



التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي وتحسين إنتاجيته الزراعية في الجزء الأعلى من حوض العاصي

Prediction of the Future Situation of Water and Improving its Agricultural Productivity in the Upper Part of Orontes Basin

تمام ياغي⁽³⁻¹⁾ عبد الناصر الضّير⁽¹⁾ فيناي نانجيا⁽²⁾ أويديس أرسلان⁽³⁾ بشري خزّام⁽⁴⁾
T. Yaghi A. N. Aldarir V. Nangia A. Arslan B. Khozam

- (1) قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة حلب، سورية.
- (2) المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا/ICARDA)، الأردن.
- (3) الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية.
- (4) الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، مركز بحوث حمص، سورية.

الملخص

نتيجة تأثير التقلبات المناخية في النظام الهيدرولوجي، والازدياد السكاني والتطور الاجتماعي والاقتصادي الذي بدأ يشكل ضغطاً متزايداً على الموارد المائية، فإنه من الضروري إعداد أنموذج تنبؤ يساهم في تقدير الواردات المائية المستقبلية لحوض العاصي الأعلى (سورية)، إذ عدّ عام 2010 سنة أساس. تم التوصل في هذه الدراسة إلى حلول حول الاستخدام الأمثل للماء الزراعي المحدود. فرغم وضوح الهدف، فإن المفهوم بأغلب الأحيان يكون غير واضح، ولا سيما قلة المعرفة حول كيفية استنزاف واستهلاك الماء داخل مشاريع الري. هذا أفضى إلى الموازنة المائية على صعيد الحقل ونظام الري والحوض الفرعي باستعمال الأنموذج WEAP-MABIA، فُقدت الموارد المائية في الحوض، وحُلّت السلاسل الزمنية للبيانات باستخدام أسلوب بوكس - جنكنز (Box-Jenkins)، واختيرت نماذج الانحدار الذاتي والمتوسّطات المتحركة التكاملية الموسمية المناسبة للبيانات المتوفرة والتوزيعات الإحصائية. كما حُدّدت الاحتياجات المائية لمختلف القطاعات، وأولويات تأمينها، واقتُرحت ثلاثة سيناريوهات: [الحالة الراهنة (RF)، والتقانات المتاحة الأفضل (BAT)، والتقانات المتطورة (HT)] خلال حالتين للتقلبات المناخية (حالة السنوات الجافة وحالة السنوات الجافة جداً). ثم صيغت النتائج على شكل مخططات وخرائط وجدول تتعلق بالموازنة المائية والعجز المائي وإنتاجية المياه، وأظهرت هذه النتائج أنه بتطبيق سيناريو التقانات المتطورة (HT) عند مستوى الحوض الفرعي، وجدولة الري على صعيد الحقل يمكن تفادي العجز المائي وتحسين إنتاجية الماء الزراعي بشكل أفضل من طريقة المزارع في المنطقة المستهدفة خلال الحالة الأولى. أما الحالة الثانية فإنها تتطلب بذل جهود مميزة لحفظ الماء على الأصعدة كافة، تتمثل بالاستخدام الأمثل لسد زيتا لتلبية متطلبات الاستخدام المنزلي، والاعتماد على المياه الجوفية للري فقط، وهذا سيساعد على تقليل الفجوة بين العرض والطلب حتى عام 2050. ومنه يُستنتج أن نتائج الأنموذج المطور مقبولة لتكون أداة فاعلة لإدارة الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: الموازنة المائية، سيناريو، التنبؤ، جدولة الري، إنتاجية الماء الزراعي، الأنموذج WEAP.

Abstract

The climatic fluctuations impact on the hydrological system, population growth, and social and economical development has into resulted increasing pressure on water resources. Therefore, it is necessary to develop a prediction model that contributes to the estimations of future water resources of the Upper Orontes basin whereas 2010 as the base year. In

this paper, solutions have been reached to make a substantially optimum use of the limited water supply in agriculture. Although the target is clear, the means are still not clear, in particular. The lack of knowledge of how water is used and depleted within irrigation projects. This has led to the water balance at field, irrigation service and sub basin levels by using the Water Evaluation and Planning Software (WEAP-MABIA). This research estimated water resources in the basin, analyzed time series of the data using the Box-Jenkins method and chose the seasonal Autoregressive Integrated Moving Average and statistical distributions that are appropriate for available data. It also identified the water needs and priorities of the various sectors and the ways to provide them. Three scenarios were evaluated depending on the actual situation (RF), the best available technology (BAT) and high technology (HT) through two cases of climate fluctuations (the dry years and very dry years). The results are visualized as graphs, maps and tables (water balance, water deficit, water productivity, etc.) and showed that by application of high available technology scenario at the sub basin level and irrigation scheduling at the field level, it can avoid the water deficiency in the first case of climate fluctuations and promote agricultural water productivity better than farmer's method in the target area. The second case, on the other hand, will require special water conservation efforts at all levels, such as the optimum use of Zeita dam to cover domestic use needs and the use of groundwater for irrigation purposes only. This will help in minimizing the gap between supply and demand till 2050. Thus the developed model results have been proved to be a user-friendly, inexpensive and efficient tool for water resources management.

Keywords: Water balance, Scenario, Prediction, Irrigation scheduling, Agricultural water productivity, WEAP model.

المقدمة

ساد الاعتقاد سابقاً أن الموارد المائية هي موارد طبيعية غير محدودة وغير قابلة للاستنزاف، إلا أن الأزمات المائية في مناطق متعددة من العالم أدت إلى نشوء قطاعات راسخة بأن الموارد المائية هي موارد محدودة وقابلة للاستنزاف (خوري، 1986). يُعد العجز المائي واحداً من التحديات التي تواجه المنطقة العربية، وتُعد سورية مثالاً نموذجياً على ذلك، إذ سيؤدي التزايد السكاني وزيادة التطور والتغير المناخي إلى الخلافات والنزاعات الدولية على الموارد المائية المشتركة في العقود القادمة (بلدية، 2004). وأورد Kaisi وزملاؤه (2004) وNAPC (2007) تقريراً حول الماء المتجدد في سورية والذي قدر بنحو 14218 م³، أما الاستعمال الكلي للمياه فقدّر بنحو 17566 م³، أي أن هنالك عجزاً مائياً قدره 3348 م³ في فترة كان عدد السكان فيها نحو 17.921 مليون نسمة، أما الآن فقد تجاوز التعداد السكاني 23 مليون نسمة دون أي تزايد في الموارد المائية، وإنما على العكس تماماً، إذ تدل الدراسات الحديثة على وجود تناقص في هذه الموارد في الأحواض السبعة السورية الموجودة كافة (Mourad و Berndtsson، 2012a)، وهذا يعني وجود تزايد في نسب العجز المائي المحلي والعام. وعلى اعتبار أن استعمالات المياه في الري تفوق استعمالاتها البشرية بما لا يقل عن عشرة أضعاف (Walker، 2003)، فقد أصبحت الحاجة ملحة لإيجاد مصادر مائية إضافية، ولاسيما بعد النهضة العمرانية والاقتصادية التي شهدتها سورية.

إن الجهود المبذولة في هذا المجال لم تستطع حتى الآن تحقيق التوازن المرجو بين الموارد المائية المتاحة والطلب المتزايد عليها، الأمر الذي سبب استنزافاً للمخزون المائي الجوفي وهبوطاً في مستوياته وتدهوراً في نوعيته (Green، 2001)، ولاسيما أن مشكلة الأمن الغذائي في الوقت الحاضر تُعد واحدة من أبرز المشكلات تعقيداً على المستوى الدولي والإقليمي والقطري (Hanson وزملاؤه، 2000؛ بلدية، 2005). قامت وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في سورية بمنح قروض للمزارعين من أجل تطبيق تقانة الري المطور من خلال مشروع التحول للري الحديث الذي طُبّق في معظم المحافظات السورية، ولاسيما في محافظة حمص، إذ بلغت نسبة مساحة الأراضي المروية بطرائق الري الحديث نحو 72% عام 2010 من نسبة المساحة المروية الإجمالية في حوض العاصي الأعلى البالغة 15424 هكتاراً، في حين كانت نسبتها 47% فيما بعد سد قطينة، وهذا انعكس على واقع الري وتحسين كفاءته الفعلية من 44% إلى 60% في بعض الأماكن، رغم أن الكفاءة التصميمية لأنظمة الري المضغوطة تصل إلى 85%، وذلك بسبب غياب مفهوم تطبيق جدولة الري من أذهان معظم مزارعي المنطقة (غريب، 1994؛ Molden وزملاؤه، 2007)، والذي ترافق مع تدني إنتاج معظم المحاصيل الحقلية، وترسيخ القناعة المتأصلة لدى معظم المزارعين «بأن الري الزائد يساعد على زيادة الإنتاجية»، ولكن في الواقع هم لا يهدرون الماء فحسب، بل يزيدون من تكاليف إنتاجهم، لأن هذه الأنظمة الحديثة تعتمد على الضاغط الذي يتطلب الطاقة الكهربائية أو الديزل.

تحتّم على الزراعة المروية في ضوء تزايد السكان والتنافس على المياه المتوفرة، بالإضافة لكثرة الاستعمالات الأخرى أن تنتج غذاءً أكثر بماءٍ أقل لتحقيق الأمن الغذائي (Varela-Ortega و Sagardoy، 2001؛ Roost، 2003).

إن أي تصور جدي يهدف للتوسع بالمساحات المروية وزيادة المردود الاقتصادي للمحاصيل المختلفة، لا يمكن أن يتم بمعزل عن تطوير الكفاءة الفنية والاقتصادية لاستعمالات المياه في الزراعة وترشيدها (شماخ، 2010)، إذ تم بذل جهود متنوعة في هذا المجال وكان معظمها غير مجدٍ. إن معالجة المشاكل الصعبة التي تواجه إدارة الري تتطلب فهماً أفضل للموازنة المائية داخل مشروع الري من خلال إعادة استعمال الماء غير التقليدي، ولاسيما في مناطق العجز المائي (Molden وزملاؤه، 2001؛ صومي وداود، 2001؛ مكسور، 2004)، كذلك الإلمام بالمعطيات المناخية، وخصائص التربة، ونوع النبات المزروع، وكفاءة الري المطبقة. إن التعقيد في مشاريع الري على مستوى الحوض المائي يحتاج إلى نماذج رياضية متطورة يتم من خلالها إعادة تخصيص المياه وفقاً لأولويات على صعيد المزرعة ومشروع الري والحوض كاملاً (Raes وزملاؤه، 2014). إن موديلات الري الموجودة لا تأخذ كل المصادر المائية واستخداماتها داخل الحوض بشكل كامل، مما أدى إلى تطوير وربط أنموذجين رياضيين متكاملين مع بعضهما مثل WEAP-MABIA لإدارة الموارد المائية بشكل عام، ودراسة إنتاجية الماء الزراعي بشكل خاص في جزء من حوض العاصي الأعلى.

