بعض تطبيقات نمذجة النظم واستخدام الحاسوب في إدارة الموارد المائية في الجمهورية العربية السورية

الدكتور محمد بشير المنجد

قسم الهندسة والإنشاء ـ كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق

الملخص

تقدم تقانات الحاسوب، إذا اقترنت بنظرية النظم وما تتضمنه من أساليب وطـرق معالجـة وخاصـة النمذجة الرياضية والمحاكاة والأمثلية، أداة فعالة في تخطيط واستثمار وتطوير الموارد المائية. وتزداد أهمية هذه التقانات في المناطق التي تعاني من شح الموارد المائية حيث يسمح تطبيقهـا بالاسـتثمار الأمثل لهذه الموارد المحدودة. قام المؤلف وفي بعض الحالات بمشاركة بـاحثين آخـرين[1] بتجـارب لتطبيق هذه التقانات في الجمهورية العربية السورية، وبشكل خاص على نبعي بـردى والفيجـة فـي حوض دمشق. ويهدف هذا البحث إلى عرض ودراسة جانب من هذه التجارب و تقييم نتائجها وبيـان مدى الفائدة المتوخاة من توسيع تطبيق هذه التقانات على موارد مماثلة.

[1] د. م. وائل معلا والمهندس نبراس المؤيد

1- مقدمة:

ترتفع نسبة تزايد السكان في الجمهورية العربية السورية إلى مستويات عالية إذا ما قيست بالمقـاييس العالمية[1] ، ويترافق ذلك بازدياد كبير للاحتياج الفردي من المياه بأشكاله المختلفة نتيجـة للتطـور الاقتصادي والاجتماعي. لذا تتولد بشكل مستمر متطلبات متزايـدة علـى المـوارد المائيـة المتاحـة والمحدودة بطبيعتها نظراً لأن سورية تقع في المنطقة شبه الجافة. وينتج عن هذا الضـغط المسـتمر على الموارد المائية استنفاذ متسارع لها ولا سيما الموارد المائية الجوفية. ولا بد للحفاظ عليهـا مـن إدارتها بطريقة مثلى وتطويرها واستثمارها بالشكل الأفضل على أسس وطرق علمية حديثة.

ويعد استخدام الحاسوب في نمذجة وإدارة الموارد المائية أداة متميزة قادرة على دعم القرار المتعلق باستثمار وتطوير هذه الموارد المحدودة على أصعدة متعددة انطلاقاً من تقييم وحصر إمكاناتهـا مـن خلال قواعد المعطيات، ومروراً بموازنة الحلول الهندسية البديلة، وتقييمها من الجوانـب الاقتصـادية والاجتماعية والبيئية، ووصولاً إلى المساعدة في دعم القرار الهندسي. وقد قام المؤلف بمشاركة باحثين آخرين ومنذ بضع سنوات بتجارب لاستخدام النمذجة و الحاسوب في استثمار وتقييم بعض المـوارد المائية في سورية وبشكل خاص نبعي بردى والفيجة ، ويهدف هذا البحث إلى عرض ودراسة جانـب من هذه التجارب و تقييم نتائجها وبيان مدى الفائدة المتوخاة من توسيع تطبيق هـذه التقانـات علـى موارد مماثلة.

2- إدارة الموارد المائية وتطويرها بمعونة الحاسوب:

تتميز مشاريع تطوير الموارد المائية بأنها عادة مشاريع متعددة الأهداف بشكل عام، تتفاعل فيها عوامل مختلفة: طبيعية واجتماعية وبيئية واقتصادية ومحيطية وقانونية. ولابد لنجاح هذه المشاريع من إيجـاد حلول توازنية بين هذه العوامل والتعامل معها على أساس كونها نظماً متكاملة، وتوفر هندسة الـنظم والنمذجة الرياضية أداة فعالة لمعالجة مسائل استثمار وتخطيط مثل هذه المشاريع من منظـار الـنظم المتكاملة، كما توفر الوسيلة التي تساعد على انتقاء الحل الذي يستجيب، ما أمكـن، للأهـداف الكليـة للمشروع من بين الحلول البديلة المتاحة، إذ يمكن استخدامها بفعالية لمعالجة المسائل التالية:

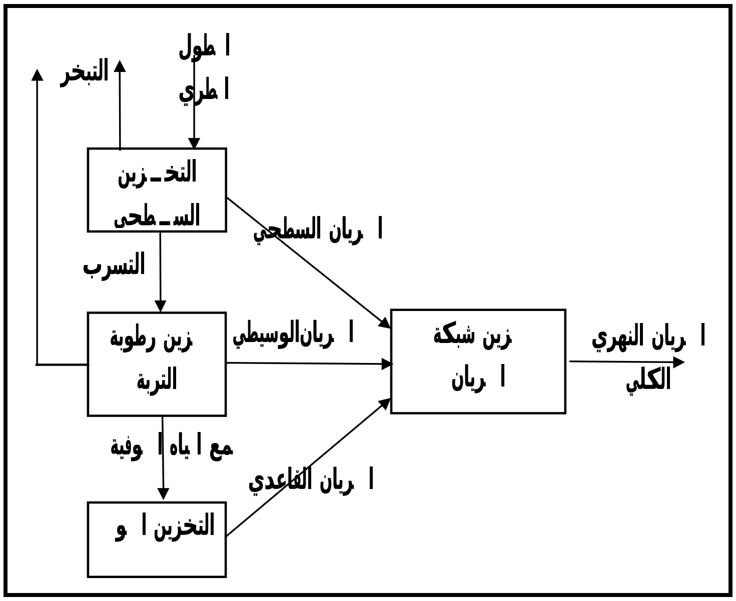
- تقدير وتقييم الاحتياجات المائية الحالية واستقراء الاحتياجات المستقبلية.
- تقدير وتقييم الموارد المتاحة.

- دراسة وتصميم الحلول البديلة الممكنة.
- اختيار الحلول المثلى وفق الأهداف المحددة للمشروع.

3- النمذجة الرياضية أداة لدراسة الموارد المائية:

المورد المائي نظام تتفاعل فيه ظواهر وعوامل فيزيائية متعددة. ففي حالة الحوض الصباب لنهر مثلاً، نجد أن العديد من عناصر الدورة الهيدرولوجية تتداخل وتتفاعل، وتشمل هذه العناصر الطاقة الشمسية والهطول والجريان السطحي والجريان الجوفي والتبخر وتخزين التربة ... الخ. تتناول النمذجة الرياضية لنظام معقد كالنظام الهيدرولوجية إيجاد مجموعة العلاقات والشروط الرياضية التي تحدد سلوك النظام الذي تجري نمذجته، والتي تأخذ بالحسبان العوامل الأساسية الداخلة في آلية عمل النظام الهيدرولوجي [7]. ولا يخفى أن الوصول إلى نماذج رياضية دقيقة لتمثيل الظواهر الفيزيائية المرتبطة بالنظم الهيدرولوجية على جانب لا يستهان به من الصعوبة. ولا بد عند اعتبار أحد هذه النماذج من تدقيق صحة مطابقته وتمثيله للواقع من خلال عملية المعايرة.

