

## طرائق حساب مركبات الميزان المائي وتطبيقها على منطقة قطنا في حوض دمشق المائي

قاسم خالد نتوف و واثق رسول آغا

قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

تاريخ الإيداع 2010/11/11

قبل للنشر في 2011/08/22

### الملخص

يعدّ الميزان المائي من أهم أدوات إدارة الموارد المائية خصوصاً عند وضع السياسات المائية والتخطيط لمشاريع مائية إذ يستخدم في تقدير الموارد والاحتياجات المائية الاستثمارية المتوافرة في منظومة مائية محددة وفي تقدير كفاية الموارد المائية المتاحة للأغراض المختلفة. تطورت وتعددت طرائق حساب مركبات الميزان المائي بحيث أصبحت أكثر دقة من جهة وأكثر قدرة على أخذ العوامل المحلية بالحسبان من جهة أخرى.

يعرض هذه البحث أهم الطرائق المتبعة عالمياً في تقدير مركبات الميزان المائي وأسسها النظرية وشروط تطبيقها والبيانات المطلوبة لذلك وصولاً إلى تطبيق بعض هذه الطرائق على منطقة قطنا التابعة لحوض دمشق المائي، وبما يتوافق مع ظروفها الجيولوجية والهيدروجيولوجية وحساب ميزانها المائي مما مكن من وضع رؤية عن ظروف تشكل المياه الجوفية في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: هيدروجيولوجيا، الميزان المائي، حوض دمشق المائي، منطقة قطنا.

# **Water balance components computation methods and their application on Katana area in Damascus water basin**

**K. Kh. Natouf and W. Rasoul-Agha**

Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

Received 11/11/2010

Accepted 22/08/2011

## **ABSTRACT**

The water balance is one of the most important tools for water resources management, especially when defining water policies and planning water projects. It is used for estimation of exploitation of water reserves in a certain water system and sufficiency of available water resources for different uses. The water balance computation methods have widely developed and varied, so they became more accurate from one point of view, and able to take local factors in consideration from another point of view.

This research deals with the most important methods in the world used for water balance components estimation and their theoretical basis, application conditions and required data. Some of those methods were applied to calculate the water balance for Katana area in Damascus basin. This water balance was used for drawing a conclusion about groundwater formation conditions in the area.

**Key Words:** Hydrogeology, Water balance, Damascus water basin, Katana area.

## 1- مقدمة

يعرف الميزان المائي بأنه "العلاقة الكمية التي تربط حجوم المياه الموجودة في منظومة ما أو في عناصرها مع بعضها أو مع الوسط الخارجي"، والمنظومة هي منطقة طبيعية ينظر إليها ككل متكامل مؤلف من عدة عناصر هيدرولوجية وهيدروجيولوجية تختلف بدرجة إشباعها بالمياه، والوسط الخارجي هو كل ما يقع خارج هذه المنظومة. لذلك لا بد من تعريف حدود المنظومة بدقة تسمح بتعيين حجوم المياه فيها وعلاقتها بالوسط الخارجي، وعليه وتبعاً لمقياس المنظومة تتحدد دورتها الهيدرولوجية ومن ثم ميزانها المائي. ويراعى مقياس المنظومة بين الكرة الأرضية وأصغر حوض مائي، فعلى سبيل المثال عندما تكون المنظومة حوضاً هيدرولوجياً على اليابسة تبدأ الدورة الهيدرولوجية من الهطول المطري وتنتهي بالجريانات السطحية والجوفية الخارجة منه، وتحدد مركبات الميزان المائي للمنظومة عندها بالآتي:

- الهطول المطري P.
- الجريان السطحي R.
- التبخر E.
- الرشح إلى المياه الجوفية GR.
- التبخر النتحى ET.
- الجريان الجوفي GF.

وفي هذه الحالة تكون معادلة الميزان المائي السطحي بالشكل:  $P - (E + ET) = R + GR$  ومعادلة الميزان المائي الجوفي  $GFin + GR - GFout = \Delta S$  إذ  $\Delta S$  التغير في المخزون المائي الجوفي و  $GFin$  الجريان الجوفي الداخل للمنظومة و  $GFout$  الجريان الجوفي الخارج من المنظومة، علماً أن بعض المركبات الواردة في المعادلة السابقة يمكن تجزئتها إلى تحت مركبات أيضاً، فالجريان السطحي يتألف من الجريانات المتشكلة نتيجة الهطول المطري وجريانات الأنهار وجريانات الينابيع وهكذا.....

لحساب الميزان المائي أهميتان تطبيقية وعلمية. فعلى الصعيد التطبيقي يعد الميزان المائي من أهم أدوات إدارة الموارد المائية خصوصاً عند وضع السياسات المائية والتخطيط لمشاريع مائية إذ يستخدم في تقدير الاحتياطات المائية الاستثمارية المتوافرة وفي تقدير كفاية الموارد المائية المتاحة للأغراض المختلفة. أمّا على الصعيد العلمي فيستخدم الميزان المائي في حل بعض المسائل الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية، مثل تقدير قيمة التبخر الممكنة من مساحة ما، وتحديد وجود جريانات مائية جوفية من منطقة مدروسة وإليها، وتقسيم المنطقة إلى مساحات متجانسة تمثل أحواضاً مائية وغيرها.

بدأ مفهوم الميزان المائي مع بداية الدراسات المائية المختلفة، وتعددت الدراسات والبحوث الهادفة إلى تطوير طرائق حسابه، وعرضت نتائجها في مؤتمرات وندوات علمية عديدة كان من أهمها الندوة التي عقدت بإشراف IAHS في عام 1970 بعنوان "الميزان

المائي للعالم" (Sokolov, Champan, 1974)، وندوة عقدت في هامبورغ عام 1983 (A Van Der Beken, A Hermann, 1983) بعنوان "طرائق جديدة في حساب الميزان المائي" وفي عام 2007 وضمن إطار الاهتمام بمفهوم الميزان المائي كمدخل متكامل لحل المشكلات البيئية المتعلقة بالمسألة المائية عقدت في تورنتو ندوة حول "الميزان المائي"<sup>1</sup> تركزت على استخدامه في إدارة الموجات المائية الفيضانية المترافقة مع العواصف المطرية الشديدة ودرء مخاطرها. وقد خلصت هذه النشاطات وغيرها إلى ما يأتي:

1. تتحدد صحة حسابات الميزان المائي بدقة البيانات المستخدمة فيها وخصوصاً بيانات الهطول المطري.
2. تؤدي التقنيات الإحصائية وخصوصاً المربعات الصغرى والخطأ المتبقي دوراً مهماً في تدقيق البيانات المستخدمة في حسابات الميزان المائي وتدقيق نتائج هذه الحسابات.
3. تعتمد دقة مركبات الميزان المائي على اختيار الطرائق المناسبة لحسابها والمتوائمة مع البيئة المدروسة، وتشكل هذه التوجهات الإطار العلمي الحديث الذي يتم من خلاله حساب مركبات الميزان المائي على الصعيد العالمي.
4. عند اختيار طرائق حساب مركبات الميزان المائي لا بد من الأخذ بالحسبان المقاييس الزماني والمكاني.

على الصعيد المنهجي تطورت طرائق حساب مركبات الميزان المائي فأصبح بالإمكان حساب كل مركبة بعدة طرائق، وقد تلاؤم طريقة منطقة ما ولاتلاؤم منطقة أخرى تبعاً للظروف الطبيعية لكل منهما، لذلك أصبح من الضروري عند حساب مركبات الميزان المائي لمنطقة ما بدقة من التعرف على هذه الطرائق وأسسها النظرية وتطبيقاتها، ومن ثم اختيار الأمثل منها بما يتوافق وخصائص المنطقة المدروسة ويتم ذلك عادة بتطبيق الطرائق على مناطق شاهدة ليصار بعدها إلى حساب الميزان المائي للمنطقة ككل.

يعبر عن حجم المياه الممتلئة لإحدى المركبات بارتفاع الطبقة المائية المتشكلة نتيجة توزع المياه على كامل مساحة المنطقة ويقدر بوحدة (الطول/ زمن) أو بالتصريف الذي تنتقل به المياه عبر وحدة مساحية خلال مدة زمنية معينة، ويقدر بوحدة الحجم/ الزمن.

هَدَفَ هذا البحث إلى عرض أهم الطرائق المتبعة عالمياً في حسابات مركبات الميزان المائي وبيان متطلبات وشروط تطبيقها، وتطبيق ذلك على منطقة قطنا في حوض دمشق.

## 2- طرائق حساب مركبات الميزان المائي:

### 1.2 المنظومات المائية:

تُمَثَّلُ المنطقة المدروسة بمنظومة مائية تقسم إلى منظومتين سطحية و جوفية يفصل بينهما نطاق التهوية. المنظومة المائية السطحية هي الحيز من الفراغ الذي تجري فيه

<sup>1</sup> <http://www.sustainabletechnologies.ca/>

عمليات الهطول المطري والتبخر والجريان السطحي، والمنظومة المائية الجوفية هي الحيز من الفراغ الذي يخترن حجوم المياه الجوفية وتجري فيه عمليات الجريان الجوفي وتحدد حدود المنظومة بالخصائص الفيزيوجرافية والمورفولوجية والحيولوجية والبتروغرافية للحيز. يجري التبادل المائي بين المنظومتين السطحية والجوفية بعمليات الرشح إلى المياه الجوفية والتبخر من سطح المياه الجوفية والجريان الينبوعي واستثمار المياه الجوفية. عند تقدير مركبات الميزان المائي لمنظومة ما يُقدَّر معدل هذه المركبة بإحدى طرائقه المعروفة ويُضربُ بمساحة المنظومة لتقدير حجم المياه الممتلئة للمركبة.

## 2.2 مركبة الهطول المطري:

يعبر عن هذه المركبة كمعدل من نتائج القياس والحساب بوحدة مم/سنة أو بحجم المياه الهاطلة على مساحة المنظومة السطحية. تستخدم عدة طرائق للانتقال من القياسات النقطية إلى التقديرات المساحية لحساب معدلات الهطول المطري على المنظومة، فتستخدم طريقة خطوط التسوية أو طريقة شبكة مضلعات تيسن أو تستخدم أحياناً طريقة المتوسط الحسابي بشكلها التقليدي (Marten Wanilisa، 2001). نظراً إلى الدور الأساسي الذي تؤديه بيانات الهطول المطري في حسابات الميزان المائي تستخدم الطرائق الإحصائية لتحديد دقة هذه البيانات واستكمالها وللحصول على توقعات مستقبلية عن الهطولات المطرية.

تُقيَّم دقة البيانات بالاختبارات الإحصائية لقيم الهطول المطري السنوية والشهرية، كما تختبر توافقية حادثة الهطول المطري بين المحطات المتجاورة بحساب معامل التناسب أو معامل التناسب المكاني. كما تُحدَّد احتمالية الهطول المطري و يحسب زمن العودة بطريقة هازن (Andy D. Ward , William J. Elliot، 2004).

## 3.2 مركبة التبخر:

يعدُّ التبخر من أهم مركبات الميزان المائي لمنظومة ما كونه يمثل أحد الفواقد غير الراجعة من وارداتها، لذلك وضعت طرائق كثيرة لتقديره، كما يبيِّن الجدول رقم 1 (Thompson and others، 2007). ويُميِّزُ عادةً بين التبخر من سطح الأرض الجرداء والتبخر النتحى من سطح الأرض المزروعة بالنباتات، والتبخر من سطح الماء الحر (التبخر الكموني)، والتبخر من سطح المياه الجوفية والتبخر من سطوح الثلوج والثلجات.