يُعد الأنموذج (Water Evaluation and Planning Software - WEAP) أنموذجاً رياضياً طور حديثاً بالتعاون بين المعهد الفيديرالي لعلوم الأرض والموارد الطبيعية (BGR) في ألمانيا، ومعهد ستوكهولم للبيئة (SEI) في مدينة بوسطن الأمريكية، ليضع مفهوماً جديداً حول تقييم وتخطيط الموارد المائية ضمن الظروف الراهنة والمستقبلية حسب الافتراضات المقترحة من قبل المستخدم لتحقيق الموازنة البيئية والتنمية المستدامة في المنطقة المدروسة (SEI، 2012). ويستخدم كنظام متكامل لدعم القرار (DSS)، مما يساعد متخذي القرار على وضع خططهم المائية على صعيد الموارد المائية المتجددة التقليدية وغير التقليدية، بالإضافة إلى المحاكاة بين النماذج البديلة (McKinney، 2004؛ Assaf وSaadeh، 2008؛ Qin وزملاؤه، 2011). ويمكن أن يُستخدم WEAP لبناء سيناريوهات يمكن استخدامها في نماذج أخرى مثل MONERIS وQUAL2K (Hoff وزملاؤه، 2007؛ Gaiser، 2008؛ George وزملاؤه، 2011)، فطور Hoff وزملاؤه (2011) أنموذجاً رياضياً للمصادر المائية في حوض نهر الأردن باستخدام WEAP، وأشاروا إلى أثر التغير المناخي والاقتصادي والاجتماعي في العجز المائي في الحوض. كما درس Droubi وزملاؤه (2008) الموازنة المائية للموارد الجوفية والسطحية بعد ربط الأنموذج المذكور مع برنامج MODFLOW 2000 في حوض الزبداني في سورية. ولتشغيل الأنموذج بشكل صحيح يجب معايرته، وهذا يتطلب الإلمام بواقع المياه، والطلب على صعيد المزرعة، ونظام الري المطبق، وأخيراً الحوض المدروس. أما الأنموذج MABIA فقد طور ليرتبط مع الأنموذج WEAP من أجل جدولة وإدارة مشاريع الري على صعيد المزرعة، وبالتالي الحوض ككل، وهو مبني على مجموعة من المزايا والخصائص التقانية العلمية الدقيقة المتقدمة لتحديد إنتاجية المياه في الزراعة، إذ يعتمد على المدخلات المناخية بشكل يومي من أجل حساب التبخر-نتح المرجعي (ET_0)، ويأخذ بالحسبان العلاقة بين نوع النبات المزروع ونوع التربة وكفاءة الري المطبقة، بالإضافة إلى إنتاجية وثمر المحصول ضمن المساحة المزروعة بوحدة المياه. يهدف هذا البحث إلى دراسة الموازنة المائية المستقبلية في حوض العاصي الأعلى حتى عام 2050، وتحليل الإنتاجية المائية للقطاع الزراعي المستهلك الأكبر للماء المتاح، باستعمال أنموذج WEAP-MABIA في الجزء الأعلى منه، وإظهار الأثر المستقبلي جراء ذلك في تحسين واقع الزراعة في الحوض، وذلك خلال حالتين للتقلبات المناخية السائدة في المنطقة المستهدفة.

مواد البحث وطرائقه

الموقع:

تم اختيار منطقة من حوض العاصي بين الحدود السورية اللبنانية وسد قطينة في الجزء الجنوبي الغربي من محافظة حمص (سورية). على بعد 50 إلى 55 كم شرقي البحر المتوسط، و 150 كم شمالي دمشق، وتمتد بين خطي العرض $34^{\circ}18'$ و $35^{\circ}60'$ شمالاً، وخطي الطول $36^{\circ}18'$ و $37^{\circ}28'$ شرقاً، ويوجد ضمن هذه المنطقة سدان هما: زيتا (80 م.م³) وقطينة (200 م.م³)، وتغطي مساحة قدرها 2590 كم²، إذ يبلغ طول النهر 36 كم، وتشمل حوضين فرعيين [حوض بحيرة قطينة (A) وحوض وادي ربيعة (D)]، ولكل منهما خواصه الجيولوجية والهيدرولوجية والمناخية والديموغرافية (الشكل 1).



الشكل 1. الحوض المدروس وموقع الدراسة في الحوضين الفرعيين A وD.

مواد البحث:

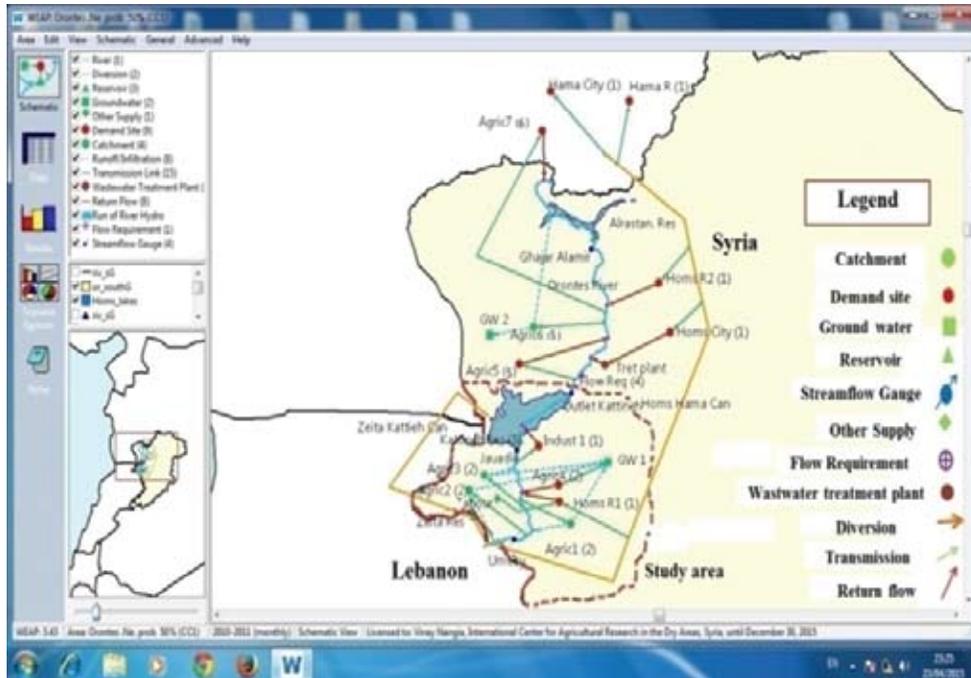
- تم جمع بيانات حول موارد المياه المتاحة سواءً كانت سطحيةً أو جوفيةً أو هطول مطري من دخول النهر للأراضي السورية عند محطة العميري حتى سد قطينة ومن ثم سد الرستن، لمدة 35 سنةً سابقةً (1975 إلى 2010)، وتحديد الاحتياجات المنزلية والصناعية والزراعية خلال العقد الماضي، بالإضافة للتبخر من المسطحات المائية والأراضي الزراعية والهامشية. إضافةً لجمع بيانات حول توصيف شبكة ري القنوات الخمس (زيتا والمعصرة والنهرية على يمين النهر، وجوسية وربلة على يسار النهر)، والشبكة البديلة عن الآبار ضمن حرم عين التنور، من الناحية الفنية وكفاءة الأداء ونقل المياه والتدفقات النهرية المارة بها، ومواصفات الخزانات والسدود، والأمر ذاته بالنسبة لشبكة ري حمص وحماه وشبكة ري تل الشور الواقعة بعد سد قطينة، والآبار الموجودة والينابيع ومخزونها الجوي، وتم توثيق ذلك من وزارة الري والمكتب المركزي للإحصاء في سورية، ووزارة الإسكان والتعمير، ووزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. وحُسبت التقديرات المستقبلية على أساس هذه البيانات بعد الموازنة في خزان سد قطينة لعام 2010.

- بيانات خاصة بأنواع المحاصيل المزروعة ضمن وحدة المساحة الفعلية المنفذة، وإنتاجيتها، وطرائق الري المطبقة عليها، والدراسات الخاصة بأنواع التربة المزروعة (المهندسين الاستشاريين العرب، 2007).

- البرمجيات المستخدمة في البحث هي WEAP و ArcGIS و NewLoc-Clim 1.10 و Excel.

طرائق البحث:

تنطوي على استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS لرسم خريطة الموقع (الشكل 2)، وتمثيل جميع البيانات ضمن أنموذج WEAP-MABIA بعد دراستها وتحليلها بما يناسب إدخالها، إذ أدخلت بشكل شهري في أنموذج WEAP. فقد تمثّل الجانب الزراعي والطلب على المياه من خلال مواقع الطلب، وكان لكل موقع خاصيته المناخية والبيولوجية والبيدولوجية، ونوع النبات المزروع وإنتاجيته وطرائق الري المطبقة، سواء من النهر مباشرةً بالضح، أو الراحة أو من خلال الشبكات أنفة الذكر، أو من خلال الآبار والينابيع (الجدول 1). وتم تحديد أولويات الطلب حسب الواقع الراهن للشبكات الموجودة، سواءً لأغراض الري أو الشرب والاستعمال المنزلي أو الصناعة، إذ تضمنت الأولوية الأولى مياه الشرب لمدينتي حمص وحماه، والجريان البيئي للنهر، والتزامات المنشآت الصناعية قبل السد. وشملت الأولوية الثانية بالإضافة إلى الأولوية الأولى احتياجات شبكات ري أعالي العاصي مع الشبكة البديلة عن الآبار ضمن حرم نبع عين التنور (مواقع الطلب الزراعي قبل سد قطينة)، في حين تضمنت الأولوية الثالثة بالإضافة إلى الأولوية الثانية احتياجات شبكة ري حمص وحماه، وتمثل مواقع الطلب الزراعي بعد تخزين المياه في سد قطينة (أولوية 4)، وفواقد التبخر والتسرب من بحيرة قطينة، والتزامات المنشآت الصناعية بعد سد قطينة.



الشكل 2. تمثيل مواقع العرض والطلب على المياه في أنموذج WEAP-MABIA.

الجدول 1. مواقع الطلب على المياه لأغراض الزراعة في حوض العاصي الأعلى والجزء المستفيد من مياهه في الأوسط.

تشمل المساحة المروية من قناتي جوسية وربلة الواقعة يمين مجرى النهر، وتبلغ مساحتها 3324 هـ، والاحتياج المائي المقدر حسب طريقة مزارع المنطقة وكفاءة النقل لشبكات الري المكشوفة (أولوية 2 قبل سد قطينة).	Agric1(2)	حوض العاصي الأعلى من الحدود السورية اللبنانية حتى سد قطينة (المنطقة المدروسة)
تشمل المساحة المروية من قنوات زيتا والنهرية والمعصرة الواقعة يسار مجرى النهر، وتبلغ مساحتها 3525 هـ، والاحتياج المائي المقدر حسب طريقة مزارع المنطقة وكفاءة النقل لشبكات الري المكشوفة. (أولوية 2 قبل سد قطينة).	Agric2(2)	
تشمل المساحة المروية من نهر العاصي بالضح والراحة، وتبلغ مساحتها 448 هـ. (أولوية 2 قبل سد قطينة).	Agric3(2)	
تشمل المساحة المروية من المياه الجوفية (أبار+ينابيع)، وتبلغ مساحتها 8127 هـ. (أولوية 2 قبل سد قطينة).	Agric4(2)	
تشمل المساحة المروية من قناة ري تل الشور، وتبلغ مساحتها 148 هـ. (أولوية 5 بعد سد قطينة).	Agric5(5)	الجزء من حوض العاصي الأوسط المستفيد من مياه العاصي الأعلى بعد سد قطينة
تشمل المساحة المروية من شبكة ري حمص- حماه في حمص، تبلغ مساحتها 13093 هـ. (أولوية 5 بعد سد قطينة).	Agric6(5)	
تشمل المساحة المروية من شبكة ري حمص- حماه في حماه، وتبلغ مساحتها 7500 هـ. (أولوية 6 بعد سد قطينة).	Agric7(6)	

- تم إعطاء أفضليات التزويد (Supply Preference) وفق ما يلي: مياه الشرب لحمص وحماه وريفها والتدفق البيئي: أفضلية 1، وتزويد المياه للري: أفضلية 2، وتزويد المياه للصناعة: أفضلية 3.

