



الجمهورية العربية السورية
جامعة حلب - كلية الزراعة
قسم الهندسة الريفية

**تطبيق نظام المحاسبات المائية (WAS) وبرنامجه (WEAP₂₁)
لترشيح استعمال المصادر المائية في حوضي المائي
الأعلى والأوسط**

**Application of Water Accounting System (WAS) and
WEAP₂₁ Program For Rationalization of Water Resources
Utilization in The Upper and Midmost Orontes Basins -
Syria**

دراسة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الزراعية

(قسم الهندسة الريفية - الري والصرف)

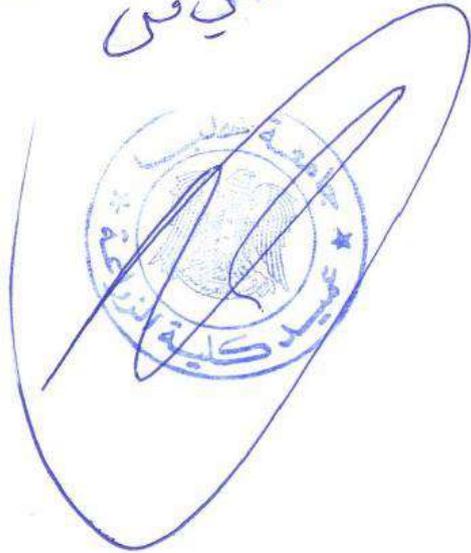
إعداد

المهندس تمام خضر ياغي

رئيس قسم الهندسة المدنية
د. عبد الله بن عبد العزيز



مدير مكتب الدراسات
أ.د. محمد بن عبد العزيز





الجمهورية العربية السورية
جامعة حلب - كلية الزراعة
قسم الهندسة الريفية

تطبيق نظام القياسات المائية (WAS) وبرنامجه (WEAP₂₁) لترشيد استعمال المصادر المائية في حوضي الماصي الأعلى والأوسط

Application of Water Accounting System (WAS) and WEAP₂₁ Program For Rationalization of Water Resources Utilization in The Upper and Midmost Orontes Basins - Syria

دراسة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الزراعية

(قسم الهندسة الريفية - الري والصرف)

إعداد

المهندس تمام خضر ياغي

بإشراف

الدكتور فيناي نانجيا

باحث هيدرولوجي

المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق

الجافة (إيكاردا) - الأردن

الدكتور عبد الناصر الضير

أستاذ في الري والصرف

رئيس قسم الهندسة الريفية

كلية الزراعة - جامعة حلب

بالتعاون مع

أ. د. ذيب عويس

د. بشرى خزام

أ. د. جميل عباس

أ. د. أويديس أرسلان

1437 هـ / 2016 م

قُدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل شهادة الدكتوراه في الهندسة الزراعية - اختصاص الهندسة الريفية - من كلية الهندسة الزراعية بجامعة حلب.

This thesis has been submitted as partial fulfillment of requirements for the degree of Ph.D. of Rural Engineering at the Faculty of Agriculture, Aleppo University.

نوقشت هذه الرسالة وأجيزت بتاريخ 2016/8/3 بتقدير (امتياز) وعلامة قدرها (91) فقط.

بإشراف

أ. د. عبد الناصر الضرير و أ. د. فينناي نانجيا

بالتعاون مع

أ. د. ذيب عويس

أ. د. جميل عباس

د. بشرى خزام

د. أويديس أرسلان

لجنة الحكم مؤلفة من السادة:

أ. د. عبد الناصر الضرير	قسم الهندسة الريفية- كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب	رئيساً ومشرفاً
أ. د. عمار برادعي	قسم الري- كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب	
د. أحمد دركلت	قسم الموارد الطبيعية- كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب	
د. مروان الحاج حسين	قسم الهندسة الريفية- كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب	
د. وديع خوري	قسم الموارد الطبيعية- كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب	

تصريح

أصرح بأنّ هذا البحث بعنوان: (تطبيق نظام القياسات المائية (WAS) وبرنامج (WEAP₂₁) لترشيد استعمال المصادر المائية في حوضي العاصي الأعلى والأوسط) لم يسبق أن حصل على أية شهادة، ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

المرشح

تمام خضر ياغي

DECLARATION

I hereby certify that this work " **Water Accounting System (WAS) and WEAP₂₁ Program For Rationalization of Water Resources Utilization in The Upper and Midmost Orontes Basins - Syria.**" has not been accepted for any degree or it is not submitted to any other degree.

Candidate
Tammam Khader Yaghi

شهادة

نشهد بأنّ العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح تمام خضر ياغي بإشراف الأستاذ الدكتور عبد الناصر الضيرير (المشرف الرئيس)، رئيس قسم الهندسة الريفية من كلية الزراعة بجامعة حلب، والأستاذ الدكتور فيناي نانجيا (المشرف المشارك)، مدير مشروع (WLI) - المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا)- الأردن. وبالتعاون مع الأستاذ الدكتور جميل عباس والأستاذ الدكتور ذيب عويس والدكتور أويديس أرسلان والدكتورة بشرى خزام، إنّ أية مراجع أخرى ذكرت في هذه العمل موثقة في نص الرسالة حسب ورودها في النص.

المشرف الرئيس	المشرف المشارك	المرشح
أ. د. عبد الناصر الضيرير	أ. د. فيناي نانجيا	تمام خضر ياغي

حلب في 2016/8/3

Testimony

We witness that the described work in this treatise is the result of scientific search conducted by Candidate **Tammam Khader Yaghi** under the supervisions of **Prof. Abdel Naser Aldarir** (main supervisor) head at the department of Rural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Aleppo, and **Prof. Vinay Nangia** (assistant supervisor), Director of WLI project, ICARDA, Jordan. cooperation with **Prof. Jamil Abbas, Prof. Theib Oweis, Dr. Awadis Arslan & Dr. Boshra Khozam**, Any other references mentioned in this work are documented in the text of the treatise.

Candidate	Assistant supervisor	Main supervisor
Tammam. K. Yaghi	Prof. Vinay Nangia	Prof. Abdel Naser Aldarir

Aleppo 3/8/2016

صفحة القبول

عنوان الرسالة:

"تطبيق نظام القياسات المائية (WAS) وبرنامج (WEAP₂₁) لترشيد استعمال المصادر المائية في حوضي العاصي الأعلى والأوسط"

الدرجة العلمية المكتسبة: دكتوراه فلسفة في الهندسة الزراعية ، قسم الهندسة الريفية.
اختصاص: الري والصرف.

اسم المرشح: تمام خضر ياغي

نوقشت الرسالة بتاريخ 2016/8/3 وقبلت من لجنة الحكم المؤلفة من السادة الأساتذة:

د. عبد الناصر الضير

أستاذ في قسم الهندسة الريفية
كلية الهندسة الزراعية - جامعة حلب

د. عمار برادعي

أستاذ في قسم الري
كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب

د. أحمد دركلت

أستاذ مساعد في قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة
كلية الهندسة الزراعية - جامعة حلب

د. مروان الحاج حسين

أستاذ مساعد في قسم الهندسة الريفية
كلية الهندسة الزراعية - جامعة حلب

د. وديع خوري

مدرس في قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة
كلية الهندسة الزراعية - جامعة حلب

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وعرّفان

حطّطت الرحال عند واحة غنّاء لأطفئ ظمأ رحلة طويلة في فيافي العلم والمعرفة، وقد نلت من التعب والجهد ما انتعشت فيه روعي واطمأنت إليه نفسي وأثلجت به صدري وخوالي. وفي هذا الشوط الأخير من هذه الرحلة لا بد من التوجه بالشكر والعرّفان لمن حفني برعايته وتوجيهاته وعطائه فذلّ المشقات والصعوبات ليسهل الوصول إلى المبتغى والمراد. أتوجه بوافر الامتنان والتقدير إلى الأستاذ الدكتور مصطفى أفيوني رئيس جامعة حلب والأستاذ الدكتور صبحي منى عميد كلية الهندسة الزراعية وإلى الأستاذ الدكتور عبد الناصر الضرير رئيس قسم الهندسة الريفية والأستاذ الدكتور فيناي نانجيا والأستاذ الدكتور ذيب عويس (إيكاردا) أصحاب الأيادي البيضاء على هذا العمل. كما أقف بعرّفان وتقدير وإجلال لأولئك الذين كانوا خير مرشد وموجه ولم تعكر صفوهم ظلمة الصحراء وغياب النجوم الهادية عند مرور الغيوم السوداء الداكنة إلى أسانذتي وقدوتي الأستاذ الدكتور أويديس أرسلان والدكتورة بشرى خزام والدكتور سهيل بريارة. وكل الشكر لمن وفر أرضية خصبة يقام عليها هذا المشروع - الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية - ممثلة بمديرها العام الأستاذ الدكتور حسين الزعبي وأخص العاملين. كما أتوجه بالشكر لكل من كانت له مساهمة كي يرى هذا العمل النور.

الإهداء

إلى الدماء الطاهرة التي أريقت على أرض الوطن

إلى من رواني بدمه

والدي

إلى من حممتني بفؤادها

والدتي

إلى من أشد بهم أزري

إخوتي

إلى من ضحى بإخلاص

صديقي الغالي

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
4	نهر العاصي من المنبع وحتى المصب	1
14	مراحل تطور الحوض المائي	2
15	الموازنة المائية في الحوض الفرعي Kirindioya (سيريلانكا) باستعمال (WAS)	3
15	الموازنة المائية في الحوض الفرعي Chishtian (باكستان) باستعمال (WAS)	4
16	الموازنة المائية في الحوض الفرعي Indrawati في حالة السنوات الطبيعية	5
16	الموازنة المائية في الحوض الفرعي Indrawati في حالة السنوات الجافة	6
17	الموازنة المائية في الحوض الفرعي الأدنى لنهر الأردن بين عام 1950 وعام 2000	7
18	الموازنة المائية في حوض النيل (موازنة سد أسوان العالي)	8
18	مخطط يوضح الوارد المائي الداخل والخارج من حوض Alberta في كندا	9
20	نتائج عملية المعايرة في بحيرة Tiberias بين البرنامج والبيانات الشهرية المقاسة	10
24	مخطط تصميم نظام أسقف المنازل (عباس، 2004)	11
25	المخطط العام لاحتجاز مياه الأمطار ونشرها لري المحاصيل (عويس وآخرون، 2003)	12
25	تقنية حصاد المياه على صعيد الحقل	13
31	حدود موقع الدراسة في محافظة حمص، سورية	14
32	المتوسط الشهري لدرجة الحرارة بحسب البيانات المتاحة في المنطقة المدروسة	15
32	المتوسط الشهري للرطوبة النسبية بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (1975/76)	16
33	المتوسط الشهري لسرعة الرياح بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (1975/76)	17
33	المتوسط الشهري لعدد ساعات السطوع الشمسي في اليوم	18
34	المتوسط الشهري للتبخر بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (1975/76)	19
34	المتوسط الشهري للهطول المطري بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (1975/76)	20
40	النقاط المرصودة العشرة والنقاط المشتقة على طول مجرى النهر في المنطقة المدروسة	21
45	مخطط تمثيلي لشبكة الإمداد المائي لمواقع الطلب الرئيسية في حوضي العاصي الأعلى	22
49	مكونات برنامج MABIA	23
50	موقع السد المقترح لتصغير بحيرة قطينة	24
52	مخطط يمثل منهجية العمل والسيناريوهات المدروسة باستعمال برنامج WEAP	25
53	التصريف المار بالقنوات الخمس والتصريف اللازم لري المحاصيل حسب قيم مختلفة	26
54	تحليل الموارد المائية الإجمالية باستخدام أسلوب (بوكس- جنكنز)	27
60	معامل تحديد فعالية حوض العاصي الأعلى (W_b) بوجود الموارد التقليدية المتجددة فقط	28
61	معامل تحديد فعالية حوض العاصي الأعلى (W_b) بعد إعادة استعمال الموارد غير	29
62	نتائج نظام القياسات المائية (WAS) في الموازنة المائية المستقبلية عام (2050) في	30
63	الشبكة الهيدرولوجرافية لمنطقة الدراسة مع المدن الموجودة	31
64	خطوط الكنتور (الارتفاعات عن سطح البحر) لمنطقة الدراسة مع المدن الموجودة	32
64	تصنيف التربة لمنطقة الدراسة بحسب (FAO, 1979)	33
65	معدلات كل من الحرارة والهطول المطري بحسب كل محطة مناخية في المنطقة	34
65	تغطية المنطقة المدروسة عام 2010	35
66	المنطقة المدروسة وأحواضها الفرعية	36
67	ديناميكية (PO_4 و NH_4 و E. Coli و BOD5) في مجرى النهر اشتقاقاً	37
68	ديناميكية (CI و TH و EC و pH) في مجرى النهر اشتقاقاً	38
68	ديناميكية (DO و SAR) في مجرى النهر اشتقاقاً	39
69	المقارنة بين توزيع المياه وفق البرنامج والتصريف عند محطات القياس في حوض	40
70	المقارنة بين حجوم التخزين الشهرية المقاسة لبحيرة قطينة والمستنتجة بالبرنامج عند	41

71	العجز المائي المستنتج (م.م/3سنة) وفق البرنامج	42
72	حالة الواقع الراهن في تزويد مواقع الطلب بالمياه في السيناريو الرئيسي الأول	43
74	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو المرجعي الفرعي من السيناريو	44
76	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو (BAT) الفرعي من السيناريو	45
77	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو (HT) الفرعي من السيناريو	46
78	العجز المائي الشهري المتوقع عام 2050 في السيناريوهات الفرعية من	47
79	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن) وفقاً	48
80	استراتيجية تزويد مواقع الطلب بالمياه بعد استثمار سد زيتا	49
81	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو المرجعي الفرعي من السيناريو	50
82	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثاني والسيناريو الفرعي	51
83	العجز المائي الشهري المتوقع عام 2050 في السيناريوهات الفرعية من السيناريو	52
84	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثاني (استثمار سد زيتا)	53
86	الواقع الحالي لتزويد مواقع الطلب بالمياه لأغراض المختلفة في السيناريو الرئيسي الثالث	54
87	مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة	55
88	مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة	56
89	مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة	57
89	مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة	58
90	نمذجة مواصفات التربة الهيدروفيزيائية في الحوض الفرعي (D)	59
91	نمذجة مواصفات التربة الهيدروفيزيائية في الحوض الفرعي (B)	60
91	أنواع ومساحة المحاصيل المزروعة في حوضي العاصي الأعلى والأوسط	61
94	محاكاة نتائج كفاءة استخدام المياه لأهم المحاصيل المزروعة المستنتجة بالبرنامج	62
94	محاكاة نتائج كفاءة استخدام المياه لأهم المحاصيل المزروعة المستنتجة بالبرنامج	63
97	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء	64
98	العجز المائي الشهري المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء	65
99	عدد ومعدل النمو السنوي للسكان في محافظتي حمص وحماه	66
100	العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الرابع (معدل النمو	67

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
1	احتمال الواردات المائية لنهر العاصي م.م ³ /سنة لفترة (1964/65 - 1930/31)....	5
2	الموازنة المائية في العاصي الأعلى خلال الفترة الممتدة (1964/65 - 1941/42).	6
3	الموازنة المائية في العاصي الأعلى خلال الفترة الممتدة (1975/76-1951/52)	7
4	احتمال التدفقات المارة في نهر العاصي خلال الفترة الممتدة (1931/32).....	7
5	التنبؤ بالموازنة المائية لعام 2030 لاحتمالات مختلفة للواردات المائية وفق التقرير	8
6	التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية لعام 2030 لاحتمالات مختلفة للواردات.....	9
7	الموازنة المائية لسد قطينة خلال الفترة (2000/01-1975/76).....	10
8	التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية (م.م ³) لعام 2030 لاحتمالات مختلفة ل.....	10
9	التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية لعام 2030 لاحتمالات مختلفة.....	12
10	حجم الجريان السنوي في مركز العميري (م.م ³ /سنة).....	12
11	معامل تحديد شدة الأزمة المائية (W_b) مع بيان الحلول المقترحة.....	19
12	عدد السكان والاحتياجات المائية والهطول وحصة الفرد وتقييم الوضع المائي.....	20
13	حدود قيم إنتاجية المياه الطبيعية والاقتصادية لأهم أنواع المحاصيل المزروعة في	28
14	متوسط نتائج الخواص الهيدروفيزيائية لترتبة موقع الدراسة (حوض العاصي).....	38
15	الطلب على مياه الشرب والاستخدام المنزلي كإنتاج واستهلاك لعام 2010.....	42
16	تعرفه مياه الشرب والاستخدام المنزلي في ج.ع.س.....	42
17	كميات المياه المستجرة للأغراض الصناعية (م.م ³ /سنة) عام 2010.....	43
18	كميات المياه المستجرة للري عام 2010.....	44
19	البيانات الإحصائية للموارد المائية التقليدية المتجددة في المنطقة المدروسة.....	54
20	احتمال الواردات المائية السطحية عند الحدود السورية اللبنانية (م.م ³ /سنة).....	55
21	احتمال الواردات المائية الجوفية (م.م ³ /سنة).....	55
22	احتمال واردات المسيلات السطحية الجانبية (م.م ³ /سنة).....	55
23	احتمال الواردات المائية الاجمالية (م.م ³ /سنة).....	55
24	المتوسط الموزون للهطول المطري بطريقة تايسين.....	56
25	الموازنة المائية عام 2010 في المنطقة المدروسة (م.م ³ /سنة).....	57
26	الموازنة المائية السنوية في العاصي الأعلى بحسب نظام القياسات المائية (WAS).	70
27	نتائج برمجة الري على محصول البطاطا في الترب السلتية اللومية في الحوض.....	92
28	نتائج برمجة الري على محصول البطاطا في الترب الرملية اللومية في سرير.....	92
29	نتائج برمجة الري على محصول البطاطا في الترب السلتية الطينية اللومية.....	93
30	كمية ونسبة توفير المياه التي يحققها البرنامج بعد تطبيق السيناريو (HT).....	95
31	كمية العجز والفائض المائي حتى عام 2050 عند حالة السنوات الطبيعية (A).....	101
32	كمية العجز والفائض المائي المتوقعة في تأمين المياه لمواقع الطلب عند احتمال.....	102
33	كمية العجز والفائض المائي المتوقعة في تأمين المياه لمواقع الطلب عند احتمال.....	103
34	كمية العجز المائي المتوقعة في تأمين المياه لمواقع الطلب عند احتمال واردات.....	104
35	حجم المياه الافتراضية للمحاصيل وفقاً لنتائج البرنامج في المنطقة المدروسة.....	106
36	التحليل الاقتصادي للمحاصيل المدروسة في المنطقة.....	107
37	كمية الممكن حفظها باستبدال محصولي القطن والشوندر السكري بمحاصيل.....	108
38	كمية المياه الممكن حفظها باستبدال المحصولين الخاسرين بالمحاصيل الاستر.....	108

الفهرس

<u>رقم الصفحة</u>	<u>العنوان</u>
1	1- المقدمة Introduction
3	2- الدراسة المرجعية Literature Review
3	1-2- لمحة عن حوض العاصي
4	1-1-2- الدراسات السابقة المنفذة في حوض العاصي
14	2-2- نظام القياسات المائية (WAS)
20	3-2- برنامج نظام التقييم والتخطيط المائي (برنامج WEAP)
22	4-2- النمذجة الرياضية وبرمجة الري
23	5-2- أسس حفظ المياه ورفع إنتاجيتها
29	3- أهمية البحث ومبرراته Importance of the Research and Reasons
30	4- أهداف البحث Aims of the Research
31	5- مواد وطرائق البحث Materials and Methods
31	1-5- موقع البحث
31	1-1-5- الظروف المناخية للموقع
35	2-1-5- الظروف البيديولوجية
39	3-1-5- الموارد المائية في المنطقة المدروسة
41	4-1-5- الطلب على الموارد المائية المتجددة في المنطقة المدروسة
44	2-5- طرائق البحث
44	1-2-5- نظام القياسات المائية (WAS)
45	1-1-2-5- منهجية نظام القياسات المائية (WAS) والمعادلات المستخدمة
47	2-2-5- البرمجيات المستخدمة بالبحث
50	3-2-5- الافتراضات المقترحة في الموازنة المستقبلية
51	4-2-5- برنامج التقييم والتخطيط المائي WEAP
54	6- النتائج والمناقشة Results and Discussion
54	1-6- نتائج نظام القياسات المائية (WAS)
63	2-6- إدارة الموارد المائية باستخدام برنامج WEAP
66	1-2-6- نتائج نمذجة التلوث الحاصل في المنطقة المدروسة
68	2-2-6- نتائج معايرة البرنامج WEAP
71	3-2-6- التنبؤ المستقبلي للموازنة المائية باستخدام برنامج WEAP
71	1-3-2-6- السيناريو الرئيسي الأول (حالة الواقع الراهن عام 2010)
80	2-3-2-6- السيناريو الرئيسي الثاني (سيناريو استثمار سد زيتا)
85	3-3-2-6- السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء الزراعي بشكل برنامجي)
99	4-3-2-6- السيناريو الرئيسي الرابع (معدل النمو السكاني المنخفض)
101	5-3-2-6- السيناريو الرئيسي الخامس (إنشاء سد بديل في قطينة)
102	4-2-6- ملخص نتائج البرنامج المتكامل
102	1-4-2-6- عند احتمال واردات مائية 50% (حالة السنوات الطبيعية)
103	2-4-2-6- عند احتمال واردات مائية 75% (حالة السنوات الجافة)
103	3-4-2-6- عند احتمال واردات مائية 95% (حالة السنوات الجافة جداً)
104	5-2-6- المقارنة بين الموازنة المائية حسابياً والبرنامج المتكامل
105	3-6- تقييم الوضع المائي من خلال تطبيق مبدأ المياه الافتراضية
109	7- الاستنتاجات Conclusions
111	8- المقترحات والتوصيات Suggestions and Recommendations
112	- الملخص العربي

114الملخص الانكليزي	-
116References	-

الاختصارات والرموز

- WAS:** Water Accounting System.
GWP: Global Water Partnership.
WEAP: Water Evaluation And Planning system.
NARBO: Network of Asian River Basin Organizations.
DSS: Decision Support System.
GIS: Geographical Information System.
RIBASIM: River Basin Simulation Model.
WBalMo: Water Balance Model.
MULINO: MULTi-sectoral, Integrated and Operational.
SWAT: Soil and Water Assessment Tools.
IWRM: Integrated Water Resources Management.
ET: Evapotranspiration.
TAW: Total Available Water.

1- المقدمة Introduction:

يُعد الماء أساس الحياة البشرية على سطح الأرض، وتزداد أهميته في الأقاليم التي تتصف بمحدودية الموارد المائية كدول حوض المتوسط التي تتصف بهطولات مطرية عاصفية قوية غير منتظمة التوزيع يضيع معظمها بالتبخّر والجريان السطحي والسيول والقليل منها يصل إلى البحار. ومع استمرار التغيرات المناخية والنمو السكاني والتطور الاقتصادي والتوسع الزراعي الهادف إلى زيادة الإنتاج لمواجهة الطلب المستمر على السلع الغذائية فإنّ هناك تناقصاً واضحاً في الموارد المائية العذبة مما يخلق حالة من العجز المائي في تلبية الاحتياجات للقطاعات المختلفة، وبالتالي نشوء أزمة واضحة قد تتفاقم في المستقبل القريب (Oweis and Taimeh, 2001)، حيث أنّ إتاحة الموارد المائية المتجددة واستعمالها يتحدد بحسب مكان توزيعها الكمي والنوعي (Hoekstra et al., 2012). وهذا يتطلب بذل جهود كبيرة لمتابعة وتقييم التغيرات الهيدرولوجية بمختلف الظروف البيئية والمناخية (Turner et al., 2004).

تُعبّر القمم الثلجية والمياه السطحية والجوفية والغلاف الجوي عن المخزون المائي العذب، وبتحديد نسبة تجدد السنوية تُقدّر إتاحتها لكل منطقة في العالم، ففي سورية كميته محدودة، حيث قُدّرت حصة الفرد من الموارد المائية المتجددة بنحو 700 م³/سنة عام 2010، وبعد التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية باستخدام (نظام القياسات المائية، WAS) استنتج أنها ستتناقص لتبلغ بنحو 437 م³/سنة عام 2050 (Mourad and Berndtsson, 2011). وبحسب التصنيف المائي العالمي للمناطق، صُنّفت المناطق التي حصة الفرد فيها أقل من 1000 م³/سنة من الموارد المائية المتجددة تحت لائحة مناطق العجز المائي "Water-scarce"، وقد بلغت نسبتها في العالم 8.3%، وتُعد سورية واحدة منها (World Bank, 2004). وبعد دراسات عديدة لشبكة المنظمات المسؤولة عن الإدارة المتكاملة للأحواض النهرية الآسيوية (NARBO)، والخاصة بسن التشريعات المائية على أسس علمية دقيقة، توصلت أحدث مقترحاتها إلى أنّ: الإدارة المتكاملة الصحيحة لمياه الحوض يجب أن تنطلق من إدارة المجتمعات المائية (Water catchments) الموجودة فيه، بهدف الحصول على نتائج عملية وعلمية تُحاكي الواقع بدقة متناهية، وترسم استراتيجيات مستقبلية تُمكن من حل غالبية المسائل المستعصية (Bird et al., 2009)، وهذا توافق مع مفاهيم الشراكة العالمية للمياه في مجال ترشيد استخدام المياه في عدة مناطق إفريقية مثل كينيا (GWP, 2010). إلا أنّ تخطيط هذه المفاهيم (الاستراتيجيات) يتطلب استعمال برامج ونماذج رياضية متطورة ومعتمدة كنظام متكامل لدعم القرار (DSS) مثل WEAP و RIBASIM و WBalMo و MULINO و SWAT، والتي تستند غالباً على نتائج برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS، (Ouassar et al., 2009; Mugatsia, 2010; Neitsch et al., 2011).

في ضوء تزايد السكان والنتافس على المياه المتوفرة بالإضافة لكثرة الاستعمالات الأخرى، تحتم على الزراعة المروية أن تنتج غذاء أكثر بماء أقل لتحقيق الأمن الغذائي (Varela-Ortega and Sagardoy, 2001; Roost, 2003). وإنّ أي تصور جدي يهدف للتوسع بالمساحات المروية وزيادة المردود الاقتصادي للمحاصيل المختلفة، لا يمكن أن يكون بمعزل عن تطوير الكفاءة الفنية والاقتصادية لاستعمالات المياه في الزراعة وترشيدها حيث تمّ بذل جهود متنوعة في هذا المجال وكان معظمها غير مجدٍ (شمّاع، 2010).

تتطلب معالجة المشاكل الصعبة التي تواجه إدارة الري فهماً أفضل للموازنة المائية داخل مشروع الري من خلال إعادة استعمال الماء غير التقليدي المعالج، والإلمام بالمعطيات المناخية، وخصائص التربة، ونوع النبات المزروع، وكفاءة الري المطبقة. فالتعقيد في مشاريع الري على مستوى الحوض المائي يحتاج إلى نماذج رياضية متطورة يتم من خلالها إعادة تخصيص المياه وفقاً للأولويات التي تنطلق من المزرعة إلى مشروع الري ومن ثم الحوض كاملاً (Raes et al., 2014). حيث لا تأخذ موديلات الري الموجودة المصادر المائية المتاحة واستخداماتها داخل الحوض بعين الاعتبار، ما دفع إلى تطوير وربط برنامجين مع بعضهما ليشكلا برنامج رياضي متكامل مثل WEAP₂₁-MABIA، بغاية إدارة الطلب على الموارد المائية في حوضي العاصي الأعلى والأوسط بشكل عام، وتحليل إنتاجية الماء الزراعي بشكل خاص، وإظهار أثر تحسينها على رفع فعالية المسقط المائي المدروس، ناهيك عن رسم الاستراتيجيات الملائمة لإبعاد النقطة الحرجة (العجز المائي) حتى عام 2050. حيث يُعد برنامج (Water Evaluation and Planning Software, WEAP₂₁) نموذجاً رياضياً طُوّر حديثاً بالتعاون ما بين المعهد الفيدرالي لعلوم الأرض والموارد الطبيعية BGR في ألمانيا والمعهد العالمي ستوكهولم للبيئة SEI في مدينة بوسطن الأمريكية، ليضع مفهوماً جديداً حول تقييم وتخطيط الموارد المائية ضمن الظروف الراهنة والمستقبلية بحسب الافتراضات المقترحة من قبل المستخدم لتحقيق الموازنة البيئية والتنمية المستدامة في المنطقة المدروسة (Léville et al., 2003). يُستخدم البرنامج أيضاً كنظام متكامل لدعم القرار (DSS)، مما يُساعد متخذي القرار في وضع خططهم المائية على صعيد الموارد المائية المتجددة التقليدية وغير التقليدية بالإضافة إلى المحاكاة مع البرامج البديلة (McKinney, 2004; Assaf and Saadeh, 2008; Qin et al., 2011)، ناهيك عن مقدرته في بناء سيناريوهات يُمكن استخدامها في برامج أخرى مثل MONERIS وQUAL2K (Hoff et al., 2007; Gaiser et al., 2008; George et al., 2011). ولتشغيل البرنامج بشكل صحيح يجب معايرته، وهذا يتطلب الإلمام ببيانات هيدرولوجية شاملة ولمدة زمنية كافية، بالإضافة إلى معلومات حول مواقع الطلب على المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي والصناعة والزراعة وغيرها. أما برنامج MABIA فهو من أحدث البرامج المتبعة في جدولة وإدارة مشاريع الري الصغيرة والكبيرة، حيث يمتلك خصائص تكنولوجية مميزة تربط بين النبات والتربة والمناخ والماء المستعمل، وبالتالي يستطيع تحديد إنتاجية الماء الزراعي بدقة. ولتحقيق غرض هذه الدراسة في محاكاة الواقع المائي الراهن برمجياً والتحقق من النتائج المتوقعة، تم تطبيق نظام القياسات المائية (Water Accounting System, WAS) لتقدير الوضع المائي الحالي عام 2010، والتنبؤ السنوي بالموازنة المائية المستقبلية حتى عام 2050 في حوضي العاصي الأعلى والأوسط. حيث يسمح هذا النظام ببلاورة بعض السيناريوهات البسيطة فقط، وإعطاء نظرة واضحة للموارد المائية الداخلة للحوض بحسب التقلبات المناخية السائدة، وكيفية الإدارة في ظل الضغوط المتفاقمة (Turner et al., 2008). وبحسب التوزيع الجغرافي للموارد المائية، وبالاعتماد على حدود الشبكة الهيدروغرافية والمعايير الهيدرولوجية، يوجد سبعة أحواض مائية رئيسية في سورية ألا وهي: حوض العاصي، وحوض دجلة والخابور، وحوض البادية، وحوض اليرموك، وحوض بردى والأعوج، وحوض الساحل، وحوض الفرات وحلب، (Mualla and Salman, 2002). وقد دلّت بعض الدراسات السابقة على وجود عجز مائي في الأحواض الخمسة الأولى يُقدّر بنحو 1103 م³، وفائض مائي في الحوضين الأخيرين يُقدّر بنحو 1460 م³ عام 2010 (Mourad, 2012).

حيث تركز معظم العجز المائي في حوض دجلة والخابور، وتلاه بذلك حوض العاصي والذي قُدرت كميته بنحو 202 م³، وهذا الأخير تجلّى بحساب الموازنة المائية للأحواض السورية خلال الفترة الممتدة من عام 1992 إلى عام 2009 م، (عيسى، 2013).

يُعتبر المسقط المائي لمحافظة حمص متمثلاً بنهر العاصي وروافده، محور الإنتاج الزراعي وخزان مائي استراتيجي في سورية، حيث يعيش فيه أكثر من مليوني نسمة، ويتم إنتاج ما يقارب 34% من المنتجات الزراعية للحوض كاملاً علماً بأنّ المساحة لا تتجاوز 8% من مساحة سورية (FAO, 2009a). إلا أنّ خصوبة الأراضي وتزايد السكان في العقد الماضي بالإضافة للتقلبات المناخية والفقر، حثّت معظم مزارعي المنطقة لتكثيف النمو الزراعي، وهذا أدى لزيادة الضغط على الواردات المائية المتاحة في حوضي العاصي الأعلى والأوسط ولاسيما الجوفية. حيث تمّ حفر حوالي 7000 بئر في الأعلى و21000 بئر في الأوسط (ESCWA-BGR, 2012). وللتخفيف من حدة الاستنزاف الجوفي قامت وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في سورية بمنح قروض للمزارعين من أجل تطبيق تقنيات الري المتطورة من خلال مشروع التحول للري الحديث، والذي طُبّق في معظم المحافظات السورية، ولاسيما محافظة حمص حيث بلغت نسبة الأراضي المروية بطرائق الري الحديث عام 2010 بنحو 85.3% من المساحة المروية الإجمالية في حوض العاصي الأعلى والبالغة بنحو 16794 هـ، في حين قُدرت بنحو 52% فيما بعد سد قطينة (العاصي الأوسط). وهذا انعكس على تحسين واقع الري ورفع كفاءته الفعلية من 44% إلى 55% في بعض الأماكن رغم أنّ الكفاءة النظرية لأنظمة الري المضغوطة تصل إلى 85%، وذلك بسبب تدني كفاءة نقل المياه في شبكات الري الحكومية كالقنوات الخمسة وشبكة ري حمص- حماه، وغياب مفهوم تطبيق جدولة الري من أذهان معظم مزارعي المنطقة، وقد ترافق ذلك بتدني إنتاج معظم المحاصيل الحقلية (Molden et al., 2007a). حيث أنّ غالبية مزارعي المنطقة مقتنعون بأنّ الري الزائد يُساعد على زيادة الغلّة، ولكن في الواقع هم لا يهدرون الماء فحسب، بل يزيدون من تكاليف إنتاجهم لأنّ هذه الأنظمة الحديثة تعتمد على الضاغط، وهذا يتطلب الطاقة الكهربائية أو الديزل.

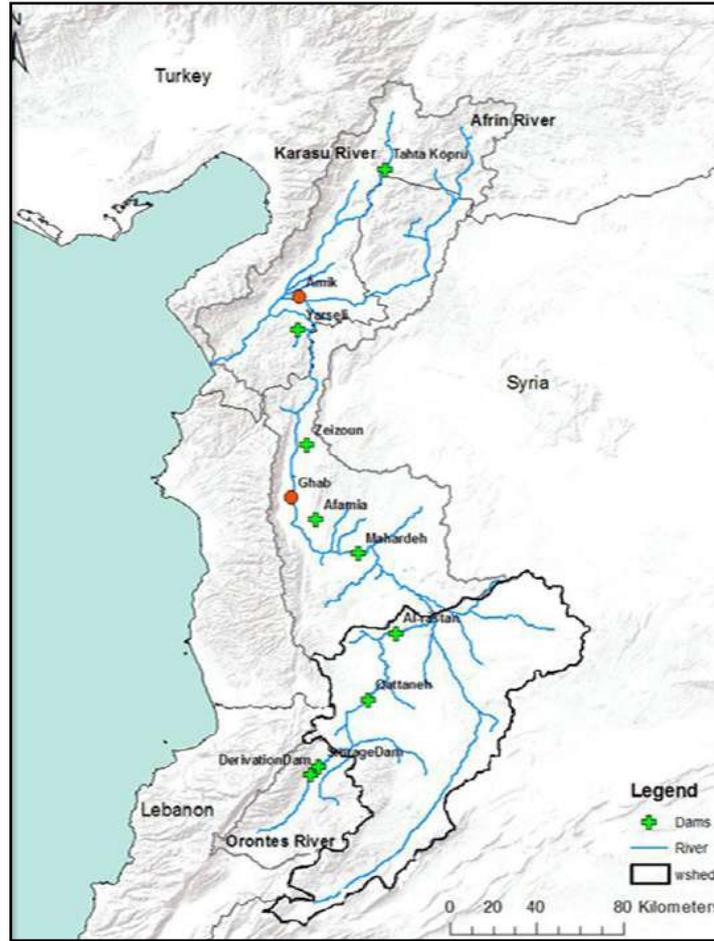
يهدف هذا البحث إلى التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي في حوضي العاصي الأعلى والأوسط في ظل التقلبات المناخية السائدة، باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) والبرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) الذي يسمح برسم استراتيجيات جديدة، تُعزز إدخال الحلول المناسبة برمجياً بشكل يُحاكي الواقع المدروس، ويُبعد النقطة الحرجة (العجز المائي) حتى عام 2050.

2- الدراسة المرجعية Literature Review:

1-2- لمحة عن حوض العاصي:

تتمتع مياه هذا النهر بأهمية بالغة بالنسبة لسورية ولبنان لأنّه يجري في محافظات رئيسية ذات كثافة سكانية كبيرة، تعتمد على النهر في تأمين مياه الشرب والصناعة والزراعة. حيث تلعب الموارد المائية في العاصي الأعلى دوراً هاماً في تطوير كامل حوض العاصي، وتُشكل أكثر من 25% من الموارد المائية الإجمالية للحوض. كما يُساهم أكثر من 40% من تصريف الينابيع في منطقة العاصي الأعلى بتغذية التدفق الرئيسي للنهر (مجرى النهر باتجاه بحيرة قطينة)، وتكون الينابيع في العاصي الأعلى أثناء فترة الصيف (انقطاع الأمطار)

المصدر الوحيد للماء العذب في النهر المتجه إلى سد الرستن ومحددة. وبالرغم من الإتفاقية السورية اللبنانية الخاصة بتقاسم مياه نهر العاصي، والتي تمت عام 1994 بين البلدين بحيث تستلم لبنان 20% من الوارد المائي السنوي للنهر والباقي لسورية، لا يوجد أي وسائل للتحكم في تطبيق الاتفاقية المذكورة (كسدود يُمكن بواسطتها تنظيم تدفق النهر وتوزيع الحصص)، بذلك يكون الطلب على المياه في لبنان هو المسيطر على الواردات المائية الداخلة لسورية، ففي السنوات الرطبة تستلم سورية موارد أكبر من المخصصة لها وفق المعاهدة، وفي سنوات الجفاف تأخذ حصة أقل (ESCWA-BGR, 2012)، كما في الشكل (1).



الشكل (1) نهر العاصي من المنبع وحتى المصب وحدود موقع الدراسة.

2-1-1-1- الدراسات السابقة المنفذة في حوض العاصي:

نُفِّذت مجموعة من الأعمال والدراسات للموارد المائية لحوض العاصي في أوقات متعددة ومن قبل جهات مختلفة، بهدف دراسة الموارد المائية في حوض العاصي وتطويرها. بالرغم من كون عدد من هذه الدراسات قديماً، ولكن يعطينا معلومات عن تطور الموارد المائية والظروف المناخية، والهيدرولوجية وعوامل أخرى لها علاقة بقييم التدفقات القديمة لنهر العاصي، كما تضمنت بعض الدراسات أعمال استطلاع ومسح هيدروجيولوجي، وتجارب حفر وضخ، وتحليل مخبرية (UNDP, 2004).

من هذه الدراسات نذكر:

- 1- "المراقبات الهيدرولوجية لنهر العاصي" وهي دراسة منفذة من قبل حكومة الانتداب الفرنسي وكانت هذه الدراسة هي الدراسة الهيدرولوجية الأولى التي تمت في نهر العاصي خلال الفترة (1930-1933)، وقد تضمنت تقرير عن القنوات الخمسة وقنوات نل الشور، المنشأة قبل ترميم سد قطينة (FMA, 1933).
- 2- "مشروع الغاب الرائد" وضعت الشركة الهولندية مسودة مفهوم تطوير الموارد المائية لحوض العاصي، تضمن المشروع الدراسة الهندسية للطول الكامل لمقاطع نهر العاصي العرضية ومشاكل توليد الطاقة الكهرومائية، وأخذ التدابير الاحتياطية لاستخدام سد الرستن وسد محردة لأهداف الري، ودرء خطر الفيضانات، وحماية المساحات المزروعة في وادي الغاب وسهل العشارنة من الغمر (NEDECO, 1953).
- 3- "استخدام مياه العاصي" حيث أكملت شركة اليوغسلافية الدراسة الأولية لترميم القنوات الخمسة ونظام ري حمص- حماه (Energoproject, 1962).
- 4- "الدراسات الهيدرولوجية لحوض العاصي" حيث قامت منظمة الأغذية والزراعة (FAO) في الفترة الممتدة (1963-1973) بتنفيذ مشروع للصندوق الخاص للأمم المتحدة، وهو مشروع تطوير الغاب (المصدق في كانون الثاني/1963)، حيث قُدمت نتائج دراسات المرحلة الأولى في التقارير التالية:
 - أ- "دراسة هيدرولوجية لنهر العاصي"، وتضمنت هذه الدراسة الموازنة المائية لسد قطينة خلال الفترة 1951/52-1962/63 واعتمدت على التدفقات المسجلة في محطة القصير ومنسوب المياه في سد قطينة. ويحتوي التقرير أيضاً على بيانات قياس التدفق المتوفرة لـ 31 ينبوع (في منطقة الغاب) للفترة 1961-1963، وتمّ قياس تدفق الينابيع بواسطة البرامه المائية، أما الينابيع ذات التصريف القليل فقد قيست بواسطة هدارات اصطناعية (Samuelsson, 1964).
 - ب- "العلاقة بين الموارد المائية لنهر العاصي وري سهل الغاب والعشارنة"، مشروع تطوير الغاب. ورد في هذه الدراسة أنه من أجل تقييم الموازنة المائية لحوض العاصي بشكل دقيق، يجب تقسيمه إلى سبع مناطق موازنة مائية [حوض العاصي في لبنان (1)، من الحدود السورية اللبنانية إلى سد قطينة (2)، من سد قطينة إلى سد الرستن (3)، من سد الرستن إلى سد محردة (4)، من سد محردة إلى مأخذ العشارنة (5)، من مأخذ العشارنة إلى قرقور (6)، من قرقور وحتى المصب (7)]، (Renaud Re, 1966). كما في الجدول (1).

الجدول (1) احتمال الواردات المائية لنهر العاصي خلال الفترة الممتدة (1930/31-1964/65).

البيان	قطينة	الرستن	محردة	العشارنة
الوسطي (م.م ³)	659	884	973	1262
احتمال الواردات (م.م ³)	%75=P	510	805	
	%80=P	500	795	
	%90=P	405	700	
	%95=P	345	540	
الانحراف المعياري σ	169	204	234	290
معامل الاختلاف Cv	0.26	0.23	0.24	0.23

قيمت الدراسة الموارد المائية للحوض، وأشارت إلى ضرورة تطوير البنى التحتية الهيدروليكية التي بوضعها الحالي تسمح بزيادة الطلب على المياه. ويحتوي التقرير على معلومات عن أمطار سنوية وشهرية لنهر العاصي، وحجوم التخزين للسدود حتى عام 1964/65 وقياسات تدفق 31 ينبوع في منطقة الغاب لفترة 1961-1965. ولخصت الموازنة المائية المدروسة في الجدول (2).

الجدول (2) الموازنة المائية في العاصي الأعلى خلال الفترة الممتدة (1964/65-1941/42).

الواردات (م.م/سنة)			
إجمالي الوارد	استرجار الماء من المضخات والأقنية	فواقد المياه في أقنية نهر العاصي	تدفق النهر عند مدخل قطينة
528.5	13.1	90.3	425.2
الاحتياجات (م.م/سنة)			
إجمالي الخارج	الخارج من السد	التبخر من سطح البحيرة	إجمالي الخارج للري
527.2	378.5	25.4	123.3
1.28	المخزن في السد (م.م/سنة)		

5- "هيدرولوجيا منطقة حوض العاصي"، نُفِذت ضمن المرحلة الثانية مشروع تطوير الغاب الممول من الصندوق الخاص للأمم المتحدة. يتألف تقرير المشروع من جزأين: نشرة البيانات الهيدرولوجية من 1965/66-1970/71، والجزء الثاني الموارد المائية وإدارتها، (Blagojevic, 1974).

تتألف "نشرة البيانات الهيدرولوجية" خلال الفترة (1965/66-1970/71) من (6) كتب منفصلة تتضمن أنواع متعددة من المعلومات. تشمل النشرة الوثائق الأصلية للمراقبات الميدانية وقياسات التدفق بشكل جزئي، وحساب تدفقات النهر، الهطول، درجة الحرارة، والطلب على المياه بشكل رئيسي. في حين تضمن الجزء الثاني "الموارد المائية وإدارة المياه" خلاصة البيانات الواردة في النشرة وتحليلها، الموازنة المائية والتوصيات. قُسم الجزء الثاني إلى ثلاث أقسام: العاصي الأدنى، العاصي الأوسط، العاصي الأعلى. حيث استخدمت بعض الموجودات في التقرير في دراسات حوض العاصي اللاحقة.

6- "الدراسات والتحريرات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية في الأحواض الأربعة في الجمهورية العربية السورية- حوض العاصي". حيث قامت مديرية الأحواض المائية خلال الفترة (1974-1978) بالتعاون مع الشركة السوفيتية بإجراء دراسة شاملة للأحواض الأربعة في سورية ومن ضمنها حوض العاصي. استهدفت الدراسة الظروف الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية العامة لحوض العاصي، ولتحقيق ذلك تم تنفيذ مجموعة من الأعمال الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية والجيوفيزيائية وأعمال متممة لها شملت أعمال مسح هيدروجيولوجي وأعمال حفر وضخ، وأعمال رصد دوري، وأعمال مخبرية. حيث قُدرت موارد المياه الجوفية الصالحة للاستعمال في حوض العاصي بنحو 1254 م.م/سنة (GRUZGIPROVODKHOZ, 1979).

7- "تحريرات في تخزين سد قطينة": تُمثل هذه الدراسة مفهوم الموازنة المائية لسد قطينة من عام 1951/52 وحتى عام 1975/76. قُدِّرت متوسط فواقد التبخر السنوية من سطح السد بنحو 70 م³/سنة، وتمَّ قياس التبخر بجهاز لامبرخت (Lambrecht) حيث زُرعت أربع أجهزة على محيط البحيرة على ارتفاع 2 م. وحُدِّدت التحريرات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية فواقد التسرب من السد بنحو 12.7 م³/سنة، استخدم بعض من نتائج هذه الدراسة في الدراسة الحالية وأدرجت نتائج الموازنة المائية المدروسة لسد قطينة عام 1975/76-1951/52 (SELKHOPROMEXPORT, 1977) في الجدول (3).

الجدول (3) الموازنة المائية في حوض العاصي الأعلى خلال الفترة الممتدة (1975/76-1951/52).

الواردات (م.م ³ /سنة)			
إجمالي الواردات	المطر المباشر على سطح البحيرة	الجريان السطحي إلى حوض البحيرة	الإجمالي من العاصي (جريان سطحي وتدفق ينابيع)
536.82	24.01	21.49	491.32
الاحتياجات (م.م ³ /سنة)			
إجمالي الاحتياجات	فواقد التسرب من البحيرة	التبخر من سطح البحيرة	استرجار المياه بواسطة الضخ
535.24	12.63	69.99	7.93
1.58	المخزن في السد (م.م ³ /سنة)		

8- "الدراسة الهيدروليكية للبنية الأساسية للعاصي" (SOFRELEC, 1982). يُمكن من هذه الدراسة الحصول على سلاسل زمنية طويلة الأمد من التدفق السنوي والشهري للعاصي لفترة 48 سنة (1978/79-1931/32) من الحدود السورية اللبنانية وحتى سد محردة للمواقع التالية: الهرمل، القصير، قطينة، قطينة الرستن، الرستن - محردة. وقد أدرجت البيانات الإحصائية للتدفقات السنوية المقدرة بالجدول (4).

الجدول (4) احتمال التدفقات المارة في نهر العاصي خلال الفترة (1978/79-1931/32).

البيان	الهرمل	القصير	قطينة	قطينة - الرستن	الرستن - محردة	ساروت - مجدل
المتوسط	402	448	531	189	61	93
الانحراف المعياري σ	108	132	145	87	36	50
معامل التغير C_v	0.27	0.29	0.27	0.46	0.59	0.54
احتمال الواردات (م.م ³ /سنة)	5%	619	818	349	128	196
	10%	559	622	738	108	167
	20%	490	548	648	86	133
	50%	386	430	510	176	84
	80%	301	337	398	116	46
	90%	265	297	350	91	28
95%	241	267	319	72	15	15

9- "التقرير الهيدرولوجي لسد زيتا"، وقد قام بإعداده الشركة العامة للدراسات المائية /فرع حمص/ عام 1990. تمّت فيه دراسة الواردات الشهرية والسنوية لأعالي العاصي، والتصارييف الأعظمية لنهر العاصي وذلك بالاستفادة من تدفق نهر العاصي الوارد بدراسة SOFRELEC، كما تمّت دراسة الاحتياجات المائية والتنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية، كما في الجدول (5).

الجدول (5) التنبؤ بالموازنة المائية لعام 2030 لاحتتمالات مختلفة للواردات المائية الداخلة لسد قطينة وفق التقرير الهيدرولوجي لسد زيتا.

احتمال واردةات %95	احتمال واردةات %75	احتمال واردةات %50	البيان	
270.07	381.11	457.51	نهر العاصي عند الحدود السورية اللبنانية	الواردات (م.م ³ /سنة)
52.95	58.38	60	نبع التتور+البرهانية+عين السمك	
323.02	439.49	517.51	إجمالي الواردات	
69	69	69	في لبنان لمياه الشرب والري	الاحتياجات (م.م ³ /سنة)
215.37	215.37	215.37	الشرب لحمص وحماه	
24	24	24	التدفق البيئي بعد العميري	
71	71	71	احتياجات الري	
12	12	12	تسرب من سد قطينة	
64	64	64	تبخر صافي	
135	135	135	شبكة ري حمص-حماه	
42.5	42.5	42.5	التدفق البيئي بعد قطينة	
632.87	632.87	632.87	إجمالي الاحتياجات	
-309.85	-193.38	-115.36	حاصل الموازنة المائية (م.م³/سنة)	

10- "تطور الموارد المائية في الأحواض المركزية والشمالية الغربية في سورية"، وقد قامت بها وكالة التعاون الدولية اليابانية JICA (1998)، وتعتبر هذه الدراسة واحدة من أحدث الدراسات التي قامت بتقدير الموارد المائية في عدة أحواض في سورية منها حوض العاصي.

11- "الدراسة الهيدرولوجية لمنطقة عين التتور"، وقد قامت بها الشركة العامة للدراسات المائية /فرع حمص/. عام 2000، وكان الهدف من الدراسة معرفة تأثير إنشاء سد الشهيد باسل حافظ الأسد (سد زيتا) على تصريف عين التتور، وقد خلّص التقرير إلى أنّ إنشاء السد المذكور ليس له تأثير على تصريف نبع عين التتور. وتحتوي هذه الدراسة على معلومات مهمة عن الوضع الحالي للمياه الجوفية. حيث تمّ حفر آبار لمراقبة مناسيب المياه الجوفية، وتمّ الضخ من هذه الآبار وفق برنامج زمني محدد، ومراقبة تغير مناسيب المياه في هذه الآبار. وورد في الدراسة أنّ إجمالي الواردات المائية الجوفية المتجددة بلغ بنحو 110.5 م³ عام 1998.

12- "مشروع تطوير شبكة ري حمص-حماه" (YECOM, 2001)، حيث ورد في الدراسة أنّ تدفقات نهر العاصي التي ستدخل سورية مستقبلاً عند العميري خلال عشر سنوات (1989/90-1998/99) تساوي: 326 م³ عند احتمال 50%، و 255 م³ عند احتمال 75%، و 155 م³ عند احتمال 95%.

- 13-** "التخطيط لإدارة متكاملة للموارد المائية" في حوض العاصي الأعلى، مشروع SYR/98/008-UNDP/DESA/MoI. "بيانات ومعلومات عن الموارد المائية" فالجزء الأول تحاليل تشخيصية (UNDP, 2002a)، والجزء الثاني استراتيجية التشغيل (UNDP, 2002b). تضمنت هذه الدراسات تقييم شبكة المراقبات الهيدرولوجية في العاصي الأعلى، كما ورد فيها بيانات ومعلومات عن الموارد المائية. قُيِّمت شبكة المراقبات المذكورة بأنها جيدة فيما يتعلق بعدد ومواقع وتجهيزات وظروف محطات القياس.
- 14-** "الموازنة المائية للمياه السطحية في حوض العاصي الأعلى": قُدِّرت الواردات المائية بين الحدود السورية اللبنانية وسد قطينة، والتنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية لعام 2030 (مكسور، 2006)، كما في الجدول (6).

الجدول (6) التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية لعام 2030 لاحتتمالات مختلفة للواردات المائية.

احتمال واردات %95	احتمال واردات %75	احتمال واردات %50	البيان	
160	222.5	265.82	نهر العاصي عند الحدود السورية اللبنانية	الواردات (م.م/سنة)
8.15	12.12	14.88	بنابيع	
0	1.46	3.85	من وادي ربيعة	
2.08	2.08	2.08	من عين التتور	
1.14	1.14	1.14	رواجع المدن والقرى (القصير+مندو)	
2.65	5.79	7.98	الجريان السطحي بين الجوادية وقطينة	
2.203	5.24	12	الجريان والساقط المطري فوق بحيرة سد قطينة	
176.22	250.3	306.75	إجمالي الواردات	
40	40	40	مشروع ري احتياج القنوات الخمس	الاحتياجات (م.م/سنة)
20	20	20	مشروع ري الأراضي حول نبع عين التتور	
211.12	211.12	211.12	احتياج الشرب لحمص وحماه	
5.58	5.58	5.58	احتياج الألفية التقليدية (أم العيال+الموح+...)	
28.03	2.19	2.19	احتياج معمل الفوسفات (بعد حسم الرواجع للإحتمالين 50% و75%)	
52.58	1.08	1.08	احتياج محطة توليد الكهرباء (بعد حسم الرواجع للإحتمالين 50% و75%)	
357.31	279.9	279.97	إجمالي الاحتياجات	
-181.5	-34.43	0	العجز	
15.65	15.65	26.78	الوارد إلى قطينة	

- 15-** "التخطيط لإدارة متكاملة للموارد المائية" حوض العاصي الأعلى مشروع UNDP/DESA/MoI SYR/98/008 (UNDP, 2004). تتألف الدراسة من ثلاثة أجزاء: تضمن الجزء الأول الظروف الطبيعية للعاصي الأعلى، والجزء الثاني تقييم المصادر المائية والموازنة المائية لسد قطينة، كما في الجدول (7). والجزء الثالث استخدامات المياه والطلب عليها والتنبؤ بالموازنة المستقبلية عند احتمال واردات 50%، 75%، 95%، كما في الجدول (8).

الجدول (7) الموازنة المائية لسد قطينة خلال الفترة (2000/01-1975/76)

وفق دراسة UNDP/DESA/MoI.

الواردات (م.م ³ /سنة)		
إجمالي الواردات	المياه الجوفية	متوسط تدفق النهر عند الحدود السورية اللبنانية
447.66	99.97	347.69
الاستجارات (م.م ³ /سنة)		
إجمالي الاستجارات	الداخل إلى قطينة	تزويد حمص وحماه بمياه الشرب
332.5	263.32	69.18
115.16	الموازنة المائية (المياه المستخدمة للري في العاصي الأعلى)	

الجدول (8) التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية (م.م³) لعام 2030 لاحتمالات مختلفة للواردات المائية

وفق دراسة UNDP/DESA/MoI.

البيان	احتمال واردات %50	احتمال واردات %75	احتمال واردات %95
الواردات المائية من نهر العاصي	344.14	289.07	216.61
التدفق البيئي	31.54	31.54	31.54
الشرب لحمص وحماه من النهر	228.03	217.29	175.87
الشرب لحمص وحماه من سد زيتا	0.00	10.74	52.16
الفائض	84.57	40.24	9.20
ري القنوات الخمس من النهر	64.81	40.24	9.20
ري القنوات الخمس من المياه الجوفية	13.77	38.34	69.38
تدفق النهر	51.30	31.54	31.54
عائد 8% من المياه المضخوخة لشرب حمص وحماه	18.24	18.24	18.24
ري 448 هكتار (أنهار بالضخ والراحة)	4.45	4.45	4.45
تدفق النهر	65.09	45.33	45.33
موازنة المياه الجوفية	المياه الجوفية	100.00	75.33
	ري 8465 هكتار	72.80	72.80
	إجمالي الجوفي المستخدم	86.57	111.14
	تدفق ينابيع أو عجز	13.43	-21.27
الداخل إلى قطينة	78.52	45.33	45.33
الوارد إلى قطينة	مطر مباشر	20.44	9.66
	جريان سطحي	21.56	3.23
	إجمالي الوارد	120.52	72.15
فواقد قطينة	تبخر	60.91	51.04
	تسرب	12.62	12.62
	إجمالي الفواقد	73.53	63.67
سد قطينة	9.46	9.46	9.46
تدفق بيئي	31.54	31.54	31.54
المتبقي لما بعد السد	5.99	-42.37	-46.44
ري قناة حمص	117.22	117.22	117.22
الموازنة المائية	-111.23	-159.59	-163.66
العجز الإجمالي	-111.23	-180.86	-230.52

16- التخطيط لإدارة متكاملة للموارد المائية في حوض العاصي الأعلى، حيث تضمنت هذه الدراسة تقييم الواقع الاجتماعي والاقتصادي في العاصي الأعلى، واستخدامات الأراضي وتقييم أداء شبكة ري القنوات الخمسة، والتنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية (Somi, 2004)، كما في الجدول (9).