يبين الشكل (1) مخططاً صندوقياً يمثل عناصر نموذج مبسط لجريان نهري ناتج عن حوض صباب. يظهر بوضوح من خلال هذا المخطط أن مدخل النظام هو الهطول على الحوض ومخرجه الجريان النهري الكلي.



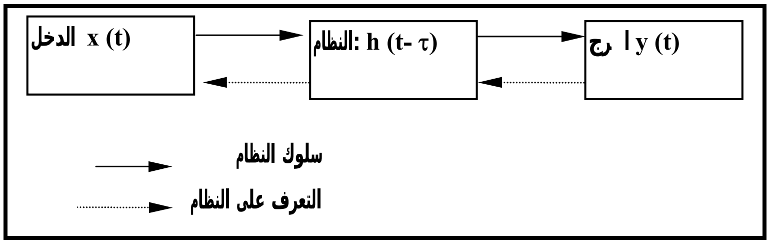
الشكل رقم ـ1ـ

ومن ثَم يمكن تبسيط تمثيل هذا النموذج استناداً لنظرية النظم بصندوق واحد يمثل النظام الهيدرولوجي ككل [4]، يكون مدخله الهطول x (t)، ومخرجه الجريان النهري y (t) كما هو مبـين فـي الشـكل (2).ووفقاً لنظرية النظم يمكن الربط بين المقدارين x (t) و y (t) بالعلاقة :

$$y(t) = \int_{0}^{t} x(t) \cdot h(t-\tau) \cdot d\tau \qquad (3.1)$$

حيث *h (t- τ)* هو تابع نقل النظام (Transfer Function)

تدعى مسألة تحديد التابع h (t) في نظرية النظم "بمسألة التعرف"، وهي توافق تحديـد مواصـفات النموذج المفترض. وهناك طرق عديدة لتحديد هذا التابع بعضها يعتمد على الطبيعة الفيزيائية للنظـام وتحليل آلية عمله، وبعضها الآخر باستخدام طرق إحصائية و طرق تعتمد مزيجاً منهما.



الشكل رقم ـ2ـ

وربما كان أحد ابسط النماذج ذلك الذي اقترح من قبل الباحث ناش عام 1960[9] ، والذي اعتمد فيه تمثيل حوض نهري بمجموعة مؤلفة من n خزاناً ذات صفات متماثلة بحيث تكون العلاقة بين تخزين كل منها S وخرج النظام y من الشكل:

$$S = K.\ y \tag{3.2}$$

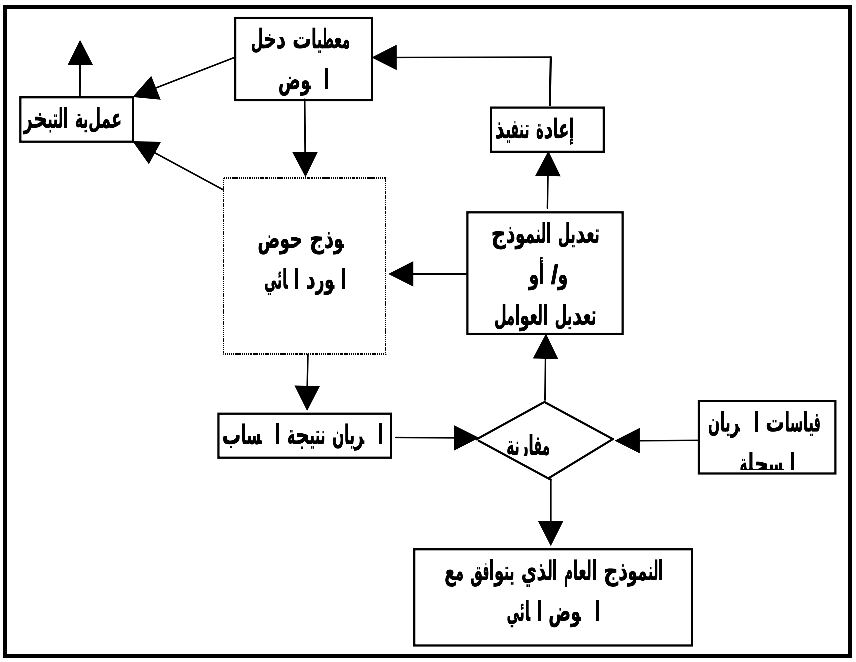
يمكن البرهان أن تابع النقل h(t) في هذه الحالة يأخذ الشكل:

$$h(t)=\frac{1}{K\Gamma n}\left[\frac{t}{K}\right]^{n-1} e^{-t/K} \tag{3.3}$$

حيث Γ n هو تابع غاما ويعرف بـ $\Gamma n = (n-1)\ \Gamma\ (n-1)$. والقيمتان K, n هما معاملا هذا النموذج.

إن عدد المعاملات الواردة في نموذج ناش هما اثنان فقط ولكن النماذج الأكثر تعقيـداً، والتـي تأخـذ بالحسبان عوامل فيزيائية إضافية، فتتضمن عدداً أكبر من العوامل التي قد تكون ذات طبيعـة أكثـر تعقيداً، كأن تكون قيمتها تابعة للزمن. ولا بد لتطبيق أي نموذج على نظام هيـدرولوجي معـين مـن تحديد قيم المعاملات التي تدخل في النموذج. ويتم هذا التحديد عن طريق مقارنة القياسات والمعطيات الحقيقية التي تم الحصول عليها من النظام الهيدرولوجي مع نتـائج الحسـابات باسـتخدام النمـوذج الرياضي. وتعرف هذه العملية بمعايرة النموذج الرياضي. وتتطلب معايرة النموذج تـوافر معطيـات كافية عن سلوك النظام الهيدرولوجي الذي تجري نمذجته حيث يجـري اسـتخدامها لتحديـد عوامـل النموذج بطريقة مباشرة، أو عن طريق التقريب المتتالي. يمكن بشكل عام تمثيل الاستراتيجية العامـة لنمذجة النظم الهيدرولوجية باستخدام الحاسوب وفق المخطط الصندوقي في الشكل 3 .

يظهر المخطط الصندوقي نقطتين أساسيتين، أولهما أن بنية النموذج نفسه قد تخضع لتعـديلات مـن خلال عملية المعايرة، وثانيهما ضرورة تقسيم المعطيات إلى جزأين يتم بواسـطة أحـدهما معـايرة النموذج ويستخدم الجزء الثاني لاختبار أن المعايرة أصبحت مقبولة. وتتطلب معايرة النماذج الرياضية المتطورة استخدام كمية كبيرة من المعطيات المتعلقة بمواصفات الحـوض والقياسـات المائيـة فيـه وسجلات وقياسات الأرصاد الجوية...الخ.ولقد جرى تطوير واختبار أنواع عديدة من النماذج الرياضية لتمثيل النظم الهيدرولوجية بعضها يعتمد على استخدام الطرق التحليلية المباشـرة، وبعضـها الآخـر باستخدام الأساليب الإحصائية والعشوائية. ونتيجة لذلك يتوافر حالياً عدد كبير مـن النمـاذج القابلـة للتطبيق بنجاحات متفاوتة على الحالات المختلفة للموارد المائية. ومن النماذج التقليدية الشهيرة في هذا المجال نموذج جامعة ستانفورد لكاليفونيا IV للأحواض (1975) [5] والذي يضم ما ينوف على 30 معاملاً مختلفاً.



