# دراسة هيدرولوجية و نموذج تصوري لحوض الأعوج

الدكتور عمار عدنان طه
قسم الهندسة المائية
كلية الهندسة المدنية ـ جامعة دمشق

## الملخص

يهدف البحث إلى إجراء دراسة و نمذجة رياضية هيدرولوجية لسلوكية حوض الأعوج كونه أحد الحوضين الأساسيين في محافظة دمشق، ونظراً للحاجة الملحة للحصول على مصدر رديف لتغذية مدينة دمشق وريفها بمياه الشرب كون المصادر المستخدمة حالياً لا تفي بالغرض لتأمين الاحتياجات المائية. ورغم الدراسات المتعلقة باستجرار جزء من مياه حوض الساحل السوري إلى دمشق لكن هذا الحل الباهظ التكاليف لا يصبح قابلاً للاستخدام قبل حلول العام 2010 أي ما يجعل دمشق بحالة عطش إلى حين الانتهاء من التنفيذ.

تكمن أهمية هذا البحث في طرح أحد الحلول الممكنة لتأمين مصادر إضافية لتغذية دمشق بمياه الشرب، وهنا لابد من التطرق لمياه حوض الأعوج، خاصة أن هذا الحوض يتغذى من سفوح جبل الشيخ، ولا يؤثر في المصادر المغذية لحوض بردى أو لحوض نبع الفيجة.

يتضمن البحث دراسة هيدرولوجية لحوض الأعوج بما فيها تحليل بعض المؤثرات المناخية كالهطول؛ وذلك من أجل تحديد العلاقة التي تربط الهطول بالتصريف في نهر الأعوج، ومن ثَمَّ الوصول إلى علاقة الهطول بالتغذية الجوفية.

كما تم تطوير نموذج هيدرولوجي بسيط من نوع (Black Box) مكون من ثلاثة خزانات اثنان جوفيان وواحد سطحي؛ بغية تحديد نسبة مشاركة مياه الأمطار في كل من الجريان السطحي والجوفي، وقد أعطت النمذجة نتائج جيدة ملخصها أن القسم الأكبر من مياه الهطول (قرابة 1000ملم سنوياً) تنضم إلى المياه الجوفية بنسبة تقدر بـ 80% مما يدل على أنه يمكن الاستفادة من المياه الجوفية في حوض الأعوج لتغذية دمشق بمياه الشرب.

# 1. مقدمة:

إنّ الماء هو مورد طبيعي ترتبط به حياة كل الكائنات الحية ومنها الإنسان ولقد تم التعرف، من خلال ما كتبه الأقدمون، على تطور الاهتمام بالمياه وطرائق الاستفادة منها وبمرور الزمن تعددت وتباينت طرائق الحصول على الماء. ونظراً للحاجة المتزايدة للماء وتلبية لهذه الحاجة كان لابد من تنظيم استخدام المياه، وكذلك وضع التخطيط الأمثل لاستثمار المصادر المائية المتاحة، ولذلك كان لابد من اللجوء إلى الدراسات الهيدرولوجية لتحديد مراحل الدورة المائية في الطبيعة وعلاقتها بجميع المتغيرات البيئية منها وغيرها؛ وذلك بهدف تحديد كمية المياه المتاحة للاستثمار.

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة هيدرولوجية لحوض الأعوج، كون هذا الحوض هو أحد الحوضين المغذيين لمدينة دمشق، ونظراً للحاجة الملحة للحصول على موارد مائية إضافية تسدّ النقص الحاصل في مياه الشرب لمدينة دمشق وريفها خاصة خلال فصل الصيف. من هنا كان لابد من الحديث عن حوض الأعوج وهو لا يمت إلى تلك المستغلة حالياً بأي صلة وهي نبع عين الفيجة والآبار المائية المحيطة به، حوض الزبداني والحوض الجوفي لمدينة دمشق. إن كل هذه المصادر التي ذكرت سابقاً لم تعد تفي بالغرض بدءاً من شهر حزيران من كل سنة، وفي فترتي الصيف والخريف فإن هذه المصادر المذكورة سابقاً لا تعطي إلا قرابة 50-70% من الحاجة الفعلية لمدينة دمشق؛ مما يسبب قطع الماء يومياً في معظم مناطق دمشق ولفترات متباينة حسب موقع المنطقة وحسب كمية الشح في المياه.

وفي الفترة الأخيرة بدأ الحديث عن دراسات لاستجرار جزء من مياه حوض الساحل السوري إلى دمشق، غير أن تنفيذ هذا الحل باهظ التكاليف وعلى الرغم من ذلك فإنه لا يمكن البدء باستثمار هذا الحل فعليا قبل حلول العام 2010؛ أي ما يجعل دمشق بحاجة متزايدة لمياه الشرب حتى حلول عام 2010. وهنا تكمن أهمية الحديث عن حوض الأعوج كمصدر آخر لإمداد مدينة دمشق بمياه الشرب، هذا الحوض الذي يتغذى من سفوح جبل الشيخ ولا يؤثر في حوض بردى الذي يتغذى من سهل الزبداني في سورية وسهل البقاع في لبنان، وكذلك لا يؤثر في الحوض الجوفي المغذي لنبع الفيجة والذي يتغذى من سفوح جبال لبنان الشرقية ويمتد حتى القلمون.

عرضنا في هذا البحث دراسات لبعض المؤثرات المناخية كالهطول وغيره؛ وذلك من أجل تحديد علاقتها مع التصريف الناتج، ومن ثَمَّ الوصول إلى علاقة الهطول بالتصريف وعلاقة الهطول بتغذية المياه الجوفية، كذلك قمنا في هذا البحث بإجراء نمذجة هيدرولوجية رياضية من نوع (Black Box) وذلك لتحديد نسبة تأثير الأمطار في كل من المياه السطحية والجوفية.

# 2. حوض الأعوج والأحواض الجزئية المشكلة له

يتشكل حوض الأعوج من تلاقي نهري الجيناني والسبراني والتي تتغذى من مرتفعات جبل الشيخ. يتشكل نهر الجيناني، حسب الوصف الوارد في دراسات سابقة أجريت بإشراف مديرية ري حوض بردى والأعوج (الدراسة الروسية، 1982) و (JAICA, 1998)، من مياه ينابيع بيت جن والطلمسيات على ارتفاع قرابة 1300 متر؛ يبلغ طول النهر حتى نقطة الالتقاء مع نهر السبراني 19.4 km، ويتفرع عنه 12 قناة ري مجموع أطوالها 37.7 km تروي مساحة قدرها 3899 هكتار. أما نهر السبراني فيتشكل من ينابيع عين سابا وعين الباردة على ارتفاع قرابة 1400 m ويبلغ طوله حتى ملتقاه مع نهر الجيناني قرابة 24 km يتفرع عنه ستة قنوات طولها 29.5 km، وتروي مساحة قدرها 1966 هكتار.

يتلاقى نهرا الجيناني و السبراني على ارتفاع 860 متراً ليشكلا معاً نهر الأعوج، وينضم إلى نهر الأعوج نبع الطيبة وذلك عند محطة قياس أم الشراطيط، ويتفرع من نهر الأعوج على بعد قرابة 300 متر أسفل أم الشراطيط قناة ري الديراني حيث يجري عبرها قرابة ثلثي جريان نهر الأعوج ويصل حتى مدينة داريا.

يلاحظ الجريان الدائم لنهر الأعوج ضمن قطاع بطول 15 إلى 18 كم ولا يصل جريانه إلى بحيرة الهيجانة إلا في السنوات كثيرة الأمطار. وحسب الإحصائيات المتوافرة من السكان المحليين، كانت المياه تغمر البحيرة سنوياً حتى عام 1918، ومنذ عام 1918 حتى عام 1958 كانت المياه تصل إلى البحيرة سنوياً، ومن عام 1958 حتى عام 1984 وصلت المياه إلى بحيرة الهيجانة فقط خلال سنتي 1969 و 1971 . ويجدر بالذكر أنه يتفرع عن النهر 11 قناة ري تروي مساحة تقارب 7405 هكتار، ولإجراء دراسة هيدرولوجية دقيقة ومتكاملة للحوض الساكب لنهر الأعوج لابد من الأخذ بالحسبان النقاط الآتية:

1. يجب أن تشمل الدراسة نوعي المناطق الجبلية والمروية.
2. من الأفضل أن يكون النهر دائم الجريان في المنطقة المدروسة.
3. يفضل أن تتم الدراسة على أحواض جزئية، ومن ثم على الحوض الكلي.