- تم تحليل السلسلة الزمنية للواردات المائية [السطحية والجوفية والهطول المطري والمسيلات الجانبية (الجريانات السطحية)] بأسلوب Box-Jenkins، الذي يأخذ بعين الاعتبار المتوسطة المتحركة، والتوزيعات الاحتمالية، مثل التوزيع الطبيعي (Ghos)، والتوزيع التجريبي (Kritski-Menkel)، وتوزيع بيرسون (3)، وهي ملائمة للبيانات المتاحة خلال 35 سنة سابقة، وسُجل ما يشبه ذلك من قبل UNDP (2004)، إذ أن معادلات التوزيع الطبيعي (Ghos) كانت باستعمال دالات برنامج Excel كالآتي:

عند احتمال واردات 50 % (mean. StDev) 0.50 NORMINV (حالة السنوات الطبيعية).

عند احتمال واردات 75 % (mean. StDev) 0.25 NORMINV (حالة السنوات الجافة).

عند احتمال واردات 95 % (mean. StDev) 0.05 NORMINV (حالة السنوات الجافة جداً).

في حين كانت معادلة التوزيع الهيدرولوجي التجريبي (Kritski-Menkel):

$$P_m = 100 * m / (n + 1)$$

حيث **m**: السنة المختبرة، و **n**: عدد السنوات المختبرة [35 سنة من 1975 إلى 2010].

أما توزيع بيرسون (3) فاعتمد على جداول معامل الانعراج وبعض المعادلات الرياضية، وتم التنبؤ المستقبلي للواردات بعد استخدام نتائج توزيع بيرسون (3) لحالتي السنوات الجافة (احتمال واردات 75 %)، والسنوات الجافة جداً (احتمال واردات 95 %)، وإدخال البيانات بشكل شهري في أنموذج WEAP، سواء للوارد السطحي الداخل أو الجوفي أو المسيلات الجانبية.

- تم تحديد الاحتياجات للمحاصيل المزروعة في كل موقع زراعي باستخدام الأنموذج MABIA من حيث المناخ مع مراعاة كفاءات الري المطبقة عام 2010، واستنتجت إنتاجية المياه الناتجة عن الأنموذج، ومقارنتها بما يُطبق من قبل مزارعي المنطقة في ظل الظروف السائدة. في حين تم تحديد الطلب على المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي وفقاً لمعدلات النمو السكاني، وعليه قسمت مواقع الطلب إلى مدينة حمص بمعدل نمو قدره 2.35 %، وريف حمص 1 [مدينة القصور (2.77%)، وريف حمص 2 [زيدل وفيروزة والمناطق الأخرى وصولاً إلى منطقة نجر الأمير قبل سد الرستن (5.15%)، ومدينة حماه (2.3%)، وريف حماه (3.42%)]. وبناءً على ذلك درست الزيادة المستقبلية للطلب وفق الأنموذج WEAP-MABIA، فبلغت المتطلبات الإجمالية عام 2010 نحو 125.7 م³. في حين عُدت الاحتياجات - على صعيد القطاع الصناعي - متزايدة في الأعوام القادمة حسب نسب تزايد المشاريع الصناعية في سورية بشكل عام وفي محافظة حمص (المنطقة الوسطى) بشكل خاص، والتي تقدر بـ 2 % حتى عام 2050 وفقاً لإحصائيات CBS-SYR (2011).

- تم إدخال المواصفات الفنية والهيدرولوجية للسدود والخزانات بالأنموذج، بالإضافة إلى إدخال مفهوم الاستفادة من المياه الجوفية، والتي تمثلت بينايب عين التور والمصدر الجوفي GW1 في الفرع A و GW2 في الفرع B بعد الإلمام بعدد الآبار المرخصة فيهما والمواصفات الفنية لكل عقدة (مصدر المياه الجوفية)، وقد تم وضع شرط متطلبات التدفق البيئي في نهر العاصي بعد سد قطينة، بتدفق أدنى قدره 1 م³/ثا.

- تمت دراسة السيناريوهات المستقبلية التالية على صعيد الحوض الفرعي حتى عام 2050 حسب الإمكانيات المتوفرة، وعند حالتين للتقلبات المناخية [حالة السنوات الجافة (CC1)، وحالة السنوات الجافة جداً (CC2)] الناتجتين من تحليل السلسلة الزمنية للواردات حسب توزيع بيرسون 3:

1- **السيناريو المرجعي (RF)**: يفترض أن الطلب على المياه سيتزايد باستمرار حسب تزايد السكان والنمو الصناعي مع المحافظة على المساحات المروية عام 2010، وعدم تغيير التقانات الموجودة حتى عام 2050، إذ لا يوجد أي تطورات جديدة أو تحسينات بأنظمة مياه الشرب والصرف الصحي وكفاءة شبكات الري.

2- **سيناريو التقانات المتاحة الأفضل (BAT)**: يعتمد على استخدام التقانات الأفضل المتاحة، كطرائق الري الحديث، ودارات الماء المغلقة في الصناعة، وتحسين شبكات مياه الشرب، والاستخدام المنزلي برفع كفاءتها إلى 75% بدلاً من 64% (واقع راهن)، مع تخفيض حصة الفرد لتصل إلى 110 ل/يوم في المدينة و85 ل/يوم في الريف في عام 2050، حسب توصيات منظمة الصحة العالمية (WHO، 2006).

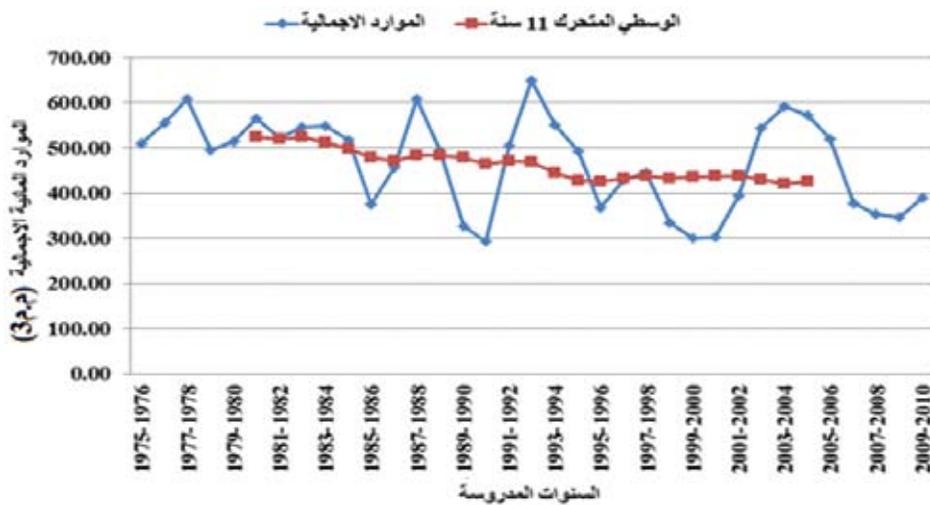
3- **سيناريو التقانات المتطورة (HT)**: يعتمد على السيناريو السابق بعد رفع كفاءة شبكات مياه الشرب والاستخدام المنزلي إلى 85% بدلاً من 75%، بالإضافة إلى رفع كفاءة الري إلى 85% باستبدال شبكات الري المكشوفة القديمة بالشبكات الأنبوبية المضغوطة لتقليل الفاقد بالتبخر والتسرب، ورفع كفاءة نقلها للمياه من 45% (واقع راهن) إلى 85%.

- تم معايرة الأنموذج بإدخال بيانات كاملة عن مواقع الموارد المائية والطلب المائي عليها عام 1998، وتشغيله ودراسة توقعات الطلب المستقبلي حتى عام 2010، ومقارنة ذلك بنتائج الواقع الفعلي.

النتائج والمناقشة

1- السلسلة الزمنية للموارد المائية التقليدية المتجددة وفقاً لأسلوب بوكس- جنكنز (Box-jenkins):

بلغ متوسط إجمالي الموارد (سطحية ومسيلات سطحية جانبية وجوفية) خلال السنوات الهيدرولوجية المدروسة 468.42 م³، مع الأخذ بعين الاعتبار السنوات الماطرة الجافة وشبه الجافة والجافة جداً، ومن خلال دراسة وتحليل المتوسطة المتحركة لـ 11 سنة للموارد المائية الإجمالية في منطقة الدراسة لوحظ وجود انخفاض في الموارد المائية الإجمالية (الشكل 3).



الشكل 3. تحليل الموارد المائية الإجمالية باستخدام أسلوب بوكس - جنكنز.

تم إجراء التحليل الإحصائي للواردات المائية التقليدية المتجددة، خلال الفترة المذكورة أعلاه، وأدرجت النتائج في الجدول 2. وهذا يتوافق مع نتائج UNDP (2004).

الجدول 2. البيانات الإحصائية للموارد المائية التقليدية المتجددة.

إجمالي الواردات	الواردات الجوفية	المسيلات السطحية الجانبية	الموارد السطحية الداخلة لسورية	البيان
468.42	100	25.14	343.28	متوسط الواردات (م.م ³ /سنة)
101.31	15	18.99	83.71	الانحراف المعياري
0.216	0.15	0.755	0.24	معامل الاختلاف Cv
-0.257	0	1.621	-0.23	معامل الانعراج Cs

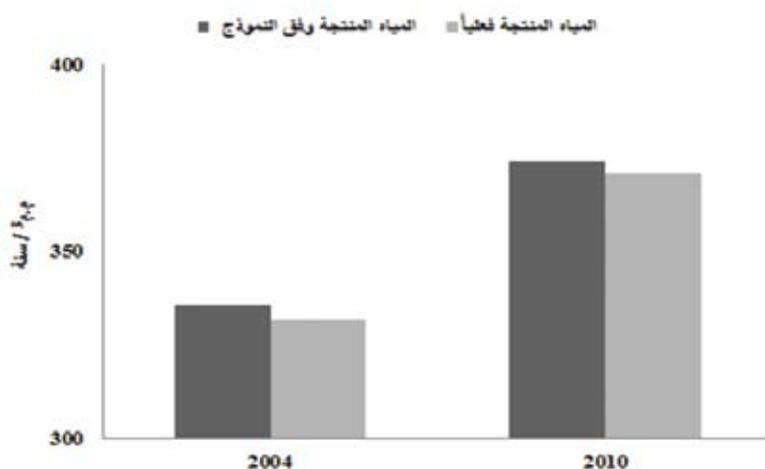
يُلاحظ من خلال تحليل نتائج الاحتمالات لجميع أشكال الواردات التقليدية المتجددة، أن هناك تقارباً بين قيم الواردات عند الاحتمالات المدروسة كافةً (الاحتمال التجريبي الهيدرولوجي، والتوزيع الطبيعي، وتوزيع بيرسون 3)، وهذا يدل على دقة التحليل وإتباع القوانين الهيدرولوجية الرياضية الصحيحة في حساب البيانات الغائبة (الفجوات) (الجدول 3).

الجدول 3. احتمال الواردات المائية الإجمالية (م.م/3سنة).

الاحتمالات	توزيع تجريبي هيدرولوجي	توزيع طبيعي (غوص)	توزيع بيرسون 3
%50	487.93	468.42	466.29
%75	366.83	388.89	388.84
%95	284.01	274.96	281.25

2. معايرة الأنموذج:

تم اختيار عام 1998 سنة مرجعية لتوفر معلومات كاملة لزوم المعايرة، من حيث الواردات الداخلة للمنطقة المستهدفة، والاحتياجات اللازمة لمواقع الطلب الزراعي والصناعي والشرب والاستخدام المنزلي، كذلك بالنسبة للعامين 2004 و 2010، إذ أظهرت النتائج أن هنالك تقارباً كبيراً بين المياه المضخوخة في الشبكات لتلبية أغراض الطلب فعلياً، وبين توزيعها وفق الأنموذج حسب الأولويات الموضوعية، فبلغت نسبة التقارب 98.85% في عام 2004، و 99.23% عام 2010، ويعود سبب الفروقات البسيطة بين الواقع والأنموذج إلى تخفيض حصة مياه الشرب والاستخدام المنزلي بعد عام 1998، نظراً لانخفاض الواردات المائية. وبالتالي فإن نتائج الأنموذج مقبولة ومقاربة لنتائج الواقع الفعلي (الشكل 4).