الشكل رقم ـ3ـ

تمثيل الاستراتيجية العامة لنمذجة النظم الهيدرولوجية باستخدام الحاسوب

4- نموذج التنبؤ في حالة الجريان الناتج عن التغذية الجوفية في الحوض المائي:

تعتمد معظم الجريانات خارج موسم الهطول في سورية ولفترات طويلة على التغذية الجوفية بشكل أساسي بسبب انقطاع الأمطار خلال الصيف وأجزاء من الربيع والخريف كما هي الحال بالنسبة لنبعي بردى والفيجة. ومن ثم فإن مسألة التنبؤ عن الإيراد المائي في حالة الجريان الناتج عن التغذية الجوفية فقط تكتسب أهمية خاصة لأنها تسمح بتقدير مقدار المياه التي يمكن أن تتوافر خلال فترة الشح والتخطيط لاستثمارها. ويمكن في هذه الحالة اعتماد نموذج الصندوق الأسود (Black box) الذي يعد النظام الهيدروليكي صندوقاً مغلقاً [8] ، ويدرس سلوكه من خلال مدخله ومخرجه فقط دون النظر إلى بنيته الداخلية. إن مدخل النظام هو التغذية الخارجية I التي قد تكون على شكل روافد. أما مخرج النظام فهو التصريف الكلي Q. إذا عددنا أن حجم التخزين الجوفي في النظام هو V_w يكون التغيير في حجم التخزين الجوفي خلال الزمن dt مساوياً إلى الفرق بين التغذية الخارجية والتصريف الناتج:

$$I - Q = \frac{\partial V}{\partial t} \qquad (4.1)$$

وإذا افترضنا أن الخزان الجوفي خطي، أي يتناسب فيه حجم التخزين خطياً مع التصريف الخارج منه فنعبر عنه بالمعادلة:

$$V_w = K.Q \qquad (4.2)$$

حيث K هو ثابت الخزان الجوفي و واحدته واحدة الزمن.

وفي حال كون التغذية الخارجية معدومة أي: $I = 0$ فعندها يكون:

$$Q(t) = Q_0 \; e^{-t/K} \qquad (4.3)$$

Q_0 هو التصريف في اللحظة $t = 0$، وتمثل هذه العلاقة منحني التصريف أثناء فترة الشح في حال انعدام التغذية الخارجية. وفي حال وجود تغذية خارجية ثابتة تصبح العلاقة:

$$Q(t) = (Q_0 - I)\, e^{-t/K} + I \qquad (4.4)$$

ومن أجل $t = \infty$ تكون $Q(t) = I$ أي أن التصريف ينتهي إلى قيمة التغذية الخارجية.

ويتم الحصول على قيمة K و Q_0 عن طريق المعايرة. والتي ترتبط مباشرة بمنحني الشح للهيدروغراف.

وفي حال استجرار المياه الجوفية بمعدل ثابت Q_a عن طريق الضخ، عندها يعبر عن العلاقة وفـق ما يلي:

$$Q(t) = (Q_0 - I)\, e^{-t/K} + I - Q_a \qquad (4.5)$$

وإذا كانت التغذية الخارجية معدومة $I = 0$ عندها تصبح العلاقة السابقة على الشكل التالي:

$$Q(t) = Q_0\, e^{-t/K} - Q_a \qquad (4.6)$$

5- تطبيق النمذجة الرياضية على نبع نهر بردى[2]:

يقع نبع بردى في حوض مدينة دمشق وهو مورد رئيسي في تغذية نهر بردى. تولدت فكرة تطبيـق النمذجة الرياضية على نبع نهر بردى في الأساس نتيجة للرغبة في القيام بتقييم علمي صحيح ـ قـدر الإمكان ـ لنتائج تجربة الضخ على النبع التي قامت بها المؤسسة العامة لميـاه الشـرب والصـرف الصحي بدمشق [2]. ثم جرى توسيع هذا التطبيق ليشمل جوانب أخرى.

5-1- نمذجة النبع لتقييم نتائج تجربة الضخ التي جرت عام 1987:

تهدف عملية النمذجة إلى تقدير الازدياد الحقيقي في تصريف النبع الذي تم الحصول عليه نتيجة للضخ و الازدياد الإجمالي في حجوم المياه. وللقيام بذلك لابد من الاعتماد على عنصرين هما:

آ- قياس التصريف الإجمالي للنبع نتيجة للضخ خلال كامل فترة التجربة بتابعية الزمن.

ب- تقدير التصريف الإجمالي الطبيعي للنبع بتابعية الزمن. أي التصريف الإجمالي فيما لو لم تتم تجربة الضخ. مع الأخذ بالحسبان تناقص تصريف النبع مع الزمن خلال فترة الشح.

إن الربح $Q_g(t)$ في تصريف النبع نتيجة للضخ هو الفرق بين التصريف الإجمالي مع الضخ $Q_p(t)$، والقيمة المقدرة عن طريق النمذجة الرياضية للتصريف الطبيعي دون ضخ $Q_n(t)$:

$$Q_g(t) = Q_p(t) - Q_n(t) \qquad (5.1)$$

وتحسب كمية المياه المستجرة الزائدة عن التصريف الطبيعي للنبع V_g بنتيجة الضـخ مـن المعادلـة التالية:

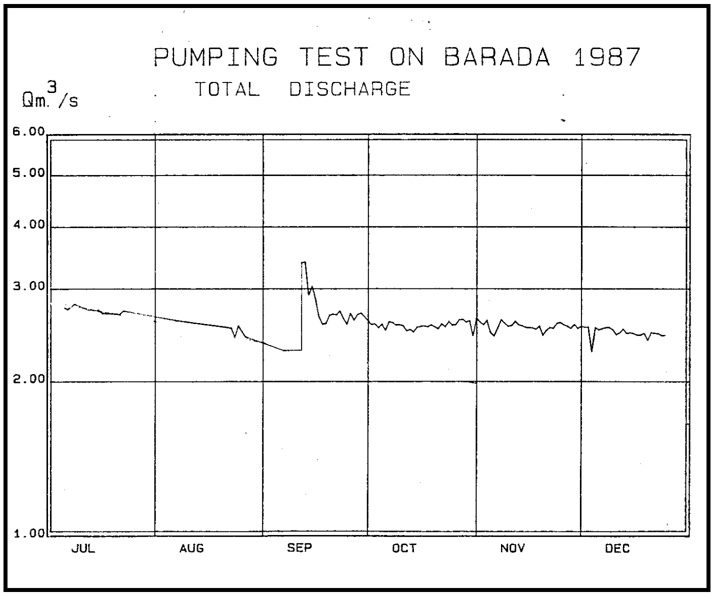
---

[2] قام بتنفيذ هذا البحث المؤلف بمشاركة د. م. وائل معلا

$$V_g = \int_{t_1}^{t_2} Q_g(t).dt$$

على أن يتم التكامل خلال كامل فترة الضخ.

