

تحليل هيدروغراف الجريان القاعدي لنبع السن في الساحل السوري

د. شريف بدر حايك *

عباس عبد الرحمن **

(تاريخ الإيداع 18 / 2 / 2018. قُبل للنشر في 20 / 5 / 2018)

□ ملخص □

يتشكل نبع السن عند أقدم الجبال الساحلية ويصبّ في البحر المتوسط قرب قرية عرب الملك. وتُستخدم مياهه حالياً لأغراض الشرب والري والصناعة، ويذهب ما يفيض منه إلى البحر. يهدف البحث إلى تحديد مدى استجابة غزارة النبع اليومية للهطولات المطرية اليومية، وإيجاد معادلة تصريف الانحسار للتنبؤ بمعدلات تصريف النبع وحجوم الجريان بعد أي زمن محدد من بداية الجريان القاعدي للنبع، الأمر الذي يسمح بإدارة واستثمار الموارد المائية المتاحة من خلال التصميم الأمثل لمآخذ المياه من الينابيع بشكل عام. تتراوح استجابة غزارة نبع السن اليومية بين (3-5) يوم أيام للهطولات المطرية اليومية المتقطعة المتوسطة والغزيرة الشدة نسبياً. فتسبب زيادة لغزارة النبع تتراوح بين (0.5-1 m³/sec). ويميل التصريف السنوي للنبع إلى الانخفاض بمعدل 0.0975 m³/sec وذلك خلال الفترة (1974-2016)م. بينما خلال فترة (1994-2016) تزداد قيمة التصاريح الشهرية الأصغرية بمقدار 0.1284 m³/sec، وتتنخفض قيمة التصاريح الشهرية الأعظمية بمقدار 0.0752 m³/sec.

لقد تم التمكن من وضع معادلة لتصريف الانحسار لنبع السن بالشكل: $Q_t = \frac{7}{(1 + 0,00135.t)^{0,2134}}$

يُوصى باعتماد تحليل منحنيات الانحسار في الينابيع للتنبؤ بالتصريف الأمثل لها خلال أزمدة محددة.

الكلمات المفتاحية: غزارة النبع، نبع السن، تصريف الانحسار، استجابة النبع.

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

Analysis of the base flow hydrograph of AL-SIN spring in Syrian Coast

Dr. Sharif HAYEK*
Abbas Abdulrahman**

(Received 18 / 2 / 2018. Accepted 20 / 5 / 2018)

□ ABSTRACT □

AlSin Spring spurts at the foot of coastal mountains and pours in The Mediterranean sea near Arab-Almulk village. Presently, spring water used for drinking, irrigation and industry, while excess water goes to sea.

Current research aims to determine the daily discharge response to daily rainfall, and to set an equation for recession discharge for predicting spring discharge and volumes of flow after definite time from the beginning of spring base flow, which allows to operate and manipulate available water resources through an optimum design of water intake from this spring.

Response time of AlSin Spring between (3-5) days for average discrete daily rainfall with high intensity which caused 0.5 ~ 1.0 m³/sec increasing in spring discharge value.

Yearly discharge trends to decrease with a rate of 0.0975 m³/sec between 1974 and 2016 years. While the monthly minimum discharges increase about 0.1284 m³/sec, and monthly maximums decrease about 0.0752 m³/sec between 1994 and 2016.

We estimate a formula for receding discharge of AlSin Spring as follow :

$$Q_t = \frac{7}{(1 + 0,00135.t)^{0,2134}}$$

We recommend adopting recession curve analysis to predict the optimal discharge of springs within definite periods.

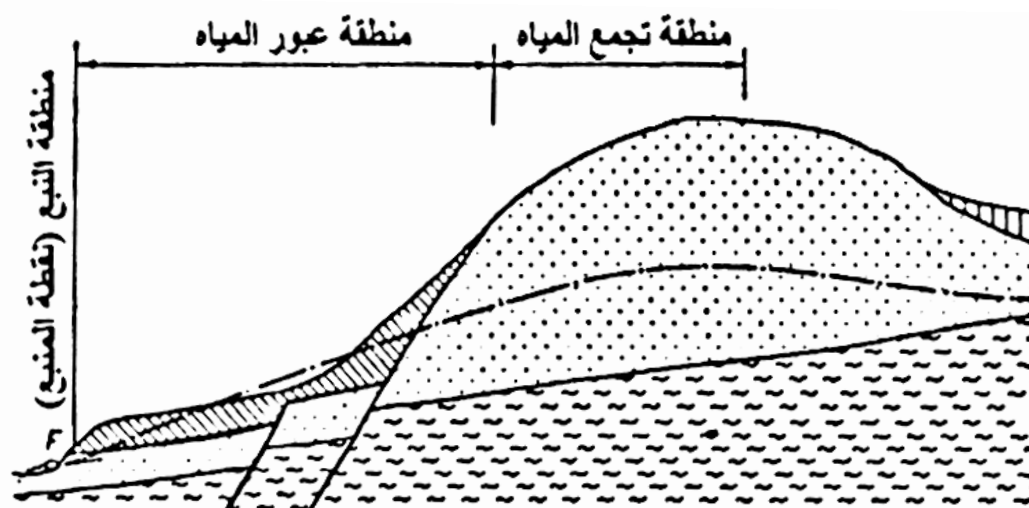
Keywords: Spring Discharge; AlSin Spring; Recession Discharge; Spring Response.

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

** Associated Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

إن النبع هو المخرج الطبيعي للمياه الجوفية إلى سطح الأرض حيث تعد المياه الجوفية المصدر الأساسي للينابيع، ويساعد على ظهورها فوق سطح الأرض حركتها الدائمة ضمن القشرة الأرضية، وتأثرها بالظواهر الجيومورفولوجية المتباينة كالحث والحوادث التكتونية مما يؤدي إلى خروجها بأشكال مختلفة (آبار ارتوازية تدفقية، نوافير - ينابيع حارة - وينابيع طبيعية) دون أن يكون للإنسان أي تأثير في خروجها. إن هيدروغراف تدفق النبع هو النتيجة النهائية لعمليات متنوعة والتي تسيطر على تحويل الهطول المطري والمدخلات المائية الأخرى إلى منطقة تصريف النبع التي تكون المخرج الوحيد للنبع. ويشبه هيدروغراف تدفق النبع إلى حد بعيد هيدروغراف الجداول السطحية خاصة إذا كانت المياه الجوفية حرة وترتبط هيدروليكيًا بشكل جيد مع مدخلات المياه في الموازنة المائية. وتتألف منشأة النبع من العناصر الهيدرولوجية الآتية: منطقة تجمع المياه - منطقة عبور المياه-حرم النبع (نقطة المنبع) (الشكل-1).



(الشكل -1). العناصر الهيدرولوجية لمنشأة النبع

ويمكن للينابيع أن تظهر في المناطق الجبلية وفي السهول وتحت السطوح المائية المختلفة، وهي قد تشكل مورداً مائياً مهماً للاستثمار ويتعلق ذلك بطبيعة الخواص الفيزيائية والليولوجية للصخور، وبغزارة النبع وبالظروف المناخية السائدة والتغذية والنشاط البشري، وبالتالي تختلف الينابيع بغزارتها فقد تصل إلى أكثر من 10 l/sec في الصخور الكلسية وتصل أحياناً في الصخور الكلسية المكروسة المجوّاة إلى غزارة كبيرة 24000 l/sec (نبع السن المدروس)، ولا تزيد عن 1 l/sec في الصخور الرملية الغضارية.

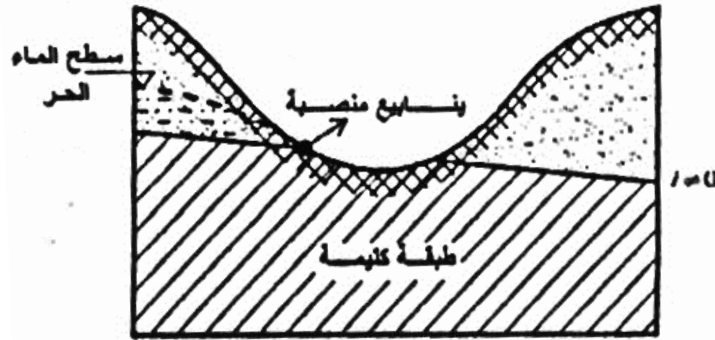
إذاً تتشكل الينابيع نتيجة الانبثاق الطبيعي للمياه الجوفية وينشأ مخرج النبع من نقطة تقاطع سطح المياه الجوفية مع سطح الأرض الطبيعية حيث نميز الحالتين الآتيتين [1]:

1. إذا كانت حركة المياه الجوفية باتجاه المخرج تتم بتأثير الثقالة الأرضية (حركة حرّة) سميت الينابيع المتشكلة بالثقالة الأرضية أو المنصبة وغالباً ما تحدث الينابيع المنصبة من تقاطع سرير مجرى مائي أو نهر مع أساس كتيم لطبقة حاملة للمياه، فإذا كان أساس هذه الطبقة يتوضع بشكل أفقي، فإن نقطة تقاطعه مع سرير النهر سيؤدي إلى تشكل ينابيع منصبة على ارتفاعات متساوية تقريباً (الشكل -2a). وإذا كان الأساس الكتيم للطبقة الحاملة للمياه مائلاً

فإن الينابيع المنصبة ستتشكل فقط على أحد المنحدرين ومن جهة الضاغط الأعلى (الشكل-2b)، وإذا كانت حركة المياه الجوفية موازية لامتداد مجرى النهر فإن مخارج الينابيع ستتشكل في الجزء الأسفل من الوادي.