## 4.2 مركبة الجريان السطحي:

تؤدي مركبة الجريان السطحي دوراً مهماً في الميزان المائي لمنظومة ما من خلال توزيع الموارد المائية ضمن المنظومة أو نقلها إلى خارجها، ويُميِّزُ عادةً بين الجريانات السطحية العابرة لحدود المنظومة والجريانات السطحية المتشكلة ضمنها. وهناك العديد من طرائق حساب الجريان السطحي نعرض لأهمها.

الجدول (1) بعض طرائق تقدير مركبة التبخر

العوائق	الميزات	التقنية المستخدمة	الطريقة	تصنيف الطريقة
مكلفة وصعبة التطبيق في ظروف الرطوبة العالية	قياس مباشر للتبخر خلال مدد زمنية قصيرة (20 دقيقة)	تباين الدوامات	قياس تغير ضغط بخار الماء	مباشرة
القياسات نقطية وبحاجة إلى التعميم للحصول على التقدير المساحي للتبخر من سطح الماء الحر وبحاجة لمعامل تصحيح للحصول على التبخر الفعلي	قياس مباشر للتبخر	أوعية التبخر Class A، الليزومتر وغيرها	قياس حجم المياه المتبخرة	
دقتها تعتمد على دقة تقدير باقي مركبات الميزان المائي ولا يمكن تطبيقها على المساحات الصغيرة	تقديرات مساحية ولا تتطلب قياساً لحجم المياه المتبخرة	حساب كل مركبات الميزان المائي واستخراج التبخر على أنه الفرق بينها	الميزان المائي	غير مباشرة
لا تشمل كل العوامل المؤثرة في عملية التبخر	سهولة التطبيق	بلاني كريدل، تورك، المنحنى البياني	ميزان الطاقة	
تقدر التبخر الكموني أو التبخر النتحى المرجعي وبحاجة لمعاملات تصحيح للحصول على التبخر الفعلي، كما أنها نقطية وبحاجة إلى التعميم	تستخدم بيانات تقاس دورياً ومتوفرة غالباً	بنمان وبنمان مونتيث وبوديكو	العلاقات التجريبية باستخدام البيانات المناخية	
بحاجة لطرائق متممة ولأعمال تدقيق على الأرض	تقديرات مساحية ويمكن استخدامها على مستوى الأقاليم	قياس LAI و NDVI	معالجة الصور الفضائية	

تستخدم طريقة القياس المباشر في تقدير تصاريح الجريانات العابرة للمنظومة بمعونة أجهزة قياس سرعة الجريان Current meters، أو أجهزة قياس مستوى المياه في المجرى المائي، كما تستخدم طريقة معامل الجريان بقياس مكوناته.

كذلك تستخدم طريقة فصل مركبات المنحنى البياني النهري (Hydrograph) إلى جريانات أساسية (Base Flow) وجريانات سطحية مباشرة (Direct surface runoff) في تقدير مركبة الجريان السطحي وتوصيفها. وقد طورت تقنيات عديدة لتنفيذ عملية فصل تلك المركبات.

## 5.2 مركبة الرش إلى المياه الجوفية:

تكمّن أهمية الرش كمرکبة من مرکبات الميزان المائي في كونه يؤدي إلى تخزين مياه الأمطار والتلوج والمياه السطحية جوفياً وتوزيعها، واسترجاع جزء من مياه الري بعد استعمالها.

وضعت نظريات عديدة لتحليل تقدم جبهة المياه الراشحة في التربة ونتجت عنها طرائق مباشرة لتقدير معدل الرش تأخذ بالحسبان العوامل الرئيسة الثلاثة التي تتأثر بها العملية، وهي المحتوى المائي للتربة، وضغط المياه فوق التربة، ونفوذية التربة، وتقسم هذه الطرائق إلى فيزيائية وتجريبية<sup>1</sup>، وكذلك طوّرت طرائق غير مباشرة تعتمد على العمليات المرافقة لعملية الرش.

من الطرائق الفيزيائية المباشرة طريقة غرين أمبت (Marten Wanilisa، 2001) وطريقة فيليب (Jacues W. Delluer، 1999) وطريقة بارلانج (Jacues W. Delluer، 1999) وطريقة سوارتندروبر (Jacues W. Delluer، 1999)، ومن الطرائق التجريبية المباشرة طريقة هورتون (Andy D. Ward, William J. Elliot، 2004) وطريقة كوستيكوف (James A. Tindall, James R. Kunkel، 1999) وطريقة سميث وطريقة هولتون (Jacues W. Delluer، 1999) ومن الطرائق غير المباشرة طريقة الميزان الكتلي للكلور Chloride Mass Balance (Nonner، 2002) وطريقة رقم المنحنى وطريقة تحليل تغيرات مستوى المياه الجوفية وطريقة الميزان المائي (Gavich، 1988).

## 6.2 مركبة الجريان الجوفي:

تقدر مركبة الجريان الجوفي بشكل رئيس بأربع طرائق، هي: الطريقة الهيدروديناميكية، وطريقة تغير حجم الصخور المشبعة بالمياه، وطريقة النمذجة الرياضية، وطريقة إغلاق الميزان المائي، وقد استخدمت الطريقة الأولى في حساب مركبة الجريان الجوفي في منطقة قطنا.

تقوم طريقة التحليل الهيدروديناميكي في تقدير حجوم المياه الواردة والصادرة على قانون دارسي بصيغته المعروفة:

$$q = kA \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

إذ: q تدفق الجريان، K معامل الرش، A المساحة التي يعبرها الجريان،

$\frac{\Delta h}{\Delta t}$  التدرج الهيدروليكي.

<sup>1</sup> قد تسمى الطرائق التجريبية بالطرائق الجبرية

وتحسب هذه المكونات باستخدام خرائط تسوية مستوى المياه الجوفية للمنظومة وقيم السماكة الفعالة للطبقة المائية المدروسة ومعامل الرشح. ولتحقيق ذلك تعتمد فرضيات تبسيط الظروف الهيدروجيولوجية للمنظومة (خاصة في المنظومات ذات البنية الجيولوجية المعقدة مثل المنظومات الكارستية) وفق معايير خاصة، وتحديد قيم مبررة ومقبولة للمعاملات الهيدروجيولوجية المستخدمة في الحسابات مثل معامل الرشح والسماكة الفعالة للطبقات المائية وغيرها، وعادة تبنى مقاطع هيدروجيولوجية وخرائط تسوية مائية للطبقات الحرة والمضغوطة، التي تبيّن مناطق الجريان الجوفي وخصائصه وتسهم في إجراء التحليل الهيدروديناميكي المطلوب.

## 7.2 مركبة استعمالات المياه:

يُمَيِّزُ بين ثلاثة أنواع رئيسية من استعمالات المياه: أهلية زراعية وصناعية. يقاس حجم المياه المستعملة إما بقياس حجم المياه المارة عبر المنشآت المائية باستخدام عدادات نقرأ حجوم هذه المياه وتسجلها، أو بتقدير هذه الحجوم انطلاقاً من الاحتياجات المائية لكل غرض من الأغراض، فيقدر حجم المياه المستعملة لأغراض أهلية من عدد السكان المستفيدين من المنظومة واحتياج الفرد الواحد منهم، ويقدر حجم المياه المستعملة لأغراض الري من المساحات المزروعة بمحصول معين والمقنن المائي لهذا المحصول، ويقدر حجم المياه المستعملة في الصناعة من عدد المنشآت الصناعية، واحتياج كل صناعة من المياه. تدخل الميزان المائي للمنظومة مركبات إضافية نتيجة مشاريع نفذها الإنسان بهدف إدارة مواردها المائية مثل جر المياه إليها من خارجها، ومياه الصرف الصحي المعالجة وغير المعالجة التي تصرف ضمنها. غالباً ما تكون هذه الحجوم مدروسة ومنحكما بها، مما يجعلها قابلة للقياس ويمكن حسابها من سجلاتها مباشرة، وعندما لا توجد سجلات لحجوم المياه تقدر حسب ساعات عمل المنشأة واستطاعتها.

### 3- حساب الميزان المائي في سورية (حالة حوض دمشق).

في سورية بدأت أولى محاولات حساب الميزان المائي في الخمسينيات من القرن الماضي من قبل دافيد بوردون عندما حسب الميزان المائي لحوض دمشق (D.J., Burdon, 1954)، وكانت محاولات مبسطة اعتمدت على القياسات المتاحة لمعادلة الميزان المائي، بعد ذلك في عام 1985 حسب الميزان المائي لحوض دمشق في إطار "دراسة استعمالات المياه لري المحاصيل الزراعية في حوض بردى والأعوج" المعدة من قبل خبراء معهد لينغبيروفودخوز حيث بُنيت وقُدرت مركبات الميزان المائي للحوض، وفي العام 1997 قام فريق من الخبراء اليابانيين (جايكا، 1997) بإعادة حساب الميزان المائي لحوض دمشق باستخدام الطرائق العددية والنمذجة الرياضية وحدثت هذه الحسابات عام 2005، وقد حسب الميزان المائي أيضاً لأحواض الساحل والعاصي واليرموك بالطرائق نفسها.



قسمت دراسة خبراء معهد لينغبيرو فودخوز حوض دمشق إلى مناطق جبلية و سهلية تضاريسياً، ثم رسمت حدود 21 حوضاً هيدرولوجياً فرعياً، وحُسب الميزان المائي لكل منها. لتقدير حجم الهطولات المطرية، جمعت البيانات الشهرية من 75 محطة رصد حيث اختبرت دقتها واستمراريتها إحصائياً وعدلت واستكملت لتنتج سلاسل هطول مطري اعتمدت في حسابات الميزان المائي. ولتقدير حجم الهطولات الناتجة استخدمت طريقة الارتفاع عن سطح البحر. أما قيمة التبخر الكموني فقدت بطريقة بنمان وقيمة التبخر النتح للمحاصيل المختلفة بطريقة معامل المحصول، أما حجم المياه المتبخرة من سطح المياه الجوفية فحسب بطريقة خارتشكو. قدر حجم الواردات والصادرات السطحية في كل حوض فرعي باعتماد محطات قياس لها عند مداخل الأودية ومخارجها في الأحواض الفرعية. حسبت حجوم الواردات والصادرات الجوفية في كل حوض فرعي انطلاقاً من معدل تغذية المياه الجوفية ومساحة الحوض الفرعي واتجاه حركة المياه الجوفية. أما باقي مركبات الميزان المائي كاستعمالات المياه فقد حسبت نتيجة مسوحات ميدانية نفذت في زمن الدراسة (1983 - 1984). جاءت نتيجة هذه الدراسة أن مساحة حوض دمشق تبلغ 8596 كم<sup>2</sup> وحجم الهطولات المطرية 2659 م<sup>3</sup>/سنة وتبلغ الموارد المائية الجوفية المتاحة 850 م<sup>3</sup>/سنة والموارد المائية السطحية 362 م<sup>3</sup>/سنة؛ علماً أن قيمة التبخر الكموني 2588.6 م<sup>3</sup>/سنة؛ أما التبخر الفعلي فلم تحسبه الدراسة.

