake was 9.4 MCM during the study period (2010-2012), so the runoff coefficient is 0.06. This indicates a significant water loss. A mathematical equation to predict the runoff quantities depending on the values of precipitation, has been concluded. This is important to study water projects for water storage and flood prevention.

**Keywords:** rainfall-runoff relationship, Alsafarqieh watershed.

---

\*Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

\*\*Postgraduate Student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

## مقدمة

يعدّ الهطل المطري من أهمّ العناصر المناخية، وهو العامل الرئيسي لتشكيل الجريان السطحي، ويتعلّق الهطل بالظروف الطبوغرافية المحلية التي تسيطر عليها الجبال والوديان فتشكّل مناطق مناخية مختلفة، تتباين فيها كميات الهطل المائي. ويعدّ الجريان النهري وعلاقته بالهطل نواة الهيدرولوجيا، كما أنّ العلاقة بين الهطل والجريان من أفضل الدراسات لتحليل هيدروغراف الجريان [1، 2، 3، 4].

إنّ اشتقاق العلاقة بين الهطل المطري فوق منطقة الحوض الساكب والجريان الناجم عنه في النهر مسألة أساسية تواجه علماء الهيدرولوجيا. وتتوافر عادةً كمية كبيرة من بيانات الهطل المطري في معظم الدول، لكنّ قياسات الجريان المائي في الأنهار قليلة بسبب كلفتها الكبيرة، بل نادرة في بعض الأنهار، رغم أنّها ضرورية لتقدير الموارد المائية أو تحديد قمم الفيضانات الخطيرة [5].

هناك عوامل أساسية عدّة من أبرزها كميات الأمطار وتوزّعها، والفترة الزمنية للهطول وتضاريس الحوض الساكب، يجب أخذها جميعاً بالحسبان عند إجراء الدراسات الهيدرولوجية لمعرفة تأثيراتها المختلفة في التدفقات، وإيجاد علاقة بين الهطل والجريان، ومن ثمّ يمكن التنبؤ بحدوث الفيضانات المصاحبة للأمطار، وفي هذا الإطار طوّر العلماء عدداً من النماذج الرياضية التي تعتمد على أسس علمية في رسم العلاقة بين الهطل والجريان [6].

لقد أظهرت دراسات في بيئات مختلفة أنّ آثار تغيّر المناخ في تدفقات الأنهار تعتمد ليس فقط على مدى التغيير في المُدخّلات المناخية للأحواض الساكبة، بل وتعتمد أيضاً على خصائص الحوض نفسه، حيث تكون الأحواض الأكثر جفافاً وذات معاملات جريان أقلّ أكثر استجابة للتغيرات المناخية (أو أكثر تأثراً بالتغيرات المناخية). فكلاً ما ازداد تركيز تغيّر الأمطار السنوية الهاطلة شتاءً، يزداد معه تغيّر الجريان؛ أي أنّ تأثير تغيّر المناخ أكثر وضوحاً في التدفقات القليلة منه في التدفقات المتوسطة. وسيؤدي تغيّر المناخ إلى تسارع الدورة الهيدرولوجية العالمية، حيث أنّ الغلاف الجوي الأدفأ يخترن مزيداً من الرطوبة، ويصبح أقلّ استقراراً، وتتسارع عملية التبخر مما يؤدي إلى هطول مزيد من الأمطار على شكل زخات غزيرة بتوزع جغرافي جديد، ما قد يسبب تناقص كمية إمدادات المياه العذبة ونوعيتها في مناطق كثيفة السكان، وهذا بدوره سيكون له تأثيرات كبيرة على الموارد المائية والدراسات الهيدرولوجية على حدّ سواء [7، 8، 9، 10، 11، 12].

من خلال إجراء المحاكاة الهيدرولوجية على الأحواض الساكبة، أثبتت النماذج المستخدمة إمكانات جيّدة كأداة لتوقّع تدفقات المجاري استجابة للتغيرات المناخية، وتبيّن أنّ تدفقات المجاري المسجّلة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بكميات الأمطار المقابلة، مع وجود اختلافات في درجة الارتباط، ويرجع ذلك أساساً إلى الخصائص الطبيعية للحوض. كما أنّ هذه النماذج حساسة خاصة لتغيرات معدّلات الأمطار وعدد الأيام الممطرة. حيث أنّ شدة الأمطار وطول فترة الهطول هما المحدّد الرئيسي لحجم المياه، أمّا الخصائص الجيومورفولوجية فقد ارتبط تأثيرها بتفاوت الجريان السطحي ومعدّلات التسرب. وتبيّن أنّ تدفق المجاري المائية أكثر حساسية لهطولات الأمطار في المنطقة الرطبة عمّا هو عليه في المنطقة الجافة، لأنّ ظروف المناخ الرطب تجعل التربة مشبعة تقريباً بالماء، بحيث يصبح من السهل تشكّل الجريان السطحي، وهذا يعني أنّ التدفق أكثر حساسية للتغيّر في هطول الأمطار في المناطق الرطبة مما هو عليه في المناطق الجافة، حيث أنّ المناطق الرطبة أسرع تأثراً بالمخاطر الناجمة عن تغيّر المناخ [12، 13، 14، 15، 16، 17].

عند نمذجة الجريان السطحي - الهطل شبه الموزّع semi-distributed، نجد أنّ التأثير المهيمن هو التغيّر المكاني لهطول الأمطار، إلّا أنه متضائل على نطاق الحوض الساكب كلّ. كما أثبتت النتائج أنّ نماذج الجريان

السطحي- الهطل المطري rainfall-runoff models المعايير على مدى الفترة المناخية المتوسطة الرطوبية أو الرطبة ليست مناسبة لمحاكاة الجريان السطحي على مدى فترات جافة وقصيرة للغاية [18، 19]. تقع الموارد المائية في سورية تحت ضغوط كبيرة ومتزايدة، وسوف تؤدي زيادة في درجات الحرارة، أو نقصان الهطل المطري نتيجة التغيرات المناخية، إلى تفاقم كبير في الصعوبات المرتبطة بتأمين المياه. ولم تتناول الدراسات السابقة العلاقة بين الهطل والجريان في حوض السفريقية، الذي يشكل جزءاً من حوض الساحل.