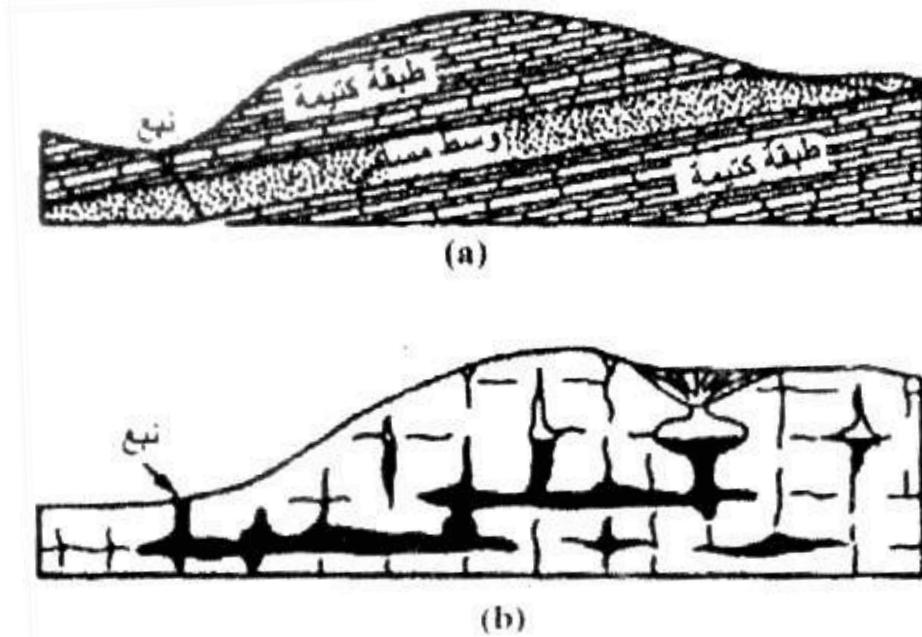
(a)



(b)

(الشكل-2). الينابيع المنصبة (a- على ارتفاعات متماثلة تقريباً. b- في المنحدرات)

2. إذا كانت حركة المياه الجوفية خاضعة لتأثير الضغط الهيدروستاتيكي سميت الينابيع بالصاعدة أو الارتوازية وتتشكل عند ظهور انخفاض في الحوامل المائية المضغوطة، وفي مناطق التشققات الناجمة عن تأثير الحركات التكتونية المختلفة على طبقات الصخور، وفي مناطق الفوالق والصدوع (الشكل-3a)، أو أحياناً نتيجة لانكشاف البنية الصفائح للغرانيت، كما يتشكل هذا النوع من الينابيع في تشققات الصخور الكلسية المتأثرة بظاهرة الانحلال الكارستي (الشكل-3b).



(الشكل 3-). الينابيع الصاعدة (المضغوطة).
 a- نبيع صاعد نتيجة وجود صدوع في طبقة مائية مضغوطة.
 b- نبيع صاعد (أنبوبي) من التشققات في الصخور الكارستية.

الطرائق والمواد المستخدمة

• هيدروغراف تصريف الينابيع

تؤثر مكونات موازنة مياه الينابيع على توليد هيدروغراف تدفق الينابيع وإنتاجيتها. ويعبر عن الموازنة العامة للمياه بالعلاقة: التغير في المخزون = المياه الداخلة - المياه الخارجة.

ومن العلاقات التي يمكن أن تستخدم في تحاليل الموازنة المائية (الشكل-4):

$$I = P - SR - ET$$

$$I = I_{SR} + I_{RES} + I_{SP}$$

$$R = I - SMD - ET_{WT}$$

$$Q_S = R + Q_{IN} + L - \Delta S - Q_{OUT}$$

إن التسرب العام في المعادلة الثانية يعبر عن إجمالي التسرب: من الجريان السطحي ومن الخزانات السطحية ومن الأنهار والمناطق الجليدية.

حيث أن :

I - التسرب بشكل عام؛

P - الهطول المطري؛

SR - جريان المياه السطحية؛

ET - التبخر - نتح؛

I_{SR} - التسرب من الجريان السطحي (يشمل المجاري المائية التي قد تتلقى تغذية جوفية أو تخسرها)؛

I_{RES} - التسرب من خزانات المياه السطحية؛

I_{SP} - التسرب من الأنهار الجليدية والمناطق الثلجية؛

R - تغذية المياه الجوفية؛

SMD - نقص رطوبة التربة؛

ET_{WT} - التبخر - نتح من الجدول المائي؛

Q_S - تدفق النبع؛

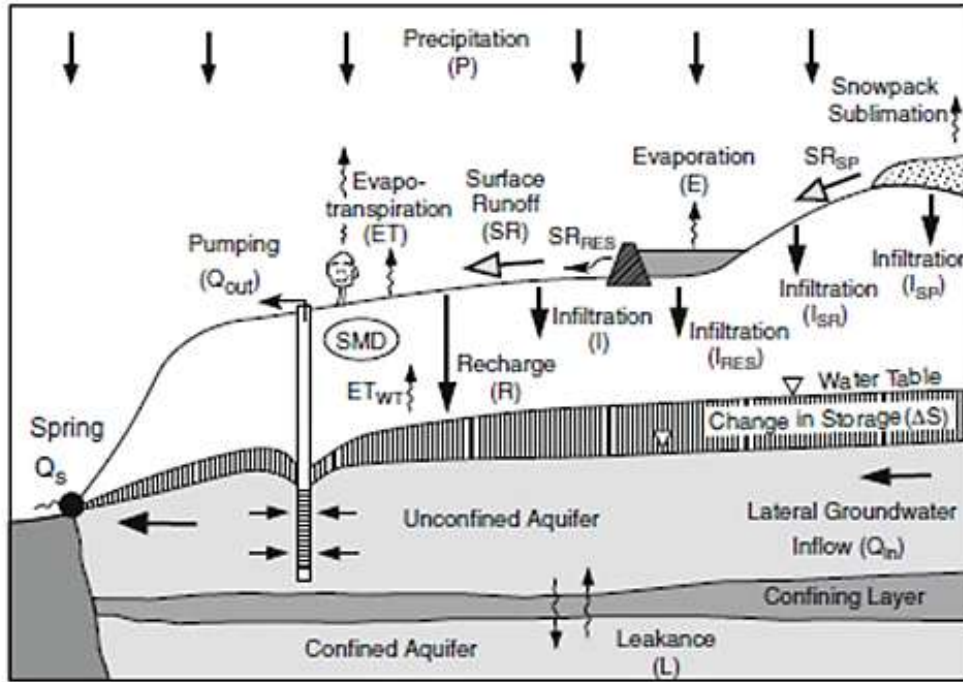
Q_{IN} - تدفق المياه الجوفية الجانبي الداخل إلى طبقة المياه الجوفية المغذية للنبع؛

L - التسرب العائد والصاعد بين طبقة الأساس شبه النفوذة وطبقة المياه الجوفية؛

Q_{OUT} - الضخ الكلي للآبار من طبقة المياه الجوفية؛

ΔS - التغير في تخزين المياه الجوفية؛

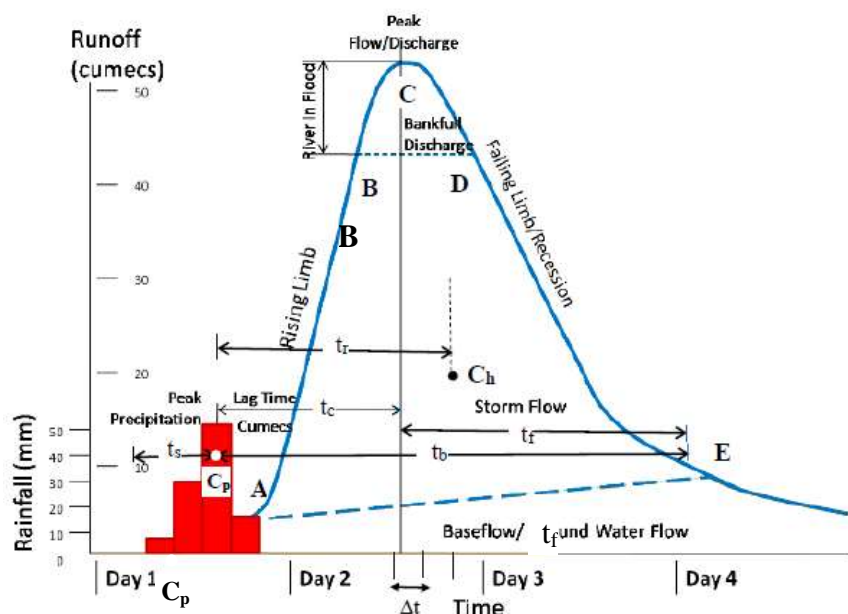
يمكن أن تكتب معادلات الموازنة المائية بشكل حتمي (من أجل فاصل زمني ثابت) والتدفقات (الحجم في كل فترة زمنية، مثل متر مكعب كل يوم) وكثافة التدفق (الحجم في كل وحدة مساحة من سطح الأرض كل فترة زمنية مثلاً ميليمتر كل يوم).



(الشكل-4). عناصر الموازنة المائية في منطقة صرف نبع (حوض النبع)

عملياً تُحدد كمياً العمليات المسيطرة على الموازنة المائية في أنظمة المياه الجوفية المغذية للنبع، وتشمل حجوم المياه المخزنة بين ثلاثة خزانات عامة: المياه السطحية، المنطقة غير المشبعة، المنطقة المشبعة. ويكمن التعقيد في تحديد مركبات الموازنة المائية في اعتمادها على العديد من العوامل البشرية والطبيعية في المنطقة المدروسة مثل المناخ، الخصائص الهيدرولوجية والجيولوجية والجيومورفولوجية والصفات المميزة الهيدرولوجية لسطح التربة والوسط المسامي تحت السطحي وغطاء اليابسة واستخدامات الأراضي، ووجود الخزانات المائية الاصطناعية، خزانات المياه السطحية وضخ المياه الجوفية للاستخدامات المختلفة، وإدارة المخلفات السائلة.