وباعتبار الشروط السابقة كان لابد لنا من أن تهتم دراستنا بالجزء الأعلى من حوض الأعوج حتى محطة قياس أم الشراطيط. ولقد تم تقسيم الحوض الساكب لنهر الأعوج إلى حوضين جزئيين، هما حوض عرنة المغذي لنهر السبراني، وحوض بيت جن المغذي لنهر الجيناني.

## الحوض الساكب لنهر الأعوج حتى محطة قياس أم الشراطيط:

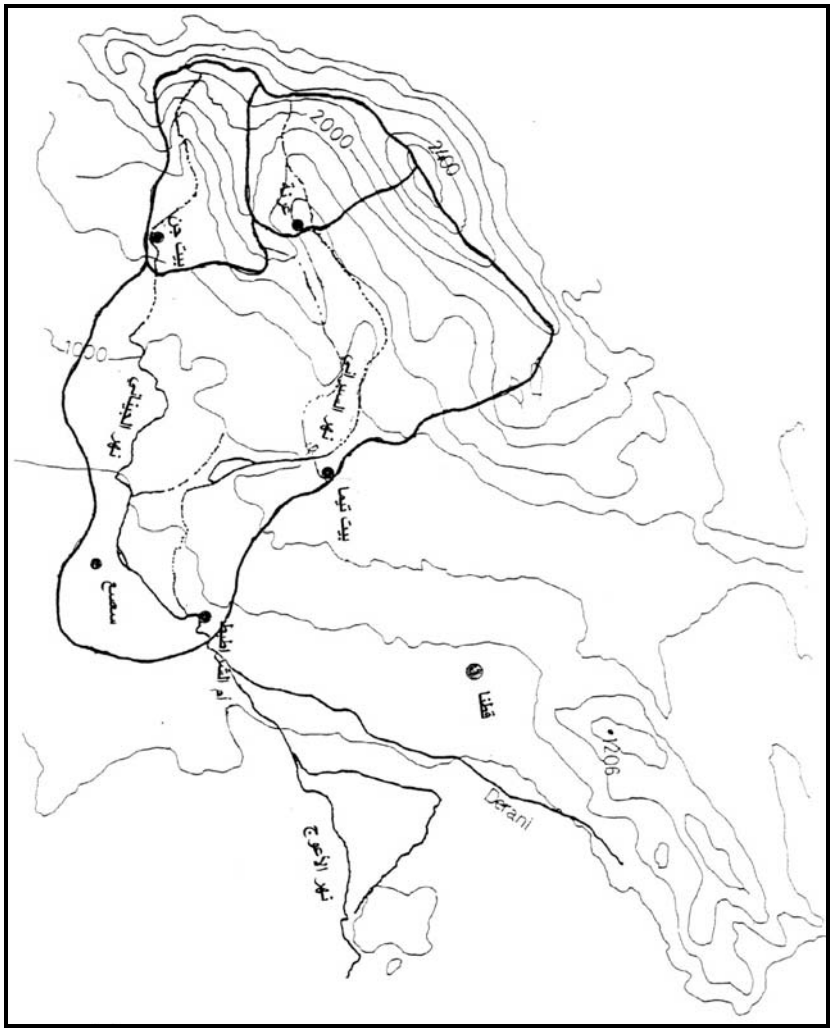
تبلغ مساحة هذا الحوض قرابة $230\ km^2$ ويتكون من التقاء نهري الجيناني والسبراني ويبلغ متوسط التصريف السنوي في مركز قياس أم الشراطيط أسفل نبع الطيبية مباشرة في الحالة العادية قرابة $4.7\ m^3/s$ تفقد منها قرابة $2.2\ m^3/s$ من أجل الري، تكثر زراعة الأشجار المثمرة في الجزء الأسفل فنرى زراعات الزيتون والكرمة والخضار. أما التربة فهي من صخور الكونغلوميرا في الجزء الأعلى ومن التربة الغضارية العضوية والرملية العضوية مع ظهور مناطق حصوية متناوبة في الجزء الأسفل. ومن الناحية التكتونية يتميز الحوض الساكب لنهر الأعوج بوجود فوالق محلية، وأهمها حدوث فوالق رئيسية في أعالي الحوض.

## حوض عرنة:

تبلغ مساحة حوض عرنة قرابة $33\ km^2$ ويغذي هذا الحوض نهر السبراني والذي في أعلاه عبارة عن مسيل موسمي تجري فيه المياه عند ذوبان الثلوج، والجريان الدائم للنهر يبدأ بعد مصب ينابيع عين عيسى والمالحة وسابا وغيرها، حيث يبلغ مجموع تصاريف هذه الينابيع قرابة $600\ l/s$، والقسم الأكبر من مياه الينابيع مستثمر لأغراض الري والشرب. تمتاز منطقة الحوض بالصخور الأساسية من البيليت والرخام.

## حوض بيت جن:

تبلغ مساحة هذا الحوض قرابة $36\ km^2$ ويغذيه نهر الجيناني حيث يلاحظ الجريان الدائم لنهر الجيناني بعد مصب نبع بيت جن، ويبلغ متوسط التصريف السنوي لنبع بيت جن قرابة $0.8m^3/s$، وفي فترة التحريق يلاحظ جفاف النهر، ثم يتابع النهر الجريان ثانية في القسم السفلي منه عند رفده بنبع منيح ذي التصريف $0.8\ m^3/s$، ويحول جزء من النهر إلى وادي أم الخنفس قرابة $0.5\ m^3/s$ ومع ذلك يستمر جريان النهر.




**الشكل (1). الحوض الساكب لنهر الأعوج والأحواض الجزئية المشكلة له**

## 3. دراسة ارتباط الهطول بين كل من الأحواض الثلاثة:

نظراً لقلة المعطيات المتوافرة والتي تم الحصول عليها من مديرية ري حوض بردى و الأعوج فيما يتعلق

بالجريان ومن المديرية العامة للأرصاد الجوية بالنسبة للهطول في هذا الحوض؛ ونظراً لأن هذه المعطيات مفقودة أو مغلوطة في بعض السنوات؛ فقد اعتمدنا على دراسة الارتباط بين كل من المحطات الثلاث الموجودة في أحواض عرنة، بيت جن، وأم الشراطيط من أجل حساب النقص في هذه المعطيات أو تصحيح الأخطاء فيها.

وبدراسة ارتباط الهطول بين جميع المحطات وذلك على المستوى الشهري؛ فقد وجدنا أن علاقة ارتباط الهطول بين أم الشراطيط و عرنة هي كالآتي:

$$Y = 0.34 \cdot X + 3.13 \qquad R^2 = 0.64$$

أما علاقة ارتباط الهطول بين أم الشراطيط و بيت جن فكانت:

$$Y = 0.30 \cdot X + 9.11 \qquad R^2 = 0.67$$

وبالنسبة لعلاقة ارتباط الهطول بين بيت جن وعرنة فهي:

$$Y = X - 6.3 \qquad R^2 = 0.72$$

حيث $R^2$ هو معامل التراجع الخطي ويحسب بالعلاقة: $R^2 = 1 - \dfrac{n\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n\sum Y_i^2 - \left(\sum Y_i\right)^2}$

والشكل (2) يوضح ويلخص نتائج دراسة ارتباط الهطول بين كل المحطات المدروسة كما يظهر معاملات التراجع المحسوبة.