اعتمدت دراسة الخبراء اليابانيين على طريقة النمذجة الرياضية حيث بنى نموذج تخزين صناعي (Synthetic Storage Model SSM) باستخدام برنامج حاسوبي مخصص لذلك. يقوم النموذج على تمثيل المنظومتين السطحية والجوفية بخزانات (Tank) مرتبطة ببعضها (Link) وتتبادل المياه بينها عبر فتحات (Orifice). مثل حوض دمشق بـ 28 خزناً سطحياً يوافقها 28 خزناً جوفياً وحضرت مدخلات النموذج كينيتها والهطول المطري والتبخر والسحب المائي وغيرها بالاستفادة من معطيات ومعلومات وخرائط دراسة خبراء معهد لينغبيرو فودخوز مع تحديث البيانات المتغيرة منها، كما استخدمت معطيات مستويات المياه الجوفية وتصاريح الأنهار والينابيع لمعايرة النموذج ليتم بعدها استخراج الميزان المائي. جاء نتيجة هذه الدراسة أن حجم الهطولات المطرية يبلغ 2020 م<sup>3</sup>/سنة وتبلغ الموارد المائية الجوفية المتاحة 724 م<sup>3</sup>/سنة، وبيّنت الدراسة أن 75% من الهطولات يضيع بالتبخر، وأن حوض دمشق يعاني من عجز مائي سنوي قدره 215 م<sup>3</sup>/سنة. ولابد من الإشارة هنا إلى أن الاختلاف في نتائج حساب الميزان المائي بين دراستي الخبراء الروس واليابانيين يعود إلى سببين رئيسيين هما تغير الظروف الطبيعية وخصوصاً المناخية منها، وزيادة حجوم استعمالات المياه.

تابعت وزارة الري إعداد الميزان المائي السنوي لحوض دمشق وبأقي الأحواض المائية في سورية وفق الآلية الموضحة في دراسة خبراء معهد لينغبيرو فودخوز مع بعض

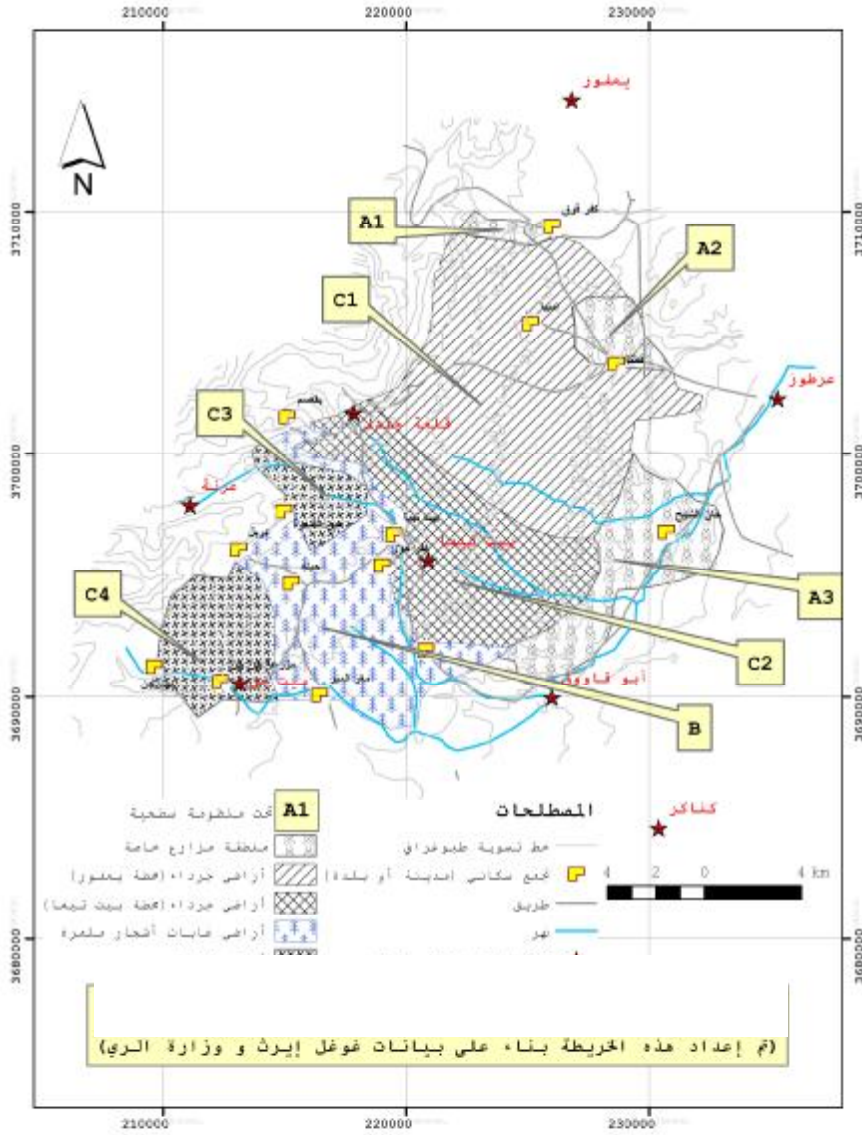
التعديلات التي اقترحها الفنيون في الوزارة، مثل اعتماد محطة هطول مطري ممثلة لكل حوض فرعي، وتقدير استعمالات المياه انطلاقاً من الاحتياجات المائية، وقد أصدرت وزارة الري بدءاً من عام 2004-2005 تقارير سنوية غير منشورة عن الموارد المائية في حوض دمشق، وقد احتوت التقارير أرقاماً إجمالية لمختلف مركبات الميزان المائي لحوض دمشق.

تشترك الدراسات السابقة كلها في أنها اعتمدت مبدأ تصنيف الأحواض المدروسة إلى وحدات هيدرولوجية وهيدروجيولوجية، ولم تتفد لمنطقة خاصة معينة مما جعل نتائجها إجمالية على مستوى حوض دمشق وأحواضه الفرعية. فضلاً عن ذلك حسبت الموازين المائية في هذه الدراسات لسنة هيدرولوجية ولم تتفد على أساس شهري يفيد في تقييم أهمية المعاملات الهيدرولوجية المختلفة، ومن ثم مركبات الميزان المائي في الظروف الهيدرولوجية المختلفة<sup>1</sup> من فصل إلى فصل ومن شهر إلى آخر. وعلى الصعيد المنهجي اعتمدت دراسة خبراء معهد لينغبيروفودخوز على معادلات تجريبية تنتج عن طرائق تجريبية مبنية على نماذج فيزيائية محلية ولم تتفد اختبارات لقابلية تطبيق هذه المعادلات والطرائق في حوض دمشق؛ وإنما استندت إلى تشابه الظروف العامة في الحوض مع مناطق أخرى في العالم، فعلى سبيل المثال عند تقدير حجم الضياعات من سطح المياه الجوفية تورد الدراسة خمس معادلات تجريبية، وتعتمد على واحدة منها طورت في المناطق الجنوبية للاتحاد السوفييتي سابقاً، وعلى نتائج تجربة ليزومتر وحيدة نفذت في منطقة خرابو خلال مدة الدراسة. كما لم تجر دراسة الخبراء اليابانيين حسابات تفصيلية للمعاملات والمركبات المطلوبة لإعداد النموذج وتشغيله، وإنما استندت إلى نتائج معايرة النموذج لتحديد دقة العمل.

#### 4- الميزان المائي لمنطقة قطنا

تقع منطقة الدراسة على مسافة 30 كم غرب مدينة دمشق (شكل 1)، وهي منطقة جبلية تحدها من الغرب جبال الحرمون ومن الشرق نهاية سلسلة قاسيون الجبلية والأطراف الغربية لسلسلة جبال المانع والميداني، أما من الشمال فيتماشى حدها مع حد جيولوجي يفصل التوضعات النيوجينية الرسوبية إلى قسمين شمالي وجنوبي، ومن الجنوب تحد بنهر الأعوج. تراوح الارتفاعات الطبوغرافية فوق سطح البحر ضمن المنطقة وحولها من 1500م في الغرب إلى 800م في الشرق. تشكل المنطقة المدروسة حوضاً مائياً متجانساً هيدرولوجياً وهيدروجيولوجياً.

<sup>1</sup> مجلة إدارة الموارد المائية، المجلد الأول، العدد 12، 1998، هولندا.



الشكل (1) خريطة الموقع واستعمالات الأراضي وتوزع تحت المنظومات السطحية ومحطات قياس الهطول المطري (تم إعداد هذه الخريطة بناء على بيانات غوغل إيرث ووزارة الري).

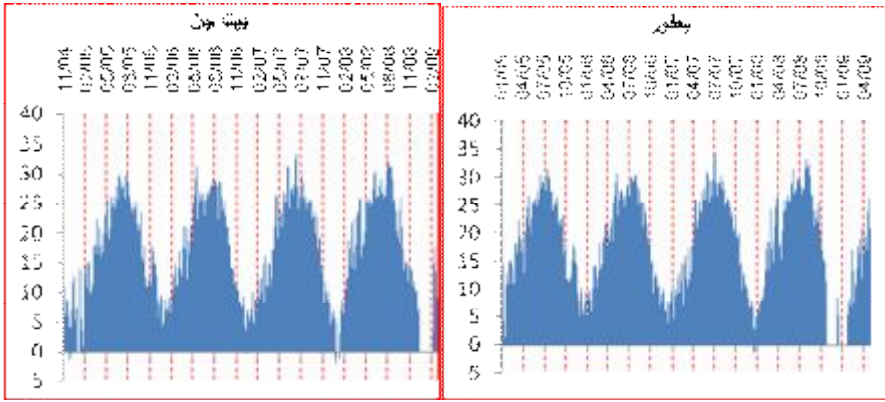
#### 1-4 الظروف الطبيعية لمنطقة الدراسة:

تشغل المنطقة المدروسة السفح الشرقي لطية الحرمون المحدبة التي تنتمي لسلسلة جبال لبنان الشرقية، ويتقاطع على حدودها كل من فالق الأعوج وفالق سرغايا. تنتشر في المنطقة توضعات رباعية تقابل في المصاطب النهرية فقط تتألف من رسوبيات سيلية ونهرية وتوضعات الكونغلوميرا النيوجينية منكشفة على سطح الأرض، يليها توضعات البازلت النيوجيني ثم توضعات الحجر الكلسي الباليوجيني والحجر الكلسي الكريتاسي، وتشكل هذه الصخور الحوامل المائية الرئيسة في المنطقة (المذكرة الإيضاحية، 1986). يكون سطح الأرض شمال منطقة الدراسة جبلياً أجرداً بسبب تكشف صخور الأساس وتنتشر فيه سطوح التقسيم والانحدارات الشديدة، أما جنوب المنطقة حول مجاري الأنهار والمصاطب النهرية فيكون مزروعاً ومستوياً قليل الانحدار تربته نهرية كربوناتية مقطعتها 30 سم لوماً رمادياً ثم 1 م حصى وبحص مع كونغولوميرا ثم 75 سم حجراً كلسياً نهرياً وفي جوار أفنية الري تكون تربته زراعية على شكل حطام صناعي زراعي مسوى على مصاطب مستوية قليلة الميول مقطعتها 35 سم لوماً ثقيلاً ثم 1 م غضاراً وبعدها حصى وبحص مع كونغولوميرا (البنغويروفودخوز، 1986).