جرى قياس تصريف النبع مع الضخ بواسطة هدار من نوع قناة مقياس بارشال، ويبـين الشـكل (4) منحني تغير التصريف الكلي مع الضخ بتابعية الزمن خلال فترة الضخ وقبلها قلـيلاً تكمـن المسـألة الأساسية في اعتماد نموذج ما لمورد مائي في اختيار النموذج الملائم للتنبؤ ومعايرته من خلال جـزء من سجلات القياسات التاريخية المتوافرة للمورد، ثم التأكد من صلاحيته من خلال مقارنة النتـائج التي تم استنتاجها مع جزء آخر من القياسات التاريخية للمورد. ولما كان تقدير التصريف الإجمـالي الطبيعي للنبع دون ضخ وتغيره مع الزمن خلال فترة الضخ يحتاج إلى اعتماد نموذج للنبع، فقـد جرى البحث عن نموذج ملائم للفترة التي أجريت فيها التجربة، وهي فترة الشح، واستُخدِمَ لهذه الغايـة بشكل أساسي نموذج الجريان الناتج عن التغذية الجوفية، لملاءمته لنمذجة جريانات فترة الشح بشكل خاص. كما استُخْدِمَ على التوازي نموذج إحصائي (Stochastic) للمقارنة، و جرى العمل بـثلاث طرائق هي الطرائق المبينة فيما يلي:



الشكل رقم ـ4ـ

منحني تغير التصريف الكلي مع الضخ بتابعية الزمن خلال فترة الضخ وقبلها قليلاً

5-1-1- معايرة نموذج الجريان الناتج عن التغذية الجوفية بقياسات خاصة أجريت لهـذه الغايـة قبيل التجربة:

استخدمت علاقة الجريان الناتج عن التغذية الجوفية لتمثيل سلوك الجريان في فترة الشح:

$$Q(t)=Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \qquad (5.1.1.1.)$$

حيث $\alpha = 1/K$ ويـدعى معامـل التخامـد الأسـي للنبـع و Q_0 غـزارة النبـع فـي الـزمن $t = 0$.

جرت معايرة النموذج (أي تحديد α و Q_0) في هذه الطريقة من قياسات حقيقية أجريـت خصيصـاً لهذه الغاية قبيل إجراء التجربة ولفترة 70 يوماً وهي قياسات مباشرة للتصـريف، جـرت باسـتخدام

الطاحونة المائية وأجريت في الفترة الواقعة بـين 1987/7/5 و1987/9/11فـي محطتـي الرملـة والجسر. وبعد تحليل هذه القياسات واستبعاد الشاذ منها بلغ عددها 16 قياساً في محطـة الرملـة و12 قياساً في محطة الجسر. وبتطبيق طريقة الارتباط بين القيم المقاسة والمحسوبة من العلاقة الأسية أمكن الحصول على القيم التالية لمعامل التخامد الأسي α:

محطة القياس	محطة الرملة	محطة الجسر
قيمةα	0.00297	0.00310

5-1-2- معايرة نموذج الجريان الناتج عن التغذية الجوفية بالقياسات التاريخية في محطة التكية:

اعتمد في هذه الطريقة أيضاً النموذج المستخدم في الطريقة الأولى، ولكن تمت المعايرة بالقياسـات التاريخية في محطة قياس التكية. استخدمت القياسات التاريخية المتوافرة في محطة التكية ابتداءً مـن العام 1951 وحتى 1985، بيد أن تحليل هذه القياسات بين عدم تجانسها وتأثرها بشكل كبير بالضـخ الذي يقوم به مزارعو المنطقة بشكل عشوائي والذي يتغير مع الزمن. وقد أدى ذلك إلى الحصول على قيم شاذة عديدة لعامل التخامد α . فعلى سبيل المثال اعطت قياسات التصريف فـي العـامين 1967 و1968 قيماً سالبة لـ α ، و لا يمكن تفسير هذا الشذوذ إلا بتغيرات ضخ المزارعين من الحـوض المباشر المغذي للنبع. وقد قلل ذلك من إمكانية الاستفادة الفعلية المباشرة مـن هـذه الطريقـة التـي استخدمت وسيلة تحقق وتدقيق. وقد أمكن الحصول على قيم عامل التخامد الأسي α لجميع الأعـوام التي يوجد لها قياسات، وقد ظهر تبعثر إحصائي محسوس للقيم المحسوبة ويبين الجدول التالي القـيم الدنيا والعظمى والوسطى لمعامل التناقص الأسي α للأعوام المختلفة التي تم حساب قيمة المعامـل لها.

المجالات	قيمة دنيا	قيمة وسطى	قيمة عظمى
قيمةα	0	0.00189	0.00550

5-1-3- استخدام نموذج إحصائي احتمالي Stochastic ومعايرته بالقياسات التاريخية في محطتي التكية والرملة:

استخدم لتمثيل سلوك الجريان خلال سنوات الشح في هذه الطريقة علاقة خطية تربط بين التصريف ومختلف العوامل التي تؤدي دوراً هاماً في التأثير فيه كالهطول الكلي في السنة قيد الدراسة والسنوات السابقة وتصريف الجريان في السنة السابقة ... الخ. تأخذ المعادلة المستخدمة الشكل التالي:

$$Q_i = A.Q_{i-1} + B.Q_m + C.P_i + D.P_{i-1} + \ldots \qquad (5.1.3.1)$$

تنص هذه العلاقة (وهي شكل من علاقة ماركوف) على أن التصريف الوسطي للنبع Q_i في أي شهر i من أشهر السنة هو تابع خطي للغزارة الوسطية للنبع في الشهر نفسه من السنة السابقة Q_{i-1}، وللغزارة الوسطية للنبع في موسم الفيضان Q_m، (عدت خلال الأشهر الأربعة الأولى من السنة المائية) وللهطول الإجمالي في السنتين: الحالية P_i والسابقة P_{i-1} ، وقد استخدمت القيم الوسطية خلال الشهر عوضاً عن القيم اليومية بسبب عدم انتظام القياسات التاريخية على مستوى اليوم واحتوائها على الكثير من القيم الشاذة، علماً أنه يمكن إدخال عوامل إضافية على العلاقة السابقة مثل الهطول في سنوات سابقة أخرى، أو استبعاد بعض العوامل على ضوء المعايرة وتقييم النموذج. تحدد أمثال المعادلة الخطية : ... A, B, C, D عن طريق المعايرة باستخدام معطيات فترة زمنية تتوافر فيها قياسات التصاريف والهطولات الداخلة في العلاقة، وتعتمد الأمثال التي تظهر أكبر توافق بين القيم المحسوبة والمقاسة عن طريق إيجاد معامل الارتباط بينهما. توافرت قياسات التصريف للنبع في محطة التكية منذ عام 1950 وفي محطة الرملة منذ عام 1975. أما معلومات الهطول في المحطات التي تقع بالقرب من النبع (زبداني، مضايا، سرغايا) فقد توافرت لها قياسات منذ العام الهيدرولوجي 1956-1957.