وأما بالنسبة لدراسة ارتباط التصاريف بين جميع المحطات وذلك على المستوى الشهري أيضاً فقد كانت علاقة ارتباط تصاريف أم الشراطيط مع عرنة هي:

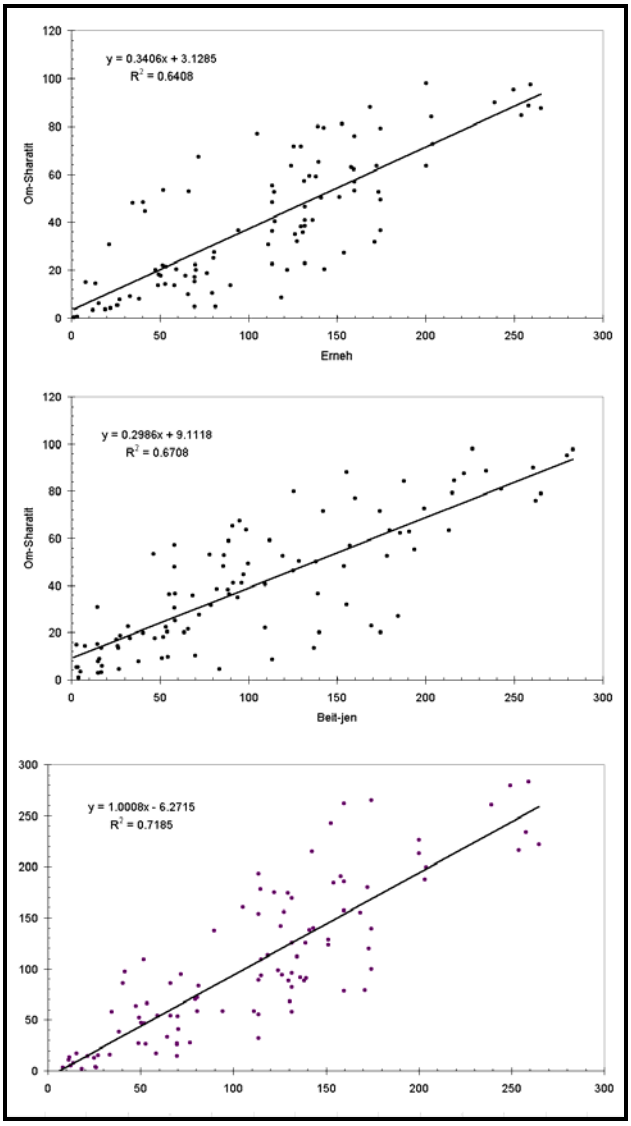
$$Y = 2.88 \cdot X - 0.33 \qquad R^2 = 0.82$$

وعلاقة ارتباط تصاريف أم الشراطيط مع بيت جن:

$$Y = 2.30 \cdot X - 0.62 \qquad R^2 = 0.75$$

وبالنسبة لعلاقة ارتباط تصاريف بيت جن مع عرنة فكانت:

$$Y = 1.08 \cdot X + 0.26 \qquad R^2 = 0.82$$




**الشكل (2). دراسة ارتباط الهطول بين محطات القياس المدروسة**

والشكل (3) يوضح ويلخص نتائج دراسة ارتباط التصريف الوسطي بين كل من المحطات المدروسة، كما يظهر معاملات التراجع المحسوبة.

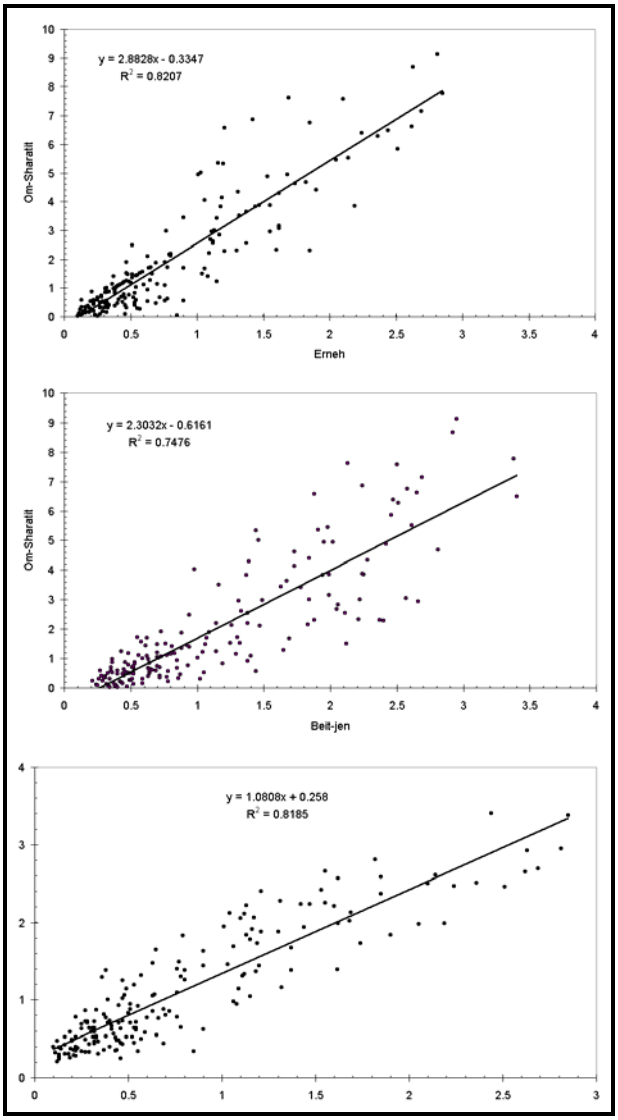
وبشكل عام يلاحظ في هذه الأشكال التبعثر الكبير للنقاط عند القيم العالية والالتفاف الجيد حول المستقيم عند القيم المنخفضة وذلك في منحنيات التصاريف، أما في منحنيات الأمطار فنلاحظ أن التبعثر موجود في كامل مجال القيم. ولتصحيح الهطول في محطة قياس أم الشراطيط سوف نعتمد قيم الهطول الشهري في بيت جن إذا توافرت، وإلا سنستخدم قيم الهطول الشهري في عرنة. أما بالنسبة للتصاريف فسنستخدم علاقة أم الشراطيط مع عرنة إذا توافرت القيم في عرنة وإلا فأم الشراطيط مع بيت جن.

## 4. دراسة وتحليل المعطيات الهيدرولوجية:

كما ذكرنا سابقاً ولتوخي الدقة الأكبر في النتائج، سوف تتمركز دراستنا على الأحواض الجزئية للحوض الساكب لنهر الأعوج، وسوف نقوم بالمقارنة بين النتائج المستخرجة للأحواض المختلفة محاولين الربط بين مختلف العوامل المؤثرة في تغذية المسيلات وإمداد المياه الجوفية.

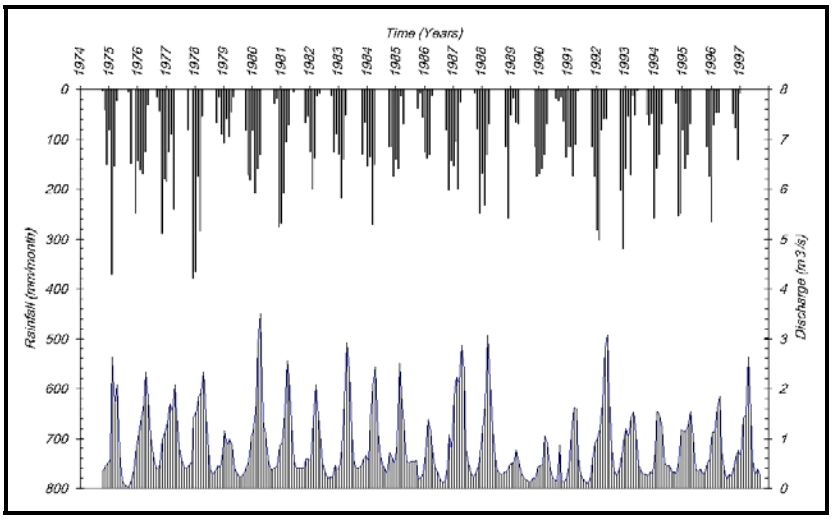
### حوض عرنة:

نتيجة لدراسة الهطولات المطرية لمختلف السنوات وجدنا أن هناك تفاوتاً كبيراً في معدل الهطول السنوي فقد تتجاوز الهطولات1000 ملم كما هي الحال في عام 1992، وقد تقل عن 500 ملم كما هي الحال في عامي 1985 و1989 . وكما بينت دراسات سابقة (*Jaica, 1998*) أنَّ الهطول اليومي الأعظمي في بعض السنوات وخصوصاً قبل عام 1980 يصل إلى قرابة 130 ملم. أما في السنوات الأخيرة وخصوصاً بعد عام 1990 فلم تتجاوز الهطولات اليومية الاعظمية100 ملم و60 ملم فيما بعد عام 1995، وهذا يدل على الانخفاض الحاصل في تركيز الهطولات اليومية في السنوات الأخيرة، وأدى بالنتيجة إلى تخفيض معامل الجريان السطحي ودعم التسرب باتجاه المياه الجوفية.