إن تحاليل الموازنة المائية تؤمن وسائل لتقدير تغيّرات وديمومة المخزون المائي. ومعدّل تدفق النبع أحد عناصر الموازنة المائية القليلة التي يمكن أن تُقاس بشكل مباشر. بالإضافة إلى ذلك، فإن التحاليل المباشرة لهيدروغراف تدفق النبع تؤمن معلومات مفيدة لخصائص الطبقة الحاملة للمياه الجوفية، مثل طبيعة تخزينها وناقليتها المائية وأنماط تخزين الطبقة الحاملة للمياه. على الرغم من أن العمليات التي تولّد هيدروغراف النبايع والجداول السطحية مختلفة، ولكن تتشابه فيما بينها، ومصطلحات الهيدروغراف هي نفسها. إذ يظهر (الشكل-5) العناصر الأساسية لهيدروغراف التدفق. بداية التدفق بعد الهطل المطري يُشار إليها بالنقطة A والزمن بين بداية الهطول المطري وبداية التدفق يُسمى زمن البداية ويرمز له بالرمز t_s . الزمن الذي يرتفع فيه الهيدروغراف إلى الحد الأقصى (النقطة C) يُسمى بزمن التركيز t_c . والزمن من التدفق الأعظمي حتى نهاية الهيدروغراف (عندما يساوي التدفق نظرياً الصفر) (النقطة E) هو زمن الهبوط t_f . زمن التركيز وزمن الهبوط معاً يسميان الزمن الأساسي للهيدروغراف t_b . الزمن بين المركز المتوسط لحادثة الهطل المطري (C_p) والمركز المتوسط للهيدروغراف (C_h) يسمى زمن التأخير t_t . الزمن الفاصل لتسجيل مقدار الهطل المطري ومعدل التدفق للنبع هو Δt .



(الشكل-5). مركبات هيدروغراف التصريف.

يُعرّف شكل الهيدروغراف بشكله الأساسي (AE)، الجزء المرتفع هو (AB)، القمة (BCD)، والجزء الهابط (DE). الجزء الهابط يرتبط مع فترة الانحسار. B, C هي نقاط الانعطاف حيث أن منحنى الهيدروغراف يغير شكله من محدّب إلى مقعر والعكس صحيح. بشكل عام فإن جزء الهيدروغراف من النقطة D يُسمى منحنى الانحسار. وشكل هيدروغراف التدفق يعتمد على حجم وشكل مناطق التصريف بالإضافة إلى شدة الهطل المطري. عندما تستمر حادثة الهطل المطري طويلاً والشدة تكون منخفضة، فإن الزمن الأساسي للهيدروغراف يكون أطول والعكس صحيح. وشدة العواصف القصيرة تسبب هيدروغرافات حادة مع زمن أساسي قصير.

تمثل المنطقة تحت الهيدروغراف حجم الماء المتدفق للفترة المسجلة. وزمن التأخير أو الاستجابة المتأخرة للنبع للمدخلات المائية وشكل الهيدروغراف هي مؤشرات أولية جيدة لقدرة التغذية وخصائص الناقلية المائية للطبقات الحاملة للمياه الجوفية المغذية للنبع.

يعد الجريان القاعدي من المركبات المهمة للجريان فقد أجريت دراسة في النهر الأصفر في الصين. أثبتت أن الجريان القاعدي فيه يشكل 44% من الجريان السنوي. واعتماداً على نتائج النمذجة الهيدرولوجية في حوض النهر المدروس من خلال الغزارة اليومية في محطة قياس Beidao للفترة 2001-2004 تم تقدير نسبة الجريان القاعدي إلى الجريان الإجمالي بين 0,3-0,36 [2].

وتم تحليل منحنيات الانحسار في نبع Silver خلال الفترة 1988-2002 في فلوريدا من خلال دمج تأثيرات ضاغط المياه الجوفية ومناسيب النبع ومعدلات التغذية الصافية للنبع. فوجد أن انخفاض الضاغط الفعال للنبع والتغذية الصافية ناجم من تغيرات الظروف الهيدروديناميكية متضمنة الهطولات المطرية ودرجة الحرارة وهبوط سطح المياه الجوفية لتسبب بدورها انخفاض غزارة النبع. [3]

لدى دراسة وتقييم الجريان القاعدي ودوره في التنمية المستدامة لموارد المياه الجوفية في خمس محطات قياس على نهر Mad في Ohio. تبين من خلال فصل مركبة الجريان القاعدي من هيدروغراف النهر أن وسطي الجريان القاعدي السنوي يتراوح بين $0,74-0,64 \text{ ft}^3/\text{sec}/\text{mi}^2$. كما تتراوح النسبة الوسطية للجريان الإجمالي السنوي العائد إلى الجريان القاعدي بين 1,8-76,1%. كما تبين أن وسطي التصريف المستدام للمياه الجوفية يمثل نسبة من وسطي الجريان القاعدي السنوي تتراوح بين 17,2-38,6% بجوار منطقة ينابيع المياه الجوفية في الحوض الساكن المدروس. [4]

تم تحليل هيدروغراف خمسة ينابيع كارستية في جنوب إيطاليا خلال فترات الانحسار لعشر سنوات من القياسات اليومية لتصاريف الينابيع حيث تم حساب تغيرات معامل الانحسار لكل نبع سنوياً وتأثيره على معدلات تصريف المياه الجوفية. وتم تقييم معدلات تغذية المياه الجوفية من خلال آبار مراقبة مناسبة لمناسيب المياه الجوفية في الحوض الساكن الكارستي المدروس بالإضافة إلى تحديد السلوك الهيدروليكي للطبقات الكارستية خلال عمليات الضخ منها، الأمر الذي يفيد في إدارة الينابيع الكارستية. [5]

• نظام الينابيع

يتطلب استثمار المياه الجوفية للينابيع فهماً شاملاً للظروف الهيدرولوجية الطبيعية المؤثرة في نظام الينابيع (البنية الجيولوجية- عناصر الموازنة المائية - تغيرات التصريف تبعاً لاختلاف العوامل الطبيعية- طبيعة النشاط البشري والبيئي في المناطق المحيطة بالنبع).

ويتطلب استثمار أي نبع دراسة تغيرات تصريفه لفترة زمنية طويلة وذلك للحصول على معدل التصريف مقدراً بوحدة (ℓ/sec) ويتم الحصول عليه من وسطي التصريف لعدة سنوات، وفي حال عدم كفاية المعطيات فإنه يمكن الاعتماد على التصريف الوسطي السنوي (معدل التصريف السنوي) وذلك من خلال حساب القيمة الوسطية للتصاريف المقيسة للنبع على مدار عام كامل. ويطلق على نظام الينابيع في الفترة التي لا يتلقى فيها الخزان المائي الجوفي أية تغذية مائية إضافية بالنظام الذاتي (نظام الانحسار). ويرتبط حساب تصريف النبع في النظام الذاتي بسماكة الطبقة الحاملة وقرب أو بعد مستوى أساسها من سطح الأرض ونمير الحالتين الآتيتين [6]:

☒ سماكة الطبقة الحاملة لمياه نبع كبيرة وعمق مستوى أساسها كبير أيضاً وبحسب التصريف في هذه الحالة من

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (1) \quad \text{العلاقة الآتية:}$$

☒ الطبقة الحاملة لمياه النبع غير سميكة ومستوى أساسها قريب من السطح ويحدد التصريف في هذه الحالة من

$$Q = \frac{Q_0}{1 - \alpha \cdot t} \quad (2) \quad \text{العلاقة الآتية:}$$

حيث: Q - أدنى تصريف مقيس للنبع (وحدة مكعبة/زمن، L^3/T)، Q_0 - التصريف عند بدء الهبوط، α - عامل نزوب الطبقة الحاملة ويتعلق بعامل رشح وسماكة الطبقة الحاملة لمياه النبع وبالمعطيات المائية للصخور وبعيد النبع عن الفاصل المائي للمياه الحرة، t - المدة التي يستمر فيها هبوط التصريف (T).

• معادلات تصريف الانحسار في الينابيع

إن تحاليل جزء الهيدروغراف الهابط يتوافق مع فترة عدم أهمية الهطول التي تُسمى تحاليل الانحسار. وبمعرفة تدفق النبع بدون اضطرابات مُسببة بالتدفق السريع للمياه الحديثة في النبع، فإن تحاليل الانحسار تعطي إدراكاً جيداً لنبئية الطبقة الحاملة للمياه الجوفية. بعد تعيين العلاقة الرياضية المناسبة بين تدفق النبع والزمن، يصبح من الممكن التنبؤ بمعدل التدفق بعد فترة معينة بدون الهطل المطري. لذلك تملك الطريقة الكمية لتحاليل الانحسار انتشاراً واسعاً في تحاليل تدفق النبع لفترة طويلة.

إن شروط الانحسار المثالي هي فترة طويلة لعدة أشهر بدون هطل مطري وهي نادرة في المناخات الرطبة المعتدلة. إذاً، الهطل المطري المتكرر يمكن أن يسبب اضطرابات متنوعة في منحنى الانحسار والتي يمكن أن تُزال بشكل واضح من خلال تحليل المنحني، لذلك يُفضل تحليل عدة منحنيات انحسار من قياسات لسنوات عديدة.

هناك صيغتان رياضيتان معروفتان تصفان الجزء الهابط للهيدروغراف والتدفق الأساسي المُقترح من قبل الباحثين: Boussinesq and Maillet. إن المعادلتين معاً تعطيان علاقة التدفق خلال زمن محدد Q_t مع تدفق بداية الانحسار Q_0 . حيث أن معادلة Boussinesq [7] تُعطى بالشكل:

$$Q_t = \frac{Q_0}{[1 + \alpha \cdot (t - t_0)]^2} \quad (3)$$

حيث: t - الزمن منذ بداية الانحسار حيث يُحسب معدل التدفق، t_0 زمن بداية التراجع غالباً يساوي الصفر (ولكن ليس بالضرورة). معادلة Maillet والتي تُستخدم بشكل شائع أكثر، وهي تابع أُسي [8]:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (4)$$

يمثل البارامتر اللابُعدي α في كلتا المعادلتين معامل التدفق (أو معامل الانحسار)، والذي يعتمد على الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية وعلى الإجهادات المطبقة عليها من خلال عمليات الضخ والاستثمارات المختلفة منها. إن معادلة Maillet عندما نرسمها على المخطط البياني النصف لوغاريتمي، هي خط مستقيم مع معامل التدفق α ويكون ميله:

$$\log Q_t = \log Q_0 - 0.4343 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$\Delta t = t - t_0$$

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0,4343 \cdot (t - t_0)} \quad (6)$$

الرقم (0.4343) هو معامل تحويل للتعبير عن التدفق في المعادلة السابقة بوحدة المتر المكعب بالثانية والزمن بالأيام حيث وحدة α هي 1/يوم.