17- مشروع دراسة إمكانية تصغير بحيرة قطينة (2001-2003): نُفذت الدراسة من قبل شركة سونير- يكم الإيرانية، وتهدف إلى تأمين الاحتياجات المائية للمناطق الواقعة في أسفل النهر بعد سد قطينة، وتقليل ضياعات التبخر، واقتُرحت الدراسة عدة حلول لتصغير سطح بحيرة قطينة، ألا وهي:

الحل الأول: إبقاء بحيرة قطينة على وضعها الراهن بدون تغيير مع فصل شبكة ري حمص عن شبكة ري حماه وتنفيذ محطة ضخ الرستن.

الحل الثاني: تصغير البحيرة دون إحداث منشآت إضافية وذلك بتخفيض منسوب التخزين إلى 498 م عن سطح البحر أي بنحو 3.5 م، مع فصل شبكة ري حمص عن شبكة ري حماه وتنفيذ محطة ضخ الرستن.

الحل الثالث: تصغير البحيرة بإحداث منشآت جديدة دون التأثير على المنشآت القائمة، وفي هذا الحل يبقى السد والمنشآت القائمة على وضعها الراهن، ويتم تصغير مساحة البحيرة عن طريق إنشاء سدود وسدّات.

الحل الرابع: تصغير البحيرة مع تغيير المنشآت المقامة حالياً.

رَجّحت الدراسة الحل الثاني المتضمن تخفيض منسوب التخزين بالبحيرة إلى المنسوب 498 م عن سطح البحر بدون أي كلفة إضافية بعد تشغيل محطة ضخ الرستن، وفصل شبكة ري حمص عن شبكة ري حماه لأنه يؤدي إلى تقليل ضياعات التبخر أكثر من بقية الحلول، في هذا الحل ستخفّض مساحة بحيرة قطينة إلى 28.1 كم² وحجم التخزين إلى 40 م³ وحجم التبخر 28 م³/سنة، وهي قيمة غير صحيحة كون نتائج قيم التبخر في الدراسة تُشير إلى أكبر من ذلك، وقد اعتمدت مديرية الري العامة لحوض العاصي هذا الحل. وبالتدقيق تبين أنّ حجم ضياعات التبخر من سطح البحيرة في حال المحافظة على منسوب 498 م وفق قيم التبخر الواردة بالدراسة هو 41.7 م³ وليس 28 م³ من كامل سطح البحيرة، كما ورد في الحل الثاني المعتمد في الدراسة.

18- التعاون السوري-الهولندي في مجال المياه (2005-2008):

يهدف المشروع لإدخال مفاهيم الإدارة المتكاملة للموارد المائية في التخطيط لقطاع المياه، ووضع خطة للإدارة المتكاملة للموارد في حوض العاصي، وتطوير نموذج رياضي عددي لجريان المياه الجوفية في حوض العاصي. بين النموذج أنّ استخراج المياه الجوفية يتجاوز بكثير التغذية (التجدد) في عدة مناطق بسبب الاستثمار الجائر، مما أدى إلى انخفاض في مناسيب المياه الجوفية ومنها القصير ضمن منطقة الدراسة. ويمكن استثمار حوالي (20-30 م³) في زيتا و(10-20 م³) في دحيريج من المياه جوفية ضمن منطقة الدراسة كما في (رعد، 2013).

19- مشروع تطوير شبكات ري العاصي الأعلى والشبكة البديلة عن الآبار المحفورة في حرم نبع عين التتور: نفذت الدراسة شركة المهندسين الاستشاريين العرب عام 2007، وسُجّلت حجوم واردات نهر العاصي في مرصد العميري بحسب التوزيع الاحتمالي التجريبي الهيدرولوجي (كريتسكي منكل) في الجدول (10).

الجدول (9) التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية لعام 2030 لاحتمالات مختلفة للواردات المائية وفق دراسة (Somi, 2004).

الموازنة الإجمالية لحوض العاصي الأعلى- منطقة القصير وفق كفاءة استخدام مياه الري (م.م ³)			رواجع الصرف الزراعي وفق كفاءة الري الإجمالية (م.م ³)			الطلب D (م.م ³)							الموارد المائية المتاحة (م.م ³)			احتمال السنة المائية %P			
						إجمالي الطلب وفق كفاءة الري الإجمالية			الزراعة بكفاءة ري إجمالية			الجريان البيئي	الصناعة	الشرب	السنة		المجموع	جوفية	سطحية
%30	%50	%75	%30	%50	%75	%30	%50	%75	%30	%50	%75								
51.42	104.74	128.73	93.296	39.983	10.662	479.56	372.93	319.62	266.56	159.93	106.62	31.0	19.0	163.0	2005	437.69	90.00	347.69	50
36.42	89.74	113.73				494.56	387.93	334.62						178.0	2010				
0.42	53.74	77.73				530.56	423.93	370.62						214.0	2020				
-46.58	6.74	30.73				577.56	470.93	417.62						261.0	2030				
-12.90	40.42	64.41	93.296	39.9825	10.662	479.56	372.93	319.62	266.56	159.93	106.62	31.0	19.0	163.0	2005	373.36	80.892	292.47	75
-27.90	25.42	49.41				494.56	387.93	334.62						178.0	2010				
-63.90	-10.58	13.41				530.56	423.93	370.62						214.0	2020				
-110.90	-57.58	-33.60				577.56	470.93	417.62						261.0	2030				
-105.46	-52.14	-28.15	93.296	39.9825	10.662	479.56	372.93	319.62	266.56	159.93	106.62	31.0	19.0	163.0	2005	280.81	67.793	213.01	95
-120.46	-67.14	-43.15				494.56	387.93	334.62						178.0	2010				
-156.46	-103.14	-79.15				530.56	423.93	370.62						214.0	2020				
-203.46	-150.14	-126.15				577.56	470.93	417.62						261.0	2030				

الجدول (10) حجم الجريان السنوي في مركز العميري (م.م³/سنة).

P%	95	80	75	50	25	10
الجريان السنوي	210	274	285	345	415	475

20- ترشيد استخدام الموارد المائية في حوض العاصي الأعلى (خزام، 2010):

هدفت الدراسة إلى إدارة الموارد المائية المتوفرة في حوض العاصي الأعلى باستخدام برنامج WEAP، حيث تم وضع برنامج رياضي يربط بين الموارد المائية المتاحة والطلب المستقبلي حتى عام 2030، ودراسة ثلاث سيناريوهات لأربعة حوارات عند عدة احتمالات للواردات المائية. وتبين أن أقل قيمة عجز كانت في السيناريو الثالث (تحسين كفاءة الري وشبكات مياه الشرب والاستخدام المنزلي إلى 80%) عند جميع الحوارات المقترحة، ولاسيما بعد استثمار سد زيتا.

21- التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي لحوض العاصي الأعلى باستخدام الطرق التحليلية الإحصائية: حيث تم دراسة الواردات المائية بأسلوب جديد (نماذج ARIMA) وهو بعيد عن الطرق الكلاسيكية في الدراسات السابقة، ومن ثم بناء البرنامج والتنبؤ بالواردات المائية حتى عام 2030، وجرى اقتراح ثلاث حلول لبيان مدى انعكاسها على خفض كمية العجز ورفع نسب تأمين الاحتياجات، ألا وهي:

- خفض معدل استهلاك الفرد من مياه الشرب والاستهلاك المنزلي إلى 150 ل/يوم.
- تصغير بحيرة قطينة باقتراح حل جديد.
- تحسين كفاءة ري شبكة حمص.

وبيّنت النتائج أنه بخفض معدل حاجة الفرد اليومية من مياه الشرب والاستهلاك المنزلي إلى معدل استهلاك معتدل للفرد، وترشيد استخدام مياه الشرب والري، وتقليل التبخر من بحيرة قطينة، يُمكن تلبية التزامات الأولوية الثانية (الطلب على مياه الشرب والاستخدام المنزلي والتدفق البيئي والصناعة) والثالثة (الري) بنسبة تصل إلى 25% بالمقارنة مع الوضع الراهن لبحيرة قطينة (رعد، 2013).

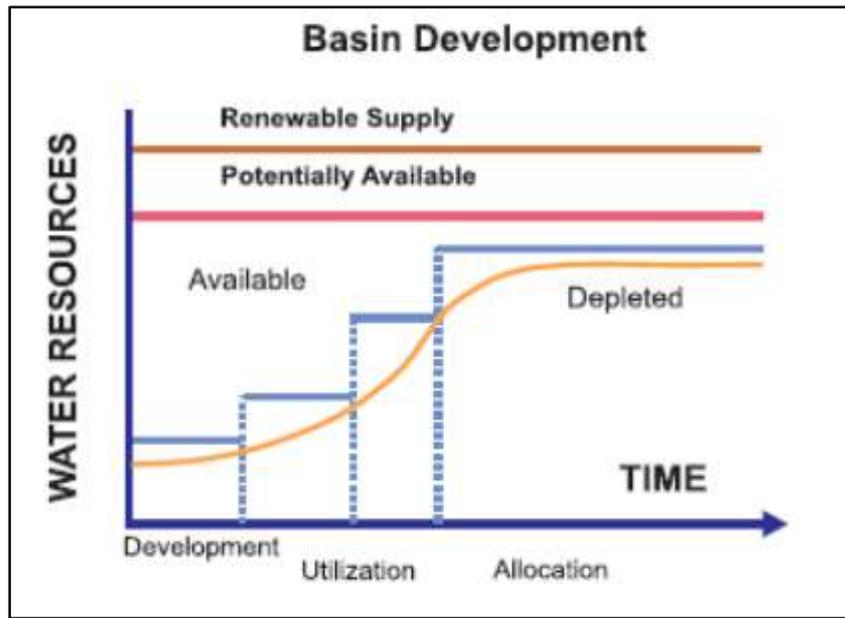
• نتائج الدراسات السابقة:

اقتصرت معظم الدراسات السابقة في الحوض المدروس على تقارير هيدرولوجية وإنشائية وموازنات مائية سطحية بحسب السدود القائمة، حيث اعتمد معظمها على طرق التحليل الإحصائي الكلاسيكي (الاحتمالي)، حيث يُلاحظ أنها توصلت إلى وجود عجز في تلبية الاحتياجات المائية لمواقع الطلب قبل وبعد سد قطينة عام 2030 عند كافة الاحتمالات وذلك وفق الواقع الحالي للطلب على المياه، وتبين أنه سيحصل عجز مائي في تأمين التزامات الأولوية الأولى (الطلب على مياه الشرب والاستخدام المنزلي والتدفق البيئي والمنشآت الصناعية قبل سد قطينة) اعتباراً من عام 2016 عند احتمال واردات مائية 95% يُقدّر بنحو 222 م³، بالإضافة إلى ظهور عجز مائي في تأمين التزامات الأولوية الثانية (شبكة ري القنوات الخمسة) اعتباراً من عام 2017 عند احتمال واردات مائية 75% يُقدّر بنحو 320 م³ (رعد، 2013). ومن هنا تبرز أهمية إدارة الطلب على المياه وترشيد استخدام الموارد المائية في العاصي الأعلى، وهذا يلزمه إتباع النمذجة الرياضية في إدارة الموارد المائية واستخداماتها واتخاذ الإجراءات اللازمة (الاستراتيجيات) للتأخير ما أمكن من الوصول إلى النقطة الحرجة.

2-2- نظام القياسات المائية (WAS): وهو الإجراء الرياضي المحلل لاستعمالات المياه واستنزافها وسبل ترشيدها في كامل أو جزء من الحوض وهذا ما تجاهلته الدراسات السابقة.

أ- على صعيد الأحواض المائية العالمية:

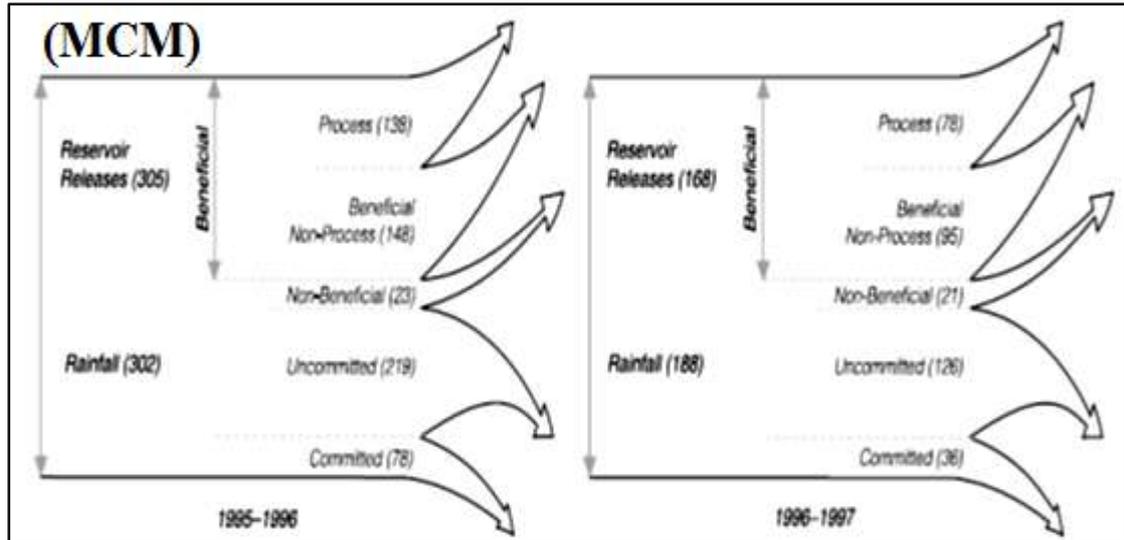
بين (Molden et al. 2001a) أن هنالك أربع مراحل لدراسة تطور الموارد المائية في الحوض النهري، وهي على التتابع: 1- مرحلة الإنشاء والتطوير، 2- مرحلة إدارة العرض وتقنيات حفظ الماء، 3- مرحلة الإدارة المتكاملة للموارد وتخصيص المياه بين القطاعات المختلفة، 4- مرحلة إدارة الطلب عندما يكون الحوض مغلق (أي كل المتاح المائي مستخدم في القطاعات المختلفة)، كما في الشكل (2).



الشكل (2) مراحل تطور الحوض المائي.

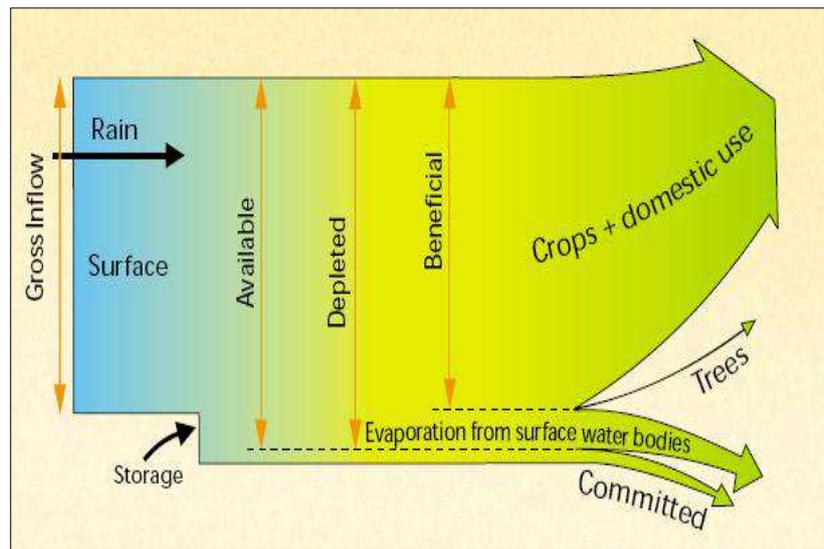
بين (Molle et al. 2010) أن معظم الأحواض النهرية في البلدان النامية قاربت على الإغلاق (أي معظم المياه المتاحة المتجددة أصبحت مُستخدمة من قبل القطاعات المختلفة) بسبب التزايد السكاني السريع والتنافس بين المستثمرين المترافق بانخفاض الموارد المائية المتجددة، وقد عُرِفَ الحوض المفتوح عندما يخرج منه تدفق مائي غير مستخدم وغير مخصص. وهذين المفهومين يُحددان استراتيجيات إدارة الوصول إلى أفضل فعالية للحوض في الزمن الحاضر والمستقبل، فمن المهم في الأحواض المائية كحوض العاصي التخطيط لإدارة وتخصيص المياه في ظل تزايد الطلب على المياه وقلة الوارد المائي الداخل مع الزمن.

استعمل (Bakker et al. 1999) نظام القياسات المائية (WAS) في الحوض الفرعي Kirindioya في سيريلانكا، وأظهرت نتائج الموازنة المائية للحوض خلال الأعوام 1995/96 و1996/97 أن تناقص الموارد المائية الداخلة، أدى لانخفاض فعالية الحوض وحدوث عجز مائي في غالبية القطاعات ناهيك عن إغلاق الحوض، وقد صيغت النتائج على شكل مخطط يوضح آلية عمل نظام القياسات المائية (WAS) المعتمد عالمياً والمعد من قبل (Molden and Sakthivadivel, 1999)، كما في الشكل (3).



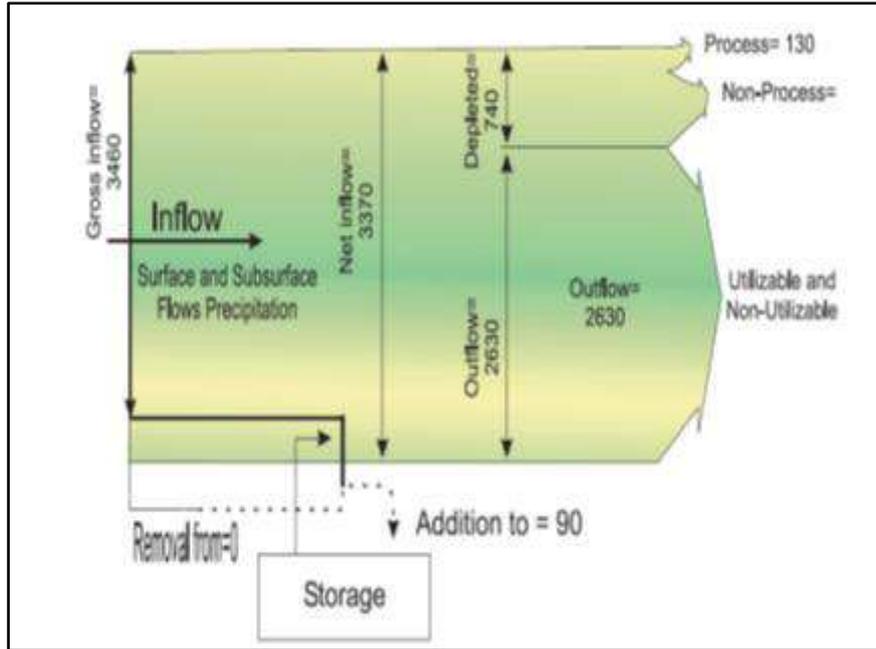
الشكل (3) الموازنة المائية في الحوض الفرعي Kirindioya (سيريلانكا) باستعمال نظام (WAS).

ومن خلال دراسة الموازنة المائية في حوض Chishtian في باكستان بذات الأسلوب السابق، استنتج باحثو (2000) IWMI أنه مغلق حيث أن كل الماء المتاح مُستخدم لإنتاج المحاصيل، ويوجد نسبة قليلة من الاستنزاف غير العملي، كما في الشكل (4). وهذا يلزمه استراتيجية تحسين إنتاجية الماء الزراعي بشكل أمثل.

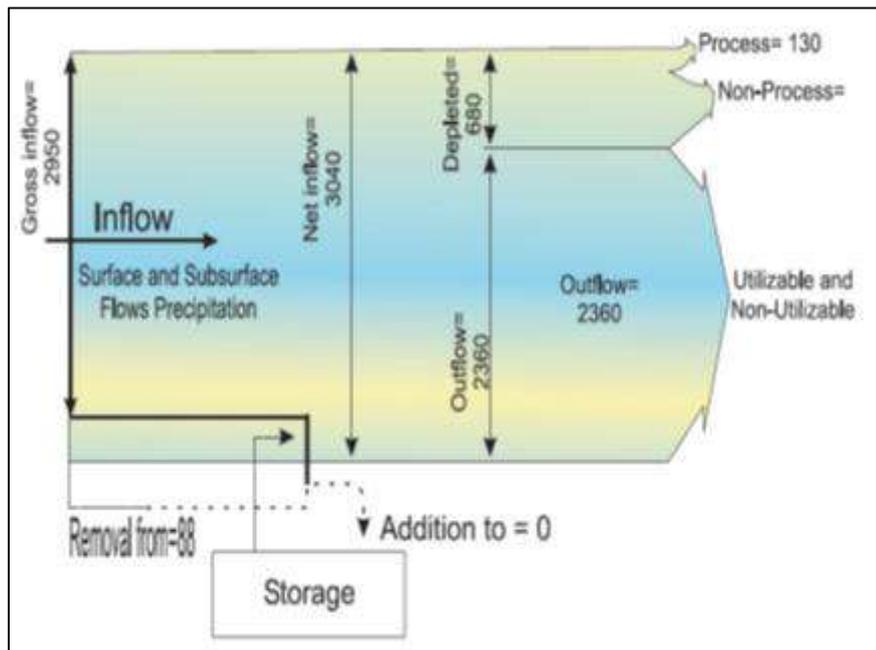


الشكل (4) الموازنة المائية في الحوض الفرعي Chishtian (باكستان) باستعمال نظام (WAS).

وضّح (2002) Bhattarai et al. من خلال نتائجهم على حوض نهر Indrawati في النيبال، أنه حوض مفتوح عند دراسة الموازنة المائية في حالة السنوات الطبيعية (احتمال وارد مائي 50%) حيث حوالي 90% يعبر الحوض ويخرج منه، ويقترّب الحوض من الإغلاق في حالة السنوات الجافة (احتمال وارد مائي 75%) نتيجة تناقص الوارد المائي، وعليه يجب التخطيط لمشاريع عملية تُساعد على رفع الإنتاجية، كما في الشكلين (5 و6).

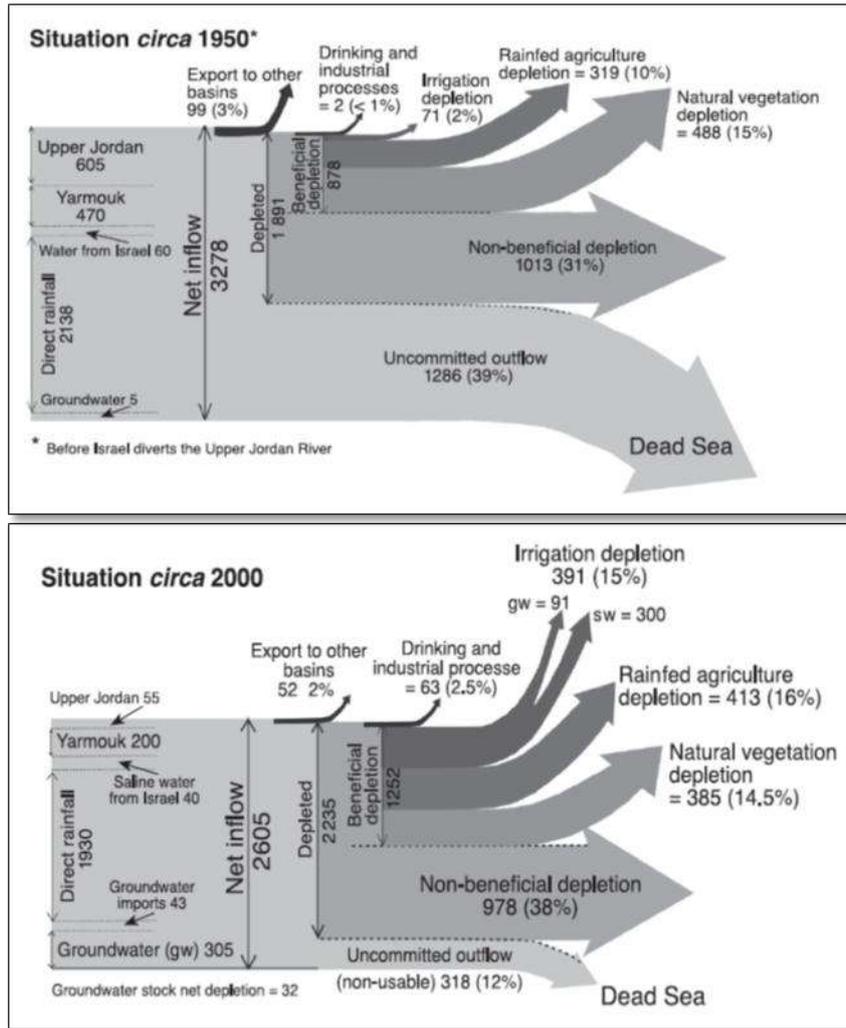


الشكل (5) الموازنة المائية في الحوض الفرعي Indrawati في حالة السنوات الطبيعية.



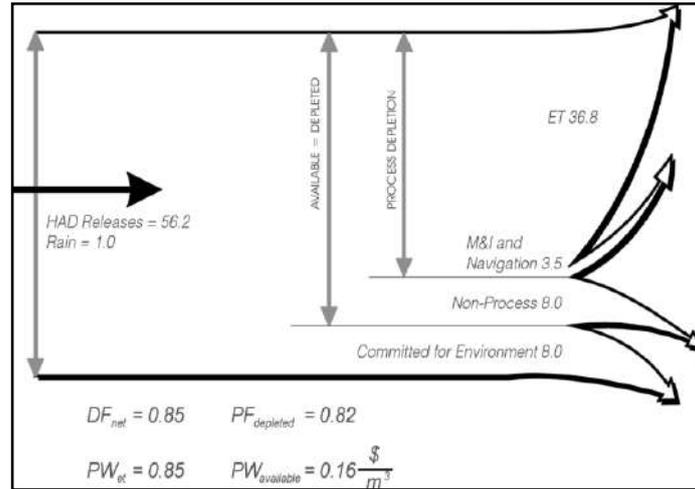
الشكل (6) الموازنة المائية في الحوض الفرعي Indrawati في حالة السنوات الجافة.

درس (Van Aken et al. (2007) حالة الحوض الأدنى لنهر الأردن خلال عامي 1950 و 2000 واستنتج تحول الحوض من الحالة المفتوحة عام 1950 (حيث حوالي 39% من الوارد الصافي الداخل يخرج من الحوض إلى البحر دون استخدام) إلى الحالة شبه المغلقة عام 2000 نتيجة لنقص الوارد المائي وتعدد الاستعمالات (حيث انخفضت نسبة الخارج للبحر الميت إلى 12% من الوارد الداخل الصافي)، كما في الشكل (7). وفي كلتا الحالتين كانت نسبة الاستنزاف غير المفيد عالية وتبلغ بنحو 31-38% بالمقارنة بالاستنزاف المفيد.



الشكل (7) الموازنة المائية في الحوض الفرعي لنهر الأردن بين عام 1950 وعام 2000.

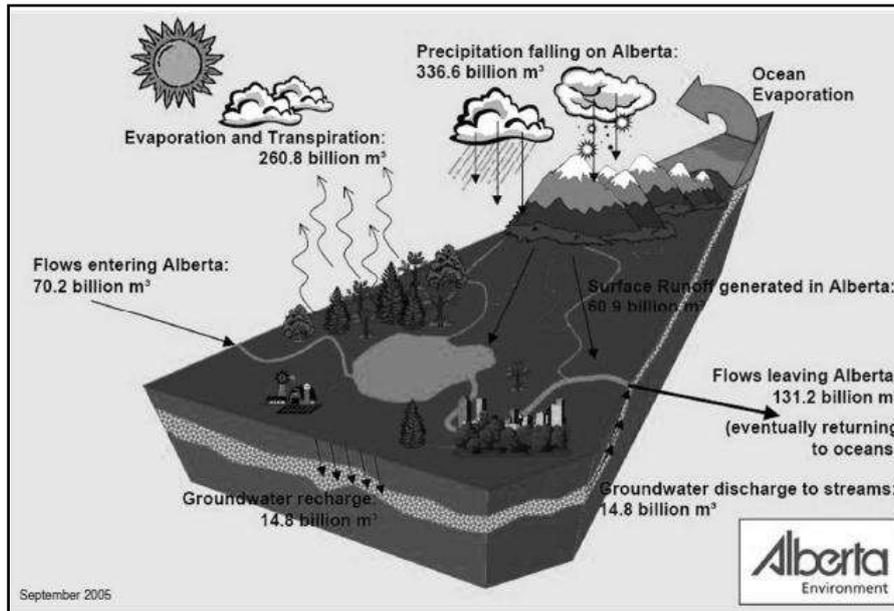
أظهرت نتائج Daniel et al. (2008) على حوض Krishna في الهند باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) خلال الفترة 1990-2000 على أنه حوض مغلق، وأن كمية الاستنزاف العملي للري ازدادت من 17.1 بليون م³/سنة خلال الفترة 1955-1965 إلى 44.3 بليون م³/سنة خلال الفترة 1990-2000، وهذا يعني زيادة في كامل الاستنزاف بنحو 19% خلال الفترة 1955-2000 وهي تُمثّل 88% من الوارد المائي الصافي للحوض. طبق (2009) Mohamed et al. نظام القياسات المائية (WAS) في حساب الموازنة المائية في السد العالي في أسوان على نهر النيل بين عامي 2007-2008، فكان الاستنزاف العملي بنحو 65% كتبخّر- نتج من المحاصيل وهو النسبة العظمى في حين كانت نسبة الاستنزاف غير العملي بنحو 15%، وما يذهب لتلبية متطلبات التدفق البيئي بحدود 10% من الماء المتاح المستخدم، وعليه كانت نسبة الاستنزاف من التدفق الكلي $DF_{GL} = 0.86$ ، وإنتاجية الماء العملي كانت بحدود دولار/م³ $PW_{prosses} = 0.20$ وإنتاجية الماء الزراعي بوحدة التبخّر- نتج كانت أعلى من إنتاجيته بوحدة الماء الكلي الداخل، كما في الشكل (8).



الشكل (8) الموازنة المائية في حوض النيل (موازنة سد أسوان العالي).

أوضحت دراسة (Turner et al. (2010) بعد تطبيق نظام القياسات المائية في حوض Thomson في استراليا واستنتاج الموازنة المائية عام 2008، لزوم وضع استراتيجيات مهمة كالدود مثلاً لتخزين الماء والاستفادة منها في أشهر الجفاف، وهذا سيوفر ما يقارب 25% كمخزون مائي جوفي.

درس كلاً من (Fennell and Goel (2011) الموازنة المائية في حوض Alberta في كندا باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) وتوصلوا إلى أنه حوض مفتوح في عام الدراسة، حيث يُغادر من الحوض إلى المحيط ما يقارب 131.2 بليون م³/سنة، ولكن مع كثرة الاستعمالات في المستقبل ولاسيما التوسع الصناعي والزراعي وتزايد عدد السكان، سيتحول إلى حوض مغلق ويظهر العجز المائي في القطاعات المختلفة، لذا يجب وضع الخطط وإعادة تخصيص المياه مع مراعاة التطور في المستقبل، كما في الشكل (9).



الشكل (9) مخطط يوضح الوارد المائي الداخل والخارج من حوض Alberta في كندا.

ب- على صعيد الأحواض المائية في سورية:

تُعتبر الأبحاث على الأحواض المائية في سورية محدودة بشكل عام، وكذلك الأمر اقتصر على الموازنة المائية السطحية السنوية لبعض السدود المنشأة على مجاري الأنهار بغض النظر عن موازنة المستجمعات المائية كما هو الحال في حوض العاصي، حيث درس (2004) Altinbilk تطور وإدارة حوض الفرات ودجلة، في حين وضع (2005) Shaban et al. وصفاً للحوض المائي (النهر الكبير الجنوبي) بين سورية ولبنان، كما وقد أعاد النظر (2006) Kattan في الصفات البيئية والهيدرولوجية للماء السطحي والجوفي في حوض بردى والأعوج. حلل (2009) Braemer et al. إدارة السلسلة الزمنية للموارد المائية في حوران جنوبي سورية. أيضاً درس كلاً من (2007) Abou Zakhem and Hafez التداخل بين ماء البحر والمياه العذبة في حوض الساحل السوري. وبيّن (2009) Barnes أنّ سورية تُعاني عجزاً مائياً حاداً من خلال سياساتها النامية في توسعها الزراعي وتزايد عدد السكان السريع. وتتضح هذه المشكلة عند المقارنة بين عام 1981 حيث كان عدد السكان 9 مليون نسمة، وعام 2011 حيث تجاوز العدد 21 مليون نسمة (CBS-SYR, 2011).

قام عباس (2006) بتحليل الواقع المائي في سورية وفقاً لمعامل الموازنة المائية (Water balance coefficient)، حيث أنّ الموازنة المائية السنوية هي مؤشر لكمية الوفر أو العجز في المنطقة المدروسة، ويتحدد حاصلها بالفرق بين كمية الموارد المائية المتاحة وبين الحاجة الفعلية. وقد أشار أيضاً إلى أنّ كمية العجز المائي المحسوب لا تُعطي مؤشراً لحدة الأزمة المائية، فعجز مائي بمقدار مليار متر مكعب سنوياً في سورية لا يُمثل نفس خطورة هذا العجز في الكويت مثلاً، لهذا يتطلب تحديد شدة الأزمة المائية وخطورتها حساب معامل الموازنة المائية (W_b) الذي يُمثل النسبة بين مقدار العجز المائي أو الفائض إلى مجموع الموارد المائية المتاحة السنوية، حيث تُشير الإشارة الموجبة له إلى الابتعاد عن الأزمة المائية والقيمة السالبة إلى وجود أزمة مائية فعلية وتجاوز الخط الحرج، وقد أكد على ذلك (2010) Molle et al. حيث حددوا الوضع المائي في نهر الأردن ووضعوا الحلول التالية لكل مترابحة حسابية، كما في الجدول (11).

الجدول (11) معامل تحديد شدة الأزمة المائية (W_b) بشكل عام مع بيان الحلول المقترحة.

البيان	تقييم الوضع المائي	الحلول المقترحة
$W_b > 0$	الحد الأدنى من الاكتفاء بالماء	ترشيد استعمال المياه والري التكميلي وإعادة استعمال المياه العادمة في الزراعة المروية بعد المعالجة
$-0.25 < W_b < 0$	بداية حصول أزمة مائية	إضافة للحلول السابقة تخفيض استهلاك المياه، بالإضافة لتطبيق تقنيات الري الحديث وتطبيق جدولة الري.
$-0.5 < W_b < -0.25$	أزمة مائية فعلية	إضافة للحلول السابقة إنشاء سدود وتخزين المياه وتسعير المياه واستخدام محطات التحلية.
$W_b < -0.5$	حالة جفاف تام وتوقع مجاعة	اعتماد سياسة زراعية بانتقاء المحاصيل وإتباع مفهوم المياه الافتراضية وأساليب الري وتخطيط مدن وفق نظام الحصص المائية.

وعليه وجد عباس (2006) بأنّ هناك علاقة طردية بين الطلب على المياه وتزايد عدد السكان في سورية، وانعكس ذلك على حصة الفرد السنوية التي ستتناقص من 1126 م³/نسمة عام 2000 إلى 450 م³/نسمة عام 2025، وهي دون حد الفقر المائي الخطر، واستنتج عند دراسة معامل الموازنة المائية حصول ندرة مائية وجفاف واضح في عام 2025 بحسب الموارد المتاحة في سورية وتزايد الطلب عليها، كما في الجدول (12).

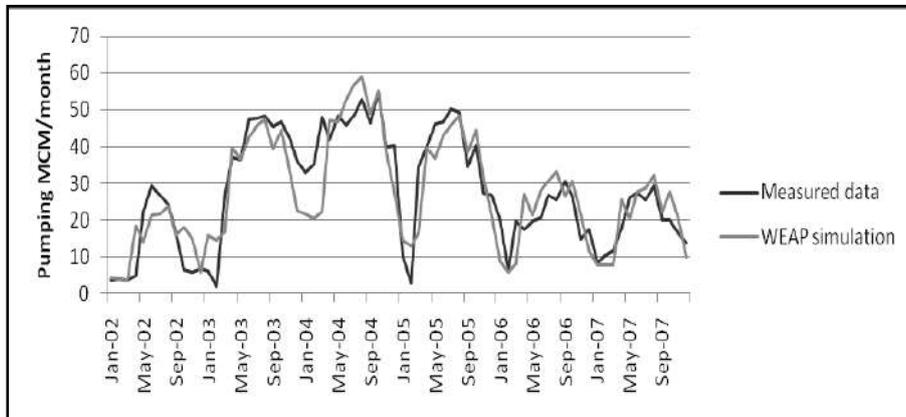
الجدول (12) عدد السكان والاحتياجات المائية والهطول وحصة الفرد وتقييم الوضع المائي باستخدام معامل الموازنة المائية إضافة إلى الموارد المائية المتاحة في سورية (عباس، 2006).

الأعوام						البيان
2025	2020	2015	2010	2005	2000	
38.513	32.467	27.7	23.459	19.52	16.856	عدد السكان المتوقع (مليون نسمة)
38.3	33.7	29.7	26	23	20.2	الاحتياجات المائية (مليار م ³)
450	526	631	728	949	1126	حصة الفرد (م ³ /نسمة)
-1.02	-0.78	-0.57	-0.37	-0.22	-0.07	معامل الموازنة المائية (W_b)
-	-	-	-	-	18.92	الموارد المائية (مليار م ³)
-	-	-	-	-	46.6	الهطول (مليار م ³)

2-3- برنامج نظام التقييم والتخطيط المائي (WEAP).

حدد (Yates et al. (2005) كمية العجز المائي في حوض Sacramento في كاليفورنيا بتطبيق نظام القياسات المائية WAS وبرنامج WEAP، والتي قُدّرت بنحو 230 م³ في السيناريو المرجعي وانخفضت إلى 104 م³ بعد وضع الحلول الملائمة والاستراتيجيات وفقاً للإمداد المائي السطحي والجوفي والطلب عليها حتى عام 2040 مع الأخذ بعين الاعتبار النمو السكاني والنشاطات البشرية في العقود القادمة.

استخدم (Hoff et al. (2011) برنامج WEAP لتقدير الموارد المائية في حوض نهر الأردن والتخطيط للمستقبل واستنتجوا وجود تقارب بين نتائج البرنامج الشهرية وما هو مقياس في بحيرة طبرية من حيث التدفق والضخ منها، وهذا يدل على أنّ البرنامج أداة فعالة في عملية التخطيط المائي المستقبلي، كما في الشكل (10).



الشكل (10) نتائج عملية المعايرة في بحيرة Tiberias بين البرنامج والبيانات الشهرية المقاسة.

أظهرت نتائج (2007) Dienya في حوض نهر Nyando في كينيا باستعمال برنامج WEAP وجود عجز مائي إجمالي (Unmet demand) يُقدَّر بنحو 16 م³ عام 2007، وعند النظر إلى التدفق البيئي بشكل خاص لوحظ أنه سيعاني من عجز مائي بحدود 5 م³ في شهر كانون الثاني الأجدف بين الأشهر المدروسة، وفي حال استثمار كامل المساحة الصالحة للزراعة عام 2035 سيزداد العجز إلى 480 م³، إلا أنه بتطبيق برنامج WEAP وإدخال عدة سيناريوهات تتوافق مع الحلول المقترحة من قبل JICA حول إنشاء ثلاث سدود في سهول Kano في الحوض المدروس، يُمكن التوسع الأفقي في الزراعة من 1600 هـ كواقع راهن إلى 25000 هـ فقط لري محصول الرز بدون حصول أي عجز مائي.

أكدت نتائج (2008) Almasri and Hindi الدور الفاعل لتطبيق برنامج WEAP في رفع إنتاجية الماء الزراعي بنحو 36% جراء إعادة استعمال المياه العادمة المعالجة في حوض وادي Nar في فلسطين.

أظهرت نتائج (2010) Sebhat في نهري Juba و Shabelle في الصومال باستعمال برنامج WEAP أن حجم التدفق الوسطي السنوي عند محطتي قياس الجريان Luuq و Belet Weyne كان بنحو 5.64 و 3.5 م³/سنة في النهريين على التوالي، وفي حال بقاء البنى التحتية لمنظومة الري على وضعها الحالي ستكون نسبة استرجار مياه الري بنحو 3% و 63% من حجم التدفق السنوي الوسطي في النهريين على التوالي عام 2035 م. طوّر (2011) Hoff et al. نموذجاً رياضياً للمصادر المائية في حوض نهر الأردن باستخدام برنامج WEAP، وأشاروا إلى أثر التغير المناخي والاقتصادي والاجتماعي على زيادة العجز المائي في الحوض. في حين دُرست الموازنة المائية للموارد الجوفية والسطحية بعد ربط البرنامج المذكور مع برنامج MODFLOW 2000 في حوض الزيداني في سورية، وأظهرت النتائج أن هنالك عجز مائي يُقدَّر بنحو 66 م³ (Droubi et al., 2008).

درس (2012) Rochdane et al. أثر التغير المناخي والتطور الاقتصادي الاجتماعي على مستقبل الموارد المائية في حوض Rheraya في المغرب حتى عام 2100 م، وتوصل الباحثون بعد التنبؤ باستعمال برنامج WEAP أن درجات الحرارة سترتفع بمعدل 2-3 م° والهطول المطري سينخفض بمعدل 40-60% بالمقارنة مع المنحني المناخي العام. كما وأظهرت النتائج تزايد الضغط على الموارد المائية، حيث ستعاني تلبية المتطلبات المائية للشرب والسياحة والمواشي عجزاً مائياً ملموساً عام 2100 م.

بيّنت نتائج (2013) Hamlat et al. في حوض الجزائر الغربي باستعمال برنامج WEAP والتنبؤ حتى عام 2030 وجود عجز مائي في تلبية الطلب على المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي والزراعة في سنة الأساس 2006. ويتضمن السيناريوهات المعتبرة يُمكن تلبية متطلبات مياه الشرب والاستخدام المنزلي بشكل كامل، وبشكل جزئي للقطاع الزراعي في ظل الوضع الراهن لمنظومات الري الكبيرة. كما وأبدت النتائج دور البرنامج الفاعل في الإدارة المتكاملة للمياه، حيث يستطيع تحليل معظم البيانات المدخلة، ويظهر نتائج الحلول المقترحة بصورة أوضح بكثير من العمل الحسابي وبوقت أقصر، وقد أكد على ذلك (Hassanea et al., 2014)، في مقاطعة Oran في الجزائر أيضاً.

بيّنت نتائج (2014) Abdullahi et al. في نهر Sokoto Rima في الجزء الجنوبي الغربي من نيجيريا باستعمال برنامج WEAP، وبعد دراسة ستة سيناريوهات اعتمدت على التغير المناخي (تغير نسبة الهطول و

التبخّر) أنّه في حال تناقص الهطول بنسبة 10% وزيادة درجة الحرارة بمعدل 1 م° (سيناريو) سينخفض المعدل السنوي للماء المتاح بنحو 1.70 بليون م³ وسيرتفع الطلب الشهري إلى 17.11 بليون م³ ولاسيما خلال شهر نيسان (الشهر الأجد في الحوض)، وهذا سينعكس على تجدد الماء السطحي والجوفي المتاح في المستقبل. بيّنت نتائج (Varela-Ortega et al. (2014 باستخدام برنامج WEAP-MABIA بهدف الإدارة المتكاملة للمياه في حوض Guadiana في إسبانيا والتكيف مع موجات الجفاف أنّه بإتباع طرق الري الحديثة واستبدال المحاصيل ذات الاحتياج العالي للمياه كالقطن والتفاح والشوندر السكري الخريفي بمحاصيل أقل احتياج مائي كالمحاصيل الطبية، يُمكن تقادي العجز المائي في السنوات الجافة، ورفع إنتاجية الماء الزراعي بنسبة 36%.

أظهرت نتائج (Goes et al. (2015 باستخدام نظام القياسات المائية (WAS) وبرنامج (WEAP) أنّ حوض نهر Helmand الواقع في منطقة شبه جافة من الجزء الجنوبي من أفغانستان بين إيران وباكستان حوض مغلق والإدارة المتكاملة للمياه تواجه تحديات إقليمية كبيرة، ولاسيما بعد انهيار شبكة المراقبات الهيدرولوجية في جزء من الحوض عام 1980 م، وتبيّن من خلال البرنامج كم عدد الخزانات اللازمة لتخزين المياه وتلبية احتياجات القطاع الزراعي وبالتالي تعزيز التعاون المشترك بين إيران وأفغانستان.

درس (Nayak et al. (2015 أثر التغير المناخي على خزان المياه الجوفية في منطقة سيرهند في الهند باستخدام البرنامج المتكامل WEAP-MABIA، وبعد التنبؤ لمستقبل الوضع المائي خلال 50 سنة قادمة، استنتجوا أنّ بإنقاص المساحة المزروعة بالرز إلى الربع، يُمكن رفع إنتاجية الماء الزراعي بنسبة 66% وتحسين استدامة الماء الجوفي وتجده. وأثبت التحليل الاقتصادي أنّ تكلفة الهكتار المروي من المياه الجوفية للرز بعد إنقاص المساحة ستكون بنحو 40 \$ /هكتار.

طبق (Alazzy et al. (2014 برنامج تقييم المياه والتخطيط (WEAP) لتقييم الطلب المستقبلي على المياه في حوض الفرات وحلب في أعقاب التغيرات المناخية حتى عام 2050. حيث قُدّرت توقعات تغير المناخ من درجة الحرارة وهطول الأمطار باستخدام نسخة جديدة من النماذج MAGICC/SCENGEN مع اثنين من سيناريوهات انبعاث غازات الدفيئة (A2) و(B2) للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) وبناءً على نتائج (A2) و(B2) والتي تتوقع انخفاضاً في كمية الأمطار بنسبة 21% وفقاً لـ A2 وبنسبة 12% وفقاً لـ B2 وزيادة في درجة الحرارة بنحو 2.5 م° وفقاً لـ A2 و 2 م° وفقاً لـ B2، وهذا انطوى ضمن ثلاثة سيناريوهات ألا وهي: (1) تطوير التكنولوجيا المتاحة؛ (2) زيادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في قطاعات الزراعة والصناعة؛ (3) تطبيق السيناريوهين معاً. وأظهرت نتائج المحاكاة للسيناريوهات المقترحة أنّها فعالة للحد من الضغوطات على الموارد المائية، ولكن باستدامة محدودة، حيث لا تُسد الفجوة بين العرض والطلب بحلول عام 2050، الأمر الذي يؤدي إلى تدهور الموارد المائية المتاحة. حيث تُوفّر هذه الدراسة معلومات مفيدة لصانعي القرار المعنيين، وتضع استراتيجيات جديدة للمياه وإجراء الإصلاحات أكثر واقعية من السياسات القائمة لتحقيق التنمية المستدامة للموارد المائية في حوض الفرات وحلب.

2-4- النمذجة الرياضية وبرمجة الري:

إنّ التقدير الدقيق للماء الزراعي قضية في غاية الأهمية لإدارة الموارد المائية، حيث وُجد في جنوب غرب فرنسا أنّ استخدام البرنامج ADEAUMIS ذو أهمية كبيرة في تحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل من خلال

المحاكاة بين الاستهلاك المائي المقاس والاحتياج المتنبئ به بالنمذجة الرياضية. ويعمل البرنامج على أساس المحاكاة اليومية ويشمل ذلك على قاعدة البيانات المتعلقة بالمساحة المروية، والطقس، والممارسات الزراعية، وخواص التربة، وأساليب الري المختلفة. وأثبتت نتائج البرنامج خلال الفترة الممتدة بين 1998-2000، قدرته على محاكاة ديناميكية واقعية والتقارب لاستهلاك الماء بين قيم التجارب الحقلية والقيم المحسوبة بالبرنامج الرياضي على محصولي الذرة الصفراء والشوندر السكري (Leenhardt et al., 2004).

إنّ تحديد الاحتياجات المائية هو من الأمور الهامة جداً، إذ يُساعد على حل المسائل المتعلقة بالموارد المائية التي تواجه جنوب شرق الولايات المتحدة وغيرها من الدول، حيث تمّت دراسة في جورجيا بهدف تقييم تطبيقات الري لثلاث محاصيل رئيسية مزروعة كالقطن والذرة الصفراء والفول السوداني وكان ذلك باستخدام البرنامج (EPIC)، حيث تمّت الدراسة خلال ثلاث أعوام 2000-2002. وأجريت المقارنة بين الاحتياجات المائية الحقلية ونتائج البرنامج، فكان التقارب بنسبة 95%. وعليه اقترحت هذه الدراسة أنّ البرنامج سيكون أداة ملائمة لتحديد الاحتياجات المائية ويُمكن أن يُفيد صانعي السياسات والمخططين والمنظمين في جورجيا في إدارة الموارد الطبيعية (Guerra et al., 2005). وأثبت عدد من الباحثين أنّ نماذج المحاكاة في تحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل هي أدوات تُساعد في إدارة الري، ويُمكن أن تستخدم هذه النماذج في تحديد احتياجات الري بالحقل بشكل مباشر وتساعد في توفير الوقت والجهد (Hoogenboom, 2001). إنّ نماذج المحاكاة للمحاصيل يُمكن أن تستخدم أيضاً لتحسين توزيع مياه الري في موسم النمو، وذلك من خلال تحديد عدد الريات ومواعيد الري (Mishoe et al., 1997).

أجريت دراسة الاحتياجات المائية للفول السوداني في شمال السنغال من خلال البرنامج (FTSW) الذي يعتمد على التبخر- نتح والمساحة الورقية وحالة التربة والمياه، وتمّت المقارنة مع الطرق الحقلية بعد معايرة البرنامج خلال الأعوام 1994 و 1996 و 2000 على اثنين من أصناف الفول السوداني، في محطة تجريبية لبامبي الواقعة في السنغال، وذلك باستخدام طرق الري بالرش، وقد ساعد البرنامج في تحديد الاحتياجات المائية للفول السوداني بطريقة تضمن زيادة الغلة، بالمقارنة مع الطرق الحقلية (Benoit Sarr et al., 2004).

تمكّن (Stockle, 1996) من خلال البرنامج CropSyst تحديد الاحتياجات اليومية لشجرة الزيتون، وأثبت أنّ البرنامج أداة تحليلية لدراسة تأثير النظم المحصولية في إدارة إنتاجية المحاصيل والمياه معاً.

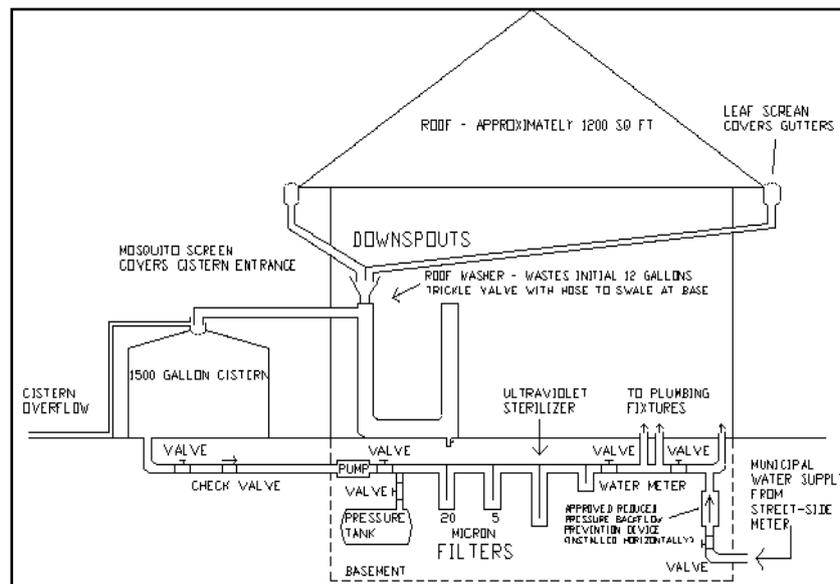
2-5- أسس حفظ المياه ورفع إنتاجيتها:

❖ إعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية (Nonconventional water):

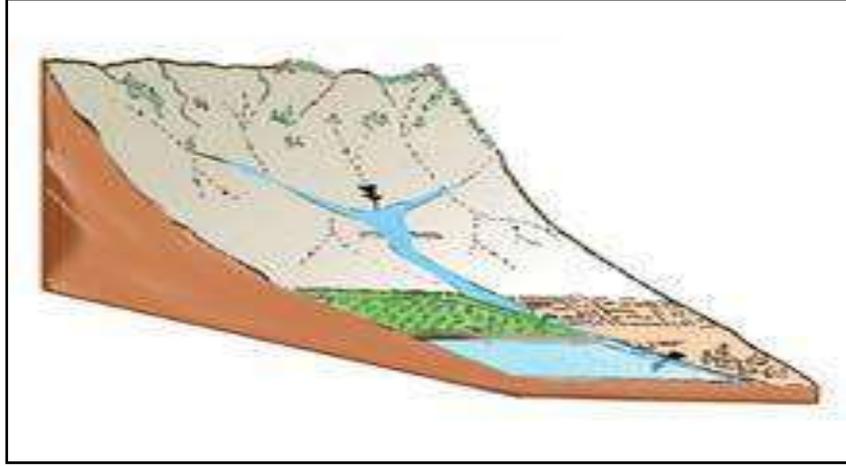
بيّنت نتائج الأبحاث في العقود الأخيرة الأهمية المطلقة للموارد المائية غير التقليدية في التخفيف من العجز المائي في المنطقة العربية (Haddad and Mizyed, 2004). حيث تشمل هذه الموارد على مفهومي الماء الهامشي والافتراضي، ويُمكن اعتبارها كقاعدة هامة في الموازنات المائية المحلية في المناطق الجافة وشبه الجافة (Mourad, 2012). فالماء الهامشي هو المياه العادمة المعاد استخدامها كالماء الرمادي وحصاد مياه الأمطار. ويقصد بالماء الرمادي المطروح بعد الاستعمالات المنزلية جميعها باستثناء استعمال المياه في دورات المياه (المراحيض)، (Lombardo, 1982; Eriksson et al., 2002). وأحياناً يستثنى الماء المستعمل في المطابخ (Li et al., 2009; Al-Jayyousi, 2003).

بيّنت نتائج (1993) Sheikh أنّ إعادة استخدام الماء الرمادي للري في مدينة لوس انجلوس يحفظ الماء العذب المستخدم بنسبة تتراوح من 42 إلى 65% سنوياً. ووجد (2007) Ghisi and Ferreira أنّ إعادة استخدام المياه الرمادية في دورات المياه يحفظ حوالي 29-35% من الماء المستخدم لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي. بيّنت نتائج (2009) Misra and Sivongxay أنّ الري بالمياه الرمادية غير المعالجة تُسبب أضرار بيئية كبيرة على التربة بسبب تجمع الصوديوم فوق الحد المسموح به، ويُمكن معالجتها بالزيوليت الطبيعي (Widiastuti et al., 2008)، يُعتبر ماء المطر المحصود من موارد المياه غير التقليدية الهامة، وتتمثل هذه التقنية بجمع وخن مياه المطر بأي شكل من الأشكال (عباس، 2002؛ ICARDA, 2001). وتُعتبر مقبولة على مدى واسع وحل لتخفيف مشاكل العجز المائي في مختلف البلدان ذات الهطولات المطرية المتوسطة والضعيفة (Cheng and Eroksuz and Rahman, 2009)، ففي استراليا تُعتبر تقنية حصاد مياه المطر هامة، حيث وجد (2010) أنّه يُمكن جمع أكثر من 70 م³ سنة من خلال البرك الموجودة بين الأبنية السكنية المتعددة، ويُمكن بذلك تأمين أكثر من 50% من متطلبات دورات المياه والمغاسل وري الحدائق خارج المنازل. وجد (2011) Breisinger et al. أنّ نسبة كبيرة من حاجات الماء غير الصالح للشرب يُمكن تأمينها بواسطة تقنيات حصاد المياه بين المنازل السكنية في مدينة نيويورك.

بيّن كلاً من (2009) Abdulla and Shareef أنّه يُمكن جمع أكثر من 15.5 م³ من سطوح الأبنية السكنية في الأردن. كما وقد ظهرت دراسات عديدة في السويد والبرازيل وأمريكا تُفيد بأنّه يمكن تأمين نسب عالية من المياه غير الصالحة للشرب من خلال تقنية حصاد مياه الأمطار تفيد في تأمين التزامات القطاعات الأخرى كالزراعة والصناعة وغيرها (2005) Villarreal and Dixon). وتُعتبر مياه الأمطار المحصودة في الريف من مصادر المياه المتجددة والنظيفة، حيث التلوث الهوائي مهمل ويعتمد ذلك على استقبال سطوح المنازل وتجميع المياه في أحواض ضمن المنزل، كما في الشكل (11). ويُمكن استخدام هذه التقنية في الحقل وذلك بتوجيه مياه الجريان السطحي إلى الخزان أو إلى الأرض الزراعية المطلوب ريها مباشرةً، كما في الشكل (12).



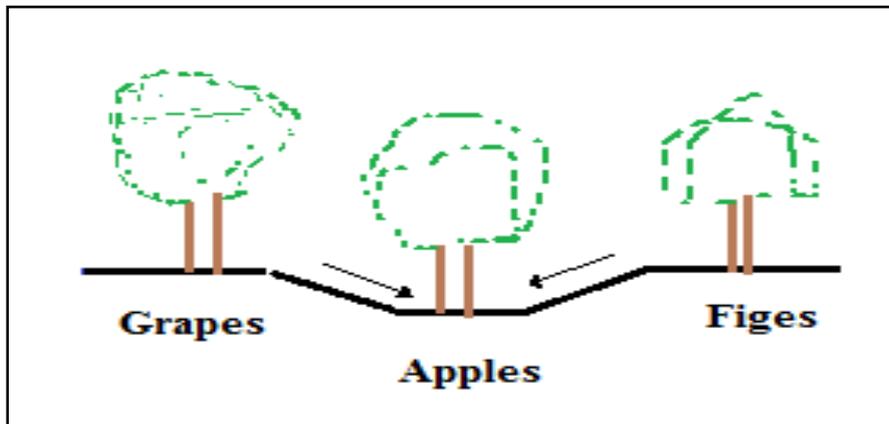
الشكل (11) مخطط تصميم نظام أسقف المنازل (عباس، 2004).