**الشكل (3). دراسة ارتباط التصريف بين محطات القياس المدروسة**

وبدراسة المعدلات الشهرية (الشكل 4) نجد أن القيم الشهرية الأعظمية لهذه الهطولات متقاربة فيما بينها ما عدا سنة 1979 حيث لم تتجاوز الهطولات الشهرية الأعظمية 100 ملم، وهذا يعود بشكل عام إلى شح في الأمطار. وبعكس ذلك فقد تصل الهطولات الشهرية إلى قيم عالية تزيد عن 350 ملم كما هي الحال في عام 1978.




**الشكل (4) الهطولات الشهرية والتصاريف الوسطية الشهرية**

وبدراسة التصاريف الوسطية الشهرية (الشكل 4) نجد أن هناك توافقاً بين الهطولات والتصاريف الشهرية؛ فعند ازدياد الهطولات الشهرية تزداد التصاريف الوسطية الشهرية، ولكن بشرط أن تكون التربة قد أخذت يكفيها من الهطول. وكمثال على ذلك نلاحظ أن انخفاض الهطول في عام 1979 أدى إلى انخفاض في التصريف في العام نفسه، وازدياد قيمة الهطول إضافة إلى ازدياد عدد أشهر الهطول (إشباع التربة) أدى إلى تصريف مرتفع نسبياً (في عامي 1980 و 1992). ولكن إذا تمعنا في توافق حصول الازدياد في الهطول من جهة وما يوافقها من ارتفاع في التصريف من جهةٍ أخرى نجد أن هناك تأخراً بمقدار يزيد عن الشهر في بعض الأحيان، وهذا إن دل على شيء فإنه يدل على التأثير الفعال للمياه الجوفية أو أن الفيضان يتم عن طريق المياه الجوفية (Ground water flow) فالانزياح الزمني بمقدار شهر على الأقل غير قابل للتفسير بطريقة الجريان السطحي(Runoff) .

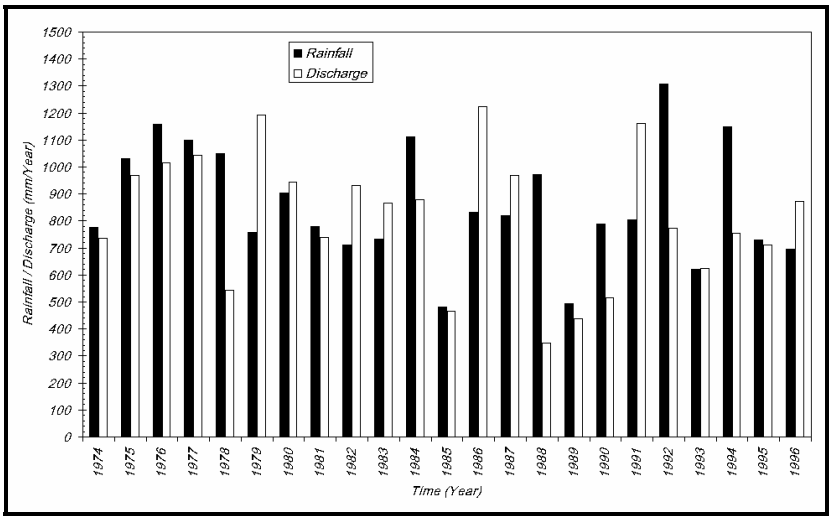
وبدراسة الارتباط بين التصاريف و الهطولات الشهرية وذلك مع اعتبار انزياح زمني بمقدار شهر واحد وجدنا أن هناك توافقاً شبه تام، حيث كان معامل الارتباط $R^2 = 0.70$ . وهو مقبول جداً في مثل هذه الحالات وذلك عند اعتماد معامل واحد فقط وهو الهطول.

أما على الصعيد السنوي نجد أن هناك اختلافاً في السلوكية ففي بعض السنوات نلاحظ تزايداً في التصاريف عند حدوث ازدياد في الهطول، وفي سنوات أخرى نلاحظ تناقصاً في التصاريف على الرغم من حدوث ازدياد في الهطولات، ومن ثم يعود التصريف للازدياد في سنواتٍ أخرى على الرغم من قلة

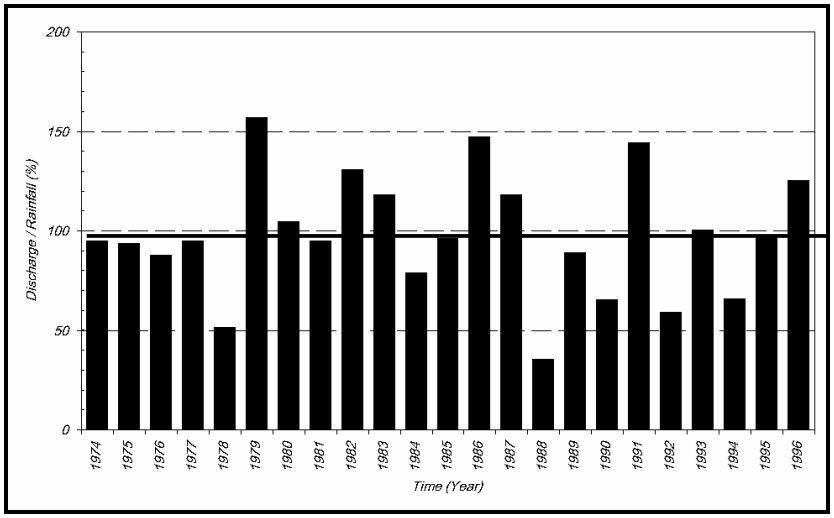
الهطول (الشكل 5)، وهذا ما يشد انتباهنا على إمكانية وجود خزان خطي جوفي عميق يقوم بتخزين الهطول وبإعطائه في سنوات لاحقة، والشكل (6) يبين نسبة التصريف إلى الهطول وذلك للسنة نفسها. فعندما تكون النسبة بين التصريف والهطول أقل من % 100 يكون هناك تخزين وعندما تكون أكبر من 100 يكون هناك تفريغ.

وبدراسة تجميعية للتحقق من الانزياح على الصعيد الشهري وسلوكية الخزان الأرضي على الصعيد السنوي، نجد أن هناك انزياحاً مقداره شهر بين الهطول المطري والتصريف الحاصل من الأنهار، ويعود ذلك إلى أن الهاطل المطري يتسرب دائماً إلى المياه الجوفية مما يزيد من مستواها وضغطها الهيدروستاتيكي، ويؤدي ذلك بالنتيجة إلى زيادة تصريف الينابيع ومن ثَمَّ النهر، وهذه العملية تستغرق بحدود الشهر، ثَمَّ نلاحظ هذا التأخير في ازدياد التصريف عن لحظة حدوث المطر، ولتحديد هذا التأخير بشكل أكثر دقة لابد من استخدام قياسات مطرية وتصاريف بخطوة زمنية مقدارها اليوم أو أقل من ذلك.