كما أن معامل التدفق (α) هو نسبة المياه الجوفية التي تساهم في تدفق النبع إلى حجم المياه الجوفية ذات الجاذبية

$$\alpha = \frac{Q_t}{V_t} \quad (7) \quad \text{الحرّة المخزّنة في طبقة المياه الجوفية في أعلى مستوى النبع:}$$

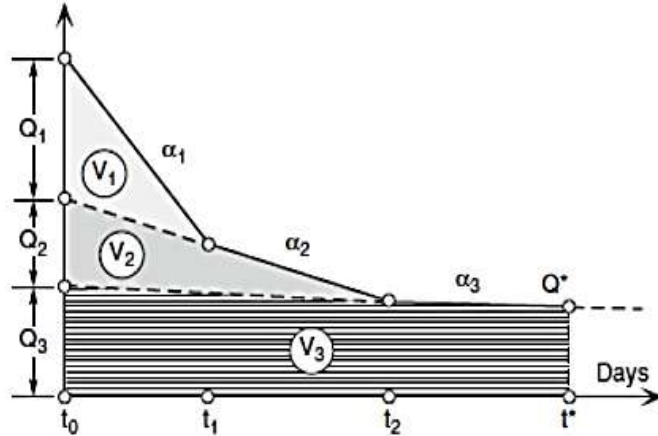
حيث: Q_t - معدل التدفق في الزمن t .

V_t - هو حجم الماء المخزّنة في المياه الجوفية أعلى مستوى التدفق (مستوى المياه الجوفية). حيث تسمح هذه المعادلة بحساب حجم الماء المخزّن في طبقة المياه الجوفية في بداية الانحسار بالإضافة إلى حجم التدفق خلال الفترة المعطاة من الزمن.

يشير الحجم المتبقي المحسوب للمياه الجوفية إلى الاحتياطي المخزن فوق المستوى الحالي للتدفق. وتفرغ طبقة المياه الجوفية لثلاثة أنظمة دقيقة للتدفق والحجوم المتوافقة مع تدفقات المياه تظهر في (الشكل-6) [9]. إذ أن الحجوم الأولية الكلية للمياه الجوفية المخزنة في طبقة المياه الجوفية (أعلى مستوى التدفق) في بداية فترة التراجع هو مجموع الحجوم الثلاثة والتي تتوافق مع الأنماط الثلاثة للتخزين (المسامية الفعالة):

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 = \left(\frac{Q_1}{\alpha_1} + \frac{Q_2}{\alpha_2} + \frac{Q_3}{\alpha_3} \right) \cdot 864000 \cdot [m^3] \quad (8)$$

حيث معدلات التدفق تعطى بـ $m^3/ثا$.



(الشكل- 6). شكل تخطيطي للانحسار مع ثلاث مخططات تصريف دقيقة والحجوم المقابلة لها.

حجم المياه الجوفية المتبقية في طبقة المياه الجوفية في نهاية النظام الدقيق الثالث هو تابع معدل التدفق

$$V^* = \frac{Q^*}{\alpha_3} \quad (9) \quad \text{في الزمن } t^* \text{ ومعامل التدفق } \alpha_3:$$

الاختلاف بين الحجوم V_0, V^* هو حجم كل تدفقات المياه الجوفية خلال الفترة t_0 - t^* .

فترات الانحسار للينابيع الكارستية الدائمة طوال السنة أو ينابيع التصريف ذات النفاذية العالية وطبقات المياه الجوفية للصخور المتشققة غالباً تملك اثنين أو ثلاثة من الأنظمة الدقيقة للتدفق.

أهمية البحث وأهدافه

تعطي تحاليل الانحسار في الينابيع إدراكاً جيداً لبنية الطبقة الحاملة للمياه الجوفية التي تغذي هذه الينابيع. إضافةً إلى التنبؤ بتصريف الجريان وحجمه بعد فترة محددة من بداية منحنى انحسار الجريان. يهدف البحث إلى تحديد مدى استجابة غزارة النبع اليومية للهطولات المطرية اليومية في الحوض الساكن للنهر، وإيجاد معادلة تصريف الانحسار للتنبؤ بمعدلات تصريف النبع وحجم الجريان بعد أي زمن محدد من بداية منحنى الجريان القاعدي للنبع. إذ أن التنبؤ بمعدلات تصريف النبع يسمح بإدارة واستثمار الموارد المائية المتاحة عند تصميم مأخذ المياه من هذه الينابيع.

موقع منطقة البحث وخصائصها

تشكل نهر السن بشكل أساسي من نبع السن الذي ينبع عند أقدم الجبال الساحلية على منسوب +5.4 م وقد أصبح المنسوب حالياً +11 م بعد تغطية البحيرة. يجري نحو الغرب ليلتقي على بعد 2.258 كم من المنبع بمجرى نهر أبو بعري الحالي المحوّل، ويتابع بعدها ليصبّ في البحر قرب قرية عرب الملك. يبلغ طول مجراه 5.416 كم. وهو أحد الينابيع المهمة في حوض البحر المتوسط. تُستخدم مياهه حالياً لأغراض الشرب والري والصناعة، ويذهب ما يفيض منه إلى البحر. وترفده قبل المصبّ بـ 1.727 كم مياه نبع ساقية السلطان، (الشكل -7).

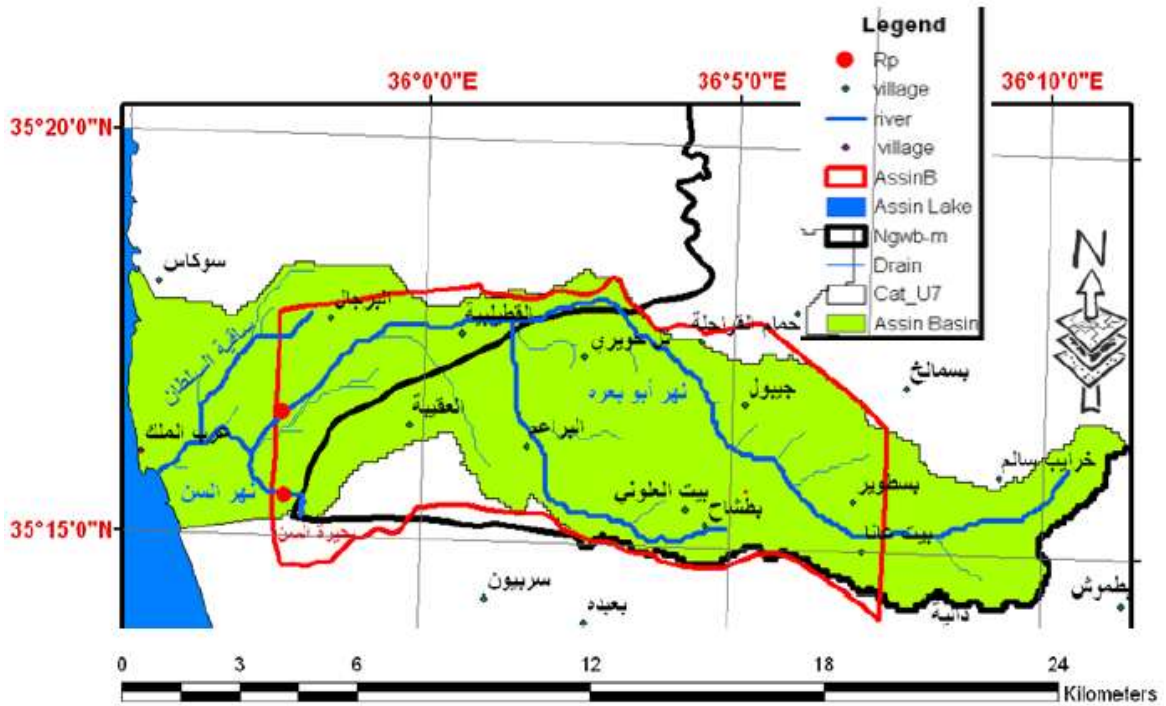
تُستجرّ المياه من نبع السن لأغراض الري بأربع أبنية: هي قناة سوكاس على منسوب +11 م، والأبنية ذوات المناسيب (+26، +50، +80) م. أُقيم على نهر السن مركز قياسات مائية مجهّز بمسجّل آلي في موقع عرب الملك. كما جُهّز

النبع بمحور هدار لقياس التصريف. وتمّ أيضاً تجهيز ساقية السلطان بمركز قياسات ذي مسطرة لقياس المنسوب.