الشكل 4. المقارنة بين توزيع المياه وفق الأنموذج والواقع الفعلي للاستخدامات كافةً (م.م/3سنة) في العاصي الأعلى.

3. الموازنة المائية الإجمالية خلال الأعوام المدروسة الداخلة في عملية المعايرة:

من خلال دراسة الموازنة المائية، وذلك بمقارنة الواردات المائية الإجمالية في منطقة الدراسة بالاحتياجات الإجمالية خلال السنوات المذكورة (1998، 2004، 2010)، يُلاحظ عدم وجود عجز في تغطية مواقع الطلب على المياه في أعالي العاصي في الواقع الفعلي (الجدول 4).

الجدول 4. الموازنة المائية في الواقع للأعوام 1998، 2004 و 2010 (م.م/3سنة) للفرعين A و D.

البيان	1998	2004	2010
الواردات	446.23	566.90	389.38
الاحتياجات	303.0	331.64	371.02
الرواجع	46.7	58.7	74.64
الفائض	189.9	204.6	93

أما في الأنموذج فقد ظهر العجز من عام 2004 إلى عام 2010 على صعيد الطلب المائي الزراعي، ويعود سبب الاختلاف بين الواقع والأنموذج إلى أنه في الواقع تمت دراسة الموازنة السنوية بشكل إجمالي لعدم توفر معلومات شهرية دقيقة، ويتطلب ذلك جهداً كبيراً، بينما في الأنموذج تُدرس الموازنة على صعيد الأشهر، إذ يزداد الطلب على المياه اعتباراً من شهر نيسان (أبريل) حتى أيلول (سبتمبر)، أي عندما تقل الواردات المائية، وبالتالي يكون هناك عجز فعلي في هذه الأشهر في تغطية احتياجات مواقع الطلب الزراعي من المياه في أعالي العاصي (الفرعان A و D)، ويتم تغطية العجز في الواقع بالاستمرار الجائر من المياه الجوفية. ويتم تخزين المياه في سد قطينة عندما يقل الطلب على المياه من شهر تشرين 1 (أكتوبر) حتى آذار (مارس)، وإذا قورن العجز في الأنموذج مع المياه المخزنة في سد قطينة، يُلاحظ عدم وجود عجز فعلي في السنوات المدروسة، وبالتالي فإن نتائج الموازنة وفق الأنموذج مقبولة ومقاربة لنتائج الواقع الفعلي (الجدول 5). وبناءً على ذلك تم اختيار عام 2010 سنة مرجعية في هذا البحث، وعليه دُرست السيناريوهات المذكورة أدناه.

الجدول 5. مقارنة بين العجز والوارد إلى قطينة وفق الأنموذج (م.م³/سنة).

البيان	2004	2010
العجز	61.36	76.77
الوارد إلى قطينة	204.6	158.75

4. نتائج السيناريوهات المدروسة :

أ. حالة السنوات الجافة (CC1): وهي عند احتمال 75% للواردات المائية (سطحية وجوفية ومسيلات جانبية وهطول مطري)، وسيتم تسليط الضوء على هذه الحالة لأنها حالة معظم السنوات في العقود القادمة، حسب دراسة كل من UNDP (2004) و Trondalen (2009) و Evans و Wasimi (2010) و Breisinger وزملائه (2011).

- السيناريو المرجعي: سيبدأ العجز في تأمين احتياجات الري للزراعة 4 (Agric4) التي تُستجر من المياه الجوفية عام 2010، إذ سيتم تخفيض حصتها من المياه من 8.5 م.م³ إلى 40.5 م.م³ عام 2050، أي بنسبة 64.8% من احتياجات مياه الري البالغة 62.45 م.م³/سنة. وكذلك الأمر بالنسبة لمواقع الطلب على الماء الزراعي الأخرى ولكن بنسب مختلفة حسب الاحتياج المائي للموقع. أما على صعيد مياه الشرب والاستعمال المنزلي فسيبدأ العجز من عام 2030 بنسب قليلة ويزيد إلى أن يصل إلى 100.9 م.م³ عام 2050، وستكون هذه النتائج عند هذه الحالة للوارد المائي المدروس حسب التقلبات المناخية الناتجة من تحليل السنوات الـ 35 السابقة (الجدول 6).

الجدول 6. العجز المتوقع عند الحالة (CC1) حسب الأنموذج (م.م³) في السيناريو المرجعي.

البيان	2010	2020	2030	2040	2050
زراعة 1 (Agric1)	4.9	13.1	21.6	25.3	31.5
زراعة 2 (Agric2)	15.9	21.2	29.3	33.4	41.5
زراعة 3 (Agric3)	0.0	0.0	0.0	0.5	1.2
زراعة 4 (Agric4)	8.5	23.2	29.1	32.7	40.5
زراعة 5 (Agric5)	0.9	1.5	1.5	1.5	1.6
زراعة 6 (Agric6)	0.0	55.4	55.4	55.4	55.5
زراعة 7 (Agric7)	0.9	23.7	14.5	9.6	5.4
مياه الشرب لحمص وحماه وريفهما	0.0	0.0	1.5	42.3	100.9
صناعة	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
المجموع	31.1	138.1	152.9	200.6	278.1

وعند المقارنة بالدراسات الحديثة الخاصة بالحوض المدروس (رعد، 2013)، والتي تتمخض بحساب الموازنة المائية السطحية لعام 2010، والتوقع المستقبلي حتى عام 2030 باستخدام السلاسل الزمنية وأسلوب بوكس - جنكز، تبين أنه لا يوجد عجز عند احتمال واردات مائية 75% خلال الأعوام المدروسة (2011 إلى 2030) بعد تحسين كفاءة الري إلى 75%. وهذا يناقض ما هو على أرض الواقع، إذ يُلاحظ أن نسبة تطبيق نظم الري الحديث من قبل المزارعين تتجاوز 72% من المساحة المروية، وهذه الأنظمة تبلغ كفاءتها التصميمية (أكثر من 85%). في حين ظهر العجز

عام 2010 في النموذج، إذ لاتغطي الموارد المائية في أشهر الصيف [من شهر أيار (مايو) حتى شهر أيلول (سبتمبر)] الطلب على المياه للأغراض الزراعية في حالة السنوات الجافة، ويُعد عام 2010 جافاً، ناهيك عن الكفاءة المنخفضة لنقل المياه في مشاريع الري الكبيرة كالتقنوات الخمس، وهذا يؤكد دقة النموذج في إعادة توزيع المياه وفقاً لأولويات مواقع الطلب، وأخذ كفاءتي الري وشبكات مياه الشرب والاستعمال المنزلي المطبقة بعين الاعتبار. ويادخل الموارد غير التقليدية حسابياً في الموازنة يجب أن يكون الداخل إلى سد قطينة عام 2010:

$$391 \text{ (الواردات المائية التقليدية المتجددة) } + 68.9 \text{ (الموارد غير التقليدية) } - 301.8 \text{ (الاحتياجات) } = 158.1 \text{ م}^3/\text{سنة}$$

أما في النموذج فيلاحظ أن الداخل إلى سد قطينة كان مساوياً لـ 178.6 م³.م. وبتحليل طريقة النموذج في معالجة الواردات المائية يُلاحظ أن النموذج خفض حصة الزراعة 4 (Agric4) بمقدار 8.5 م³.م، وبالتالي انخفضت رواجع الري بمقدار 0.85 م³.م، وأضاف إلى المياه الجوفية التسرب من السد وقدره 12.62 م³.م، كما تم استجرار جائر من المياه الجوفية مقداره 0.2 م³.م، وبذلك يكون الناتج هو:

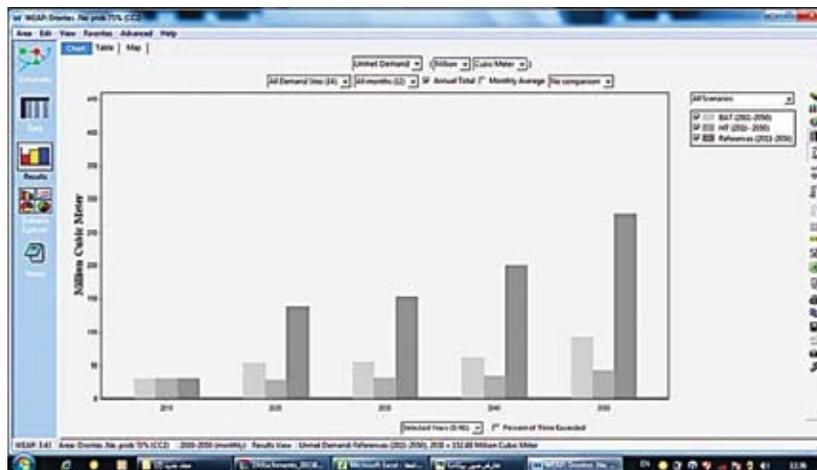
$$391 + 12.62 + (8.5 - 301.8) - 0.85 = 178.6 \text{ م}^3 \text{ (وهو الداخل إلى السد).}$$

ونتيجة زيادة الطلب على المياه ستخفض كمية المياه الواردة إلى سد قطينة من 178.6 م³.م عام 2010 إلى 123.3 م³.م عام 2050، وبعد حسم الفوائد والتسرب يكون الخارج من السد قد تناقص من 99.7 م³.م عام 2010 إلى 44.5 م³.م عام 2050 (الجدول 7). وإذا أخذ احتياج المنشآت الصناعية الواقعة بعد السد، واحتياج شبكتي ري حمص وحماه وتل الشور، ومتطلبات التدفق البيئي والضياع (تبخر وتسرب) من السد والبالغة قيمتها 202 م³.م/سنة بعين الاعتبار، يُلاحظ أنه يمكن تغطية الاحتياجات المائية لمواقع الطلب الموجودة ما بعد السد بنسبة 22 % عام 2050، وحتى إذا تم فصل شبكة ري حماه عن شبكة ري حمص لا يمكن تغطية العجز، وهذا يتناقض مع نتائج رعد (2013)، وهنا يبرز دور مصدر المياه الجوفية الموجودة (GW2) في الحوض الفرعي (B) من خلال الاستنزاف الجائر من الآبار غير المرخصة في المنطقة، والتي تجاوز عددها 20 ألف بئر لتلبية الطلب، وهذا يتوافق مع نتائج ESCWA-BGR (2012) و Kibaroglu وزملائه (2005).

الجدول 7. التخزين المتوقع في سد قطينة عند الحالة (CC1) (م³.م) في السيناريو المرجعي.

البيان	2010	2020	2030	2040	2050
الوارد إلى السد	178.6	157.3	147.0	136.0	123.3
الخارج من السد	-99.7	-76.9	-66.5	-55.5	-44.5
التسرب	-12.6	-12.6	-12.6	-12.6	-12.6
التبخر الصافي	-66.3	-67.8	-67.9	-67.9	-67.7
المخزن في السد	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.8

- سيناريو التقانات المتاحة الأفضل (BAT): انخفضت قيم العجز بنسبة 63 % مقارنةً بالسيناريو المرجعي (الشكل 5)، فانزاحت النقطة الحرجة على صعيد الأولوية الأولى حتى عام 2050 لتبلغ أعلى قيمة (5.82 م³.م) في ريف حمص 2 ومدينة حماه، وكذلك الأمر بالنسبة للأولوية الثانية في الزراعات 1 و 2 و 3 لتصل أعلى قيمة عجز إلى 12.24 م³.م، في حين ازداد العجز في الزراعة 4 (Agric4) المعتمدة بشكل كلي على المياه الجوفية ليبلغ 31.68 م³.م عام 2050. وكذلك بقيت قيم العجز واضحة في الأولوية الثالثة لكن بشكل منخفض عن السيناريو السابق أيضاً.