الشكل (12) المخطط العام لاحتجاز مياه الأمطار ونشرها لري المحاصيل (عويس وآخرون، 2003).

نشأت أنظمة حصاد المياه في سورية منذ 3000 سنة قبل الميلاد، وتمثلت بتجميع الماء السطحي في خزانات ونقلها عبر عنفات مائية، ووفقاً لطبوغرافية الأراضي فإن حوالي 60% من الأراضي السورية، يُمكن أن تكون ملائمة لأنظمة حصاد المياه. حيث وجد (Alkouri (2011 أنه باستخدام شرائط نصف دائرية كبيرة يُمكن إنقاص انجراف التربة الزراعية بحدود 16-53% في أراضي البادية التي تقع شرق سورية حيث الهطول المطري أقل من 100 مم. ويتم تصميم خزانات حصاد مياه الأمطار بالخرائط الطبوغرافية ونظام المعلومات الجغرافية (AL-Adamat et al., 2010).

لعبت وزارة الزراعة والهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية في سورية دور هام في مجال حصاد المياه، حيث وجد (Abdul (2011 أن اختيار التقنية الأفضل للحصاد يعتمد على التربة والميل وكمية المطر والجريان والحالة الاقتصادية والاجتماعية ونماذج الزراعة في الأراضي المدروسة. وأكد على هذا (Bakir and Liang (2004 في البادية السورية من خلال تصميم ما يسمى بالشرائط (Vollerani) لحصاد مياه الأمطار. أيضاً أضاف كلاً من (Mourad and Berndtsson (2011 أسلوب جديد لحصاد مياه الأمطار على صعيد الحقل من خلال الاعتماد على احتياج المحاصيل، حيث تقسم المساحة المزروعة بالأشجار إلى قطاعات بحيث تزرع الأشجار ذات الاحتياج المائي الأعلى في النقاط الدنيا والأشجار ذات الاحتياج المائي الأقل في النقاط العليا فعلى سبيل المثال أشجار العنب والتفاح والتين تُوجب زراعتها، كما في الشكل (13).



الشكل (13) تقنية حصاد المياه على صعيد الحقل.

يُمكن حصاد المياه من خلال تجميع مياه الفيضان في جداول نهريّة صغيرة داخل الحوض المائي باستخدام سدود صغيرة أو سدات. وهذا سيُساعد في تجديد المياه الجوفية بالمنطقة. وبالتالي يُمكن للمياه المحصودة أن تُستخدم لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي والزراعة. حيث بُنيت عدة سدود صغيرة في كل من سورية والأردن من أجل تلبية الحاجات المحلية وتوطين السكان ومنع هجرتهم. وقد أكّد رمضان (2002) على أهمية إنشاء هذه السدود في حوض تل دو وأثرها على زيادة المساحة المخصصة للري.

استخدم حديثاً مفهوم الماء الافتراضي والذي يُعبر عن الماء اللازم لإنتاج السلعة في المنطقة وهو يختلف من منطقة إلى أخرى (Ansink, 2010)، ويُشكل وسيلة لمساعدة المناطق الفقيرة بالمياه على حفظ مياهاها بالشكل الأفضل، فمثلاً إنتاج 1 كغ من الموز في الأردن يحتاج لـ 1.4 م³ من المياه، ومن ناحية أخرى يُعتبر محصول الموز غير مهم كثيراً للمناطق المجاورة لذا يُفضّل لها أن تستورده بدلاً من زراعته، وهكذا يتوجب على البلدان في المنطقة استخدام الماء لإنتاج الفوائد التي لا يمكن استيرادها (Heinzen, 2001)، والتخطيط لاستبدال محاصيلها وفقاً للعائد الإجمالي بوحدة استخدام المياه. فعلى سبيل المثال أيضاً يُمكن للأردن أن تحفظ حوالي 47 م.م³/سنة إذا استبدل المزارعون في غور الأردن أشجار الفاكهة بالخضراوات حيث الزراعات المحمية (Mourad et al., 2010).

من خلال الاستراتيجيات الزراعية الجديدة يُمكن خلق التعاون الإقليمي والحصول على إنتاجية مائية أعلى بالإضافة لاقتراح خطط تخصيص جديدة طويلة الأمد غير مقتصرة على بلد واحد أو حوض واحد. لكن حتى الآن ما تزال العديد من المناطق لا تمارس مبدأ الماء الافتراضي من أجل حل مشكلة العجز المائي، حيث بقيت المناطق الفقيرة بالماء تُصدّر المنتجات ذات الاستهلاك المائي الأعلى في حين أنّ المناطق الغنية بالمياه تستوردها وهذا بسبب النزاعات السياسية بين البلدان (Kumar and Singh, 2005). أما بالنسبة لسورية فإنّ اعتماد هذا المبدأ مازال موضع حذر كبير لتعارضه مع التوجه الرئيس لسياساتها الزراعية في تحقيق أمن غذائي مستقل لا يخضع لنفوذ جهات خارجية، ولاسيما من جهة المحاصيل الإستراتيجية كالحبوب مثلاً.

❖ إنتاجية المياه بين التفاؤل والحذر:

إنتاجية الماء (WP) هي العائد الصافي لوحدة الماء المستخدم، وتحسينها يهدف إلى الحصول على أعلى إنتاج للغذاء أو للدخل أو للمعيشة أو لمتطلبات النظام البيئي عند أقل كمية مياه. فالمتفائلون يرون العديد من الإمكانيات لتحقيق مكاسب كبيرة في إنتاجية الماء، بينما المتشائمون يرون العديد من الصعوبات لتحقيق هذه المكاسب (Molden et al., 2009).

تشمل استراتيجيات زيادة العائد الصافي من وحدة الماء المستخدم في الزراعة على: 1- زيادة الإنتاج (تربية المحاصيل واستنباط أصناف جديدة مقاومة للجفاف والملوحة وتحسين معامل الحصاد (Keller and Seckler, 2004)، وقد وجد (Sayre et al. (1997 أنّ معامل الحصاد للحبوب والذرة ارتفع من 0.35 عام 1960 إلى 0.5 عام 1980 عندما اهتم مربو النبات بهذه المحاصيل، ولكن تراجعت نسبة الزيادة في السنوات الأخيرة عند بلوغ الحدود الفيزيولوجية، وانعكس ذلك على نسبة إنتاج الحبوب وإنتاجية المياه أيضاً، 2- التحول من المحاصيل ذات القيمة (السعر) المنخفضة إلى المحاصيل ذات القيمة (السعر) المرتفعة بما يتناسب مع عملية التسويق، 3- إعادة تخصيص المياه من استعمالات ذات قيمة منخفضة إلى استعمالات ذات قيمة مرتفعة، وهنا يوجد تساؤل حذر

حيث إذا انتقلت كمية صغيرة من الماء من قطاع الزراعة إلى قطاع الصناعة فسينشأ عائد ربح أعلى لأن هذه الكمية دعمت نظام ينتج كمية أكبر من القمح مثلاً، حيث معظم الصناعات تتطلب احتياجات منخفضة من المياه بالمقارنة بمتطلبات الزراعة، لكن القيمة الناتجة عن الصناعة قد تهبط للصفر أو لأدنى منه إذا كان العائد من الصناعة ملوث ولوث النهر، وبنفس الطريقة أخذ كمية قليلة من النهر للزراعة قد ينتج تغيرات صغيرة في النظام البيئي المحول للنهر لكن هذا يُؤمن عائد أعلى في قطاع الزراعة (Ward and Michelsen, 2002)، 4- تخفيض تكاليف المدخلات، 5- زيادة الفوائد الصحية وقيمة الخدمات البيئية للزراعة، 6- تناقص التكاليف البيئية والصحية والاجتماعية، 7- الحصول على فوائد متعددة من وحدة المياه (Nguyen-Khoa et al, 2005; Van Koppen et al., 2006).

يُمكن تمثيل العوامل المحددة لمعادلة إنتاجية المياه إما من خلال كمية الوارد المائي أو الاستنزاف المائي، والماء يُستنزف عندما يستهلك من خلال التبخر- نتح (ET) أو يتحد مع المنتج أو يتدفق إلى مكان حيث لا يُمكن إعادة استخدامه أو يصبح ملوث (Seckler, 1996; Molden et al., 2003).

تُعرف كفاءة استخدام الماء في الزراعة بتمثيل الكربون أو إنتاج المحصول بوحدة النتح (Viets, 1962)، وحديثاً عُرِفَت بكمية المنتج (كتلة المحصول المسوق) بوحدة التبخر- نتح (Raes et al., 2014).

أظهرت نتائج (Molden et al., 2009) أن مضاعفة الإنتاج من 1-2 طن/هكتار تُعطي مكاسب في إنتاجية المياه للمحصول أكثر من مضاعفته من 4-8 طن/هكتار، وذلك نتيجة لعلاقة المحصول الناتج بالتبخر- نتح، حيث يتطلب الحصول على إنتاج عالي تبخر- نتح عالي، وهنا يبرز دور جدولة الري (متى وكم نروي؟) وتطبيق تقنيات الري الحديث (Seckler, 1996; Perry, 1999; Molden et al., 2001a; Seckler et al., 2003; Molle et al., 2004; Gichuki, 2004; Bouman et al., 2007) ولأنّ مضاعفة الإنتاج بشكل أكبر يتطلب ممارسات تطبيقية ذات تكلفة عالية (Zwart and Bastiaanssen, 2004).

يُمكن أن يتبخر حوالي 90% من الهطل المطري ويعود إلى الغلاف الجوي، وتطبيق تقنية حصاد المياه يزيد الماء المتاح للنتح من 20-50% في البيئات الجافة (Oweis et al., 1999). أيضاً بتطبيق تقنية الري التكميلي (إضافة كميات قليلة من المياه في المراحل الحرجة للمحصول لتكميل احتياج المحصول) والري الناقص (الري لكن بكمية أقل من الري الكامل) يُمكن زيادة إنتاجية المياه، ففي شمال سورية ازدادت إنتاجية المياه لمحصول القمح من 0.06 كغ/م³ إلى 1.85 كغ/م³ بتطبيق تقنية الري الناقص عند نفس الشروط على أساس الاحتياج المائي (Zhang and Oweis, 1999; Oweis and Hachum, 2003)، كما ازدادت إنتاجية الذرة البيضاء في بوركينافاسو والذرة الصفراء في كينيا من 0.5 طن/ه إلى 2 طن/ه عند تطبيق تقنية الري التكميلي مع إدارة خصوبة التربة (Rockstroöm et al., 2003).

هذه التطبيقات لها أثر واضح في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث إمداد الماء محدود وتكاليف استجراره عالية جداً. لكن أحياناً الزيادة في إنتاجية الماء على صعيد المزرعة، يُمكن أن تزيد من استنزاف ماء الحوض وبشكل خاص في مناطق العجز المائي، فبالمقارنة مع مصادر الأرض الأخرى، المزارعون يرون أنّ تقنية الري بالتقيط ملائمة لزيادة إنتاجية بعض المحاصيل وعليه يوسعون بقعة الزراعة باستعمال نفس كمية الماء وفي النهاية هم يزيدون استنزاف الماء بالزراعة وينقصون من الكمية المتاحة للاستعمالات الأخرى (Molle et al., 2004).

إنّ لتغير المناخ أثر واضح على إنتاجية الماء الزراعي، حيث لإنتاج كتلة حيوية أكبر من النبات المزروع فإنّ ذلك يتطلب نتح أكبر لأنه عندما تُفتح المسامات يتدفق ثاني أكسيد الكربون داخل الأوراق لأجل عملية التمثيل الضوئي، والماء يتدفق خارج المسامات والذي بدوره ضروري لعملية التبريد ولتنشيط حركة المائع في النبات لنقل العناصر الغذائية. أما في حالة الجفاف فإنّ المسامات تُغلق وتقل عملية النتح والتمثيل الضوئي وينخفض الإنتاج (IPCC, 2001; Droogers and Aerts, 2005; Long et al., 2006).

استنتج Molden et al. (2007 a,b) حدود قيم إنتاجية المياه لأهم المحاصيل المزروعة في البيئات الجافة وشبه الجافة من الناحية الطبيعية، وما ينعكس من ذلك على الناحية الاقتصادية، كما في الجدول (13). أيضاً هنالك تساؤل حذر في مناطق العجز المائي حول الحوافز من زيادة إنتاجية المياه حيث تكون نادرة في هذه المناطق، فالزراعة معرضة لضغوط كبيرة من خلال التنافس على المياه والأولويات لتلبية متطلبات المدن والبيئة (Luquet et al, 2005). وبشكل منطقي مع كثرة التمدن فإنّ الماء سيُخصص من الزراعة إلى المدن (Molle and Berkoff, 2006)، أي سيأخذ الاستخدام المنزلي أولوية أولى على حساب الاستخدامات الطبيعية لمياه الأنهار في الزراعة. ويرى البعض أنّه غالباً ما يكون سعر الماء الزراعي منخفض أو غير مسعر في أماكن العجز المائي، حيث الفلاحون غير مدركين لظروف العجز وعندها ارتفاع سعر الماء الزراعي سيُنقص الطلب عليه، ويتيح الفرصة للاستثمارات الأخرى وهو خيار جيد لزيادة إنتاجية الماء بشكل عام (Berbel and Go´mez-Limo´n, 2000; Hellegers and Perry, 2006; Molle and Berkoff, 2006).

الجدول (13) حدود قيم إنتاجية المياه الطبيعية والاقتصادية لأهم أنواع المحاصيل المزروعة في البيئات الجافة وشبه الجافة.

إنتاجية المياه		المنتج
الاقتصادية (دولار/م ³)	الطبيعية (كغ/م ³)	
0.30 - 0.04	1.2 - 0.2	القمح (0.2 دولار/كغ)
0.18 - 0.05	1.6 - 0.15	الرز (0.31 دولار/كغ)
0.22 - 0.03	2.00 - 0.30	الذرة (0.11 دولار/كغ)
0.3 - 0.09	1 - 0.3	العدس (0.3 دولار/كغ)
0.24 - 0.09	0.8 - 0.3	فاصولياء (0.3 دولار/كغ)
0.32 - 0.08	0.4 - 0.1	الفول السوداني (0.2 دولار/كغ)
0.7 - 0.3	7 - 3	البطاطا (0.1 دولار/كغ)
3.0 - 0.75	20 - 5	البندورة (0.15 دولار/كغ)
1 - 0.3	10 - 3	البصل (0.1 دولار/كغ)
4 - 0.8	5 - 1	التفاح (0.8 دولار/كغ)
3 - 1	3 - 1	الزيتون (1 دولار/كغ)
1.6 - 0.8	0.8 - 0.4	التمر (2 دولار/كغ)

حتى الآن معظم فلاحي المنطقة العربية لا يأخذون إنتاجية الماء بعين الاعتبار، وهذا يتطلب توعية الفلاحين بالبيئة الاجتماعية والاقتصادية والحيوية لدور هذه الإنتاجية على صعيد الحقل وخدمة الري والحوض ككل. كما أنّ لإعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية المعالجة دور هام في تحسين الإنتاجية سواء من خلال الدارات المغلقة بالصناعة أو لأغراض الري.

3- أهمية البحث ومبرراته Importance of the Research and Reasons

إنّ محدودية الموارد المائية في سورية، وتوزعها غير المتساوي على مستوى الأحواض المائية، وارتباط عملية التنمية المستدامة بتوافر الموارد المائية، وتراجع نصيب الفرد المائي الذي أصبح معياراً من معايير التطور من 1000 م³/سنة في عام 2000-2001 م، إلى 895 م³/سنة عام 2004-2005 م، ولبيلغ بنحو 700 م³/سنة عام 2009-2010، واحتلال العجز المائي المرتبة الثانية في حوض العاصي (عيسى، 2013). وكان هذا بسبب التقلبات المناخية في المنطقة وسيادة الجفاف لسنوات عديدة، بالإضافة للمسببات الأخرى التي تكمن في التلوث الحاصل من رواجع الصرف غير المعالج وانخفاض كفاءة نقل المياه في شبكات الشرب والري الحكومية، الذي جعل المنطقة المدروسة تتدهور اقتصادياً واجتماعياً بشكل تدريجي، ومن هنا أتت أهمية البحث بضرورة التفكير لوضع خطة متكاملة لإدارة الموارد المائية السطحية والجوفية من أجل الوصول إلى حلول منطقية تُحاكي الواقع والمستقبل، وترفع من فعالية الحوض المدروس من خلال توطين التقانات الحديثة في مجال ترشيد استخدام الموارد المائية. وهذا يستوجب الدراسة العميقة والشاملة للمنطقة مع أخذ الأسباب التالية بعين الاعتبار:

- اعتماد معظم الدراسات السابقة التي تمّت في الحوض المدروس على مبادئ الهيدرولوجيا الكلاسيكية البسيطة والتي تحول دون أخذ عامل الزمن والسلاسل الزمنية للجريان المائي والتخزين بعين الاعتبار في ظل التقلبات المناخية (الهيدرولوجيا الإحصائية)، والتي تُعد ملائمة لبناء نظام تنبؤ موثوق به، وعليه كان من الضروري استخدام النمذجة الرياضية في وضع خطة متكاملة لإدارة الموارد المائية في الحوض.

- التقدير الخاطئ للموارد المائية المتاحة بالحوض المدروس، حيث اعتمدت بعض الدراسات السابقة على تقدير الموارد المائية في حالة السنوات الرطبة (مغلاة في التقدير)، والأخرى على السنوات الجافة (انخفاض في التقدير).

- تجاهل بعض الدراسات السابقة إدخال الموارد المائية الجوفية المتجددة في عملية الموازنة، واقتصرت معظمها على موازنة المياه السطحية للحوض المدروس، وهذا لا يعطي نتائج كافية تُمثل حالة الموارد المائية وإتاحتها والطلب عليها مستقبلاً، ناهيك عن إهمالها للضياح المائي الكبير من الشبكات الموجودة والتلوث الحاصل.

- عدم أخذ استراتيجية تحسين إنتاجية المياه في الدراسات السابقة بعين الاعتبار، ناهيك عن معاملة مواقع الطلب المختلفة معاملة متماثلة من حيث التزويد بالمياه دون الأخذ بعين الاعتبار أشهر الصيف الجافة والحاجة الملحة للمياه، وأشهر الشتاء حيث يقل الطلب على المياه، وعليه يوجب تخزين المياه كي لا تضيق أو تتلوث.

- عملاً بالدراسات الحالية الموجودة في دول شبيهة بدولتنا من حيث مشاكل المياه في أحواضها مثل مصر وأوزباكستان وباكستان وسريلانكا والهند والصين. وُجد أنه من الضروري الإجابة على عدة أسئلة قبل أي موازنة ألا وهي (من أين يأتي ماء الحوض وأين يذهب؟ وما هو المستعمل منه؟ وما هو المتاح للمستقبل؟) وهذا يُمثل مفهوم نظام القياسات المائية (WAS) وهو غير موضّح بشكل صحيح في الدراسات السابقة.

- إنّ أحدث دراسات الأحواض المائية العالمية توصي بدراسة المجتمعات المائية بالحوض (Water Catchments)، وذلك لعدم معاملة مواقع الطلب الزراعي كبقية مواقع الطلب الأخرى، وهذا لم يُدرس سابقاً.

- اعتبار النمذجة الرياضية عاملاً مساعداً في تحديد الأنظمة المائية التي لا تتوفر فيها قياسات كافية، من خلال استنباط نماذج في إدارة المياه المستعملة بشكل عام، وإدارة الري بشكل خاص، إضافةً لارتفاع كلفة هذه

القياسات، ولاسيما القياسات الحقلية، حيث لا يُمكن قياس الرطوبة الحقلية على كافة المساحة المزروعة في حوض العاصي.

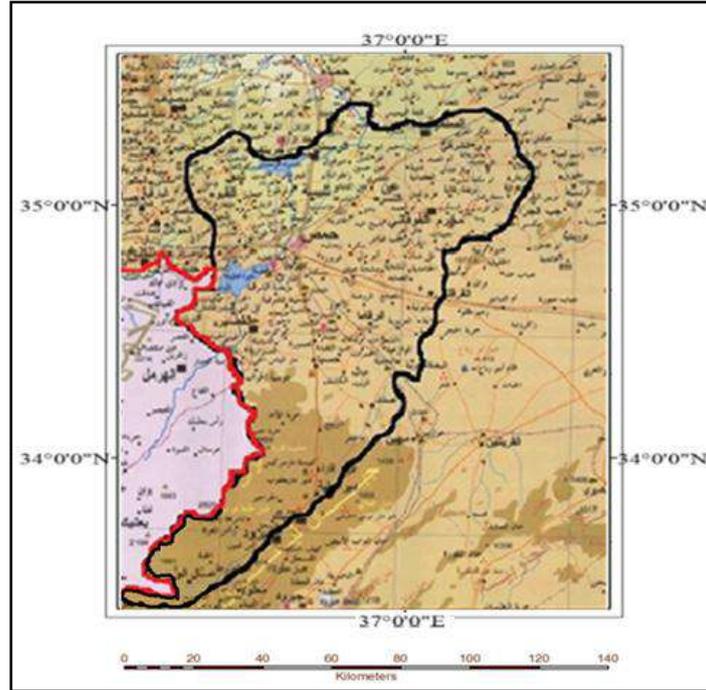
4- أهداف البحث Aims of the Research:

- تحليل الحالة الراهنة والمستقبلية للوضع المائي في حوضي العاصي الأعلى والأوسط باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) في ظل الحالات المناخية السائدة.
- رسم استراتيجيات جديدة يُمكن تطبيقها لإدارة الطلب المستقبلي على الموارد المائية المتاحة حتى عام 2050، باستعمال البرنامج المتكامل WEAP-MABIA.

5- مواد وطرائق البحث Materials and Methods:

5-1- موقع البحث:

تقع منطقة الدراسة داخل محافظة حمص في سورية، بين خطي العرض ($33^{\circ}60'$ - $35^{\circ}25'$) شمالاً وخطي الطول ($36^{\circ}18'$ - $37^{\circ}67'$) شرقاً، على بعد 50-55 كم شرقي البحر المتوسط و150 كم شمالي العاصمة دمشق، وهي تشمل جزئين على طول النهر (جزء من حوض العاصي الأعلى بين الحدود السورية اللبنانية وسد قطينة والجزء الآخر من حوض العاصي الأوسط بين سد قطينة وسد الرستن) وذلك وفقاً لدراسة (UNDP, 2004) التي اهتمت بدراسة هذا الجزء، كما في الشكل (14).



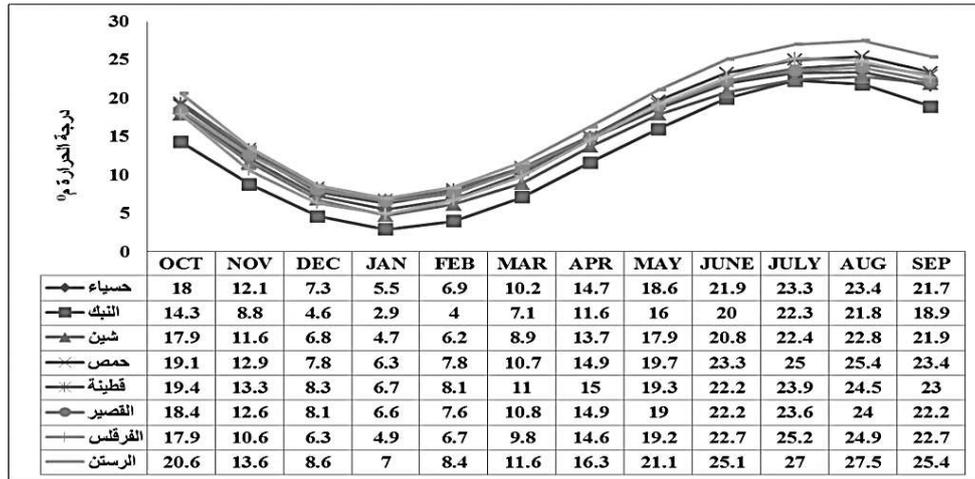
الشكل (14) حدود موقع الدراسة في محافظة حمص، سورية.

5-1-1- الظروف المناخية للموقع:

تُعد المنطقة في أجزائها الجنوبية والوسطى امتداداً لسهل البقاع الذي يتميز بصيف حار وجاف تتعدم فيه الهطولات المطرية وشتاء بارد قليل الأمطار، وتُصنّف بحسب لامبرجيه ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة باستثناء الأجزاء الشمالية الغربية (Somi, 2004). وبعد الرجوع إلى سجلات الأرصاد الجوية ومديرية زراعة محافظة حمص، تبين أنه توجد حول وضمن منطقة الدراسة مجموعة من محطات الرصد المناخية، إلا أنها تتميز فيما بينها بكثافة الرصد المناخي، فبعضها تقتصر على تسجيل الهطولات المطرية اليومية فقط، وبعضها الآخر ترصد المعطيات المناخية كاملة، وعليه تمّ جمع البيانات المتاحة والاستعانة بالدراسات السابقة والمنظمات الدولية (الفاو وإيكاردا) لتغطية البيانات الغائبة. حيث تنطوي هذه الدراسة تحت "مشروع مبادرة المياه وتحسين سبل العيش في الشرق الأوسط (WLI)" التابع لمنظمة إيكاردا بالتعاون مع الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية وكلية الهندسة الزراعية في جامعة حلب.

أ- الحرارة:

تُعتبر درجة الحرارة مهمة في تحديد الرطوبة النسبية والتبخر وغيرها، وتتعلق درجات الحرارة بالوضع الجغرافي وخطوط الطول والعرض. وبعد الرجوع إلى سجلات الأرصاد الجوية، تبين وجود مجموعة من المحطات لرصد درجة الحرارة حول وضمن منطقة الدراسة، وهذه المحطات هي: القصير - قطينة - الرستن - شين - الفرقلس - حمص - حسياء - النيك. حيث يُبين الشكل (15) تغيرات متوسط درجة الحرارة خلال أشهر السنة للفترة الممتدة من عام 1975/76 إلى عام 2009/10.

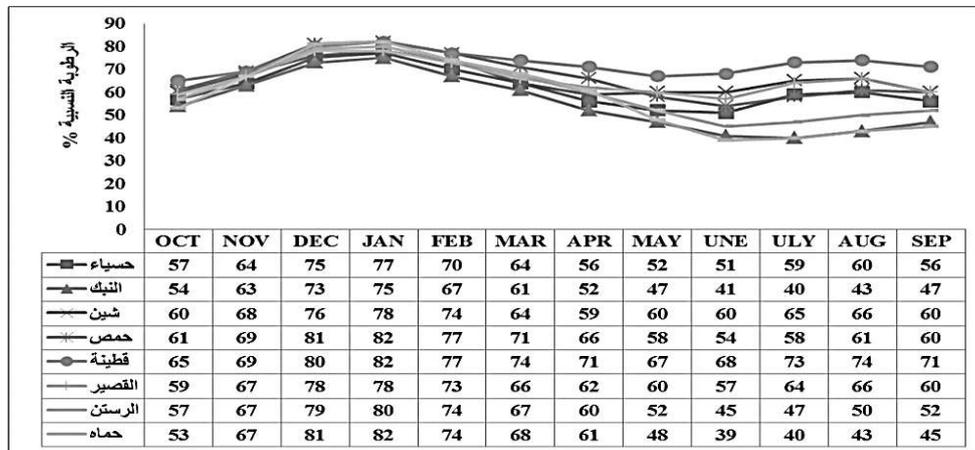


الشكل (15) المتوسط الشهري لدرجة الحرارة بحسب البيانات المتاحة في المنطقة المدروسة.

يُلاحظ وجود فروق كبيرة في متوسط درجات الحرارة بين أشهر الشتاء والصيف، في حين لا يوجد اختلاف كبير لهذا المتوسط بين المحطات المدروسة في ذات الشهر.

ب- الرطوبة النسبية:

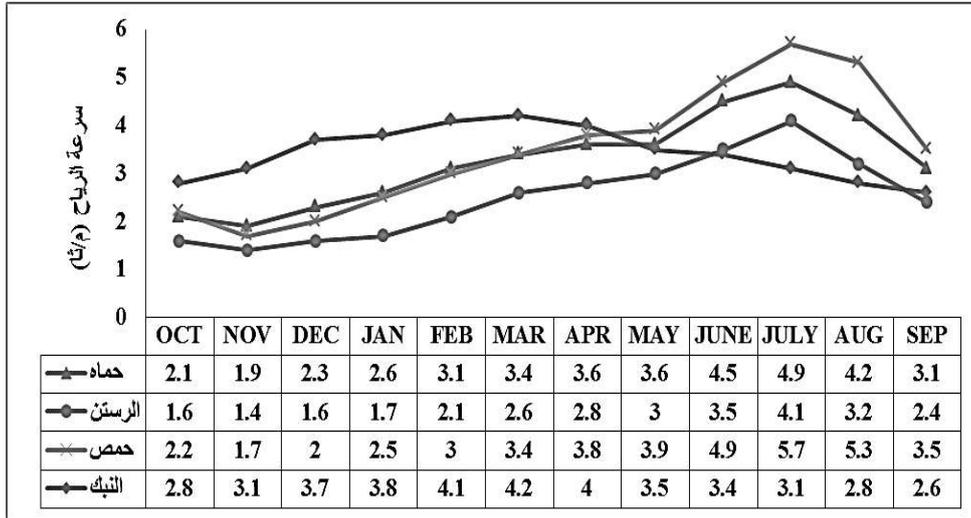
إنّ المتوسط الشهري للرطوبة النسبية والمسجل في محطات الرصد المعتمدة متقارب جداً، في حين يوجد تغيراً ملحوظاً في المتوسطات الشهرية للرطوبة النسبية بين أشهر الشتاء والصيف، حيث تصل إلى ما يزيد عن 80% في الشتاء وتنخفض إلى ما دون 45% في الصيف، كما في الشكل (16).



الشكل (16) المتوسط الشهري للرطوبة النسبية بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (1975/76-2009/10).

ج- سرعة الرياح:

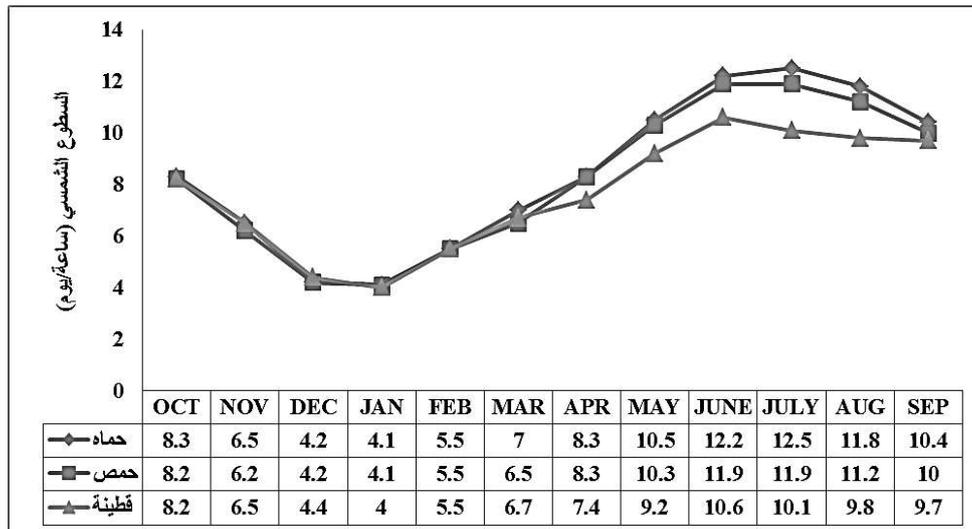
تُشير معلومات الرصد المناخي في محطات الرصد (حماه، حمص، الرستن، النبك) أنّ اتجاه الرياح السائدة في المنطقة خلال الفترة الممتدة من شهر تشرين الثاني إلى شهر شباط نحو الشرق، في حين تتجه نحو الغرب خلال أشهر الربيع والصيف، ويوضح الشكل (17) التغيرات الشهرية لمتوسط سرعة الرياح في المنطقة المدروسة.



الشكل (17) المتوسط الشهري لسرعة الرياح بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (1975/76-2009/10).

د- السطوع الشمسي:

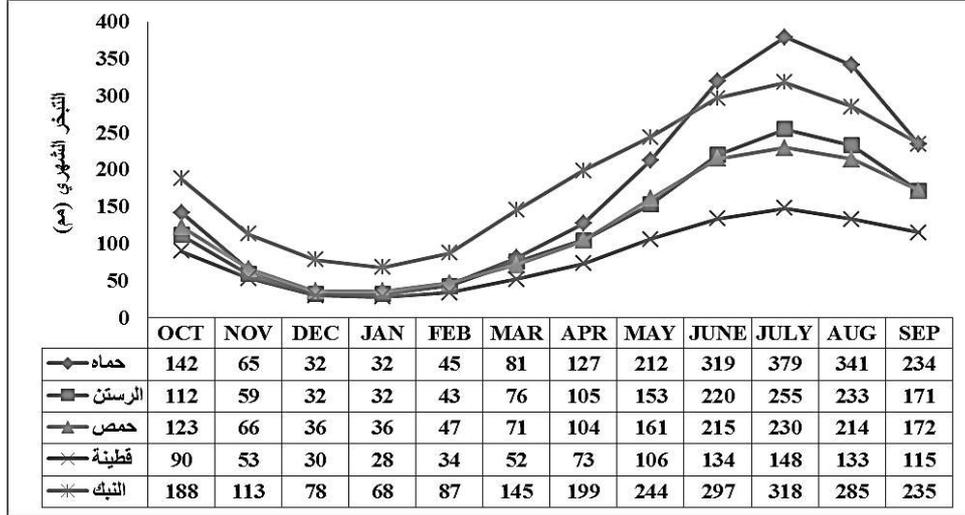
يُبيّن الشكل (18) المتوسط الشهري لعدد ساعات السطوع الشمسي في اليوم، والمقاسة في محطات الرصد المناخية. وتُشير هذه المعطيات إلى أنّ أطول ساعات السطوع تُصادف في أشهر الصيف، حيث تصل خلال شهري حزيران وتموز إلى 12.5 ساعة/يوم، أما أقلّها فتكون في الفترة الممتدة بين شهري تشرين الثاني وآذار لتبلغ بنحو 4 ساعة/يوم في شهر كانون أول.



الشكل (18) المتوسط الشهري لعدد ساعات السطوع الشمسي في اليوم.

هـ- التبخر:

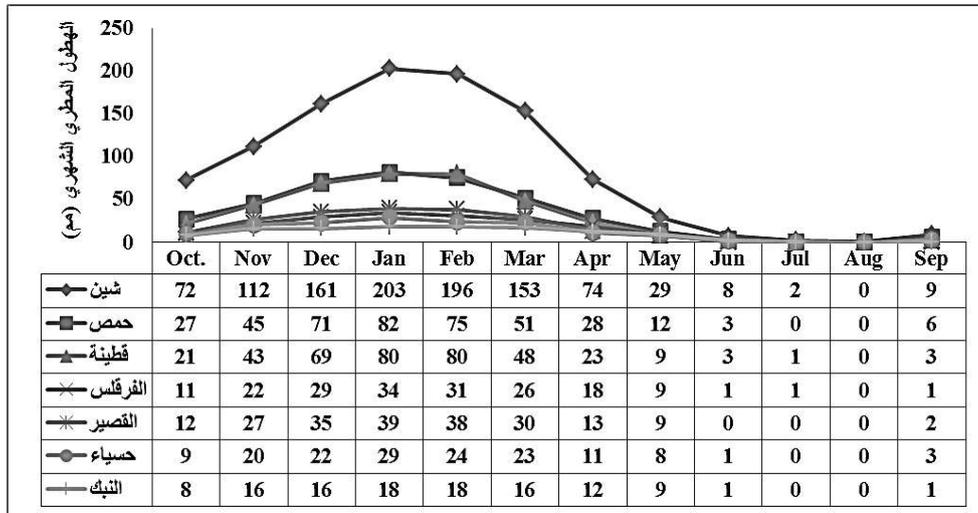
تمّ استعمال المعطيات المناخية لحساب التبخر من سطح الماء الحر في خمس محطات رصد مناخية ضمن منطقة الدراسة وما يجاورها. ويبيّن الشكل (19) تغيرات متوسط التبخر الشهري (مم) في المحطات المناخية، ويُلاحظ أنّ متوسط التبخر الشهري يتغير بشكل ملحوظ بين الأشهر بحسب التغيرات في متوسط درجة الحرارة.



الشكل (19) المتوسط الشهري للتبخر بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (2009/10-1975/76).

و- الهطول المطري:

يُعد الهطول المطري العنصر الأكثر أهمية بين عناصر المناخ، والمصدر الرئيسي لمختلف الأشكال المائية الموجودة على سطح وباطن الأرض، ويجب إعطاء هذا العنصر الحيز الأكبر ضمن خطة استثمار الموارد المائية في أي حوض مائي (ابراهيم وآخرون، 2012). ويبيّن الشكل (20) تغيرات متوسط الهطول المطري الشهري (مم) في المحطات المناخية، حيث يُلاحظ أعلاه في هضبة شين، وأدناه في منطقتي حسياء والنبك.



الشكل (20) المتوسط الشهري للهطول المطري بحسب البيانات المتاحة خلال الفترة (2009/10-1975/76).

5-1-2- الظروف البيولوجية:

تدل الدراسات الجيولوجية أنّ ترب العاصي تشكلت في مرحلتين رئيسيتين، ففي المرحلة الأولى جرى ترسيب متواتر من العصر الجوراسي وفي المرحلة الثانية تشكلت المناطق المرتفعة، وحصل الانهدام في مجرى النهر وتشكلت المنطقة السهلية، أما مواد الطمي فقد ترسبت في العصر الرابع الحديث.

بينت الدراسات البيولوجية المتاحة أنّ منطقة الدراسة تضم أربعة مجموعات رئيسية من الترب (Somi, 2004).

1- الترب اللحية الحديثة:

تشكلت هذه الترب بفعل الترسيبات السنوية خلال فترة الفيضان، وأهم ما يميز هذه الترب هو عدم تطورها بحيث لا يُمكن تمييز الآفاق التشخيصية فيها، لون التربة السائد هو البني أو البني المصفر، القوام لومي إلى لومي- سلتني طيني حتى عمق 50 سم يتحول بعدها إلى طين، تنتشر هذه الترب على سرير النهر يتبعها نمطين:

• نمط التربة العميقة أكثر من 100 سم.

• نمط التربة متوسطة العمق 50-70 سم سيئة الصرف.

2- ترب السهول المرتفعة:

تتواجد هذه الترب في المناطق المرتفعة عن سرير النهر والمتمثلة بالسهول المحيطة به، وهي تربة متطورة ذات آفاق تشخيصية واضحة متوضعة على صخور كلسية أو بازلتية وتقسّم إلى عدة مجموعات صغيرة:

آ- الترب الحمراء القاتمة:

تشكلت هذه الترب على صخور كلسية، وهي حمراء قاتمة أو حمراء بنية قاتمة طينية إلى طينية لومية متشققة يتبعها نمطان:

• تربة عميقة أكثر من 100 سم.

• تربة متوسطة العمق 50-100 سم.

ب- الترب الرمادية-الكلسية:

تشكلت هذه الترب على صخور كلسية، وهي بنية-رمادية، سلتية-لومية تليها تربة رمادية طينية لومية متبقعة يتبعها نمطان:

• نمط التربة العميقة أكثر من 100 سم.

• نمط التربة المتوسطة العمق 70-100 سم.

ج- الترب البنية القاتمة:

وهي ذات منشأ كلسي بازلتى مختلط، بنية قاتمة إلى حمراء بنية، لومية- سلتية يتبعها ثلاثة أنماط:

• نمط التربة العميقة أكثر من 100 سم.

• نمط تربة متوسطة العمق 50-100 سم.

• نمط تربة قليلة العمق 0-50 سم، محجرة- صخرية.

3- ترب المنحدرات:

نشأ معظمها من توضعات عصر النيوجين الرباعي ومعظمها كونغلواميرات ورمال كلسية، تشكلت من رواسب الحقب الرابع والأحقاب الأحدث وتشكل سهول عريضة واقعة في سفوح الجبال من رواسب الانجراف وغسل

المحدرات وغالباً ما يغيب الأفق العلوي منها، يليها تربة طينية لومية-محجرة وحصوية، وتتميز الأراضي بطبوغرافية متموجة إلى خفيفة التموج تخترقها مجاري سيول وأودية مختلفة الأبعاد أدت إلى نشوء نوع من الترب المعقدة من حيث عمقها وتوزع الحجارة والحصى على السطح وضمن التربة. نشأت التربة بصورة تجميعية من نواتج التجوية للمناطق المحيطة المرتفعة ذات الأصل الكلسي.

4- ترب هيدرومورفية:

تشمل هذه المجموعة المناطق المنخفضة المتأثرة بتذبذب ارتفاع مستوى الماء الأرضي، وتتميز بوجود أفق سطحي داكن لارتفاع نسبة المادة العضوية، وتتميز الأفاق السفلية بوجود الأكاسيد والتراكيب الناجمة عن عملية الأكسدة والإرجاع نتيجة التغيرات الفصلية في مستوى الماء الأرضي، التربة غالباً سلتية-لومية على السطح تتحول إلى طينية لومية في الأعماق.

• البنية الجيولوجية والتكتونية:

تُعدّ أعمال بونيكاروف من أفضل وأشمل الدراسات الجيولوجية التي تمت في سورية إضافة لأعمال المؤسسة العامة للجيولوجيا، التي مازالت تقوم بإعداد الخرائط الجيولوجية التفصيلية لسوريه والشركة السورية للنفط التي تعمل على إعداد الخريطة التكتونية لسورية، ويُمكن من خلال تلك الأعمال توضيح البنية الجيولوجية والتكتونية لحوض العاصي ضمن منطقة الدراسة.

1- التركيب الجيولوجي:

نبيّن فيما يلي موجزاً عن أهم التوضعات المنتشرة في منطقة الدراسة بدءاً من التوضعات الأقدم:

أ- توضعات الكريتاسي:

تتألف بشكل أساسي من الدولوميت والحجر الكلسي والمارل مع غضار أخضر، وتنتشر هذه الرسوبيات في منطقة الدراسة على نطاق واسع ويصادف في الحوض كافة تقسيمات الكريتاسي، بدءاً من الكريتاسي الأدنى الذي تسيطر عليه التوضعات المارلية الغضارية الخضراء مع مستويات من الحجر الكلسي، وتتكشف بشكل محدود على شكل أشرطة في سلسلة جبال لبنان الشرقية وفي الأقسام المحورية الشمالية الغربية لسفوح جبل النبك وعلى مسار السفح الجنوبي الشرقي لجبال لبنان الشرقية، تتكشف توضعات الكامبان المؤلفة من الحجر الكلسي الغضاري مع عقد ومستويات صوانية وفوسفات بسماكات غير كبيرة محيطة بالجبال الساحلية وجبال لبنان الشرقية والنبك، إضافة إلى مساحات واسعة شرق وشمال شرق الحقل الحواري وتظهر رسوبياته تنوعاً شديداً باختلاف المناطق وبسماكات قليلة نسبياً، تغطي توضعات الكريتاسي الأعلى عموماً طبقات ذات سحنة مارلية غضارية وبسماكات متفاوتة نسبياً مع صخور كلسية رقيقة أحياناً، تعود لأعلى الكريتاسي الأعلى (ماستريخت- دانيان) وتتكشف بشكل واسع في جبال لبنان الشرقية والنبك.

ب- توضعات الباليوجين:

تنتشر رسوبيات الباليوجين بشكل واسع وهي تشكل طبقات ذات سماكات كبيرة نسبياً، ذات تركيب ليتولوجي متشابه على الغالب ويتألف من المارل والغضار والحجر الكلسي الحواري والحجر الكلسي مع مستويات صوانية أحياناً، وهي توضعات ضعيفة النفوذية عموماً وغير مأمولة في معظم المناطق من حيث تواجد المياه الجوفية،

وتتكشف وبشكل شريط عريض شرقي حقل الكريتاسي، وضمن سلسلة القلمون بتماس مع توضعات الكريتاسي وتصادف كامل التقسيمات الستراتيغرافية لهذا الطابق بدءاً من الباليوسين وحتى الإليغوسين.

ج- توضعات النيوجين:

تغطي رسوبيات النيوجين معظم مساحات أراضي الحوض (حمص، القلمون)، فتوضعات النيوجين الأسفل تكون بسماكات قليلة نسبياً ومؤلفة عموماً من رسوبيات قارية وبحرية وبازلتية، وأحياناً تتألف التوضعات القارية من الكونغلوميرا والحجر الرملي والرمال والحصى بينما البحرية من المارل والحجر الكلسي، تملأ التوضعات القارية معظم المنخفضات المنتشرة ضمن الحوض.

د- توضعات الرباعي:

تتألف توضعات الرباعي بشكل عام من الرمال والغضار والكونغلوميرا ذات الحصى المختلفة والملاط الغضاري والكلسي أحياناً، وهي تشكل مجاري الأودية و مخرائط التجميع عند سفوح الجبال ووادي العاصي. تنتشر طبقات الكونغلوميرا ذات الحصى الكلسية والدولوميتية والصوان العائدة للكريتاسي والباليوجين على شكل بقايا ملاطها غضاري كلسي، وتنتشر الكونغلوميرا ذات الحصى الخشنة الجلاميد ضمن مخرائط التجميع عند سفوح جبال النبك ولبنان الشرقية، تتخللها كونغلوميرا ناعمة الحصى وتنتشر توضعات الحصى والغضار والغضار الرملي في وادي نهر العاصي.

2- التكتونيك:

تتميز منطقة حوض العاصي بنشاط تكتوني واسع أدى إلى ظهور مجموعة من التراكيب التكتونية المتنوعة، وتشغل منطقة الدراسة القسم الجنوبي من السلسلة التدمرية التي تنقسم إلى محدبين رئيسين، الأول محدب جبال لبنان الشرقية محوره جنوب غرب - شمال شرق، ويتألف من رسوبيات الكريتاسي الأعلى من عمر السينومان-تورون تنتشر فيه مجموعة من الفوالق مسايرة لاتجاه محوره و عاموديه عليه أحياناً، والثاني محدب النبك محوره شمال شرق - جنوب غرب وتشكل التوضعات الدولوميتية العائدة للتورون نواة هذا المحذب في حين تشكل توضعات الكونياسان-سانتون الأطراف بشكل عام تخترقه مجموعة من الفوالق عاموديه على محوره ومسايرة له أحياناً، يفصل المحدبين عن بعضهما منخفض القلمون ويبرود وهما منخفضان بين جبليين يملأ الأول توضعات الباليوجين والثاني توضعات نيوجينية بشكل عام.

3- الوضع الهيدروجيولوجي:

اعتماداً على التركيب الجيولوجي والتكتوني أمكن التوصل إلى الوصف العام للظروف الهيدروجيولوجية، وتُعد دراسة الأحواض المائية الأربعة من أشمل وأهم الدراسات التي نفذت في حوض العاصي وغطت كامل مساحته، ومن خلال نتائج هذه الدراسة تم وصف عام للظروف الهيدروجيولوجية السائدة واستخلاص المميزات الأساسية لمصادر المياه الجوفية وتركيبها الكيميائي وظروف حركتها وتغذيتها وتفرغها ونظامها.

إنّ اختلاف التركيب الليتولوجي للتشكيلات الجيولوجية واختلاف الخصائص البنيوية لبعض المناطق، أدى إلى وجود العديد من الطبقات والمجموعات المائية التي يفصلها عن بعضها البعض أو يغطيها مجموعة من الطبقات الكتيمة، وإن أهم مجموعة مائية منتشرة في المنطقة عموماً هي المجموعة المائية لرسوبيات السينومان-تورون

(K2cm+t)، وهي غزيرة ومأمولة وتنتشر توזعات هذه المجموعة على السطح في معظم أماكن حوض العاصي وأهمها في منطقة الدراسة حقل الكريتاسي (الحقل الحواري) في الجنوب الغربي سلسلة جبال لبنان الشرقية. تتألف توذعات هذه المجموعة من الحجر الكلسي والدولوميت والحجر الكلسي المدلمت أحياناً وتتراوح سماكتها ما بين 400-500 م، في المناطق التي تنتشر فيه هذه المجموعة على السطح تكون معظم المياه الجوفية حرة مشكلة أول طبقة مائية، تتوضع المياه على عمق (10-240 م) متر في حقل الكريتاسي (70 م) في سلسلة جبال لبنان الشرقية (قرية العبودية) و(330-480 م) في قرية البريج، يبلغ التصريف النوعي للآبار في القسم الجنوبي لحقل الكريتاسي (0.1-7.75 ل/ثا/م) ونادراً (12 ل/ثا/م).

- صدرت عدة دراسات من وزارة الزراعة والهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية عام 1992 حول مسح وتصنيف التربة في حوض العاصي الأعلى، وكان معظمها عاجز عن توصيف التربة بدقة كونها مقتصرة على تحليل بعض المقاطع التي لا يتجاوز عددها عن 20 مقطع، ما دفع مديرية الري لحوض العاصي بتوجيه من وزارة الري لإعداد دراسة شاملة لأنواع الترب الموجودة من خلال أحد المشاريع المنفذة في منطقة حوض العاصي الأعلى بإشراف الاستشاريين العرب (2007). حيث شملت هذه الدراسة على تحليل 86 مقطع، وتوصيفهم على طول النهر وما يجاوره. وعليه تم جمع البيانات وتحليلها للاعتماد عليها في هذا البحث، كما في الملحق (1).

أظهرت خارطة الوحدات الجيولوجية بأنها تتكون من أربع وحدات ألا وهي:

- 1- مصطبة القصير التي تقع على يمين نهر العاصي، 2- مصطبة سقرجة التي تقع على يسار نهر العاصي،
- 3- اللحيقيات الحديثة وتتوضع بصورة أحزمة ضيقة نسبياً حول سرير العاصي ونبع التنور ووادي نهر الحارون،
- 4- هضبة حمص المارلية التي يتوضع قسم منها في الأجزاء الشمالية الغربية من المنطقة، شمال مطربة حتى غرب منطقة تل النبي مندو وهي ترجع إلى عصر البليوسين (أبو نقطة، 2004).

أما بالنسبة لتربة حوض العاصي الأوسط، فقد جُمعت عينات من عدة مناطق تقع ما بعد سد قطينة ألا وهي: (مدينة حمص، والمختارية، وزيدل، وفيروزة، وغجر الأمير) وجرى تحليلها بمركز بحوث حمص، كما في الجدول (14) المأخوذ من مركز بحوث حمص عام 2011.

الجدول (14) متوسط نتائج بعض الخواص الهيدروفيزيائية لتربة الزراعة المروية في حوض العاصي الأوسط.

تصنيف التربة	التركيب الميكانيكي (%)				الماء المتاح (سم/م)	الرطوبة (%)		الكثافة (غ/سم ³)		العمق (سم)
	حصى	طين	سلت	رمل		حد الذبول حجماً	السعة الحقلية حجماً	ظاهرة	حقيقية	
طينية	6.9	56.7	20.6	22.8	17.5	15.5	33.0	1.476	2.71	15 - 0
سلتية طينية لومية	3.2	33.3	44.3	19.2	21.1	18.1	39.2	1.463	2.68	65 - 15
سلتية لومية مع نسبة مرتفعة من الحصى	34.2	16.7	34.5	14.6	20.6	19.3	39.9	1.463	2.65	200 - 65

5-1-3- الموارد المائية في المنطقة المدروسة:

بغية تحقيق هدف البحث تمّ تقسيم الموارد المائية إلى الماء الأزرق [ويشمل المياه الجوفية والسطحية التي لها عادةً خيارات لتطويرها واستخدامها بسبب سهولة الوصول لها، (Hofwegan, 2003)]، والماء الأخضر ويشمل رطوبة التربة التي يُمكن أن تستهلك فقط من قبل الغطاء النباتي وهي تؤدي دوراً مهماً في تأمين الاحتياجات المائية من خلال المحاصيل البعلية في الدول المطيرة، والماء الهامشي ويشمل المياه العادمة المعاد استخدامها كالماء الرمادي وحصاد مياه الأمطار (Mekonnen and Hoekstra, 2011)]. ويمثل الماء الهامشي في هذه الدراسة الموارد غير التقليدية والتي تشمل رواجع الصرف الزراعي والصحي والصناعي لقلّة وندرة شبكات الصرف ومحطات المعالجة الفعّالة، حيث يوجد محطة واحدة في مدينة حمص وكفاءتها لا تتجاوز 44%، تُستخدم نواتجها لري حوالي 2100 هـ ما بعد سد قطينة (UNDP, 2004).

تمّ جمع وتحليل البيانات الهيدرولوجية التالية خلال الفترة الممتدة (1975/76-2009/10)، حيث لا تتوفر بيانات كاملة بعد هذا العام بسبب توقف العديد من محطات القياس عن العمل جراء الظروف التي تمر بها البلاد:

1- على صعيد الماء الأزرق (Blue water). انظر للبيانات الهيدرولوجية الشهرية في الملحق (2):

أ- المياه السطحية: من خلال تصاريح محطات القياس الهيدرولوجية الموجودة على طول النهر.
ب- المسيلات السطحية الجانبية.

ج- المياه الجوفية: تصاريح الآبار الجوفية المرخصة والينابيع الرئيسية التي لم تجف بعد مثل عين التتور وعين السمك، حيث جفّت عدة ينابيع كانت تغذي المنطقة لأغراض الشرب مثل عين السخنة وأبو حمامة.
د- الهطول المطري على سطح بحيرة قطينة والتبخر منها.

2- على صعيد الماء الأخضر (Green water).

استعمل البرنامجين (ET₀Calc و New Loc-Clim. 1.10) لرسم الخرائط الزراعية المناخية وإظهار الفجوة المائية الشهرية بين الهطول المطري والتبخر- نتح الأعظمي في كل مستجمع مائي، وعليه استنتجت فترة الاستفادة من الماء الأخضر (FAO, 2009 b).

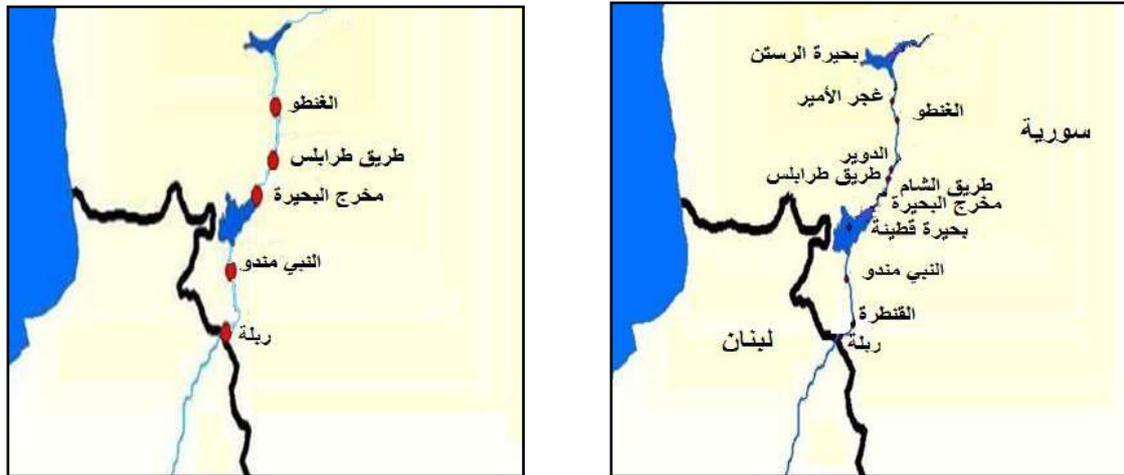
3- على صعيد الماء الهامشي (Marginal water).

لا تتوفر بيانات موثقة عن الكميات الحقيقية للصرف الصحي والصناعي والزراعي في المنطقة المدروسة، لعدم توفر شبكات صرف ومحطات معالجة فعّالة. ومنه تمّ الاستعانة بالدراسات السابقة، حيث شكّلت رواجع الصرف الزراعي النسبة العظمى وتزايدت من 49 م³ عام 1998 إلى 70 م³ عام 2010، بسبب التوسع الأفقي في الزراعة المروية في أعالي العاصي والنفاذية العالية للتربة وعدم ضبط تطبيق الأولويات في استخراج المياه وتدني كفاءة الري الإجمالية إلى ما دون 45% (خزام، 2010؛ رعد، 2013). وبالاعتماد على دراسة كلاً من صومي وداود (2001) نتيجة لندرة شبكات الصرف الفعّالة في المنطقة المدروسة: بأن رواجع الصرف الزراعي تُشكل 10% من المياه المقدّمة للري عند كفاءة تتراوح من 75-85%، وتزداد هذه النسبة إلى 15% عند كفاءة ري 60%، و25% عند كفاءة ري 50%، و35% عند كفاءة ري 30%. حيث تعود هذه الرواجع إلى مجاري المياه السطحية أو تذهب لتغذية المياه الجوفية وتلويثها. بلغت رواجع الصرف الصحي 1.921 م³ عام 2004 بحسب دراسة مكسور (2006)، لتتزايد إلى 2.26 م³ عام 2010 بحسب تقديرات مؤسسة الصرف الصحي بحمص.