وبحساب القيم التراكمية للفاقد السنوي حيث يعود هذا الفاقد ليأخذ القيمة نفسها تقريباً كل 12 سنة، أي أن هذا الحوض يخضع لدورة هيدرولوجية مقدارها 12 سنة، وذلك على اعتبار أن للحوض سلوك الخزان الخطي على الصعيد السنوي، وتزداد رصانة هذه القيمة (12 سنة) كلما ازداد عدد سنوات المراقبة. والشكل (6) يوضح الحالة النظرية للخزان الخطي (المستقيم الأفقي) وحالة التخزين في الحوض الجوفي، وذلك خلال زمن الدراسة 1996 - 1974 حيث يلاحظ في بعض السنوات حالة التفريغ في هذا الخزان الجوفي (عندما تنخفض الأعمدة عن الخط المستقيم).




**(الشكل 5) الهطول السنوي و التصريف السنوي في حوض عرنة**




**(الشكل 6) نسبة التصريف السنوي إلى الهطول السنوي ويوضح الحالة النظرية للخزان الخطي (المستقيم الأفقي)**

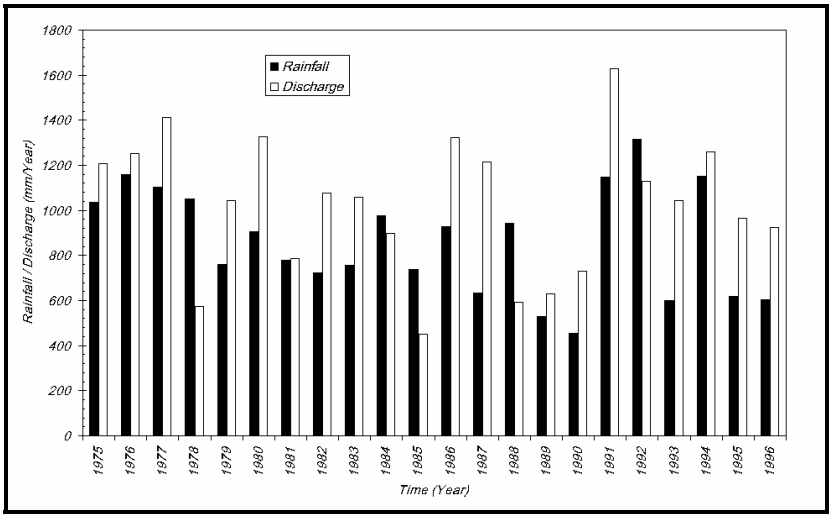
## حوض بيت جن

يتبين من دراسة الهطولات المطرية على حوض بيت جن أن هناك تفاوتاً كبيراً بين هذه الهطولات وذلك خلال فترة الدراسة والتي تتراوح بين عامي 1996 - 1982، فقد تنخفض الهطولات لتصل إلى حدود500 ملم سنوياً وقد ترتفع لتتجاوز 1300 ملم سنوياً، وكذلك بالنسبة للتصاريف السنوية في نهر السبراني التي قد تنخفض لتصل إلى قرابة 400 ملم سنوياً، وقد ترتفع لتصل إلى1600 ملم سنوياً.

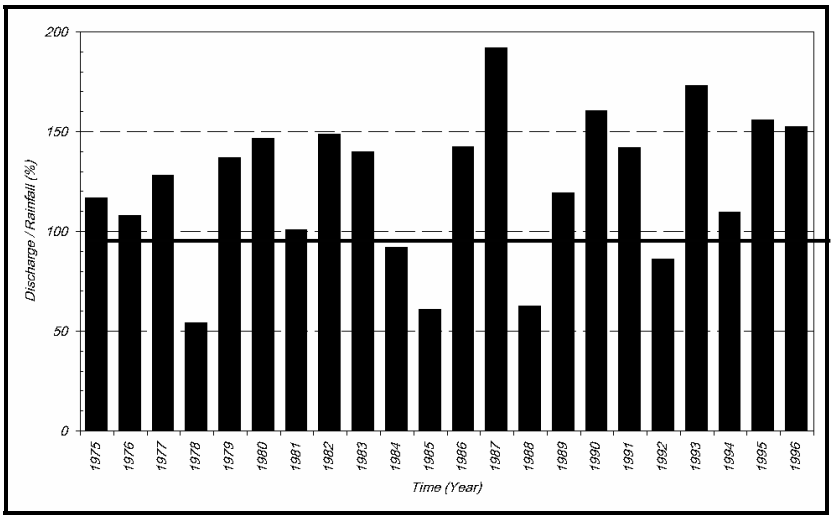
وبمقارنة الهطول السنوي مع التصريف السنوي (الشكل 7) نلاحظ أن تصريف الحوض أكبر من الهطول السنوي في أغلب السنين، وهذا إن دلّ على شيء فإنه يدل على أن هذا الحوض يتغذى من المياه الجوفية، ومن ثَمَّ فقد يكون متصلا جوفياً مع أحواض أخرى، ومن ناحية أخرى تكون الحدود الجوفية الهيدرولوجية للحوض أكبر من الحدود الطبوغرافيه السطحية، وعلى صعيد الموازنة المائية السطحية فهو دائماً في حالة تفريغ إذا ما اعتبرت فقط حدوده السطحية فهو يتغذى إذا من سفوح جبل الشيخ (الشكل 8)، وبالتحديد فإنَّ حدوده الجوفية تمتد إلى خارج المناطق التي تخضع للسيطرة السورية. وإذا اكتفينا بالدراسة باعتبار الحدود السطحية نلاحظ أن هذا الحوض خاسر من ناحية الموازنة المائية؛ أي أن الفاقد أكبر من الوارد. وبالحساب التراكمي للفاقد نلاحظ أيضاً أن هذا الحوض يخضع لدورة هيدرولوجية مقدارها ثماني سنوات (بين سنة1983 و سنة 1991 مثلا).

وبدراسة التغيرات الشهرية للهطول في حوض بيت جن نجد أن الهطول الشهري الأعظمي بشكل عام يتراوح ما بين 250 إلى 300 ملم، ماعدا عامي 1992 و1993 حيث تجاوز الهطول الشهري الأعظمي ليصل إلى 450 ملم، وقد ينخفض هذا الهطول إلى حدوده الدنيا إلى مادون 200 ملم. وبملاحظة مخطط

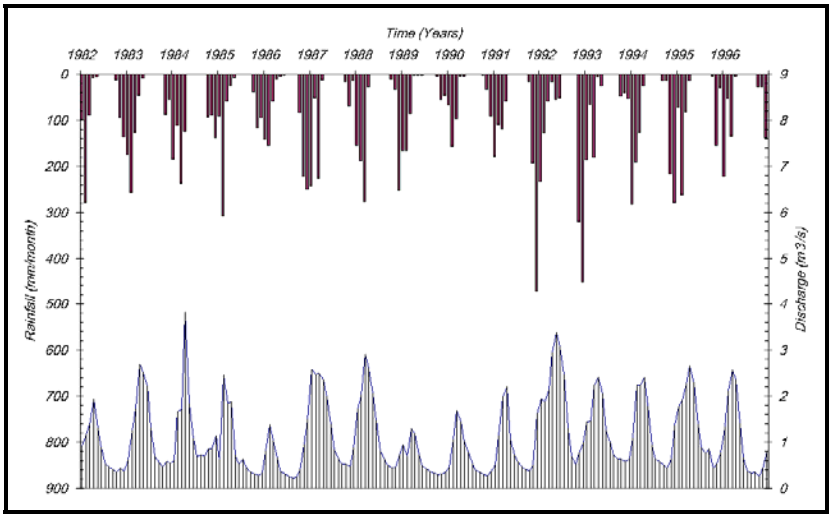
التصاريف الشهرية نجد أن الوسطي الشهري للتصاريف في فترة التحريق هي بحدود 1 $m^3/s$. ولوحظ أيضا أن التصريف في هذا الحوض يأتي متأخراً بفترة زمنية مقدارها شهرٌ واحدٌ، أي أن المياه الجوفية هي العنصر الفعال في سلوكية الحوض الهيدرولوجية.