الشكل 5. قيم العجز المتوقعة عند السيناريوهات الثلاثة حتى عام 2050 في حالة السنوات الجافة (CC1).

- سيناريو التقانات المتطورة (HT): انخفضت قيم العجز بنسبة 80 % مقارنةً بالسيناريو المرجعي (الشكل 5)، واختفى العجز على صعيد التزامات الأولوية الأولى، في حين بقي هناك عجز ملموس في الأولوية الثانية في الزراعة 4 (Agric4) نتيجة استنزاف المياه الجوفية عبر العديد من الآبار، أما بالنسبة للأولوية الثالثة فانخفضت قيم العجز حتى 11.35 م³م عام 2050، وفي حال تم فصل شبكة ري حماه عن شبكة حمص، وتنفيذ محطة ضخ لها من سد الرستن يُمكن خفض قيمة هذا العجز، ولا يمكن تغطيته بالكامل.

ب. حالة السنوات الجافة جداً (CC2) وهي عند احتمال واردات مائية 95 %:

- السيناريو المرجعي: يُلاحظ أن العجز كان واضحاً على صعيد الأولويات كافةً وجميع مواقع الطلب من عام 2010 وحتى عام 2050 (الجدول 8).

الجدول 8. العجز المتوقع عند الحالة (CC2) حسب الأنموذج (م.م³) في السيناريو المرجعي.

البيان	2010	2020	2030	2040	2050
زراعة 1 (Agric1)	15.2	23.1	23.2	23.2	23.2
زراعة 2 (Agric2)	32.4	43.5	43.5	43.5	43.5
زراعة 3 (Agric3)	1.4	2.4	2.4	2.4	2.4
زراعة 4 (Agric4)	18.9	28.8	28.8	28.8	28.8
زراعة 5 (Agric5)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
زراعة 6 (Agric6)	11.8	66.5	66.5	66.5	66.5
زراعة 7 (Agric7)	14.6	31.9	32.3	32.7	33.1
مياه الشرب لحمص وحماه وريفهما	1.7	19.3	67.8	133.4	222.5
صناعة ومتطلبات التدفق البيئي	1.2	2.3	2.3	2.3	2.3
المجموع	98.8	219.5	268.5	334.4	424.0

يُلاحظ هنا أنه تم تأمين التدفق البيئي اللازم عام 2050، فكان حجم الخارج من السد 31.6 م³م، بالإضافة إلى المياه الصافية التي خزنت في السد عام 2010 (0.8 م³م)، بعد حذف الاستجرات التي تمت في الأعوام التالية (الجدول 9).

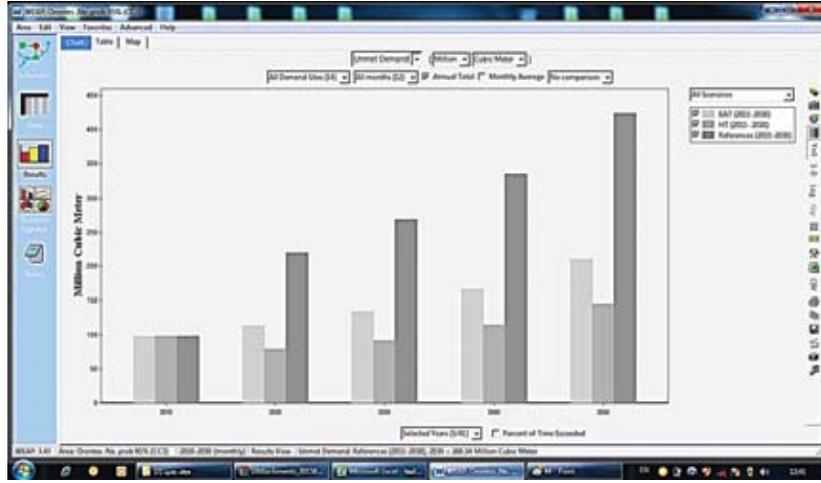
الجدول 9. التخزين المتوقع في السد عند الحالة (CC2) (م.م³) في السيناريو المرجعي.

البيان	2010	2020	2030	2040	2050
الوارد إلى السد	154.5	147.1	138.4	127.1	115.2
الخارج من السد	-71.8	-64.4	-56.6	-45.1	-31.6
التسرب	-12.6	-12.6	-12.6	-12.6	-12.6
التبخر الصافي	-69.3	-69.1	-69.1	-69	-69.04
المخزن في السد	0.8	1	-0.1	-0.4	-2.00

وعند المقارنة بين نتائج السيناريوهين المرجعيين في الحالتين الأولى (CC1) والثانية (CC2) من حيث التبخر الصافي من سطح بحيرة قطينة، والذي يعبر عن (قيمة التبخر من سطحها - كمية الهطول عليه حسب مدخلات الأنموذج)، يُستنتج أثر التقلبات المناخية في زيادة التبخر الصافي كقيمة مطلقة من 67.8 م³م إلى 69.1 م³م، وهذا يتوافق مع نتائج Mourad (2012b).

- سيناريو التقانات المتاحة الأفضل (BAT): انخفضت نسبة العجز للنصف تقريباً وكانت بحدود 46 % مقارنةً بالسيناريو المرجعي (الشكل 6)، وبقي العجز واضحاً على صعيد الأولويات الثلاث في هذا السيناريو من بداية عام 2010.

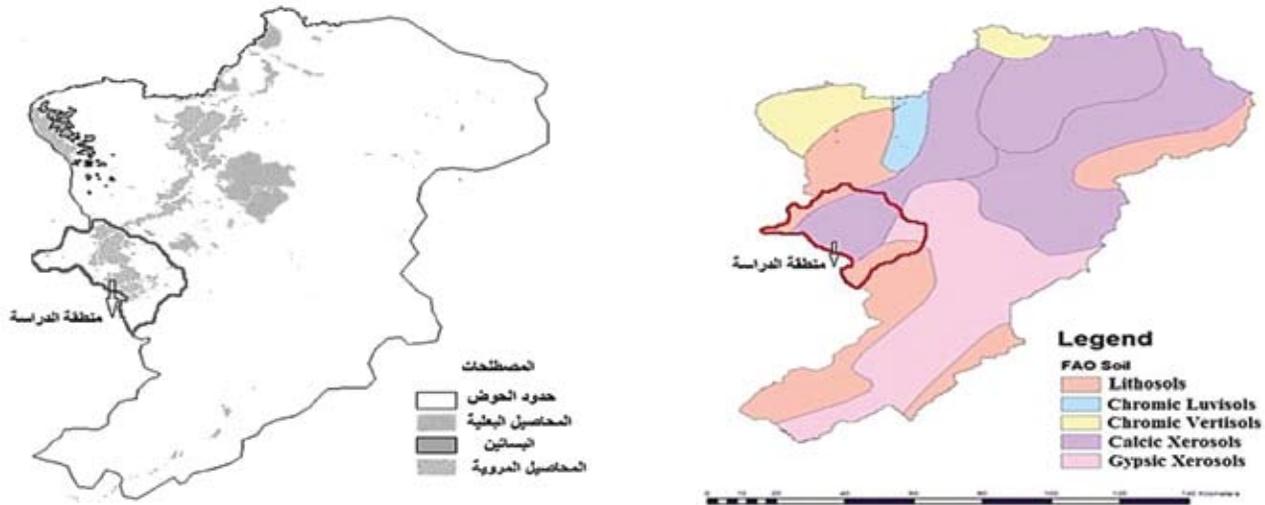
- سيناريو التقانات المتطورة (HT): يُلاحظ أنه حتى لو طبقت أفضل التقانات المتاحة، لا يمكن تغطية العجز على صعيد جميع الأولويات، لكن يمكن تخفيضه بنسبة 61 % مقارنةً بالسيناريو المرجعي (الشكل 6).



الشكل 6. قيم العجز المتوقعة عند السيناريوهات الثلاثة حتى عام 2050 في حالة السنوات الجافة جداً (CC2).

5. تحليل خواص التربة والمناخ والنبات المزروع وكفاءة الري المطبقة في المنطقة المدروسة:

أظهرت النتائج في الحالتين (CC1 و CC2) وجود عجز مائي، وكانت أقل قيمة للعجز عند تطبيق السيناريو HT، إذ انخفضت قيمة العجز بنسبة 80 % مقارنة بالسيناريو المرجعي في الحالة الأولى، وبنسبة 61 % في الحالة الثانية. وعند النظر في الجانب الزراعي المستهلك الأكبر للمياه، يُلاحظ أن معظم مواقع الطلب الزراعي تعاني من عجز مائي ملموس منذ بداية عام 2010 مقارنة بالطلب المنزلي والصناعي اللذين تم تغطية العجز فيهما في الحالة الأولى، وهذا سيقود لتعميق دراستنا أكثر والانتقال من صعيد الحوض إلى دراسة منظومة الري الزراعي وتطبيقاتها في المنطقة، ومقارنة ذلك بنتائج نموذج MABIA المربوط مع أنموذج WEAP₂₁ لتتصّل أسباب العجز في القطاع الزراعي، وإظهار إنتاجية المياه الفعلية للمحاصيل المزروعة، ومقارنة ذلك بما يُنفذ من قبل مزارعي المنطقة المدروسة. وباستعمال برنامج ArcGIS تم تمثيل مخططي تصنيف وتغطية التربة بالاعتماد على بيانات تم مسحها من الحوض المدروس حتى عام 2010 (الشكل 7).



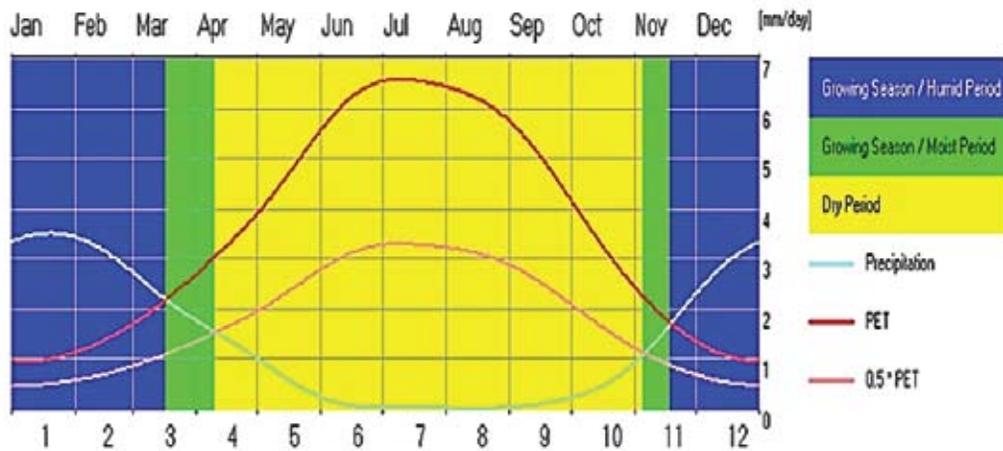
الشكل 7. مخططا تصنيف وتغطية التربة على صعيد الحوض ككل والمنطقة المدروسة.

يتبين وجود ثلاث مجموعات للتربة في المنطقة المدروسة وفقاً لتصنيف FAO (1979)، وتشكل المجموعة Calcic Xerosols النسبة الأكبر، إذ أن الصخرة الأم هي مارل البليوسين مغطاة بترب حمراء اللون طينية ثقيلة ناتجة عن الإنجراف السفحي لجبال لبنان التي تجاورها على يسار النهر، وتزداد نسبة الحصى الكلسية والرمل بالإتجاه نحو الشرق على يمين النهر نتيجة الوديان والسيول اللحقية، فتبدو التربة صفراء اللون متوسطة إلى خفيفة في حوض وادي ربيعة. وبحسب مثلث القوام والدراسة التي أعدت من قبل مديرية الموارد المائية في حمص (المهندسين الاستشاريين العرب، 2007)، والتي شملت تحليل 86 مقطعاً، اختلفت أنواع ترب المنطقة المدروسة بالتدرج من الترب الطينية إلى الترب الرملية (الجدول 10).