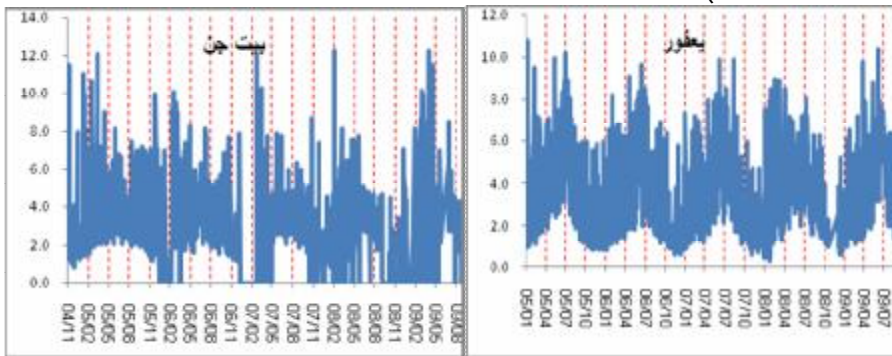
توصف منطقة الدراسة بأنها باردة عموماً، ففي الجزء الشمالي منها يبلغ متوسط درجة الحرارة السنوي 17 درجة مئوية وفي الجزء الجنوبي 16 درجة مئوية، أما متوسط درجة الحرارة الدنيا السنوي فيبلغ -2 درجة مئوية في الجزء الشمالي و9 درجات مئوية في الجزء الجنوبي، ويبلغ متوسط درجة الحرارة العظمى السنوي 30 درجة مئوية في الجزء الشمالي و22 درجة مئوية في الجزء الجنوبي (شكل 2).

تتميز المنطقة بسرعة رياح عالية معظم أوقات السنة حيث يبلغ متوسط سرعة الرياح 3.9 م/ثانية في الجزء الشمالي و3 م/ثانية في الجزء الجنوبي، ويبلغ متوسط سرعة الرياح العظمى 13 م/ثانية في الجزء الشمالي و10 م/ثانية في الجزء الجنوبي (شكل 3).

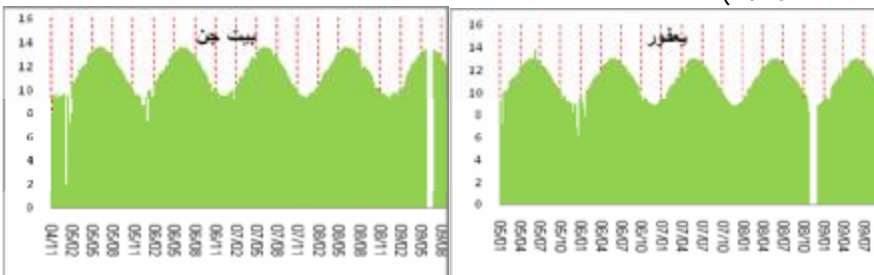
تختلف ساعات السطوع الشمسي في الجزئين الجنوبي والشمالي حسب فصول السنة فخلال الخريف والشتاء يبلغ متوسط عدد ساعات السطوع الشمسي 8 ساعة/اليوم، وخلال الربيع والصيف يبلغ 12 ساعات يومياً (شكل 4) (قاعدة البيانات الوطنية، 2004 - 2010). تختلف شدة السطوع الشمسي في الجزئين الشمالي والجنوبي حسب فصل السنة أيضاً، فخلال الخريف والشتاء يبلغ متوسط شدة السطوع الشمسي 13 ميلي جول/م<sup>2</sup> وفي الربيع وفي الصيف 27 ميلي جول/م<sup>2</sup>. بالتوافق مع باقي المعاملات المناخية تكون رطوبة الهواء في الجزئين الشمالي والجنوبي عالية في الخريف والشتاء، إذ يراوح متوسط الرطوبة النسبية الوسطى بين 50% و60% ومنخفضة في الربيع والصيف، ويراوح المتوسط بين 27% و32%. كذلك يراوح متوسط الرطوبة النسبية العظمى بين 70% و80% في الخريف والشتاء، وبين 45% و55% في الربيع والصيف (شكل 5).



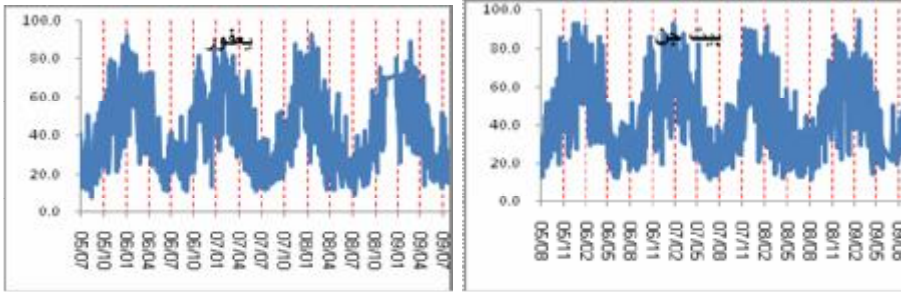
الشكل (2) تغير درجة الحرارة الوسطى اليومية في منطقتي بيت جن (جنوب منطقة الدراسة) ويعفور (شمال منطقة الدراسة) 2005-2009 (درجة مئوية) (وزارة الري، 2004 - 2010)



الشكل (3) تغير سرعة الرياح في محطتي بيت جن و يعفور (م/ثانية) (وزارة الري، 2004 - 2010)



الشكل (4) تغير عدد ساعات السطوع الشمسي في محطتي بيت جن و يعفور (ساعة/اليوم) (وزارة الري، 2004 - 2010)



الشكل (5) تغير رطوبة الهواء النسبية في محطتي بيت جن ويعفور (%) (وزارة الري، 2004 - 2010)

تبدأ الأمطار بالهطول في المنطقة مع بداية العام الهيدرولوجي في تشرين الأول وتستمر حتى نيسان، وتبلغ القيمة العظمى لها في شباط، ويقدر معدل الهطول المطري السنوي 265 مم/سنة.

تتميز المنطقة بوفرة مائية وبتربة خصبة و بمناخ بارد شتاءً ومعتدل صيفاً لذلك تعدُّ نشطة زراعياً، تزرع فيها المحاصيل الصيفية والشتوية والأشجار المثمرة. تبلغ مساحة الأراضي المزروعة بالأشجار المثمرة 3708 هكتار والمزروعة بالمراعي والمحاصيل الزراعية 4703 هكتار والمزروعة بعلاً 8679 هكتار، أما الأراضي القابلة للزراعة وغير المزروعة فتبلغ 10048 هكتار. يقطن في المنطقة 135320 نسمة موزعين على 13 تجمعاً سكانياً هي: كفرقوق - قطنا - خان الشيخ - بقعسم - عين الشعرة - بيت تيماء - كفر حور - دربل - حينة - بيت ساير - مغر المير - بيت جن - مزرعة بيت جن (شكل 1). لا يوجد في المنطقة صناعات رئيسة أو منشآت صناعية وإنما يمارس أهلها صناعات يدوية تسدُّ احتياجاتهم المحلية (السجلات الإحصائية في وزارة الزراعة).

#### 2-4 الميزان المائي للمنظومة السطحية

قُسمت المنظومة المائية السطحية حسب استعمالات الأراضي فيها إلى ثلاث تحت-منظومات تقسم بدورها إلى قطاعات حسب موقعها الجغرافي هي (شكل 1):

- تحت-المنظومة A (46.78 كم<sup>2</sup>): تشغل بمزارع خاصة مع أبنية سكنية وتضم ثلاثة قطاعات: A1 (2.83 كم<sup>2</sup>) و A2 (11.11 كم<sup>2</sup>) و A3 (32.84 كم<sup>2</sup>) وتبلغ المساحة المزروعة فيها 3703 هكتار.
- تحت-المنظومة B (54.31 كم<sup>2</sup>): تزرع بأشجار مثمرة ومحاصيل مختلفة بمساحة 4708 هكتار.
- تحت-المنظومة C (189.66 كم<sup>2</sup>): جرداء خالية من المزروعات وتحتوي على نباتات برية وتضم أربعة قطاعات: C1 (102.3 كم<sup>2</sup>) و C2 (54.1 كم<sup>2</sup>) و C3 (9.7 كم<sup>2</sup>) و C4 (23.56 كم<sup>2</sup>).

## مركبة الهطول المطري:

جمعت بيانات من ثماني محطات قياس للهطول المطري هي بيت جن على ارتفاع (1094 م)، وقلعة جندل (1368 م)، وعرنة (1460 م)، ويعفور (1000 م)، وأبو قاووق (860 م)، وكنكر (828 م)، وعرطوز (783 م)، وبيت تيماء (956 م) (شكل 1) للعامين الهيدرولوجيين 2005-2006 و2006-2007، ودرست في هذا البحث تجانس الهطول المطري بحساب معامل الارتباط بين القيم اليومية للهطول المطري للمحطات المختلفة، وقد تبين أن الترابط يكون كبيراً بين المحطات كلها ما عدا محطة عرنة بسبب فرق الارتفاع الطبوغرافي بينها وبين باقي المحطات، مما يدل على تجانس المنظومة السطحية مطرياً.

حسب في هذا البحث متوسط الهطول المطري على منطقة الدراسة بطريقتين: تيسن والمتوسط الحسابي. عند تطبيق طريقة تيسن حملت مواقع المحطات على الخريطة ورسمت مزلعات تيسن لها، ثم حسبت المساحة النسبية الممثلة لكل محطة وضربت بقيمة الهطول المطري في المحطة وحسب معدل الهطول المطري على المنظومة بجمع الهطولات النسبية في المحطات، وعند تطبيق طريقة المتوسط الحسابي حسب معدل الهطول المطري على المنطقة كمتوسط قيمه في المحطات، ويبين الجدول (2). نتائج الحساب التي توصلنا لها.

الجدول (2) نتائج حساب قيمة مركبة الهطول المطري

2007-2006		2006-2005		طريقة الحساب
الموارد المائية م.م/سنة	القيمة المعتمدة م.م	الموارد المائية م.م/سنة	القيمة المعتمدة م.م	
69.88	256	254	72.35	256
		267		265

فضلاً عن ذلك قدر متوسط الهطول الثلجي على المنطقة من سجلاته الساعية من أيار - 2006 حتى أيار - 2009 ونظراً إلى أن المكافئ المائي للثلج يبلغ 20 % والمناطق المغمورة بالهطولات الثلجية هي المناطق التابعة لمنطقة الدراسة أو متاخمة لها وتقع على ارتفاع أكثر من 1000 م فوق سطح البحر وتصب جرياناتها السطحية في المنطقة المدروسة وقد بلغت مساحتها 223 كم<sup>2</sup> (80 % من مساحة المنطقة) وبذلك قدرت الموارد المائية من الهطولات الثلجية بـ 600 ألف م<sup>3</sup>/سنة.

## مركبة التبخر:

حُسبَ معدل التبخر النتحي في تحت المنظومتين A و B بطريقة بنمان-مونثيث وحُسبَ معدل التبخر في تحت المنظومة C بطريقة المنحنى البياني المعتمدة في SCS<sup>1</sup> (شكل 6)، ولتطبيق طريقة بنمان مونثيث لا بد من توافر بيانات عن موقع المنظومة والظروف المناخية فيها وعن التراكيب المحصولية من أجل تحديد معاملات المحاصيل وحساب قيمة التبخر النتحي الفعلي، كما لا بد من توافر بيانات عن المساحات المزروعة بهذه التراكيب

المحصولية لتقدير قيمة حجم المياه المتبخرة بالنتج من المنظومة. وضعت برمجيات حاسوبية كثيرة لتنفيذ الحسابات وفق هذه الطريقة، ومن أشهرها برنامج CROPWHAT المتخصص في تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية.