**(الشكل 7) الهطول السنوي والتصريف السنوي في حوض بيت جن**



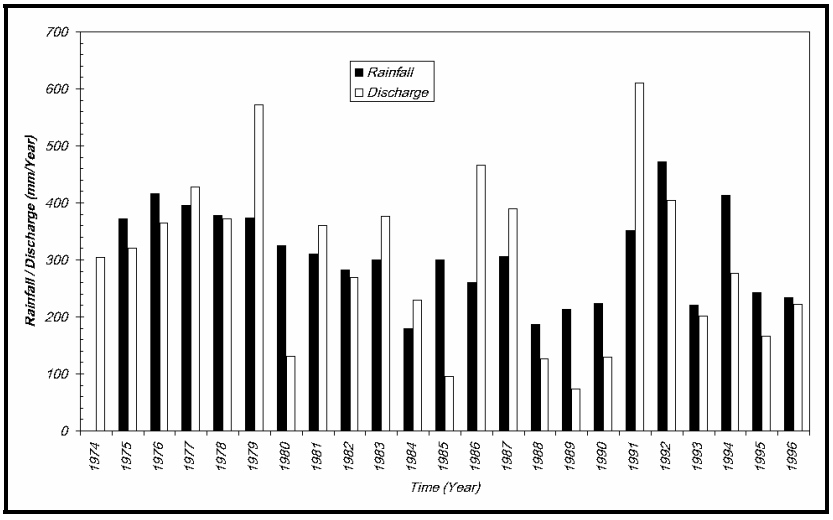
(الشكل 8) نسبة التصريف السنوي إلى الهطول السنوي ويوضح الحالة النظرية للخزان الخطي (المستقيم الأفقي)




الشكل (9) الهطولات الشهرية والتصاريف الوسطية الشهرية

## حوض أم الشراطيط:

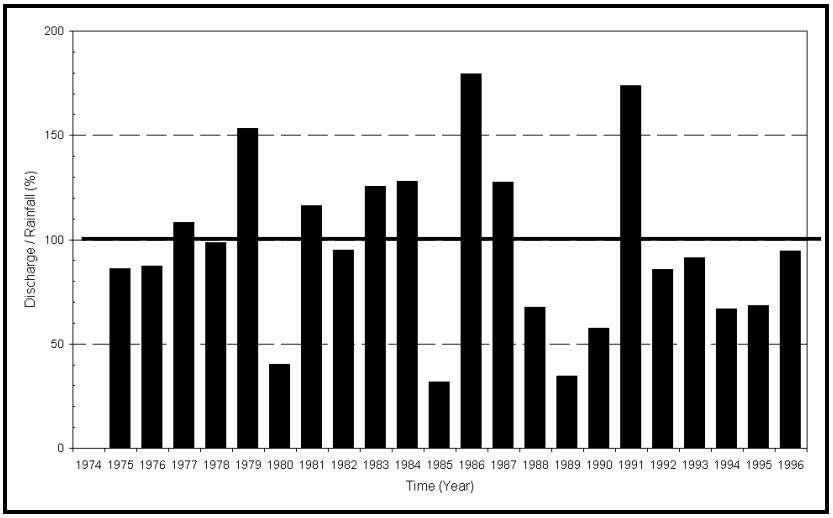
يشمل هذا الحوض مجموع الحوضين سابقي الذكر حوض عرنة وحوض بيت جن إضافة إلى ذلك فهو يشمل السهول والمناطق الزراعية المروية والتي تشكل جزءاً هاماً من مساحته. وبشكل عام فإن تصريف النهر في محطة أم الشراطيط هو مجموع تصريف نهري الجيناني والسبراني إضافة إلى ينابيع أخرى تصب في هذا النهر. وبالنظر إلى محطة أم الشراطيط فقط نلاحظ انخفاض الهطول مقارنة مع كل من محطتي عرنة وبيت جن، وهذا أمر طبيعي لأن منطقة أم الشراطيط هي منطقة سهلية. ونظراً لأن مياه النهر في أم الشراطيط هي عبارة عن مجموع نهري الجيناني و السبراني والتي تتأثر بدورها بالهطولات على كل من حوضي عرنة وبيت جن فقد اعتمدنا في بحثنا هذا على المتوسط الحسابي للهطول في المحطات الثلاث. ونلاحظ أيضاً انخفاض التصريف نتيجة لاستهلاك جزء من مياه النهر في ري الأراضي الزراعية، وكذلك نتيجة التسرب من مجرى النهر باتجاه المياه الجوفية نتيجة لانخفاض الميل الطولي للنهر.



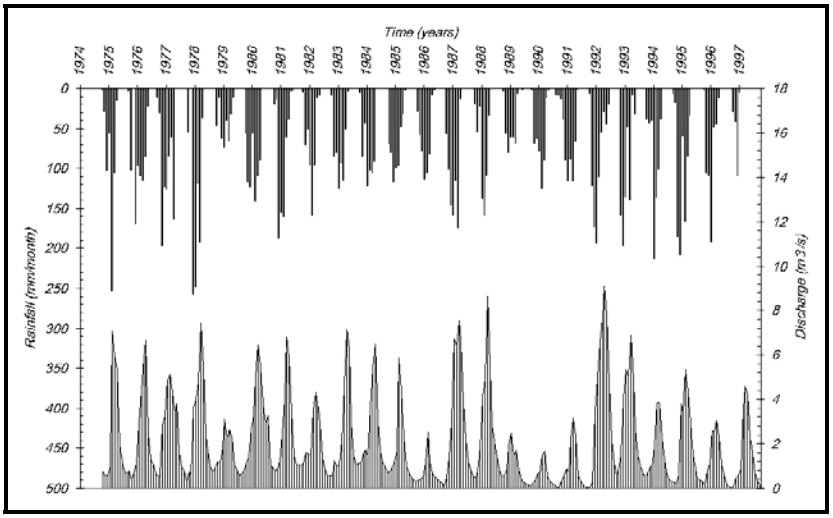

**(الشكل 10) الهطول السنوي والتصريف السنوي في حوض بيت جن**

وبحساب النسبة المئوية للجريان إلى الهاطل المطري نلاحظ أن هذه النسبة أقل من 100% في غالب الأحيان أي أن استهلاك المياه ضمن الحوض مرتفع نسبيا وفي بعض الأحيان تتجاوز هذه النسبة 150% كما هو الحال في عامي 1986 و 1991؛ وهذا يعني أن الجريان أكبر من الهطول أي أن الحوض في حالة تفريغ (الشكل 11).

وبمقارنة الهطولات الشهرية على حوض الأعوج مع التصريف الوسطي الشهري عند حوض أم الشراطيط (الشكل 12) نجد أن الهطول الشهري الأعظمي هو بحدود 200 - 250 ملم، كما حصل في عامي 1975 و 1978 حيث وصل الهطول إلى 250 ملم ويمكن أيضاً أن تمر بعض السنوات الجافة مثل 1979 و 1989حيث لم يتجاوز الهطول الأعظمي الشهري 100 ملم. أما بالنسبة للتصريف الوسطي الشهري فقد يتجاوز 8 $m^3/s$ كما حصل في عام 1992، وقد ينخفض عن قيمة 2 $m^3/s$ كما حدث في عام 1990. وقد لاحظنا تسايراً واضحاً بين الهطولات الشهرية والتصاريف، وقد لاحظنا أيضاً انزاحاً في تجاوب التصاريف مع الهطول مقداره شهر، وهذا أيضاً أمر حتمي لأن انزياحا قد لوحظ سابقاً في حوض عرنة وبيت جن.