### أهمية البحث وأهدافه

يُعدّ الجريان السطحي من أهم عناصر الدورة الهيدرولوجية، باعتباره مورداً مائياً يجب العناية به بإنشاء السدود للحفاظ عليه واستثماره في ري المزارع أو لإمداد المدن باحتياجاتها المائية [20]. وتعتمد هيدرولوجيا المياه السطحية اعتماداً أساسياً على العلاقة بين الهطل المطري والجريان السطحي؛ لأنّ الجريان السطحي هو المحصلة النهائية لمياه الأمطار، وما يرتبط به من إمكانية استغلاله كمورد مائي طبيعي من ناحية، أو العمل على درء مخاطره السيلية من ناحية أخرى. من هنا تأتي أهمية معرفة انحراف عناصر المناخ المختلفة عن معدلها العام، وتأثير ذلك في تدفقات الأنهار [1].

إن استيفاء البيانات المفقودة لقياسات التدفق في المجاري المائية، وتقدير التدفقات التي تنتج من عواصف مطرية يمكن أن تحدث باحتمال محدد، له أهمية كبيرة في تصميم المشاريع الهندسية وفي الإدارة المتكاملة والمستدامة للموارد المائية في الأحواض المائية.

يهدف البحث إلى استنتاج علاقة تربط بين قيم الهطل المطري والجريان النهري ضمن حوض السفريقية اعتماداً على التحليل الإحصائي لبيانات الهطل المطري وتدفق المياه إلى بحيرة سد صلاح الدين.

### طرائق البحث ومواده

يقع حوض نهر الروس على السفوح الغربية للجبال الساحلية، يحده حوض نهر العاصي من الشرق، وحوض نهر الصنوبر من الشمال، وحوض نهر المضيق في الشمال الغربي، وحوض جبلة والسخابية من الجنوب، وتبلغ مساحته  $204 \text{ km}^2$ ، (الشكل 1). منحدراته شديدة الميل في المرتفعات (1300-250م)، تبدأ بالاستقرار في الجزء السهلي قرب المصب.

يجري النهر في القسم العلوي عبر وادٍ عميق ضيق ذي سفوح منحدر. يجفّ موسمياً (من تموز إلى أيلول)، وله شبكة هيدروغرافية كثيفة، ويصب فيه من جانبيه الأيمن والأيسر عدد كبير من الروافد الصغيرة التي تجفّ موسمياً أيضاً، أمّا القسم السفلي من المجرى في المنطقة السهلية فهو قليل الميل، ودائم الجريان على حساب تصريف المياه الجوفية. ويصبّ نهر الروس في البحر المتوسط على بعد  $6 \text{ km}$  شمال مدينة جبلة.

ويشكل حوض السفريقية الحوض الجزئي الجنوبي الشرقي من حوض نهر الروس، وتبلغ مساحته  $132.58 \text{ km}^2$  وشيّد عليه سد صلاح الدين، فتشكلت بحيرة يبلغ تخزينها  $10 \text{ MCM}$ . (الشكل 1).

تتكشّف في أرجاء حوض السفريقية صخور كلسية وحوارية مشققة بشدة، وصخور دولوميتية مشققة مع مارل في المناطق المنخفضة، وتنتشر توضعات الرباعي ذات النفوذية الجيدة في سهول المجاري الرئيسية، كما تنتشر الظواهر الكارستية في الصخور الكلسية والحوارية. وتغطي الغابات بعض أراضيها الجبلية. سفوح الوادي في المنطقة الجبلية ذات

انحدار شديد، يصل إلى  $40^\circ$  وأكثر أحياناً، وهي مغطاة بالأعشاب والشجيرات الصغيرة، وجرى استصلاح الأراضي وسفوح الوادي على شكل مصاطب تُستثمر في زراعة الزيتون والأشجار المثمرة.

يجري نهر القرداحة في حوض السفريقية، وهو أكثر روافد نهر الروس أهمية، يبلغ طوله (24) كم، وينبع النهر من السفوح الغربية لسلسلة الجبال الساحلية على ارتفاع 1275م فوق سطح البحر، ويشغل القسم الجنوبي لحوض نهر الروس، ويجفّ النهر موسمياً.