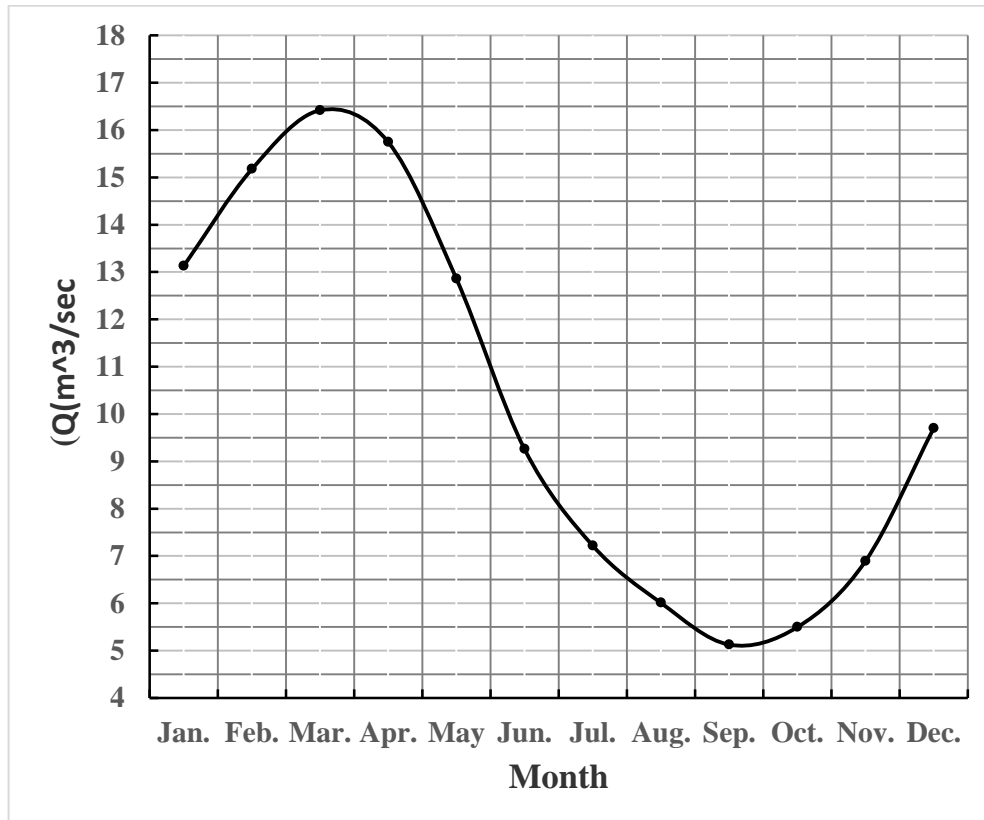
نهر أبو بعري: يتشكل مجرى أبو بعري على ارتفاع 1240 م. وقد جُهّز بمسجّل مناسيب آلي قرب بلدة كنعارو. تبلغ مساحة حوضه الصبّاب حتى المركز 39 كم²، وطول المجرى الرئيسي 16.25 كم والميل الطولي 65.2%، وكثافة الشبكة الهيدروغرافية 1.64 كم/كم². أُقيم على الوادي أيضاً عند تقاطعه مع القناة منسوب +26 م مركز قياسات مائية مجهز بمسطرة، وتبلغ مساحة حوضه الصبّاب حتى هذا المركز 69.6 كم²، وطول المجرى الرئيسي 22.5 كم، والميل الطولي 52.8%، وكثافة الشبكة الهيدروغرافية 1.64 كم/كم². توجد على حوض النهر ينابيع عدة ذوات غزارات صغيرة (البركة، الزوية)، وتستثمر مياهها صيفاً لأغراض الشرب والزراعة. والشكل العام للحوض الصبّاب لنهر أبو بعري مستطيل، ويبلغ عرضه الوسطي 3.09 كم [10].

تنتشر التربة للحقية والسلتية الغضارية في السهل الساحلي، وهي ذات سماكة تتراوح بين (50-150) سم. تستثمر في زراعة المحاصيل الحقلية والحمضيات، كما تنتشر البيوت البلاستيكية في الشريط الساحلي القريب من الشاطئ. وتبلغ نسبة الغطاء النباتي حوالي 75%. أما منطقة المرتفعات والمناطق الجبلية، فنقلّ سماكة التربة فيها عن 50 سم، وهي تستثمر في زراعة الزيتون والأشجار المثمرة، كما تنمو الأشجار الحراجية على المنحدرات. ونقلّ نسبة الغطاء النباتي عن 20%.

يبلغ متوسط التصريف السنوي لنهر السن 11.14 م³/ثا، ومتوسط التصريف الشهري الأعظمي له 16.42 م³/ثا خلال شهر آذار. فيما ينخفض تصريفه إلى أدنى مستوياته خلال شهر أيلول فيبلغ 5.13 م³/ثا وذلك خلال فترة المراقبة 1994-2016، (الشكل -8).



(الشكل -7) حوض نهر السن



(الشكل -8) متوسط التصريف الشهري لنبع السن خلال فترة المراقبة (2016-1994)

النتائج والمناقشة

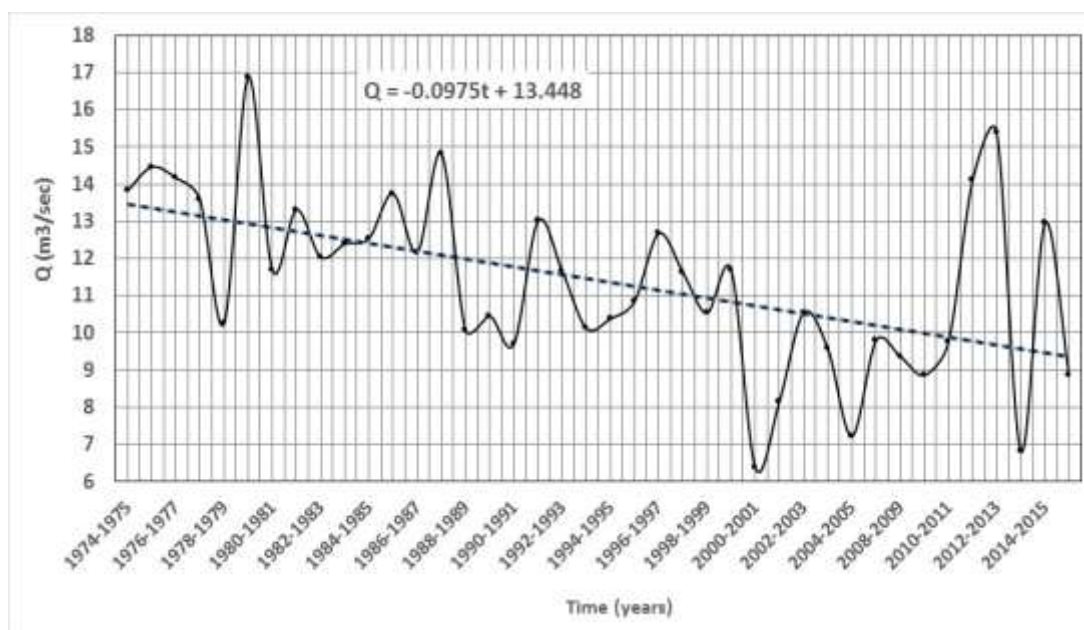
• تحليل التصاريح السنوية والشهرية لنبع السن

تمثل قياسات تصريف نبع السن الشهرية والسنوية التي تم تحليلها عند النبع مجموع المياه المُستجزة لكل من: اللاذقية وطرطوس، مصفاة بانياس، الري، ومفيض المياه التي تذهب إلى البحر عبر وادي نهر السن. وذلك خلال الفترة (1974-1975، 2015-2016). كما تمّ اعتماد التحليل على غزارة النبع اليومية خلال الفترة الممتدة من 1/6/2008 حتى 31/10/2016م. [10]

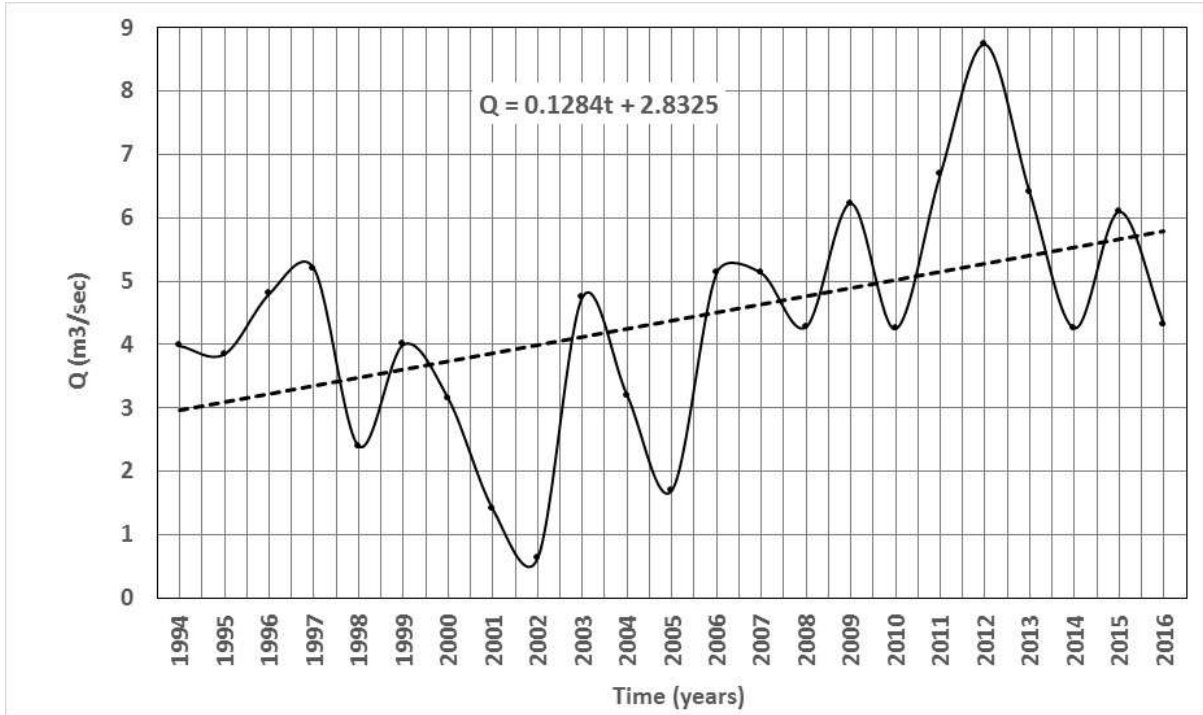
تبلغ القيمة الوسطية السنوية لغزارة النبع خلال فترة المراقبة $11.4 \text{ m}^3/\text{sec}$. وتصل القيمة السنوية الأعظمية إلى $16.88 \text{ m}^3/\text{sec}$ خلال العام الهيدرولوجي 2012-2013 وتتنخفض القيمة السنوية إلى أدنى قيمة لها $6.38 \text{ m}^3/\text{sec}$ خلال العام الهيدرولوجي 2000-2001م وهي قيمة جيدة تسمح بتغطية معظم الاحتياجات المائية المطلوبة. إن المعادلة الممثلة للتغيرات السنوية لغزارة نبع السن هي: $Q = -0.0975.t + 13.448$ ، حيث تنخفض غزارة النهر إلى $0.0975 \text{ m}^3/\text{sec}$ (من معادلة التغيرات السنوية المُستنتجة للنبع) خلال فترة المراقبة المدروسة (الشكل 9-).