الجدول 10. متوسط قيم تحليل خمسة أعماق من سطح التربة حتى العمق 100 سم لأنواع ترب المنطقة المدروسة.

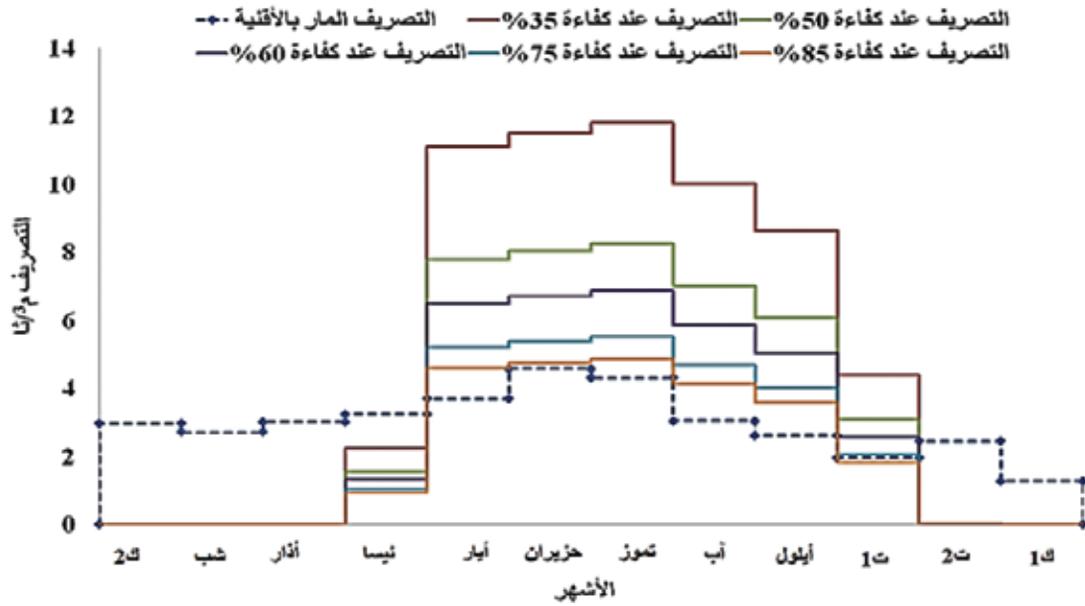
مادة عضوية (%)	ملوحة التربة EC_e (ds/m)	الماء المتاح للتربة (ملم/م)	حد ذبول حجمي (%)	سعة حقلية حجمية (%)	كثافة ظاهرية (غ/سم ³)	التحليل الميكانيكي للتربة			نوع التربة حسب مثلث القوم
						طين (%)	سنت (%)	رمل (%)	
0.98	0.48	186.7	20.62	39.29	1.24	61.4	18.83	19.77	طين
1.45	0.55	171.3	18.56	35.69	1.26	37.2	44.4	18.4	لوم طيني سلتي
1.51	0.64	161.9	17.48	34.03	1.29	35.75	30.67	33.58	لوم طيني
1.77	0.57	159.8	17.3	33.28	1.35	23.8	34	42.2	لوم
0.56	0.12	81.3	6.93	15.06	1.49	8	6.4	85.6	رمل لومي
0.39	0.13	78.6	6.18	14.04	1.51	5	2.56	92.44	رمل

يُلاحظ أن هذه التربة فقيرة بالمادة العضوية، ومنخفضة الملوحة وفقاً لنتائج الزعبي وزملائه (2013). وعند مقارنة ثوابت الرطوبة (السعة الحقلية، حد الذبول، والماء المتاح) بكل من نتائج Evans وزملائه (1996) و Reddy (2004) يُلاحظ وجود تقارب واضح بين القيم وفقاً لأنواع التربة، ويعود الاختلاف البسيط إلى وجود تفاوت في بناء أنواع التربة الستة، وبالتالي فإن حجم الماء الممسوك في التربة يعتمد بشكل رئيس على بنائها وقوامها، وبعد المسح الظاهري للمنطقة المدروسة تبين تركيز المحاصيل المروية على جانبي النهر (الشكل 7)، وبلاستعانة ببرنامج (NewLoc-Clim 1.10) تبين وجود عجز مائي خلال الأشهر من آذار (مارس) حتى تشرين أول (أكتوبر) عند المقارنة بين التبخر-نتح المرجعي الحاصل من حوض كلاس A والهطول المطري (الشكل 8).



الشكل 8. العجز المائي بين الهطول المطري والتبخر-نتح المرجعي الحاصل من حوض البحر كلاس A (متوسط السنوات العشر الأخيرة من 2000 إلى 2010 في موقع الدراسة).

ولتحقيق هدف الدراسة في تحليل إنتاجية المياه، يُلاحظ من خلال تقييم كفاءة الري لشبكة القنوات الخمس والشبكة البديلة عن الآبار ضمن حرم عين التنور أن كفاءة الري للجزء البيتوني تراوحت بين 76.7 و 91.1 %، أما كفاءة الري للجزء الترابي فبلغت نحو 39.1 %، وبلغت الكفاءة الوسطية المفترضة لمنظومة الكنتف الأيسر للنهر 34.3 % تقريباً، في حين بلغت 43 % لقنوات الكنتف الأيمن إذا تم تأمين كامل احتياج النبات الصافي. وقد وصلت كمية المياه المقدمة للهكتار من المياه السطحية في بعض الأماكن إلى 18762 م³ عند كفاءة ري 35 % و 15089 م³ بكفاءة بلغت 43 % نتيجة ضعف وعي المزارعين في المنطقة وتمسكهم بفكرة "أن الري الزائد يزيد الإنتاج"، وتم الاستمرار العشوائي من النهر عن طريق الضخ أو الراحة، في حين أن الكمية اللازم استجراها لتأمين الحاجة الزراعية يجب ألا تزيد عن 12400 م³/هـ عام 2010، وذلك وفقاً لحاجة المحاصيل المزروعة وعند أدنى كفاءة ري مستعملة (35 %). وترافق تدني كفاءة نقل المياه بخلل الإدارة والتوزيع على الصعيد الشهري حسب حاجة المحاصيل المروية، إذ يُلاحظ عند تحليل معظم الكفاءات بحسب أنظمة الري الحديث والتقليدي المطبقة أن التصريف المار في القنوات الخمس في شهر تموز (يوليو) كان بحدود 4.299 م³/ثا، بينما بلغ التصريف اللازم 8.251 م³/ثا عند كفاءة ري 50 % في الشهر نفسه، أي أن نسبة العجز بلغت 47.89 %، في حين كان هنالك فائض عن حاجة النبات في الأشهر من تشرين أول (أكتوبر) حتى آذار (مارس) (الشكل 9).



الشكل 9. التصريف المار بالقنوات الخمس، والتصريف اللازم لري محاصيل المنطقة المدروسة حسب قيم مختلفة لكفاءات الري.

6- دراسة جدولة الري وإنتاجية الماء الزراعي في المنطقة المدروسة باستعمال نموذج WEAP-MABIA.

من خلال إدخال معظم البيانات الخاصة بالمناخ بشكل يومي، ونوع النبات المزروع، وخواص التربة، وإنتاجية المحصول حسب كمية وكفاءة الري المطبقة وفق الأنظمة السائدة في كل موقع طلب زراعي (Catchment) في الأنموذج كما في الشكل 2، تبين أنه أعطى نتائج تطبيقية أكثر دقة مقارنة بما يُطبق من قبل المزارعين على مختلف المحاصيل المزروعة في مختلف أنواع الترب. ويشير الجدول 11 إلى تلك النتائج على محصول البطاطا الخريفية خلال مراحل نمو المحصول من حيث جدولة الري في أحد أنواع ترب منطقة الدراسة (تربة طينية).

وبتطبيق الأنموذج على معظم المحاصيل السائدة في المنطقة، يُلاحظ أن إنتاجية المياه كانت عالية باستعمال أنظمة الري المضغوطة مقارنة بالري السطحي، بعد الأخذ بعين الاعتبار نوع التربة والمحصول المزروع وكفاءة الري المتبعة (الجدول 12). إذ يوفر الري بالرش باستخدام الأنموذج 20 %، والري بالتنقيط نحو 36 % من المياه المستعملة مقارنة بطريقة الري السطحي التقليدي، هذا على اعتبار أن كفاءة الإضافة 60 % للري السطحي و 80 % للري بالرش و 90 % للري بالتنقيط، ولكن عند أخذ كفاءة نقل المياه من شبكة ري القنوات الخمس المكشوفة، والتي لا تتجاوز 45 % لإيصال الماء اللازم للنبات، يُلاحظ أن كفاءة الري ستصبح 27 % للري السطحي، و 36 % للري بالرش، و 40 % للري بالتنقيط، وهذا يجعل كفاءة الري بالتنقيط قريبة للري السطحي. لذا اقترح السيناريو BAT والسيناريو HT أعلاه وذلك لرفع كفاءة الري المطبق على صعيد الحقل المزروع. ولكن بالرغم من اقتراح هذين السيناريوهين مازال هنالك عجز في تلبية احتياجات القطاع الزراعي، وهذا سيؤثر في احتياجات الأولوية الأولى في حالة السنوات الجافة جداً، وعليه تمت المقارنة بين نتائج الأنموذج وما يطبق من قبل المزارعين على المحاصيل المدروسة نفسها (الجدول 13).

يُلاحظ أن المزارع يوفر ما يقارب 14.83 % بنظام الري بالرش، ونحو 24.8 % بنظام الري بالتنقيط مقارنة بالري السطحي، وهذه النسب أقل من النسب التي أعطتها الأنموذج بحدود 5 % للري بالرش و 10 % للري بالتنقيط، وقد ترافق ذلك مع قلة الإنتاج، وبالتالي انخفاض إنتاجية المياه (كغ/م³) بسبب عدم إلمامه بالكمية اللازم إضافتها من المياه في الوقت اللازم لتلبية حاجة المحصول وزيادة إنتاجه، فهو إما يزيد الكمية أو ينقصها حسب توفر المياه لديه وليس حسب حاجة المحصول، وعليه فإن جدولة الري بالاعتماد على أسس صحيحة تلم بخصائص الترب الهيدروفيزيائية وخصائص المحصول (العمق الفعال للجذور، ومعامل المحصول والاستهلاك المائي حسب مراحل نمو المحصول)، تزيد من إنتاجية الماء الزراعي، وتجنب المحاصيل خطر التعرض إلى إضافة مفرطة بالمياه تزيد عن حاجة المحصول الفعلية، والتي تؤدي إلى تلف المحصول أو الجفاف الفيزيولوجي، الذي ينجم عن التغدق وقلة امتصاص الأوكسجين اللازم للتنفس، وهذا يتوافق مع نتائج Hussain وزملائه (2007).

الجدول 11. نتائج الأتمودج WEAP-MABIA في جدولة الري بالرش التكميلي (تم أخذ الأمطار الهائلة بعين الاعتبار) على محصول البطاطا الخريفية في أحد أنواع ترب منطقة الدراسة (تربة طينية).