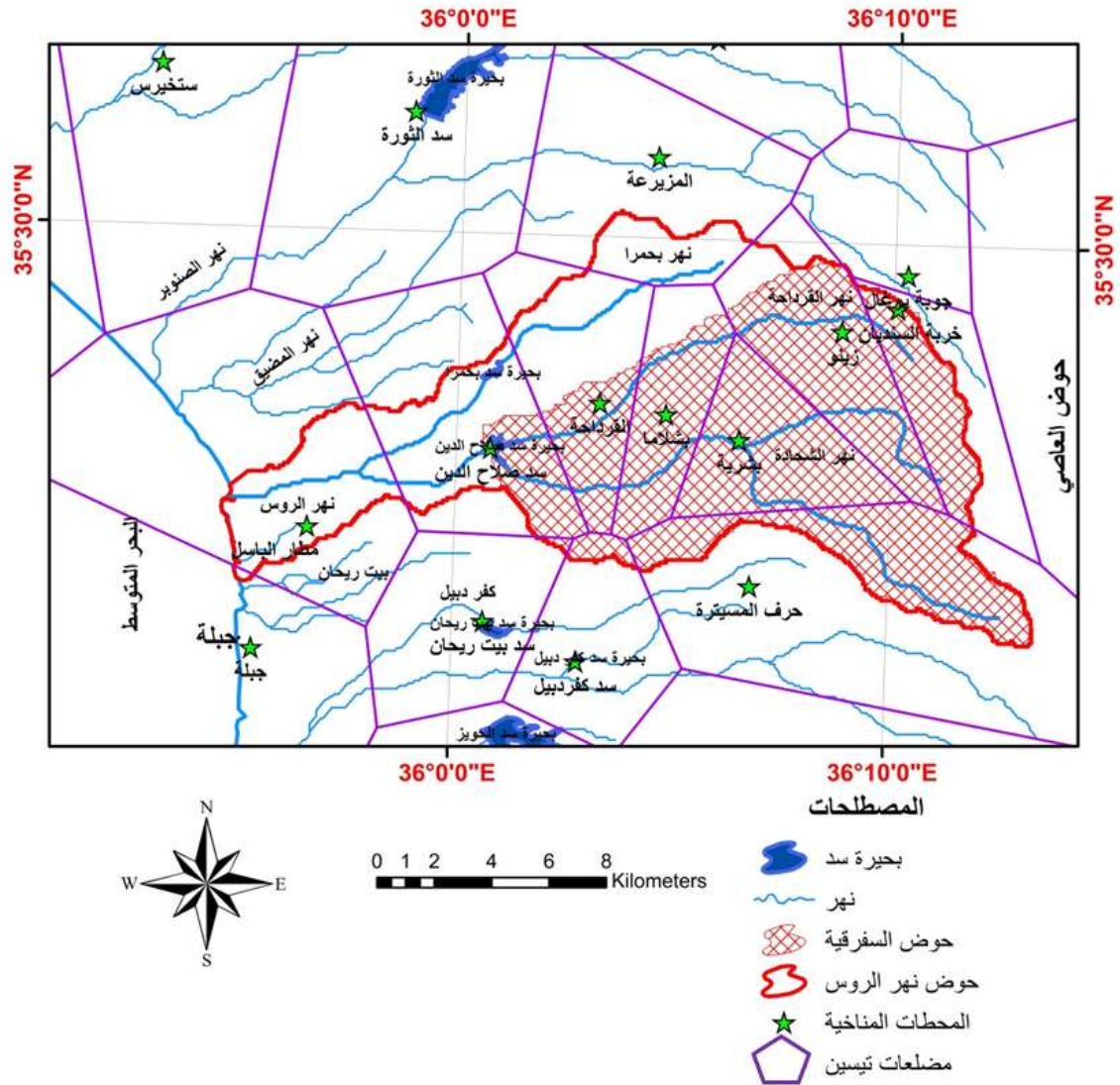
يبلغ عمق الماء في نهر القرداحة في أثناء فترة الفيضانات، (2.5-2) م ويصل أحياناً حتى (5-4) م. سماكة التربة قليلة على سفوح المجرى، وهي ذات غطاء نباتي ضعيف، وتتكشف الأحجار الكلسية على هذه السفوح. تشكّلت أرض المدرجات الجانبية من الحصى الكبيرة وبعض الحجارة الكبيرة ومجرى النهر قليل التعرج، وسببت الميول الكبيرة وجود عدد كبير من العتبات.

تصنّف أودية نهر القرداحة على أنها وديان من النمط الناتج بفعل التعرية. وتظهر تناوباً بين المنحدرات الحادة والتموّجة، ولها مقطع على هيئة الحرف V. تتراوح زوايا ميل الضفة اليسرى لنهر القرداحة بين 15 درجة و 31 درجة، ومثيلاتها في الضفة اليمنى بين 17 درجة و 37 درجة. تبرز أحياناً الصخور الكلسية في قاع المجرى، ولا توجد رواسب طمي، بسبب سرعة الجريان الكبيرة.

الضفاف شديدة الانحدار أحياناً في قاع النهر، وتتألف من الصخور الرسوبية المتصدّعة بكثرة. ويلتقي نهر القرداحة من جانبه الأيسر مع نهر الشحادة، ثمّ يصبّ في نهر الروس.

وشيد سد صلاح الدين على مجرى نهر القرداحة عند تقاطعه مع نهر الشحادة بطاقة تخزينية 10 MCM، وتبلغ مساحة حوضه الصباب 132.6 كم<sup>2</sup>، وبدأ ملء البحيرة عام 1986.

ويقع السد في منطقة القرداحة على بعد 7/ كم غرب مدينة القرداحة، عند موقع قرية السفريقية. وهو سد ركامي بنواة غضارية، يتكوّن من ردميات غضارية ورملية وحصى نهريّة و ردميات صخرية.



الشكل 1. موقع منطقة الدراسة والمحطات المطرية المنتشرة فيها.

لقد دُرست تغيرات الهطل المطري بالاستعانة ببرنامج GIS في تسع محطات هطل مطري، هي: سد بيت ربحان؛ سد كفردبيل؛ حرف المسيطرة؛ سد صلاح الدين؛ القرداحة؛ بشلاما، بشرية، زينو، خربة السندان، موزعة ضمن حوض السفريقية وفي جواره، (الشكل 1). واستُكملت بيانات الهطل المطري اليومي المفقودة بتطبيق العلاقة الآتية [21]:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (1)$$

حيث:  $X$  - المحطة ذات بيانات الهطل المفقودة؛

$P_x$  - قيمة الهطل المفقودة في المحطة  $X$ ؛  $n$  عدد المحطات المجاورة للمحطة  $X$ ؛  $P_i$  قيمة الهطل في المحطة

المجاورة ذات قيم الهطل المعلومة؛  $L_i$  بُعد المحطات عن المحطة  $X$ .

اعتماداً على بيانات الهطل المطري اليومي في المحطات الواقعة ضمن الحوض الساكب لبحيرة سد صلاح الدين وفي جواره القريب، رُسمت مزلعات تيسين Thiessen polygons باستخدام برنامج GIS (الشكل 1)، وبيّن الجدول (1) المحطات المعتمدة في الدراسة وبياناتها خلال السنوات 2010، 2011، 2012، [22].

الجدول 1. المحطات المطرية وبياناتها في المنطقة المدروسة.