وتبيّن عند رسم مخطط تغيّرات التصاريح الشهرية الأصغرية لنبع السن خلال الفترة (1994-2016) أن المعادلة الممثلة لهذه التصاريح هي: $Q = 0.1284.t + 28.25$ إذ تصل قيمة تزايد هذه التصاريح خلال فترة المراقبة إلى $0.1284 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، وتصل أدنى قيمة شهرية لانخفاض قيمة الغزارة إلى $0.63 \text{ m}^3/\text{sec}$ في شهر حزيران من عام 2002 وأعلى قيمة شهرية لها $8.74 \text{ m}^3/\text{sec}$ في شهر تشرين الثاني من عام 2012 (الشكل 10-).

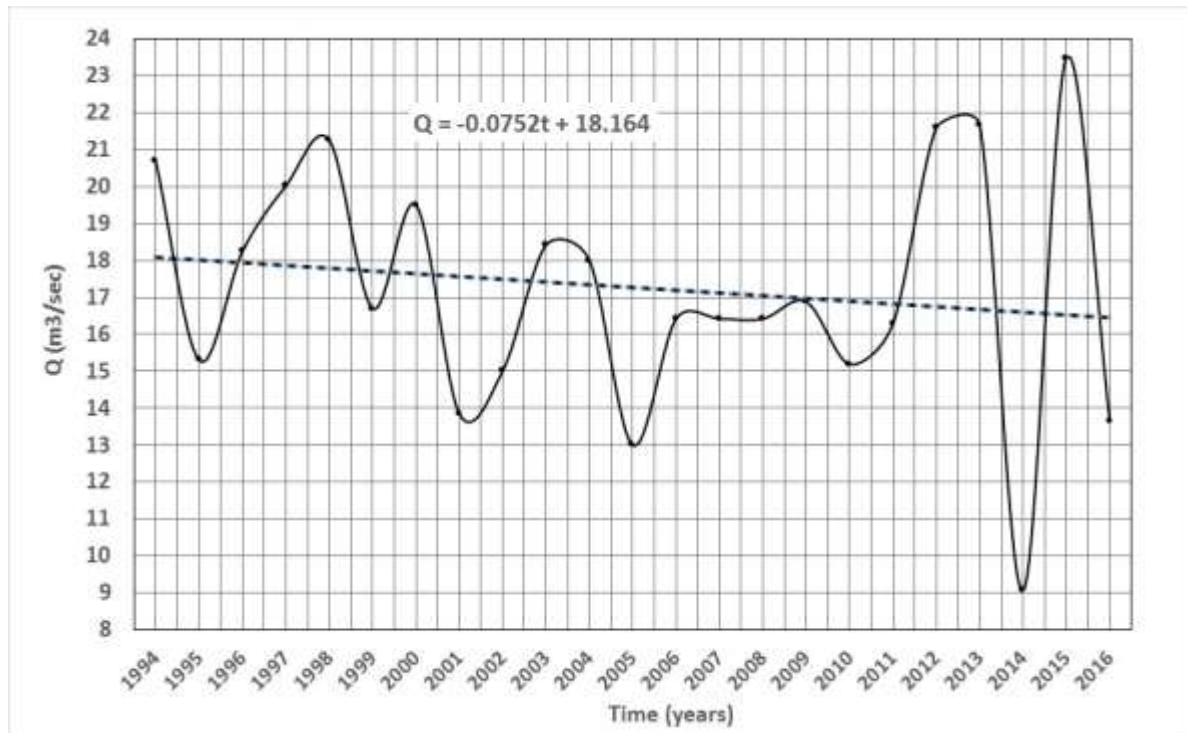
بينما عند رسم مخطط تغيّرات التصاريح الشهرية الأعظمية لنبع السن خلال الفترة (1994-2016)، وجدنا أن المعادلة الممثلة لهذه التصاريح هي: $Q = -0.0752.t + 28.25$ وتتنخفض قيمة هذه التصاريح بمقدار $0.0752 \text{ m}^3/\text{sec}$ خلال فترة المراقبة، وتصل أدنى قيمة شهرية للغزارة إلى $9.08 \text{ m}^3/\text{sec}$ في شهر أيار من عام 2014 وأعلى قيمة شهرية لها $23.46 \text{ m}^3/\text{sec}$ في شهر آذار من عام 2015 (الشكل 11-).



(الشكل 9-). التصاريح السنوية لنبع السن خلال الفترة (1974-2016)



(الشكل-10). التصاريح الشهرية الأصغرية لنبع السن خلال الفترة (2016-1994)



(الشكل-11). التصاريح الشهرية الأعظمية لنبع السن خلال الفترة (2016-1994)

• استجابة غزارة نبع السن للهطولات اليومية في الحوض الساكب

لتحديد مدى استجابة غزارة النبع اليومية للهطولات المطرية اليومية في الحوض الساكب للنهر، رسمنا التغيرات اليومية لكل من الغزارة والهطولات المطرية خلال الفترة الممتدة من 27/9/2014 حتى 6/6/2015 والموضحة في (الشكل-12). فوجدنا استجابة غزارة نبع السن للهطولات المطرية المتقطعة المتوسطة والغزيرة الشدة نسبياً تتراوح بين (3-5) يوم. فتسبب هذه الهطولات المطرية زيادة لغزارة النبع تتراوح بين (0.5-1 m³/sec). بينما تستجيب غزارة النبع بشكل يومي للهطولات اليومية المتوسطة الشدة المستمرة لمدة أسبوع خلال فصل الشتاء، فتزداد غزارة النبع بشكل ملحوظ لتبلغ الزيادة 9m³/sec وهي قيمة كبيرة نسبياً بسبب الخصائص الرشحية العالية للتوضعات الجيولوجية السائدة في منطقة الحوض الساكب لنهر السن. وتستمر هذه الزيادة في الغزارة حتى في حال انقطاع الهطولات المطرية لمدة تزيد على الأسبوعين، بسبب الزمن المنقضي لوصول تغذية المياه الجوفية من الهطولات المطرية في الحوض الساكب.

وتصل غزارة النبع في فصل الربيع (منتصف نيسان) إلى 23.52 m³sec لتتخفف غزارة النبع تدريجياً مع انحسار الهطولات المطرية لتصل الغزارة إلى 15.71 m³/sec في أوائل شهر حزيران. الأمر الذي يؤكد في العموم الاستجابة السريعة نسبياً لغزارة النبع اليومية مع الهطولات المطرية اليومية في الحوض الساكب، بسبب النفوذية العالية ووجود التشققات والكارست في توضعات منطقة تغذية النبع أعلى الحوض الساكب مما يجعل المياه الجوفية تتحرك بسرعة (الشكل-12).