جرت معايرة النموذج على معطيات فترة 28 عاماً: من العام الهيدرولوجي 1956- 1957 وحتى العام 1984-1985 وذلك لعدم اكتمال قياس تصريف النهر في العامين 86-87. وجرى حساب أمثال المعادلة لكل شهر من أشهر فترة الشح من الشهر السابع وحتى الحادي عشر في محطتي التكية والرملة. وبعد إجراء العديد من تجارب المعايرة عن طريق إدخال واستبعاد عوامل إضافية في علاقة تصريف النموذج تبين أن أفضل توافق بين القيم المستقرأة والمقاسة تحدث عند استبعاد قيمة الهطول في السنة السابقة (P_{i-1}) أي عندما يكون شكل العلاقة:

$$Q_i = A.Q_{i-1} + B.Q_m + C.P_i$$

يبين الجدول (1) قيم الأمثال (A, B, C) التي تم الحصول عليها لمحطتي التكيـة والرملـة علـى الترتيب،كما يعطي الجدول (2) القيم الدنيا والوسطى والعليا لعامل التناقص الأسي المحسوب مستنتجة من التصاريف المستقرأة وليس من القياسات المباشرة.

الجدول رقم ـ1ـ

قيم الأمثال A,B,C في محطتي التكية والرملة

الشهر	تموز يوليو	آب أغسطس	ايلول سبتمبر	تشرين1 أكتوبر	تشرين2 نوفمبر
محطة التكية					
A	0.3115	0.3281	0.3007	0.3072	0.2533
B	0.1172	-0.0013	0.0033	0.0204	0.0572
C	0.0028	0.0035	0.0035	0.0032	0.0031
محطة الرملة					
A	0.3526	0.4565	0.3984	0.3881	0.3392
B	0.0790	0.0112	0.0373	-0.0385	0.0888
C	0.0032	0.0027	0.0027	0.0033	0.0026

وقد كان استخدام هذا النموذج بشكل أساسي لغرض التدقيق والتحقق من نتائج النمـوذج الأول بسـبب كون القياسات التاريخية غير منتظمة، إذ تضمنت قيماً عديدةً شاذةً.

تم تنفيذ هذا النموذج باستخدام مجموعة من النظم البرمجية التي وضعت خصيصاً لهذه الغايـة والتـي اعتمدت نظام إدارة قواعد المعطيات من نوع INGRES، و نفذ العمل باستخدام حاسوب يعمل تحت نظام تشغيل UNIX.

الجدول رقم ـ2ـ

القيم الدنيا والوسطى والعليا لعامل التخامد الأسي في محطتي التكية والرملة

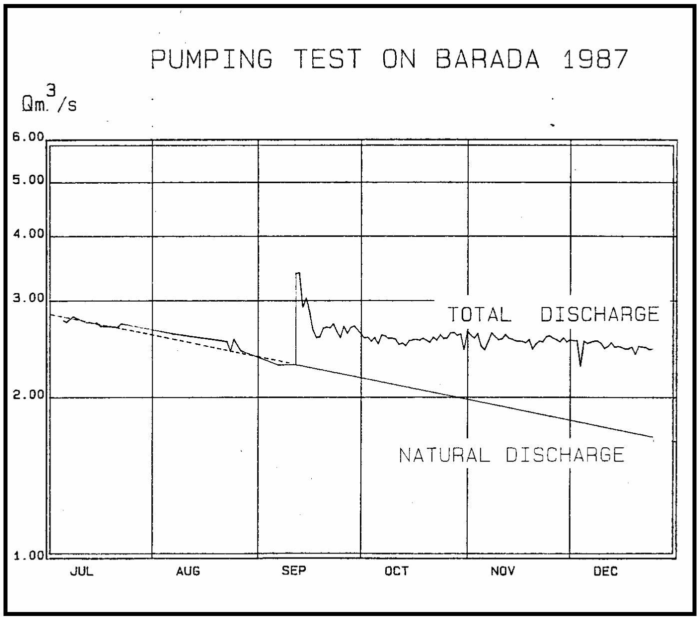
	محطة التكية	محطة الرملة

قيمة α الدنيا	0.0005	0.0004
قيمة α العظمى	0.0012	0.0011
قيمة α الوسطى	0.0022	0.0019

5-1-4- التقييم الإجمالي ونتائج تجربة:

أوضح تقييم الطرائق الثلاث التي تم تطبيقها للحصول على نموذج يمكن الاعتماد عليه في حساب التصريف الطبيعي للنبع خلال فترة الضخ أن أفضل هذه الطرق هي الطريقة الأولى. وقد اعتمد للحساب قيمة $\alpha = 0.0029$، وهذه القيمة تتوافق مع القيم التي أعطتها الطريقتان الأولى والثالثة، فهي أكبر من القيمة الوسطية التي تم الحصول عليها من القياسات التاريخية، وأصغر من القيمة العظمى، وهذا يتوافق تماماً مع كون الهطول في السنة الهيدرولوجية 86-87 كبيراً، إذ تجاوز هذا الهطول 700 مم. بناء على القيمة المعتمدة لـ α وباستخدام الغزارة الكلية المسجلة قبل الشروع في الضخ كقيمة لـ Q_0 أي لأجل $Q_0=2.295\ m^3/s$ ، جرى حساب التصريف الطبيعي خلال فترة الضخ. يبين الشكل (5) التصريف الإجمالي للنبع نتيجة الضخ والتصريف الطبيعي دون ضخ (الخط المستقيم). يشكل الفارق بن المنحنيين التصريف الإضافي المستجر نتيجة الضخ. وقد جرى تمثيل التصريف الإضافي في الشكل (6). وقد أدى الحساب النهائي إلى الوصول للنتائج التالية:

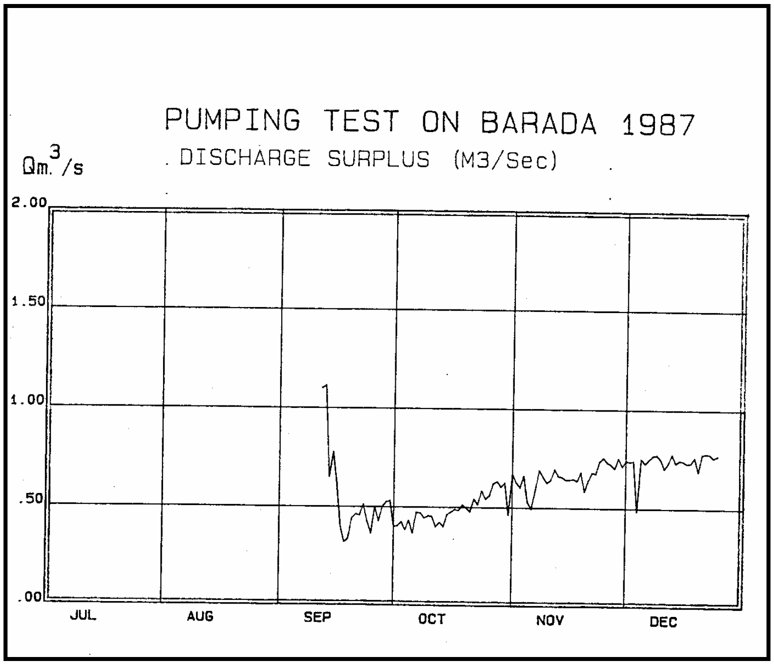
الربح الكلي من المياه خلال كامل فترة الضخ	5.51 مليون م^3
متوسط التصريف الإضافي الذي تم الحصول عليه	0.608 م^3 /ثا



الشكل 5

التصريف الإجمالي للنبع نتيجة الضخ والتصريف الطبيعي دون ضخ (الخط المستقيم).

إن الربح الكلي في المياه يتم عن طريق الاقتراض من مخزون المياه الجوفية في الحـوض، ويجـري تعويض هذا الاقتراض كلياً أو جزئياً بانخفاض ذروة الفيضان في العام التالي، أي أن المحصلة تبـدو وكأنما هي اقتراض من فيضان النبع في السنة الهيدرولوجية التالية لسنة الضخ. كما يمكن التعبير عن ذلك بأنه تحكم أفضل في توزيع المياه على مدار السنة الهيدرولوجية.



الشكل 6

التصريف الإضافي خلال فترة الضخ

5-2- استخدام النمذجة لتقدير كمية المياه التي ضخها المزارعون مباشـرة من حوض نبع بردى:

يمثل تقدير الضخ الإجمالي غير النظامي من حوض مائي إحدى المسائل التي يصعب تنفيـذها كميـاً وبدقة كافية نظراً لعدم توافر قياسات مباشرة للكميات التي يتم ضخها من قبل المزارعين. كمـا أن أي تقدير تقريبي يحتاج إلى حصر أعداد المضخات المستخدمة واستطاعاتها وسـاعات تشـغيلها، ومـن الصعب القيام بذلك خاصة بالنسبة للضخ غير النظامي. ويمثل حوض نبع بردى إحدى الحالات التـي تتجلى فيها أهمية تقدير كمية الضخ غير النظامي لتخطيط استثمار النبع بشكل واقعي. فمن المعتقد أن عدداً كبيراً من المزارعين يقومون بالضخ من آبار غير نظامية تقع في الحوض المباشر للنبـع، وقـد

تعذر القيام بتقدير كميات الضخ بشكل مبني على أسس علمية كافية. وهذا ما دفع لاستخدام أسـاليب النمذجة لتقدير هذه الكميات.

تعتمد فكرة تقدير كمية الضخ على تمييز فترتين زمنيتين تشملان عـدة أعـوام تكونـان متشـابهتين هيدرولوجياً إلى حد كبير. إحدى هاتين الفترتين قديمة وتقع بشكل أكيد قبل الفترة التـي بوشـر بهـا بالضخ غير النظامي من قبل المزارعين. ونتيجة للتشابه الهيدرولوجي بين الفترتين ولعدم وجود أيـة تعديلات صنعية أساسية على نظام المورد المائي، يمكن استخدام ثوابت المعايرة التي تـم الحصـول عليها في الفترة الأولى خلال الفترة الثانية. نعتمد في هذه الحالة العلاقة التي سبق استنتاجها في الفقرة (4) بعد وضعها بالشكل الملائم التالي:

$$Q_a = Q(t) - Q_0\ e^{-t/K} \qquad (5.2.1)$$

وتكون $Q(t)$ في هذه الحالة التصريف المقاس وقيمة $K = 1/\alpha$ وتحسب من قيمة α للسنة المشابهة قبل الضخ.

جرى انتقاء فترتين زمنيتين كل منهما مؤلفة مـن أربـع سـنوات متتاليـة، الأولـى بـين العـامين الهيـدرولوجيين (1962-1963) و (1965-1966)، والثانيـة بـين العـامين (1982-1983) و (1985-1986). وقد جرى اتخاذ هاتين الفترتين لتشابه ظروف الهطول فيما بينهما.يبين الجـدول 3 الهطول في كل سنة هيدرولوجية خلال الفترتين:

ويُلاحظ تناسق تام بين تغير الهطول في السنوات المتتالية في كل من الفترتين، مع زيادة طفيفـة فـي الفترة الثانية تقدر بحدود 6%، والتي ترجح أن تكون التصاريف الطبيعية في الفترة الثانية أكبـر مـن التصاريف في الفترة الأولى بشكل بسيط. إن هذا التشابه في ظروف الهطول الممتد على عدة سـنوات يجب أن يؤدي إلى تشابه كبير في حالة النظام الهيدرولوجي بين الفترتين. ومن ثم يمكـن اسـتخدام المعايرة التي تمت للسنوات المتتالية من الفترة الأولى للتنبؤ بالتصاريف الطبيعية في الفترة الثانية.

الجدول 3: الهطول في كل سنة هيدرولوجية خلال الفترتين

الفترة الزمنية الأولى		الفترة الزمنية الثانية	
السنة الهيدرولوجية	**الهطول (مم)**	**السنة الهيدرولوجية**	**الهطول (مم)**
63-62	594	83-82	637
64-63	527	84-83	566
65-46	510	85-84	516

66-65	429	86-95	363

يبين الجدول 4 مقارنة بين التصاريف المقاسة في الأشهر الأربعة في الفترة الزمنية (63-64 و 64-65) والتصاريف الطبيعية التي تم التنبؤ بها للفترة (83-84 و 84-85) باستخدام قيم α للسنة المشابهة المقابلة من الفترة الأولى.والفرق بين التصريفين هو التصريف الناتج عن ضخ الأهالي.