المساحة الجزئية حسب تيسين [km <sup>2</sup> ]	الارتفاع عن سطح البحر [m]	الإحداثيات		المحطات
		خط العرض N	خط الطول E	
0.29	130	35° 22' 41.94"	36° 0' 43.26"	سد بيت ربحان
1.83	190	35° 21'	36° 02'	سد كفرديبل
26.25	800	35°23'30"	36°6'50"	حرف المسيطرة
9.05	140	35 ° 25'	36° 0' 47.5"	سد صلاح الدين
11.26	242	35° 26' 52.6"	36° 3' 18.7"	القرداحة
17.29	388	35° 26' 40"	36° 4' 48.6"	بشلاما
26.47	396	35° 26' 14.8"	36° 6' 33"	بشرية
26.84	809	35°28'20.7"	36° 8' 51"	زينو
13.30	850	35°28'47.8"	36°10'5.4"	خربة السنديان

ومن ثم جرى حساب حجوم المياه الواردة يومياً إلى بحيرة سد صلاح الدين من بيانات حجوم التخزين اليومية للبحيرة، باستخدام معادلة الموازنة المائية للبحيرة:

$$\Delta S = I - O \quad (2)$$

حيث:  $\Delta S$  - تغيير حجم التخزين بين بداية العاصفة المطرية ونهايتها [MCM]؛

$I$  - الجريان الوارد Inflow، [MCM]؛

$O$  - الجريان الخارج Outflow، [MCM]. الذي يمثّل الفوائد الكلية من البحيرة بين بداية العاصفة ونهايتها وتتضمن: فواقد التبخر، وفواقد موشور الصرف، وفواقد التسرب، والمياه الجارية من البحيرة عبر المفيض والمفرغ، وكمية المياه المسحوبة من مأخذ الرّي.

إنّ حجوم التخزين في بحيرة السد ناتجة من الجريان الوارد إليها بوساطة المجاري المائية في أثناء هطول الأمطار وبعدها، واعتماداً على كميات التخزين جرى حساب كميات الجريان الصافية الناتجة من الهطل فوق الحوض الساكب للبحيرة (حوض السفرقية) بهدف استنتاج العلاقة بين الهطل والجريان.

## النتائج والمناقشة

حدّدت السماكة الوسطية لطبقة الهطل المطري اليومية اعتماداً على معطيات المحطات المناخية التسع الموجودة في منطقة الحوض الساكب لبحيرة سد صلاح الدين وفي جواره بتطبيق طريقة تيسين، حيث بلغت كمية الهطل المطري (89.6 MCM) خلال العام 2010، و(239.2 MCM) في سنة 2011، و(150 MCM) في سنة 2012. ومن ثمّ

فإنّ الكمية الوسطية السنوية للسنوات الثلاث (فترة الدراسة) للهطل المطري تبلغ 159.6 MCM، والكمية الوسطية السنوية للجريان السطحي 9.4 MCM خلال الفترة نفسها، ويتقسيم كمية الجريان السطحي على كمية الهطل المطري نجد أن عامل الجريان السطحي يبلغ 0.06. ويعود سبب انخفاض قيمة عامل الجريان إلى انتشار الشقوق والكارست في الصخور الكلسية والحوارية؛ الأمر الذي يزيد نفوذية الصخور. كما أنّ انتشار الغابات والحقول الزراعية والمصاطب يقلل قيمة عامل الجريان وكميته.

حُسبت كميات الهطل المطري خلال كل عاصفة مطرية؛ أي تمّ جمع القيم اليومية للهطل المطري لكل عاصفة مطرية اعتماداً على قيم الهطل المسجلة في محطات قياس الهطل. وحُسبت كميات الجريان المقابلة لها اعتماداً على قيم التخزين في بحيرة سد صلاح الدين خلال مدة العاصفة المطرية نفسها؛ أي أنّ الجريان الوارد إلى البحيرة يساوي التخزين الصافي وكميات السحب منها والتبخر من سطحها والتسرب من قاعها وكمية المياه الخارجة منها عبر المفيض؛ أي أنّ الحسابات اعتمدت على حساب الموازنة المائية للبحيرة خلال 48 عاصفة حدثت خلال الشتاء (الجدول 2)، بحيث تكون كمية الهطل المطري أكبر من كمية الفوائد؛ أي يوجد هطل فعال يسبب جرياناً. وبعد تمثيل بيانات كميات الهطل اليومية مقدرة بـ MCM وكميات الجريان المقابلة لها مقدرة بـ MCM، باستخدام برنامج Excel، استنتجت العلاقة الآتية (3) بين الهطل والجريان (الشكل 2):

$$Q = -6 * 10^{-6} * P^3 + 0.0022 * P^2 + 0.0017 * P + 0.0174 \quad (3)$$

وأعطت هذه المعادلة قيمة جيدة لمعامل الارتباط أكبر من R= 0.94

P - كميات الهطل اليومية MCM فوق الحوض الساكب.