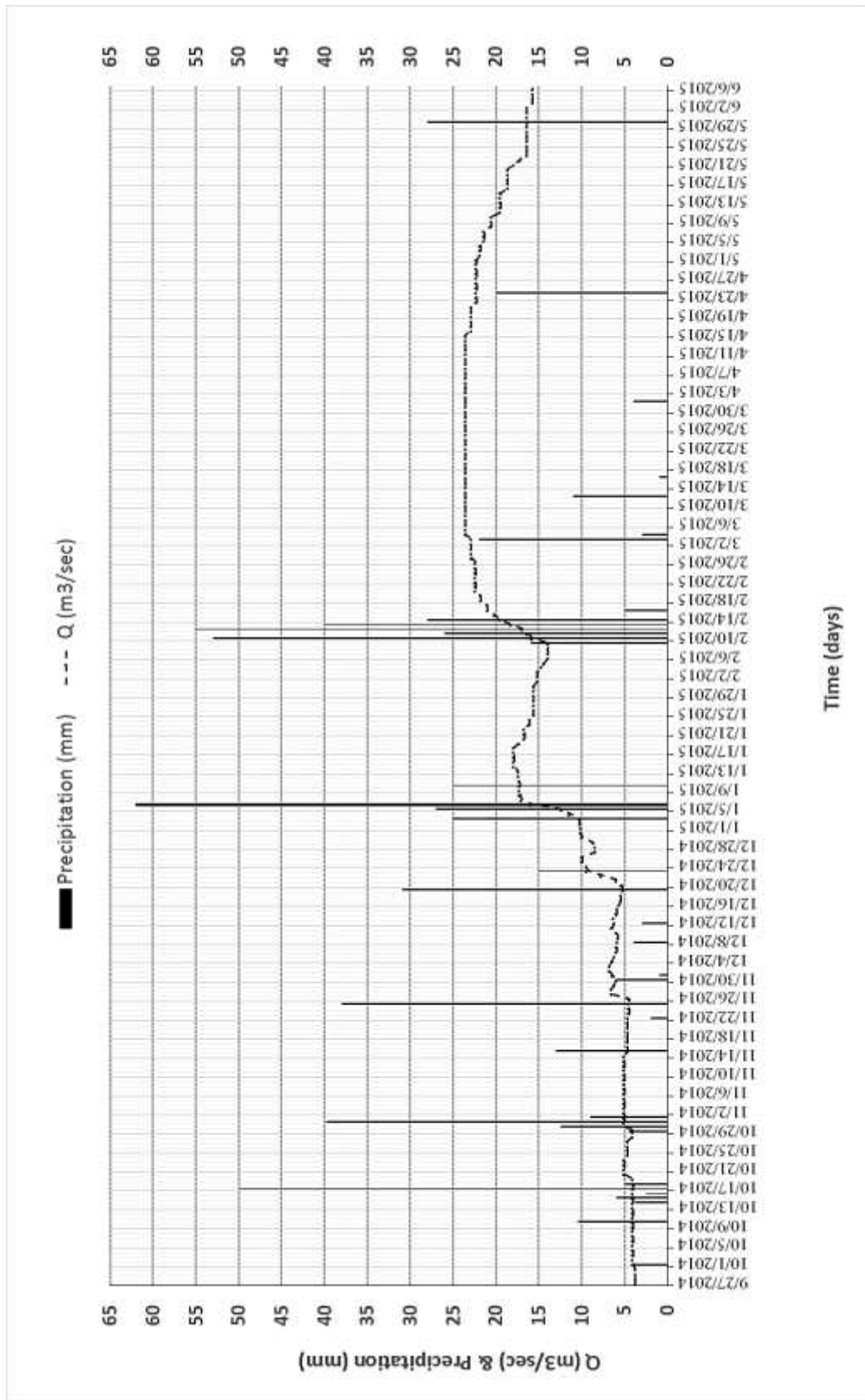
• تقييم تصريف الانحسار في نبع السن

إن تحاليل جزء الهيدروغراف الهابط يتوافق مع فترة عدم أهمية الهطول التي تُسمى تحاليل الانحسار. وشروط الانحسار المثالي هي فترة طويلة لعدة أشهر بدون هطل مطري. بعد مراجعة قياسات تصريف نبع السن اليومية خلال الفترة 2008-2016 تم اختيار التصريف اليومية الأصغرية خلال الفترة (15/4/2014-30/09/2014) لتقييم تصريف فترة الانحسار (الشكل-13). إن التقريب الجيد لحالة التصريف السريع للمياه عند بداية الانحسار هو غالباً العلاقة القطعية لنمط "بوسينسك"، وهي

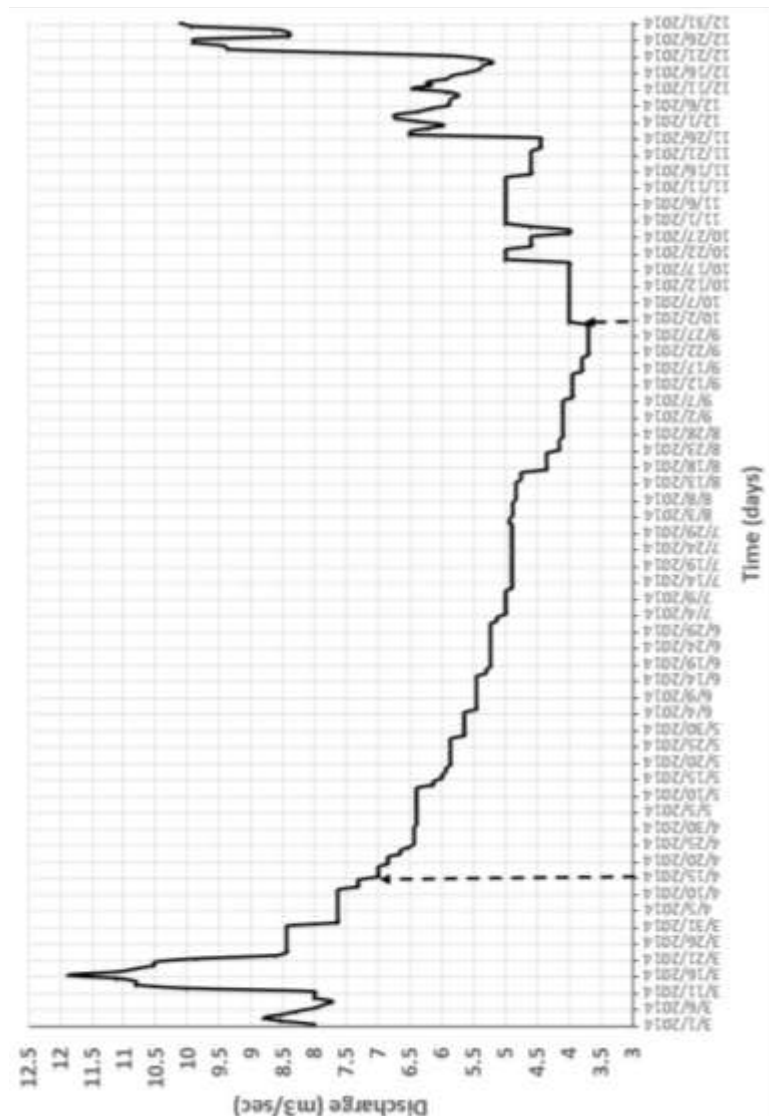
$$Q_t = \frac{Q_0}{(1 - \alpha.t)^n} \quad (10) \quad \text{تأخذ الشكل التالي:}$$

يصف هذا التابع في حالات عديدة منحنى الانحسار التام بشكل صحيح. والتحديد الدقيق للأس n ومعامل التصريف α للتابع الذي يناسب البيانات المقیسة، تم تمثيله بشكل بياني وعن طريق الحساب بالشكل الآتي:

- التصريف الأدنى المسجل في نهاية الانحسار هو $Q = 3.7 \text{ m}^3/\text{s}$ في (الشكل-13).
- إن أي تصريف Q على منحنى الانحسار [مخطط نصف لوغاريتمي للتصريف اليومية (فترة الانحسار) لنبع السن خلال الفترة (15/4/2014-30/09/2014)] ليس نتيجة للانحراف المحتمل بسبب الهطول المطري الأخير، ويتم اختيار التصريف من المخطط بين القيمتين: Q_{01} و Q_{03} (الشكل-14).



(الشكل-12). التصارييف اليومية والهطولات اليومية لتبع السن خلال الفترة (27/9/2014-6/6/2015)

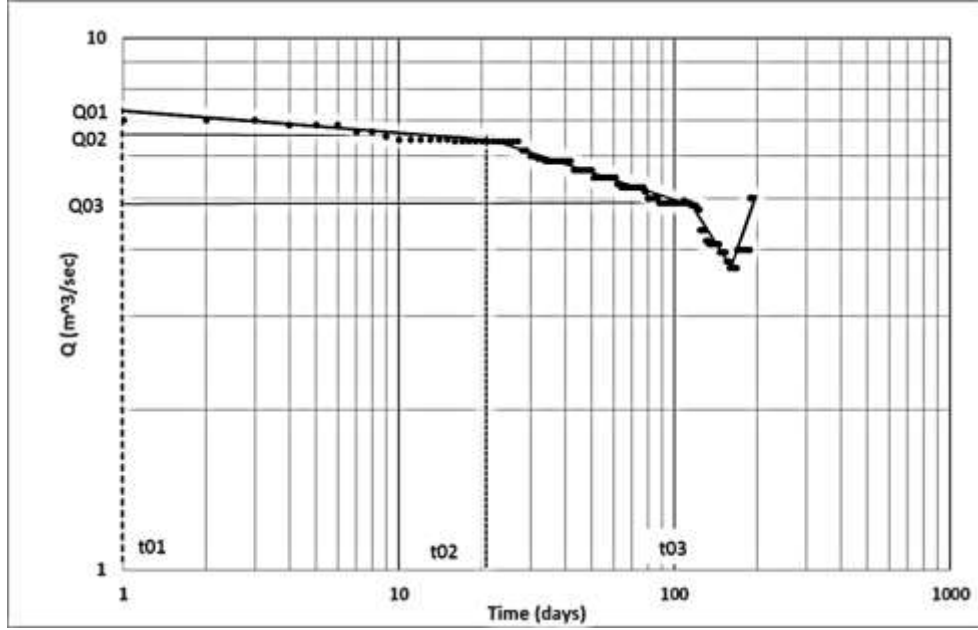


(الشكل-13). التصاريح اليومية (فترة الانحسار المحددة على المخطط) لنبع السن خلال الفترة (27/9/2014 - 6/6/2015)

إن التدفقات اليومية المسجلة من ثلاثة خطوط مستقيمة، تعني أن منحنى الانحسار يمكن أن يُقارب بثلاثة توابع أسية متطابقة بثلاثة معاملات للتدفق (α). وهذه الخطوط الثلاثة تتطابق مع ثلاثة أنظمة دقيقة للتدفق خلال الانحسار.

$$\frac{\log\left(\frac{Q_0}{Q_1}\right)}{\log\left(\frac{Q_0}{Q_2}\right)} = \frac{\log(1 + \alpha.t_1)}{\log(1 + \alpha.t_2)} \quad (11) \quad \text{إن } \alpha \text{ تحقق المعادلة الآتية:}$$

$$n = \frac{\log\left(\frac{Q_0}{Q_1}\right)}{\log\left(\frac{Q_0}{Q_2}\right)} = \frac{7}{4.6} = 0.2134 \quad \text{يحسب الأس } n \text{ من العلاقة الآتية:}$$



(الشكل-14). مخطط نصف لوغاريتمي للتصارييف اليومية (فترة الانحسار) لنبع السن خلال الفترة (15/4/2014-30/09/2014)

$$\alpha_1 = \frac{\log Q_{01} - \log Q_{02}}{0.4343(t_{01} - t_{02})} = \frac{\log 7 - \log 6.4}{0.4343(27)} = 0.00332 \quad \text{معامل التدفق للنظام الدقيق الأول:}$$

$$\alpha_2 = \frac{\log Q_{02} - \log Q_{03}}{0.4343(t_{02} - t_{03})} = \frac{\log 6.4 - \log 4.6}{0.4343(135 - 27)} = 0.00306 \quad \text{معامل التدفق للنظام الدقيق الثاني:}$$

$$\alpha_3 = \frac{\log Q_{02} - \log Q_{03}}{0.4343(t_{02} - t_{03})} = \frac{\log 4.6 - \log 3.7}{0.4343(160 - 35)} = 0.0087 \quad \text{معامل التدفق للنظام الدقيق الثالث:}$$