أما رواجع الصرف الصناعي فقد قُدّرت كمية المياه العائدة إلى نهر العاصي من المنشآت الصناعية (معمل السماد والرحبة العسكرية) الواقعة قبل سد قطينة، والتي تصب في سد قطينة بـ 29.8 م³/سنة، وعند أخذ رواجع المنشآت الصناعية ما بعد سد قطينة بعين الاعتبار ستبلغ الكمية الراجعة بنحو 56 م³/عام 2010، والتي مجملها يصب في بحيرة قطينة (خزام، 2010). أظهرت نتائج تحليل العديد من العينات المائية بأن نوعية المياه المفرغة أخفض من معايير التدفقات الصناعية المفرغة إلى الأنهار (UNDP, 2004).

استكمالاً لغرض هذا البحث فقد تمّ دراسة مؤشرات جودة المياه في مجرى النهر عند 10 نقاط رصد ابتداءً من محطة ريلة وانتهاءً بمحطة عجر الأمير، وذلك بجمع بيانات نتائج تحليل العينات المأخوذة من عام 2002 إلى عام 2010 من قبل مديرية مكافحة تلوث المياه التابعة لإدارة الموارد المائية في محافظة حماه. حيث حُسب متوسط المؤشرات التالية: (الكلور Cl^- ، الرقم الهيدروجيني pH، الناقلية الكهربائية EC، نسبة الصوديوم المدمص SAR، الطلب الأكسجيني الحيوي BOD_5 ، الأكسجين المنحل $DO\%$ ، الآزوت من الأمونيا $N-NH_4^+$ ، مركبات الفوسفور $P-PO_4^{3-}$ ، القساوة الكلية $TH\ mg/l$ ، عدد البكتيريا البرازية *Escherichia Coli*).

بناءً على المعطيات السابقة، تمّ نمذجة هذه النتائج باستخدام "التحليل المكاني" التطبيق "التوليد إلى راستر" والخيار "التثقيل بعكس المسافة"، وعليه تمّ انتقاء (5) نقاط رصد ببرنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS-Map) بعد اشتقاق نتائج التحليل باستخدام برنامج (ArcInfo)، بأخذ نقطة رصد وترك أخرى من إجمالي النقاط الموزعة على طول النهر، واشتقاق كامل مجرى النهر باستخدام التثقيل بعكس المسافة، كما في الملحق (3). وبذلك تمّ الحصول على قيم نقاط الرصد الخمسة المتبقية من الطبقات الجديدة للمؤشرات المدروسة بوصفها قيماً مشتقة (Interpolated values)، كما في الشكل (21).



الشكل (21) النقاط المرصودة العشرة والنقاط المشتقة على طول مجرى النهر في المنطقة المدروسة.

4- على صعيد الماء الافتراضي (Virtual water).

يُعبّر الماء الافتراضي عن كمية المياه المتضمنة في المواد الغذائية أو غيرها من المنتجات واللازمة لإنتاجها (حسيان، 2012). ولتلبية غرض هذا البحث في حال السنوات الجافة والجافة جداً، حُسبت الاحتياجات المائية لأهم المحاصيل المزروعة في المنطقة ومتوسط غلتها برمجياً، وهذا سيعطي صورة حقيقية عن مدى العجز المائي وحجم الفجوة الغذائية بالمنطقة.

5-1-4- الطلب على الموارد المائية المتجددة في المنطقة المدروسة:

تُعتبر منطقة الدراسة ذات أهمية استثنائية من الناحية المائية، لوجود تنافس كبير بين تخصيص المياه للزراعة وتأمين حاجة مياه الشرب، إضافةً لما تُحدثه رواجع الصرف من آثار سلبية على نوعية مياه الشرب. وفي كثير الأحيان يتم تأمين مياه الري على حساب مياه الشرب، مما يؤدي إلى عجز كبير في تغطية احتياجات السكان. وعليه دُرِس الطلب على الموارد المائية بحسب أولويات تأمين الاحتياجات وفق التالي: شملت الأولوية الأولى (مياه الشرب والاستخدام المنزلي والجريان البيئي والتزامات المنشآت الصناعية قبل سد قطينة)، أما الأولوية الثانية تضمّنت (احتياجات شبكات ري أعالي العاصي مع الشبكة البديلة عن الآبار ضمن حرم نبع عين التور بعد تأمين الأولوية الأولى)، في حين شملت الأولوية الثالثة بعد تأمين الأولويتين الأولى والثانية على (تأمين استمرار الجريان البيئي، وفوائد التبخر والتسرب من بحيرة قطينة، والتزامات المنشآت الصناعية بعد السد، واحتياجات شبكة ري حمص)، وهذا توافق مع دراسة رعد (2013).

أ- التزامات مياه الشرب والاستخدام المنزلي: بعد إحصاء عدد السكان ومعدل نموهم، ولاسيما المستفيدين من مياه المنطقة المدروسة (كإنتاج واستهلاك) بحسب البيانات المتوفرة من عام 1998 إلى عام 2010. حيث تمّ تقسيم المنطقة على أساس معدل نمو السكان والذي بلغ عام 2010 بنحو 2.35% في مدينة حمص وسُميت برمجياً (Homs)، و 2.77% في ريف حمص 1 (مدينة القصير) وبرمجياً (Homs R1)، و 2.15% في ريف حمص 2 (المناطق مثل زيدل وفيروزة وتلييسة وعجر الأمير حتى الرستن) وبرمجياً (Homs R2)، و 2.3% في مدينة حماه وبرمجياً (Hama) و 3.42% في ريف حماه وبرمجياً (Hama R)، (CBS-SYR, 2011).

ازدادت كمية المياه المنتجة لأغراض الشرب والاستخدامات المنزلية لمدينة حمص من 40.32 م³/سنة عام 1998 إلى 58.1 م³/سنة عام 2010. بينما بلغت كمية المياه المستهلكة 25.49 م³ عام 1998 وتزايدت حتى 39.76 م³ عام 2010، وبالتالي بلغت حصة الفرد من المياه المستهلكة 132.5 ل/يوم للفرد عام 2010. ومن ناحية أخرى انخفضت حصة الفرد السنوية المنتجة من مياه الشرب من 75.1 م³/سنة عام 1998 إلى 70.69 م³/سنة عام 2010 والمقابلة لـ 193.66 ل/يوم للفرد. أما بالنسبة لريف حمص 1 وريف حمص 2، فقد بلغ عدد المستفيدين من مياه العاصي 301000 نسمة عام 2010، وبلغت كمية المياه المنتجة لأغراض الشرب والاستخدامات المنزلية 13.8 م³ أما المياه المستهلكة فقد بلغت 8.89 م³ وذلك عام 2010، وبالتالي يكون متوسط حصة الفرد من المياه المنتجة 125.61 ل/يوم للفرد، و 80.92 ل/يوم للفرد من المياه المستهلكة.

تزايد الطلب على مياه الشرب المنتجة لمدينة حماه من 33.8 م³/سنة عام 2004 حيث بلغ عدد المستفيدين في ذاك العام 355000 نسمة ليصل إلى 34.8 م³/سنة عام 2010. أمّا كمية المياه المستهلكة فقد تزايدت من 21.01 م³ عام 2004 إلى 24 م³/سنة عام 2010. وبالتالي بلغت حصة الفرد من المياه المستهلكة 161.4 ل/يوم للفرد عام 2010، بينما انخفض نصيب الفرد من مياه الشرب والاستخدامات المنزلية المنتجة من 95.21 م³/سنة عام 2004 إلى 85.5 م³/سنة، والمقابل لـ 234.26 ل/يوم للفرد. أما بالنسبة لريف حماه فقد بلغ عدد المستفيدين 37664 نسمة عام 2004، وبلغت كمية المياه المنتجة لأغراض الشرب والاستخدامات المنزلية 2.538 م³/سنة، وتزايدت لتصل إلى 2.8 م³/سنة عام 2010. وبالتالي يكون المجموع الإجمالي للمياه

المنتجة لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي لسكان محافظتي حمص وحماه المستفيدين من أعالي العاصي (109.5) م³/سنة عام 2010، كما في الجدول (15).
بالرغم من أن نسبة الهدر في شبكات نقل مياه الشرب لمدينة حمص قد تناقصت من 36.78% عام 1998 إلى 31.6% عام 2010 وكانت بحدود 36% بالنسبة للريف، فلا زالت كفاءة هذه الشبكات متدنية، ولا بد من اتخاذ الإجراءات اللازمة لزيادتها.
الجدول (15) الطلب على مياه الشرب والاستخدام المنزلي كإنتاج واستهلاك في الموقع المدروس لعام 2010.

حصّة الفرد (ل/فرد/يوم)	نسبة الهدر (%)	المياه المستجرة لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي (م ³)		عدد المستفيدين (ألف نسمة)	البيان	
		الإنتاج	الاستهلاك			
132.53	31.6	193.65	39.76	822	مدينة (Homs)	
88.23	39.9	146.69	4.09	127	ريف 1 (Homs R1)	
75.58	31.4	110.22	4.80	174	ريف 2 (Homs R2)	
161.42	31.1	234.26	23.98	407	مدينة (Hama)	
112.57	32.5	166.77	1.89	46	ريف (Hama R)	
	33.3		74.52	1576	المجموع	

تبرز أهمية تحسين كفاءة شبكات مياه الشرب بناحيّتين: الأولى بترشيد استخدام الموارد المائية العذبة، والثانية بحمايتها من التلوث بمياه المجاري أو مياه الصرف الصناعي أو الزراعي، وعليه استخدمت الحكومة السورية آلية التسعير لمياه الشرب والاستخدام المنزلي حسب الشرائح التصاعديّة كإحدى الطرق لترشيد استخدامات المياه (حسيان وآخرون، 2006). حيث حُدّدت تعرفّة المتر المكعب الواحد من مياه الشرب حسب الشرائح التالية وفق القرار رقم /894/ تاريخ 2014/7/17 الصادر عن وزارة الري، كما في الجدول (16).

الجدول (16) تعرفه مياه الشرب والاستخدام المنزلي في ج.ع.س.

القيمة (ل.س)	الكمية (م ³)	الشرائح	الاستخدام المنزلي
0	5 - 1	الشريحة الأولى	
7	15 - 6	الشريحة الثانية	
15	25 - 16	الشريحة الثالثة	
22	35 - 26	الشريحة الرابعة	
30	50 - 36	الشريحة الخامسة	
40	80 - 51	الشريحة السادسة	
50	120 - 81	الشريحة السابعة	
60	121 وما فوق	الشريحة الثامنة	
30	-	الدوائر الرسمية	
60	-	تجاري - صناعي - سياحي	

ب- **التزامات المنشآت الصناعية:** تمّت دراسة كمية المياه المستخدمة من قبل المنشآت الصناعية والتي تستجر احتياجاتها من مياه نهر العاصي، حيث تستجر الشركة العامة للأسمدة (GFC)، والرحبة العسكرية حاجتها من المياه من سد قطينة مباشرة، بينما تستجر مصفاة حمص ومعمل السكر والمصانع الأخرى مياهها من النهر بعد سد قطينة، ويوضح الجدول (17) كمية المياه المستجرة والمستهلكة والعائدة قبل السد وبعده. حيث يُلاحظ أنّ كمية المياه المستجرة من قبل المنشآت الصناعية الواقعة قبل سد قطينة بلغت بنحو 32 م³/سنة، والمياه العائدة من ذات المنشآت تبلغ بنحو 29.8 م³/سنة، وعليه فالمياه المستهلكة فعلاً تبلغ بنحو 2.2 م³/سنة أي لا تتجاوز نسبتها 7% من المياه المستجرة عام 2010.

الجدول (17) كميات المياه المستجرة للأغراض الصناعية (م.م³/سنة) عام 2010.

المياه الراجعة	الاستهلاك الفعلي	المياه المستجرة من			اسم المنشأة
		الآبار	نهر العاصي	الإجمالي	
25.8	2.2	28	28		معمل السماد
4		4	4		الرحبة العسكرية
29.8	2.2	32	32	0	الإجمالي قبل سد قطينة (Indust 1)
18.16	0.76	18.92	14.782	4.138	مصفاة حمص
8.185	0.515	8.7	8.189	0.511	معمل السكر
	2.117	2.117		2.117	صناعات أخرى
26.345	3.392	29.737	22.971	6.766	الإجمالي بعد سد قطينة وحتى سد الرستن (Indust 2)
56.145	5.592	61.737	54.971	6.766	المجموع العام

كذلك الأمر بالنسبة للمنشآت الواقعة بعد السد حيث بلغت كمية استجرتها بنحو 29.74 م³/سنة، والمياه العائدة بنحو 26.35 م³/سنة، وعليه بلغت المياه المستهلكة فعلاً بنحو 3.39 م³/سنة أي لا تتجاوز نسبة الاستهلاك 11.41% من المياه المستجرة، وهذا يشير إلى الهدر المائي الكبير ناهيك عن التلوث الحاصل من هذه الرواجع.

ج- **التزامات مياه الري:** دُرس تطور التوسع الأفقي في الأراضي القابلة للزراعة في حوض العاصي الأعلى قبل سد قطينة خلال الفترة (1998-2010)، واستناداً للخطة المائية المعتمدة من قبل وزارة الري والزراعة تمّ حساب متوسط الاحتياجات المائية الفعلية لأهم المحاصيل المروية وذلك عند احتمال ضمان هطول الأمطار لسنة جافة 75%، إضافةً لنسبة المساحة التي تغطيها المحاصيل من المساحة الإجمالية وفقاً لمصدر الري (كنفاني، 2010)، ومنه استنتج الاستجرار المائي الشهري اللازم للمحاصيل والأشجار بحسب كفاءة الري ومصدره (سطحي أو جوفي) وتطوره من عام 1998-2010، بالإضافة لتطور عدد الآبار والمساحات المروية بنظم الري الحديث في حوض العاصي الأوسط، كما في الملحق (4). وهذا ينطوي تحت حسابات نظام القياسات المائية (WAS). بناءً على ذلك وبحسب كفاءة الري الإجمالية لمنظومات الري الحكومية (شبكة ري القنوات الخمسة وشبكة ري حمص) حُدد حجم الاستجرار المائي اللازم لكل موقع طلب زراعي، فالزراعة 1 وسُميت برمجياً (Agric1) وتشمل على المساحة المروية من قناتي جوسية وربة الواقعة على يمين مجرى النهر، وتبلغ مساحتها 3324 هـ والاحتياج المائي 18762.58 م³/هـ حيث كفاءة نقل المياه لا تتجاوز 43%، والزراعة 2 وسُميت برمجياً

(Agric2) وتشمل على المساحة المروية من أفنية زيتا والنهرية والمعصرة الواقعة على يسار مجرى النهر، وتبلغ مساحتها 3525 هـ والاحتياج المائي 23051.17 م³/هـ حيث كفاءة نقل المياه لا تتجاوز 35%، والزراعة 3 وسُميت برمجياً (Agric3) وتشمل على المساحة المروية من النهر بالضح والراحة، وتبلغ مساحتها 448 هـ والاحتياج المائي 17184.8 م³/هـ حيث كفاءة الري 50%، والزراعة 4 (Agric4) تشمل على المساحة المروية من المياه الجوفية (آبار + ينابيع)، وتبلغ مساحتها 9497 هـ والاحتياج المائي 7684.47 م³/هـ حيث كفاءة الري 75%، أما الزراعة 5 (Agric5) تشمل على المساحة المروية من شبكة ري حمص وقناة ري تل الشور وتبلغ 13195 هـ والاستقرار المائي المعتمد من قبل مديرية الموارد المائية بحمص يُقدّر بنحو 10600 م³/هـ، كما في الجدول (18).

الجدول (18) كميات المياه المستجرة للري عام 2010.

البيان	المساحة (هـ)	الاستقرار (م ³ /هـ)	إجمالي الاستقرار (م.م ³)
زراعة 1 (Agric1)	3324	18762.58	62.37
زراعة 2 (Agric2)	3525	23051.17	81.26
زراعة 3 (Agric3)	448	17184.80	7.70
المجموع	7297		151.32
زراعة 4 (Agric4)	9497	7684.47	72.98
إجمالي الاستقرار قبل سد قطينة	16794		224.30
زراعة 5 (Agric5)	13195	10600	139.87
الاستقرار الإجمالي	29989		364.17

في حين اختلف الأمر كثيراً عند دراسة المستجمعات المائية (Water Catchments) بالبرنامج المتكامل، والذي يتناول العلاقة بين النبات والتربة والمناخ وطريقة الري المستخدمة في المنطقة المدروسة، ناهيك عن تمثيله للواقع في حال تم رفع كفاءة الري باستخدام تقانات الري الحديث.

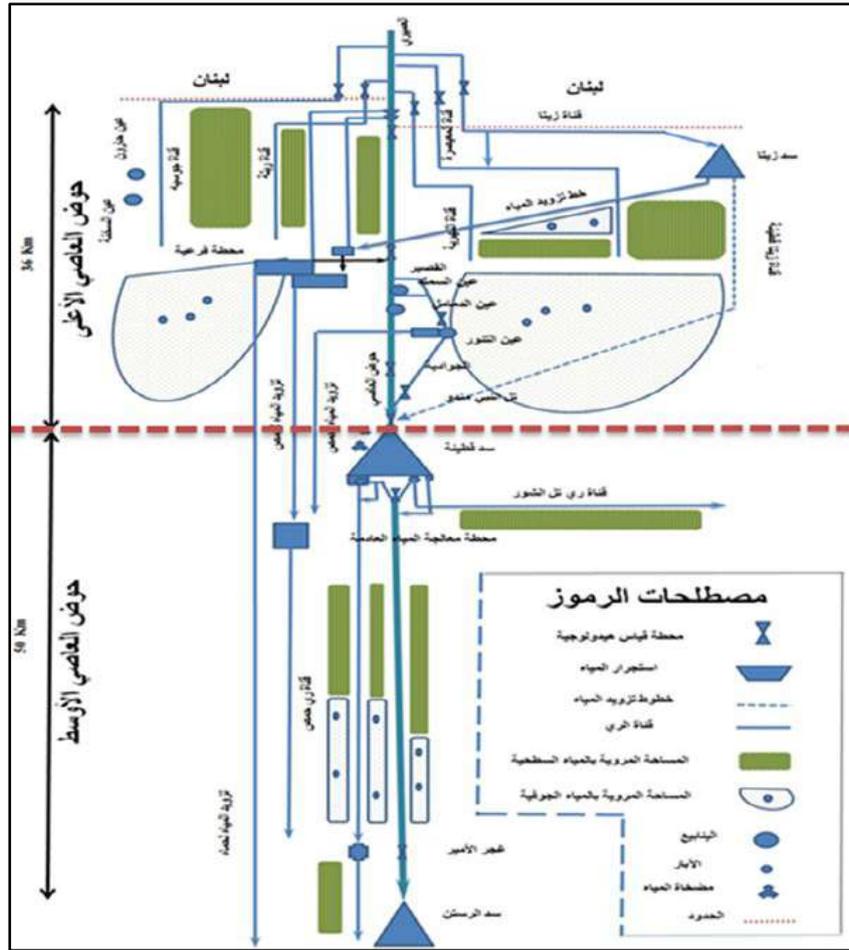
5-2- طرائق البحث:

5-2-1- نظام القياسات المائية (WAS):

لتسهيل الدراسة تم تخطيط ورسم خطوط الإمداد المائي لمواقع الطلب على طول النهر كما هي عام 2010، وتحديد المساحات المروية سواء من مصادر المياه السطحية أو الجوفية، كما يلي:

- **المنطقة الأولى:** الجزء الأعلى من حوض العاصي ويغطي مساحة بحدود 1690 كم² حيث يبلغ طول النهر بنحو 36 كم من الحدود لسد قطينة، ويبدأ من مجرى النهر عند محطة قياس العميري الواقعة على الحدود ومحطات القياس للقنوات الخمسة (جوسية وربلة على اليمين وزيتا والمعصرة والنهرية على اليسار) والتي تروي مساحة قدرها 6849 هـ، وتُضاف لها الشبكة البديلة عن الآبار لتصبح بحدود 8700 هـ، وأما المساحة المروية من النهر بالراحة والضح كانت بحدود 448 هـ، في حين بلغت المساحة المروية من المياه الجوفية من ينابيع عين التتور (غزارته 700 ل/ثا) والبرهانية وعين السمك (غزارته 350 ل/ثا)، بالإضافة إلى عين الدامل والآبار بحدود 9497 هـ. أيضاً يوجد محطات الضخ لمياه الشرب والاستعمال المنزلي لمحافظة حمص وحماه وريفهما، وخطوط جر المياه اللازمة، بالإضافة لوجود خزان سد قطينة (200 م.م³) وخزان سد زيتا (80 م.م³) والذي قيد الاختبار ولم يستثمر بعد بشكل فعلي.

- المنطقة الثانية: الجزء الأعلى من حوض العاصي الأوسط بعد سد قطينة مباشرة، حيث يبلغ طول النهر بنحو 50 كم من سد قطينة لسد الرستن، وتوزعت محطات القياس الهيدرولوجية على مجرى النهر (مخرج قطينة، قناة حمص، داوير، عجر الأمير). وشملت هذه المنطقة على شبكة ري حمص وقناة ري تل الشور والتي تروي مساحة قدرها 13195 هـ في محافظة حمص والتي تُروى من المياه السطحية المتبقية بعد الموازنة في خزان سد قطينة، حيث لا يكفي الاحتياج اللازم ولاسيما في أشهر الجفاف، وعليه تردف من مصادر المياه الجوفية المتمثلة بالآبار المرخصة وغير المرخصة، والتي زاد عددها على 21 ألف بئر، وتروي مساحة 20 ألف هكتار وفقاً لدراسة (Kibaroglu et al., 2005). وأخيراً يدخل النهر إلى خزان سد الرستن عند محطة قياس عجر الأمير نهاية موقع الدراسة، كما في الشكل (22).



الشكل (22) مخطط تمثيلي لشبكة الإمداد المائي لمواقع الطلب الرئيسية في حوضي العاصي الأعلى والأوسط.

5-2-1-1- منهجية نظام القياسات المائية (WAS) والمعادلات المستخدمة:

نتيجة عدم توفر بيانات كافية بعد عام 2010 عن الموارد المائية المتجددة والطلب عليها بسبب توقف العديد من محطات القياس عن العمل، اعتبر عام 2010 كسنة أساس وحُسبت الموازنة المائية للواردات المائية التقليدية وغير التقليدية كشاهد للوضع المائي بالمنطقة من حيث البنى التحتية والسدود وعدد السكان والمساحات المروية، واعتمد في ذلك المعادلة التالية (Molden et al., 2001b):

$$Q_{in} + R \pm \Delta S = Q_{out} + E$$

Q_{in} : الواردات الداخلة للمنطقة سواء كانت سطحية أو جوفية، R : الهطول المطري، ΔS : التغير في الخزان داخل منطقة الدراسة والتي تتألف من التغيرات في المياه الجوفية والسطحية، حيث تشير الإشارة الموجبة إلى إزالة الماء من الخزان، Q_{out} : الواردات الخارجة من المنطقة المدروسة، E : التبخر - نتج.

أما من أجل التنبؤ حتى عام 2050 فقد تم تحليل السلسلة الزمنية للواردات المائية [السطحية والجوفية والهطول المطري والمسيلات الجانبية (الجريانات السطحية)] خلال 35 سنة سابقة (1975/76-2009/10) بأسلوب Box-Jenkins الذي يأخذ بعين الاعتبار المتوسطات المتحركة والتوزيعات الاحتمالية مثل التوزيع التجريبي الهيدرولوجي (Kritski-Menkel) والتوزيع الطبيعي وتوزيع بيرسون III. واختيار التوزيع الملائم للبيانات المتاحة والذي يُمكن الاعتماد على نتائجه في عملية التنبؤ، جراء حساب قيمة (R.S.S) لكل توزيع والمتمثلة

$$R.S.S = [\sum (Q_e - Q_o)^2 / (n - m)]^{1/2} \quad \text{بالمعادلة التالية:}$$

Q_e : القيمة المتوقعة لكل البيانات، Q_o : القيمة المقاسة لكل البيانات، n : عدد البيانات، m : عدد بارامتر التوزيع وهو يساوي (2) في التوزيع الطبيعي والتجريبي الهيدرولوجي (Kritski-Menkel) و (3) في توزيع بيرسون III، (Mahdavi et al., 2006; Abdi Kardavani and Fakherifar, 2009; Mahdavi, 2010).

حيث اعتمدت معادلات التوزيع الطبيعي (Ghos) على الدالات الرياضية لبرنامج Excel:

عند احتمال واردات 25% $NORMINV(0.75, \text{mean}, St_{Dev})$ (حالة السنوات الرطبة).

عند احتمال واردات 50% $NORMINV(0.50, \text{mean}, St_{Dev})$ (حالة السنوات الطبيعية).

عند احتمال واردات 75% $NORMINV(0.25, \text{mean}, St_{Dev})$ (حالة السنوات الجافة).

عند احتمال واردات 95% $NORMINV(0.05, \text{mean}, St_{Dev})$ (حالة السنوات الجافة جداً).

في حين اعتمد التوزيع الهيدرولوجي التجريبي والذي أثبت فعالية كبيرة في تمثيل البيانات المتاحة للمنطقة المدروسة بحسب دراسة (UNDP 2004) بالمقارنة مع التوزيع الطبيعي خلال الفترة الممتدة من عام 1975 إلى

عام 2000 وهو يعتمد على المعادلات التالية:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

m : السنة المختبرة، n : عدد السنوات المختبرة (35 سنة، 1975-2010).

تُمثل (m) رقم السنة في السلسلة وأعلى قيمة للموارد المائية. P : الاحتمال من 0.01 إلى 99.99%.

ترافق ذلك مع حساب المتوسط \bar{X} معامل الاختلاف (Cv) ومعامل الانعراج (Cs) بطريقة مومينت من خلال المعادلات التالية:

$$K = \frac{X_i}{\bar{X}} \quad C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n-1}} \quad C_s = \frac{\sum (K_i - 1)^3}{n \cdot C_v^3} \quad \sigma_X = \pm \frac{100 \times C_v}{\sqrt{n}}$$

حيث أن: (X_i) حجم الموارد المائية، و (n) عدد السنوات، و (σ_X) متوسط الخطأ النسبي، و (K) مؤشر.

أما توزيع بيرسون III فاعتمد على جداول معامل الانعراج وبعض المعادلات الرياضية (Harter, 1998).

❖ بعد تحليل الوضع الهيدرولوجي للمنطقة المدروسة، دُرس مقدار الطلب على المياه وتزايدته حتى عام 2050 مع الأخذ بعين الاعتبار النواحي التالية:

• تزايد عدد السكان وفقاً لمعدلات النمو وحصّة الفرد عام 2010، وعليه حُسب تطور الاسترجار اللازم المنتج والمستهلك بحسب كفاءة شبكات نقل المياه حتى عام 2050، كما في الملحق (5).

• بنتيجة توسع القطاع الصناعي في سورية بشكل عام وفقاً لإحصائيات (CBS-SYR, 2011)، ومحافظة حمص (المنطقة الوسطى بشكل خاص) سيزداد الطلب السنوي على المياه بنحو 2% حتى عام 2050. لكن بنتيجة كفاءة الاستخدام الضعيفة جداً، يُفترض عدم زيادة الاسترجار ورفع كفاءة المنشآت الصناعية من خلال تطبيق دارات مغلقة ومحطات معالجة فعّالة، وعليه سيلبي الاسترجار المائي عام 2010 التوسع الصناعي المتوقع حتى عام 2050.

• بنتيجة تدني كفاءة ري شبكة القنوات الخمسة وشبكة ري حمص إلى ما دون 45%، والتبخر الكبير الحاصل من المسطحات المائية، ولاسيما من سطح بحيرة قطينة ناهيك عن التلوث الحاصل في بحيرة قطينة وما بعدها نتيجة مخلفات الصرف غير المعالجة (يوسف، 2009). بالإضافة لانخفاض حصّة الفرد من المياه المخصصة للزراعة بنسبة 8.3% في حوض العاصي الأعلى خلال الفترة (1998-2010)، كما في الملحق (4)، الجدول [10]. يُقترح عدم التوسع الأفقي بالزراعة المروية إلا بعد وضع الحلول اللازمة، وتطبيق الاستراتيجيات لرفع إنتاجية المياه في المنطقة المدروسة، وعليه سيبقى الاسترجار المائي الزراعي بقيمته ذاتها عام 2010.

• في ضوء الواردات المائية المستنتجة عند ثلاث احتمالات للتقلبات المناخية [الطبيعية (50%، A)، والجافة (75%، B)، والجافة جداً (95%، C)] وتطور حجم الاسترجار اللازم، دُرست فعالية الحوض المدروس خلال الفترة الممتدة (2010-2050) من خلال المعادلة التالية:

$$W_b = \pm B / WR$$

W_b : معامل الموازنة المائية، $\pm B$: العجز المائي (-) أو الفائض (+)، WR : كمية الوارد المائي المتاح.

5-2-2- البرمجيات المستخدمة في البحث:

أ. برنامج **ET₀ Calc**: برنامج متخصص بحساب التبخر- نتح المرجعي في أي منطقة وذلك بشكل يومي أو شهري بحسب إدخال البيانات المناخية وخطوط العرض والطول، ويعتمد على معادلة بنمان مونتيث المطوّرة من قبل منظمة الفاو (Raes, 2009).

ب. برنامج **NewLoc-Clim 1.10**: برنامج متخصص برسم الخرائط المناخية الزراعية وسد الفجوات (البيانات الغائبة) في قياسات المحطات المناخية الموجودة بالمنطقة المدروسة، وهو مُعد من قبل منظمة الفاو أيضاً. حيث تتجلى مدخلاته بالتالي [خطوط العرض والطول والارتفاع عن سطح البحر)، والمعطيات المناخية بشكل يومي (درجات الحرارة الصغرى والعظمى، سرعة الرياح، ساعات السطوع الشمسي، الرطوبة النسبية، الهطول المطري والتبخر- نتح المرجعي المحسوب)]، أما المخرجات تتمثل بالموازنة المائية المناخية (هطول مطري وتبخر- نتح أعظمي) لكل موقع مدروس بعد تحليل البيانات وتصحيح الأخطاء، وتُصدّر النتائج إما على شكل جداول أو خرائط يُمكن من خلالها تحديد مقنن الري المطلوب (FAO, 2009 b).

ج. برنامج **SPAW**: وهو اختصار لعدة كلمات (Soil, Plant, Atmosphere, Water)، ويدرس الموازنة المائية على صعيد الحقل، حيث يأخذ جدول الري بعين الاعتبار وهو شبيه ببرنامج MABIA المرتبط ببرنامج WEAP، وقد تمّ الاستعانة به لتمثيل نوع التربة وأكبر عدد من المحاصيل المزروعة وتقدير احتياجاتها.

د. برنامج Excel: أحد البرامج المتقدمة في الحسابات الرياضية من خلال الدالات الموجودة فيه، واستعمل لاستنتاج التوزيع الاحصائي الطبيعي (غوص). وتم توثيق البيانات المدخلة من قبل وزارة الري والمكتب المركزي للإحصاء في سورية ووزارة الاسكان والتعمير ووزارة الزراعة والإصلاح الزراعي عام 2011.

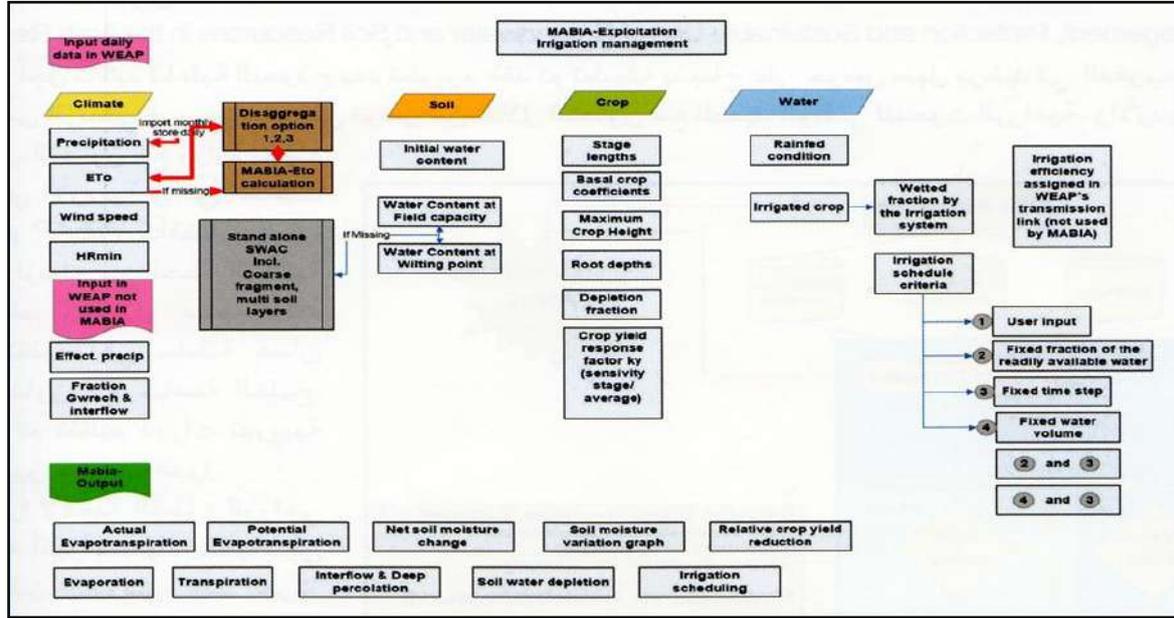
هـ. برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS: عزفته مؤسسة ESRI الأمريكية المنتجة لأشهر برامج GIS بأنه تطبيقاً عملياً يضم الجمع ما بين العمل على الحاسب الآلي ضمن برامج خرائطية وغير خرائطية من أجل بناء قاعدة للبيانات المكانية والوصفية والربط بينهما من أجل الوصول إلى تفسيرات أو تطبيقات تساعدنا في دراسة الظواهر الجغرافية المختلفة مع إمكانية التعامل بتلك البيانات المخزنة في قواعد البيانات بكل يسر وسهولة من حيث استرجاعها وعرضها وترميزها وتخزينها وتغييرها ما بين الحذف والإضافة (الشمرى، 2007).

* استخدمت جميع البرامج أعلاه لإيضاح الماهية المائية للمنطقة المدروسة ولحساب المدخلات المطلوبة للبرنامجين المربوطين مع بعضهما والمستخدمين بالبحث ألا وهما:

أ. برنامج WEAP: يعتمد برنامج WEAP₂₁ بشكل أساسي على حساب الموازنة المائية الشهرية في كل مستجم مائي (Catchment)، وبالتالي فهو قابل للتطبيق على الأنظمة البلدية والأنظمة الزراعية، وعلى الأحواض الفرعية المفردة، أو أنظمة الأنهار المعقدة، وأكثر من ذلك يُمكن أن يغطي مجالاً واسعاً من القضايا، مثل تحليل الاحتياجات القطاعية، والحفاظ على المياه، وتطبيق التشريعات المائية، وأولويات التوزيع، وعمليات محاكاة المياه الجوفية والجريانات السطحية، واستثمار الخزانات وتوليد الطاقة الكهربائية، وتتبع التلوث ومتطلبات النظام البيئي ويُقدّم تحليلاً بيانياً (الكلفة- فائدة) للمشاريع. وتتجلى البيانات المدخلة للبرنامج (Input data) بالواردات المائية الداخلة بشكل شهري للمنطقة (سطحية وجوفية ومسيلات جانبية) المائية واحتياجات مواقع الطلب بشكل شهري ويومي سواء للاستخدام المنزلي أو الصناعي أو الزراعي. وعليه تكون أهم النتائج المتحصل عليها هي كمية العجز المائي أو الفائض في كل موقع بشكل سنوي وشهري وفعالية الحوض المدروس. حيث يُمكن بعد معايرة البرنامج WEAP التنبؤ لعدد كبير من السنوات ووضع نموذج رياضي للحوض المدروس، وإدخال الحلول التي تُمثل الواقع أو تُحاكيه (شاكر وآخرون، 2006). وبمعاملة مواقع الطلب الزراعي باستخدام برنامج MABIA المرتبط مع برنامج WEAP، تُقدّر إنتاجية الماء الزراعي الحقيقية ضمن ظروف المنطقة.

ب. برنامج MABIA: يوجد هذا البرنامج بشكل مستقل، ويُمكن أن يكون مربوط مع برنامج WEAP أو منفصل عنه وهو مُعد من قبل منظمة الفاو (Allen et al., 1998). ويهدف إلى تحسين كفاءة استخدام المياه عند مستوى الحقل من خلال تطبيق برمجة الري حيث يحتاج العمل في البرنامج إلى تحديد الموقع (خطوط العرض والطول والارتفاع عن سطح البحر)، المعطيات المناخية بشكل يومي (درجات الحرارة الصغرى والعظمى، سرعة الرياح، ساعات السطوع الشمسي، الرطوبة النسبية)، إضافةً إلى استعمال الأرض (المساحة المزروعة، أنواع المحاصيل المزروعة، نوع التربة، الكثافة، العمق، النفاذية، السعة الحقلية، معامل الذبول، معامل الرش، المطر الفعّال، تغذية المياه الجوفية، نسبة الرش للطبقات الدنيا)، إضافةً إلى الري (كفاءة الري وطرائقه، الرش لتغذية الماء الجوفي، الجريان)، إضافةً للغلة والسعر لكل محصول ونوعية مياه الري. والمخرجات كثيرة ويتمثل أهمها في حساب الاحتياج المائي الصافي، وكمية الري وعدد الريات في كل طور فينولوجي، وإنتاجية المحصول وبالتالي إنتاجية المياه، والشكل (23) يوضح مدخلات ومخرجات البرنامج.

وقد تم مقارنة مخرجات البرنامج مع نتائج تجارب المحطات البحثية وتقارير مديرية زراعة حمص عام 2010 حول تقدير متوسط كفاءة استخدام المياه لأهم المحاصيل المزروعة كالشوندر السكري والبطاطا والقمح والخيار والذرة والقطن وغيرها في كلا حوضي العاصي الأعلى والأوسط (مديرية زراعة حمص، 2010).



الشكل (23) مكونات برنامج MABIA.

❖ المعادلات المستخدمة في مجال برمجة الري الزراعي والتي توضح آلية عمل برنامج MABIA:

$$ET_{(Crop/day)} = ET_0 \times Kc \text{ (م/يوم)}$$

الاستهلاك المائي للمحصول (م/يوم) = الاستهلاك المائي للمحصول $ET_{(Crop/day)} \times$ طول مرحلة النمو T.

عمق الماء المتاح TAW (مم) = (السعة الحقلية الحجمية - حد الذبول الحجمي) \times عمق الجذور (م) $\times 10$.
عمق الري الصافي $D_{(net)}$ (مم) = عمق الماء المتاح الكلي (مم) \times معامل الاستنفاد الرطوبي الأعظمي المسموح به (P).

عدد الريات الواجب تقديمها = الاستهلاك المائي خلال كامل مرحلة النمو $ET_{(Crop/stage)}$ (مم) / عمق الري الصافي $D_{(net)}$ (مم).

عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي $D_{(net-actual)}$ (مم) = الاستهلاك المائي خلال كامل مرحلة النمو $ET_{(Crop/stage)}$ (مم) / عدد الريات المعدلة بعد التدوير.

عمق الري الإجمالي $D_{(gross)}$ (مم) = عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي $D_{(net-actual)}$ (مم) / كفاءة إضافة الماء (%).

كمية الماء الواجب تقديمها خلال كل مرحلة نمو = عمق الري الإجمالي $D_{(gross)}$ \times عدد الريات المعدلة.

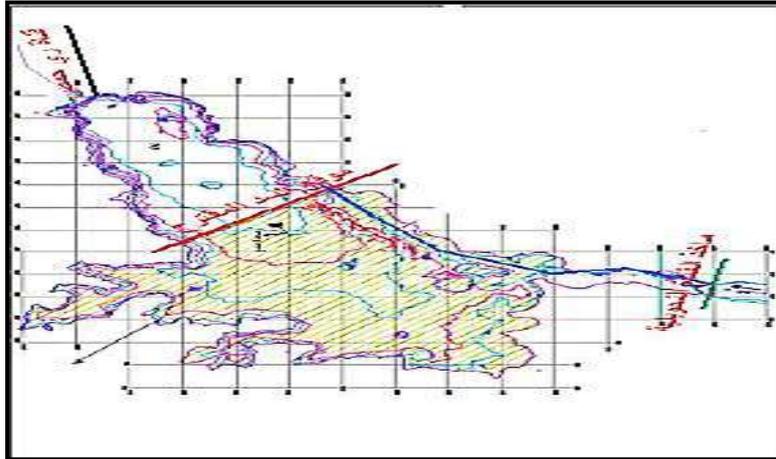
حساب كفاءة استعمال مياه الري: يُقصد بكفاءة استعمال المياه (WUE) قياس إنتاجية المياه التي يستهلكها

المحصول (عويس، 2003)، وتُحسب وفق المعادلة التالية (البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة، 1992):

$$\text{كفاءة استعمال المياه الكلية المقدّمة (كغ/م}^3\text{)} = \frac{\text{[الغلة (كغ/هـ)] / [كمية المياه الكلية المقدّمة (م}^3\text{/هـ)]}{}$$

5-2-3- الافتراضات المقترحة في الموازنة المائية المستقبلية:

- باعتبار سورية تقع في المشرق الآسيوي فإن معدلات درجة الحرارة السنوية ستزيد بنحو 0.05 م° وسينحدر الهطول بنحو 1.5- م/سنة، وبحسب (Mourad and Berndtsson, 2012) سيتناقص معدل الهطول المطري (46000 م.م³) بنحو 0.5%، وعليه يُفترض أن تتناقص الموارد الإجمالية بنحو 0.25% وتزيد كمية التبخر بنفس النسبة.
- نتيجة انخفاض معدلات النمو السكاني في سورية بشكل عام من 3% خلال الفترة 1960-1970 إلى 2.2% خلال الفترة 2000-2010 (Mourad and Berndtsson, 2011)، سيتناقص متوسط معدل النمو السنوي بنحو 0.018% في الموقع المدروس. وتحسين البنى التحتية وأعمال الصيانة ستخفض نسبة الهدر في شبكات مياه الشرب والاستخدام المنزلي لتصل إلى 20% فقط. وبحسب توصيات منظمة الصحة العالمية والتي تنص بأن 100 ل/يوم يُعد كافٍ لتلبية احتياجات الإنسان الأساسية في البلدان النامية، تم اقتراح خفض حصة الفرد إلى 110 ل/يوم في المدينة و 85 ل/يوم في الريف (MoWI, 2005; WHO, 2006).
- بسبب التبخر الكبير من سطح بحيرة قطينة والذي يتجاوز 65 م.م³/سنة، فإن إنشاء سد بديل يُمكن أن يُنقص التبخر من سطحها بنحو 50% (رعد، 2013). وعليه تم اقتراح هذا السيناريو بعد دراسة الجدوى الاقتصادية وإمكانية التطبيق، وشبيه ذلك اقترح من قبل (Margaret et al. (2009) عند دراسة التكيف البيئي للأنهار مع التغيرات المناخية. حيث تمثلت مواصفات السد المقترح بالتالي: سد في وسط بحيرة قطينة يمتد من الجانب الغربي حتى الجانب الشرقي بطول 4100 م، وبحجم تخزين أعظمي 83 م.م³، ليكوّن بحيرة مساحتها 17 كم²، وقناة تحويلية من الجوادية وحتى السدة المقترحة بطول 8400 م، ومحطة ضخ خلف السدة، كما في الشكل (24).



الشكل (24) موقع السد المقترح لتصغير بحيرة قطينة.

- نتيجة التطور الإقليمي ستزداد رواجع الصرف الصحي والصناعي المعالجة بنسبة 1% و 0.5% (Mourad and Berndtsson, 2011) وقد أشارت وزارة الإسكان والتعمير إلى إنشاء أكثر من 20 محطة معالجة فعّالة في سورية بغضون عام 2050. حيث ثلاثة منها في محافظة حمص، وعليه تم اقتراح إعادة استعمال الموارد غير التقليدية بعد المعالجة لتلبية الطلب المائي الزراعي والصناعي فقط في المنطقة المدروسة.

- من أجل تأمين التزامات مياه الشرب لمدينتي حمص وحماه وتغطية العجز المائي الملموس وفقاً للدراسات السابقة والذي سيبدأ عام 2020، تم اقتراح استثمار سد زيتا بعد الانتهاء من اختباره في بداية عام 2020 ليستثمر في تلبية حاجة هذا الغرض بالدرجة الأولى والري بالدرجة الثانية.
- كذلك الأمر بالنسبة لرواجع الصرف الصحي، فقد تم اقتراح إنشاء محطات صرف فعّالة خاصة بالمدن ولاسيما في منظومات العمران الجديدة بحيث يتم فصل المياه الرمادية عن دورات المياه وإعادة استخدامها من جديد لأغراض الري والاستخدام المنزلي بعد المعالجة كربي الحدائق وتنظيف السيارات ودورات المياه.
- بنتيجة شح الموارد المائية في الحوض، سيتم الاعتماد على إنتاجية المياه الزراعية لا المساحة من خلال تطبيق تقنيات الري الحديث وتحسين كفاءة نقل مياه الري إلى 85%، وإدارة الري على صعيد الحقل من خلال برمجة الري بالبرنامج المتكامل WEAP-MABIA لكل مستجمع مائي (Catchment).
- تطبيق مفهوم المياه الافتراضية للمحاصيل الزراعية في السنوات الجافة والجافة جداً، حيث تم حساب كمية المياه الافتراضية بالمعادلة التالية: $VWC(c)$: هي كمية المياه الافتراضية للمحصول C (م³/طن)، CWU : كمية المياه المستهلكة من قبل المحصول C (م³/السنة)، $Production$: الإنتاج (طن) للمحصول C ، (Mourad, 2012).

$$VWC(c) = \frac{CWU(C)}{production(c)}$$

5-2-4- برنامج التقييم والتخطيط المائي WEAP.

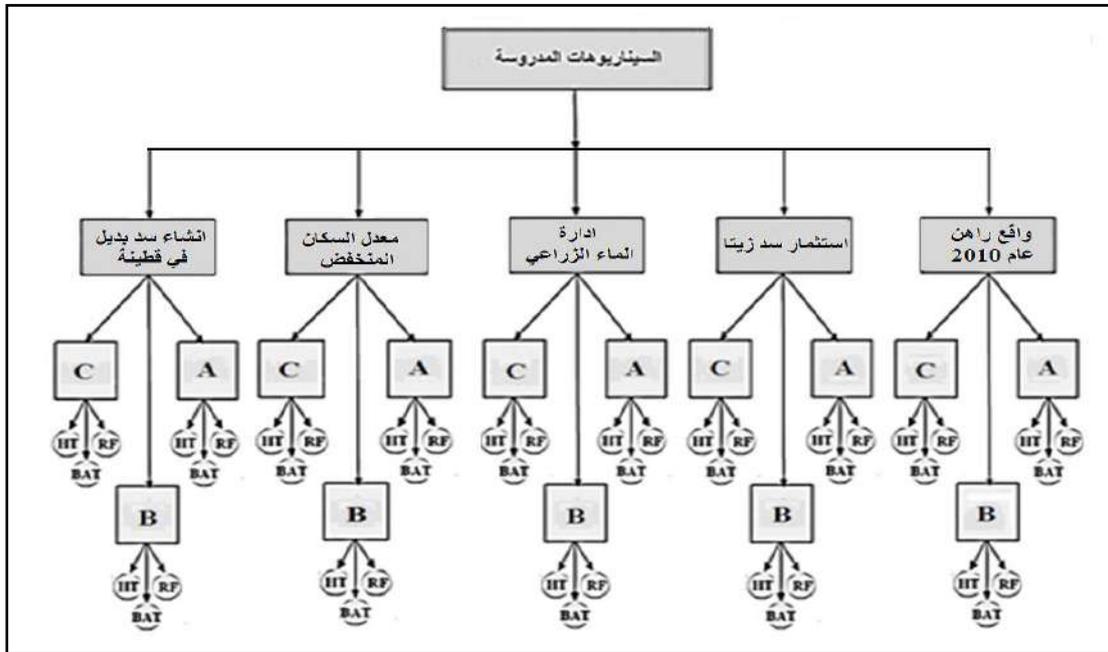
اعتمد إدخال البيانات في البرنامج على خرائط ArcGIS التي تم تمثيل معظمها للموقع المذكور بحسب البيانات الرقمية (ICARDA, 2011؛ GCSAR, 2011)، إضافةً للبيانات المحللة أنفة الذكر في الملحق (2). حيث رُسمت خريطة الموقع المدروس باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS بحسب حالة الواقع الراهن عام 2010، ومن ثم حالة كل استراتيجية مقترحة، ومُثلت المواقع الهيدرولوجية (النهر والبحيرات والسدود ومحطات القياس الهيدرولوجية ومصادر الإمداد الجوفي وخطوط الإمداد)، والطلب على المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي (Homs، Homs R1، Homs R2، Hama، Hama R، Hama R)، ولأغراض الصناعة قبل وبعد سد قطينة (Indust1، Indust2) ولأغراض الزراعة [Agric1 وAgric2 (اللتين يتم تغطيتهما من شبكة ري القنوات الخمسة)، Agric3 (من النهر بالضخ والراحة)، Agric4 (من المياه الجوفية)]، وهذه تُمثل المستجمعات المائية الزراعية الموجودة في حوض العاصي الأعلى قبل سد قطينة، أما المستجمع المائي (Agric5) فهو يمثل الزراعة المروية ما بعد سد قطينة في العاصي الأوسط والمستفيد من مياه السد بعد الموازنة وتحقيق متطلبات التدفق البيئي (1 م³/ثا كحد أدنى) والصناعة 2 بعد سد قطينة. وتم إدخال المواصفات الفنية والهيدرولوجية للسدود والخزانات، كما في الملحق (6).

- تم معايرة البرنامج بإدخال بيانات شهرية عن مواقع العرض والطلب المائي عام 2004 وتشغيله ودراسة توقعات الطلب المستقبلي حتى عام 2010 ومقارنة ذلك مع نتائج الواقع الفعلي للطلب على المياه وحجوم التخزين في قطينة.

- تم تحديد أولويات الطلب (Demand Priorities) بحسب نظام القياسات المائية أعلاه وقد تم التغيير بينها حيث يتيح البرنامج WEAP إمكانية ذلك بحسب حالة التقلبات المناخية والسيناريوهات المطروحة للوصول إلى أقل نسبة عجز ممكن عام 2050.

- تم إعطاء أولويات التزويد (Supply Preference) كما يلي: مياه الشرب لحمص وحماه وريفهما والتدفق البيئي: أفضلية 1، تزويد المياه للصناعة: أفضلية 2، تزويد المياه للري: أفضلية 3.

- تم التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية بناءً على الافتراضات سابقة الذكر، باستخدام البرنامج عند ثلاث حالات للواردات المائية [الطبيعية (A) والجافة (B) والجافة جداً (C)]. وباقتراح خمس سيناريوهات رئيسية متتالية (1-1) الواقع الراهن للبنى التحتية عام 2010، 2- استثمار سد زيتا، 3- إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي، 4- معدل نمو السكان المنخفض، 5- إنشاء سد بديل في قطينة). وضمن كل سيناريو رئيسي تم دراسة السيناريوهات الفرعية التالية، كما في الشكل (25):



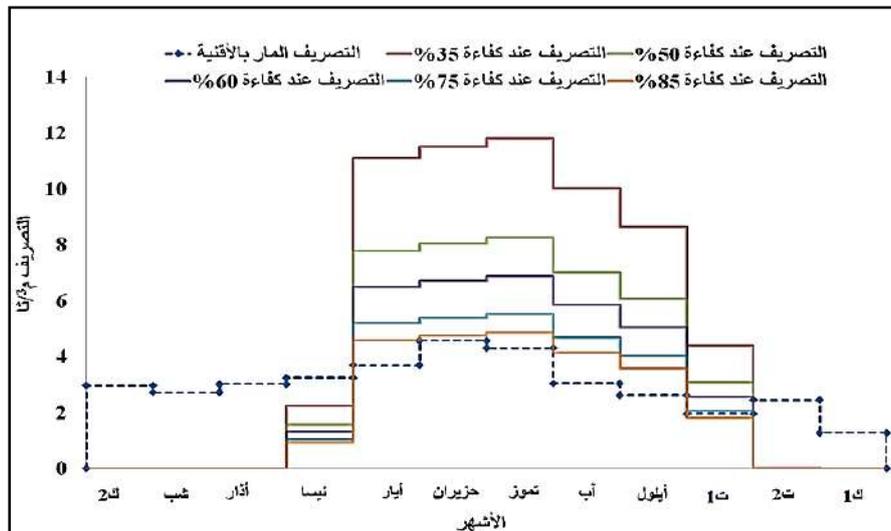
الشكل (25) مخطط يمثل منهجية العمل والسيناريوهات المدروسة باستعمال برنامج WEAP.

1- السيناريو المرجعي (RF): يفترض التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية وفق الواقع الحالي للطلب على المياه (بحسب حالة كل سيناريو)، حيث لا يوجد أي تحسينات بأنظمة مياه الشرب وشبكات الري حتى عام 2050.

2- سيناريو التقانات المتاحة الأفضل (BAT): يعتمد على استخدام التقنيات المتاحة كطرائق الري الحديث ودارات الماء المغلقة في الصناعة وتحسين كفاءة شبكات مياه الشرب والاستخدام المنزلي برفعها إلى 75% بدلاً من 66% (واقع راهن)، ورفع كفاءة الري إلى 75% بدلاً من 45% (واقع راهن) بإجراء الإصلاحات الفنية المناسبة لشبكات نقل مياه الشرب والري الموجودة.

3- سيناريو التقانات المتطورة (HT): يعتمد على السيناريو السابق، ولكن بعد رفع كفاءة شبكات مياه الشرب والاستخدام المنزلي إلى 80% بدلاً من 75%، ورفع كفاءة الري الإجمالية إلى 85% باستبدال شبكات الري

الحكومية المكشوفة القديمة بالشبكات الأنبوبية المضغوطة لتقليل ضياع الماء بالتبخر والتسرب، إضافةً لخفض حصة الفرد لتصل إلى 110 ل/يوم في المدينة و85 ل/يوم في الريف في عام 2050. تم دراسة السيناريوهين (BAT و HT) لارتفاع نسبة الهدر في شبكات مياه الشرب والري الحكومية المكشوفة (القنوات الخمسة قبل سد قطينة وشبكة ري حمص بعد السد)، والزيادة بالمساحة المروية والتي بلغت بنحو 12.7% بين عامي 1998-2010، كما في الملحق (4، الجدول [2]). وقد نتج عن ذلك حفر العديد من الآبار ليزيد عددهم عن 7000 بئر في حوض العاصي الأعلى و21000 بئر في حوض العاصي الأوسط عام 2010 ومعظمها غير مرخص، بهدف سد حاجة المحاصيل المزروعة بالدرجة الأولى والتي معظمها ذات احتياج عالي، وهذا بدوره أدى إلى استنزاف كبير للمياه الجوفية والتي لا يزيد تجددتها السنوي عن 100 م³، ونتج عنه جفاف عدة ينابيع كانت مياهها مخصصة للشرب كعين الحارون والسخنة، وتلوث البعض الآخر ناهيك عن جفاف معظم الآبار السطحية في أشهر الصيف، وهذا يدل على انخفاض الخطوط الهيدرولوجية الجوفية. ويتقييم الكفاءة الوسطية لقنوات الكنتف الأيسر للنهر، وُجد أنها لا تتجاوز 34.3% تقريباً، في حين كانت 43% لقنوات الكنتف الأيمن إذا أمكن وصول كامل احتياج النبات الصافي له. وعليه وصل احتياج الهكتار من المياه السطحية في بعض الأماكن إلى 23052 م³ عند كفاءة 35%، و18762 م³ بكفاءة 43% (مكسور، 2006)، في حين لا تزيد الكمية المستجرة عن 12400 م³ تقريباً بحسب التصريف الداخل من لبنان عام 2010. بينما انخفض الاحتياج إلى 7684 م³ بكفاءة ري 75% عند استعمال المياه الجوفية، وقد ترافق تدني كفاءة نقل المياه بخلل الإدارة والتوزيع على الصعيد الشهري حسب حاجة المحاصيل المروية في تلك المنطقة حيث يُلاحظ أنّ التصريف المار في شهر تموز كان بحدود 4.3 م³/ثا، بينما بلغ التصريف اللازم 8.3 م³/ثا عند كفاءة ري 50% في نفس الشهر، أي أنّ نسبة العجز بلغت 48% في حين كان هنالك فائض عن حاجة النبات في الأشهر من تشرين أول وحتى آذار، كما في الشكل (26).



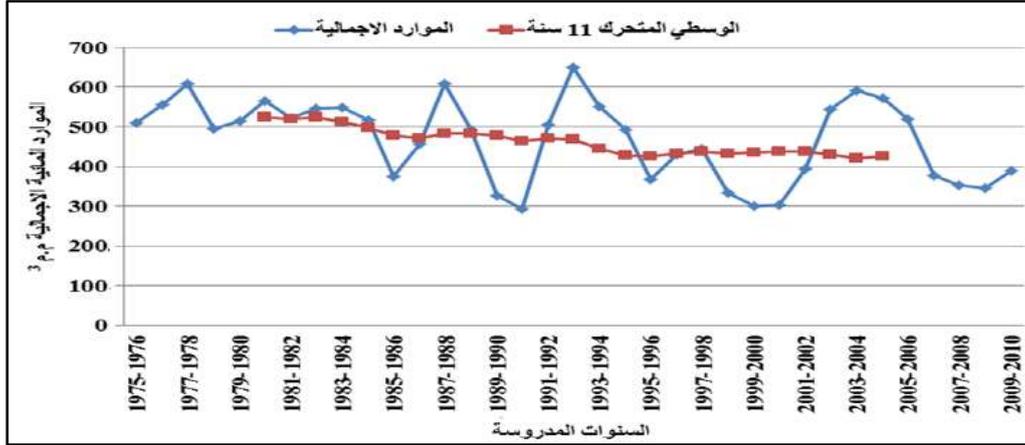
الشكل (26) التصريف المار بالقنوات والتصريف اللازم لري المحاصيل حسب قيم مختلفة لكفاءات الري.