**(الشكل 11) نسبة التصريف السنوي إلى الهطول السنوي ويوضح الحالة النظرية للخزان الخطي (المستقيم الأفقي)**




**(الشكل 12) الهطولات الشهرية و التصريف الوسطي الشهري في حوض أم الشراطيط.**

# 5. النمذجة الهيدرولوجية لحوض الأعوج:

تطورت النماذج الهيدرولوجية وتنوعت في العقود الأخيرة ولكن يبقى الهاجس الوحيد هو التوصل لإيجاد نموذج بسيط يعطي نتائجَ مقبولة (Beven et al.,1979) و (Taha et al.,1997)، وذلك لأن استخدام النماذج المعقدة يتطلب معطيات أكثر وهذا أمر مكلف جداً وزيادةً على ذلك فهي غير متوافرة في أغلب الأحيان أو أنها تحتاج إلى أعمال وقياسات حقلية تتطلب عدة سنوات من الرصد والمراقبة المستمرة وهذا أمر باهظ الكلفة. وعلى الرغم من ذلك فإنَّ زيادة تعقيد النموذج المستخدم لا يؤدي حتماً إلى زيادة الدقة، وخاصة عندما يتعلق الأمر بمسألة هيدرولوجية حيث عدد المتغيرات كبير جداً ولا يمكن حصرها بشكل دقيق. لذلك لجأنا إلى الاستفادة من المعطيات المتوافرة من أجل تطوير نموذج بسيط للتعبير عن مسألة محدودة وهي علاقة المطر بالجريان النهري، وقد اعتمدنا استخدام نموذج تصوري بسيط لدراسة هذه العلاقة. وقد تم تطوير برنامج بلغة (C++) للتعبير عن هذا النموذج.

## مبدأ النموذج:

من خلال دراسة المعطيات التي رأيناها سابقاً تبين أن هناك عاملين رئيسيين يقومان بالدور الأساسي في تحديد سلوكية حوض الأعوج والأحواض الجزئية المشكلة له وهما المطر والجريان الجوفي. وقد تم اختيار العلاقة الخطية لأنها أبسط أنواع العلاقات من جهة ولأنه لا يوجد أي مبرر فيزيائي يساعد في اعتماد أي شكل آخر من العلاقات إلا المبرر الرياضي. ومهما يكن فيمكن اعتمادنا على نموذج هيدرولوجي بمعاملين (*Chiew and al., 1993*) يعتمد على تابع كثير حدود من الدرجة الأولى، وقد أعطى نتائج مقبولة كما سنرى لاحقاً. فقد طورنا نموذجاً رياضياً تصورياً (Conceptual Black box) من أجل نمذجة الجريان (Discharge) في نهر الأعوج، واعتمدنا في النمذجة خطوة زمنية تساوي الشهر، ويلخص النموذج بالعلاقة:

$$Q_i = a \cdot P_i + b \cdot Q_{i-1} + c \cdot Q_{i-2}$$

حيث إنَّ: $(Q_i)$ هو تصريف النهر الكلي في الشهر (i)

$(P_i)$ هو الهطول الكلي المقاس خلال الشهر (i)

$(Q_{i-1})$ هو تصريف النهر الكلي في الشهر السابق للشهر (i)

$(Q_{i-2})$ هو تصريف النهر الكلي في الشهر قبل السابق للشهر (i)

(a, b, c) ثوابت عددية

ويعبر المتحول $(P_i)$ عن كمية الهطول الشهري أي التأثير المباشر للمطر في تصريف النهر والثابت (a) يأخذ بالحسبان ضمنياً كمية المياه المفقودة عن طريق التبخر.

أما المتحول $(Q_{i-1})$ وهو الجريان الكلي في الشهر الفائت فيعبر عن استمرارية تصريف الشهر (i-1) إلى الشهر (i) حيث يأخذ هذا المتحول تأثيره بعد مرور شهر أي تدخل المياه الجوفية في إمداد النهر وهو الحوض الجوفي القريب. وقد افترضنا أن هناك حوضاً جوفياً آخر أعمق من الأول ويبدأ تأثيره بعد مرور شهرين على الهطول وقد عبرنا عنه بالمتحول $(Q_{i-2})$. ولمعايرة النموذج والتحقق من صلاحيته قمنا بفصل المعطيات إلى قسمين:

- القسم الأول استخدم من أجل معايرة النموذج وإيجاد الثوابت (a, b)، وهذه القياسات تشمل الفترة من تشرين الأول 1974 حتى شهر أيلول من عام 1981. ونستثني من ذلك حوض بيت جن الذي تمت معايرته على القياسات خلال الفترة من شهر تشرين الأول من عام 1975 وحتى شهر أيلول من عام 1981 وذلك لعدم توافر معطيات عام 1974.

- أما القسم الثاني فقد استخدم من أجل التحقق من صحة النموذج، وتشمل المعطيات الفترة من شهر تشرين الأول من عام 1981 وحتى شهر أيلول من عام 1996.

## معايرة النموذج

قمنا بمعايرة النموذج من أجل كل حوض على حدة، وقد اعتمدنا في المعايرة أن يكون مجموع مربعات الأخطاء بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة أصغر ما يمكن، وفيما يأتي العلاقات الناتجة عن المعايرة.

## حوض عرنة

كانت العلاقة المستخرجة من أجل حوض عرنة هي:

$$Q = 0.23 \cdot P_i + 0.77 \cdot Q_{i-1}$$

حيث يلاحظ هنا أن عامل تأثير المطر هو (0.23)، وعامل التصريف الجوفي مع فترة انزياح مقدارها الشهر هي (0.77)، أي أن تأثير المياه المجمعة في هذا الحوض هو قرابة ثلاثة أضعاف المياه السطحية، أما العامل الثاني فهو شبه معدوم أي أنه لا تأثير للشهر (i-2).

## حوض بيت جن

أما بالنسبة لحوض بيت جن فقد كانت العلاقة المستخرجة هي:

$$Q = 0.24 \cdot P_i + 0.82 \cdot Q_{i-1}$$

ويلاحظ هنا أن عامل تأثير المطر في الشهر هو (0.24)، وهو يساوي تقريباً عامل تأثير المطر لحوض عرنة، أما عامل تأثير المياه الجوفية فهو (0.82) وهو أكبر منه في حوض عرنة. وهذه الزيادة في تأثير المياه الجوفية كانت قد سبق ولاحظناها عند تحليل حوض بيت جن وتكرر هنا، أي أنه يجب دراسة حوض بيت جن من الناحية الجوفية دراسة مفصلة ودقيقة. ولم يلاحظ أيضاً أي تأثير للشهر (i-2).

## حوض أم الشراطيط:

وأخيراً فقد كانت العلاقة المستخرجة بالنسبة للحوض الكلي أي حوض أم الشراطيط هي:

$$Q = 0.277 \cdot P_i + 0.739 \cdot Q_{i-1}$$

وهنا يلاحظ أن تأثير المياه السطحية في تصريف حوض أم الشراطيط هو قرابة (0.28)، ومعامل تأثير المياه الجوفية في تصريف حوض أم الشراطيط هو بحدود (0.74). وهنا نلاحظ أن تأثير المياه السطحية في هذا الحوض بشكل عام هو أعلى من باقي الأحواض، وسبب ذلك يعود لأن نوع التربة السطحية هي تربة زراعية، ومن ثمَّ فإن تأثير المياه الجوفية هو أقل من باقي الأحواض الجزئية. وهنا أيضا لم يكن هناك أي تأثير للمياه الجوفية الأكثر عمقاً، أي التصريف في الشهر (i-2).