جمعت البيانات المناخية اللازمة لتنفيذ هذه الحسابات للعامين الهيدرولوجيين 2005-2006 و 2006-2007 (جدول 3) لمحطتي بيت جن ويعفور، عولمت ببرنامج CROPWHAT، ونفذت حسابات التبخر النتحي. كما جمعت بيانات قيم معامل المحصول الخاصة بالأشجار المثمرة والمحاصيل في منطقة قطنا (جدول 4).

الجدول (3) البيانات المستخدمة في حساب التبخر النتحي المرجعي.

محطة بيت جن							محطة يعفور							التبخر	العام الهيدرولوجي
الارتفاع عن سطح البحر: 1094م درجة العرض: 33.32 شمالا							الارتفاع عن سطح البحر: 1000م درجة العرض: 33.54 شمالا								
ET <sub>0</sub>	SR	SD	WS	H	T <sub>min</sub>	T <sub>Max</sub>	ET <sub>0</sub>	SR	SD	WS	H	T <sub>Min</sub>	T <sub>Max</sub>		
6	18.1	10	527	42	11	23.3	5.3	16.9	9	380.2	41.5	11.4	24.1	10	
3.2	13	8	466.6	59.5	6.4	16.2	2.8	11.9	7	337	59.6	6.7	16.7	11	
3.1	9.8	6	509.8	55.4	5.2	15	2.5	9.8	6	293.8	54.8	5.7	15.7	12	
1.6	10.1	5.5	302.5	70.8	1.9	9.7	1.8	9.5	5	345.6	69.6	2.5	10.4	1	
1.5	13.3	6.6	393	63.1	2.8	11.8	2.6	12.6	6	388.8	62.4	3.6	12.6	2	
4.7	19.6	9.4	713.3	52.6	4.6	16.3	4.8	19	9	578.9	48.9	6.1	17	3	
5.3	21.5	8.8	481.5	52.7	7.7	20	6.1	20.3	8	578.9	453	9.6	21	4	
8.4	27.8	12.2	632.1	33.7	11.1	25.9	9.3	27.5	12	570.2	29.7	13.3	27.3	5	
11	29.7	13.2	529.5	22.4	15.9	32.1	13	29.4	13	717.1	20.2	19.2	32.5	6	
10.6	29.4	12.2	603	31.3	16.7	30.9	13.1	29.1	13	941.8	29.9	21.1	31.4	7	
10.6	26.7	12.2	514.3	27.5	18	33.5	12.8	26.4	12	691.2	25.3	21.2	35	8	
8.7	23.5	11.6	419.4	32.3	14.8	30.4	9.4	22.6	11	535.7	30	17	31.4	9	
2.1	16.9	9	518.4	53.4	11.9	23	4.9	15.7	8	423.4	52.2	12.4	23.6	10	
1	13	8	440.6	54	5	16	2.9	12.9	8	285.1	51.5	5.4	16.8	11	
0.6	11.6	8	319.7	51.6	0.2	11.8	2.2	10.7	7	267.8	49.6	1.1	12.2	12	
0.8	11.5	7	-	64.1	0.9	10.8	2	11.4	7	311	62.2	1.4	11.3	1	
1.2	12.6	6	-	71.8	2.6	11.1	2.2	11.5	5	380.2	70.4	3.7	11.8	2	
3.1	19.1	9	198.7	56.5	4.1	14.8	4.1	17.7	8	527	52.3	4.9	15.3	3	
4	21.8	9	224.3	53.3	6.9	17.3	5.3	21.7	9	527	48.9	7.7	18.5	4	
6.5	24.6	10	259.2	40.8	13.9	27.9	8.2	24.6	10	483.8	39.6	15.1	28.1	5	
9.2	29.4	13	362.9	24.6	15.4	31.5	12.4	29.4	13	717.1	22.8	18.6	31.7	6	
9.2	29.1	13	311	24.6	18.4	34	13.5	27.6	12	734.4	21.8	21.8	34.1	7	
8.2	26.4	12	293.8	27.5	17.2	32.9	12.6	26.4	12	708.5	24.6	21.4	33.8	8	
6.8	24	12	276.9	31.7	16.3	30.4	9.2	22.6	11	518.4	30.8	17.7	31.2	9	

Tmax متوسط درجة الحرارة العظمى-درجة مئوية، Tmin متوسط درجة الحرارة الدنيا - درجة مئوية، H رطوبة الهواء - نسبة مئوية، WS سرعة الرياح - كم/يوم، SD مدة السطوع الشمسي - ساعة، SR شدة السطوع الشمسي ميلي جول/م<sup>2</sup>/يوم. ET<sub>0</sub> التبخر النتحي المرجعي مم/يوم (وزارة الري، 2004 - 2010)



الجدول (4) حساب التبخر النتحي ET مم/يوم من التبخر النتحي المرجعي ET<sub>0</sub> ومعامل المحصول K<sub>c</sub><sup>1</sup>.

الشهر		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
K <sub>c</sub>		0.69	0.57	0.2	0.2	0.2	0.41	0.62	0.73	0.78	0.78	0.78	0.76	
ET <sub>0</sub>	بيت	2005-2006	6	3.2	3.1	1.6	1.5	4.7	5.3	8.4	11	10.6	10.6	8.7
	جن	2006-2007	2.1	1	0.6	0.8	1.2	3.1	4	6.5	9.2	9.2	8.2	6.8
	يعفور	2005-2006	5.3	2.8	2.5	1.8	2.6	4.8	6.1	9.3	13	13.1	12.8	9.4
		2006-2007	4.9	2.9	2.2	2	2.2	4.1	5.3	8.2	12.4	13.5	12.6	9.2
ET = K <sub>c</sub> xET <sub>0</sub>	بيت	2005-2006	4.14	1.82	0.62	0.32	0.3	1.93	3.29	6.132	8.58	8.27	8.27	6.61
	جن	2006-2007	1.45	0.57	0.12	0.16	0.24	1.27	2.48	4.75	7.18	7.18	6.4	5.17
	يعفور	2005-2006	3.66	1.60	0.50	0.36	0.52	1.97	3.78	6.79	10.14	10.22	9.98	7.14
		2006-2007	3.38	1.65	0.44	0.40	0.44	1.68	3.29	5.99	9.67	10.53	9.83	6.99

وبحساب متوسط التبخر النتحي اليومي من الجدول السابق وتحويله إلى قيم سنوية يمكننا استنتاج قيم التبخر النتحي السنوية، كما هو مبين في الجدول (5).

الجدول (5) نتائج حساب معدل مركبة التبخر

المحطة		بيت جن		يعفور	
السنة		2007-2006	2006-2005	2007-2006	2006-2005
التبخر	مم/يوم	4.5	4.2	3.1	4.7
النتحي	مم/سنة	1533	1642.5	1131.5	1715.5

وعليه يكون حجم المياه المتبخرة من المنظومة السطحية على اعتبار أن محطة بيت جن تمثل المنظومات الفرعية B و C2 و C3 و C4 ومحطة يعفور تمثل المنظومات الفرعية A1 و A2 و A3 و C1، كما هو وارد في الجدول (6).

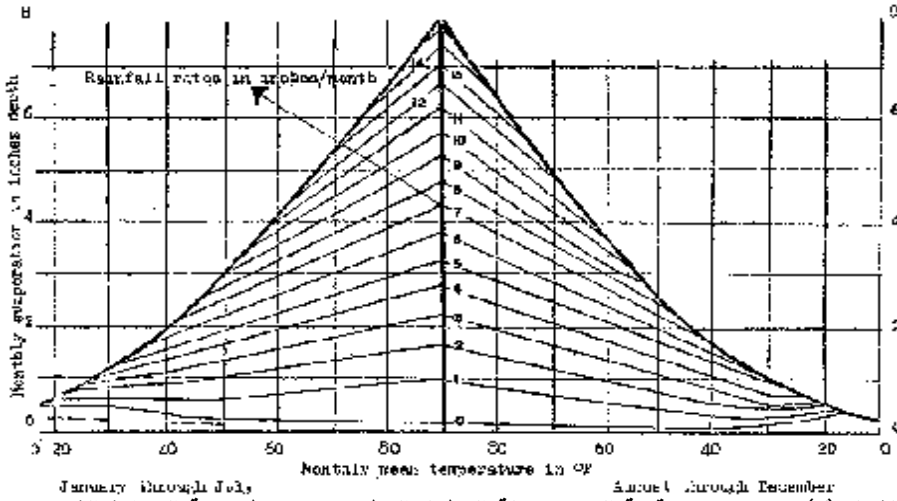
الجدول (6) حجوم المياه المتبخرة م.م<sup>3</sup>/سنة في العامين الهيدرولوجيين 2006-2005 و 2007-2006

التبخر من تحت المنظومة C		التبخر النتحي من تحت المنظومات A و B		المحطة
2007-2006	2006-2005	2007-2006	2006-2005	
5.1	5.6	77.2	72	بيت جن
12.6	8	42	63.6	يعفور
17.7	13.6	119.2	135.6	الإجمالي
--	--	47.68	54.24	الإجمالي بعد التعديل باستخدام مؤشر الغطاء النباتي NDVI

ويكون إجمالي حجم المياه المتبخرة من منطقة الدراسة عام 2007-2005 /67.84 م.م<sup>3</sup>/سنة و عام 2006 - 2007 /65.38 م.م<sup>3</sup>/سنة. ومن الجدير بالذكر أن ارتفاع معدلات التبخر النتحي في موقعي بيت جن ويعفور يعود إلى كثافة الغطاء النباتي في الموقعين مع وقوعهما في منطقة جبلية.

<sup>1</sup> المصدر دراسة جايقا

<sup>2</sup> يبلغ مؤشر الغطاء النباتي المعدل الذي يعبر عن المساحة الخضراء الفعلية 0.4 في المنطقة.