وكذلك لشبكة ري حمص التي تروي 13195 هـ والتي تحتاج 88 م³/سنة بكفاءة ري 52% حسب دراسة (YECOM, 2001).

6- النتائج والمناقشة Results and Discussion:

6-1 نتائج نظام القياسات المائية (WAS):

أظهرت نتائج تحليل السلسلة الزمنية للموارد المائية المتجددة وفقاً لأسلوب بوكس-جنكز أن متوسط إجمالي الموارد المتاحة المتجددة خلال السنوات الهيدرولوجية المدروسة (1975/76-2009/10) يبلغ بنحو 468.42 م³ ومن دراسة المتوسطات المتحركة لـ 11 سنة متتالية، يُلاحظ أن هناك انخفاض تدريجي في حجم هذه الموارد، وهذا يُظهر الأثر السلبي للتقلب المناخي في المنطقة المدروسة، كما في الشكل (27).



الشكل (27) تحليل الموارد المائية الإجمالية باستخدام أسلوب (بوكس-جنكز).

وبالتحليل الإحصائي للواردات المائية التقليدية المتجددة، خلال الفترات المذكورة أعلاه، كان متوسط الأخطاء النسبية ضمن الحدود المسموح بها، وعليه فالسلسلة الزمنية المدروسة كافية لتقييم الموارد المائية وحساب الموازنة المائية (الأسعد وعلاء الدين، 1988؛ عيسى، 2013). وقد أدرجت النتائج في الجدول (19).

الجدول (19) البيانات الإحصائية للموارد المائية التقليدية المتجددة في المنطقة المدروسة.

إجمالي الواردات	الواردات الجوفية	المسيلات السطحية الجانبية	الموارد السطحية الداخلة	البيان
468.07	100	25.14	343.28	متوسط الواردات (م.م³/سنة)
274.54	71.84	0.00	202.70	Minimum
648.22	136.33	94.95	498.94	Maximum
3.655	2.49	1.587	4.12	متوسط الخطأ النسبي σ_X
0.216	0.15	0.755	0.24	معامل الاختلاف Cv
-0.257	0	1.621	-0.23	معامل الانعراج Cs

أما عن احتمال هذه الواردات فقد تمت دراستها وفق: التوزيع الطبيعي (Normal) وتوزيع بيرسون III والتوزيع التجريبي الهيدرولوجي (Kritski-Menkel)، وحُسب متوسط انحرافات مربع الأخطاء (R.S.S)، كما في الجداول (20، 21، 22، 23).

الجدول (20) احتمال الواردات المائية السطحية عند الحدود السورية اللبنانية (م.م³/سنة).

Normal		Pearson III		Kritski-Menkel		التوزيع P
R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	
9.83	399.74	10.36	401.88	11.00	406.48	%25
0.00	343.28	0.50	346.08	3.80	365.08	%50
9.83	286.81	9.84	287.64	13.39	266.36	%75
23.97	205.58	23.38	211	23.42	208.75	%95

الجدول (21) احتمال الواردات المائية الجوفية (م.م³/سنة).

Normal		Pearson III		Kritski-Menkel		التوزيع P
R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	
1.73	109.57	1.83	109.99	1.85	110.29	%25
0.00	99.66	0.05	99.95	0.06	100	%50
1.73	89.74	1.72	89.91	1.84	89.1	%75
3.86	75.48	4.22	75.77	4.73	72.48	%95

الجدول (22) احتمال واردات المسيلات السطحية الجانبية (م.م³/سنة).

Normal		Pearson III		Kritski-Menkel		التوزيع P
R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	
2.23	37.95	1.59	34.12	1.71	34.96	%25
0.00	25.14	0.86	20.26	1.56	22.84	%50
2.23	12.33	2.27	12.29	2.40	11.36	%75
5.44	-6.1	4.05	2.2	4.06	1.8	%95

الجدول (23) احتمال الواردات المائية الإجمالية (م.م³/سنة).

Normal		Pearson III		Kritski-Menkel		التوزيع P
R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	R.S.S	القيمة المتوقعة	
13.72	547.26	13.71	546	14.50	551.73	%25
0.06	468.07	0.38	466.29	3.40	487.93	%50
13.84	388.89	14.07	388.84	17.68	366.83	%75
33.68	274.96	32.25	286	32.80	280	%95

من خلال تحليل نتائج الاحتمالات لكافة أشكال الواردات المائية التقليدية المتجددة، يُلاحظ أنّ هناك تقارباً بين قيم الواردات عند كافة الاحتمالات المدروسة (الاحتمال التجريبي الهيدرولوجي، التوزيع الطبيعي، وتوزيع بيرسون III). وعند النظر إلى نتائج التوزيع الطبيعي يُلاحظ أنّها أعطت قيمة سالبة عند احتمال 95% للواردات المائية في المسيلات الجانبية، بسبب أنّ هذا التوزيع لديه بارامتران فقط، ولم تُستخدم مؤشرات معامل الانعراج في حساب معامل الاختلاف (Cv)، ناهيك عن معاملة البيانات بشكل مباشر دون أخذ لوغاريتم لها. والقيمة السالبة غير منطقية بسبب ديمومة تدفق النهر ولا يوجد قيم سالبة للجريان في الطبيعة، وعليه يجب استثناء هذا التوزيع لأنه لا يمثل البيانات المقاسة. وعند المقارنة بين التوزيعين الهيدرولوجي التجريبي وبيرسون III نجد تقارب واضح لقيم المؤشر R.S.S والذي يُمثل متوسط انحرافات مربع الأخطاء، حيث يأخذ توزيع بيرسون قيم المؤشر R.S.S الأصغر، لذا تمّ اعتماد نتائجه لاحتمالات 50% (الحالة الطبيعية، A)، و75% (الحالة الجافة، B)، و95% (الحالة الجافة جداً، C) حيث تُمثل التقلبات المناخية الأكثر ورود على المنطقة المدروسة خلال العقود الثلاثة الماضية، وعليه تمّ إدخالها شهرياً بالبرنامج للتنبؤ حتى عام 2050، وهذا توافق مع نتائج (Hadian et al., 2011; Khosravi et al., 2012) في اختيار التوزيع الاحتمالي المناسب للوارد المائي في حوضي Minab وTajen في إيران، حيث التوزيع الاحتمالي الملائم يتميز بأصغر القيم للمؤشر (R.S.S). وبعد تحليل قراءات الهطول المطري بتوزيع بيرسون عند حالات التقلبات المناخية الممثلة للمنطقة المدروسة بشكل يُحاكي الواقع، وتمثيل النتائج باستخدام شبكة تايسن بواسطة برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS)، أظهرت النتائج بحسب البيانات المحللة إحصائياً أنّ المتوسط الموزون للهطول يبلغ 304.7 مم عند الحالة الطبيعية (A)، و245.9 مم عند الحالة الجافة (B)، وينخفض ليبلغ بنحو 171.2 مم عند الحالة الجافة جداً (C)، كما في الجدول (28)، وهذا توافق مع نتائج (Willems, 2009; Mohita et al., 2010).

الجدول (24) المتوسط الموزون للهطول المطري بطريقة تايسن.

N	Station	Yearly Average, h_i (mm)	Area, a_i (Km ²)	$h_i * a_i$	Yearly Average for Basin
1	Homs	401.92	2300	924416	
2	Kattineh	379.16	480	181996.8	
3	Kussier	205.13	560	114872.8	
4	Shin	1019.45	330	336418.5	
5	Mokharam	188	790	148520	
6	Hassiaa	150.46	2000	300920	
7	Nabek	114.53	188	21531.64	
8	Hermel	250	50	12500	
			6698	2041175.7	304.7 (mm) at P = 50%

❖ الموازنة المائية المستقبلية باستعمال نظام القياسات المائية (WAS):

بعد التحري وجمع البيانات حتى عام 2011 تبيّن أنّ هنالك فجوات كبيرة في البيانات المجموعة بسبب توقف العديد من المحطات عن متابعة أخذ القراءات بشكل يومي وشهري نتيجة بداية الأزمة السورية والتي كانت ملموسة في محافظة حمص منذ منتصف عام 2011، لذا اعتبر عام 2010 سنة أساس كونه آخر عام يشمل على القراءات المطلوبة للمحاكاة مع النماذج الرياضية المستعملة، وبمقارنة إتاحة الموارد المائية التقليدية وغير التقليدية مع الطلب على المياه، وجدنا أنّ هذه السنة أجف من عام 2004 من حيث الوارد المائي السطحي والجوفي والهطول المطري حيث تمّ تغطية جميع التزامات الأولويات بشكل كلي وذلك بحسب كفاءات الري المطبقة. ومن حساب الوارد الداخل إلى قطينة والمساوي 125.08 م³ وجدنا أنّه يعادل تقريباً الوارد المائي عند مدخل قطينة والذي يبلغ 125.5 م³، وهذا يؤكّد على دقة الحساب في الموقع المدروس. في حين بلغت كمية المياه الممكن استثمارها من سد قطينة بنحو 75.7 م³، كما في الجدول (25). وهذا لا يكفي سوى لتلبية متطلبات التدفق البيئي ما بعد قطينة والصناعة 2 بشكل جزئي. أما لتلبية حاجة (الزراعة 5) يعتمد مزارعو المنطقة على الاستمرار العشوائي من النهر، واستنزاف مياه الآبار غير المرخصة، وهذا توافق مع نتائج (Scheumann et al., 2011)، ومن حساب مجموع تصاريف محطة غجر الأمير الشهرية عام 2010 نجد أنّ الوارد الداخل إلى سد الرستن يبلغ بنحو 56.7 م³ وهذا يؤكد أنّه عام جاف بالمقارنة بعام 2004، حيث دخل لبحيرة الرستن وارد مائي يُقدّر بنحو 220.03 م³، كما ورد في دراسة خزام (2010). وعند المقارنة بين بيانات الجدول (25) مع نتائج توزيع بيرسون III في الجدول (23)، يُؤكّد التحليل بأنّ عام 2010 جاف ويميل إلى جاف جداً.

الجدول (25) الموازنة المائية عام 2010 في المنطقة المدروسة (م.م³/سنة).

الواردات						
المجموع	رواجع الصرف الزراعي	رواجع الصرف الصحي والصناعي	المطر المباشر على البحيرة	الموارد الجوفية	الجريان السطحي من المسيلات الجانبية	الواردات المائية عند الحدود السورية اللبنانية
504.19	56.76	32.6	12.89	88.16	11.21	302.15
الاحتياجات						
المجموع	التسرب من البحيرة	التبخّر من البحيرة	مياه للصناعة	مياه للري	مياه الشرب والاستخدام المنزلية لحمص وحماه وريفهما	
428.5	7.8	54.9	32	224.3	109.5	
75.7	المياه الممكن استثمارها من سد قطينة في حوض العاصي الأوسط					

وبدراسة تطور الطلب على المياه المنتجة لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي حتى عام 2050، يُلاحظ أنّه سيبلغ 316.9 م³ في السيناريو المرجعي وسينخفض ليلغ 237.68 م³ و 181.58 م³ في السيناريوهين

(BAT و HT) على التوالي، وكذلك الأمر بالنسبة للطلب على المياه لأغراض الري سينخفض من 224.3 م³ إلى 150.3 م³ و 132.6 م³ بتطبيق السيناريوهين أعلاه على التوالي بالنسبة للطلب على الماء الزراعي في حوض العاصي الأعلى قبل سد قطينة، وكذلك الأمر في العاصي الأوسط [الزراعة 5 (Agric 5)] حيث سينخفض الطلب على المياه من 139.9 م³ إلى 102.92 م³ و 88.4 م³ في السيناريوهين (BAT و HT). وعند التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية للموارد المائية التقليدية المتجددة فقط، واستنتاج معامل الموازنة المائية لتقييم الوضع المائي في المنطقة المدروسة، بحسب دراسة (Molden et al., 2001a; Molle, 2006).

نجد أنّ الوضع المائي في حوض العاصي الأعلى ما قبل بحيرة قطينة ينطوي على الحد الأدنى من الاكتفاء بالماء حتى عام 2030 في الحالتين الطبيعية (A) والجافة (B) حيث ($W_b > 0$)، وستعاني المنطقة من أزمة مائية بعد ذلك العام ولاسيما في الحالة (B) حيث ($-0.5 < W_b < -0.25$)، أما في الحالة الجافة جداً (C) يوجد أزمة مائية فعلية من عام 2011 وتنتهي بحالة جفاف وندرة شديدة عام 2050، حيث ($W_b < -0.5$). وهذا يعود لتزايد الطلب على المياه بتزايد عدد السكان بالدرجة الأولى وتناقص الوارد المائي الداخل للحوض ثانياً، وبتطبيق السيناريوهين (BAT و HT) سيرتفع معامل الموازنة المائية من (-0.20) إلى (0.22) في الحالة (A) عام 2050، ومن (-0.44) إلى (0.06) في الحالة (B)، ومن (-0.99) إلى (-0.29) في الحالة (C) حيث يبقى هناك أزمة مائية فعلية في هذه الحالة وهذا توافق مع نتائج (Karimi et al., 2013)، كما في الشكل (29). أما في حال أعيد استعمال الموارد المائية غير التقليدية المعالجة وتطبيق السيناريو (HT) سيرتفع معامل الموازنة ليصل إلى (0.28) في الحالة (A)، و(0.14) في الحالة (B)، وإلى (-0.15) في الحالة (C) عام 2050، مقارنةً مع قيمه عام 2050 بدون استعمال الموارد المائية التقليدية بعد تطبيق سيناريو التقانات المتطورة (HT)، كما في الشكل (30). ويُشير ذلك إلى الدور الفاعل لإعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية المعالجة في رفع فعالية الحوض المائي المدروس، وهذا يتوافق مع نتائج (INECO, 2009; Alazzy et al., 2014). وعند أخذ تلبية الطلب على المياه في العاصي الأوسط (ما بعد سد قطينة) بعين الاعتبار، يُستنتج بعد موازنة الموارد المائية التقليدية المتجددة خلال ثلاث حالات للتقلبات المناخية ما يلي، كما في الشكل (31):

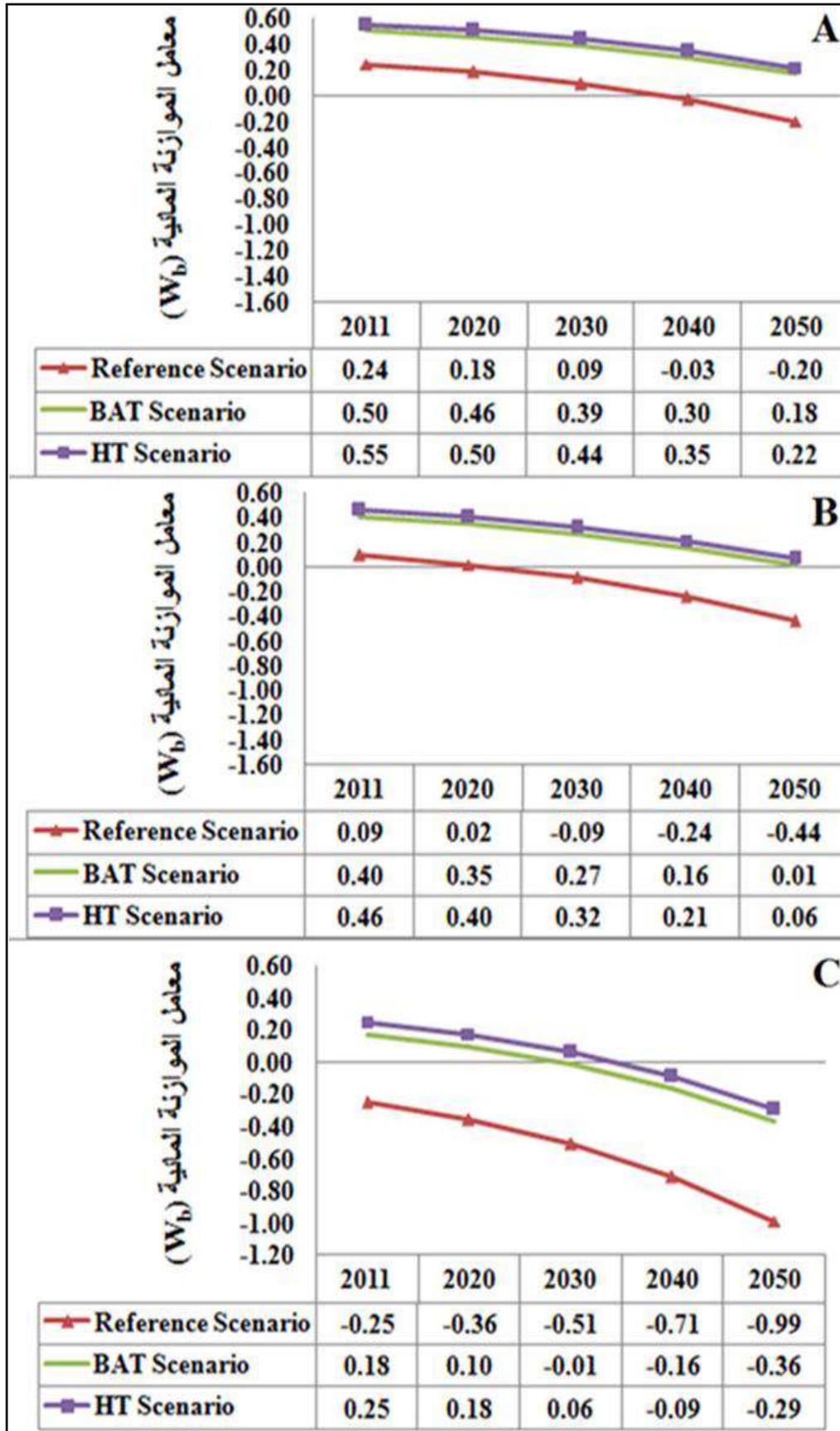
أ- حالة السنوات الطبيعية (A): ستزداد نسبة الطلب على المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي لتبلغ 50% في عام 2050، بينما ستبلغ نسبة الطلب على المياه لأغراض الري 25%، أما نسبة الطلب على المياه للأغراض الصناعية فستبلغ 5%، عند تطبيق السيناريو (HT) أي بمجموع إجمالي قدره 80%، مما يعني أنّ هناك فائض بمقداره 20% سيساعد في تلبية الطلب على المياه لمواقع الطلب ما بعد سد قطينة، والمتمثلة بالتدفق البيئي والصناعة 2 بالدرجة الأولى بعد احتساب التبخر والتسرب من سد قطينة ومن ثم متطلبات الزراعة 5 بالدرجة الثانية، وعليه سيتم تغطية هذه المتطلبات بشكل جزئي حيث لا يكفي هذا الفائض والذي يبلغ بنحو 94 م³، لتلبية التزامات الطلب المائي بعد سد قطينة والتي قُدّرت بنحو 192 م³.

ب- حالة السنوات الجافة (B): ستزداد نسبة الطلب على المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي لتبلغ 59% في عام 2050، بينما ستبلغ نسبة الطلب على المياه لأغراض الري 31%، أما نسبة الطلب على المياه للأغراض الصناعية فستبلغ 6%، عند تطبيق السيناريو (HT) أي بمجموع إجمالي قدره 96%، مما يعني أنّ هناك فائض مقداره 4% والذي يبلغ بنحو 16 م³، وهذا الأخير سيُتبخّر بمجمله من سطح بحيرة قطينة، إذا لم

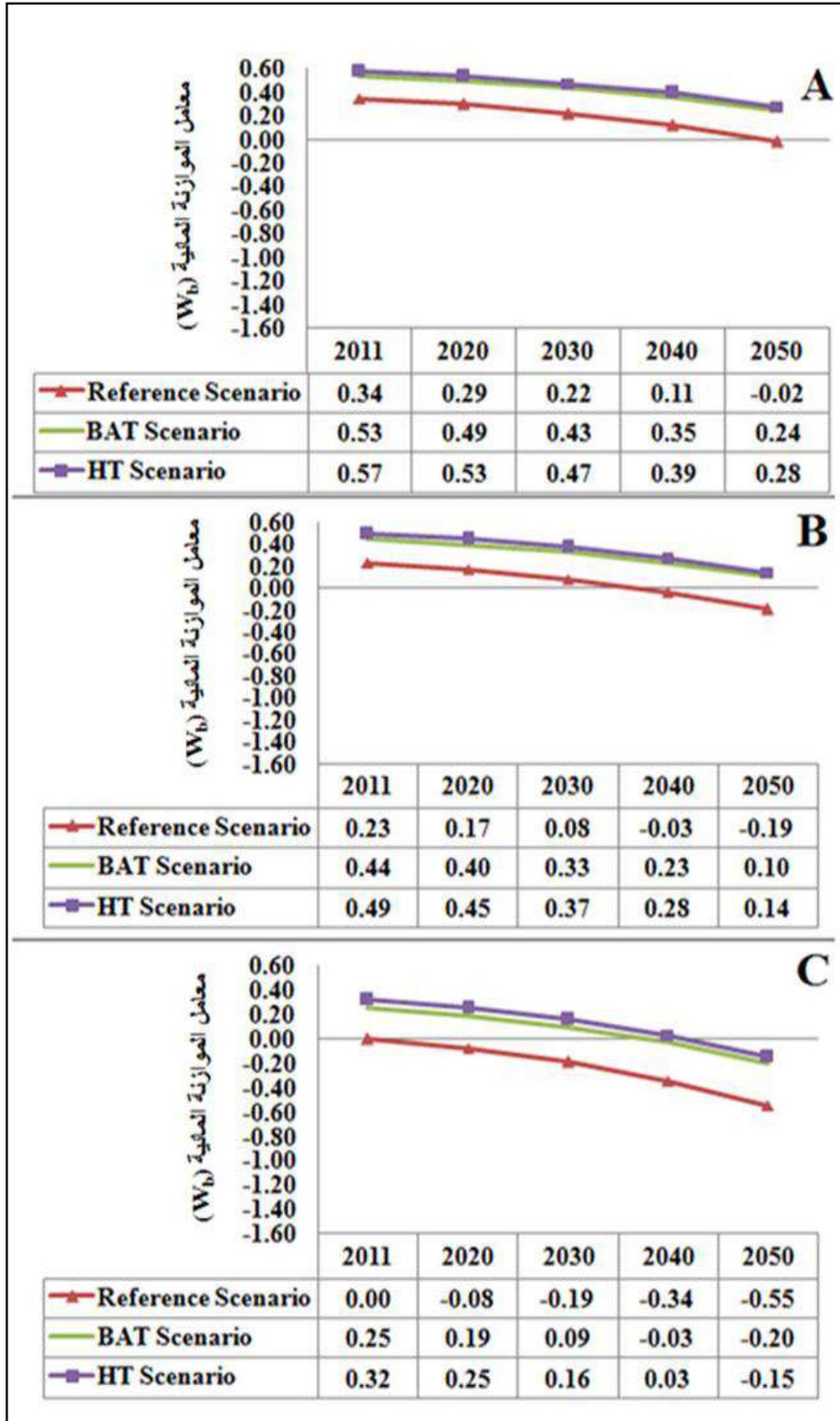
يُضح مباشرة لتلبية الالتزامات ما بعد السد. وعليه سيكون هنالك عجز شبه كامل في تأمين متطلبات الأغراض الصناعية والزراعية بعد السد.

ج- السنوات الجافة جداً (C): ستزداد نسبة الطلب على المياه لأغراض الشرب لتصل إلى 82% في عام 2050 بالمقارنة بالحالتين السابقتين، بينما ستبلغ نسبة الطلب على المياه لأغراض الري 42% عند تطبيق السيناريو (HT) في نفس العام، ونسبة الطلب على المياه للأغراض الصناعية 8%، أي بمجموع إجمالي قدره 132%، مما يعني أنه حتى ولو تمّ تطبيق السيناريو (HT) سيكون هناك عجز مائي مقداره 32% في تلبية الطلب على المياه في حوض العاصي الأعلى، بالإضافة إلى عجز كامل في تأمين متطلبات الأغراض الصناعية والزراعية في العاصي الأوسط.

وفي حال أُعيد استخدام الموارد المائية غير التقليدية المعالجة لتلبية حاجة الري الزراعي على المحاصيل الصناعية والعلفية (Kaisi et al., 2005)، يُلاحظ الدور المهم في تخفيض نسبة العجز عام 2050 ناهيك عن الأثر البيئي في الحد من تلوث العاصي الأوسط حيث معظم هذه الرواجع تصب في النهر والبحيرة مباشرة دون معالجة، وهذا توافق مع نتائج (Haddad and Mizyed, 2004). وجزء تطبيق نظام القياسات المائية في المنطقة المدروسة، يُستنتج أنّ حوض العاصي الأعلى سيصبح مغلق تماماً بالنسبة للعاصي الأوسط عام 2050 في السيناريو المرجعي (أي كل الموارد المائية المتاحة تُستخدم قبل سد قطينة)، وحتى بعد تطبيق سيناريو التقانات المتطورة (HT) لن يتحسن الوضع المائي كثيراً وسيبقى شبه مغلق بالنسبة للعاصي الأوسط في الحالتين الطبيعية والجافة ومغلق تماماً في الحالة الجافة جداً كما في الشكل (31)، وهذا توافق مع نتائج (Molden and Saktivadivel, 1999)، ويعود ذلك لدرجة تنظيم الموارد المائية المنخفضة لنهر العاصي عند الحدود السورية اللبنانية حيث لا يوجد أي ضوابط لتحقيق الاتفاقية بين البلدين عام 1994، ناهيك عن التبخر الكبير من سطح بحيرة قطينة، وهذا توافق مع دراسة (UNDP, 2004) ففي العام الهيدرولوجي 1999/00 لم يخرج أي مياه من السد لتلبية الالتزامات بعد بحيرة قطينة بالرغم من أنّ الاحتياجات كانت قليلة مقارنة مع زيادة الطلب على المياه عام 2050.



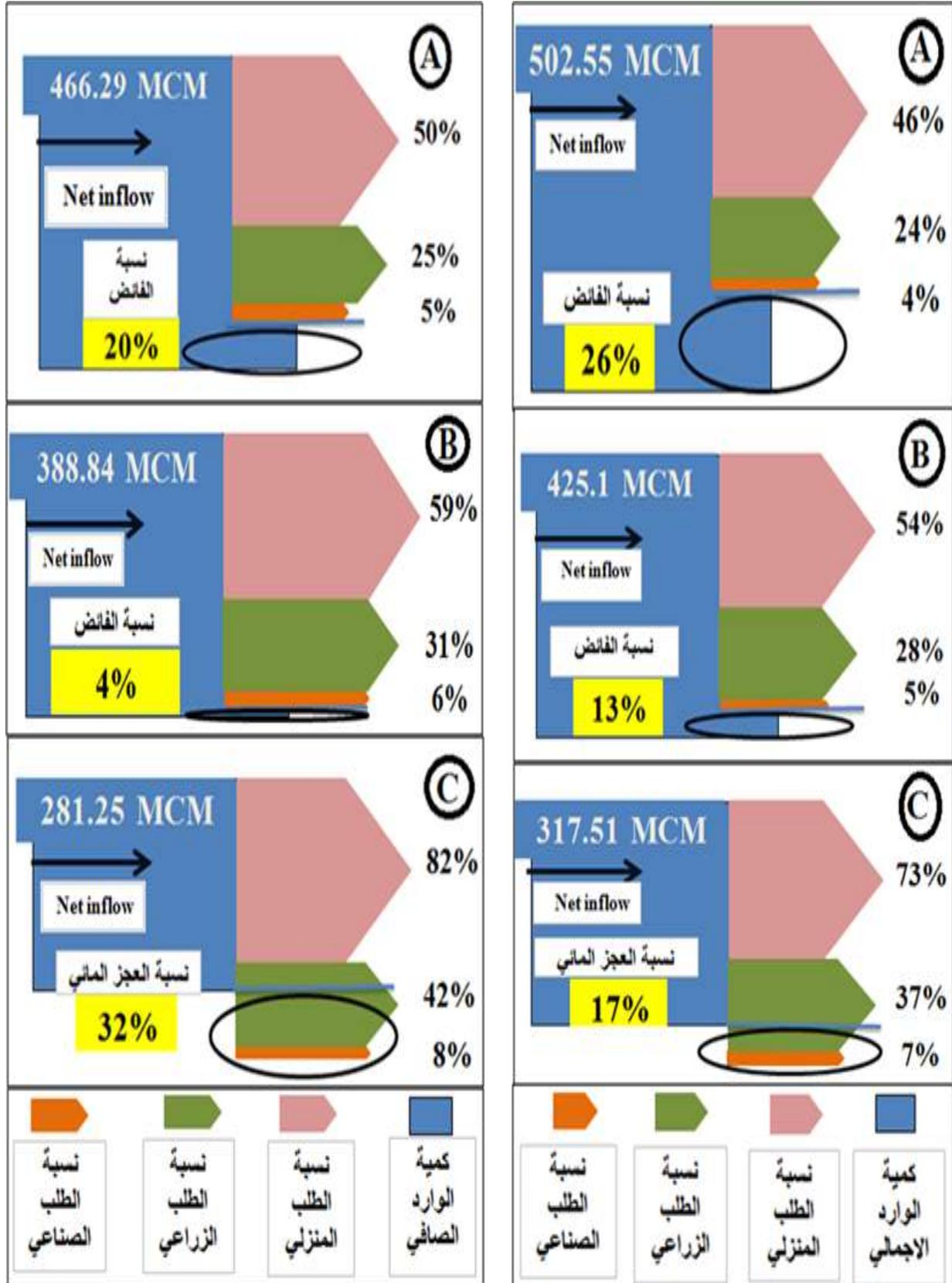
الشكل (28) معامل تحديد فعالية حوض العاصي الأعلى (W_b) باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) للموارد المائية التقليدية المتجددة فقط.



الشكل (29) معامل تحديد فعالية حوض العاصي الأعلى (W_b) باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) بعد إعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية المعالجة.

الموارد المائية التقليدية المتجددة

إعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية

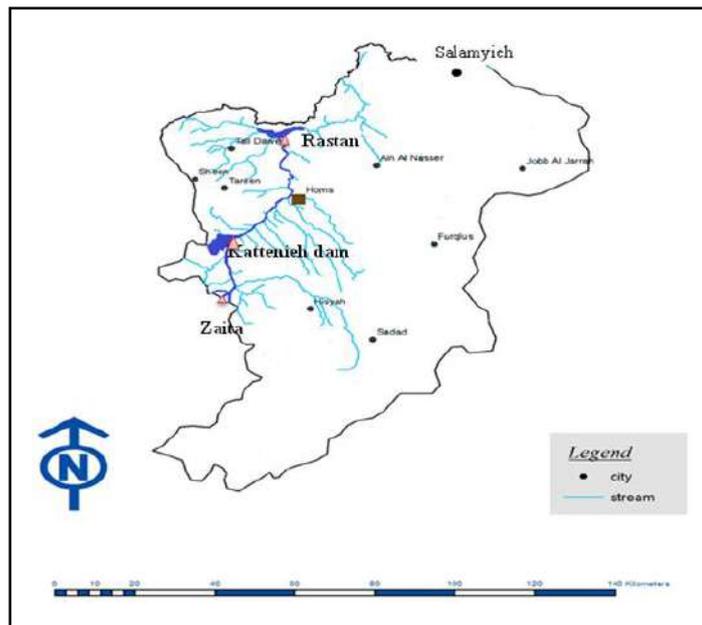


الشكل (30) نتائج نظام القياسات المائية (WAS) جزء حساب الموازنة المائية المستقبلية في حوض العاصي الأعلى عام (2050) بعد تطبيق سيناريو التقانات المتطورة (HT).

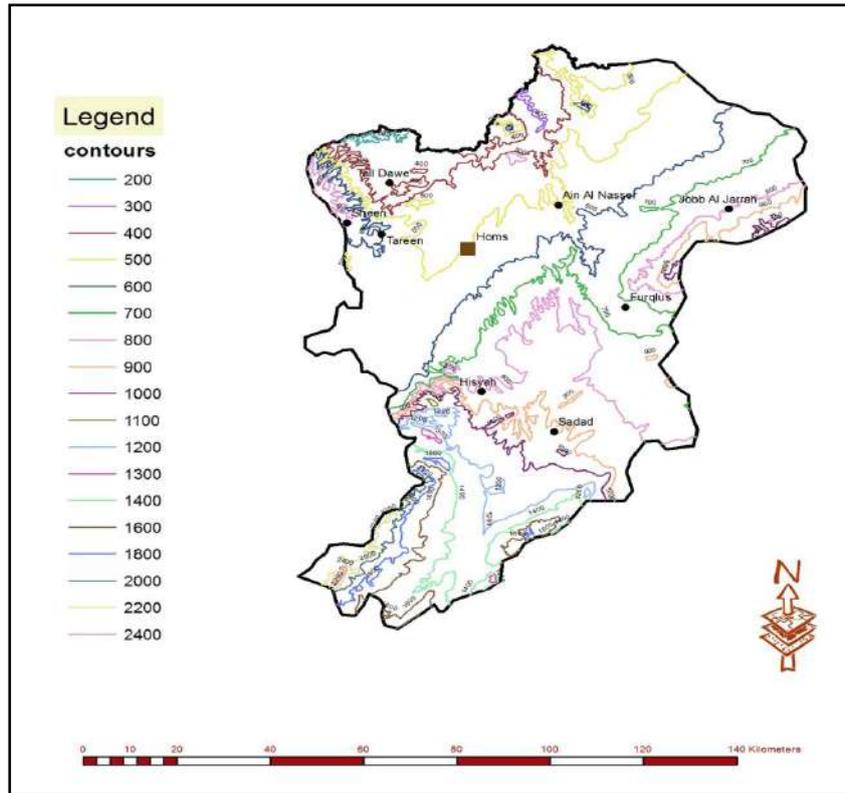
6-2- إدارة الموارد المائية باستخدام برنامج WEAP:

تمّ استخدام برنامج WEAP₂₁ (برنامج التقييم والتخطيط المائي) في وضع نموذج رياضي يربط بين الموارد المائية المتاحة والطلب عليها في حوضي العاصي الأعلى والأوسط، حيث تمّ وضع الإطار الزمني ابتداءً من العام الهيدرولوجي 2009/10 وحتى عام 2049/50 بغاية التنبؤ، ورُسمت خريطة الموقع بالبرنامج بناءً على عدة شرائح تمّ تحليلها الرقمي ورسمها باستخدام برنامج (ArcGIS) بحسب مصادرها المتنوعة، والتي صنّفت على الشكل التالي:

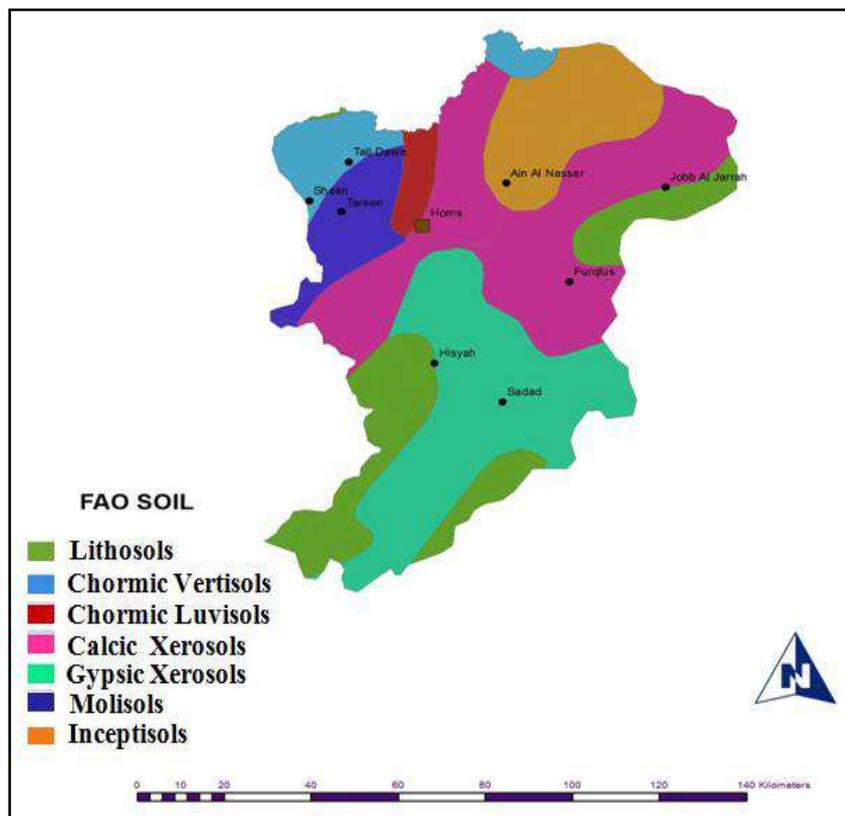
- شريحة الشبكة الهيدروغرافية للموقع المدروس حيث تمّ فيها توصيف حدود الموقع، المدن، المجرى الرئيسي للنهر وفروعه، السدود، البحيرات بحسب البيانات الرقمية (ICARDA, 2011)، كما في الشكل (31).
- شريحة خطوط الكنتور (الارتفاعات عن مستوى سطح البحر) حيث بلغ ارتفاع حدود مجرى النهر 500 م عند محطة العميري لينتهي بارتفاع 350 م عند محطة حجر الأمير قبل دخوله لبحيرة الرستن والتي تُعد من أخفض النقاط المرصودة. وهذا يلعب دور هام في تحديد الموازنة الهيدرولوجية المناخية وتغطية الفجوات في قياس المحطات الموجودة ضمن المنطقة وحولها، وتحديد الأماكن الأكثر ملائمة لإتباع تقنيات حصاد مياه الأمطار، ومواقع إنشاء نقاط التخزين المائي الفعالة، كما في الشكل (32).
- شريحة تصنيف التربة لموقع الدراسة بحسب (FAO-ISRIC, 1989)، وتمّ الحصول على البيانات الرقمية من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية والمركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (GCSAR, 2011; ICARDA, 2011)، أما التحليل فقد تمّ بالاستعانة بدراسة الاستشاريين العرب (2007). حيث يُظهر المخطط سبع مجموعات للتربة وتحتل المجموعتين Calcic Xerosols و Gypsic Xerosols النسبة الأكبر فالصخرة الأم هي مارل البليوسين، كما في الشكل (33).
- شريحة معدل درجات الحرارة ومعدلات الهطول المطري (2010-1975) وفقاً للبيانات الرقمية المتاحة من قبل المحطات المناخية والبحثية والاستعانة بدراسة (ESCWA-BGR (2012)، كما في الشكل (34).



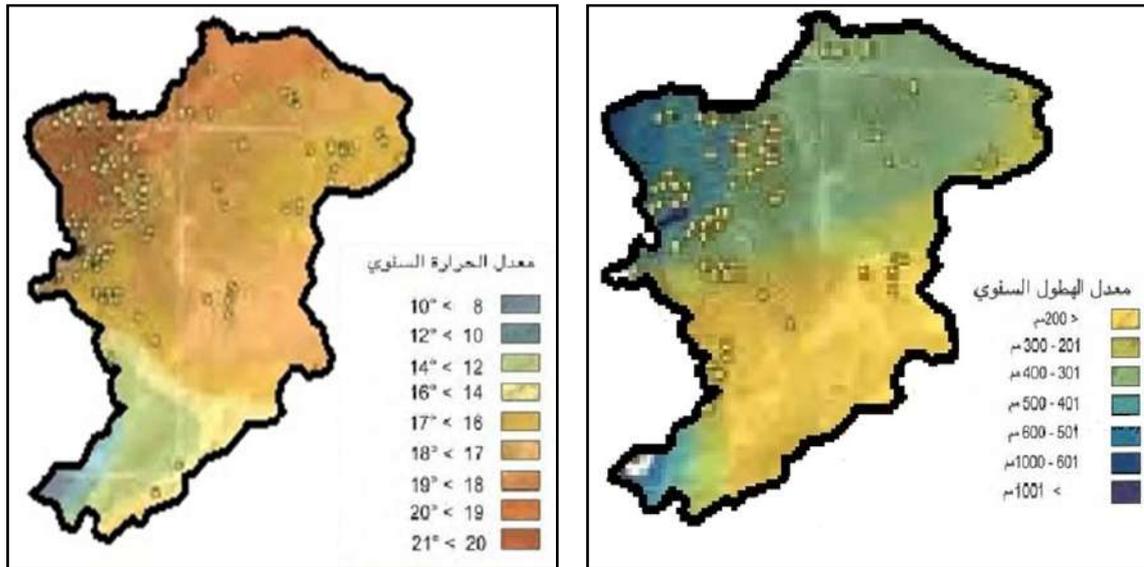
الشكل (31) الشبكة الهيدروغرافية لمنطقة الدراسة مع المدن الموجودة.



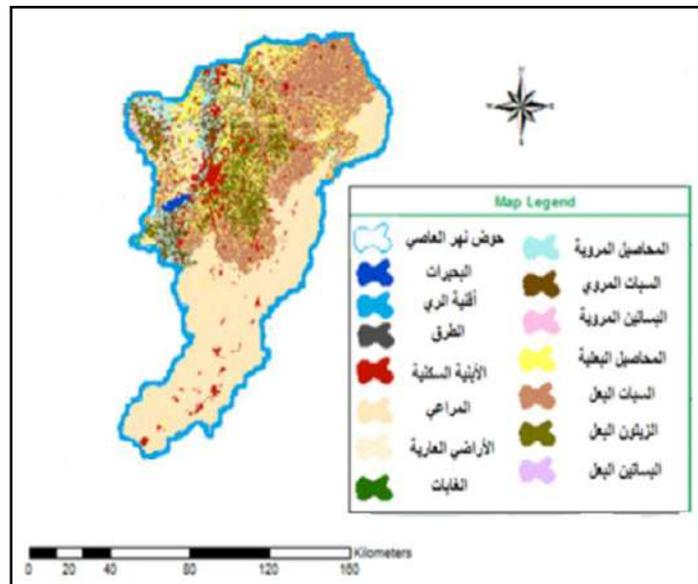
الشكل (32) خطوط الكنتور (الارتفاعات عن سطح البحر) لمنطقة الدراسة مع المدن الموجودة.



الشكل (33) تصنيف التربة لمنطقة الدراسة بحسب (FAO-ISRIC, 1989).

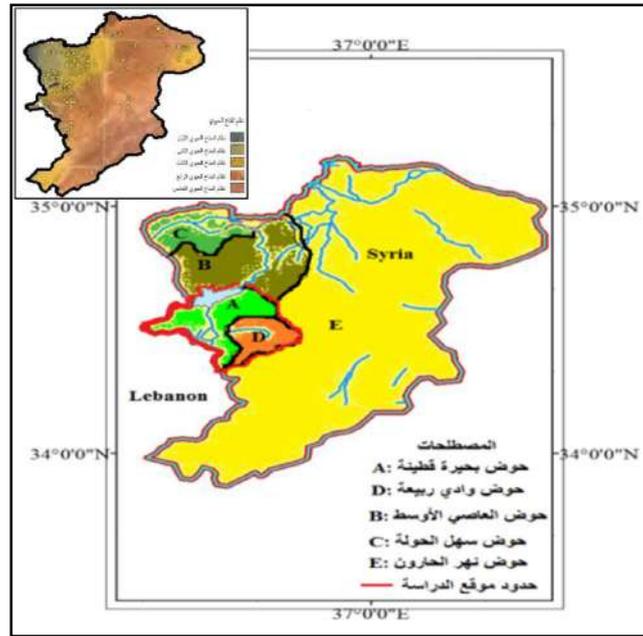


- شريحة استعمالات الأراضي وفقاً للبيانات الرقمية المتاحة (ICARDA 2011)، حيث تُشكل المراعي والأراضي العارية النسبة العظمى بنحو 48.6%، تليها المساحة المزروعة بعلاً بشتى أنواع المحاصيل وتبلغ بنحو 38.8%، في حين تشكل نسبة المساحة المروية 7.8%، أما ما تبقى فيُمثل نسبة الأبنية السكنية والطرق والنهر وبحيراته وروافده والتي تبلغ بنحو 4.8%، من أصل المساحة الكلية 6698 كم²، كما في الشكل (35).



على أساس التوصيف أنف الذكر للشرائح باستعمال برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) والاستعانة بالدراسات السابقة، ولتحقيق غرض البحث في دراسة فعالية الحوض المائي وتحسينها، تم تقسيم المنطقة المدروسة إلى أحواض فرعية [حوض بحيرة قطينة (A)، حوض وادي ربيعة (D)، حوض العاصي الأوسط (B)،

حوض نهر الحارون (E)، حوض سهل الحولة (C)، حيث يُمثل الحوض الفرعي (E) النسبة العظمى من المساحة الكلية وتبلغ 66.41%، ويشمل على نظامي المناخ الحيوي الرابع والخامس، في حين تبلغ نسبة الأحواض الفرعية الأخرى 33.59%. حيث توجد نظم المناخ الحيوي الأكثر نشاطاً (أكساد، 2004). ومنه تم إعداد دراسة مائية تفصيلية دقيقة لمساحة الأحواض الفرعية الثلاثة [A (9.3%) و B (14.4%) و D (4.59%)] وكيفية الاستفادة من الحوض الفرعي [C (5.3%)] باستعمال برنامج WEAP. ويوجد ضمن هذه المنطقة ثلاث سدود على المجرى الرئيسي للنهر وهي على الترتيب [زيتا (80 م³) وقطينة (200 م³) والرسنتن (228 م³)] والذي يبلغ طوله (86 كم)، لتغطي مساحة 2250 كم²، من أصل مساحة الموقع (6698 كم²)، كما في الشكل (36).

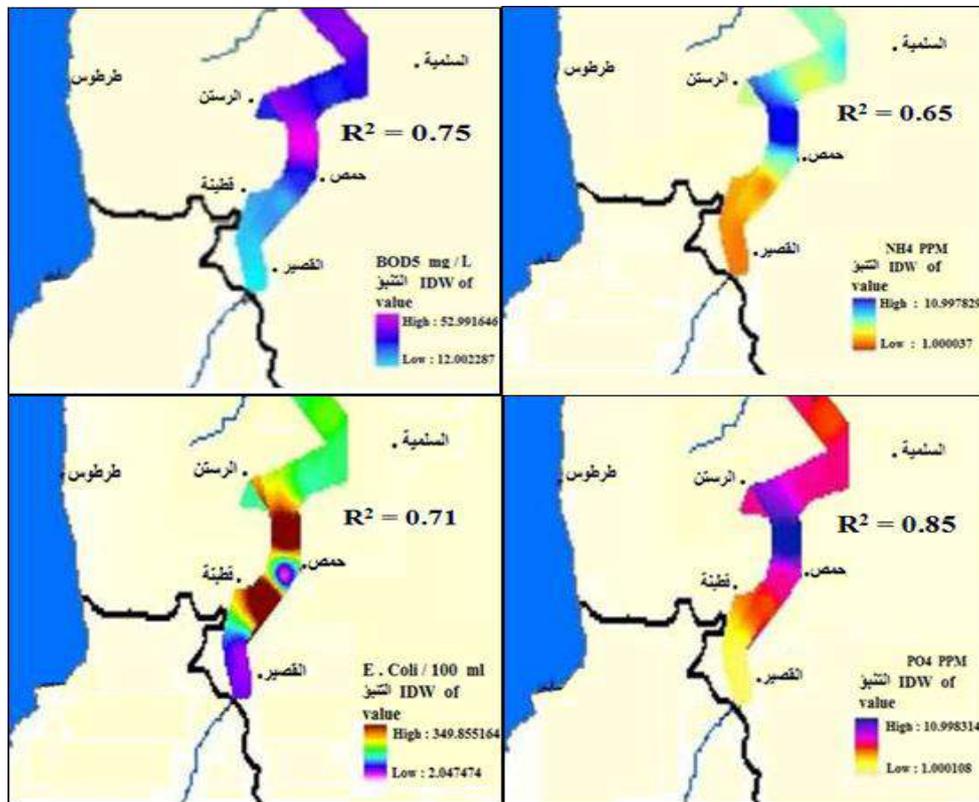


الشكل (36) المنطقة المدروسة وأحواضها الفرعية.

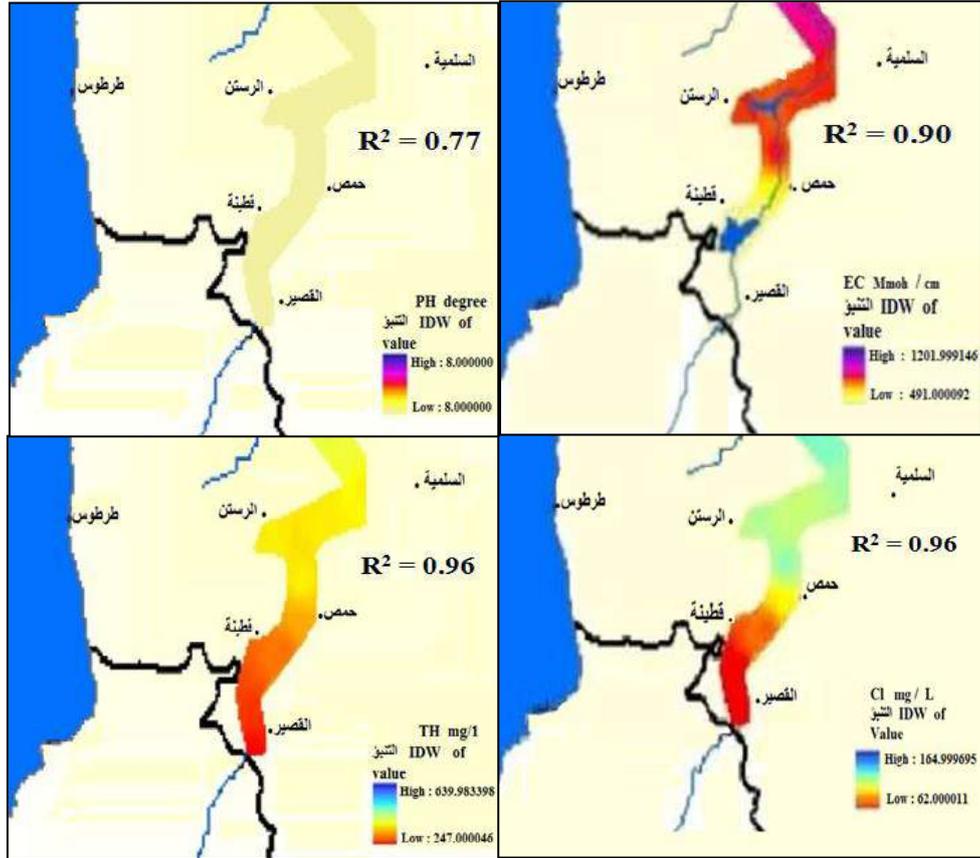
6-2-1- نتائج نمذجة التلوث الحاصل في المنطقة المدروسة باستعمال برنامج (ArcGIS):

تُشير نتائج التحليل المأخوذة من (مديرية مكافحة تلوث المياه بحماه، 2011) إلى وجود تلوث واضح كلما اتجهنا نحو الشمال على طول النهر، ولاسيما قبل وبعد بحيرة قطينة حيث مصب رواجع الصرف بشتى أنواعه، فبالنسبة للطلب على الأكسجين الحيوي (BOD5) تزداد نسبته عن الحد المسموح به بعد مخرج البحيرة لتبلغ 55.6 ملغ/ل، في حين عند النظر إلى نسب الآزوت من الأمونيا ومركبات الفوسفور يُلاحظ أنها تتجاوز الحدود المسموح بها على طول النهر وتزداد باتجاه الشمال وكذلك الأمر بالنسبة لعدد البكتيريا البرازية والتي نشأت بسبب صب رواجع الصرف الصحي عند جسر القنطرة في مدينة القصير حيث لا يوجد شبكات صرف ومحطات معالجة فعّالة. وتدل قيم الناقلية الكهربائية للمياه أنها صالحة للري، أما نسب الكلور فهي متدنية في بداية النهر وتزداد حول بحيرة قطينة وما يليها وتبقى ضمن الحدود الأعظمية المسموح بها، كما في الملحق (3). والأمر ذاته بالنسبة للصوديوم المدمص والرقم الهيدروجيني والأكسجين المنحل وهذا توافق مع نتائج (Hajj and Ismail, 2011). وهذا يُوجب المباشرة بتنفيذ شبكات صرف فعّالة ومحطات معالجة للمحافظة على المناخ البيئي للنهر

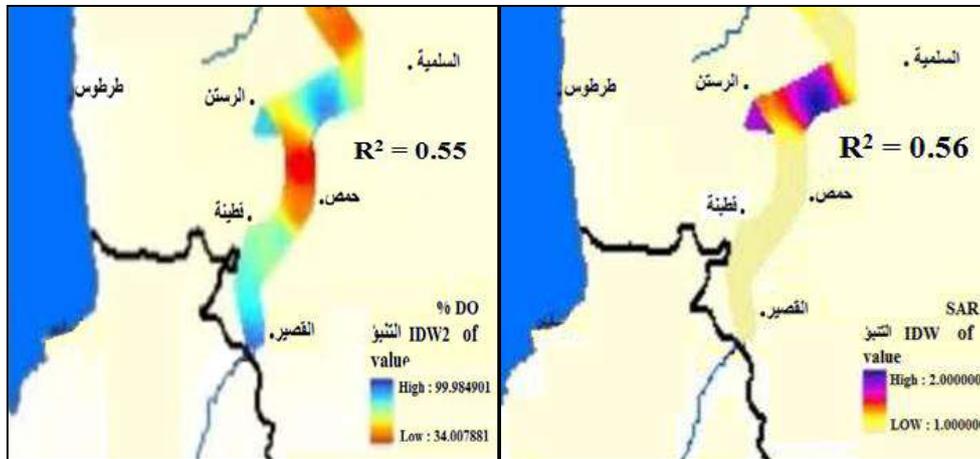
المدرّوس والتخفيف من التلوث الحاصل بفعل الإنسان من خلال التوعية والإرشاد، وعند المقارنة مع نتائج التحليل عام 1970 لذات المجرى تُشير الدلائل بأن مياه النهر كانت صالحة للشرب في بعض الأماكن أعلى النهر عند الحدود. ومن خلال تحليل عينات التربة المروية بالمياه السطحية للنهر والجوفية وجد كلاً من (Kassem et al. 2004) اختلافات نوعية فيما بينها، فالتربة المروية من مياه النهر احتوت على مستويات عالية من الزرنيخ والكوبالت والكروم المعدني والنيكل، ويعزى هذا التلوث بشكل رئيسي للملوثات (مياه المجاري والأسمدة الفوسفاتية). ولدى حساب معامل الارتباط باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS 11.5 - الخيار - Sig. 2-Pearson correlation-tailed) بين قيم نتائج التحليل المخبري لمؤشرات التلوث المدروسة في العينات المائية والقيم المشتقة منها باستعمال البرنامج، تبين وجود ارتباط معنوي عند احتمال ($P > 0.01$) في المستوى لدى كل من مؤشرات التلوث التالية: (P-PO_4^{3-} و N-NH_4^+ و pH و BOD5 و EC و Cl^- و TH mg/l وعدد البكتيريات البرازية *Escherichia Coli*) حيث كان معامل الارتباط لكل منها على التسلسل 0.85 و 0.65 و 0.77 و 0.75 و 0.90 و 0.96 و 0.96 و 0.71، مما يدل على صلاحية نمذجتها بهذه الطريقة واعتماد نتائج الاشتقاق، كما في الشكلين (37 و 38). وكان هناك ارتباط معنوي ضعيف لدى مؤشرات التلوث (SAR و DO\%) حيث كان معامل الارتباط لكل منها حسب التسلسل 0.56 و 0.55، كما في الشكل (39). ومن هنا يُمكن القول أنه باستخدام برنامج ArcGIS ستتقلص عدد نقاط الرصد من 10 نقاط رصد إلى 5 نقاط، وهذا بدوره يؤدي إلى تخفيض عدد العينات المائية المجموعة والمحللة بمعدل 50%، وهذا توافق مع نتائج (يوسف، 2009) حيث تمّ تقليص عدد النقاط بنسبة 51.52% باستعمال ذات البرنامج في حوض العاصي.



الشكل (37) ديناميكية (BOD5 و E. Coli و NH₄ و PO₄) في مجرى النهر اشتقاقاً.



الشكل (38) ديناميكية (pH و EC و TH و Cl) في مجرى النهر اشتقاقاً.