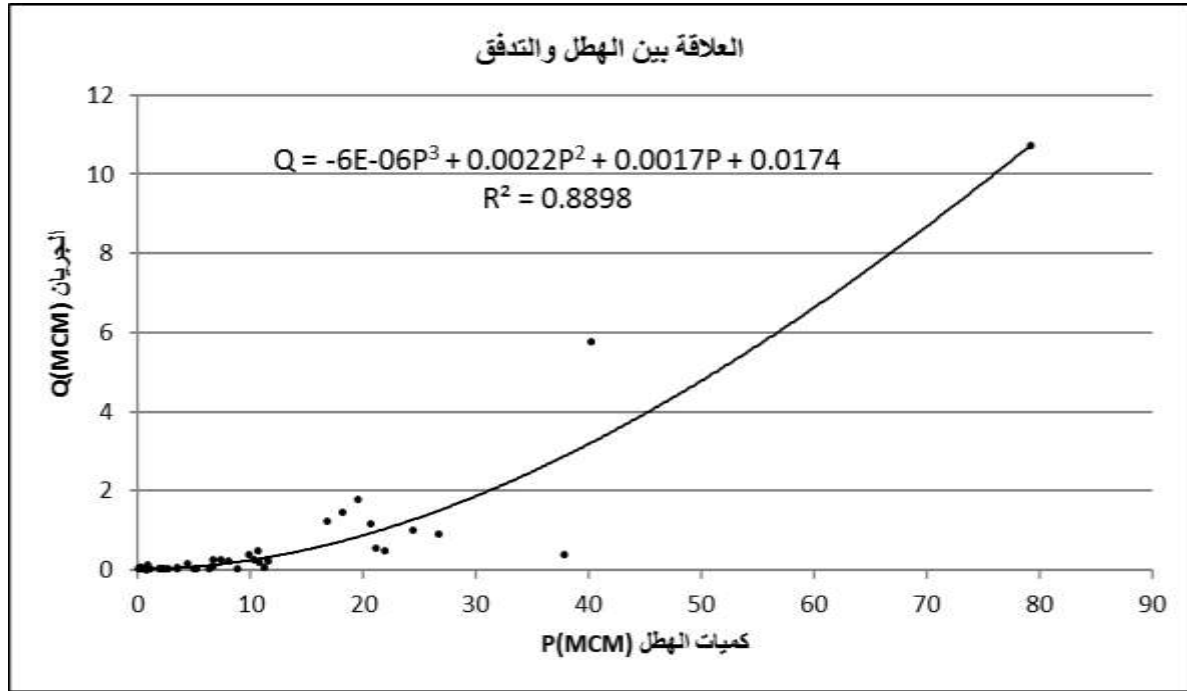
Q - كميات الجريان السطحي MCM.

الجدول 2. كميات الهطل اليومية وكميات الجريان السطحي Q المقابلة لها.

مدة الهطل (يوم)	P (MCM)	Q(MCM)	مدة الهطل (يوم)	P (MCM)	Q(MCM)
3	0.89	0.11	12	8.10	0.21
15	20.70	1.14	7	3.60	0.05
13	9.97	0.39	2	0.26	0.03
13	6.78	0.24	5	0.96	0.01
4	0.25	0.05	2	1.21	0.00
2	0.17	0.01	5	8.86	0.00
6	0.45	0.01	3	2.15	0.00
6	2.25	0.01	3	11.27	0.04
7	6.72	0.09	4	5.31	0.00
4	2.80	0.01	4	3.56	0.00
4	0.51	0.00	3	0.21	0.00
15	37.94	0.38	8	6.45	0.00
1	0.18	0.00	13	26.73	0.89
1	1.94	0.03	5	10.34	0.24
5	7.42	0.25	3	2.47	0.02
1	0.13	0.02	6	18.25	1.45
8	21.15	0.53	4	10.67	0.48
16	24.52	0.98	12	40.33	5.76
5	16.86	1.23	1	0.79	0.00



7	19.63	1.77	3	0.70	0.00
7	4.42	0.13	4	5.04	0.00
2	0.37	0.06	7	21.94	0.48
10	11.60	0.21	4	1.93	0.00
8	10.79	0.18	18	79.29	10.70



الشكل 2. العلاقة بين كميات الهطل المطري وكميات الجريان السطحي المقابلة خلال كل عاصفة مطرية في حوض السفريقية.

الثابت 0.0174 MCM في العلاقة يمثل القيمة الوسطية لكمية الجريان الدائم في النهر خلال الفترة الممطرة من الفترة المدروسة (الأعوام 2010، 2011، 2012)؛ أي توجد تغذية جوفية للنهر، فالنهر دائم الجريان خلال موسم الأمطار، ويجف خلال فترة الصيف.

تحدث القيم الأعظمية للجريان السطحي في النهر بعد الهطولات المائية الغزيرة المتلاحقة خلال فصلي الشتاء والربيع فقط؛ لأن التربة تكون رطبة جداً، والفواقد بالتبخر والتسرب وغيرها تكون في حدودها الدنيا (الجدول 3).

الجدول 3. كمية الهطل والجريان المقابلة لها وعامل الجريان والهطل الفعال لكل عاصفة مطرية

الهطل الفعال (mm)	عامل الجريان C	كمية الجريان R (m <sup>3</sup> )	كمية الهطل $\sum P_i$ (m <sup>3</sup> )	ارتفاع طبقة الهطل P <sub>i</sub> (mm)	مدة الهطل (يوم)	بداية العاصفة	نهاية العاصفة
0.8	0.1248	111088	890389	6.72	3	01/01/2010	04/01/2010
8.6	0.0551	1139707	20695244	156.10	15	11/01/2010	26/01/2010
2.9	0.039	388740	9974879	75.24	13	29/01/2010	11/02/2010
1.8	0.0353	239235	6778352	51.13	13	18/02/2010	03/03/2010
0.3	0.1796	45414	252917	1.91	4	04/03/2010	08/03/2010