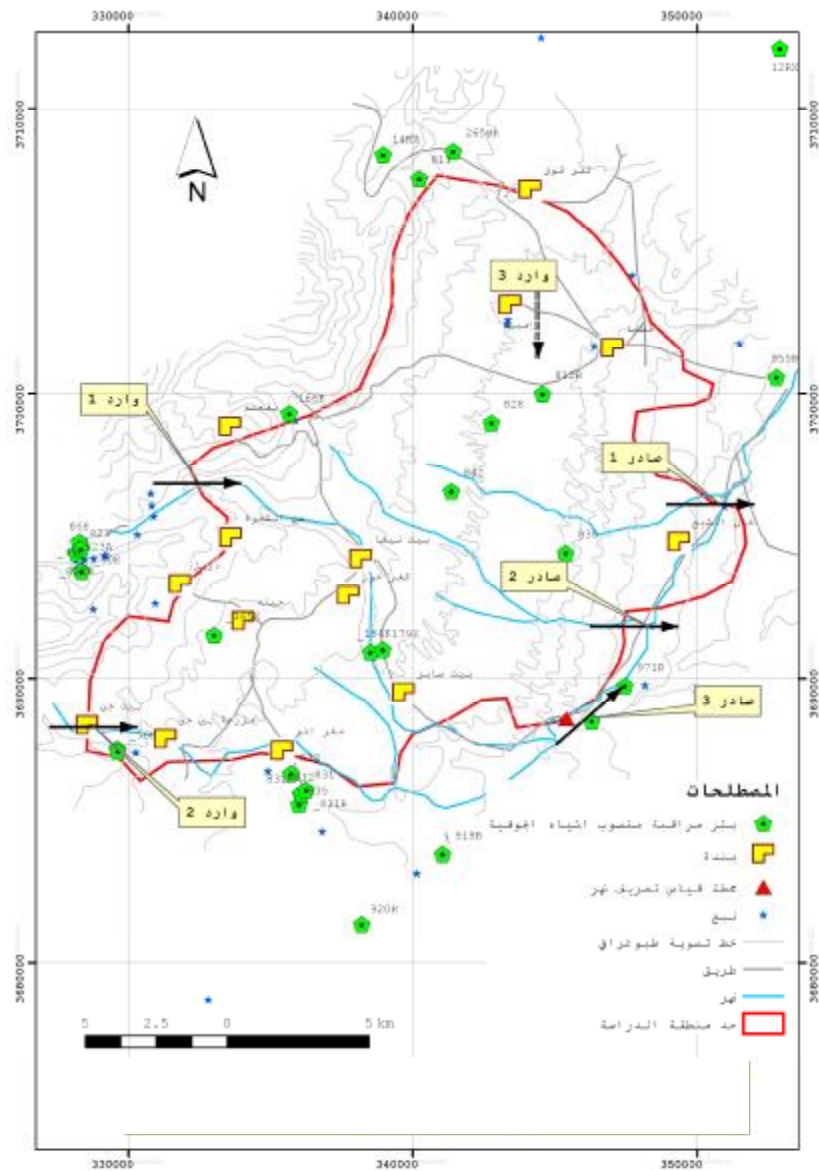
الشكل (6) منحنى تحديد قيمة التبخر بدلالة الهطول المطري ومتوسط درجة الحرارة الشهرين

المصدر: <http://www.fao.org/docrep/X5560/x5560e04.htm>

### مركبة الجريان السطحي:

يتشكل الجريان السطحي في منطقة الدراسة من جريانات سطحية واردة من خارج منطقة الدراسة في الغرب (جريانات مؤقتة بفعل الأمطار وذوبان الثلوج) وجريانات تتشكل داخل المنطقة من الهطول المطري فوقها والجريان الينبوعي ضمنها، ويخرج جزء من هذه الجريانات عبر مخارج الأودية والأنهار. وتبعاً لتضاريس المنطقة والميول الطبوغرافية فيها فسُمت مركبة الجريان السطحي إلى ست فئات (شكل 7) هي:

- أ- فئة الجريانات الداخلة إلى المنظومة مع نهر السيبراني وتجمع مياه 14 نبعاً تقع غرب منطقة الدراسة، وهي عيسى ودريل والمالحة وسابا والباردة الصغرى والكبرى والرشاشيح والرجمة والشباعنة والباردة في ريمة ونجيم والديورة والمشرع والكنيسة. (وارد 1)
- ب- فئة الجريانات الداخلة إلى المنظومة مع نهر الجناني، وتجمع مياه نبعين هما بيت جن وبيت جن العليا (وارد 2).
- ت- فئة الجريان الينبوعي المتشكل ضمن المنظومة من تدفق 6 ينابيع هي عين رضوان وأمبيا a وأمبيا b ورأس العين في قطنا والطبيبية (وارد 3).
- ث- فئة الجريانات المتشكلة ضمن المنظومة السطحية نتيجة الهطول المطري على القسم الشمالي منها (صادر 1)
- ج- فئة الجريانات المتشكلة ضمن المنظومة السطحية نتيجة الهطول المطري على القسم الجنوبي منها (صادر 2).
- ح- فئة الجريانات الصادرة مع نهر الأعوج (صادر 3).



الشكل (7) خريطة توزيع الجريانات السطحية الصادرة والواردة وتوزيع آبار شبكة مراقبة مستوى المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

وقد استخدمت طريقة القياس المباشر للتصريف على المستوى الشهري في حساب جريانات الفئات أ وب وت مع جمع بيانات نتائج قياس التصريف الشهرية للينابيع المشكلة لها وتقدير حجوم المياه السنوية المتدفقة منها وبيّن الجدول (7) نتائج الحساب:

الجدول (7) حجوم المياه الواردة بالجريانات السطحية المختلفة م.م<sup>3</sup>/سنة

المركبة	الرمز	2005-2006	2006-2007
الفئة أ	وارد 1	22.34	25.31
الفئة ب	وارد 2	12.26	7.34
الفئة ت	وارد 3	10.82	6.82
المجموع	الواردات	45.42	39.45

عند حساب جريانات الفئتين ث وج (شكلان 1 و7) عُدَّ الجريان السطحي مساوياً للصفير في المساحة المشغولة بتحت-المنظومة A وتحت المنظومة B نظراً إلى أنّ جدران المزارع الخاصة وأسوارها وأنظمة ري الأشجار المثمرة والمحاصيل المختلفة تحجز الجريانات المتشكلة من الهطول المطري.

أما المساحة المشغولة بالجزء الشمالي من تحت-المنظومة C الذي تبلغ مساحته 102.3 كم<sup>2</sup> فتغذي جريان الفئة ث/ج وتقع ضمنه محطة يعفور المطرية، كما تغذي المساحة المشغولة بالجزء الجنوبي من تحت-المنظومة C الذي تبلغ مساحته 54.1 كم<sup>2</sup> جريان الفئة ج/ح وتقع ضمنه محطة بيت تيماء، وقد طبقت طريقة رقم المنحنى التي تعتمد على استعمالات الأراضي ونوع التربة وظروف رطوبتها على هذين الجزأين كما يأتي:

تحتوي التربة في تحت-المنظومة C على كمية كبيرة من الغضار، وهي ذات كمون جريان سطحي عالٍ أي من النوع D، أما سطح التربة فهو مروج والشرط الهيدرولوجي جيد وعليه تعطى المنطقة رقم منحنى CN=94 ومنه S=16.2 و S'=3.2 ويكون:

$$P \leq 3.2 \quad \text{if} \quad R=0$$

$$P > 3.2 \quad \text{if} \quad R=(P-3.2)^2/(P+0.8S)$$

وقد استمرت إحدى حوادث الهطول المطري في محطة بيت تيماء على مدى 11 ساعة، سجلت فيها الهطولات المطرية وقدرت قيمة الهطول المطري التراكمي بفرض أن الهطول التراكمي يعود إلى الصفر إذا انقطع المطر مدة ساعة كاملة، كما هو مبين في الجدول (8).

الجدول (8) حساب قيمة الهطول المطري التراكمي لإحدى حوادث الهطول المطري المتقطعة.

الساعة من بداية الهطول المطري	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
الهطول الساعي (مم)	0.5	0	0	0	0	0	1	1	0	0.5	1
الهطول التراكمي (مم)	0.5	0	0	0	0	0	1	2	0	0.5	1.5

يتضح من الجدول السابق أن أعلى قيمة للهطول المطري التراكمي بلغت عند الساعة الثامنة من الهطول 2 مم ولذلك لم تتوافر الشروط لبدء الجريان السطحي. في حالة أخرى

حدث الهطول المطري على مدى 14 ساعة وكانت نتائج تسجيل الهطولات الساعية وتقدير الهطولات التراكمية كما هو مبين في الجدول (9).

الجدول (9) حساب قيمة الهطول المطري التراكمي لإحدى حوادث الهطول المطري المستمرة.

الساعة من بداية الهطول المطري	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
الهطول الساعى (مم)	0	0	0.5	1	3	2.5	0	5.5	9.5	7	2.5	1	0	0
الهطول التراكمى (مم)	0	0	0.5	1.5	4.5	7	7	12.5	22	29.5	32	34.5	35.5	35.5

ويتضح أن شرط الجريان السطحي تحقق عند الساعة السادسة عندما كانت قيمة الهطول المطري التراكمي 4.5 مم أي أعلى من 3.2 مم شرط بدء الجريان السطحي، إلا أن الجريان السطحي يتوقف عند الساعة الثامنة ويبدأ من جديد عند الساعة التاسعة ويستمر حتى الساعة الثالثة عشرة ويتوقف عند الساعة الرابعة عشرة وهكذا بعد تحديد المدد الزمنية الساعية التي تحقق فيها شرط حدوث الجريان السطحي حسب معدل الجريان السطحي بقسمة الجريان على المدة الزمنية الموافقة لحدوثه، وضرب الناتج بالمساحة التي تمثلها المحطة مع مراعاة الواحدات للحصول على حجم الجريان السطحي الساعي، ثم جمعت هذه الحجوم على طول السنة الهيدرولوجية للحصول على قيمة مركبة الجريان السطحي السنوية، وقد طبقت العلاقة السابقة على قيم الهطولات المطرية الساعية في المحطتين وتم التوصل إلى النتائج المبينة في الجدول (10).

الجدول (10) حجوم المياه الصادرة بالجريانات السطحية

المركبة	الرمز	المساحة كم <sup>2</sup>	R م.م <sup>3</sup> /سنة	
			2005-2006	2006-2007
الفئة ث	صادر 1	102.3	4.63	2.79
الفئة جـ	صادر 2	54.1	1.8	1
المجموع		165.4	6.43	3.79

واستخدمت طريقة القياس المباشر لتصريف نهر الأعوج في موقع أم الشرايط على المستوى الشهري في حساب جريان الفئة /و/ كونه يُعبر عن حجوم المياه الصادرة من المنظومة وفق هذه الفئة (جدول 11).

الجدول (11) حجوم المياه الصادرة من المنطقة عبر نهر الأعوج (م.م<sup>3</sup>/سنة)

السنة الهيدرولوجية	2006-2005	2007-2006
صادر 3	23.81	24.74

وبالنتيجة تبلغ المركبة السطحية الواردة عام 2005-2006/45.42 م.م<sup>3</sup>/سنة و عام 2006-2007/39.45 م.م<sup>3</sup>/سنة في حين تبلغ المركبة السطحية الصادرة عام 2005-2006/30.24 م.م<sup>3</sup>/سنة و عام 2006-2007/28.53 م.م<sup>3</sup>/سنة.

### مركبة الرشح إلى المياه الجوفية

تشير دراسة خبراء معهد لينغبيروفودخوز إلى أن نسبة الرشح من مياه الأمطار والتلوج إلى المياه الجوفية في المنطقة تبلغ 27 %، وعليه يكون حجم المياه الراشحة من المنظومة السطحية إلى المنظومة الجوفية في عام 2005-2006 مساوياً 19.5 م<sup>3</sup>/سنة وفي عام 2006-2007 مساوياً 18.9 م<sup>3</sup>/سنة.