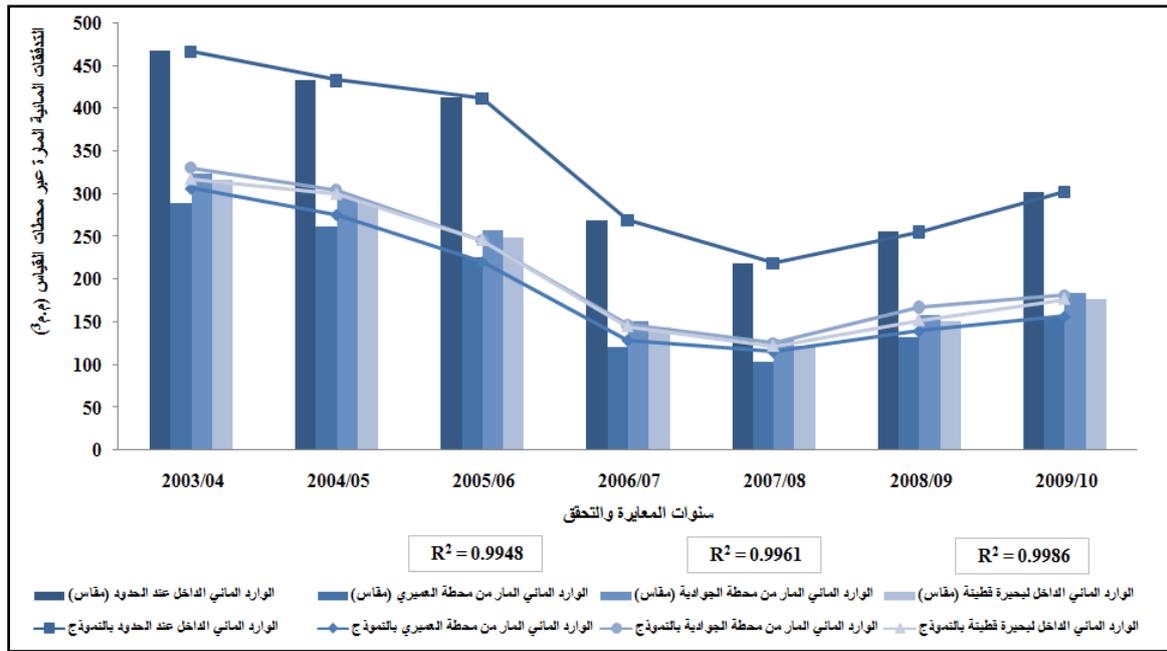
الشكل (39) ديناميكية (DO و SAR) في مجرى النهر اشتقاقاً.

6-2-2-2- نتائج معايرة البرنامج WEAP:

تم معايرة البرنامج والتأكد من صحة عمله وذلك بإجراء ما يلي:

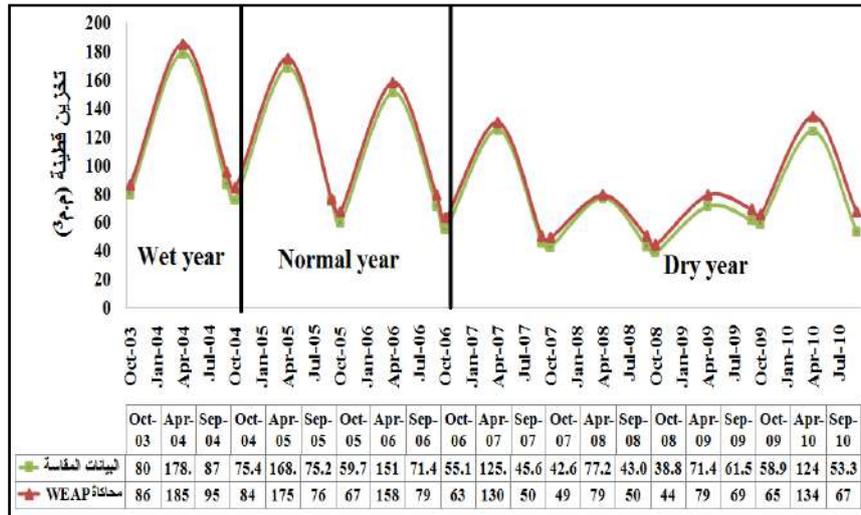
- أ- إدخال المعطيات اللازمة عن الواردات المائية لعام 2003/04 حيث اعتبرت هي سنة الأساس عند معايرة البرنامج، كما وقد أُدخلت تصاريح محطات القياس المائية المتوفرة على مجرى النهر وهي العميري، القنوات الخمسة، خط جر حماه، الجوادية، مدخل قطينة، مخرج قطينة، غجر الأمير، كما في الملحق (6).

ب- إدخال الطلب على المياه وفق مواقع الطلب الموجودة في حوض العاصي الأعلى لعام 2004، لوجود بيانات موثقة (خزام، 2010) مع مراعاة شرط التدفق البيئي بنحو 1-2 م³/ثا بعد سد قطينة، كما أدخلت نسب التزايد لتوقعات الطلب على مياه الشرب والاستخدام المنزلي ولأغراض الري حتى عام 2010، مع مراعاة أولويات الطلب وحجم المياه السطحية المستجرة في سنوات الجفاف، حيث بالرغم من تناقص الوارد السطحي تزايدت مساحة الأراضي المروية بنسبة 12.7%، وذلك بالاعتماد على الوارد المائي الجوفي. فأظهرت النتائج أنّ هنالك ارتباط معنوي قوي يتجاوز 99% بين نتائج الموازنة المائية السنوية المقاسة بنظام القياسات المائية من حيث تصريف محطات القياس الموجودة على مجرى النهر وتوزيع المياه وفق البرنامج بعد الموازنة بحسب الأولويات الموضوعية حيث بلغت نسبة التقارب 99.48% عند محطة العميري و99.61% عند محطة الجوادية و99.86% عند مدخل بحيرة قطينة، ويعود سبب الفروقات البسيطة بين الواقع والبرنامج إلى سحب المياه العشوائي من النهر لتغطية أغراض الزراعة في ظل زيادة المساحات المروية المنفذة بحسب الخطة المعدة من قبل وزارة الزراعة (MAAR-SY, 2010)، ولأنّ البرنامج يُعيد الرواجع إلى نقاط محددة وليست عشوائية كما في الواقع الفعلي. وبالتالي فإنّ نتائج البرنامج مقبولة ومقاربة لنتائج الواقع الفعلي، كما في الشكل (40).



الشكل (40) المقارنة بين توزيع المياه وفق البرنامج والتصريف عند محطات القياس في حوض العاصي الأعلى (ما قبل سد قطينة).

وبمحاكاة حجوم التخزين المائي الشهرية المقاسة في بحيرة قطينة من قبل مديرية الموارد المائية بحمص من عام 2003/04 إلى عام 2009/10 مع نظيرتها المحسوبة بالبرنامج، يُلاحظ بعد التحقق تقارب واضح حيث يزداد حجم التخزين من شهر تشرين أول ليصل ذروته في شهر نيسان بسبب زيادة حجم الوارد في أشهر الشتاء وقلّة الطلب على الماء ولاسيما الزراعي الذي يبدأ بالتزايد من شهر نيسان إلى شهر تشرين أول (أشهر الصيف) وعليه ينخفض حجم التخزين بعد ذلك ليصل إلى أدنى قيمة له في نهاية شهر أيلول، كما في الشكل (41).



الشكل (41) المقارنة بين حجوم التخزين الشهرية المقاسة لبحيرة قطينة والمستنتجة بالبرنامج عند التحقق.

فاعتماد البرنامج على طريقة السنة المائية في التنبؤ (رطوبة جداً، رطبة، طبيعية، جافة، جافة جداً)، يُمكن استخدامه من التحقق ومحاكاة الواقع بدقة متناهية بالرغم من إدخال البيانات بشكل شهري أو يومي، وهذا ما يميز الموازنة المائية بالبرنامج عن الموازنة المائية الإجمالية السنوية باستعمال نظام القياسات (WAS) أنف الذكر. حيث يتبين أنّ العام الهيدرولوجي 2003/04 رطب في حين العامين 2004/05 و2005/06 طبيعيين والأعوام من 2006/07 إلى 2009/10 جافة، وهذا يتوافق مع تحليل السلسلة الزمنية للواردات المائية بأسلوب بوكس-جنكز كما في الشكل (28)، حيث لا يوجد أي تكرار ثابت لمناخ السنوات الهيدرولوجية، وتسود الحالتين الطبيعية (A) والجافة (B) في المنطقة المدروسة.

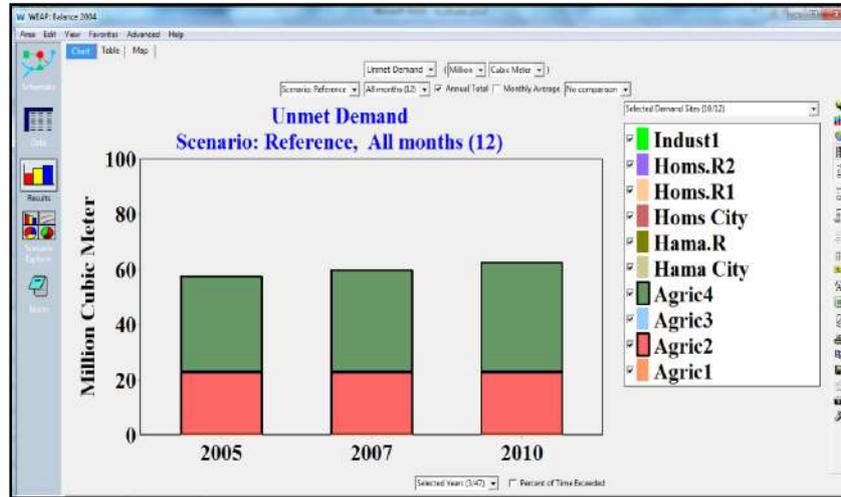
وبمقارنة الواردات المائية الإجمالية السنوية في منطقة الدراسة مع احتياجات مواقع الطلب خلال بعض سنوات المعايرة، يُلاحظ عدم وجود عجز مائي في حوض العاصي الأعلى قبل بحيرة قطينة، كما في الجدول (26).

الجدول (26) الموازنة المائية السنوية في العاصي الأعلى بحسب نظام القياسات المائية (WAS).

2010	2007	2005	البيان
460.4	427.2	571	الواردات الإجمالية قبل قطينة (م.م³/سنة)
366	316	311	الاحتياجات ما قبل قطينة (م.م³/سنة)
94.4	111.2	260	الفائض (م.م³/سنة)

في حين عند النظر إلى مواقع الطلب الزراعي بالبرنامج كالزراعة 2 المعتمدة على المياه السطحية من شبكة القنوات الخمسة على يسار النهر والزراعة 4 المعتمدة على المياه الجوفية، يُلاحظ وجود عجز مائي يتزايد من 57 م.م³ عام 2005 إلى 62 م.م³ عام 2010، كما في الشكل (42). ويعود سبب الاختلاف بين الواقع والبرنامج إلى أنه في الواقع تمت دراسة الموازنة السنوية بشكل إجمالي، بينما في البرنامج تُدرس الموازنة على صعيد الأشهر وليس بشكل إجمالي سنوي، حيث يزداد الطلب على المياه اعتباراً من شهر نيسان وحتى نهاية شهر أيلول

أي عندما يقل تدفق الواردات المائية، وبنتيجة فعّالية نقل المياه الضعيفة في شبكة القنوات الخمسة تبقى كمية المياه السطحية عاجزة عن تلبية حاجة مواقع الطلب الزراعي، وعليه أظهر البرنامج عجز مائي فعلي خلال هذه الأشهر، وهذا الأخير يتم تغطيته بالاستمرار الجائر من المياه الجوفية والذي يزيد العجز المائي في الزراعة 4.



الشكل (42) العجز المائي المستتج (م.م/سنة) وفق البرنامج.

وإذا ما قورن العجز في البرنامج مع المياه المخزنة في سد قطينة، كما في الشكل (42). يُلاحظ عدم وجود عجز فعلي في العاصي الأعلى، وبالتالي فإنّ نتائج الموازنة وفق البرنامج مقبولة ومقاربة لنتائج الواقع الفعلي، وبُمكن اعتماده كأداة مساعدة للتنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية حتى عام 2050، وهذا توافق مع نتائج (Levite et al., 2003; Alfarra, 2004; Loon and Droogers, 2006; Arranz and McCartney, 2007; Mugatsia., 2010).

6-2-3- التنبؤ المستقبلي للموازنة المائية باستخدام برنامج WEAP:

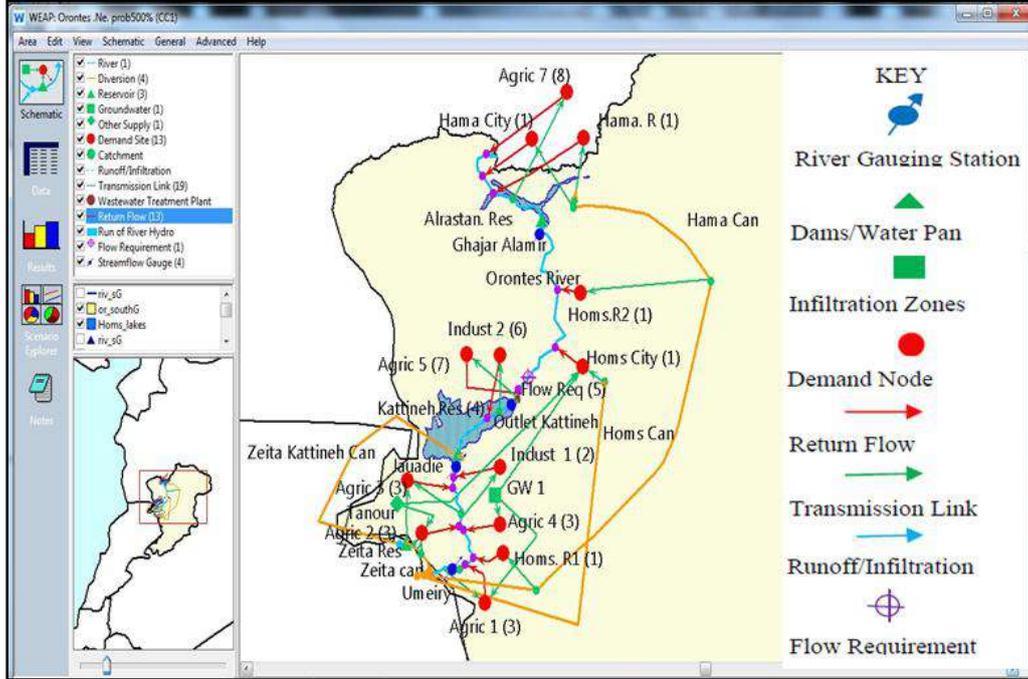
تمّ إدخال الواردات المائية التقليدية المتجددة بشكل شهري للمصادر السطحية والجوفية، والناجمة عن توزيع بيرسون III عند ثلاث حالات للتقلبات المناخية [الطبيعية (احتمال وارد مائي 50%، A) والجافة (احتمال وارد مائي 75%، B) والجافة جداً (احتمال وارد مائي 95%، C)]، وحُدّد عام 2010 كسنة الأساس حيث لا تتوفر بيانات كافية بعد هذا العام، مع أخذ البنى التحتية والمنشآت الصناعية والمساحات المروية بعين الاعتبار، واعتبر عام 2050 العام الأخير للتنبؤ بالموازنة المائية. وعليه دُرست نتائج السيناريوهات على التوالي، وأدخلت الحلول (BAT و HT) كسيناريوهات فرعية لإبعاد النقطة الحرجة إلى عام 2050 وخفض كمية العجز المائي.

6-3-2-1- السيناريو الرئيسي الأول (حالة الواقع الراهن للمنطقة المدروسة عام 2010):

تمّ فيه التنبؤ المستقبلي للموازنة المائية ودراسة إدارة الطلب على الموارد المائية وذلك وفق الواقع الحالي لتزويد مواقع كالاتي، وهذا موضح في الشكل (43):

أ- تزويد حماه وريفها (المستفيدين حالياً من أعالي العاصي) بمياه الشرب والاستخدام المنزلي من أعالي العاصي وفق الواقع الحالي، وتزويد حمص وريفها (المستفيدين حالياً من أعالي العاصي) بمياه الشرب والاستخدام المنزلي من عين التتور وآبار دحيريج.

ب- تزويد المساحات المروية بالمياه من القنوات الخمسة والنهر والينابيع والمياه الجوفية، وشبكة ري حمص بعد فصلها عن شبكة ري حماه وتركيب محطة ضخ على سد الرستن لتلبية متطلبات الري للمساحات المروية والتي كانت تروى من شبكة ري حمص- حماه في محافظة حماه، ولُخصت النتائج على الشكل التالي:



الشكل (43) حالة الواقع الراهن في تزويد مواقع الطلب بالمياه في السيناريو الرئيسي الأول.

❖ السيناريو المرجعي: وفق الواقع الراهن لتزويد مواقع الطلب بالمياه عام (2010).

أ- حالة السنوات الطبيعية: أظهرت نتائج البرنامج وجود عجز مائي واضح يبدأ من عام 2011 بنحو 136.4 م³ ليصل إلى 263.2 م³ عام 2050، ويتجلى معظمه في تلبية احتياجات الزراعة 5 ما بعد قطينة والزراعة 4 المعتمدة على الري بالمياه الجوفية، في حين سيتزايد العجز المائي في تلبية احتياجات الزراعتين 1 و 2 من معدل قدره 0.3 م³ عام 2011 ليصل إلى 35.4 م³ و 46.1 م³ على التوالي عام 2050. وتبين أنه لا يوجد أي عجز مائي في تلبية احتياجات الزراعة 3 والتزامات مياه الشرب والاستخدامات المنزلية ومتطلبات التدفق البيئي حتى عام 2050. أما بالنسبة للالتزامات المنشآت الصناعية قبل وبعد سد قطينة فسيظهر عجز مائي بنحو 6.7 م³.

ب- حالة السنوات الجافة: أظهرت نتائج البرنامج تزايد العجز المائي عن الحالة السابقة ليبدأ بنحو 150.2 م³ عام 2011 ويتزايد إلى 315.4 م³ عام 2050، وتجلت نسبته الأكبر في الزراعتين 4 و 5، أما على صعيد التزامات مياه الشرب والاستخدام المنزلي لم يتغير الوضع المائي عن الحالة السابقة وسيظهر عجز مائي في تلبية احتياج المنشآت الصناعية والزراعة 3 بنحو 7.3 م³ عام 2050.

ج- حالة السنوات الجافة جداً: أظهرت نتائج البرنامج تزايد كمية العجز المائي عن الحالة السابقة ليبدأ بنحو 247.3 م³ عام 2011 ويتزايد ليصل إلى 460.6 م³ عام 2050. حيث هناك عجز مائي واضح في جميع الزراعات، وسيبدأ العجز المائي في تلبية التزامات مياه الشرب والاستخدام المنزلي والصناعة 1 من عام 2040

ويتزايد ليصل إلى 82.3 م³ عام 2050، أما في الصناعة 2 سيزداد العجز المائي من 14.9 م³ عام 2011 ليصل إلى 20 م³ عام 2050، كما في الشكل (44).

ويُستنتج مما سبق أن البرنامج يُوزع المياه بحسب الأولويات وحاجة موقع الطلب حيث للشرب والاستعمال المنزلي (أولوية 1)، وللصناعة (أولوية 2)، والمتبقي للزراعة (أولوية 3) ما قبل سد قطينة، و (أولوية 6) للزراعة 5 ما بعد سد قطينة حيث يعطى لتخزين بحيرة قطينة (أولوية 4) وللتدفق البيئي ما بعد قطينة (أولوية 5)، لذلك يكون العجز المائي الأكبر دائماً في الزراعة 5 ما بعد السد. ومنه ستتخفف فعالية الحوض المدروس في تلبية مواقع الطلب من 70.8% عام 2011 إلى 43.5% عام 2050 في حالة السنوات الطبيعية، وفق منشآت الواقع الراهن عام 2010، ومن 61.37% إلى 18.89% في حالة السنوات الجافة، ومن 12.07% إلى ما دون الصفر وينحو -63.76% في حالة السنوات الجافة جداً، وهذا توافق مع نتائج نظام القياسات المائية (WAS) عند دراسة معامل الموازنة المائية بعد إعادة استخدام الموارد المائية غير التقليدية في حوض العاصي الأعلى، وتغيرت القيم الجبرية نتيجة دراسة البرنامج المتكامل للحوضين معاً الأعلى والأوسط.

ويُبرر هذا العجز المائي المتزايد سنوياً ومناخياً بتزايد عدد السكان المستفيدين ليلعب 3.8 مليون نسمة عام 2050 ونسبة الهدر العالية من الشبكات المغذية للشرب والاستعمال المنزلي والتي تتجاوز 35%، والكفاءة المنخفضة لمنظومات الري الحكومية المطبقة (شبكة ري القنوات الخمسة وشبكة ري حمص) والتي لا تتجاوز 45% ناهيك عن قلة الوارد المائي الداخل بحسب الحالة المناخية السائدة، ويؤكد ذلك حالة الواقع المائي قبل عام 2010 حيث سادت الحالتين الجافة والجافة جداً والتي استمرت حتى عام 2004، وانعكس ذلك على ردة فعل معظم المستفيدين والقيام بحفر العديد من الآبار في العاصي الأعلى والأوسط واستنزافها بعد هذا العام، وانخفاض الخطوط الهيدرولوجية الجوفية وجفاف العديد من الينابيع كالسخنة والهارون، ناهيك عن التلوث الحاصل في المياه ولاسيما في حرم عين التتور الصالحة مياهه للشرب وهذا كان له بالغ الأثر في حدة الاستنزاف (خزام، 2010).

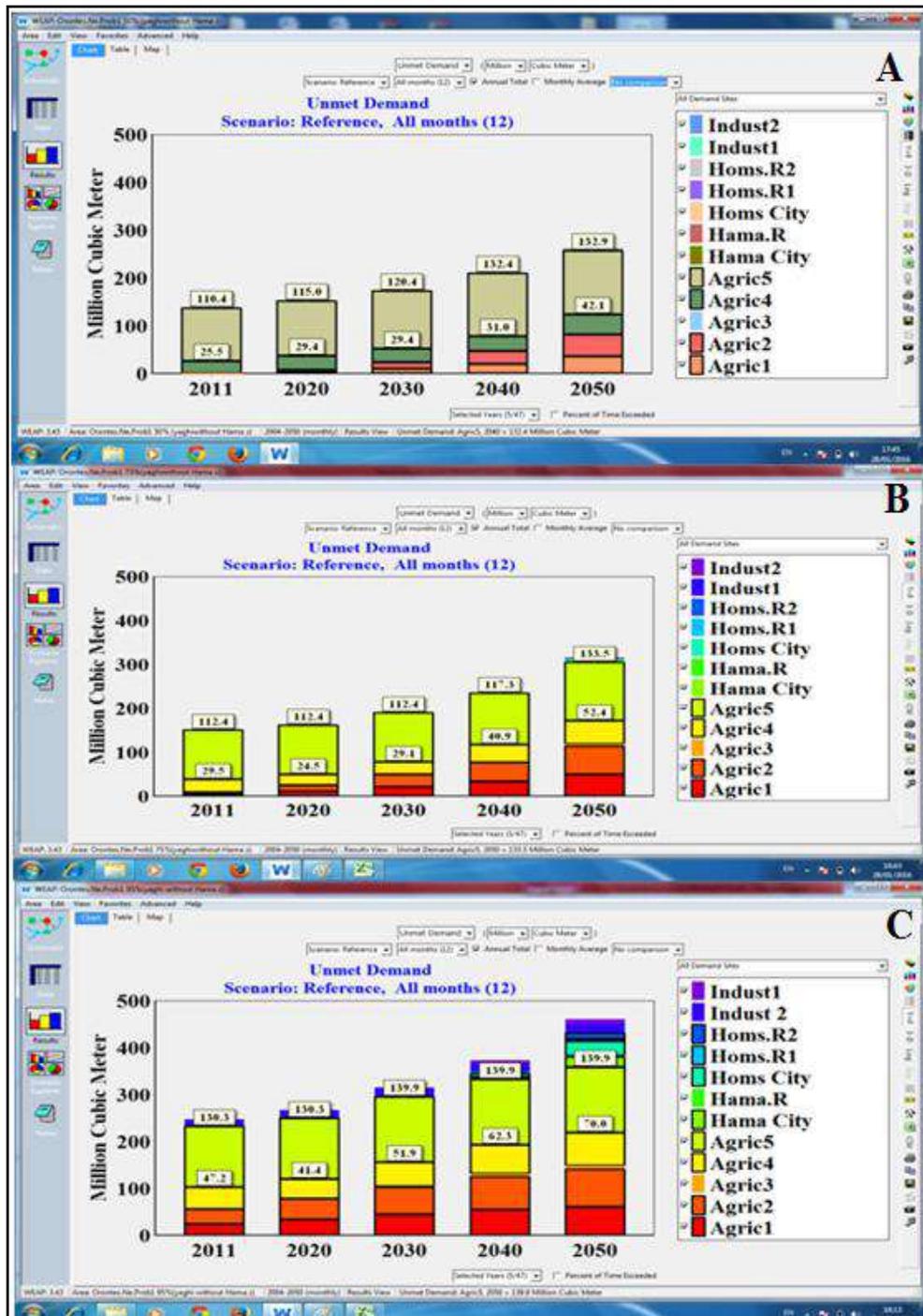
❖ **سيناريو التقانات المتاحة الأفضل (BAT):** الذي يفترض تحسين كفاءة شبكات الشرب والاستعمال المنزلي إلى 75% مع المحافظة على حصة الفرد عام 2010 وكفاءة الري الإجمالية إلى 75% في منظومات الري المطبقة بصيانتها واستبدال المكشوف منها بالأنابيب المضغوطة لمنع التبخر والتسرب، وعليه لُخصت النتائج:

أ- **حالة السنوات الطبيعية:** اختفى العجز المائي في جميع مواقع الطلب ما عدا الزراعتين 4 و 5 (Agric4 و Agric5)، ولكن بمعدل منخفض عن السيناريو المرجعي حيث سيتزايد من 55.7 م³ عام 2011 إلى 110.8 م³ عام 2050.

ب- **حالة السنوات الجافة:** انخفض العجز المائي في تلبية الالتزامات الصناعية، وظهر في الزراعتين 1 و 2 (Agric 1 و Agric 2) عام 2040 بنحو 0.2 م³ ليتزايد إلى 11.1 م³ عام 2050، حيث سيتزايد العجز المائي الإجمالي من 94.2 م³ إلى 144 م³ عام 2050، ومعظمه يتجلى في الزراعتين 4 و 5.

ج- **حالة السنوات الجافة جداً:** انخفضت كمية العجز المائي في تلبية التزامات الشرب والاستخدام المنزلي لتظهر بنحو 5.7 م³ عام 2050، و 3.7 م³ في تلبية التزامات الصناعة 1 (Indust 1) ما قبل سد قطينة في حين تجلى العجز المائي بشكل واضح في بقية مواقع الطلب الزراعية ولاسيما الزراعتين 5 و 4، ولكن بمعدل منخفض عن السيناريو المرجعي، ليتزايد الإجمالي من 134.4 م³ عام 2011 إلى 238.6 م³ عام 2050، كما في

الشكل (45). ومنه ارتفعت فعالية الحوض المدروس لتصل إلى 88.1% عام 2011 ومن ثم لتتخفض وتصل إلى 76.2% عام 2050 بالمقارنة مع السيناريو المرجعي لحالة السنوات الطبيعية، وكذلك الأمر في حالة السنوات الجافة حيث بلغت الفعالية 75.8% عام 2011 لتتخفض إلى 63% عام 2050. أما في حالة السنوات الجافة جداً بلغت الفعالية 52.2% عام 2011 لتتخفض إلى 15.16% عام 2050. ومنه يبرز الدور المهم لهذا السيناريو في حفظ المياه من الهدر وتأمين التزامات الأولوية الأولى والثانية ولاسيما في حالة السنوات الجافة.



الشكل (44) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو المرجعي الفرعي من السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

❖ سيناريو التقانات المتطورة (HT): الذي يتفق مع السيناريو (BAT) ولكن بتحسين كفاءة الري إلى 85% وكفاءة مياه الشرب والاستخدام المنزلي إلى 80%، وخفض حصة الفرد من مياه الشرب والاستعمال المنزلي إلى 110 ل/يوم في المدينة و 85 ل/يوم بالريف بحسب توصيات منظمة الصحة العالمية (WHO, 2006).

أ- حالة السنوات الطبيعية: اختفى العجز المائي في جميع مواقع الطلب على المياه باستثناء الزراعة 4 والزراعة 5، حيث بلغ بنحو 25.3 م³ عام 2011 وسيتزايد إلى 87.8 م³ عام 2050.

ب- حالة السنوات الجافة: كذلك الأمر انخفض العجز المائي الإجمالي عن السيناريو (BAT) وتُمثل بالتزامات المواقع الزراعية فقط قبل وبعد سد قطينة ليبغ 67.2 م³ عام 2011 وسيتزايد إلى 118.4 م³ عام 2050.

ج- حالة السنوات الجافة جداً: انخفض العجز المائي الإجمالي في هذه الحالة من السنوات الهيدرولوجية عن السيناريو السابق، ولكن بقي ظاهراً في تلبية التزامات مياه الشرب والاستخدام المنزلي والصناعة 1 عام 2050،

وبلغت كميته في الصناعة 2 بنحو 9.9 م³ عام 2011 وستزداد إلى 19.9 م³ عام 2050. في حين انخفضت نسبته في تلبية التزامات مواقع الطلب الزراعية بشكل واضح عن السيناريو السابق بسبب تحسين كفاءة

الري إلى 85% وخفض حصة الفرد، وتزايد العجز الإجمالي من 109.4 م³ عام 2011 إلى 202.8 م³ عام 2050، كما في الشكل (46). حيث بلغت فعالية الحوض 94.6% عام 2011 لتتخفض وتصل إلى 81.17%

عام 2050 في حالة السنوات الطبيعية (A)، وهي مرتفعة بالمقارنة بالسيناريو المرجعي بنحو 38% عام 2050. في حين بلغت 82.7% عام 2011 لتتخفض إلى 69.5% عام 2050 في السنوات الجافة (B)، أما في حالة

السنوات الجافة جداً (C) فقد بلغت 61.1% عام 2011 لتتخفض إلى 27.9% عام 2050. ويُستنتج مما سبق أنه يجب اتخاذ التدابير المنصوص عنها في السيناريوهين BAT و HT لخفض نسبة الهدر المائي الكبيرة

والتلوث الحاصل ولاسيما في حالة السنوات الجافة والجافة جداً في منطقة الدراسة، بهدف تلبية التزامات مواقع الطلب بحسب الأولويات الأساسية للشرب والصناعة ومن ثم الزراعة. وعند إظهار نتائج التنبؤ بالبرنامج

WEAP على الصعيد الشهري، يُلاحظ تنبؤ البرنامج بفجوة مائية في أشهر الصيف ستتزايد من شهر نيسان لتبلغ أقصاها بنحو 54 م³ في شهري حزيران وتموز ومن ثم ستتخفض وتتعدم في شهر تشرين ثاني عام 2050

في السيناريو المرجعي لحالة السنوات الطبيعية (A)، في حين سينخفض العجز المائي إلى 23.2 م³ في شهري الذروة بالمقارنة مع السيناريو المرجعي بتطبيق السيناريو HT. أما في حالة السنوات الجافة ستبدأ الفجوة المائية

من شهر آذار لتبلغ أقصاها بحوالي 61.5 م³ في شهر تموز عام 2050 في حين ستتخفض بالسيناريو HT إلى 30.7 م³ لذات الشهر، أما في حالة السنوات الجافة جداً ستبدأ الفجوة المائية بحوالي 5.5 م³ في شهر

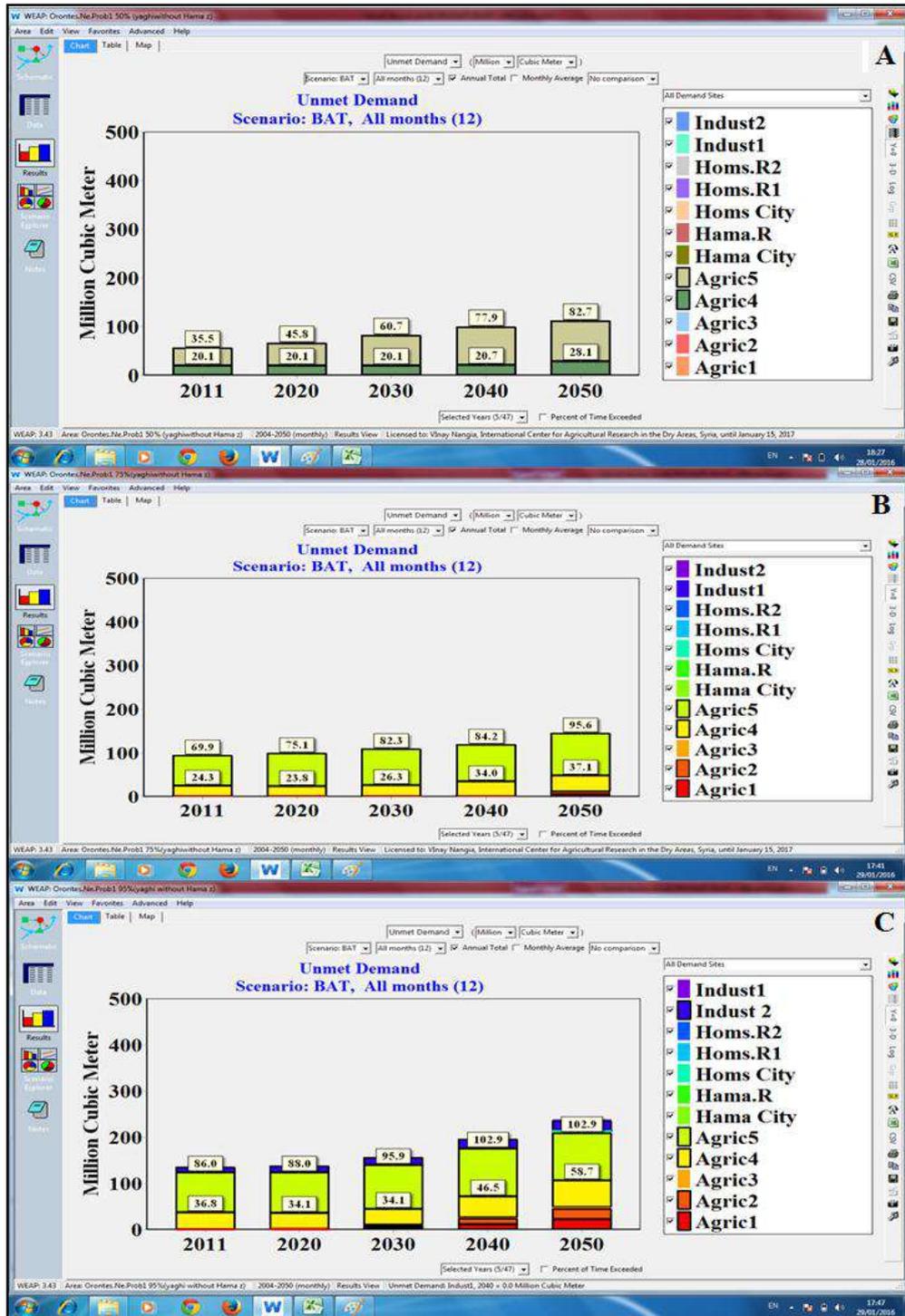
كانون الثاني وستزداد إلى 80.5 م³ في شهر تموز ثم ستتناقص إلى 8.2 م³ في شهر كانون أول عام 2050، وحتى إذا طبقنا السيناريو HT لن يتناقص العجز المائي كثيراً وإنما سينخفض عن السيناريو المرجعي

ليبلغ أقصاه في شهر الذروة تموز بنحو 36.5 م³ عام 2050، كما في الشكل (47).

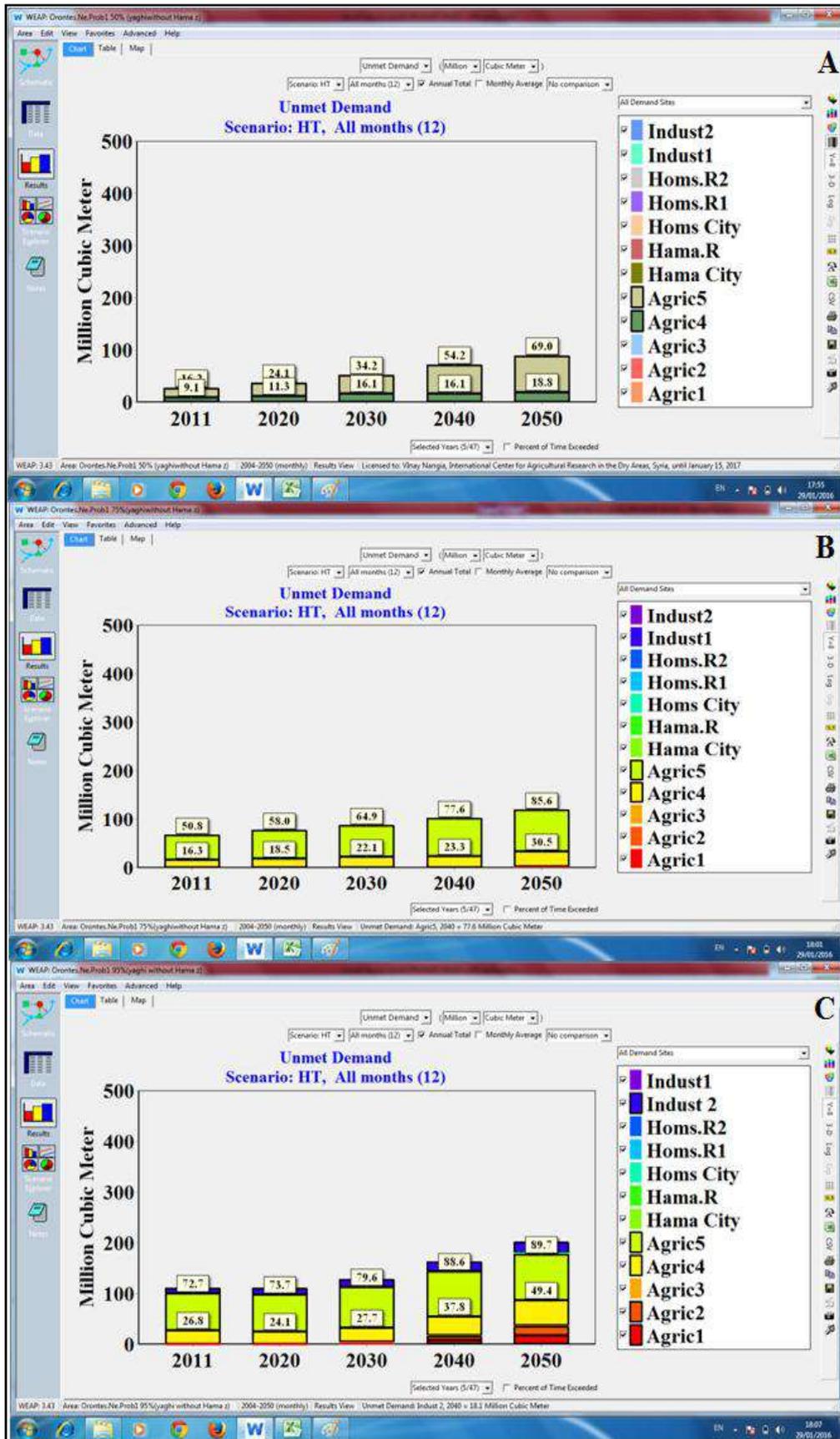
وعند دراسة سيناريو الأولويات الذي ينص على إعطاء أولوية 2 للطلب الزراعي وأولوية 3 للطلب الصناعي (Priority). أظهرت نتائج البرنامج عند التنبؤ لعام 2050 أنه لا يوجد أي تغيير في قيم العجز المائي عن

السيناريو السابق، في حين عند إعطاء أولوية 2 لتخزين المياه في سد قطينة بعد تأمين التزامات الشرب والاستخدام المنزلي (Priority1)، ستزداد قيم العجز المائي عند حالات السنوات الهيدرولوجية الثلاث (الطبيعية

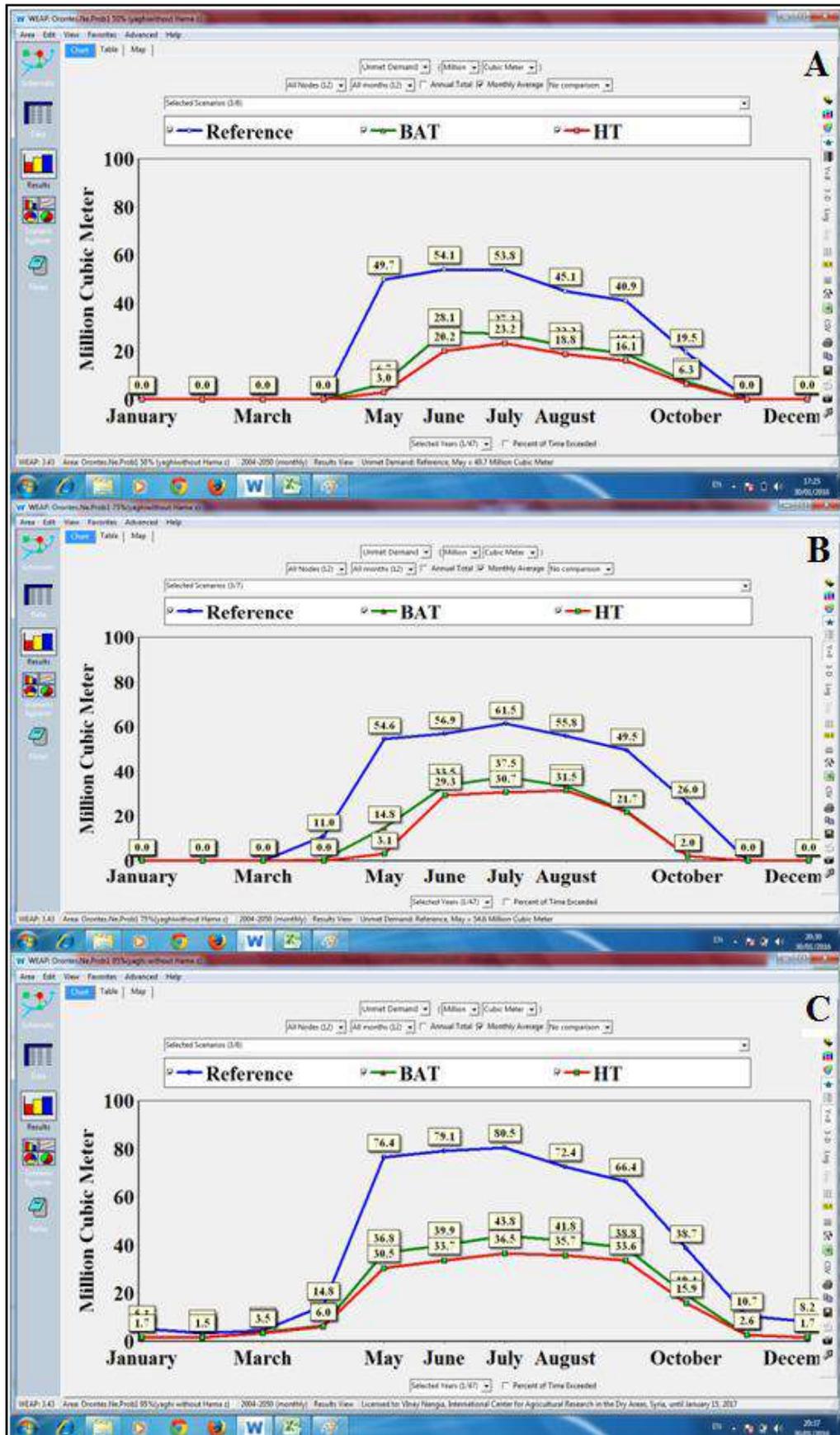
والجافة والجافة جداً) بالمقارنة مع السيناريو السابق. أما بإعطاء أولوية 3 للتخزين في سد قطينة وأولوية تدفق بيئي 2 بعد تطبيق السيناريوهين BAT و HT (Priority11، Priority11) يُلاحظ انخفاض قيم العجز المائي وتلبية التزامات الأولوية الأولى بشكل كامل في الحالتين الطبيعية والجافة، وبشكل جزئي في الحالة الجافة جداً، كما في الشكل (48).



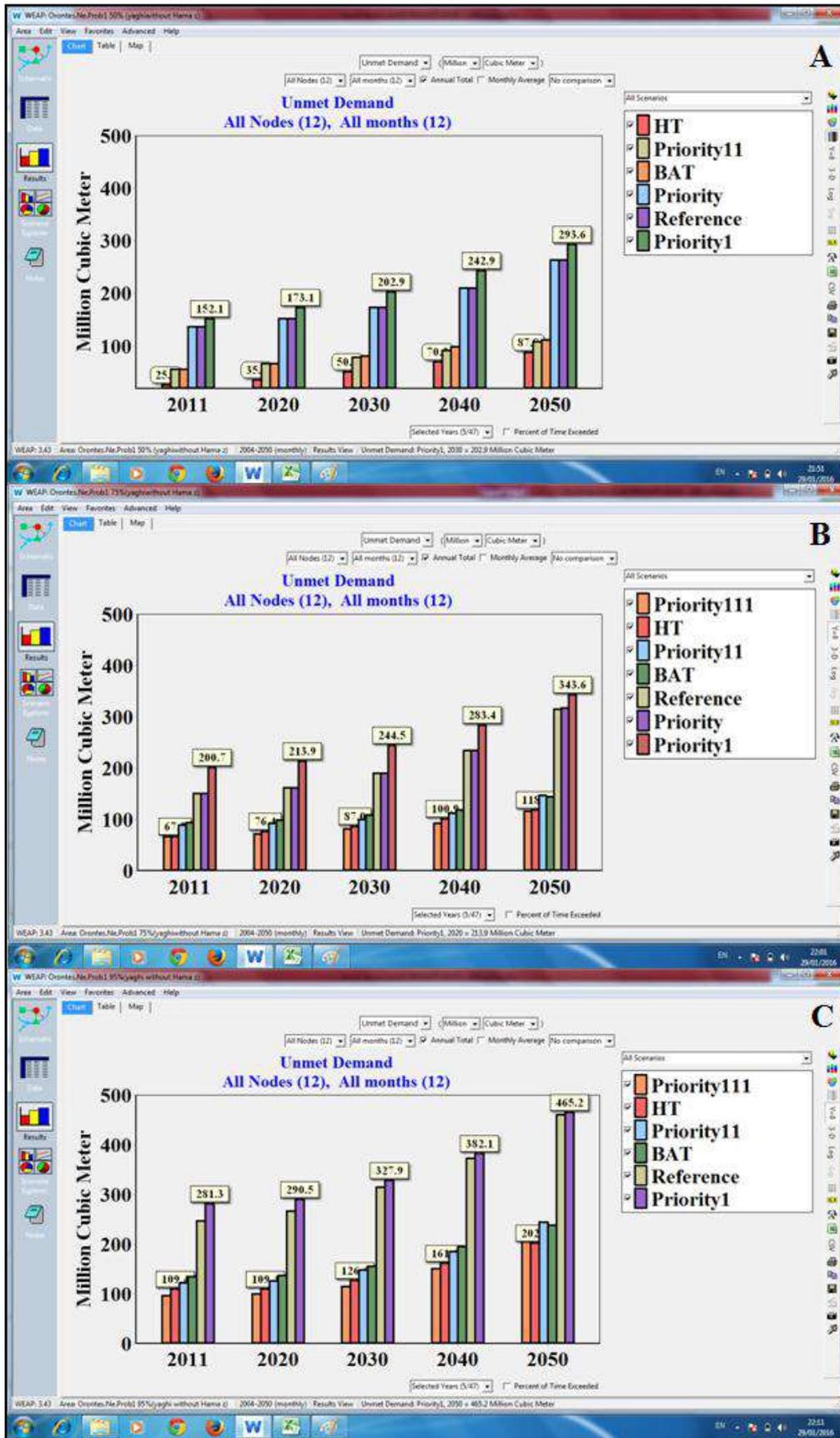
الشكل (45) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو (BAT) الفرعي من السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).



الشكل (46) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو (HT) الفرعي من السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).



الشكل (47) العجز المائي الشهري المتوقع عام 2050 في السيناريوهات الفرعية من السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).



الشكل (48) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن) وفقاً لتطبيق الأولويات في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

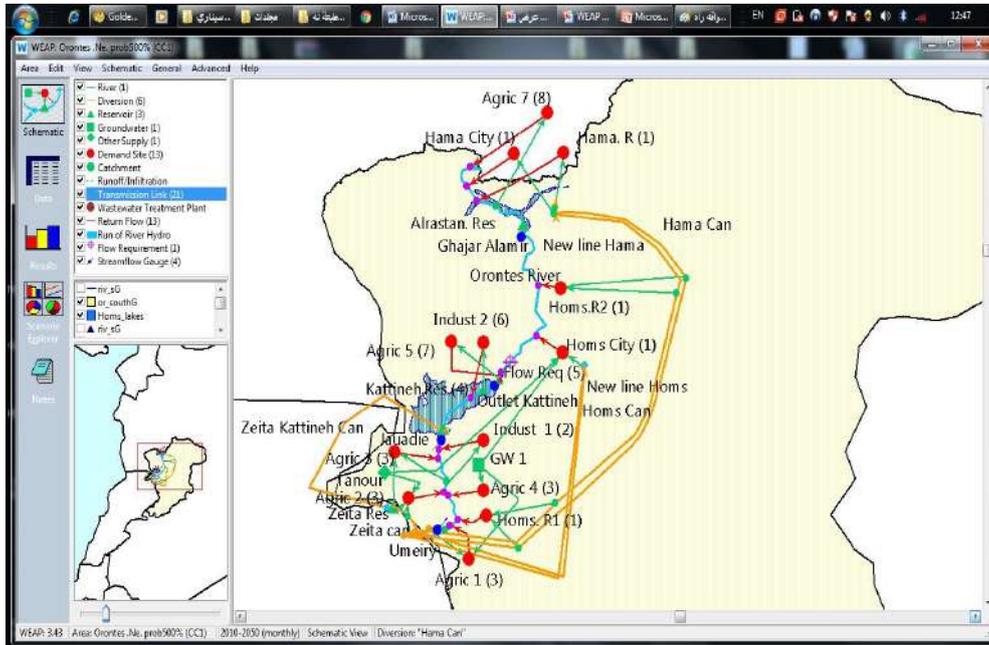
6-2-3-2- السيناريو الرئيسي الثاني (استثمار سد زيتا بشكل يُلائم الطلب على المياه):

تمّ فيه التنبؤ المستقبلي للموازنة المائية ودراسة إدارة الطلب على الموارد المائية، وفق الاستراتيجية الجديدة لتزويد مواقع الطلب بالمياه، كما يلي:

أ- استثمار خط جر مياه جديد لتزويد مدينة حمص بمياه الشرب من أعالي العاصي (قيد الإنشاء حالياً) بتصريف إجمالي 3.5 م³/ثا، تمّ افتراض أنه سيتم استثماره عام 2020 وفقاً لخطة مديرية الموارد المائية بحمص، وسيتم دعم الخط المذكور بخط جر آخر من سد زيتا (وذلك في سنوات الجفاف) بتصريف إجمالي 3.5 م³/ثا، تمّ افتراض استثماره عام 2022.

ب- سيتم إنشاء خط جر مياه جديد لمدينة حماه بتصريف إجمالي 2 م³/ثا. وسيتم دعمه من خط جر سد زيتا (في سنوات الجفاف)، تمّ أيضاً افتراض استثماره عام 2022.

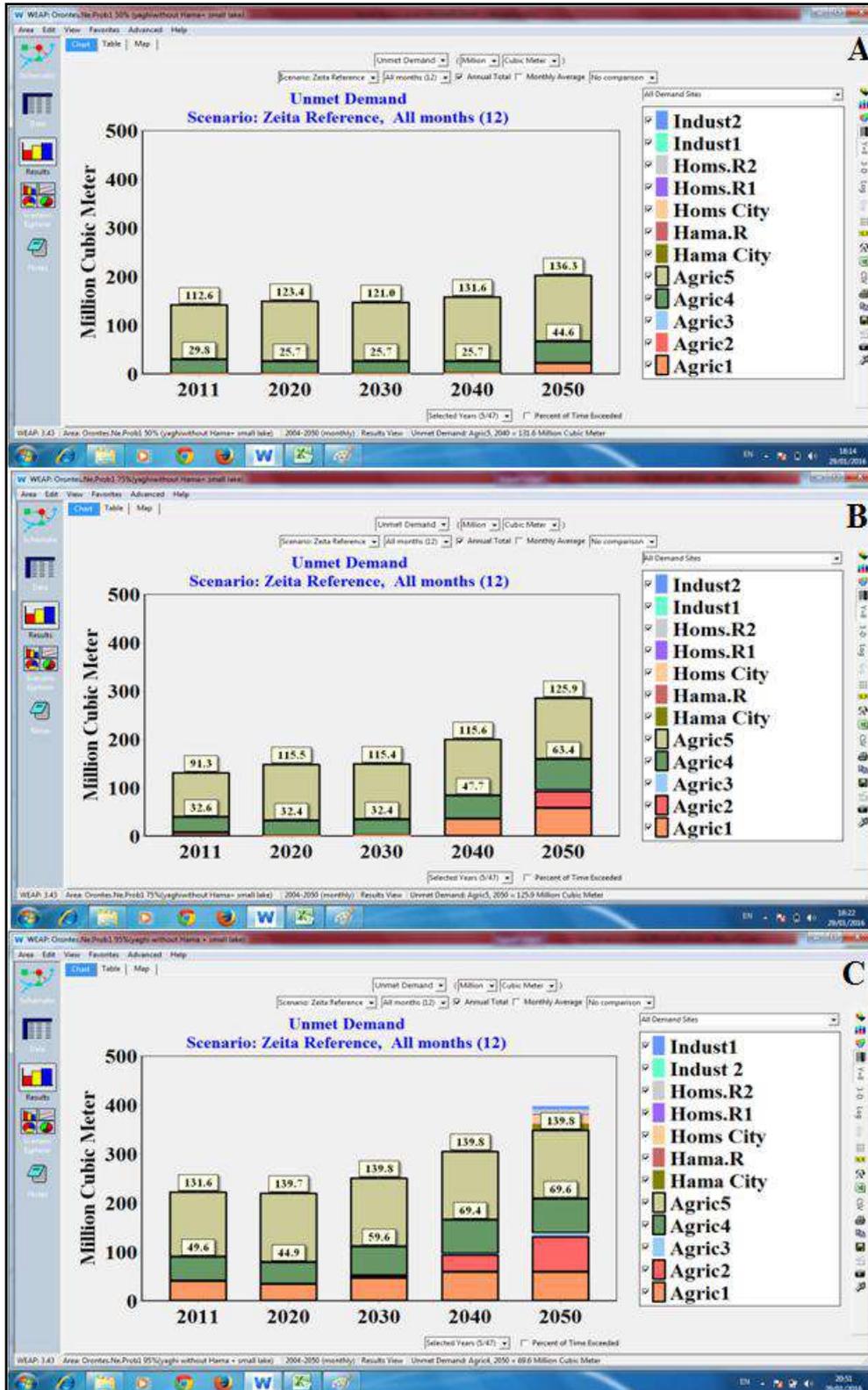
ج- استثمار سد زيتا أيضاً لأغراض الري اعتباراً من عام 2020، ولأغراض الشرب والري اعتباراً من عام 2022، كما في الشكل (49).



الشكل (49) استراتيجية تزويد مواقع الطلب بالمياه بعد استثمار سد زيتا.

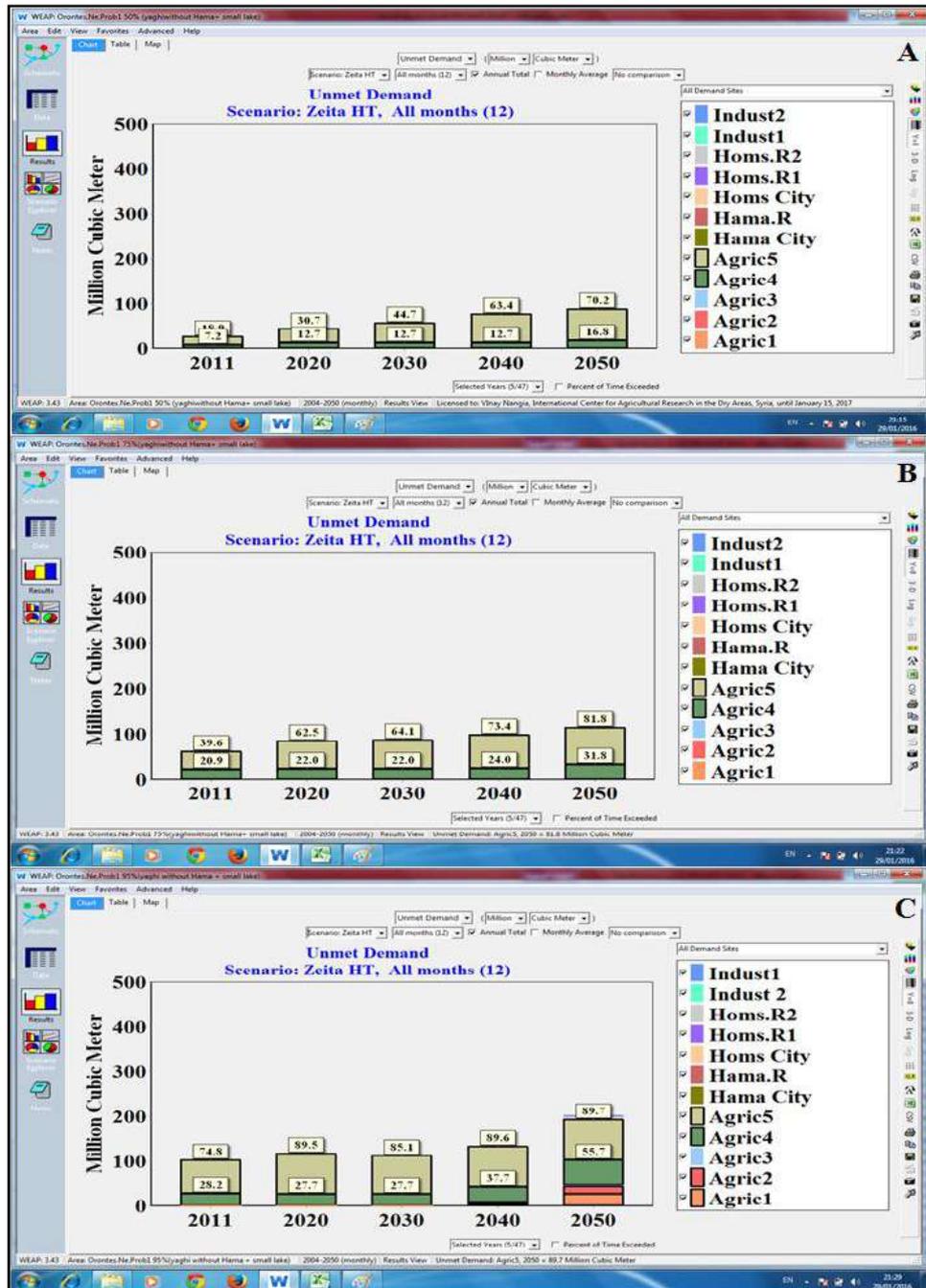
أظهرت نتائج التنبؤ باستخدام البرنامج WEAP الأثر الواضح لاستثمار سد زيتا بعد عام 2020 على اختفاء العجز المائي في تلبية التزامات مياه الشرب والاستخدام المنزلي ورفع درجة تنظيم الوارد المائي وبالتالي ارتفاع فعالية الحوض لتبلغ بنحو 56.5% عام 2050 بالمقارنة مع السيناريو المرجعي لحالة السنوات الطبيعية (A)، وإلى 26.8% في حالة السنوات الجافة (B)، وكذلك الأمر في حالة السنوات الجافة جداً (C)، حيث ارتفعت الفعالية لتصل إلى 41.1% عام 2050، ويُلاحظ بشكل واضح انخفاض كمية العجز المائي خلال فترة استثمار السد من عام 2020 إلى عام 2030 بالمقارنة مع السنوات السابقة، ليتزايد بنسب أقل مما هو عليه في السيناريو الرئيسي الأول حتى عام 2050، وسيبقى هناك عجز مائي واضح في تلبية التزامات الزراعة، ولاسيما الزراعة 5

ما بعد سد قطينة والزراعة المعتمدة على المياه الجوفية (الزراعة 4) ولكن بنسب أقل نسبياً عن ذات السيناريو بدون استثمار سد زيتا، كما في الشكل (50).