نهاية العاصفة	بداية العاصفة	مدة الهطل (يوم)	ارتفاع طبقة الهطل Pi (mm)	كمية الهطل $\sum Pi (m^3)$	كمية الجريان R ( $m^3$ )	عامل الجريان C	الهطل الفعال (mm)
11/03/2010	09/03/2010	2	1.31	173557	6115	0.0352	0
20/03/2010	14/03/2010	6	3.37	446503	8955	0.0201	0.1
31/03/2010	25/03/2010	6	16.98	2250835	6334	0.0028	0
14/04/2010	07/04/2010	7	50.66	6716304	85790	0.0128	0.6
24/04/2010	20/04/2010	4	21.09	2796297	5549	0.0020	0
02/05/2010	28/04/2010	4	3.88	514511	5000	0.0097	0
20/12/2010	05/12/2010	15	286.19	37943404	381072	0.01	2.9
31/12/2010	30/12/2010	1	1.37	181680	1309	0.0072	0
04/01/2011	03/01/2011	1	14.63	1939048	26691	0.0138	0.2
12/01/2011	07/01/2011	5	55.97	7420712	254900	0.0343	1.9
19/01/2011	18/01/2011	1	0.96	126797	15815	0.1247	0
01/02/2011	24/01/2011	8	159.53	21150139	527485	0.0249	4.0
24/02/2011	08/02/2011	16	184.95	24520797	975668	0.0398	7.4
02/03/2011	25/02/2011	5	127.21	16864983	1231074	0.073	9.3
13/03/2011	06/03/2011	7	148.08	19632523	1765185	0.0899	13.3
27/03/2011	20/03/2011	7	33.32	4417173	132962	0.0301	1.0
30/03/2011	28/03/2011	2	2.82	373253	60927	0.1632	0
14/04/2011	04/04/2011	10	87.46	11595450	214695	0.0185	1.6
26/04/2011	18/04/2011	8	81.36	10787239	180997	0.0168	1.4
09/05/2011	27/04/2011	12	61.07	8096317	205334	0.0254	1.5
17/05/2011	10/05/2011	7	27.19	3604685	52913	0.0147	0.4
20/05/2011	18/05/2011	2	1.96	259998	29059	0.1118	0.2
30/05/2011	25/05/2011	5	7.22	957768	8229	0.0086	0.1
02/06/2011	31/05/2011	2	9.13	1210725	2988	0.0025	0
28/09/2011	23/09/2011	5	66.85	8862990	2244	0.0003	0
03/10/2011	30/09/2011	3	16.22	2150662	1711	0.0008	0
10/10/2011	07/10/2011	3	85.01	11270058	42214	0.0037	0.3
15/10/2011	11/10/2011	4	40.07	5312673	2083	0.0004	0
20/10/2011	16/10/2011	4	26.83	3557173	2384	0.0007	0
29/10/2011	26/10/2011	3	1.58	209732	1767	0.0084	0
07/11/2011	30/10/2011	8	48.68	6453774	1709	0.0003	0
24/11/2011	11/11/2011	13	201.63	26731653	886849	0.0332	6.7
12/12/2011	07/12/2011	5	78.00	10340690	239229	0.0231	1.8
19/12/2011	16/12/2011	3	18.62	2469237	16073	0.0065	0.1
27/12/2011	21/12/2011	6	137.68	18254113	1454456	0.0797	11.0
03/01/2012	30/12/2011	4	80.50	10673192	479589	0.0449	3.6

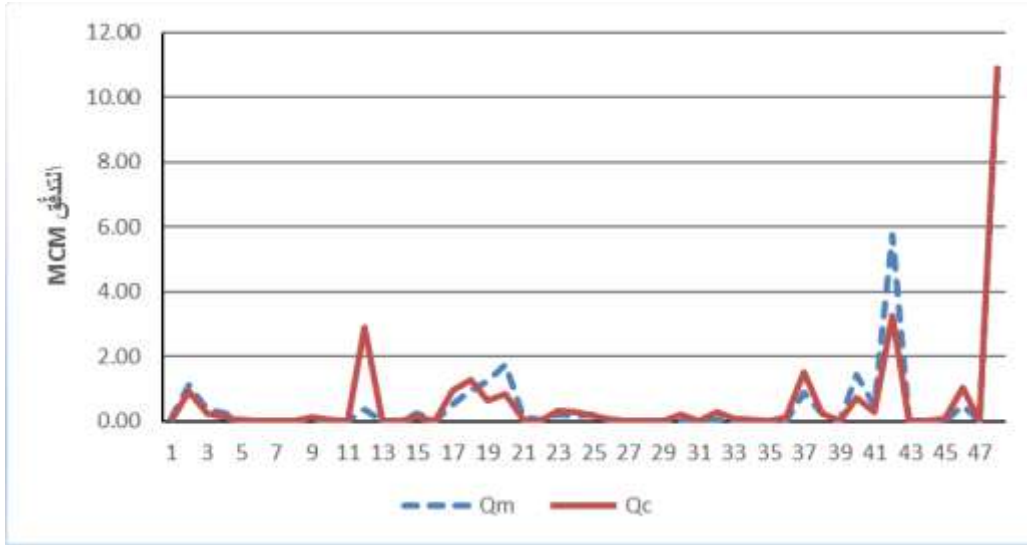
نهاية العاصفة	بداية العاصفة	مدة الهطل (يوم)	ارتفاع طبقة الهطل Pi (mm)	كمية الهطل $\sum Pi (m^3)$	كمية الجريان R ( $m^3$ )	عامل الجريان C	الهطل الفعّال (mm)
17/01/2012	05/01/2012	12	304.19	40328974	5761390	0.1429	43.5
16/10/2012	15/10/2012	1	5.94	787500	804	0.001	0
23/10/2012	20/10/2012	3	5.28	699811	2199	0.0031	0
28/10/2012	24/10/2012	4	38.02	5040962	2497	0.0005	0
15/11/2012	08/11/2012	7	165.45	21935977	483786	0.0221	3.6
26/11/2012	22/11/2012	4	14.59	1934221	2388	0.0012	0
21/12/2012	03/12/2012	18	598.05	79289945	10704143	0.135	80.7