الجدول 4: مقارنة بين التصاريف المقاسة في الأشهر الأربعة في الفترة الزمنية (63-64 و 64-65) والتصاريف الطبيعية التي تم التنبؤ بها للفترة (83-84 و 84-85)

السنة الهيدرولوجية		التصاريف المقاسة والمحسوبة (م 3/ثا)											
		تموز			آب			أيلول			تشرين 2		
الفترة1	الفترة2	فترة1	فترة2	الفرق	فترة1	فترة2	الفرق	فترة1	فترة2	الفرق	فترة1	فترة2	الفرق
63-64	83-84	4.15	2.61	1.54	3.68	2.19	1.49	2.92	1.84	1.08	2.57	2.20	0.37
64-65	84-85	3.50	2.04	1.46	3.81	1.85	0.96	2.76	2.08	0.68	2.74	2.18	0.56
ضخ الأهالي		**وسطي الفرق**		**1.50**	**وسطي الفرق**		**1.23**	**وسطي الفرق**		**0.88**	**وسطي الفرق**		**0.46**

5-3- استخدام نموذج إحصائي وضعي للتنبؤ بتصريف نبع الفيجة[3]:

تقع مسؤولية إدارة واستثمار نبع الفيجة، الذي يشكل المصدر الأساسي لتزويد مدينة دمشق بمياه الشرب، على عاتق المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في دمشق. وقد باشرت المؤسسة منذ سنوات عديدة بمجهود خاص لوضع نموذج يصلح للتنبؤ بتصريف النبع خلال فترة الشح، بغاية تقدير مبكر لكميات المياه الإضافية الواجب تأمينها من الموارد الأخرى لتغطية احتياجات المدينة. وقد جرى تطوير عدة طرق للتنبؤ، ابتدأت بنمودج الجريان الناتج عن التغذية الجوفية. وقد قام المهندس نبراس المؤيد مؤخراً [3] باستخدام نموذج الصندوق الأسود، وباستخدام علاقة وضعية (Adhoc)

3 جرى تنفيذ هذا النموذج من قبل المهندس نبراس المؤيد في المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في دمشق

للقيام بالتنبؤ. يأخذ النموذج بالحسبان عدداً كبيراً من المعاملات التي تتعلق بدخل وخرج نموذج النبـع. هذه المعاملات هي:

Q^l_{i-1} وهو التصريف في نهاية فترة الشح من السنة السابقة (منتصف شهر أيلول/سبتمبر) ويعكـس هذا التصريف وضع المخزون الجوفي قبل موسم الأمطار.

Q^l_{i-2} وهو التصريف في نهاية فترة الشح من السنة قبل السابقة (منتصف شـهر أيلـول/سـبتمبر) ويعكس هذا التصريف وضع المخزون الجوفي قبل موسم الأمطار لسنتين خلت.

- P_{i-1} وهو كمية الهطول خلال السنة الهيدرولوجية السابقة.
- P_{i-2} وهو كمية الهطول خلال السنة الهيدرولوجية قبل السابقة.
- P_i وهو كمية الهطول خلال السنة الهيدرولوجية الحالية.
- T_{max} وهو معامل زمن الفيضان ويعكس تأخر ذوبان الثلوج وحصول الفيضان والتصـريف الأعظمي للنبع ويقاس بضعف عدد الأسابيع منذ بداية العـام وحتـى حصـول التصـريف التصريف الأعظمي.
- F_S وهو معامل الفيضان المبكر ويعكس مدى سرعة تحرك النبع باتجاه الزيادة في آخر فصل الجفاف ويقاس بمعدل تزايد التصريف.
- Q_{max} وهو معامل شدة الفيضان وهو عبارة عن قيمة التصريف الأعظمي ويعكس المخرون الأعظمي الجوفي.
- PP_{i-1} وهو معامل الضخ خلال العام السابق، ويقاس بعدد شهور الضخ.
- PP_{i-2} وهو معامل الضخ خلال العام قبل السابق، ويقاس بعدد شهور الضخ في ذلك العام.

تم اختبار علاقتين وضعيتين تربطان بين التصريف $Q(t)$ الناتج عن النبـع والمعـاملات المـذكورة أعلاه: العلاقة الأولى خطية وهي على الشكل التالي:

$$Q_i(t) = A_1(t).\ Q^l_{i-1} + A_2(t).\ Q^l_{i-2} + A_3(t).\ P_{i-1} + A_4(t).\ P_{i-2} + A_5(t).\ P_i + A_6(t).\ T_{max1} + A_7(t).\ F_S + A_8(t).\ Q_{max} + A_9(t).\ PP_{i-1} + A_{10}(t).\ PP_{i-2}$$

من أجل الزمن t يجري قبل كل شيء تحديد الأمثـال A_1، A_2، A_3 ... عـن طريـق المعـايرة باستخدام قياسات سابقة وبطريقة المربعات الصغرى (طريقة الارتباط)، ثم تستخدم قيم المعاملات للتنبؤ بقيمة التصريف لزمن معين في السنة الحالية.

أما العلاقة الثانية فهي علاقة أسية وفق مايلي:

$$Qi(t)=Q_{i-1}^{1^{A_1(t)}}\times Q_{i-2}^{1^{A_2(t)}}\times P_{i-1}^{A_3(t)}\times P_{i-2}^{A_4(t)}\times P_{i}^{A_5(t)}\times T_{max1}^{A_6(t)}\times F_S^{A_7(t)}\times Q_{max}^{A_8(t)}\times PP_{i-1}^{A_9(t)}\times PP_{i-2}^{A_{10}(t)}$$

يمكن تحويل هذه المعادلة إلى معادلة خطية بالنسبة للأمثـال A_1، A_2، A_3 ... عـن طريـق أخـذ لوغاريتم الطرفين. وعند زمن معين t يجري قبل كل شيء تحديد الأمثال A_1، A_2، A_3 ... عـن طريق المعايرة باستخدام قياسات سابقة وبطريقة المربعات الصغرى مطبقة على المعادلة الخطية بعـد أخذ اللوغاريتمات، ثم تُستَخدَمُ قيم المعاملات للتنبؤ بقيمة التصريف لزمن معين في السنة الحالية.

أمكن تحديد المعاملات المختلفة من القياسات التاريخية لـ 21 سنة، واستخدمت هذه المعاملات لمعايرة النموذج لتواريخ مختلفة باستخدام طريقة الارتباط. و تبين من المعايرة أن المعادلة الأسية تعطي نتائجَ أفضلَ من المعادلة الخطية. وقد تراوحت قيمة عامل الارتباط بين 0.96 و 0.99 بالنسبة لفترة الشح . يبين الجدول (5) مقارنة للقيم المقاسة والقيم المحسوبة من النموذج لتواريخ مختلفة ولسنوات متعـددة، ويتبين من هذا الجدول أن الخطأ الوسطي للنموذج في فترة الشح لا تتجاوز 4%

جرى تطبيق النموذج المذكور أعلاه على حاسوب شخصي باستخدام نظام EXCEL وقد ظهر من خلال التطبيق أن النتائج مرضية بالنسبة لفترة الشح، ولكن تطبيقها على فترات أخرى ولا سيما فترات الهطول أدت إلى نتائج بعيدة بعض الشيء عن النتائج المقاسة.

6- الخلاصة والنتائج:

جرى في هذا البحث استعراض جانب من تطبيقات النمذجة الرياضية للتنبؤ بتصاريف نبعي الفيجـة وبردى والنتائج التي تم الحصول عليها نتيجة لتطبيق هذه النمذجة. وقد جرى استخدام أشكال متنوعة للنمذجة الإحصائية باعتماد نموذج الصندوق الأسود. ويتجنب نموذج الصندوق الأسـود - كمـا هـو معروف - الدخول في تفاصيل البنية الداخلية للنظام الهيدرولوجي ويقتصر على التعرف إليه من ربط مدخله بمخرجه. ولا شك أن تطبيق نماذج من طبيعة مختلفة تأخذ بالحسبان البنية الداخليـة للنظـام المائي أكثر دقة وفعالية نظراً لأنها تعكس الظواهر الفيزيائية المرتبطة بالمورد المائي. ولكن تطبيـق هذه النماذج في سورية يصطدم حالياً بمشكلة عدم توافر المعطيات الكافية عن بنية النظم الهيدرولوجية بالشكل الكافي الذي يتيح معايرة هذه النظام.