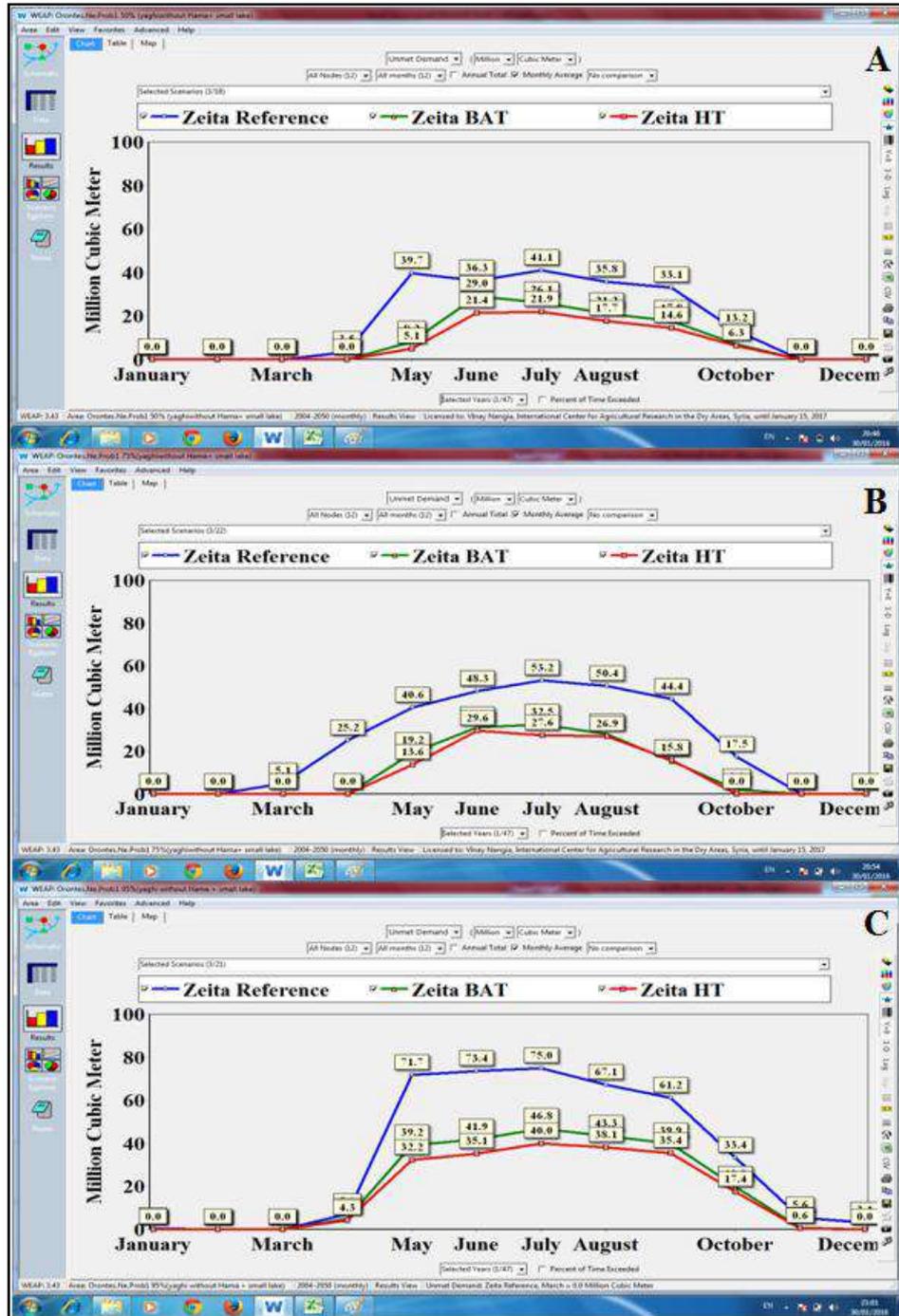
الشكل (50) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو المرجعي الفرعي من السيناريو الرئيسي الثاني في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

وتطبيق السيناريوهين (BAT و HT) في ظل استثمار سد زيتا، يُلاحظ ارتفاع فعالية الحوض المائي المدروس بشكل صغير نسبياً بالمقارنة مع ذات السيناريو (HT) في حالة السيناريو الرئيسي الأول عام 2050، حيث ستصل إلى 82.3% في الحالة (A)، و70.7% في الحالة (B)، و28% في الحالة (C)، ويُفسّر ذلك بأن البرنامج استثمار مياه سد زيتا لتلبية حاجة مياه الشرب والاستخدام المنزلي بالدرجة الأولى كما افترض، والصناعة (1) بالدرجة الثانية والمتبقي لتلبية أغراض الزراعات (1، 2، 3) ذوات الطلب المائي القليل بالمقارنة مع الزراعتين (4 و5) واللتين تؤثران بشكل كبير على فعالية الحوض المائي المدروس، كما في الشكل (51).



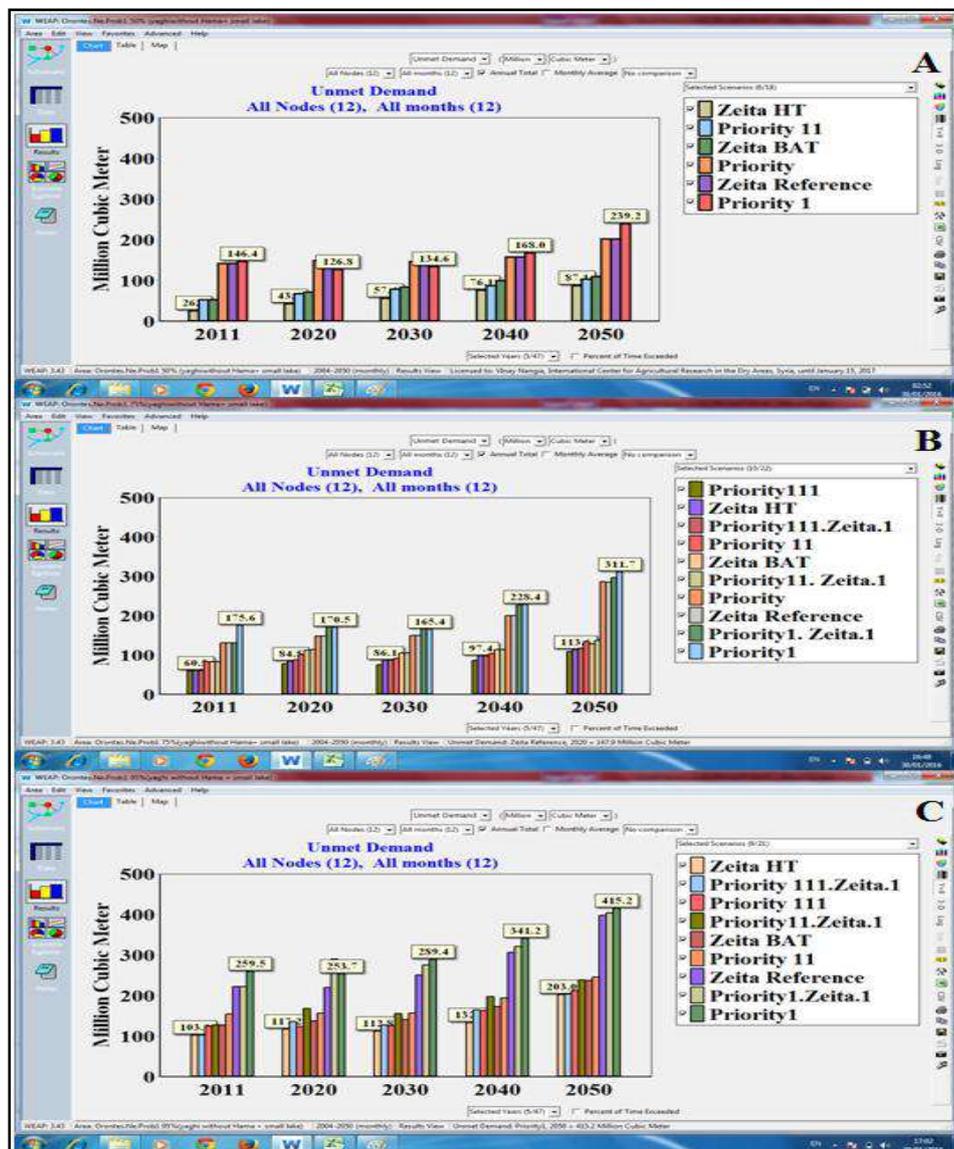
الشكل (51) العجز المائي المتوقع عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثاني (استثمار سد زيتا) والسيناريو الفرعي (HT) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

ويؤكد على ذلك نتائج البرنامج الشهرية عند الحالات الثلاث من السنوات الهيدرولوجية (الطبيعية والجافة والجافة جداً) ولاسيما بعد تطبيق السيناريو HT بالمقارنة مع ذاته في السيناريو الرئيسي الأول، حيث ستتخفص كمية العجز المائي في شهر الذروة تموز لتبلغ 21.9 م.م³ و 27.6 م.م³ و 40 م.م³ عند حالات التقلبات المناخية الثلاث على التوالي عام 2050 بالمقارنة مع السيناريوهين (المرجعي و BAT)، وهي متقاربة مع كميات العجز المائي في ذات الشهر في السيناريو الرئيسي الأول عند ذات السيناريوهات، كما في الشكل (52).



الشكل (52) العجز المائي الشهري المتوقع عام 2050 في السيناريوهات الفرعية من السيناريو الرئيسي الثاني (استثمار سد زيتا) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

وفي حال تم إعطاء أولوية طلب (1) لتعبئة سد زيتا مع تأمين التزامات مياه الشرب والاستخدام المنزلي، ستتزايد كمية العجز المائي في الحالتين الجافة والجافة جداً بالمقارنة بما هو مفترض في السيناريو المرجعي والسيناريوهين (BAT) و (HT) حيث تعبئة سد زيتا تأخذ أولوية طلب (4)، ولكن هذا العجز يعود معظمه للفاقد الكبير في بحيرة قطينة والالتزامات ما بعدها، لذا يُفضّل ولاسيما في سنوات الجفاف تخزين المياه في سد زيتا الذي لا تتجاوز فواقد التبخر العظمى فيه 7.5 م³/سنة، بدلاً من تحويل المياه إلى سد قطينة لتأمين متطلبات التدفق البيئي، حيث أن تأمين هذه المتطلبات لسد قطينة يتطلب وسطياً إرسال 90 م³/سنة من المياه إلى السد، ففواقد التبخر لوحدتها تبلغ 50 م³/سنة عند هذه الكمية من الواردات المائية. والأمر ذاته بالنسبة لنتائج باقي السيناريوهات (Priority1 و Priority و Priority11 و Priority111)، كما في السيناريو الرئيسي الأول، وهذا توافق مع نتائج (خزام، 2010)، كما في الشكل (53).



الشكل (53) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثاني (استثمار سد زيتا) وفقاً لتطبيق الأولويات في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

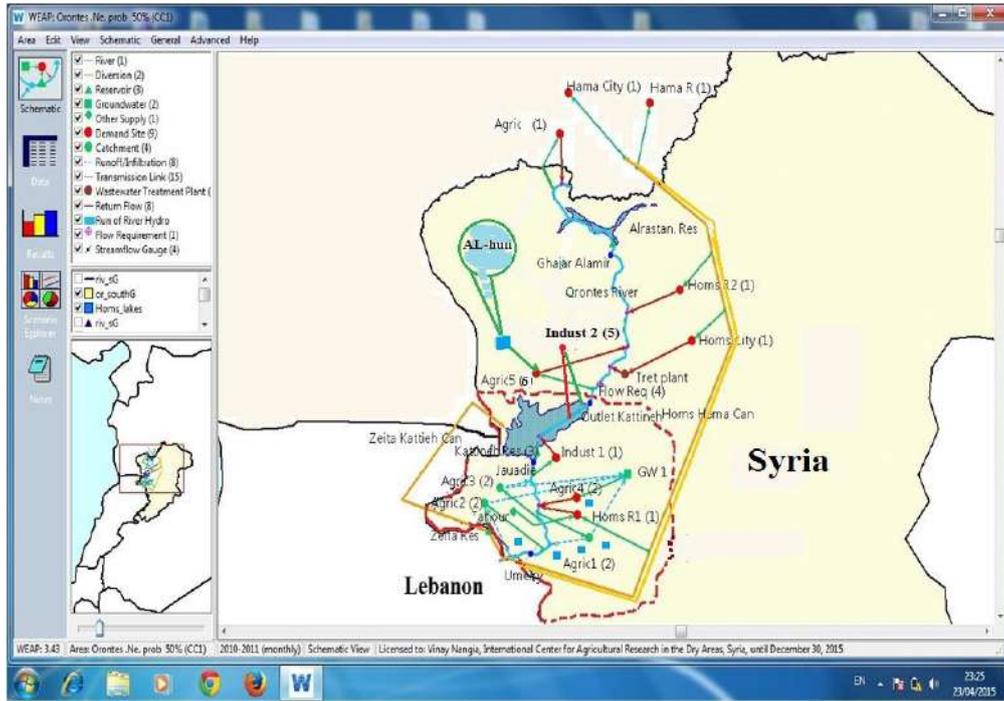
6-2-3-3- السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي):

اقترح هذا السيناريو كحل لخفض نسب العجز المائي في مواقع الطلب الزراعي المسببة للعجز المائي كونها المستهلك الأكبر للمياه، ورفع إنتاجية الماء الزراعي المتدنية في المنطقة المدروسة، بعد تطبيق السيناريوهين (BAT و HT) واستثمار سد زيتا الذي ظهر بالغ أثره على تلبية التزامات الأولوية الأولى كون مياه تخزينه صالحة للشرب. حيث أثبتت النتائج السابقة أنّ فعالية الحوض المائي المدروس ماتزال بحدود متوسطة إلى متدنية في حالي السنوات الجافة والجافة جداً عام 2050 على التوالي. وتجلّى معظم العجز المائي في المجال الزراعي كونه الأولوية المتبقية بعد تلبية متطلبات الأولويتين الأولى والثانية حتى عام 2050، ولاسيما بالنسبة لتلبية التزامات الزراعة (5) ما بعد سد قطينة، وعليه يقترح هذا السيناريو ما يلي:

- تطبيق تقنيات حصاد المياه في الجهة الجنوبية والجنوبية الشرقية من حوض سهل الحولة (C) واسترجار المسيلات المحصودة إلى نقاط تخزين مائية منخفضة بحسب جيولوجية وجغرافية الحوضين الفرعين (B و C) بهدف ردف شبكة ري حمص المغذية لموقع الطلب الزراعي (5) من مياه سد قطينة والتي غالباً ما تكون غير كافية. حيث تمّ اقتراح ذلك بعد النظر إلى عدة دراسات سابقة مثل رمضان (2002) ورعد (2009) والتي تُشير إلى معاناة حوض سهل الحولة من الغمر المائي في أشهر الشتاء والربيع نتيجة معدلات التساقط العالية وشدها ونفاذية التربة الضعيفة والمعدومة في بعض الأماكن وعدم وجود شبكات صرف فعّالة، حيث تتزايد كمية المياه الجارية (المسيلات) من شهر شباط إلى نيسان بنتيجة ذوبان الثلوج في هضبة شين وجبال الناصرية المتاخمة للموقع، وهذا قد نتج عنه أضرار مادية كبيرة في منطقة الحولة تجاوزت تكاليفها 28 مليون ل.س عام 2003/04 بحسب ما نُشر في صحيفة تشرين من قبل مديرية الموارد المائية بحمص. ويتطبيق هذه التقنيات وإنشاء بحيرات اصطناعية صغيرة وزراعة الشجيرات حولها وتغطيتها قدر الإمكان لمنع التبخر والتسرب بحيث تكون سعتها التخزينية صغيرة (0.4-0.6 م³) بعد دراسة تكاليف إنشائها ومقارنتها مع النتائج المتوقعة جزاء استثمارها الزمني، وهذا طبعاً بعد معالجة هذه المياه المحصودة وإعادة استعمالها بدلاً من ضياعها وتلوّثها، وتنمية الثروة السمكية فيها، إضافةً لسقاية الماشية سيتم خفض الاستنزاف الهائل للمياه الجوفية في المكان، وإعادة تجدها وتقجّر الينابيع من جديد ولاسيما خلال السنوات الرطبة والرطوبة جداً، والتي جفّت معظمها في الآونة الأخيرة، وشيبه ذلك طُبّق في محافظة حماه بجانب منطقة القنطرة (مديرية حوض العاصي بحماه، 2011). وبحسب دراسة الشّعار (2001) و(2004) UNDP وتقارير الشركة العامة للدراسات المائية بحمص (2010)، قُدّرت كمية المياه الممكن حصادها بنحو 45 م³ في السنوات الرطبة، و35-40 م³ في السنوات الطبيعية، لتتناقص إلى 15-22 م³ في السنوات الجافة والجافة جداً.

- تطبيق برمجة الري باستخدام البرنامج MABIA المربوط مع برنامج WEAP، على أهم المحاصيل المروية في المنطقة المدروسة، حيث تتوفر بيانات كافية لمحاكاة الواقع والتحقق من نتائج البرنامج، والذي يأخذ بعين الاعتبار نسبة الاستنزاف الرطوبي العظمى المسموح بها (Maximum allowable depletion, MAD) بحسب قوام التربة واحتياجات المحاصيل المزروعة الفعلية (Jensen et al., 1990; Martin, 2001; Callison, 2012; Yaghi et al., 2013). وهذا سيتطلب إنشاء نقاط تجميع مائية صغيرة قريبة من النهر وروافده، يتم تعبئتها في أشهر الشتاء حيث يكون كلاً من التدفق والهطول المطري في ذروتها والطلب على الماء

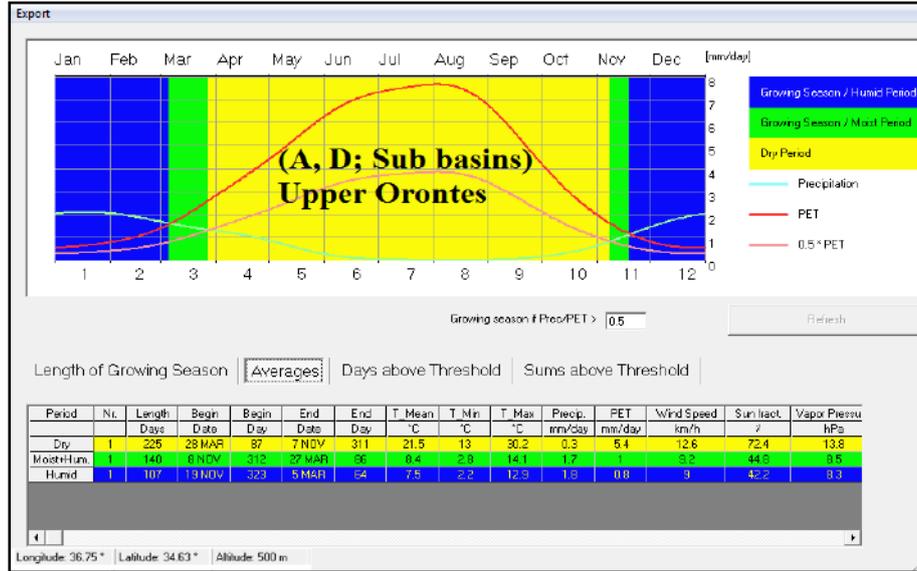
الزراعي قليل، وذلك بغاية الاستفادة منها في برمجة عملية الري في أشهر الربيع والصيف، والتي ماتزال معتمدة على نظام التزويد المائي السطحي الدوري في حوض العاصي الأعلى (أي إضافة الماء على فترات زمنية متساوية محددة) وفي هذه الحالة تكون أنظمة الري مصممة على أساس المناوبة في تجهيز الماء للحقول وذلك في مواعيد مثبتة مسبقاً، ولصياغة هذه الاقتراحات ضمن البرنامج واستخراج النتائج بلغة الأرقام ومحاكاة الواقع الفعلي، تمّ تمثيل مواقع الطلب ولاسيما الزراعي على شكل مستجمعات مائية (Water Catchments) وإدخال البيانات الخاصة بكل مستجمع في البرنامجين المربوطين مع بعضهما WEAP-MABIA، كما في الشكل (54).



الشكل (54) الواقع الحالي لتزويد مواقع الطلب بالمياه لأغراض مختلفة في السيناريو الرئيسي الثالث.

أما بالنسبة لإدخال البيانات المطلوبة للبرنامج الضمني MABIA فقد تمّ حساب التبخر-نتح المرجعي بواسطة البرنامج (ET₀ Calc) وتصحيحه بواسطة البرنامج New LocClim في كل مستجمع ودراسة العوامل المناخية التي لها علاقة بالتوازن المائي للمياه الجوفية المتجددة وهي الأمطار (P) والتبخر-نتح الأعظمي (PET)، لاستنتاج الزيادة المائية [مجموع الجريان السطحي وتغذية المياه الجوفية ورطوبة التربة (الماء الأخضر)] عندما (P>PET) والنقصان المائي عندما (PET>P) في كل مستجمع مائي مدروس (Brickle et al., 1995). حيث صيغت على شكل مخططات باعتبار الحالة المناخية الجافة هي السائدة في المنطقة المدروسة، ومقارنة معدل الهطول المطري لاحتمال سنة جافة (75%) مع التبخر-نتح الأعظمي وتحديد فترات الاستفادة من الهطول المطري في ري المحاصيل المزروعة، والتي يبدأ موعد زراعتها في أشهر الخريف والشتاء والربيع وتطبيق تقنيات حصاد المياه والري التكميلي، بناءً على تقاطع منحنى (PET) مع منحنى (P)، وهذا توافق مع نتائج عبد الناصر (2011) في أربيل بالعراق، والذي حسب يدويّاً الزيادة المائية والنقصان بواسطة المعادلات الرياضية.

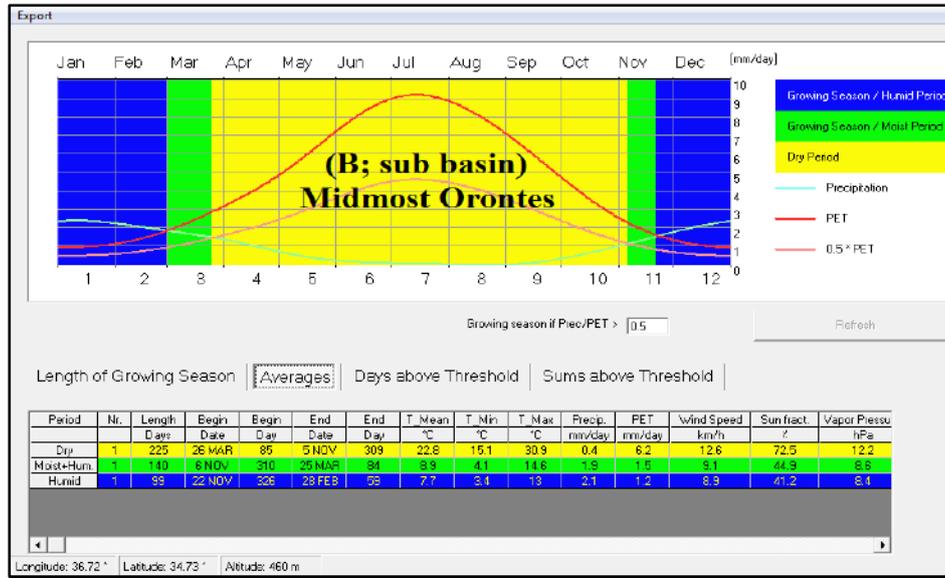
أظهرت النتائج أن معدل الهطول المطري لاحتتمال 75% (سنة جافة) سيبلغ بنحو 1.8 مم/يوم خلال الفترة الممتدة من 19 تشرين ثاني إلى 5 آذار (فترة النمو الملونة بالأزرق حيث أشهر الشتاء) في حين سيتناقص إلى 1.7 مم/يوم خلال الفترة الممتدة من 6 آذار إلى 27 آذار ومن 8 إلى 18 تشرين ثاني (فترة النمو الملونة بالأخضر حيث أشهر الربيع والخريف)، ويستمر بالتناقص إلى انعدامه خلال أشهر الصيف في الحوضين الفرعيين (A و D) في العاصي الأعلى، كما في الشكل (55).



الشكل (55) مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة بتوزيع بيرسون III خلال الفترة الممتدة (1975-2010)] في الحوضين الفرعيين (A و D) في العاصي الأعلى.

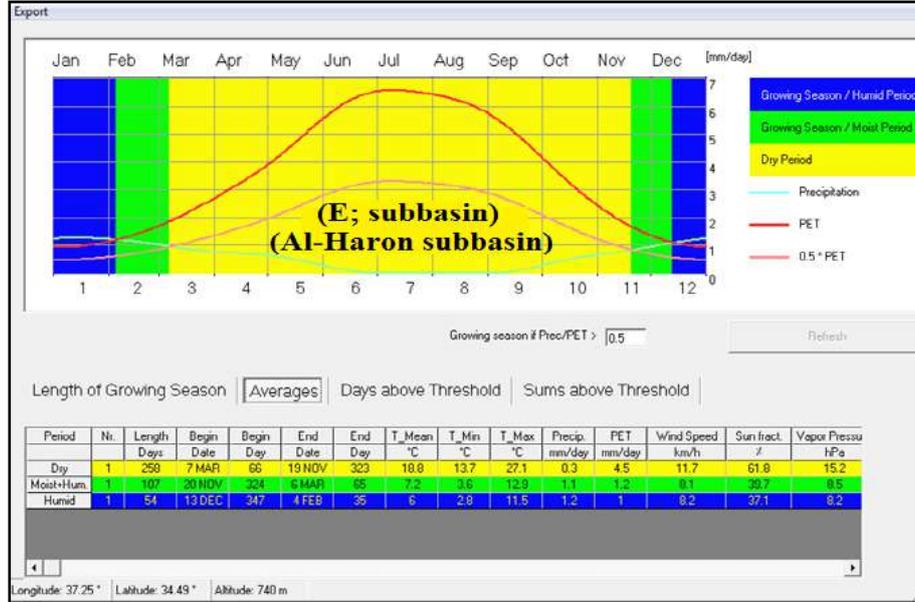
وتتجلى الزيادة المائية بمعدل 103 مم خلال أشهر الشتاء حيث يكون التبخر - نتح الأعظمي يساوي التبخر - نتح الحقيقي، ويسيل معظم هذه الزيادة المائية بعد إشباع التربة إلى حوض وادي ربيعة وروافد النهر، وتنتهي الفائدة العظمى من مياه الأمطار في ري المحاصيل خلال الثلثين الأخيرين من شهر آذار لتبدأ في منتصف شهر تشرين ثاني حيث يكون معدل الهطول المطري أكبر من نصف معدل التبخر - نتح الأعظمي، وهنا يلعب الري التكميلي دوراً هاماً في زيادة إنتاجية الماء الزراعي، ولاسيما على محصول القمح الذي يحتل النسبة العظمى من حيث المساحة المزروعة بالمنطقة. وبصيانة تقنيات حصاد ونشر المياه الموجودة بالمكان خلال أشهر الشتاء بحسب جيولوجية المنطقة يُمكن الاستفادة بنحو (0.6-0.8) م³ من المسيلات المتجمعة في حوض وادي ربيعة (D) عند هذه الحالة من السنوات الهيدرولوجية، وهذا توافق مع نتائج (خزام، 2010) في حوض العاصي الأعلى. أما النقصان المائي فبلغ بنحو 1170 مم خلال الفترة الجافة الممتدة من نهاية شهر آذار إلى العشر الأول من شهر تشرين ثاني (الملونة باللون الأصفر) حيث نصف معدل التبخر - نتح الأعظمي أكبر من معدل الهطول المطري. أما بالنسبة للحوض الفرعي (B) في العاصي الأوسط ما بعد سد قطينة سيبلغ معدل الهطول المطري لاحتتمال 75% (سنة جافة) بنحو 2.1 مم/يوم خلال الفترة الممتدة من 22 تشرين ثاني إلى 28 شباط (فترة النمو الملونة بالأزرق حيث أشهر الشتاء) في حين سيتناقص إلى 1.9 مم/يوم خلال الفترة الممتدة من 1 آذار إلى 25 آذار ومن 6 إلى 21 تشرين ثاني (فترة النمو الملونة بالأخضر حيث أشهر الربيع والخريف) ويستمر بالتناقص إلى

انعدامه خلال أشهر الصيف، كما في الشكل (56). وتتجلى الزيادة المائية بمعدل 117.4 مم خلال أشهر الشتاء حيث يكون التبخر- نتح الأعظمي يساوي التبخر- نتح الحقيقي، أما النقصان المائي فبلغ بنحو 948.3 مم خلال الفترة الجافة الممتدة من نهاية شهر آذار إلى العشر الأول من شهر تشرين ثاني (الملونة باللون الأصفر) حيث نصف معدل التبخر- نتح الأعظمي أكبر من معدل الهطول المطري، وهذا توافق مع نتائج كلاً من Falkenmark and Rockström (2006) و Schuol et al. (2008) و Mauget and Pauw (2012).

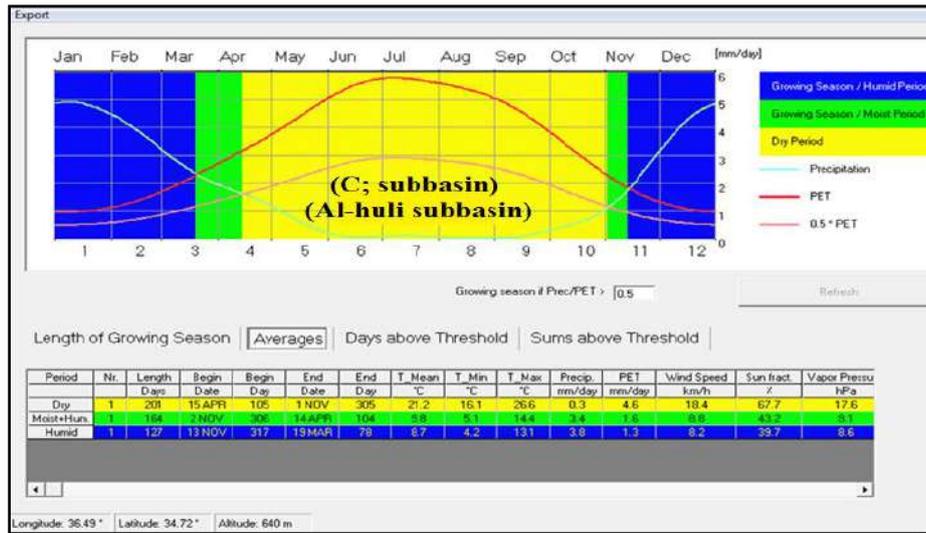


الشكل (56) مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة بتوزيع بيرسون III خلال الفترة الممتدة (1975-2010)] في الحوض الفرعي (B) في العاصي الأوسط.

في حين سيبلغ معدل الهطول المطري لاحتمال 75% (سنة جافة) في الحوض الفرعي (E) بنحو 1.2 مم/يوم خلال الفترة الممتدة من 13 كانون أول إلى 4 شباط (فترة النمو الملونة بالأزرق حيث أشهر الشتاء) وسيتناقص إلى 1.1 مم/يوم خلال الفترة الممتدة من 5 شباط إلى 6 آذار ومن 20 تشرين ثاني إلى 12 كانون أول (فترة النمو الملونة بالأخضر حيث أشهر الربيع والخريف)، ويستمر بالتناقص إلى انعدامه خلال أشهر الصيف، كما في الشكل (57). وتتجلى الزيادة المائية بمعدل قليل جداً وتبلغ بنحو 11.9 مم خلال شهري كانون أول وثاني، أما النقصان المائي فسيكون بنحو 1110 مم خلال الفترة الجافة الممتدة من بداية شهر آذار إلى العشر الثاني من شهر تشرين ثاني (الملونة باللون الأصفر) حيث نصف معدل التبخر- نتح الأعظمي أكبر من معدل الهطول المطري. وعند المقارنة مع الزيادة المائية في الحوض الفرعي (C) يُلاحظ وجود فارق كبير جداً حيث بلغت 296 مم، وعليه اقترح تطبيق تقنيات حصاد المياه في هذا الحوض، والاستفادة من المياه المحصودة في برمجة عملية الري للمحاصيل المتنوعة المزروعة في العاصي الأوسط ما بعد بحيرة قطينة، كما في الشكل (58).

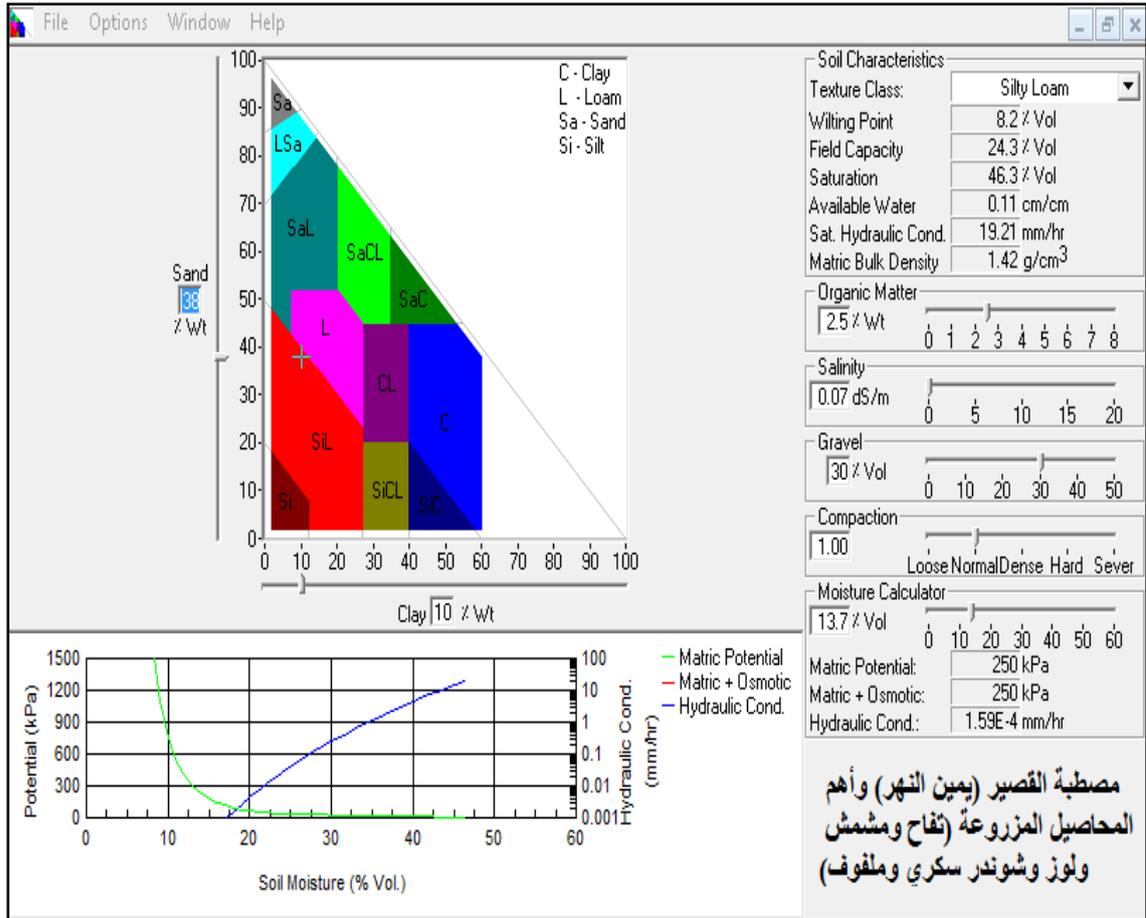


الشكل (57) مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة بتوزيع بيرسون III خلال الفترة الممتدة (1975-2010)] في الحوض الفرعي (E).



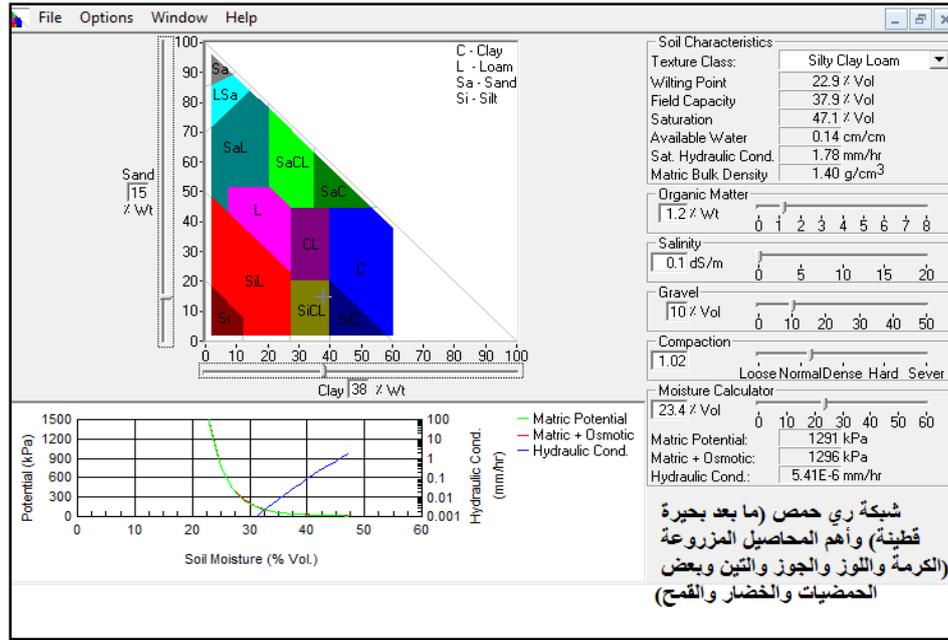
الشكل (58) مخطط الموازنة المائية المناخية لاحتمال سنة جافة (75%) [متوسط القيم المحللة بتوزيع بيرسون III خلال الفترة الممتدة (1975-2010)] في الحوض الفرعي (C).

واستكمالاً لمتطلبات برنامج MABIA في محاكاة الواقع الفعلي لتربة كل مستجمع، تم نمذجة مواصفات التربة الموجودة في الملحق (1) ببرنامج SPAW، فكانت في الحوض الفرعي (D) على يمين النهر سلطنة لومية ونسبة الرمل بحدود 38%، وبلغ الماء المتاح للنبات بنحو 110 مم/م، ومعدل الرش بنحو 19.2 مم/سا، كما في الشكل (59). وهذا يقتضي خفض قيمة معامل الاستنزاف الرطوبي العظمى المسموح بها (MAD) وزيادة تكرارية الري بكميات قليلة بالتلاؤم مع منطقة انتشار الجذور الفعالة ومواصفات كل محصول مزروع، واحتياجه الفعلي للوصول إلى إنتاج مقبول ضمن ظروف المستجمع المائي الأخرى، وهذا توافق مع نتائج (Hu et al 2010) عند نمذجة الري بالمياه الجوفية في الصين حيث استنتجوا موديل رياضي لكل نوع تربة باستخدام الليزومتات الوزنية.



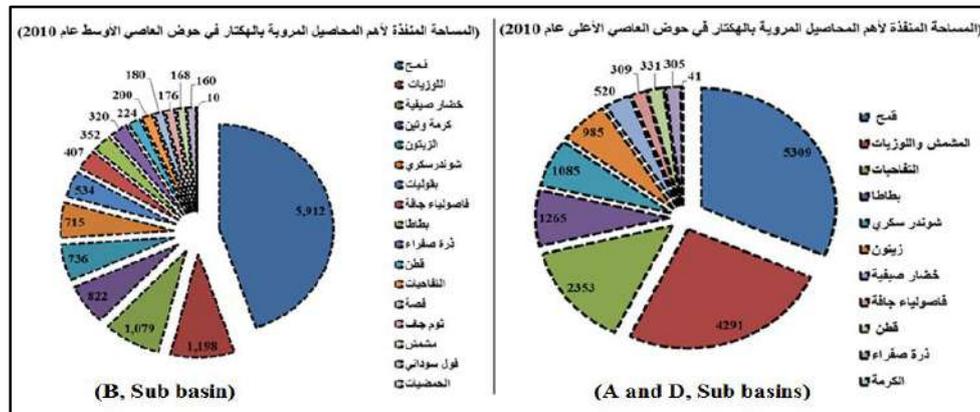
الشكل (59) نمذجة مواصفات التربة الهيدروفيزيائية في الحوض الفرعي (D).

أما بالنسبة لتوصيف التربة في الحوض الفرعي (A) عند سرير النهر، فهي بنية رمادية اللون تزداد نسبة الرمل فيها لتبلغ 65%، ويصبح قوامها رملي لوم، وقد بلغ الماء المتاح للنبات بنحو 80 م/م، ومعدل الرشح بنحو 36.6 م/م/سا. وعليه يجب خفض قيمة (MAD) أكثر مما عليه في الحوض الفرعي (D) وتقليل التباعد بين الريات. في حين اختلفت مواصفات التربة على يسار النهر لتصبح بنية محمرة اللون بقوام لومي وقد بلغ الماء المتاح للنبات بنحو 140 م/م، ومعدل الرشح 8.99 م/م/سا، وعليه تكون قيمة (MAD) أعلى مما هي عليه في الحالتين السابقتين. وعند دراسة حالة التربة في الحوض الفرعي (B) في العاصي الأوسط وفقاً للجدول (14)، يُستنتج أنها محمرة غامقة اللون بقوام سلتي طيني لومي، حيث يُقدّر الماء المتاح بنحو 140 م/م، ومعدل الرشح أقل مما سبق ويبلغ بنحو 1.78 م/م/سا، وهذا توافق مع نتائج سليمان وسلوم (2013)، كما في الشكل (60). أيضاً من أهم مدخلات البرنامج نسب المساحة التي يغطيها كل محصول لذا تمّ تحديد المساحة المنفذة لمعظم المحاصيل المروية الشائعة بالمنطقة المدروسة عام 2010، والتي تجلّت في الأحواض الفرعية (A و D و B) حيث توفر المياه السطحية والجوفية، ويُلاحظ من الشكل (61) أنّ تنوع المحاصيل المزروعة في الحوض الفرعي (B) أكثر منها في الحوضين الفرعيين (A و D).



الشكل (60) نمذجة مواصفات التربة الهيدروفيزيائية في الحوض الفرعي (B).

وبشكل إجمالي كانت النسبة العظمى من المساحات لمحصول القمح المروي (37%)، تليه الأشجار المثمرة (المشمش واللوزيات، 19%)، ومن ثم التفاحيات (9%)، والشوندر السكري الخريفي (6%)، والزيتون (6%)، والبطاطا (5%)، والخضار الصيفية [البندورة والخيار والباذنجان والبصل] (5%)، وأشجار الكرمة والتين (3%)، والفاصولياء الجافة (2%)، والذرة الصفراء (2%)، والقطن (2%)، والبقول والحب والبقول السوداني والثوم الجاف والحمضيات وغيرها (4%). وأدخلت نسب المساحة لكل محصول وخواصه مع قوام التربة والتبخّر - نتج المرجعي المحسوب، بالإضافة لكافة مواصفات المستجمع المائي بالبرنامج المتكامل WEAP-MABIA، وعليه تمّ استنتاج عدد الريات في كل طور فيزيولوجي للمحصول، وكمية المياه اللازمة بحسب كل طريقة ري ومعامل الاستنفاذ الرطوبي الأعظمي المسموح به، للحصول على إنتاج مقبول ضمن الظروف البيئية لكل مستجمع مائي، وتبين من الجداول (27، 28، 29) نتائج برمجة الري على محصول البطاطا الخريفية باستخدام البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA)، أما بقية المحاصيل فقد أُرقت نتائج أهمها في الملحق (7).



الشكل (61) أنواع ومساحة المحاصيل المزروعة في حوضي العاصي الأعلى والأوسط.

الجدول (27) نتائج برمجة الري على محصول البطاطا في الترب السلتية اللومية في الحوض الفرعي (D) باستخدام البرنامج المتكامل WEAP-MABIA.

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	طول مرحلة النمو (يوم)	
	0.75	0.75	0.45	0.3	العمق الفعال للجذور (م)	
	1.72	3.11	4.87	6.02	التبخر-نتج المرجعي (ET ₀) (م/يوم)	
	0.75	1.15	0.75	0.45	معامل المحصول (Kc)	
	1.29	3.58	3.65	2.71	الاستهلاك المائي للمحصول (م/يوم)	
333.59	32.25	128.75	91.31	81.27	الاستهلاك المائي خلال كل مرحلة نمو ET _(Crop/stage) (مم)	
		0.35	0.35	0.3	معامل الاستنفاد الرطوبي (p)	
247.5	82.5	82.5	49.5	33	عمق الماء المتاحة TAW	
56.10		28.88	17.33	9.90	عمق الري الصافي D _{net} (مم)	
		4.46	5.27	8.21	قبل التدوير N	عدد الريات الواجب تقديمها
17		4	5	8	المعدلة بعد التدوير N _(adjusted)	
60.61		32.19	18.26	10.16	عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي D _(net-actual) (مم)	
101.02		53.65	30.44	16.93	عمق الري الإجمالي D _(gross) (مم)	
502.23		214.59	152.19	135.45	مم	كمية الماء الواجب تقديمها خلال كل مرحلة نمو
5022.2		2145.9	1521.88	1354.5	م ³ /هـ	
401.78		171.67	121.75	108.36	مم	
4017.8		1716.72	1217.50	1083.6	م ³ /هـ	الري بالرش
334.82		143.06	101.46	90.3	مم	الري بالتنقيط
3348.2		1430.6	1014.58	903	م ³ /هـ	

الجدول (28) نتائج برمجة الري على محصول البطاطا في الترب الرملية اللومية في سرير النهر في الحوض الفرعي (A) باستخدام البرنامج المتكامل WEAP-MABIA.

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	
180	60	60	36	24	عمق الماء المتاحة TAW (عيار السقاية النظري أو الأعظمي، مم)	
40.80		21.00	12.60	7.20	عمق الري الصافي D _{net} (مم)	
		6.13	7.25	11.29	قبل التدوير N	عدد الريات الواجب تقديمها
21		7	8	6	المعدلة بعد التدوير N _(adjusted)	
37.20		18.39	11.41	7.39	عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي D _(net-actual) (مم)	
61.99		30.66	19.02	12.31	عمق الري الإجمالي D _{gross} (مم)	
502.23		214.59	152.19	135.45	مم	كمية الماء الواجب تقديمها خلال كل مرحلة نمو
5022.3		2145.90	1521.8	1354.5	م ³ /هـ	
401.78		171.67	121.75	108.36	مم	
4017.82		1716.72	1217.50	1083.6	م ³ /هـ	الري بالرش
334.82		143.06	101.46	90.3	مم	الري بالتنقيط
3348.18		1430.60	1014.58	903	م ³ /هـ	

الجدول (29) نتائج برمجة الري على محصول البطاطا في الترب السلتيّة الطينية اللومية في حوض العاصي الأوسط (B) واللومية في الحوض الفرعي (A) باستخدام البرنامج المتكامل WEAP-MABIA.

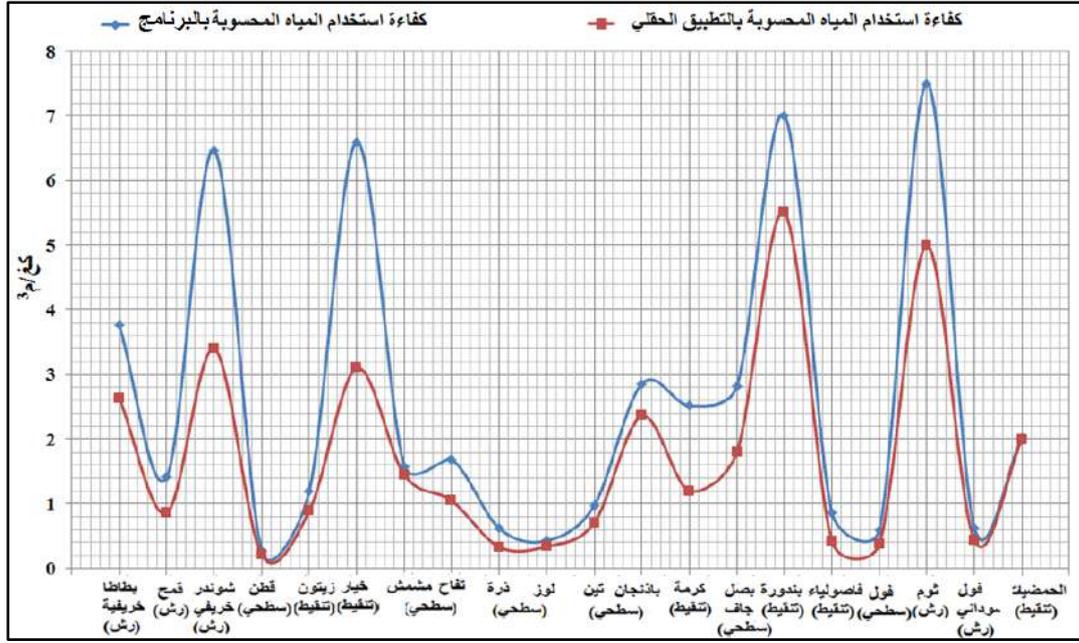
المجموع	النضج	تشكل الدرنات	النمو	الإنبات	(مراحل النمو)		
	11/30-11/6	11/5-10/1	9/30-9/6	9/5-8/7	التاريخ		
315	105	105	63	42	عمق الماء المتاح TAW (عيار السقاية النظري أو الأعظمي، مم)		
71.4		36.75	22.05	12.6	عمق الري الصافي D_{net} (مم)		
16		3.50	4.14	6.45	عدد الريات الواجب تقديمها		
		4	5	7	المعدلة بعد التدوير ($N_{adjusted}$)		
62.06		32.19	18.26	11.61	عمق الري الصافي الفعلي أو الحقيقي $D_{(net-actual)}$ (مم)		
103.44		53.65	30.44	19.35	عمق الري الإجمالي D_{gross} (مم)		
502.23		214.59	152.19	135.45	مم	الري السطحي	كمية الماء الواجب تقديمها خلال كل مرحلة نمو
5022.28		2145.9	1521.88	1354.5	م ³ /هـ		
401.78		171.67	121.75	108.36	مم	الري بالرش	
4017.82		1716.72	1217.50	1083.6	م ³ /هـ		
334.82		143.06	101.46	90.3	مم	الري بالتنقيط	
3348.18	1430.6	1014.58	903	م ³ /هـ			

حيث بلغت كمية المياه اللازم تقديمها للمحصول بطريقة الري السطحي (5022 م³/هـ)، و(4018 م³/هـ) بطريقة الري بالرش و(3348 م³/هـ) بطريقة الري بالتنقيط، بعدد ريات (16) في الترب السلتيّة الطينية اللومية في حوض العاصي الأوسط (B) واللومية في حوض العاصي الأعلى يسار النهر (A)، وبعدد ريات (17) في الترب السلتيّة اللومية في الحوض الفرعي (D)، وبعدد ريات (21) في الترب الرملية اللومية في سرير النهر، حيث كلما زاد محتوى التربة من الرمل قلّ حجم الماء المتاح، وعليه وجب خفض معامل الاستنزاف الرطوبي وزيادة عدد الريات بكميات قليلة، وهذا توافّق مع نتائج المحمد (2013) على محصول البطاطا الخريفية في محافظة حماه.

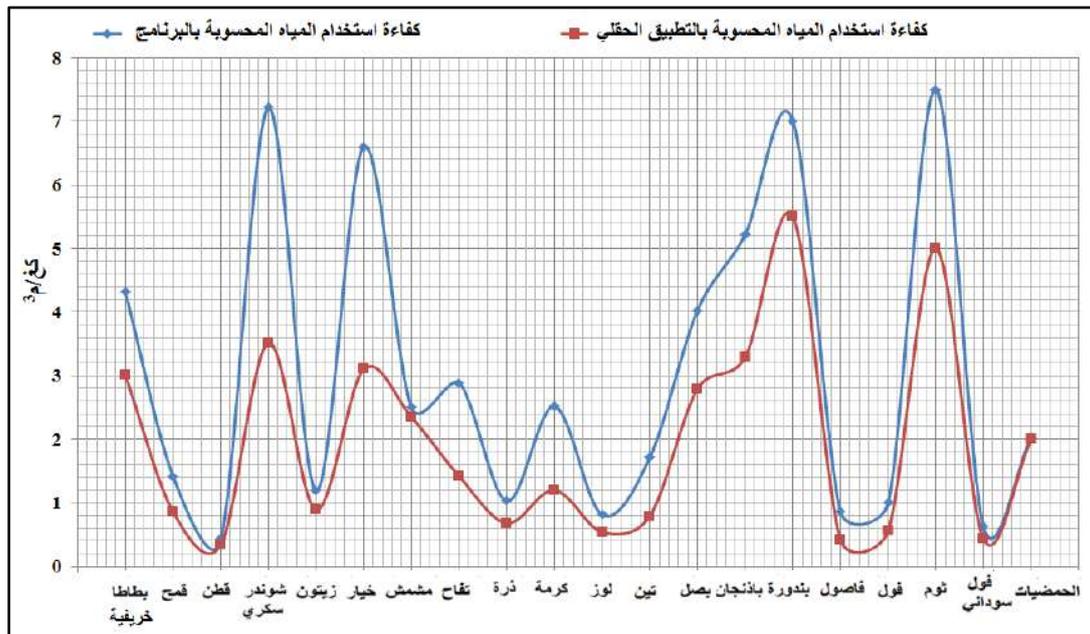
وهذا ما أكدته نتائج البرنامج في برمجة الري على محصول القمح والقطن والشوندر السكري والزيتون وباقي المحاصيل حيث ازداد عدد الريات وتناقص معدل الريّة الواحدة للمحصول المزروع في الترب الرملية اللومية عند سرير النهر في العاصي الأعلى (A)، عنه في الترب السلتيّة اللومية يمين النهر في العاصي الأعلى (A)، ليلبغ أدناه في الترب السلتيّة الطينية اللومية في العاصي الأوسط (B)، وهذا توافّق مع نتائج (Phocaides, 2000). وعند المقارنة مع حسابات التطبيق الحقلّي على ذات المحاصيل، يُلاحظ أنّ نسب التوفير في مياه الري بإتباع أنظمة الري الحديثة بالمقارنة مع طريقة الري السطحي التقليدي بالبرنامج تزيد بنحو 6% عنها بالتطبيق الحقلّي. وبالنظر للغة التي أعطاها البرنامج، واستنتاج متوسط كفاءة استخدام المياه (كغ/م³) بحسب طرائق الري الشائعة على المحاصيل المدروسة، يُلاحظ أنّها تزيد بنحو 34% عنها بالتطبيق الحقلّي، كما في الشكل (62).

بتطبيق أنظمة الري الحديث، ورفع كفاءة الري كما هو مقترح في السيناريو الفرعي (HT)، يُلاحظ ازدياد متوسط كفاءة استخدام المياه للمحاصيل المدروسة بالبرنامج عنها بالتطبيق الحقلّي بنحو 34% أيضاً، كما في الشكل (64). ويعود ذلك إلى القناعة المتأصلة لدى غالبية مزارعي المنطقة بأنّ الري الزائد يزيد الانتاج، حتى بعد استخدامهم لأنظمة الري الحديث، فبرمجة الري بالاعتماد على أسس صحيحة تلم بخصائص الترب

الهيدروفيزيائية وخصائص المحصول (العمق الفعال للجذور ومعامل المحصول والاستهلاك المائي حسب الأطوار الفينولوجية) تزيد من إنتاجية الماء الزراعي وتجنب المحاصيل خطر التعرض إلى إضافة مفرطة بالمياه تزيد عن حاجة المحصول الفعلية ينجم عنها تلفاً للمحصول أو الجفاف الفيزيولوجي الذي ينجم عن الغدق وقلة امتصاص الأوكسجين اللازم للتنفس وهذا توافق مع نتائج (Hussain et al., 2007).