بيّنت نتائج تحليل الجريان الناتج من كل عاصفة مطرية (الشكل 2) و(الجدول 3) أنّ مدة العاصفة المطرية وزمن هطولها والفواصل الزمنية بين عاصفة مطرية وأخرى تؤدّي دوراً مهماً في كمية الجريان الناتج من كل العاصفة. فنجد أن كمية من الهطل المطري مقدارها ( $40328974m^3$ ) هطلت في شهر كانون الثاني لعام 2012 لمدة 12 يوماً متتالياً سببت جرياناً مقداره ( $5761390 m^3$ ) فكانت قيمة عامل الجريان (14.3 %) والهطل الفعّال (المطر الصافي net rain الذي يسبب جرياناً) (43.5mm)، بينما سببت كمية هطل قريبة منها مقدارها ( $37943404 m^3$ ) خلال شهر كانون الأول لعام 2010 لمدة 15 يوماً متتالياً جرياناً أقلّ بكثير مقداره ( $381072 m^3$ ) بعامل جريان (1%) فقط وهطل فعّال قليل (2.9mm)؛ لأنّ العاصفة المطرية كانت أول عاصفة تهطل في خريف وشتاء عام 2010، لذلك كانت فواقد الهطل كبيرة؛ لأنّ التربة مشقّقة ومفكّكة وجافة، ممّا يسمح بتسرّب كميات أكبر من مياه الهطل، كما أن درجات الحرارة ورطوبة الجو تسبّب زيادة الفواقد بالتبخر حيث بلغ متوسط درجة الحرارة العظمى 28.2 °C في تلك الفترة، وتعدّ درجة الحرارة مرتفعة نسبياً لشهر كانون الأول، وهذا يسبب زيادة الفواقد بالتبخر ونقصان المطر الفعّال والجريان السطحي الناتج منه؛ أي تناقص عامل الجريان. أما العاصفة المطرية الأولى (2012) فقد حصلت بعد عواصف مطرية عدّة، إذ هطلت منذ أواخر شهر كانون الأول وحتى شهر كانون الثاني؛ أي أنّ التربة حينئذٍ تكون مشبعة والفواقد بالتسرّب قليلة، حيث تزداد رطوبة التربة مع تقدم فصل الأمطار، وتتخفّف درجات الحرارة ومن ثمّ تكون الفواقد بأشكالها المختلفة قليلة ما يؤدي إلى زيادة عامل الجريان، وزيادة قيمة الهطل الفعّال، ومن ثمّ نجد أنّ قيم الهطل الفعّال تختلف تبعاً للظروف المناخية وحالة التربة في كلّ شهر، وحسب كثافة الأعمال الزراعية وفترة نمو النباتات.

وهطل في شهر كانون الأول عام 2012 كمية مقدارها ( $79289945 m^3$ ) لمدة 18 يوماً متتالياً نتج عنها جريان مقداره ( $10704143 m^3$ ) بعامل جريان (13.5%) وهطل فعّال (80.7mm)، وهي أكبر كمية هطل خلال الفترة المدروسة. (الجدول 3).

بلغت قيم الهطل الفعّال خلال الفترة المدروسة (0- 80.7 mm) (الجدول 3)، حسب الفترة الزمنية التي تهطل فيها الأمطار ومدة العاصفة المطرية، ففي الفترة الرطبة تكون الفواقد قليلة وتزداد قيمة الهطل الفعّال، ويزداد معه عامل الجريان فبلغت أكبر قيمة له 0.18 في شهر آذار لعام 2010 نتيجة عاصفة مطرية استمرت 4 أيام.

(الجدول 3)، رغم أن كمية الهطل لم تكن كبيرة، إلا أنه نتج منها جريان كبير؛ لأن التربة رطبة والufuq قليلة بسبب هطول عواصف مطرية عدّة قبلها، ما سبّب إشباع التربة وارتفاع مناسيب المياه الجوفية، ومن ثمّ التغذية الجوفية للنهر. تعطي المعادلة (3) نتائج أكثر دقة عندما تزيد كمية الهطل على كمية الفوqد؛ أي يوجد هطل فعال؛ لأنّه عند تطبيق المعادلة لحساب الجريان الناتج من كل عاصفة مطرية، تكون قيمة الجريان المحسوبة أقرب إلى قيمة الجريان المقیسة، والخطأ النسبي في الحساب يتناقص مع زيادة الهطل الفعّال. وتزداد قيمة الهطل الفعّال عندما تزداد غزارة الهطل التي تسبّب جرياناً سطحياً أكبر، أمّا إذا توزّعت كمية الهطل على أيام الشهر فستتقص قيمة الهطل الفعّال، ومن ثمّ ستتقص كمية الجريان السطحي. تتناقص قيمة عامل الجريان للعواصف المطرية التي تحدث في أشهر الخريف (الجدول 3)؛ لأنّ التربة خلال الصيف والخريف تكون مشفّقة وجافة ودرجات الحرارة عالية، فتتسرّب المياه وتتبخّر بمعدلات أكبر مما يحصل خلال الشتاء والربيع، حيث تكون التربة رطبة ومشبعة في أشهر الشتاء والربيع ودرجات الحرارة منخفضة، ما يجعل كمية الفوqد بأنواعها قليلة، كما يؤدي ارتفاع مناسيب المياه الجوفية إلى زيادة التغذية الجوفية للنهر؛ أي زيادة في حجم الجريان وعامل الجريان. واعتماداً على ما سبق نستنتج أن الجريان يرتبط بمجموعة عوامل، أهمّها الهطل المطري. وللتحقّق من صحّة العلاقة المستنتجة (3)، تم حساب التدفقات بوساطتها، فتبيّن أن القيم المحسوبة قريبة من القيم المقیسة، (الشكل 3).



الشكل 3. مخطط مقارنة بين قيم التدفق المحسوبة  $Q_c$  و المقیسة  $Q_m$

ويعد حساب جذر متوسط مربعات الأخطاء (RMSE) والانحراف المعياري SD للقيم المقیسة [23]، حيث:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - C_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}{N}} \quad (5)$$

حيث  $O_i$ : القيم المقيسة للجريان؛  $C_i$ : القيم المحسوبة للجريان؛ وفق العلاقة المستنتجة (3)؛  $\bar{O}$ : متوسط القيم المقيسة للجريان؛

$N$ : عدد القيم ( $N = 48$ ).

فنتج  $RMSE = 0.57$ ،  $SD = 1.72$  للقيم المقيسة؛ ووفقاً لجدول معايير التقويم (الجدول 4) [23].

الجدول 4. معايير التقويم الجيد [23].