المجموع	النضج	تشكل الدرنات	النمو	الإنبات	(مراحل النمو)
	11/30-11/6	11/5-10/1	9/30-9/6	9/5-8/7	التاريخ
116	25	36	25	30	(T) طول مرحلة النمو (يوم)
	0.75	0.75	0.45	0.3	(Z) العمق الفعال للجذور (م)
	0.99	3.2	5.78	7.54	التبخر- نتج المرجعي (ET ₀) (ملم/يوم)
	0.95	1.05	0.52	0.37	معامل المحصول (Kc)
	0.94	3.36	3.01	2.79	الاستهلاك المائي للمحصول (ملم/يوم): $ET_{(Crop/day)} = ET_0 \times Kc$
303.31	23.51	120.96	75.14	83.69	الاستهلاك المائي خلال كل مرحلة نمو ET(Crop/stage) (ملم) = الاستهلاك المائي للمحصول $ET_{(Crop/day)} \times$ طول مرحلة النمو T
		0.398	0.424	0.44	معامل الاستنفاد الرطوبي (p) بدلالة الاستهلاك المائي اليومي الأعظمي للمحصول (FAO، 1979)
		38.28	38.28	38.28	رطوبة السعة الحقلية F.C _(v) (%)
		19.88	19.88	19.88	رطوبة حد الذبول W.P _(v) (%)
276.00		138.00	82.8	55.2	عمق الماء المتاح TAW (عيار السقاية النظري أو الأعظمي، ملم) = (السعة الحقلية الحجمية - حد الذبول الحجمي) \times عمق الجذور (م) \times 10
114.32		54.92	35.11	24.29	عمق الري الصافي D _{net} (ملم) = عمق الماء المتاح الكلي (ملم) \times معامل الاستنفاد الرطوبي (P)
		2.20	2.14	3.45	عدد الريات الواجب تقديمها = الاستهلاك المائي خلال كامل مرحلة النمو ET _(Crop/stage) (ملم) / عمق الري الصافي D _{net} (ملم)
10		3	3	4	المعدلة بعد التدوير (N _{adjusted})
86.29		40.32	25.05	20.92	عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي D _(net-actual) (ملم) = الاستهلاك المائي خلال كامل مرحلة النمو ET _(Crop/stage) (ملم) / عدد الريات المعدلة بعد التدوير
115.05		53.76	33.4	27.9	عمق الري الإجمالي D _{gross} (ملم) = عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي D _(net-actual) (ملم) / كفاءة إضافة الماء %ea
373.06		161.28	100.19	111.59	(ملم)
3730.6		1612.8	1001.9	1115.9	(م ³ /هـ)
					كمية الماء الواجب تقديمها خلال كل مرحلة نمو = عمق الري الإجمالي D _{gross} \times عدد الريات المعدلة بالرش

الجدول 12. نتائج الأتمودج في حساب إنتاجية المياه الفعلية للمحاصيل المختلفة المزروعة عند تطبيق عدة طرائق ري مع نسب التوفير مقارنة بالري السطحي التقليدي مع أخذ المطر الفعال بالحسبان.

نوع المحصول	طريقة الري	كمية المياه الواجب تقديمها خلال الموسم (م ³ /هـ)	نسبة التوفير في المياه لدى استعمال الأنظمة الحديثة مقارنة بالري السطحي التقليدي (%)	الإنتاجية (طن/هـ)	إنتاجية المياه (كغ/م ³)
بطاطا خريفية	سطحي	4664	-	16	3.43
	رش	3731	20	25	6.70
	تنقيط	3005	36	28	9.32
قمح	سطحي	4507	-	5	1.11
	رش	3605	20	6.5	1.80
قطن	سطحي	11585	-	4	0.35
	تنقيط	7700	34	5.2	0.68
شوندر سكري خريفي	سطحي	5899	-	75	12.71
	رش	4720	20	85	18.00
	تنقيط	3700	37	88	23.78
خيار	سطحي	5150	-	36.2	7.03
	تنقيط	3560	31	55.8	15.67
زيتون	سطحي	4330	-	1.8	0.42
	تنقيط	2887	33	2.8	0.96
مشمش	سطحي	6600	-	3	0.45
	تنقيط	4200	36	3.5	0.83
تفاح	سطحي	9080	-	9.5	1.05
	تنقيط	7060	23	12	1.7
ذرة صفراء	سطحي	6880	-	3	0.44
	تنقيط	4230	38	4.3	1.02

عند تعميم هذه النتائج على صعيد مشروع الري، وبالتالي المنطقة المدروسة من خلال الإلمام بنسبة المساحة المنفذة لكل محصول وفي كل موقع طلب زراعي (Catchment) من المواقع السبعة آنفة الذكر (الجدول 14)، يُستنتج أنه يمكن توفير ما يقارب 28.5 م³ عند إتباع جدولة الري بأسلوب الأتمودج مقارنة بما ينفذ من قبل المزارع كما في الجدول 14. وعند أخذ كفاءة نقل المياه المنخفضة لشبكة ري القنوات الخمس بعين الاعتبار، يُلاحظ أنه يجب أن يُستجر ما يقارب 145 م³/سنة من مياه الحوض لتأمين الكمية اللازمة للمزارع البالغة 89 م³/سنة، ونحو 95 م³/سنة لتلبية المتطلبات وفق الأتمودج، وهذا يجعل إنتاجية الماء الزراعي منخفضة على صعيد الحوض المدروس. لذا لا بد أولاً من صيانة الشبكات القديمة أو استبدالها بالشبكات الأنبوبية المضغوطة بغية رفع كفاءة نقلها للمياه، ثم الأخذ بنتائج الجدولة المستنتجة عبر أتمودج WEAP-MABIA.

الجدول 13. كمية وعدد الريات وإنتاجية المياه المحسوبة من قبل مزارعي المنطقة المدروسة.

المحصول	طريقة الري	كمية المياه الكلية المقدمة للهكتار (م ³ /هـ)	عدد الريات	نسبة التوفير مقارنة بالري السطحي (%)	الإنتاجية (طن/هـ)	إنتاجية المياه (كغ/م ³)	ملاحظات
قمح	سطحي تقليدي	6450	3	-	4.5	0.70	استخدام الري التكميلي فقط وأسلوب الري بالرش هو المطبق
	رش	5500	5	14.73	5.5	1	
شوندر سكري خريفي	سطحي تقليدي	7250	7	-	70	9.66	
	رش	6175	8	14.83	80	12.96	أسلوب الري بالرش التكميلي هو المطبق
بطاطا خريفية	تنقيط	5425	10	25.17	78.5	14.47	أسلوب الري بالتنقيط محدود
	سطحي تقليدي	6750	7	-	18	2.67	
	رش	5750	8	14.81	25	4.35	أسلوب الري بالرش التكميلي هو المطبق
قطن	تنقيط	5075	9	24.8	26	5.12	أسلوب الري بالتنقيط محدود
	سطحي تقليدي	13500	12	-	3.8	0.28	أسلوب الري السطحي هو المطبق
خيار	تنقيط	10100	18	25.18	4.5	0.45	أسلوب الري بالتنقيط محدود
	سطحي تقليدي	8715	14	-	34.5	3.95	أسلوب الري السطحي محدود
زيتون مثمر بعمر فوق 5 سنين	تنقيط	6300	23	27.7	44.4	7.05	أسلوب الري بالتنقيط شائع
	سطحي تقليدي	5000	4	-	1.5	0.30	أسلوب الري السطحي محدود
مشمش	تنقيط	3800	5	24	2	0.53	أسلوب الري بالتنقيط شائع
	سطحي تقليدي	7600	7	-	2.8	0.37	أسلوب الري السطحي محدود
تفاح	تنقيط	5780	8	23.94	3.4	0.59	أسلوب الري بالتنقيط شائع
	سطحي تقليدي	15800	12	-	7.7	0.49	أسلوب الري السطحي محدود
ذرة صفراء	تنقيط	11000	16	30.37	9	0.82	أسلوب الري بالتنقيط شائع
	سطحي تقليدي	9540	13	-	3.5	0.37	أسلوب الري السطحي شائع
	تنقيط	5550	18	21.4	4.5	0.81	أسلوب الري بالتنقيط محدود

الجدول 14. المقارنة بين كميات المياه المقدمة والموفرة للمحاصيل على مستوى المساحة المنفذة عام 2010.

المحصول	المساحة المروية المنفذة في المنطقة المدروسة (هـ)		الاحتياج اللازم وفق الأتموج (م ³ /هـ)		الاحتياج المقدم من قبل المزارع (م ³ /هـ)		كمية المياه اللازمة وفق الأتموج (م ³ /سنة)	كمية المياه المقدمة من قبل المزارع (م ³ /سنة)	كمية التوفير (م ³ /سنة)	نسبة التوفير (%)
	ري تقليدي	ري حديث	ري تقليدي	ري حديث	ري تقليدي	ري حديث				
قمح	1282	3297	4507	3605	6450	5500	17.66	26.40	8.74	33
بطاطا خريفية	274	703	4664	3368	6750	5413	3.65	5.65	2.01	36
زيتون	146	376	4330	2887	5000	3800	1.72	2.16	0.44	20
شوندر سكري	221	567	5899	4210	7250	5800	3.69	4.89	1.20	25
خيار	56	144	5150	3560	8715	6300	0.80	1.40	0.59	43
تفاح	659	1694	9080	7060	15800	11000	17.9	29	11	38
مشمش	501	1289	6600	4200	7600	5780	8.72	11.26	2.54	23
قطن	162	418	11585	7700	13500	10100	5.10	6.41	1.31	20
ذرة صفراء	169	100	6880	4230	9540	5550	1.585	2.17	0.59	27
المجموع							60.8	89.3	28.5	28

الاستنتاجات والمقترحات

- **على صعيد الحقل:** وُجد أنه باستخدام نموذج WEAP-MABIA يُمكن وضع مقترحات لرفع إنتاجية المياه من خلال الحصول على أكبر إنتاج بأقل كمية مياه مقدمة، لأنه يأخذ بعين الاعتبار العلاقة بين المناخ والتربة والنبات المزروع، وكفاءة الري المطبقة، ومرحلة نمو المحصول، على عكس طريقة المزارع التي تعتمد على المشاهدات الحقلية والخبرة الشخصية المتوارثة. إذ يؤثر قوام التربة في جدولة الري، فمع ازدياد نعومة التربة تزداد قدرة استيعابها للرطوبة (تزداد قيمة الماء المتاح)، وهذه النتيجة تتوافق مع نتائج Thomas وزملائه (1994)، وبالتالي تزداد كمية الماء المقدّمة، ويقل عدد الريات بتباعد الفترة بين الريات خلال الموسم والعكس بالعكس.

- **على صعيد مشروع الري:** وُجد أن كفاءة نقل المياه لشبكة ري القنوات الخمس منخفضة لا تتجاوز 45 %، والأمر ذاته في شبكة ري حمص وحماه في حوض العاصي الأوسط، لذا يجب صيانة الشبكات ورفع كفاءة النقل فيهما إلى 85 % باستبدالهما بالشبكات الأنبوبية المضغوطة، وهذا سيرفع من إنتاجية المياه على صعيد الحقل المزروع.