### 3-4 الميزان المائي للمنظومة الجوفية

#### هيدروجيولوجية المنظومة:

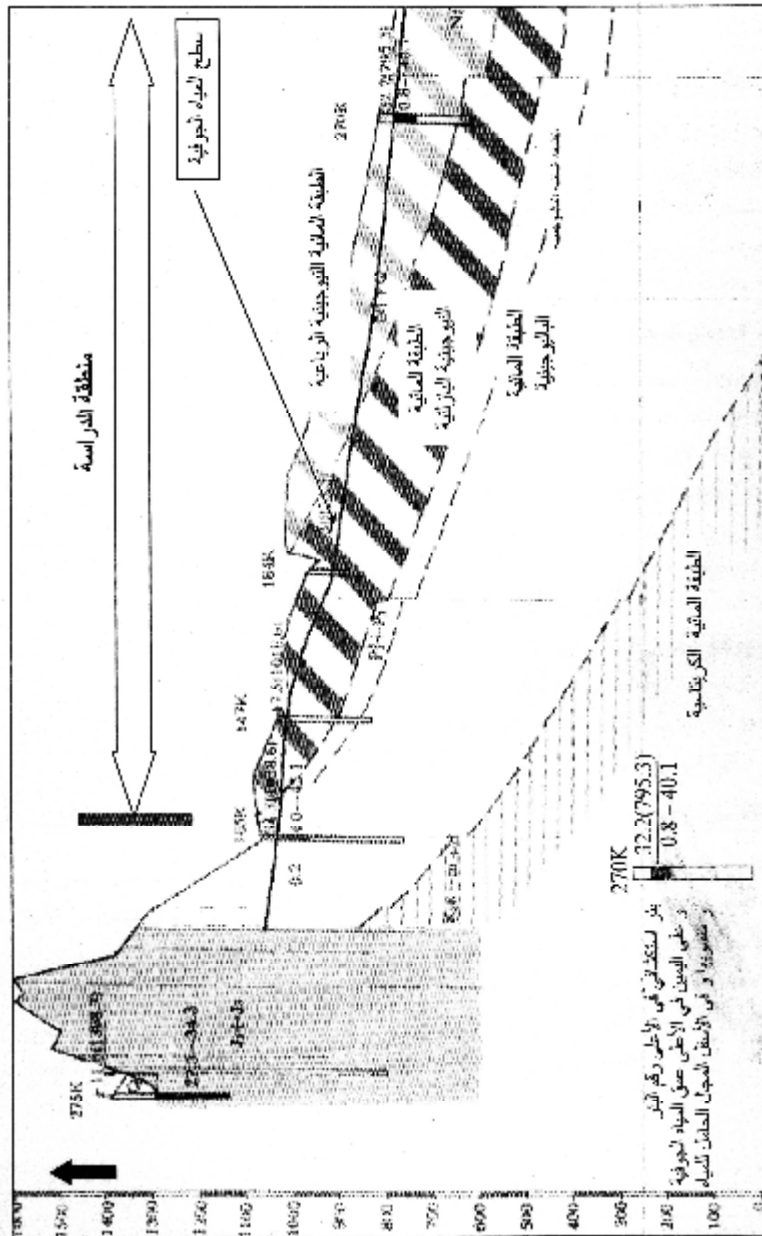
توجد في المنظومة أربع طبقات مائية من عمر الرباعي حتى الكريتاسي (شكل 8)، وهي الطبقة المائية الرباعية النيوجينية والطبقة المائية البازلتية النيوجينية والطبقة المائية الباليوجينية والطبقة المائية الكريتاسية (لينغبيروفودخوز، 1986).

تنتشر الطبقة المائية الرباعية النيوجينية على كامل مساحة المنظومة، وتتألف من سحنتين: الأولى هي التوضعات السيلية النهرية الرباعية بسماكة تصل حتى 180م، ومستوى قعر 800 م فوق سطح البحر، والثانية هي توضعات الكونغلوميرا الرسوبية النيوجينية بسماكة 110م، ومستوى قعر 750 م. تراوح صخور هذه الطبقة بين كتيمة وجافة وصخور غير جيدة الناقلية المائية (60 م<sup>2</sup>/يوم). تتغذى الطبقة بالرشح من المنظومة السطحية وتصرف مياهها بتدفق الينابيع والضخ.

تنتشر الطبقة المائية في التوضعات النيوجينية البازلتية على كامل مساحة المنظومة ولا تتكشف على السطح إلا عند المنحدرات الطبوغرافية. يتوضع سقفها على عمق من 0 إلى 200 م ويصل قعرها حتى عمق 400م بسماكة نحو 200م. تراوح الناقلية المائية بين 0.6 م<sup>2</sup>/يوم و80 م<sup>2</sup>/يوم. تتغذى الطبقة بالرشح من المنظومة السطحية ومن المنظومات الجوفية المجاورة لها وتصرف مياهها بتدفق بعض الينابيع (الظلماسيات، تل السيوف) وبالجريانات الجوفية وبالضخ.

تنتشر الطبقة المائية الباليوجينية على كامل مساحة المنظومة متمثلة بالحجر الكلسي. يتوضع سقفها على عمق من عدة أمتار إلى 490 م بسماكة حتى 600 م. تكون المياه المحمولة فيها عشوائية وتميل الطبقة لأن تكون كتيمة. تتغذى الطبقة بالرشح من الطبقات الأعلى والأسفل منها وتصرف بالجريانات الجوفية وبالضخ.

تنتشر الطبقات المائية في التوضعات الكريتاسية على كامل مساحة المنظومة ولا تتكشف ضمنها وتعود لطوابق مختلفة وتتمثل بالحجر الكلسي.



الشكل (8) مقطع هيدروجيولوجي مبين عليه الطبقات المائية في منطقة الدراسة  
 المرجع: دراسة لينغبيروفودخوز 1986

### تحليل تغيرات مستوى المياه الجوفية:

جمعت بيانات نتائج مراقبة مستوى المياه الجوفية في مجموعة من الآبار (شكلان 7 و 9) التي تقوم بها دورياً وزارة الري، وقد قمنا بمعالجة تلك البيانات وتم بنتيجتها رسم منحنيات تغير مستوى المياه الجوفية لعدة سنوات في بعض الآبار، فنبتين أن منطقة كفر فوق (البئر 265K و 265RK) يراوح عمق سطح المياه الجوفية فيها من 50 إلى 60 م، ويصل عند تتالي السنوات الجافة إلى 100 م ليتعافى إلى معدله في السنوات الرطبة، أما في منطقة بيت جن: البئر (56K) فيكون سطح المياه الجوفية قريباً من سطح الأرض ويراوح بين 6 و 12 م. وفي منطقة خان الشيخ (812) يراوح عمق توضع سطح المياه الجوفية بين 80 متراً في فصل الشتاء و 100 م في فصل الصيف، وفي منطقة بيت تيم (البئر 842) يتذبذب عمق سطح المياه الجوفية حول 33م ويصل إلى 25م في السنين الرطبة.

### حركة المياه الجوفية:

قمنا بوضع خريطة التسوية المائية باستخدام البيانات المجموعة (شكل 10) وبالتحليل الهيدروديناميكي تبين أن الاتجاه العام للحركة من الغرب إلى الشرق، ويمكن تمييز جريانين جوفيين واردين إلى المنطقة الأولى في الجزء الشمالي منها اتجاهه غرب - شرق، والثاني في الجزء الجنوبي منها اتجاهه شمال غرب - جنوب شرق، وجريانين صادريين من المنطقة على حدودها الشرقية، الأول ذو جبهة عريضة واتجاهه غرب - شرق، والثاني ذو جبهة ضيقة واتجاهه شمال جنوب تقريباً.

### مركبة الجريان الجوفي:

قمنا بتقدير حجوم المياه الجوفية السنوية الواردة والصادرة إلى المنطقة ومنها اعتماداً على قانون دارسي، وقد حسبنا تصريف كل جريان وارد أو صادر إلى ومن المنطقة وتحويله إلى قيم سنوية. فعلى سبيل المثال في الجريان الوارد الأول تساوي مساحة المقطع (جداً عرض جبهة الجريان بسماكة الطبقة الحاملة للمياه) أي  $10670 \times 300^1$  = 3201000 م<sup>2</sup> (شكل 10) والفرق بين مستويات المياه هو خطوة خطوط التسوية ويساوي 50 م، ويبلغ متوسط البعد بين خطي التسوية 1332 م وعلى اعتبار معامل الرشح يساوي 1 م/يوم (لينغير وفودخوز، 1986) يكون تصريف هذا الجريان  $120157.5$  م<sup>3</sup>/يوم، وهو ما يكافئ 43.8 م<sup>3</sup>/سنة. حسبنا تصارييف الجريانات الواردة والصادرة وفق الآلية السابقة، وكانت النتائج كما يأتي:

- مركبة الجريان الجوفي الوارد Q1: 43.8 م<sup>3</sup>/سنة.

<sup>1</sup> مجموع سماكة الطبقة الرباعية النيوجينية 300م.

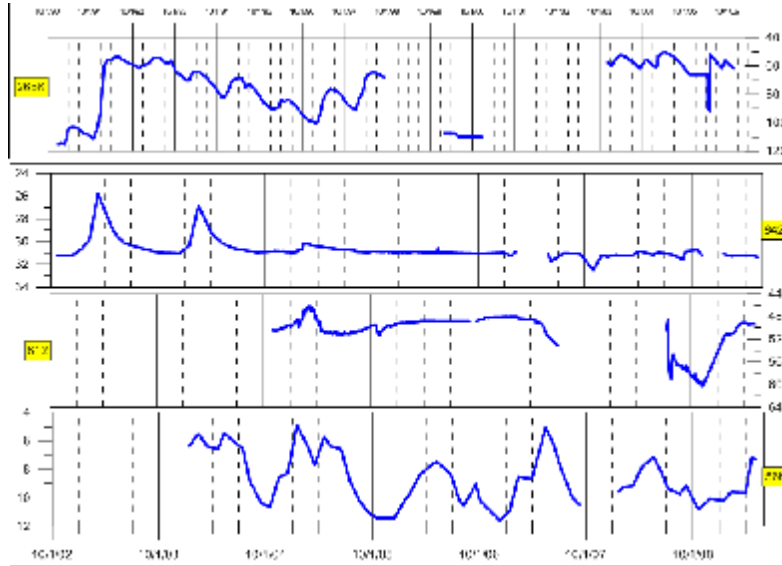


- مركبة الجريان الجوفي الوارد Q2: 56 م<sup>3</sup>/سنة.
- مركبة الجريان الجوفي الصادر Q3: 37 م<sup>3</sup>/سنة.
- مركبة الجريان الجوفي الصادر Q1: 6.8 م<sup>3</sup>/سنة.