تفسير كفاءة النموذج	تصنيف الأداء
$SD \geq 3.2 RMSE$	جيد جداً
$SD = 2.2 RMSE \sim 3.2 RMSE$	جيد
$SD = 1.2 RMSE \sim 2.2 RMSE$	مقبول
$SD \leq 1.2 RMSE$	غير مرضٍ

ولدينا  $3.2RMSE = 3.2 * 0.57 = 1.824$ ، و  $2.2RMSE = 2.2 * 0.57 = 1.254$

ومنه نجد أن  $SD=1.72$  تقع ضمن المجال  $[2.2RMSE \sim 3.2RMSE]$ ؛ أي أنّ العلاقة (3) المستنتجة تقع ضمن تصنيف جيد، وتعطي قيم قريبة من القيم المقيسة.

### الاستنتاجات والتوصيات

- إنّ العلاقة المستنتجة بين قيم الهطل المطري والجريان ضمن حوض السفريقية موثوقة، وتسمح باستكمال القياسات غير المتوافرة، ووضع تنبؤات مستقبلية لقيم غزارة النهر تبعاً للهطولات المحتملة الحدوث في حوض السفريقية؛
- قيمة عامل الجريان تزيد على 0.18 في أثناء العواصف المطرية المديدة خلال الشتاء؛ وتبلغ قيمته الوسطية السنوية 0.06، وهي قليلة بسبب الفواقد المائية الكبيرة بالتسرب؛
- تنفيذ دراسة متكاملة للموارد المائية في المنطقة، وبناء نموذج رياضي لها، لتحسين إدارتها؛
- إنشاء مركز لقياس تدفقات النهر عند مدخل بحيرة سد صلاح الدين.

### المراجع

- 1- عمّار، غطفان. تأثير التغيرات المناخية على تدفقات نبع السن. بحث علمي في جامعة تشرين، 2 آذار 2010.
- 2- أبو عصى، عامر. التوزع السنوي الداخلي للجريان النهري في حوض العاصي، رسالة ماجستير في الجغرافيا التطبيقية، جامعة دمشق، قسم الجغرافيا، 2010-2011، 147.
- 3- درانكة، خليفة. المياه الجوفية ومبادئ في المياه السطحية، 2000، 541.
- 4- عبد الرحمن، أيمن. الهيدرولوجيا التطبيقية، جامعة حلب، 2010، 275.
- 5- SHAW, E. M. *Hydrology in Practice*. 3<sup>rd</sup> ed., British Library, Taylor & Francis e-Library, 1994، 328.
- 6- عبد الله بالخير، خالد سعيد. نمذجة تدفق المياه السطحية للتنبؤ بحدوث سيول مدمرة وتصميم نظام إنذار مبكرة لإدارة الطوارئ. العدد الخامس عشر، 2008، 60-67.

- 7- WERRITTY, Alan. *Living with uncertainty: climate change, river flows and water resource management in Scotland*. The Science of the Total Environment, 294, 2002, 29–40.
- 8- ANDERSSON, Lotta; et al. *Impact of climate change and development scenarios on flow patterns in the Okavango River*. ScienceDirect, Journal of Hydrology, 331, 2006, 43–57.
- 9- VEIJALAINEN, Noora; et al. *National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland*. ScienceDirect, Journal of Hydrology, 391, 2010, 333–350.
- 10- ARNELL, N. W. *Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment*. Journal of Hydrology, 132, 1992, 321–342.
- 11- ARNELL, N. W. *Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future stream flows in Britain*. Journal of Hydrology, 270, 2003, 195–213.
- 12- KOTWICKI, Vincent. *Some Aspects of Hydrological Modeling for Climate Change*. Water Resources Division, Kuwait Institute for Scientific Research, 2010.
- 13- PETERSEN, Georg; et al. *Climate Change Impacts on Water Resources in Yemen*. WSTA 9<sup>th</sup> Gulf Water Conference, Sultanate of Oman, 22-25 March, 2010.
- 14- BOUABID, Rachid; et al. *Stream Flow Response to Climate Variability in Several Sub-Watersheds of the Sebou River Basin, Morocco*. WSTA 9<sup>th</sup> Gulf Water Conference, Sultanate of Oman, 22-25 March, 2010.
- 15- Al HATTALY, Said; et al. *Water Resources Assessment & Climate Change in Oman*. WSTA 9<sup>th</sup> Gulf Water Conference, Sultanate of Oman, 22-25 March, 2010.
- 16- راضي، محمود دياب. *العلاقة بين الجريان السطحي والأمطار في وادي سمائل بسلطنة عمان*. الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جغرافية 141، الكويت. 1992.
- 17- LIU, Qiang; CUI, Baoshan. *Impacts of climate change/variability on the streamflow in the Yellow River Basin, China*. Ecological Modelling, 222, 2011, 268–274.
- 18- SEGOND, Marie-Laure; et al. *The significance of spatial rainfall representation for flood runoff estimation: A numerical evaluation based on the Lee catchment, UK*. Journal of Hydrology, 347, 2007, 116–131.
- 19- VAZE, J; et al. *Climate non-stationarity – Validity of calibrated rainfall–runoff models for use in climate change studies*. Journal of Hydrology, 394, 2010, 447–457.
- 20- النفيعي، هيفاء محمد. *تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية*. رسالة ماجستير في الجغرافيا، جامعة أم القرى، كلية العلوم الاجتماعية، قسم الجغرافيا، 2010، 195.
- 21- الأسعد، علي محمد؛ عمّار، غطفان عبد الكريم. *الهيدرولوجيا*. جامعة تشرين، 2013، 400.
- 22- حويجة، رؤى؛ الأسعد، علي محمد. *العلاقة بين الهطل المطري والجريان في حوض نهر طرجانو*. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، 36، 5، 2014.
- 23- RITTER, Axel; CARPENA, Rafael Munoz. *Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments*. Journal of Hydrology, 480, 2013, 33–45.