- **على صعيد المنطقة المدروسة:** وُجد أنه عند اختيار السيناريوهين (BAT و HT) يُمكن تلبية التزامات الأولوية الأولى في حالة السنوات الجافة، وتخفيف نسبة العجز المائي بما لا يقل عن 80 % مقارنة بالسيناريو المرجعي، وهذا يُمكن تغطيته بالكامل عند تطبيق جدولة الري باستخدام النموذج الذي يُوفر ما لا يقل عن 28 م³/سنة، وهذه الكمية تقابل مقدار العجز حتى عام 2050. أمّا في حالة السنوات الجافة جداً، فسيُتوجب تلبية التزامات الأولوية الأولى استثمار سد زيتا بشكل أمثل، وهذا يتحقق بالاعتماد على المياه الجوفية في ري المساحات المزروعة، إذ أن الكفاءة المطبقة تفوق 75 %، وعلى المياه السطحية وسد زيتا (80 م³) في تأمين مياه الشرب والاستخدام المنزلي لمدينتي حمص وحماه بالدرجة الأولى، واستخدام مياه السد للري عند إمكانية ذلك، وهذا يتوافق مع نتائج خزّام (2010) التي أظهرت اختفاء العجز تماماً عند احتمال واردات مائة 50 %، و 75 %، وانخفاضه عن باقي السيناريوهات الأخرى عند احتمال واردات 95 % بعد استثمار سد زيتا، والاعتماد على المياه الجوفية في الري وتحسين كفاءة الري. ولتخفيف نسبة العجز في تلبية متطلبات الأولويات الأخرى، يُقترح إعادة استعمال مياه الصرف الزراعي والصناعي والصحي بعد المعالجة، إذ يُمكن الاستفادة من 70 م³/سنة في ري المحاصيل الصناعية والتوسع الأفقي بالزراعة في المنطقة المدروسة، وهذا يتوافق مع نتائج Molden وزملائه (2009) و Perry (2007). وبتعميم ما دُرّس أعلاه على بقية الأحواض الفرعية كحوض العاصي الأوسط، وحوض سهل الحولة، يُمكن تحقيق متطلبات الأولوية الثالثة أيضاً بشكل كلي، وبالتالي الإدارة المتكاملة للموارد المائية بالحوض. وهذا يتناقض مع دراسة Mourad وزملائه (2012c) والتي تنص على وجوب استخراج مياه تقدر بنحو 300 م³/سنة للحوض المدروس من حوض قريب آخر كحوض الساحل لسد الفجوة بين العرض والطلب حتى عام 2050.

كلمة شكر

يُعد هذا البحث إحدى ثمار المشروع الإقليمي (WLI) مبادرة المياه وتحسين سبل العيش في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (MENA) لزيادة دخل الفقراء في الريف، والممول من قبل الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID)، والمركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (ICARDA)، بالتعاون مع الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية (GCSAR) في سورية.

المراجع

- بلدية، رياض. 2004. الصرف المائي. الموسوعة العربية، المجلد 12.
- بلدية، رياض. 2005. المياه الجوفية في سورية. الموسوعة العربية، المجلد 20.
- خزّام، بشرى. 2010. ترشيد استخدام الموارد المائية في حوض العاصي الأعلى، رسالة لنيل درجة الدكتوراه، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث. سورية.
- خوري، جان. 1986. الموارد المائية في الوطن العربي وآفاقها المستقبلية. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد). ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي، الكويت.
- رعد، تمام. 2013. التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي لحوض العاصي الأعلى باستخدام الطرق التحليلية الإحصائية. رسالة دكتوراه. جامعة البعث، ص 151.
- الزعبي، محمد منهل؛ الحصني، أنس المصطفى؛ درغام، حسان. 2013. طرائق تحليل التربة والنبات والمياه والأسمدة. منشورات وزارة الزراعة والاصلاح الزراعي، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، ص 223.
- شَماع، أحمد طه. 2010. استخدام برمجة الري في تحديد الاحتياجات المائية والموازنة المائية لأهم المحاصيل المزروعة في مناطق مختلفة بسورية. رسالة لنيل درجة الدكتوراه، كلية الزراعة، جامعة حلب.

- صومي، جورج؛ داوود، معن. 2001. مشروع صياغة وتنفيذ السياسة السكانية/الاتجاهات السكانية والموارد المائية/، هيئة تخطيط الدولة، دمشق، ص62.
- غريب، يونس الحاج. 1994. إدارة مياه الري على مستوى الحقل (متى نروي، كم نروي؟). وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دير الزور.
- مكسور، زياد الموسى. 2004. الموازنة المائية للمياه السطحية في حوض العاصي الأعلى في الأراضي السورية، رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، ص141.
- المهندسين الاستشاريين العرب. 2007. دراسة مشروع تطوير شبكات ري أعالي العاصي والشبكة البديلة عن الآبار المحفورة في حرم نبع عين التنور، مديرية الري العامة لحوض العاصي.
- Assaf, H. and M. Saadeh. 2008. Assessing Water Quality Management Options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS based decision support system. *Environmental Modeling and Software*, 23: 1327 - 1337.
- Breisinger, C., T. Zhu, P. Al Riffai, G. Nelson, R. Robertson, and D. Verner. 2011. Global and Economic Impacts of Climate Change in Syria and Options for Adaptation. International food policy research institute, IFPRI Discussion paper 01091. <<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp01091>.
- CBS-SYR. 2011. Central Bureau of Statistics of Syria, private industrial projects <http://www.cbssyr.org/Time%20Series/economic1>.
- Droubi, A., M. AL-Sibai, A. Abdallah, J. Wolfer, M. Huber, V. Hennings, K. El Hajji and M. Dechiech. 2008. Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources in the Arab Region: Development and Application of a Decision Support System (DSS) for Water Resources Management in Zabadani Basin, Syria and Berrechid Basin, Morocco. Report from Phase III of the Technical Cooperation Project.
- ESCWA-BGR Cooperation. 2012. Inventory of Shared Water Resources in Western Asia (Online Version). Chapter 7: Orontes River Basin. Beirut
- Evans, R., D.K. Cassel and R.E. Sneed. 1996. Soil, Water and Crop Characteristics Important to Irrigation scheduling. North Colombia cooperative extension service, publication number AG 452 - 1, Last Electronic Revision, June (Knk).
- Evans, J. P. 2010. Global Warming Impact on the Dominant Precipitation Processes in the Middle East. *Theoretical and Applied Climatology*, 99: 389 - 402.
- FAO. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. (Doorenbos, J And Kassam, A.H) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gaiser, T., A. Printz, H. G. Schwarz von Raumer, J. Götzinger, V.A. Dukhovny, R. Barthel, A. Sorokin, T. Tschin, C. Kiourtsidis, I. Ganoulis, and K. Stahr. 2008. Development of a Regional Model for Integrated Management of Water Resources at the Basin Scale. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 175 - 182.
- George, B., H. Malano, B. Davidson, L. Baharati, and S. Massuel. 2011. An Integrated Hydro-economic Modelling Framework to Evaluate Water Allocation Strategies II: Scenario assessment. *Agricultural Water Management*, 98: 747 - 758.
- Green, C. 2001. International and UNESCO: Water for Peace Project Proposal. Geneva, Switzerland.
- Hanson, B. R., G. Fipps. and E. C. Martin. 2000. Drip Irrigation of Row Crops, Kansas state University, Report paper on the state of the art of drip irrigation of row crops in California, Texas, and Arizona.
- Hoff, H., S. Noel and P. Droogers. 2007. Water use and Demand in the Tana Basin: Analysis Using the Water Evaluation and Planning Tool (WEAP). Green Water Credits Report 4, ISRIC- World Soil Information, Wageningen.
- Hoff, H., C. Bonzi, B. Joyce, and K. Tielbörger. 2011. A Water Resources Planning Tool for the Jordan River basin. *Water*, 3: 718 - 736.
- Hussain, I., H. Turrall, D. Molden, and D. Ahmad. 2007. Measuring and Enhancing the Value of Agricultural Water in Irrigated River Basins, *IrrigSci* 25: 263-282 DOI 10.1007/s00271-007 - 0061.
- Kasi, A., M. Yasser and Y. Mahrouseh. 2004. Irrigation System Performance: Syrian Country Report. Options méditerranéennes, Series B, n° 52. Proceedings of 2nd WASAMED (Water Saving in MEDiterranean agriculture). Workshop Hammamet (Tunisia).
- Kibaroglu, A., A. Klaphake, A. Kramer and W. Scheumann, et al. 2005. Cooperation on Turkey's Transboundary Waters. Published by the German Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Berlin.
- McKinney, D.C. 2004. Technical Report: International Survey of Decision Support Systems for Integrated Water Management.

- Support to Enhance Privatization, Investment, and competitiveness in the Water Sector of the Romanian Economy (SEPIC) IRGPROJECT NO: 1673-000. Bucharest, Romania.
- Molden, D., R. Sakthivadivel and Z. Habib. 2001. Basin-level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia. Research Report 49. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
 - Molden, D., T.Y. Oweis, P. Steduto, J.W. Kijne, M.A. Hanjra and P.S. Bindraban. 2007. Pathways for Increasing Agricultural Water Productivity. In: D.J. Molden (ed.). Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute.
 - Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M. Hanjra and J. Kijne. 2009. Improving Agricultural Water Productivity: Between Optimism and Caution. *Agricultural Water Management Journal*, 25: 63.
 - Mourad, A.K. and R. Berndtsson. 2012 a. Water Status in the Syrian Water Basins. *Open Journal of Modern Hydrology*, 2: 15 - 20.
 - Mourad, K. 2012b. Marginal and Virtual Water for Sustainable Water Resources Management in Syria.
 - Academic thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D. Engineering, Lund University).
 - Mourad, A.K., Alshehabi, O. and Berndtsson, R., 2012c. Assessment of Future Syrian Water Resources Supply and Demand by WEAP Model. *Hydrological Sciences Journal* (submitted).
 - National Agricultural Policy Centre –NAPC. 2007. Water Use Efficiency in Syrian Agriculture. Project GPC (Syria) in collaboration with the FAO, Cooperazioni ITALIANA and Ministry of Agriculture and Agrarian Reform in Syria. Working paper No 26.13.
 - Perry, C. 2007. Efficient irrigation; Inefficient Communication; flawed recommendations. *Irr. Drain.* 56: 367 - 378.
 - Qin, H.P., Q. Su and S.T. Khu. 2011. An Integrated Model for Water Management in a Rapidly Urbanizing Catchment. *Environmental Modelling and Software*, 26: 1502 - 1514.
 - Raes, D., H. Gaalen, F. Karajeh, and P. Steduto. 2014. Capacity Development for Farm Management Strategies to Improve Crop-Water Productivity using. Importance of Modeling in Water Management, AquaCrop 24 August – 28 August, Cairo-Egypt.
 - Reddy, M. 2004. Technical Management of Irrigation System. The first international capacity building program on participatory irrigation management, Izmir, Turkey, December 5 - 14.
 - Roost, N. 2003. Strategic Options Analysis in Surface Irrigation Systems: Integrated Modelling for Efficient, Productive and Equitable Water Use, PhD Thesis, Lausanne, EPFL.
 - SEI . 2012. WEAP (Water Evaluation and Planning). Stockholm Environment Institute, Boston USA. <<http://sei-us.org/software/weap/>> (accessed 20 Feb 2012).
 - Thomas, W. L., G. S. Robert, R. T. Richard and N. Howard. 1994. Soil Water Monitoring and Measurement. A pacific Northwest publication- Washington, Oregon, Idaho.
 - Trondalen, M. J. 2009. Climate Changes, Water Security and Possible Remedies for the Middle East. Scientific Paper from Potential Conflict to Co-operation Potential (UNESCOPCCP. <<http://www.unwater.org/downloads/181886E.pdf>> (accessed 11 March 2012).
 - UNDP. 2004. Planning for Integrated Water Resources Management in the Orontes basin. /DESA/MoI Project: SYR/98/008.
 - Varela-Ortega, C and J.A. Sagardoy. 2001. The Utilization of Water Resources for Agriculture: Analysis of the Current Regime and Policy. Assistance in Institutional Strengthening and Agricultural Policy - Syria. FAO GCP/SYR/006/ITA.
 - Walker, W. R. 2003. Surface Irrigation Simulation. Evaluation and Design. Utah State University.
 - Wasimi, A.S. 2010. Climate Change in the Middle East and North Africa (MENA) region and implications for water resources project planning. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2(3): 297 - 320.
 - WHO (World Health Organization)/UNICEF (United Nations Children's Fund). 2006. Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: The Urban and Rural Challenge of the Decade. Geneva/New York, WHO/UNICEF. <http://www.health/monitoring/jmpfinal.pdf>- 2010. Progress on Sanitation and Drinking-Water: 2010 Update. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Geneva/New York, WHO/UNICEF. <http://www.who>.

N° Ref- 634