تم تحديد قيمة α عن طريق التجربة والخطأ باعتماد القيمة الأولية لـ α وقد تم اعتمادها $\alpha = 0.2$. ويمكن التحقق من النتائج بيانياً، والمعامل الصحيح للتصريف يأخذ شكل خط مستقيم خلال النقاط المحددة بـ Q_0, Q_1, Q_2 ، والأزمنة الموافقة t_0, t_1, t_2 على الترتيب. القيمة الدقيقة لـ α في النبع المدروس هي 0.00135 (الشكل-15):

الغزارة بعد 160 يوم باعتماد $\alpha_3 = 0.0087$

$$Q_{160} = Q_{02} \cdot e^{-\alpha_3(160-135d)} = 4.6 \cdot e^{-0.0087(25)} = 3.7 m^3 / sec$$

الغزارة بعد 60 يوم باعتماد $\alpha_2 = 0.00306$

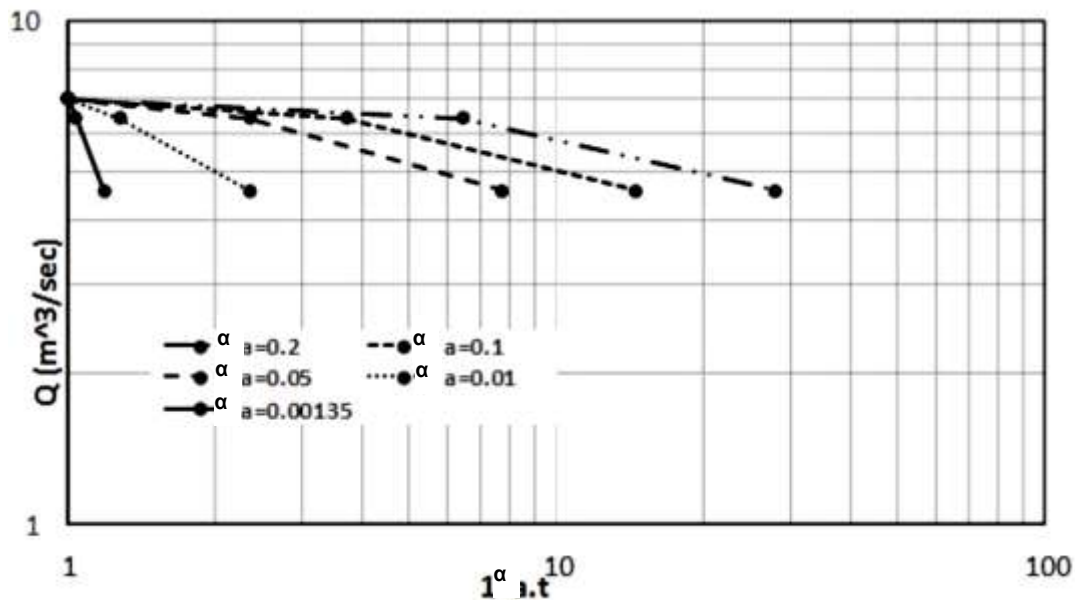
$$Q_{60} = Q_{02} \cdot e^{-\alpha_2(60-27d)} = 4.6 \cdot e^{-0.00306(33)} = 5.78 m^3 / sec$$

- معامل التدفق (α): نسبة المياه الجوفية التي تساهم في تدفق النبع إلى حجم المياه الجوفية ذات الجاذبية

$$\alpha = \frac{Q_t}{V_t} \quad \text{الحرارة المخزنة في طبقة المياه الجوفية في أعلى مستوى النبع:}$$

حيث: Q_t - معدل التدفق في الزمن t . V_t - هو حجم الماء المخزنة في المياه الجوفية أعلى مستوى التدفق.

- V_0 : الحجم الأولية الكلية للمياه الجوفية المخزنة في طبقة المياه الجوفية في بداية فترة التراجع هو مجموع الحجم الثلاثة والتي تتوافق مع الأنماط الثلاثة للتخزين (المسامية الفعالة):



(الشكل-15). التحديد البياني لمعامل التصريف α

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 = \left(\frac{Q_1}{\alpha_1} + \frac{Q_2}{\alpha_2} + \frac{Q_3}{\alpha_3} \right) .864000. [m^3]$$

$$V_0 = \left(\frac{Q_{01} - Q_{02}}{\alpha_1} + \frac{Q_{02} - Q_{03}}{\alpha_2} + \frac{Q_{03}}{\alpha_3} \right) .864000. [m^3]$$

$$V_0 = \left(\frac{7 - 6.4}{0.00332} + \frac{6.4 - 4.6}{0.00306} + \frac{4.6}{0.0087} \right) .864000 = 112120744.3 m^3 = 112.1207 Mm^3$$

- V^* : حجم المياه الجوفية المتبقية في طبقة المياه الجوفية في نهاية النظام الدقيق الثالث هو تابع معدل التدفق في الزمن t^* ومعامل التدفق α_3 :

$$V^* = \frac{Q^*}{\alpha_3}$$

$$V^* = \frac{Q^*}{\alpha_3} = \frac{4.6}{0.0087} .86400 = 45682758.6 m^3 = 45.683 Mm^3$$

- V : حجم كل تدفقات المياه الجوفية خلال الفترة t_0 ، هو الاختلاف بين الحجم V_0, V^* :

$$V = V_0 - V^* = 112120744.3 - 45682758.6 = 66437985.7 = 66.438 Mm^3$$

$$Q_t = \frac{7}{(1 + 0,00135.t)^{0,2134}} \quad \text{وبالتالي تصبح معادلة تصريف الانحسار التي تم التوصل إليها:}$$

حجم المياه من أجل أي زمن منذ بداية الانحسار:

$$V_t = \frac{7}{0,00135.(0,2134 - 1)} \left[1 - \frac{1}{(1 + 0,00135.t)^{0,2134-1}} \right] .86400 \quad [m^3]$$

إن التنبؤ بتصريف الانحسار وحجوم المياه من أجل أي زمن منذ بداية الانحسار من خلال المعادلتين السابقتين، يسمح بالتصميم الأمثل لمآخذ المياه من النبع المدروس.

الاستنتاجات والتوصيات

1. المعادلة الممثلة للتغيرات السنوية لغزارة نبع السن هي: $Q = -0.0975.t + 13.448$ ، حيث تتخفف قيمة غزارة النهر إلى $0.0975 \text{ m}^3/\text{sec}$ خلال الفترة (1974-1975، 2016-2015)م.
2. المعادلة الممثلة لتغيرات التصارييف الشهرية الأصغرية لنبع السن هي: $Q = 0.1284.t + 28.25$ إذ تزداد قيمة هذه التصارييف الشهرية الأصغرية بمقدار $0.1284 \text{ m}^3/\text{sec}$ خلال فترة المراقبة (2016-1994).
3. المعادلة الممثلة لتغيرات التصارييف الشهرية الأعظمية لنبع السن هي: $Q = -0.0752.t + 28.25$ وتتخفف قيمة هذه التصارييف بمقدار $0.0752 \text{ m}^3/\text{sec}$ خلال فترة المراقبة (2016-1994).
4. تتراوح استجابة غزارة نبع السن اليومية بين (3-5) يوم للهطولات المطرية اليومية المتقطعة المتوسطة والغزيرة الشدة نسبياً، فتسبب زيادة لغزارة النبع تتراوح بين ($0.5-1 \text{ m}^3/\text{sec}$). ويستجيب بشكل يومي للهطولات اليومية المتوسطة الشدة المستمرة خلال فصل الشتاء، فتزداد غزارة النبع بشكل ملحوظ لتبلغ الزيادة $9 \text{ m}^3/\text{sec}$.
5. إن معادلة تصريف الانحسار لنبع السن التي تم التوصل إليها هي: $Q_t = \frac{7}{(1 + 0,00135.t)^{0,2134}}$.
6. معادلة حجم المياه التي يمكن الحصول عليها من النبع من أجل أي زمن منذ بداية الانحسار: $V_t = \frac{7}{0,00135.(0,2134 - 1)} \left[1 - \frac{1}{(1 + 0,00135.t)^{0,2134-1}} \right] .86400$
7. يُوصى باعتماد تحليل منحنيات الانحسار في الينابيع للتنبؤ بالتصريف الأمثل لها خلال أزمئة محددة.

المراجع

1. سلامة، معن صالح . الهيدروجيولوجيا 1، منشورات جامعة البعث، 2008، 379.
2. DENG FENG, L, JIANXIA, CHM FUQIANGM T, QIANG, H, 2015, "Analysis of baseflow index based hydrological model in upper wei river on the loess plateau in China remote sensing anf GIS for hydrology and water resources (IAHS publ,368,2015), China.
3. BRUSKOVA, V, 2008, "Assessment of the baseflow in the upper part of torysa river catchment", Slovak Journal of civil engineering. Slovak.
4. KOLTUM, G. " Determination of base-flow characteristics at selected streamflow – gaging stations on the Mad River, Ohio
5. FRANCESCO, F. PAOLA, R. GERARDO, V.SEVINC, O. 2012. " Karst aquifer draining dry periods" . journal of cave and karst studies. V.74, No.2, P.148-156. DOI:10,4311/2011JCKS0207.Italia.
6. NEVEN, K. ZORAN, S. Groundwater hydrology Of spring. USA 2010, 565.
7. BOUSSINESQ, J. 1904. " Theoretical researches of saline water in springs ". journal of porous media. Paris.
8. MAILLET, E.. " Hydraulic experiments of fluviatile deposits ". Paris, 1905.218
9. NEVEN.K, "Hydrogeological and groundwater modeling " 2nd, U.S.A, 2007,807.
10. بيانات ومعطيات لنبع السن. مديرية الموارد المائية في اللاذقية، 2016م.