الجدول 5 مقارنة للقيم المقاسة والقيم المحسوبة من النموذج الوضعي لتواريخ مختلفة ولسنوات متعددة

السنة الهيدرولوجية	التاريخ 7/15			التاريخ 8/15			التاريخ 9/15		
	قيمة التصريف مقاسة*	قيمة التصريف محسوبة	الخطأ المطلق	قيمة التصريف مقاسة	قيمة التصريف محسوبة	الخطأ المطلق	قيمة التصريف مقاسة	قيمة التصريف محسوبة	الخطأ المطلق
80-79	6.570	7.740	%15	5.250	6.369	%18	5.050	6.148	%18
81-80	6.495	6.663	%3	5.846	5.891	%1	5.997	5.684	%6
82-81	4.604	4.730	%3	4.238	4.310	%2	4.050	4.178	%3
83-82	7.341	7.064	%4	5.868	5.677	%3	5.160	4.777	%8
84-83	5.574	5.707	%2	4.967	5.050	%2	4.417	4.640	%5
85-84	4.939	5.079	%3	4.619	4.687	%1	4.036	4.293	%6
86-85	3.803	3.834	%1	3.584	3.591	%0	3.680	3.534	%4
87-86	7.458	6.847	%9	6.111	5.826	%5	5.401	5.368	%1
88-87	8.218	8.168	%1	6.780	6.806	%0	5.765	5.881	%2
89-88	3.234	3.864	%10	4.005	3.800	%5	3.744	3.764	%1
90-89	3.559	3.733	%4	3.435	3.491	%2	3.405	3.454	%1
91-90	4.599	4.582	%0	4.202	4.207	%0	3.663	3.666	%0
92-91	12.87	13.01	%1	8.642	8.741	%1	6.676	6.976	%4
93-92	7.400	7.399	%0	6.126	6.050	%1	5.413	5.188	%4
94-93	5.661	5.697	%1	4.959	5.018	%1	4.488	4.551	%1
95-94	5.666	6.027	%6	5.279	5.411	%3	4.988	4.883	%2

ملاحظة: جميع التصاريف في الجدول مقاسة بالمتر المكعب في الثانية

وعلى الرغم من البساطة النسبية للنماذج الرياضية المطبقة فقد تم الحصول على نتائج ذات دقة جيـدة مكنت من تحقيق الأهداف التي طورت هذه النماذج من أجلها. ومع ذلك فقد عانـت عمليـة معـايرة النماذج من عدم تجانس القياسات مما اقتضى ترشيح هذه القياسات في حالات متعددة. إن نجاح نمذجة الموارد المائية يعتمد ـ إلى حد كبير ـ على دقة عملية المعايرة والتي تقتضي بدورها توافر قياسـات كافية ومتجانسة للموارد المائية المدروسة. ولقد لمسنا من خلال هذه التطبيقات ضعفاً عاماً في شمولية ودقة وتجانس القياسات الخاصة بالموارد المائية. ونعتقد بضرورة التركيز علـى تحسـين منهجيـة القياسات المائية بشكل عام وضبطها واستكمالها. من ناحية أخرى مـن الضـروري إنشـاء قواعـد

معطيات للموارد المائية لتوفير المعطيات الضرورية للنمذجة وبالشكل المطلوب للمعالجة بالحاسوب. و يجب أن يولى هذا الأمر عناية خاصة من قبل الجهات التي تقوم بإدارة واستثمار المواردالمائية .

كانت نتائج تطبيق النمذجة على نبعي بردى والفيجة إيجابية جداً، وقد أتاحت التنبؤ بشكل دقيق بتصاريف النبعين، والاستفادة من ذلك في تأمين موارد إضافية من ناحية، ولتقييم كميات المياه التي تضخ بشكل غير نظامي من قبل المزارعين في حوض بردى، حيث يتعذر الحصول على بعض هذه النتائج دون نمذجة رياضية. هذه النتائج تدعو إلى توسيع تطبيق النمذجة باتجاهين: الاتجاه الأول على مستوى استخدام أساليب نمذجة أخرى تأخذ بالحسبان بنية المورد المائي والظواهر الفيزيائية المرتبطة به، والاتجاه الثاني هو توسيع مجال التطبيق على الموارد الرئيسية الأخرى في سورية.

المراجع

المراجع العربية:

1- المكتب المركزي للإحصاء، "المجموعة الإحصائية "، المكتب المركزي للإحصاء، الجمهورية العربية السورية، 1995

2- المنجد، محمد بشير، معلا، وائل، "التقرير النهائي لتجربة الضخ على نبع بردى". تقرير داخلي، المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي بدمشق. 1987

3- المؤيد، نبراس، "التقدير المسبق لإنتاج نبع الفيجة"، تقرير داخلي في المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي بدمشق. 1997

المراجع الأجنبية:

4- Dooge, J. C. I. “Linear Theory of Hydrologic Systems”, Techn. Bulletin No. 1468, Agricultural Research Services, US Dept. of Agriculture, Washington D. C. , 1973.

5- Fleming, G. , “Computer Simulation Techniques in Hydrology”, Elsevier’s Series in Enviromental Sciences, Den Haag, 1975.

6- IAHS , “Proc. Oxford Symposium on Hydrological Forecasting’, IASH Pub. No. 129, 1980.

7- Kraijenhoff, D. A. and Moll, J. R. “River Flow Modelling and Forecasting”, D. Reidel Publishing Company, Holland, 1986.

8- Mull, R. , “Low Flow Sustained by Ground Water”, River Flow Modelling and Forecasting, D. Reidel Publishing Company, Holland, 1986.

9- Nash, J. E. , “A Unit Hydrograph study , with Particular Reference to British Catchments”, Proc. ICE, 1960.

10- Wilson, E. M. “Engineering Hydrology”, Macmillan, London, 1983.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 1998/9/24.

Some Applications of Systems Modeling & Computers in the Managment of Water Resources in the Syrian Arab Republic

Mohammad Bashir Mounajed
Faculty of Civil Engineering
University of Damascus

Abstract

Information Technology and systems theory with its powerful mathematical techniques, such as modeling, simulation and optimization, are very useful tools in the planning, development and management of water resources. These techniques are even more important in areas suffering from limited water resources. Their application may contribute efficiently to the optimal use of the available water resources. The author has carried out, in cooperation with other researchers, pioneering experiments of these techniques in Syria, mainly applied to Barada and Fijeh springs in Damascus area. The present paper aims at presenting parts of these experiments, study and analysis of the results, beside revealing the advantage of expanding their application to similar resources.