## التحقق من النموذج:

للتحقق من النموذج قمنا بأخذ القسم الثاني من المعطيات وحساب التصريف، ومن ثم مقارنته مع قيم التي يعطيها النموذج باستخدام العلاقات الواردة في الفقرة السابقة وهي الآتية:

1. حوض عرنة $Q = 0.23 \cdot P_i + 0.77 \cdot Q_{i-1}$

2. حوض بيت جن $$Q = 0.24 \cdot P_i + 0.82 \cdot Q_{i-1}$$

3. حوض أم الشراطيط $$Q = 0.277 \cdot P_i + 0.739 \cdot Q_{i-1}$$

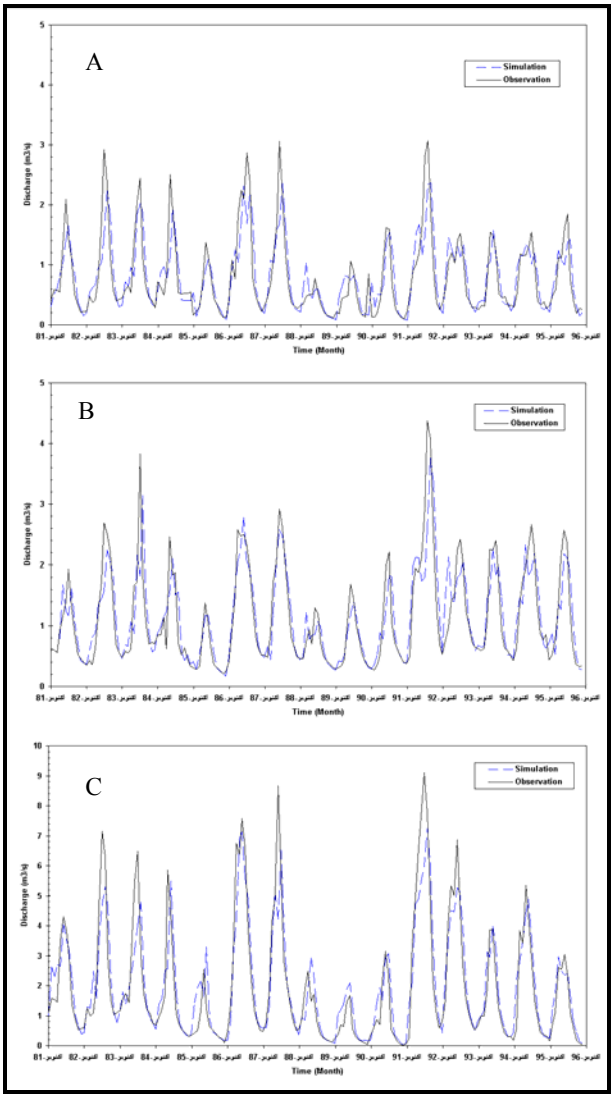
وقمنا بحساب الخطأ النسبي الإجمالي بين كل من القيم المحسوبة والقيم المقاسة، وقد وجدنا بالنسبة لحوض عرنة أن نسبة الخطأ كانت بحدود (16%)؛ وهذا مقبول جداً نظراً لقلة المعطيات التي استخدمناها في معايرة النموذج. أما بالنسبة لحوض بيت جن فقد كان الخطأ أصغر وقيمته (9.8%)؛ وهذا صغير وجيد من الناحية الهيدرولوجية. وأخيراً بالنسبة لحوض أم الشراطيط فقد كان الخطأ كبيراً نسبياً حيث وصل هذا الخطأ إلى (34%)، وتعليل ذلك هو تأثير الإنسان في الموارد المائية لهذا الحوض وخاصةً في الجزء الأدنى منه (المناطق السهلية)، سواء بالضخ من المياه الجوفية من أجل الري ومن ثَمَّ زيادة التبخر، أو باستخدام مياه النهر مباشرةً للري. ولكن إذا ما قارنا مساحة الحوض الإجمالية وهي ($230\ Km^2$) مع مساحة كل من الأحواض الأخرى والتي هي قرابة ($36\ Km^2$) نستنتج أن هذا الخطأ يبقى مقبولاً.

والأشكال (13) تظهر كلاً من منحنيات التصريف المرسومة من القيم المحسوبة (Simulated) في النموذج بالخط المتقطع، ومنحنيات التصريف المقاس (Observed) بالخط المستمر؛ وذلك لكلٍ من الأحواض السابقة (عرنة، بيت جن، وأم الشراطيط) على الترتيب.

## 6. الخاتمة والمقترحات

كما رأينا سابقاً أهمية حوض الأعوج نسبةً لمدينة دمشق، فإنه من المنطقي أن نهتم بدراسته بشكلٍ دقيق، وما هذا المقال إلا لدراسة بعض النقاط التي تساعد في فهم عمل هذا الحوض من الناحية الهيدرولوجية، وفيما يأتي تلخيص للاستنتاجات:

1. إن القسم الأكبر من الأمطار تتسرب لتغذية المياه الجوفية والتي بدورها تغذي نهري الجيناني والسبراني، وجزء صغير من الأمطار فقط تشكل جرياناً سطحياً.
2. تتمتع جميع الأحواض بدورة هيدرولوجية تتراوح من ثماني إلى اثنتي عشرة سنة.




**الشكل (13) منحنيات التصريف المحسوب (بالخط المتقطع) والمقاس (بالخط المستمر) لكلٍ من الأحواض عرنة، بيت جن وأم الشراطيط على الترتيب**

3. نتيجة للتأثير الغالب للمياه الجوفية في حركة النهر فهناك فترة تأخير مقدارها شهر على الأقل قبل أن يلاحظ تأثير الأمطار في تصريف الأنهار.
4. يجب دراسة حوض بيت جن بشكل مفصل أكثر وذلك من الناحية هيدروجيولوجية، وذلك لأن هذا الحوض متصل جوفياً مع أحواض مجاورة تغذي حوضه الجوفي، وقد تقع هذه الأحواض في الجهة الغربية.
5. إن الأراضي الزراعية والمناطق المأهولة في أدنى الحوض ساعدت على رفع نسبة الجريان السطحي (حوض أم الشراطيط).
6. أظهرت النمذجة الهيدرولوجية الرياضية أنة يمكن تمثيل حوض الأعوج بخزانين إحداهما جوفي والآخر سطحي وقد أعطت النمذجة نتائجَ جيدةً.

# المراجع

1. Beven K.J., and M.J. Kirkby, 1979. A physically base, variable contributing area model of basin hydrology, Hydrol. Sci. Bull., 24 (1) : 43-69.

2. Chiew F.H.S., M.J. Stewardson, and T.A. McMahon, 1993. Comparison of six rainfall-runoff modelling approaches, J. of Hydrol., 147 : 1-36.

3. JAICA, 1998. Japanese studies of Barada and Auage Basins, Minister of Irrigation, Damascus, Syria.

4. Taha A., J.M. Gresillon, and B.E. Clothier, 1997. Modeling the link between hillslope water movement and stream flow: Application to a small Mediterranean forest watershed, J. Hydro. 203 (1-4): 11-20.

5. الدراسة الروسية لحوض بردى والأعوج، 1982، مكتبة وزارة الري، دمشق، سورية.

6. معطيات الجريان في روافد نهر الأعوج من مديرية ري حوض بردى والأعوج التابعة لوزارة الري، ومعطيات الهطول في المحطات الواقعة ضمن حوض الأعوج من المديرية العامة للأرصاد الجوية بدمشق، سورية.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2001/6/10.

# Hydrological Studies and Conceptual Modeling for Auage Watershed

**Ammar Adnan TAHA**
**Department of Water Engineering**
**Faculty of Civil Engineering**
**Damascus University**

## Abstract

**There is a need to search for new water resources to supply, with drinkable water, Damascus City and its rural suburbs. The aim of the paper is to carry out a hydrological study and to develop a simple model characterizing AUAGE watershed behavior. This watershed is one of the two important basins in the region of Damascus. All water resources, used presently, are not sufficient to insure the growing needs of drinkable water. Studies that aim to supply Damascus from the coastal basin indicate that this solution is very expensive and will not be operational before 2010, which means that Damascus will suffer from water shortage during the next few years.**

**It is inevitable, therefore, to discuss AUAGE watershed capability to supply Damascus with drinkable water, especially because this watershed is supplied from AL-CHEIKH Mountain and it will not influence the BARADA and AL-FIJEH sources, which are already exploited. Finally, the paper proposes an eventual solution to supply Damascus with drinkable water.**

**The paper contains a detailed hydrological study of AUAGE watershed including the analysis of the rainfall-discharge and rainfall-infiltration relations.**

**A simple hydrological model (Black Box) was developed, the model constitutes two reservoirs (groundwater and overland water) in order to specify the ratio between the rainfall and both the overland and groundwater flows. During and after storms, the simulation shows a high proportion; about 80%, of rainfall reach groundwater and only 20% of rainfall constitute overland flow.**