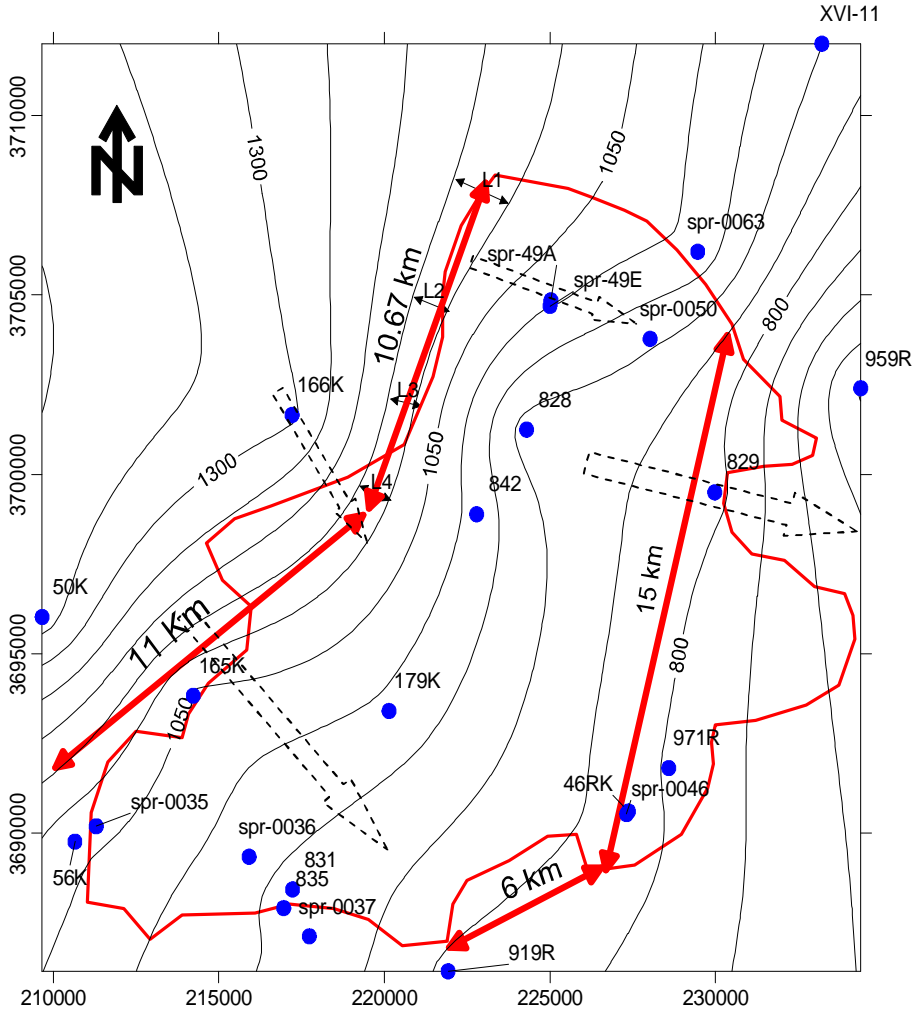
#### استعمالات المياه:

تستخدم المياه في منطقة الدراسة لأغراض الشرب والري فقط. يتم تأمين احتياجات مياه الشرب من المياه الجوفية بالضخ من الآبار ومن مياه الينابيع بالجر بالراحة غالباً، أما احتياجات مياه الري فتؤمن من الأنهار بواسطة أفنية ري خاصة أو من المياه الجوفية بالضخ من الآبار الخاصة.

قُدِّر حجم المياه المستعملة لأغراض الشرب من الينابيع من بيانات متوسط التصاريح الساعية للينابيع المستثمرة لتأمين مياه الشرب، وهي بدران وبيت جن ودربل وعين الشعرة وتل السيوف ورأس النبع وعين الباردة ورأس العين وعين نحاس، وتبين أنها تكافئ 1245780 م<sup>3</sup> سنوياً أو 1.3 م<sup>3</sup>/سنة، كما يوجد في مدن وقرى المنطقة 10 آبار تستعمل مياهها لأغراض الشرب، وهي مناطق قطنا وكفر فوق وحينة وبيت سابر وكفر حور وتسحب ما مقداره 1116000 م<sup>3</sup>/سنة أو 1.2 م<sup>3</sup>/سنة.



الشكل (9) تغيرات مستويات المياه الجوفية في آبار المنطقة (وزارة الري، 2004 - 2010).



الشكل (10) خريطة حركة المياه الجوفية وحساب الجريانات الجوفية الواردة والصادرة،  
200000/1

المصطلحات: ● نقطة مراقبة مستوى المياه الجوفية، / خط تسوية مائية، ← عرض جبهة الجريان، ▭ حدود منطقة الدراسة، > اتجاه حركة المياه الجوفية.

كذلك جمعت بيانات مجموعة من أقينية الري المنتشرة في المنظومة التي تستعمل مياهها لأغراض الري، وقدرت تصاريدها الوسطية على مدار العام، فكانت كما في الجدول (12)، وبذلك يكون حجم المياه السطحية المستعملة للري حسب تصاريده الأقينية 41.54 م.م<sup>3</sup>/سنة .

الجدول (12) متوسط تصريف أقينية الري المنتشرة في المنظومة السطحية.

القناة	العبرا	كفر حور	بيت تيما	بيت سابر	أم خنيزان	الملجأ	البايلين	البيدر	منبج	بيت جن
التصريف	1.6	1.9	3.1	9.7	0.42	1.5	0.62	8	10	5

بهدف تقدير حجم المياه المستعملة لأغراض الري من المياه الجوفية جمعت بيانات عن التصريف وعدد ساعات التشغيل في اليوم وعدد أيام التشغيل في السنة لـ 274 بئراً خاصاً في المنطقة، وكذلك جمعت بيانات نتائج إحصاء عدد الآبار الخاصة المحفورة في المنطقة (جدول 13).

الجدول (13) أعداد الآبار الاستثمارية لأغراض الري في المنطقة

المنطقة	بيت جن	مغر المير	كفر حور	حينة	دربل	بيت سابر	كفرقوق	بيت تيما	خان الشيخ	قطنا
عدد الآبار	200	130	200	300	200	157	11	100	527	475

وعليه يبلغ إجمالي السحب المائي الجوفي لأغراض الري 8 م.م<sup>3</sup>/سنة. بموجب ما تقدم فإن حساب مركبات الميزان المائي لمنطقة قطنا للعامين الهيدرولوجيين 2006-2005 و 2007-2006 مقدرة بـ م.م<sup>3</sup>/سنة يمكن تلخيصه بالجدول الآتي:

المنظومة	مركبات الميزان المائي	2006-2005	2007-2006
السطحية	الواردات		
	الهطول المطري	72.94	71.08
	الجريان السطحي	45.2	39.45
	الضح من المياه الجوفية	10.5	10.5
	التبخير والتبخر النتحي	67.48	65.38
	الصادرات		
	الجريان السطحي	30.24	28.35
الجوفية	الواردات		
	الرشح إلى المنظومة الجوفية	19.5	18.9
	الجريان الجوفي	99.8	99.8
	الرشح من المنظومة السطحية	19.5	18.9
	الصادرات		
	الجريان الجوفي	43.8	43.8
	الضح من المياه الجوفية	10.5	10.5

## النتائج

استخدمت في حساب مركبات الميزان المائي لمنطقة قطنا بيانات مناخية وهيدرولوجية وهيدروجيولوجية مأخوذة من قياسات مباشرة اتصفت بدقتها، فبيانات الهطول المطري أعطت توافقاً بين قيم الهطول في المحطات المختلفة بدليل أن معامل الارتباط بين قيم الهطول في هذه المحطات كان عالياً (0.7، 0.9). أما البيانات المناخية فقد أظهرت الدورية الفصلية التي يَتميّز بها مناخ شرق البحر المتوسط، كما كانت بيانات تصاريح الأنهار والينابيع ومستويات المياه الجوفية متوافقة مع القيم التاريخية لها والمتوافرة في الدراسات السابقة. أما البيانات الهيدروجيولوجية فأخذت من توصيف دقيق لمقاطع الآبار ونتائج تحليل تجارب الضخ.

بالنتيجة امكن حساب مركبات الميزان المائي لمنطقة قطنا وتبين أن إجمالي الواردات المائية السنوية إلى منطقة قطنا يبلغ 217.9 م<sup>3</sup>/سنة توزع إلى: 33.5 % هطولاً مطرياً، 20.7 % جرياناً سطحياً و45.8% جرياناً جوفياً وإجمالي الصادرات المائية من منطقة قطنا يبلغ 141.5 م<sup>3</sup>/سنة موزعة وفق النسب الآتية: 47.7% تبخراً وتبخراً نتحياً، 21.4% جرياناً سطحياً و30.9% جرياناً جوفياً، كما يبلغ مقدار الرشح من المنظومة السطحية إلى المنظومة الجوفية في منطقة قطنا 19.2 م<sup>3</sup>/سنة يعود منها بالضخ من المياه الجوفية 10.5 م<sup>3</sup>/سنة علماً أن عملية التغذية تتم بشكل رئيس في حدود المنظومتين السطحيين A و B اللتين تشكلان 34% من مساحة حوض قطنا، وذلك لتوافر الظروف المناسبة لعملية الرشح. حسب الفرق بين واردات الميزان المائي وصادراته لمنطقة قطنا فبلغ 65 م<sup>3</sup>/سنة تذهب لتغذية الطبقات المائية العميقة، وهو ما يتفق مع تصنيفها كمنطقة تغذية ونقل في حوض دمشق. تؤمن الاحتياجات المائية للمنطقة بنسبة 80% من المنظومة المائية السطحية و20% من المنظومة المائية الجوفية.

بمقارنة الظروف الطبيعية لمنطقة قطنا بالظروف الطبيعية لسهل صحارى الممتد بين بلدات الصبورة ويعفور ومنين وحبون نجد أنها متشابهة؛ مما يعطي إمكانية تطبيق الطرائق المستخدمة أعلاه في حساب مركبات الميزان المائي لهذه المنطقة.

نظراً إلى أن البيانات المستخدمة في الحسابات اعتمدت على الهطول المطري وما ينتج عنه من جريانات سطحية وجوفية فإن الموارد المائية المحسوبة أعلاه يمكن وصفها بأنها متجددة باحتمالية عالية، ومن ثم يمكن ترشيح هذه المنطقة لأن تكون منطقة تطوير للنشاطات التنموية ولاسيما الزراعية والسياحية منها.

## المراجع REFERENCES

1. A Van Der Beken, A Hermann. 1983. New approaches in water balance computations. IAHS Publication No. 148 . 167p.
2. Andy D. Ward, William J. Elliot. 2004. Environmental Hydrology. Lewis Publishers Newyork, pp 19-45.
3. D. J., Burdon. 1954. The location, the amount and the future development of the underground water resources of south west Syria Damascus.
4. Gavich. 1988. Hydrogeodynamic . NEDRA, 374p.
5. IAHS. International Association of Hydrological Sciences.
6. Jacques W. Delluer. 1999. The Handbook of groundwater engineering, CRC Press , 940p.
7. James A. Tindall, James R. Kunkel ., 1999, Unsaturated Zone Hydrology . Simon & Schuster, p238.
8. Johannes C. Nonner. 2002. Introduction to Hydrology. Taylor & Francis, 252p.
9. Martin Wanielista. 2001. Hydrology: Water Quality and Quantity . Wiley, 565p.
10. Sokolov, Champan. 1974. Methods for water balance computations. Unesco Press, 127p.
11. Thompson and others.2007,Estimating evaporation from a wet grassland, University of Manchester,20p.
12. [www.sustainabletechnologies.ca](http://www.sustainabletechnologies.ca), 2009.
13. السجلات الإحصائية في وزارة الزراعة، إحصائيات 2000-2010، سجلات غير منشورة.
14. المذكرة الإيضاحية، 1986، المذكرة الإيضاحية للخريطة الجيولوجية لحوض بردى و الأعوج مقياس 100000/1.
15. بدر وعبانة. 2007. مبادئ الإحصاء الوصفي والاستدلالي. دار المسيرة، 405صفحة.
16. جايكا. 1997. دراسة تطوير الموارد المائية في الجزء الجنوبي الغربي من سورية.
17. لينغبيروفودخوز. 1986. دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية لري المحاصيل الزراعية في حوض بردى و الأعوج دمشق، وزارة الري.
18. وزارة الري. 2004 – 2010. قاعدة البيانات الوطنية.