الشكل (62) محاكاة نتائج كفاءة استخدام المياه لأهم المحاصيل المزروعة المستنتجة بالبرنامج والمقاسة في المنطقة المدروسة.



الشكل (63) محاكاة نتائج كفاءة استخدام المياه لأهم المحاصيل المزروعة المستنتجة بالبرنامج والمقاسة في المنطقة المدروسة بعد تطبيق السيناريو (HT).

ومن خلال الدراسة وتقصي المعلومات من مديرية زراعة حمص 2010، يُلاحظ عدم وجود توافق بين توزع مساحة المحاصيل المروية المنفذة وإنتاجيتها مع الخطة المائية الصادرة عن وزارة الزراعة والري لعام 2010 باستثناء المحاصيل الاستراتيجية الملزم زراعتها كالقمح، وهذا حثّ مزارعي المنطقة على استنزاف المياه الجوفية من خلال التوسع الرأسي بالزراعة المروية والتكثيف الزراعي لتحقيق متطلبات الخطة الزراعية السنوية بشكل ظاهري، وما يناسب الجدوى الاقتصادية التي يراها مريحة له في المنطقة المدروسة من وجهة نظر محدودة. لذا ظهرت في العقدين الماضيين مأساة جفاف العديد من الآبار والينابيع وتلوث البقية بعد أن كانت صالحة نوعاً ما للشرب والاستخدام المنزلي.

وعند تعميم هذه النتائج على جميع المساحة المروية المنفذة (Catchments) بحسب نسبة كل محصول في حوضي العاصي الأعلى والأوسط، يُستنتج أنه بالإضافة لرفع الإنتاج كماً ونوعاً، يُمكن توفير ما يقارب 70 م³ عند إتباع برمجة الري بالبرنامج بالمقارنة مع ما يطبق في أرض الحقل حتى بعد تطبيق السيناريو (HT) والذي يقترح تطبيق أنظمة الري الحديث ورفع كفاءة الري إلى 85%، كما في الجدول (30).

الجدول (30) كمية ونسبة توفير المياه التي يحققها البرنامج بعد تطبيق السيناريو (HT) على مستوى المساحة المنفذة في حوضي العاصي الأعلى والأوسط عام 2010.

المحصول	المساحة المروية المنفذة (هـ)	الكمية المقدمة وفق البرنامج (م ³ /هـ)	الكمية المقاسة (م ³ /هـ)	كمية المياه اللازمة وفق البرنامج (م.م ³ /سنة)	كمية المياه المقاسة (م.م ³ /سنة)	كمية التوفير (م.م ³ /سنة)	نسبة التوفير (%)
قمح	11221	3025	4655	33.94	52.23	18.29	0.35
مشمش ولوز	5657	5302	6440	29.99	36.43	6.44	0.18
تفاح	2553	5888	10570	15.03	26.99	11.95	0.44
شوندر سكري خريفي	1800	5665	9100	10.20	16.38	6.18	0.38
زيتون	1721	2516	3500	4.33	6.02	1.69	0.28
بطاطا خريفية	1617	3683	5014	5.96	8.11	2.15	0.27
خضار صيفية	1599	5172	7200	8.27	11.51	3.24	0.28
كرمة وتين	863	3535	5500	3.05	4.75	1.70	0.36
فاصولياء جافة	716	2570	3100	1.84	2.22	0.38	0.17
ذرة صفراء تكثيفية	625	4076	4400	2.55	2.75	0.20	0.07
فطن	555	7605	8800	4.22	4.88	0.66	0.14
فول حب جاف	534	2200	3200	1.17	1.71	0.53	0.31
فصة	180	8000	95000	1.44	17.10	15.66	0.92
ثوم جاف	176	2000	2600	0.35	0.46	0.11	0.23
فول سوداني	160	4300	6800	0.69	1.09	0.40	0.37
حمضيات	10	5400	7000	0.05	0.07	0.02	0.23
المجموع/ معدل موزون	29987	4105	6426	123.09	192.70	69.61	0.36

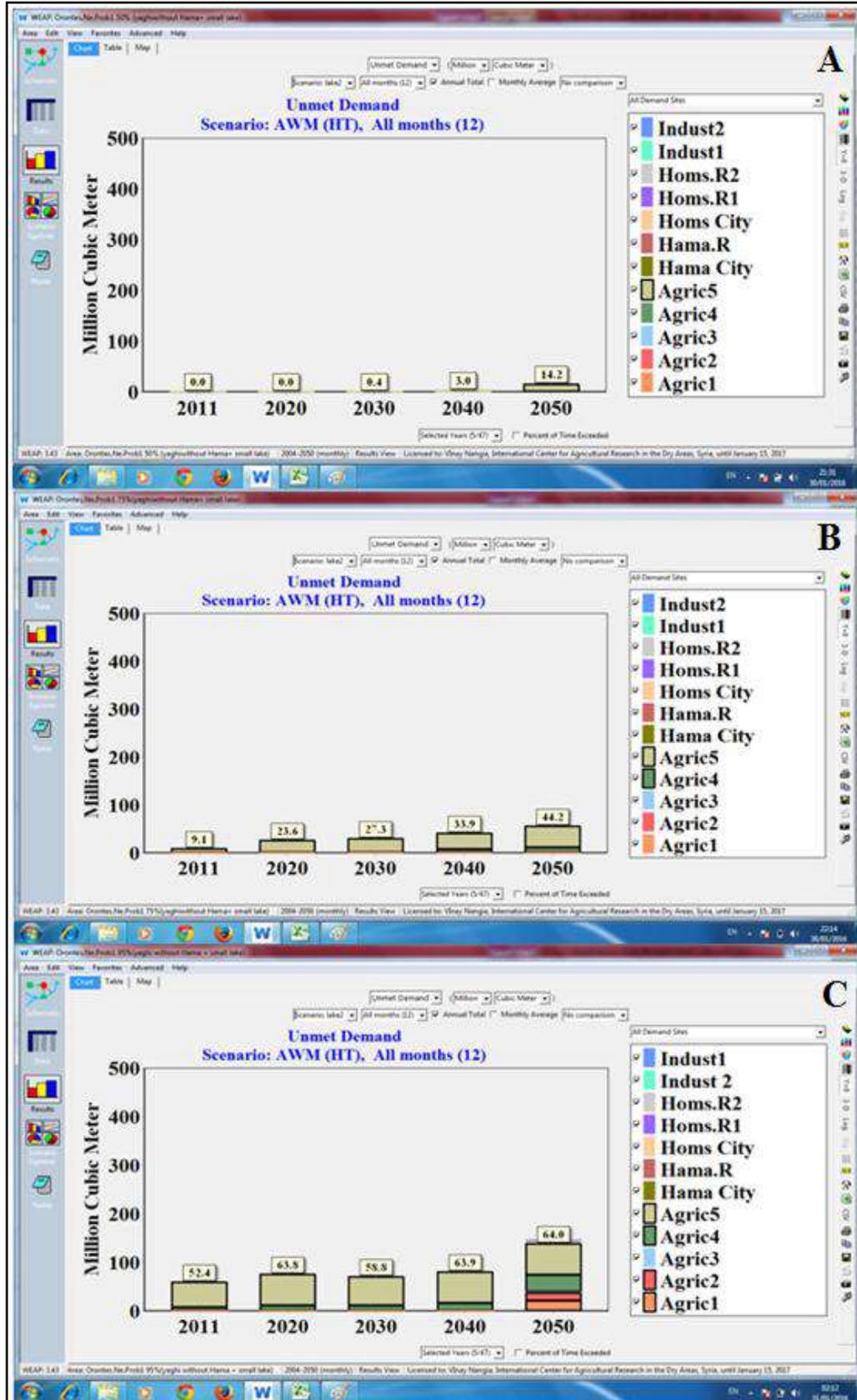
وهذه الكمية كافية لزراعة 17 ألف هكتار إضافي في المنطقة المدروسة في حال التوسع الأفقي للزراعة، ولا يُقترح ذلك إلا بعد تلبية متطلبات الأولويتين الأولى والثانية عام 2050، ومن الممكن التوسع الأفقي بشكل جزئي مع مراعاة تجدد المياه الجوفية في الحالتين الجافة والجافة جداً، حيث سينعكس ذلك على منظومة الحوض كاملاً عند التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية حتى عام 2050 باستخدام البرنامج المتكامل WEAP-MABIA بعد تطبيق السيناريو (HT) في السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي)، كما في الشكل (64):

• **حالة السنوات الطبيعية (A):** سيختفي العجز المائي في جميع مواقع الطلب في منظومة الحوض المدروس بشكل كامل حتى عام 2050، في حين سيبقى عجز مائي صغير سيبدأ من عام 2030 بنحو 0.4 م³ وبتزايد إلى أن يصل 14.2 م³ عام 2050 في تلبية احتياجات الزراعة 5 ما بعد سد قطينة فقط، حيث الاحتياجات المائية للمحاصيل المزروعة كبيرة جداً، والمتبقي في السد مع الرافد الإضافي المقترح من سهل الحولة لا يكفي تلبية طلباتها إلا بشكل جزئي بعد عام 2030، ناهيك أن تلبية احتياجات الزراعة 5 تُمثل آخر أولوية بعد تأمين مستلزمات المنشآت الصناعية والتدفق البيئي بعد سد قطينة، وعليه ستزداد فعالية الحوض المدروس لتصل إلى 97% بالمقارنة مع ذات السيناريو (HT) في السيناريو الرئيسي الأول (الواقع الراهن) عام 2050.

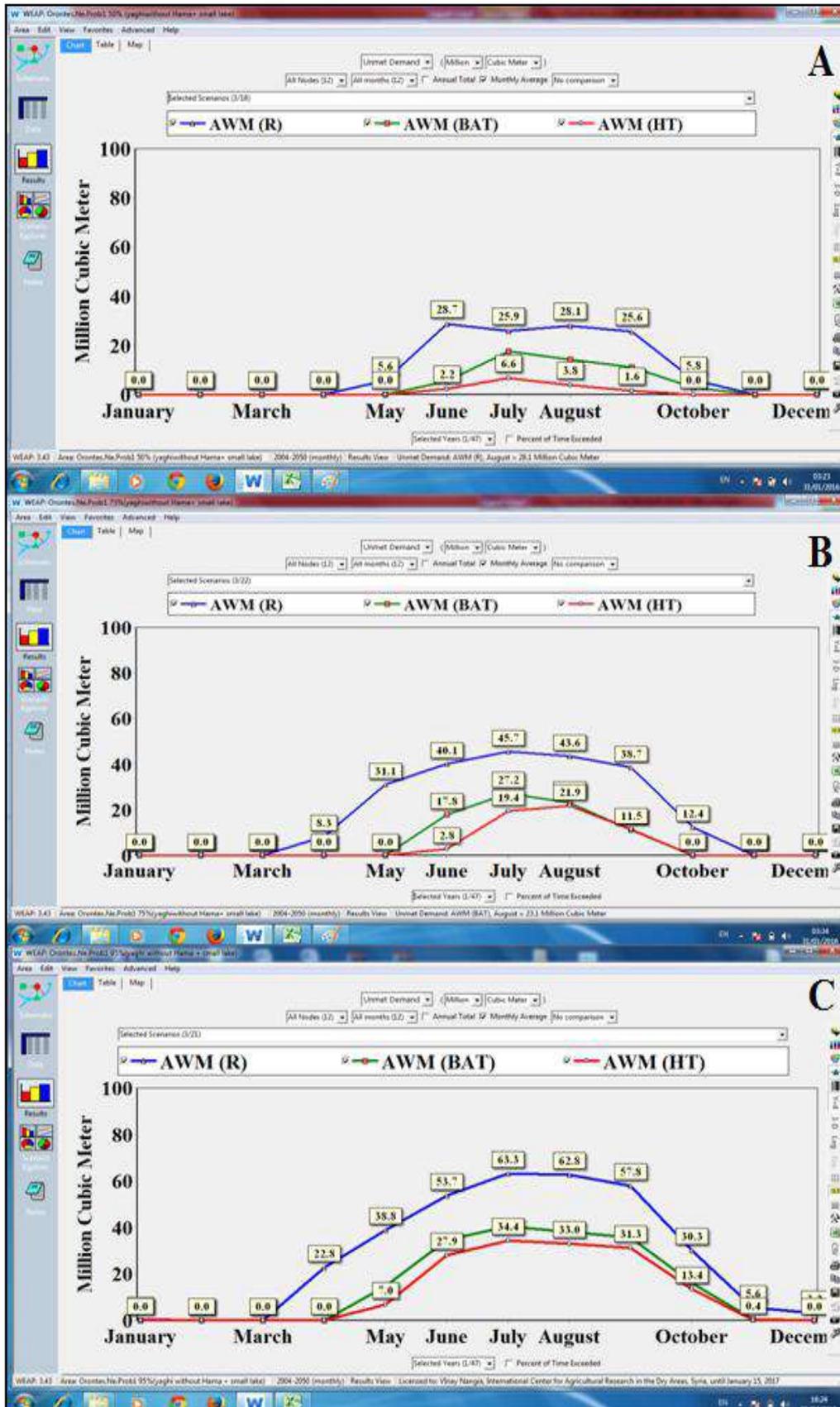
• **حالة السنوات الجافة (B):** سيختفي العجز المائي في معظم مواقع الطلب حتى عام 2050، باستثناء مواقع الطلب الزراعي 4 و5، إلا أنه سيبقى بنسب أقل من السيناريوهات السابقة لذات الحالة، حيث ستزداد فعالية الحوض المائي لتصل إلى 85.7% بالمقارنة مع ذات السيناريو (HT) في السيناريو الرئيسي الأول والتي بلغت 69.5% عام 2050.

• **حالة السنوات الجافة جداً (C):** سيختفي العجز المائي في أغلب مواقع الطلب حتى عام 2040، باستثناء مواقع الطلب الزراعي ولاسيما الزراعتين 4 و5، ولكن سيبقى بنسب أقل من السيناريوهات الرئيسية السابقة لذات الحالة المناخية من السنوات الهيدرولوجية والسيناريو الفرعي، وعليه ستزداد فعالية الحوض المائي لتصل إلى 47.6% بالمقارنة مع السيناريو الفرعي (HT) في السيناريو الرئيسي الأول والتي بلغت 27.9%، ويتجلى معظم العجز المائي في متطلبات الزراعة ما بعد السد وهذا غالباً ما يعوّض من استنزاف مياه الآبار الجوفية التي تزايد عددها بشكل هائل خلال الفترة (2004-2010).

وهذا ما أكدّه العجز المائي الشهري عند دراسة السيناريوهات الفرعية في السيناريو الرئيسي الثالث عام 2050، بالمقارنة مع السيناريو الرئيسي الثاني، كما ورد في الشكل (52) أنف الذكر. حيث سينخفض مقداره من 21.9 م³ إلى 6.6 م³ في شهر الذروة تموز بعد تطبيق السيناريو (HT) في الحالة المناخية الطبيعية (A)، ومن 27.4 م³ إلى 19.4 م³ في الحالة المناخية الجافة (B)، ومن 40.9 م³ إلى 34.4 م³ في الحالة المناخية الجافة جداً (C)، كما في الشكل (65). وهذا يُشير إلى أن استثمار سد زيتا في السيناريو الرئيسي الثاني يجب أن يرفق بتطبيق السيناريو الرئيسي الثالث ليظهر أثره بشكل واضح على إنتاجية القطاع الزراعي المائية في المنطقة، ولاسيما في الحالتين المناخيتين (B وC).



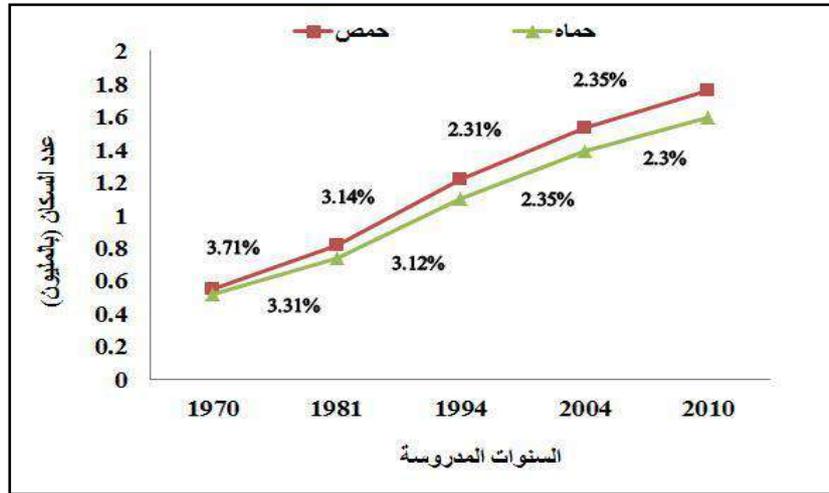
الشكل (64) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء الزراعي) والسيناريو (HT) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).



الشكل (65) العجز المائي الشهري المتوقع عام 2050 في السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء الزراعي) والسيناريو (HT) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

6-2-3-4- السيناريو الرئيسي الرابع (معدل النمو السكاني المنخفض):

بينت الدراسات الديموغرافية تناقص معدلات النمو السكاني في محافظتي حمص وحماه من 3.51% عام 1970 إلى 2.32% عام 2010. حيث يُعتبر معدل نمو السكان هو المؤشر ذو التأثير الفاعل والمحدد لعملية التنمية، فالمشكلة ليست بالتزايد السكاني إنما في معدل هذا التزايد الذي يفوق قدرة المجتمع على تلبية الاحتياجات الأساسية له، وإحداث التطور الاقتصادي المقابل، مما يؤدي إلى تدني مستوى الرفاه الاجتماعي، ويتحول النمو السكاني عندها إلى عنصر عائق للتطور عوضاً أن يكون داعماً له (سفر والضرير، 2003). ولكن بالرغم من تناقص هذا المعدل في المنطقة المدروسة، كان هنالك زيادة في الضغط على المصادر الطبيعية وبشكل خاص المائية منها والتغير فيها كماً ونوعاً، وهذا قضى إلى اختلال التوازن بين حاجة السكان والموارد المتاحة (Droubi, 2006)، حيث يظهر الشكل (66) تناقص معدل النمو السكاني وتزايد عدد السكان في محافظتي حمص وحماه (CBS-SYR, 2011).

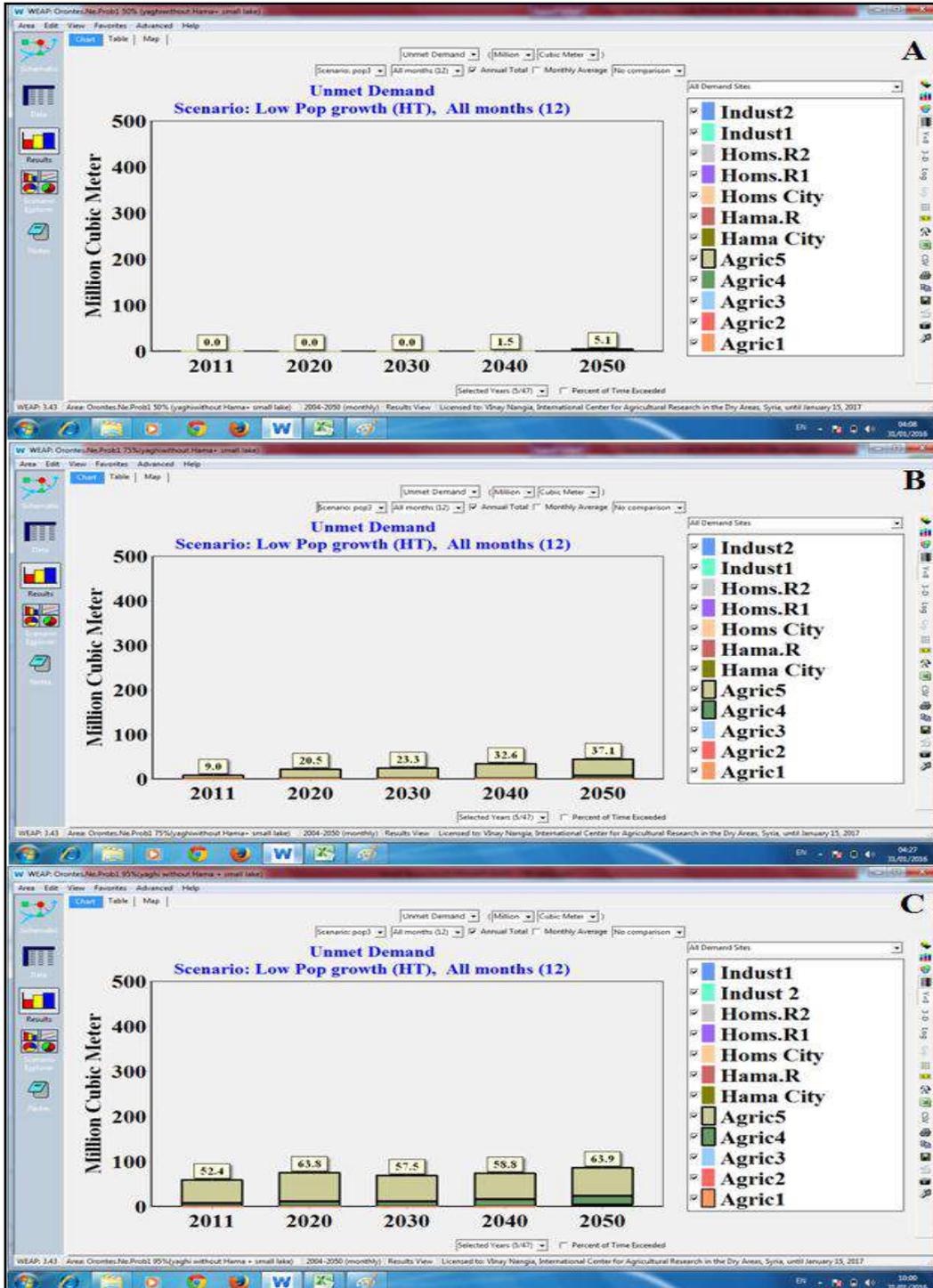


الشكل (66) عدد ومعدل النمو السنوي للسكان في محافظتي حمص وحماه.

وبحسب معطيات المكتب المركزي للإحصاء ومديرية القوى العاملة في هيئة تخطيط الدولة، فُدر الانخفاض السنوي التدريجي لمعدل نمو السكان بنحو 0.018% في محافظة حمص و0.017% في محافظة حمّاه. وبناءً عليه، أُدخلت هذه النسب بالبرنامج المتكامل من خلال مفتاح (Liner Interpolation) وتمّ التنبؤ بحالة الواقع المائي بعد تطبيق السيناريو الثالث (إدارة الماء الزراعي بشكل أمثلي) فكانت النتائج على الشكل التالي:

- **حالة السنوات الطبيعية (A):** سيختفي العجز المائي في معظم مواقع الطلب في حوضي العاصي الأعلى والأوسط بشكل كامل حتى عام 2040، في حين سيبقى عجز مائي صغير جداً سيبدأ من عام 2040 بنحو 1.5 م³ ويتزايد إلى أن يصل 5.1 م³ عام 2050 في الزراعة 5 ما بعد سد قطينة، وعليه ستزداد فعالية الحوض المدروس لتصل إلى 99% بالمقارنة مع السيناريو الفرعي (HT) في السيناريو الرئيسي الأول عام 2050.
- **حالة السنوات الجافة (B):** سيختفي العجز المائي في معظم مواقع الطلب حتى عام 2050، باستثناء الزراعتين 4 و5 ولكن سيبقى بنسب أقل من السيناريوهات السابقة، وعليه ستزداد فعالية الحوض المائي لتصل إلى 88.5% بالمقارنة مع السيناريو الفرعي (HT) في السيناريو الرئيسي الأول والتي بلغت 69.5%.

- حالة السنوات الجافة جداً (C): سيختفي العجز المائي في جميع مواقع الطلب حتى عام 2040، باستثناء الزراعتين 4 و 5 ولكن سيبقى بنسب أقل من السيناريوهات السابقة لذات الحالة المناخية من السنوات الهيدرولوجية، وعليه ستزداد فعالية الحوض المائي لتصل إلى 69.11% بالمقارنة مع السيناريو الفرعي (HT) في السيناريو الرئيسي الأول والتي بلغت 27.9%، كما في الشكل (67).



الشكل (67) العجز المائي المتوقع حتى عام 2050 في السيناريو الرئيسي الرابع (معدل النمو المنخفض) والسيناريو (HT) في ظل التقلبات المناخية (الحالة الطبيعية A، الحالة الجافة B، الحالة الجافة جداً C).

6-2-3-5- السيناريو الرئيسي الخامس (إنشاء سد بديل في بحيرة قطينة):

يُلاحظ من نتائج السيناريو السابق أنّ العجز المائي ما يزال موجود، ولاسيما في الحالتين المناخيتين الجافة والجافة جداً ويتجلى معظمه في تلبية التزامات الزراعة 5 ما بعد سد قطينة حيث حصل الموازنة المائية للسد لا يستطيع تلبية احتياجاتها وهذا يعود بالدرجة الأولى للتسرب والتبخّر الكبير من سطح بحيرة قطينة، وبحسب توصيات ومقترحات الدراسات السابقة في خفض كمية التبخر الكبير من سطح بحيرة قطينة (خزام، 2010). اقترح هذا السيناريو واختيرت أحدث دراسة موجودة في مديرية الموارد المائية بحمص، والتي تتمثل بإنشاء سد بديل في بحيرة قطينة كما ورد في طرائق البحث (رعد، 2013)، وتمّ إدخال مواصفات السد البديل في البرنامج وتشغيله، فأظهرت النتائج انخفاض كمية التبخر من 58.9 م³ إلى 29.2 م³ في حالة السنوات الطبيعية (A)، ومن 56 م³ إلى 28.1 م³ في حالة السنوات الجافة (B)، ومن 50.2 م³ إلى 25.1 م³ في حالة السنوات الجافة جداً (C)، وهذا يعود لصغر مساحة سطح البحيرة خلف السد المقترح وجمع المياه واستعمالها بشكل مباشر، وهذا يُمكن اعتباره تقنية فعّالة من تقنيات حصاد ونشر المياه على مستوى الحوض ككل (Hall, 2010; Hall and Murphy, 2012; Droogers et al., 2012; Hadded et al., 2013). وانعكس ذلك بشكل مباشر على تلبية احتياجات الزراعة 5 ما بعد سد قطينة بشكل كامل، مع ظهور فائض مائي يتناقص من 33.6 م³ عام 2011 إلى 25 م³ عام 2050، في حالة السنوات الطبيعية (A). وهذا الأخير يُمكن الاستفادة منه في التوسع الأفقي والرأسي في الزراعة 5 ما بعد السد عند هذه الحالة من السنوات الهيدرولوجية. أما في حالة السنوات الجافة (B) ستبلغ كمية الفائض أقل مما سبق وسيتناقص من 19.1 م³ عام 2011 إلى 4 م³ عام 2030، وسيظهر عجز مائي عام 2040 بنحو 6.3 م³ يتزايد إلى 16.6 م³ عام 2050، بسبب قلة الوارد المائي الداخل لمنظومة الحوض ككل، وزيادة حجم الطلب على المياه في المستقبل. في حين سيبقى العجز المائي ظاهراً وينسب أقل في حالة السنوات الجافة جداً (C) بالمقارنة بالسيناريوهات السابقة ليلبلغ بنحو 39.4 م³ عام 2011 وسيتزايد إلى 67.3 م³ عام 2050، كما في الجدول (31).

الجدول (31) كمية العجز والفائض المائي حتى عام 2050 عند حالة السنوات الطبيعية (A)، والجافة (B) والجافة جداً (C)، بعد تطبيق كافة الاستراتيجيات السابقة وإنشاء سد بديل في قطينة.

2050	2040	2030	2020	2011	البيان (م.م ³ /سنة)	
61.9-	53.7-	43-	35.3-	25.3-	RF	حالة السنوات الطبيعية (A)
13.3-	0	0	0	0	BAT	
0	0	0	0	0	HT	
25+	27.7+	29.2+	31.3+	33.6+	الفائض	
116.2-	75.7-	57.3-	69.6-	59.3-	RF	حالة السنوات الجافة (B)
37.2-	30-	20.3-	23.1-	4.9-	BAT	
16.6-	6.3-	0	0	0	HT	
0	0	4+	7+	19.1+	الفائض	
240.8-	192.3-	156.5-	144.1-	155.5-	RF	حالة السنوات الجافة جداً (C)
103.7-	78.4-	65.5-	72.6-	63.3-	BAT	
67.3-	55.1-	49.3-	55.6-	39.4-	HT	

4-2-6- ملخص نتائج البرنامج المتكامل WEAP-MABIA:

- لإيضاح آلية عمل البرنامج المتكامل نجد أنه يأخذ النقاط التالية بعين الاعتبار:
 - يقوم البرنامج بتوزيع المياه السطحية والمياه الجوفية على مواقع الطلب كلاً منها على حدة، ويمكن معرفة الموازنة المائية لكل موقع من مواقع التزويد، وكذلك معرفة الموازنة المائية لمواقع التزويد معاً.
 - يمكن التنبؤ بالاحتياجات المائية لعدد كبير من السنوات.
 - يمكن معرفة الموازنة المائية عند كل موقع من مواقع الطلب آخذاً بعين الاعتبار رواجع الصرف.
 - لا يعتمد البرنامج بتوزيع الحصص من المياه على مواقع الطلب حسب الأولويات المدخلة فقط، وإنما يأخذ بعين الاعتبار كمية المياه التي يطلبها هذا الموقع.
 - تكون نسبة العجز في تغطية مواقع الطلب من المياه، متقاربة عند موقع التزويد المشترك.
 - بالرغم من أهمية البرنامج وسهولة استخدامه وإمكانياته الكبيرة التي تمّ الحديث عنها مسبقاً، لكنه لن يكون بديلاً عن الخبير المائي، بل أداة حديثة ومتطورة جداً تُمكن الخبير من توفير الجهد والوقت والحصول على نتائج دقيقة جداً عند دراسة الموازنة المائية، وإدارة الطلب على الموارد المائية، ودراسة عدد لانهائي من الحلول، واختيار الحل المنطقي الذي يُمكن تطبيقه بعد دراسة الجدوى الاقتصادية بحسب ظروف المنطقة المدروسة.
 - تمّ تلخيص نتائج البرنامج عند احتمال الواردات المائية [50% (الحالة الطبيعية، A) و75% (الحالة الجافة، B) و95% (الحالة الجافة جداً، C)]، وعند كل سيناريو من السيناريوهات الخمسة المدروسة.
- 4-2-6-1- عند احتمال واردات مائية 50% (حالة السنوات الطبيعية، A):**
- يُلاحظ أنّ أقل قيمة عجز مائي كانت في السيناريو الفرعي (HT) عند كافة السيناريوهات الرئيسية المدروسة، كما في الجدول (32).
- الجدول (32) كمية العجز والفائض المائي المتوقعة في تأمين المياه لمواقع الطلب عند احتمال واردات مائية 50% (حالة السنوات الطبيعية، A).**

البيان (م.م ³ /سنة)	2011	2020	2030	2040	2050
واقع راهن	RF	136.4-	151.8-	172.6-	263.2-
	BAT	55.7-	65.9-	80.9-	110.8-
	HT	25.3-	35.4-	50.3-	87.8-
استثمار سد زيتا	RF	142.5-	149.0-	146.7-	158.1-
	BAT	53.0-	71.1-	84.0-	99.8-
	HT	26.2-	43.4-	57.4-	76.1-
إدارة الماء الزراعي	RF	63.6-	76.5-	83.6-	119.7-
	BAT	0.0	5.9-	23.9-	39.9-
	HT	0.0	0.0	0.4-	3.0-
معدل النمو المنخفض	RF	63.2-	72.3-	78.0-	87.3-
	BAT	0.0	0.9-	17.9-	28.0-
	HT	0.0	0.0	0.0	1.5-
سد بديل في قطينة	RF	25.3-	35.3-	43-	53.7-
	BAT	0	0	0	0
	الفائض	32+	30.2+	15.7+	4.3+
	HT	0	0	0	0
الفائض	33.6+	31.3+	29.2+	27.7+	25+

وبمقارنة نتائج السيناريوهات الرئيسية الأربعة الأخيرة (الاستراتيجيات) مع السيناريو الرئيسي الأول (الوضع الراهن عام 2010)، يُلاحظ أنّه لرفع فعّالية الحوض في المنطقة المدروسة حتى عام 2050، يلزم تطبيق جميع الاستراتيجيات دون استثناء، حيث لم يختفي العجز المائي إلا بالسيناريو الرئيسي الخامس، وقد ترافق ذلك مع وجود فائض مائي يتناقص من 33.6 م³ عام 2011 إلى 25 م³ عام 2050 في السيناريو الفرعي (HT).

6-2-4-2-6- عند احتمال واردات مائية 75% (حالة السنوات الجافة، B):

يُلاحظ أيضاً أنّ أقل قيمة عجز مائي في تغطية احتياجات مواقع الطلب من المياه كانت في السيناريو الفرعي (HT)، كما في الجدول (33). وبعد المقارنة مع السيناريو الرئيسي الأول كما في الحالة السابقة، يُلاحظ اختفاء العجز المائي حتى عام 2030 م، وقد ترافق ذلك مع وجود فائض يتناقص من 19.1 م³ عام 2011 إلى 4 م³ عام 2030، بعد تطبيق السيناريو الرئيسي الخامس والسيناريو الفرعي (HT) وسيظهر عجز مائي يُقدّر بنحو 6.3 م³ عام 2040 ويتزايد ليصل إلى 16.6 م³ عام 2050.

الجدول (33) كمية العجز والفائض المائي المتوقعة في تأمين المياه لمواقع الطلب عند احتمال واردات مائية 75% (حالة السنوات الجافة، B).

البيان (م.م ³ /سنة)	2011	2020	2030	2040	2050
واقع راهن	RF	150.2-	161.6-	190.4-	315.4-
	BAT	94.2-	98.8-	108.6-	118.5-
	HT	67.2-	76.4-	87.0-	100.9-
استثمار سد زيتا	RF	130.9-	147.9-	149.6-	199.6-
	BAT	82.3-	112.2-	104.8-	113.3-
	HT	60.5-	84.5-	86.1-	97.4-
إدارة الماء الزراعي	RF	88.6-	97.8-	90.3-	135.1-
	BAT	33.2-	53.5-	55.2-	65.1-
	HT	9.1-	25.4-	29.1-	40.9-
معدل النمو المنخفض	RF	88.2-	97.8-	86.4-	103.6-
	BAT	33.0-	51.2-	48.4-	58.1-
	HT	9.0-	22.3-	25.1-	34.4-
سد بديل في فطينة	RF	59.3-	69.6-	57.3-	75.7-
	BAT	4.9-	23.1-	20.3-	30-
	HT	0	0	0	6.3-
الفائض	19.1+	7+	4+	0	0

6-2-4-3- عند احتمال واردات مائية 95% (حالة السنوات الجافة جداً، C):

إنّ أقل قيمة عجز مائي في تغطية احتياجات مواقع الطلب من المياه كانت في السيناريو الفرعي (HT). ويُلاحظ وجود عجز مائي بالرغم من تطبيق جميع الحلول يبدأ من عام 2011 بنحو 39.4 م³ ويتزايد إلى 67.8 م³ عام 2050 في السيناريو الرئيسي الخامس والسيناريو الفرعي (HT)، كما في الجدول (34).

الجدول (34) كمية العجز المائي المتوقعة في تأمين المياه لمواقع الطلب عند احتمال واردات مائة 95% (حالة السنوات الجافة جداً، C).

البيان (م.م ³ /سنة)	2011	2020	2030	2040	2050
واقع راهن	RF	247.3-	266.3-	315.1-	460.6-
	BAT	134.4-	136.8-	155.6-	194.7-
	HT	109.4-	109.4-	126.6-	161.6-
استثمار سد زيتا	RF	221.7-	219.2-	250.9-	305.9-
	BAT	126.8-	136.7-	140.7-	173.4-
	HT	103.0-	117.2-	112.8-	132.9-
إدارة الماء الزراعي	RF	175.4-	168.9-	195.0-	248.2-
	BAT	84.0-	94.8-	96.2-	113.5-
	HT	59.5-	75.0-	70.1-	80.6-
معدل النمو المنخفض	RF	175.0-	164.0-	176.1-	211.9-
	BAT	83.8-	93.1-	86.0-	99.4-
	HT	59.5-	75.0-	68.7-	74.5-
سد بديل في قطينة	RF	155.5-	144.1-	156.5-	192.3-
	BAT	63.3-	72.6-	65.5-	78.4-
	HT	39.4-	55.6-	49.3-	55.1-

5-2-6- المقارنة بين الموازنة المائية حسابياً (WAS) والبرنامج المتكامل (WEAP-MABIA):

من خلال المقارنة بين الموازنة المائية الإجمالية المستقبلية حسابياً ونتائج البرنامج عند احتمال واردات مائة 50% و 75% و 95% عام 2050، علماً أنه تمت المقارنة مع السيناريوهات الفرعية التي كانت فيها أقل قيمة للعجز المائي كالسيناريو (HT) في السيناريو الرئيسي الأول (واقع راهن)، تمّ التوصل إلى النتائج التالية:

1- حالة السنوات الطبيعية (A) عند احتمال واردات مائة 50%: تتجاوز نسبة التقارب 94% بين الموازنة وفق البرنامج والموازنة حسابياً، حيث يُلاحظ أنه لا يوجد عجز في الموازنة حسابياً في العاصي الأعلى ما قبل قطينة وإثما يوجد فائض بنحو 130.6 م.م³، وعند أخذ الفاقد المائي في سد قطينة والمتطلبات ما بعده، نجد أنّ هنالك عجز مائي قدره 82.6 م.م³، بينما يعطي البرنامج عجز مائي يُقدّر بنحو 87.8 م.م³ في السيناريو (HT)، ويعود الفرق بين البرنامج والعمل الحسابي، إلى أنه في العمل الحسابي تُدرس الموازنة بشكل إجمالي ويعامل المستجمع المائي الزراعي كبقية مواقع الطلب سواءً الصناعية أو الشرب والاستخدام المنزلي فيبدو أنه لا يوجد عجز، بينما في البرنامج تُدرس الموازنة المائية بشكل شهري.

2- حالة السنوات الجافة (B) عند احتمال واردات مائة 75%: تتجاوز نسبة التقارب 91% بين الموازنة وفق البرنامج والموازنة حسابياً، حيث نجد أنه لا يوجد عجز في الموازنة حسابياً في العاصي الأعلى ما قبل قطينة وإثما يوجد فائض بنحو 55.26 م.م³، وعند أخذ الفاقد المائي في سد قطينة والمتطلبات ما بعده، نجد أنّ هنالك عجز مائي بنحو 108 م.م³ بينما يُلاحظ في البرنامج أنّ هناك عجز 118.4 م.م³ في السيناريو (HT). ويعود الفرق بين البرنامج والعمل الحسابي إضافةً لما سبق، إلى ضرورة تأمين تدفق بيئي في البرنامج بمعدل (1) م³/ثا خارج من سد قطينة، وهذا يتطلب تأمين واردات كافية لسد قطينة بحيث تغطي فواقد التبخر والتسرب والتدفق البيئي الخارج من السد.

3- حالة السنوات الجافة جداً (C) عند احتمال واردات مائة 95%: يُلاحظ أنّ هناك تقارب بين نتائج السيناريو (HT) في كل من الموازنة حسابياً والبرنامج وتبلغ بنحو 99%، حيث في السيناريو (HT) تشير الموازنة حسابياً إلى وجود عجز 200.4 م³، في حين يشير البرنامج إلى وجود عجز مائي بنحو 202.8 م³. من خلال الدراسة والتحليل لنتائج البرنامج، يُلاحظ أنّه يعطي نتائج أكثر دقة وأصح من حساب الموازنة المائية السنوية الاجمالية، حيث يدرس الواردات المائية التقليدية وغير التقليدية على صعيد الأشهر، وبالمقابل يدرس الاحتياجات المائية لمواقع الطلب جميعها على صعيد الأشهر أيضاً، وهذا يبرر سبب الاختلاف في سنوات العجز بين نتائج البرنامج والعمل الحسابي حيث أنّ الواردات المائية من شهر تشرين أول وحتى شهر نيسان تكون أكبر من الطلب على المياه، بينما الواردات المائية من شهر أيار وحتى أيلول تكون أقل من الطلب على المياه، وهذا توافق مع نتائج (Viktoria et al., 2010).

6-3- تقييم الوضع المائي من خلال تطبيق مبدأ المياه الافتراضية بالقطاع الزراعي:

بالرغم من اختفاء العجز المائي بشكل كامل في الحالة الطبيعية، وشبه كامل في الحالة الجافة، إلا أنّه مازال موجود بشكل واضح في تلبية حاجة القطاع الزراعي في الحالة الجافة جداً حتى بعد تطبيق كافة السيناريوهات. وباعتبار هذه الحالة متكررة بشكل مستمر في المناطق الجافة وشبه الجافة والتي ينطوي تحتها موقع الدراسة. لذا تمّ حساب الماء الافتراضي للمحاصيل المدروسة، واستنتاج الجدوى المائية الاقتصادية المثلى للتقليل ما أمكن من هذا العجز باتباع سياسة استبدال المحاصيل ذات الاحتياج المائي الكبير والعائد الاقتصادي القليل بالمحاصيل ذات الاحتياج المائي القليل والعائد الاقتصادي الكبير، وهذا يجب أن يبنى على أساس الصادرات والواردات الزراعية السورية لسد الفجوة الغذائية الموجودة، وتحقيق الاكتفاء الذاتي دون تسلط أي نفوذ خارجي كباقي البلدان العربية كالأردن ودول الخليج وغيرها (Mourad et al., 2010).

يُستنتج بعد الحساب من الجدول (35) أنّ أعلى حجم للمياه الافتراضية كان في محصولي الفول السوداني والقطن يليهما اللوز والفاصولياء الجافة والفول الجاف والذرة الصفراء والنين والزيتون والقمح والحمضيات والكرمة والمشمش والتفاح من ثم الخضار الصيفية والبطاطا الخريفية والشوندر السكري الخريفي وأخيراً محصول الثوم الجاف. وباعتبار أنّ محصولي القمح والذرة الصفراء لهما دور فاعل في تحقيق استراتيجية الاكتفاء الذاتي وإنقاص الكمية المستوردة وسد الفجوة الغذائية في سورية (حسيان، 2012)، يُفترض تحسين غلّتهما بما يوازي الإنتاجية العالمية لتصبح 6.29 و7.22 طن/هـ على التوالي، ومنه سيصبح حجم الماء الافتراضي 574.4 م³/طن و597 م³/طن، وهذا لن يتم إلا بزراعة أصناف مقاومة للجفاف والأمراض في المنطقة بعد تطبيق نظم الري الحديث (El Afandi et al., 2010; Farg et al., 2012; Abdurahimov et al., 2013).

وعند النظر للمجموعة الاحصائية عام 2011 وحساب متوسط الكمية المستوردة للمحاصيل المدروسة خلال الفترة 2000-2010، تبيّن أنّ أعلاها كان في محصول الذرة الصفراء 978 ألف طن، يليه محصول القمح 136 ألف طن، ومن ثم بقية المحاصيل المدروسة حيث بلغت كمية استيرادها دون 55 ألف طن وكان أقلها في محصول الكرملة 1 ألف طن.

الجدول (35) حجم المياه الافتراضية للمحاصيل وفقاً لنتائج البرنامج في المنطقة المدروسة.

المتوسط السنوي لكمية المستوردة (ألف طن)	حجم الماء الافتراضي (م ³ /طن)	الغلة (طن/هـ)	كمية المياه اللازمة CWR (م ³ /هـ)	الاحتياج المائي (ETc) (مم)	المحاصيل المدروسة
26.6	218	15.3	3340	334	بطاطا خريفية
136	769	4.7	3613	361	قمح
-	2313	3.2	7400	740	قطن
-	158	39.0	6180	618	شوندر سكري خريفي
-	811	2.8	2270	227	زيتون
12.6	195	21.3	4150	415	خيار
-	506	12.5	6320	632	مشمش
-	458	16.0	7330	733	تفاح
978	1078	4.0	4310	431	ذرة صفراء تكتيفي
1	664	8.0	5310	531	كرمة
-	1476	4.1	6050	605	لوز
-	967	6.0	5800	580	تين
16.9	280	25.0	7000	700	بصل
22.6	281	28.5	8020	802	بادنجان
53.5	161	31.3	5030	503	بندورة
6.1	1350	2.0	2700	270	فاصولياء جافة
2.5	1300	2.0	2600	260	فول حب جاف
14.3	149	14.8	2200	220	ثوم جاف
8.2	2315	2.6	6020	602	فول سوداني
21.3	670	11.5	7700	770	الحمضيات

وبالاعتماد على أسلوب التحليل الاقتصادي الوصفي، وحساب الميزانية الجزئية التي تُستخدم لتقدير الربح الناتج عن التغييرات التنظيمية الصغيرة الموجودة في المزرعة، وهو تحليل يُقام لمعرفة الربح الصافي، أو الخسارة، وصافي الزيادة أو النقص في صافي الدخل الناتج من التغييرات في المزرعة (خزام وآخرون، 2015). حُسب متوسط المؤشرات الاقتصادية لكل محصول مروى مدروس. ومنه استنتج أنّ الميزانية الجزئية لمحصولي القطن والشوندر السكري في المنطقة المدروسة خاسرة. ويُلاحظ أنّ أعلى ربحية تجلّت في المحاصيل على التوالي (الحمضيات والخيار والكرمة واللوز والبندورة والتين والبادنجان والبقوليات والثوم الجاف والتفاح والمشمش والزيتون والفول السوداني والذرة الصفراء والبصل والقمح ومن ثم البطاطا الخريفية). في حين كان أعلى عائد (ربح) لوحدة المياه للمحاصيل المدروسة في الثوم الجاف (63.91 ل.س/م³) وأدناها في محصولي القطن والشوندر السكري كما في الجدول (36)، وشبيه ذلك درس من قبل Molden et al. (2007c) و Gohar and Ward (2011).

الجدول (36) متوسط نتائج التحليل الاقتصادي للمحاصيل المدروسة في المنطقة.

الربح لوحدة استخدام المياه (ل.س/م ³)	الاستهلاك المائي (ETc) (م ³ /هـ)	الربحية (%)	نسبة العائد إلى التكاليف	الربحية الاقتصادية (الربح) (ل.س/هـ)	قيمة الناتج الإجمالي (ل.س/هـ)	التكاليف الكلية (ل.س/هـ)	الغلة (طن/هـ)	المحاصيل المدروسة
10.04	3340	14	1.14	33550	274500	240950	15.3	بطاطا خريفية
5.05	3613	24	1.24	18228	93000	74772	4.7	قمح
-2.31	7400	خاسر	0.89	-17118	133140	150258	3.2	قطن
-3.22	6180	خاسر	0.88	-19890	146250	166140	39	شوندر سكري خريفي
24.23	2270	44	1.44	55000	178750	123750	2.8	زيتون
30.83	4150	101	2.01	127925	255000	127075	21.3	خيار
18.20	6320	50	1.50	115000	345000	230000	12.5	مشمش
26.41	7330	53	1.53	193600	561600	368000	16	تفاح
3.85	4310	32	1.32	16590	67940	51350	4	ذرة صفراء تكتيفي
17.33	5310	99	1.99	92000	184800	92800	8	كرمة
14.91	6050	96	1.96	90200	184500	94300	4.1	لوز
25.86	5800	83	1.83	150000	330000	180000	6	تين
10.71	7000	30	1.30	75000	325000	250000	25	بصل
14.21	8020	67	1.67	114000	285000	171000	28.5	بادنجان
34.22	5030	85	1.85	172150	375600	203450	31.3	بندورة
18.52	2700	63	1.63	50000	130000	80000	2	فاصولياء جافة
15.38	2600	67	1.67	40000	100000	60000	2	فول حب جاف
63.91	2200	54	1.54	140600	399600	259000	14.8	ثوم جاف
7.13	6020	38	1.38	42900	156000	113100	2.6	فول سوداني
17.62	7700	105	2.05	135700	264500	128800	11.5	الحمضيات

ومنه تمّ دراسة إمكانية الاستبدال الجزئي لمحصولي الشوندر السكري الخريفي والقطن الخاسرين، بمحاصيل ذات احتياج مائي قليل وريعية اقتصادية عالية، بحيث ينعكس ذلك إيجاباً على دخل المزارع وحفظ الواردات المائية المتجددة لاستثمارها بجدوى أكثر فاعلية ولاسيما في الحالتين المناخيتين الجافة والجافة جداً، وهذا توافق مع توصيات Perry (2011) فمثلاً:

- الاستبدال الجزئي لمحصولي الشوندر السكري الخريفي والقطن بمحصول الثوم الجاف الذي يتصف بأعلى عائد (ربح) لوحدة المياه (63.91 ل.س/م³)، والذي بلغ متوسط كمية استيراده السنوية 14.3 ألف طن من عام 2000 لعام 2010، سيحفظ 10.8 م³ من المياه المتاحة للري لكون الاستهلاك المائي للحصول على إنتاج مقبول من الثوم الجاف يعادل ثلث الاستهلاك المائي للحصول على إنتاج مقبول من القطن والشوندر السكري الخريفي ضمن ظروف المنطقة، ناهيك عن توفير في تكلفة مياه الري بحسب المصدر سواء سطحي أو جوفي. وسيتم الحصول على ربح قدره 177608 ل.س/هـ، وعند أخذ انخفاض ثمنه بنحو 10% جزاء زيادة المساحة المزروعة بعين الاعتبار في المنطقة المدروسة، سينخفض الربح المتحصل عليه ليبلغ بنحو 137648 ل.س/هـ.

- الاستبدال الجزئي لمحصولي الشوندر السكري الخريفي والقطن بمحاصيل الخضار ذات الريعية الاقتصادية العالية مثل الثوم الجاف والبندورة والخيار والفاصولياء الجافة والبادنجان والبصل معاً، والتدرج بالمساحة المزروعة بها بحيث يأخذ المحصول ذو عائد الربح الأعلى لوحدة استخدام المياه المساحة المنفذة الأكبر، يُستنتج حفظ كمية

مياه إجمالية تُقدَّر بنحو 6.2 م³/سنة من مياه الري، ناهيك عن التوفير في تكلفة مياه الري بحسب المصدر، وسيتم الحصول على ربح قدره 177608 ل.س/هـ من محصول الثوم الجاف، و209158 ل.س/هـ من محصول البندورة، و164933 ل.س/هـ من محصول الخيار، و87008 ل.س/هـ من محصول الفاصولياء الجافة، و151008 ل.س/هـ من محصول الباذنجان، و112008 ل.س/هـ من محصول البصل، كما في الجدول (37).

الجدول (37) كمية المياه الممكن حفظها باستبدال محصولي القطن والشوندر السكري بمحاصيل الخضار.

المحصول	المحصول الجاف	البندورة	الخيار	الفاصولياء الجافة	الباذنجان	البصل	المحصول المستبدل
الربح (ل.س/هـ)	140600	172150	127925	50000	114000	75000	القطن
الغلة (طن/هـ)	14.8	31.3	21.3	2	28.5	25	الشوندر السكري
المستورد (ألف طن)	14.3	53.5	12.6	6.1	22.6	16.9	
المساحة (هـ)	700	500	400	350	255	150	2355
الماء المستهلك (م.م ³ /سنة)	1.54	2.52	1.66	0.95	2.05	1.05	9.76
كمية المياه الممكن حفظها (م.م ³ /سنة)							6.2

• الاستبدال الجزئي لمحصولي الشوندر السكري الخريفي والقطن بالمحاصيل الإستراتيجية التالية: القمح والذرة الصفراء التكتيفية والكرمة، بحيث المساحة الأكبر للمحصول ذو عائد الربح الأعلى. حيث يُستنتج حفظ كمية مياه إجمالية تُقدَّر بنحو 6 م³/سنة، ناهيك عن التوفير في تكلفة مياه الري بحسب المصدر سواء سطحي أو جوفي. وسيتم الحصول على ربح قدره 129008 ل.س/هـ من محصول الكرملة، و55236 ل.س/هـ من محصول القمح، و53598 ل.س/هـ من محصول الذرة الصفراء التكتيفية، كما في الجدول (38).

الجدول (38) كمية المياه الممكن حفظها باستبدال المحصولين الخاسرين بالمحاصيل الاستراتيجية.

المحصول	الكرمة	القمح	الذرة الصفراء	المحصول المستبدل
الربح (ل.س/هـ)	92000	18228	16590	القطن
الغلة (طن/هـ)	8	4.7	4	الشوندر السكري
المستورد (ألف طن)	1	136	978	
المساحة (هـ)	1000	800	555	2355
الماء المستهلك (م.م ³ /سنة)	2.95	3.61	3.45	10.1
كمية المياه الممكن حفظها (م.م ³ /سنة)				5.98

ويعتبار محصول البطاطا الخريفية يحتل مساحة لا بأس بها تُقدَّر بنحو 5% في المنطقة المدروسة، بالرغم من عائدها القليل لوحدة استخدام المياه والذي يُقدَّر بنحو 10.04 ل.س/م³، لذا تمّ مقارنتها بغلّة محصول البطاطا الربيعية ضمن ظروف المنطقة والاستفادة من مياه الأمطار وإتباع طريقة الري التكميلي بالرش، والتي بلغت بنحو 25 طن/هـ باستهلاك مائي قدره 2600 م³/هـ، وعليه سيتم توفير 1.2 م³/سنة، وسيزداد العائد الاقتصادي لوحدة استخدام المياه بنحو 4 مرة بالمقارنة مع عائد محصول البطاطا الخريفية، لذا يُقترح الاستبدال الجزئي للمحصول من الزراعة في العروة الخريفية والقيام بتكثيف زراعته في العروة الربيعية والتوسع الأفقي، وهذا توافق مع نتائج (Perry et al. (2009).

7- الاستنتاجات Conclusions:

❖ التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية باستعمال نظام القياسات المائية (WAS):

- إن تحليل السلسلة الزمنية للموارد المائية المتاحة المتجددة لمدة زمنية كافية (تتجاوز 30 سنة) وفقاً لأسلوب بوكس-جنكز، والذي يأخذ بعين الاعتبار دراسة المتوسطة المتحركة والتحليل الاحصائي والتوزيعات الاحتمالية أظهر انخفاض تدريجي في حجم الموارد المائية المتجددة خلال الفترة الهيدرولوجية السابقة (1974/75-2009/10) بسبب التغير المناخي وسيادة الحالتين الجافة والجافة جداً في المنطقة المدروسة، كما تبيّن بنتيجة التحليل الاحصائي بأن متوسط الأخطاء النسبية للبيانات الهيدرولوجية المحللة ضمن الحدود المسموح بها، وتوزيع بيرسون III هو التوزيع الاحتمالي الملائم لبناء نظام تنبؤ موثوق به، ويُمكن الاعتماد على نتائجه في النمذجة الرياضية للتنبؤ بالوضع المائي المستقبلي لحوضي العاصي الأعلى والأوسط في أعقاب التقلبات المناخية.
- بعد تمثيل المنطقة المدروسة بحسب المساحة التي تغطيها المحطات المناخية الموجودة باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS، وحساب المتوسط الموزون للهطول المطري بطريقة تايسن، أظهرت النتائج بحسب البيانات المحللة إحصائياً لمدة 35 سنة سابقة والمعتمدة على توزيع بيرسون III، أنّ المتوسط الموزون للهطول المطري على المنطقة المدروسة يبلغ بنحو 304.7 مم عند الحالة الطبيعية (A)، و 245.9 مم عند الحالة الجافة (B)، و 171.2 مم عند الحالة الجافة جداً (C).
- أثبتت نتائج الموازنة المائية باستعمال نظام القياسات المائية (WAS) أنّ عام 2010 (سنة الأساس) يُعتبر جاف ويميل للحالة الجافة جداً بالمقارنة بنتائج توزيع بيرسون III. ودراسة تطور الطلب السنوي على المياه حتى عام 2050، وحساب معامل الموازنة المائية (W_b) بعد إعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية المعالجة في حوض العاصي الأعلى، يُلاحظ أنّه سيرتفع ليصل إلى (0.28) في الحالة (A)، و (0.14) في الحالة (B)، و (-0.15) في الحالة (C) عام 2050، بالمقارنة مع قيمه عام 2011 والتي كانت (0.22) في الحالة (A)، و (0.06) في الحالة (B)، و (-0.29) في الحالة (C) بدون استعمال الموارد المائية غير التقليدية بعد تطبيق سيناريو التقانات المتطورة (HT). وعند أخذ التبخر والتسرب في بحيرة قطينة والتزامات الطلب على المياه في العاصي الأوسط بعين الاعتبار، يُلاحظ أنّ حوض العاصي الأعلى سيصبح مغلق تماماً بالنسبة للعاصي الأوسط عام 2050 في السيناريو المرجعي (أي كل الموارد المائية المتاحة تُستخدم قبل سد قطينة) في الحالة الطبيعية، وحتى بعد تطبيق السيناريوهين [التقانات المتاحة الأفضل (BAT) والتقانات المتطورة (HT)] لن يتحسن الوضع المائي كثيراً وسيبقى شبه مغلق بالنسبة للعاصي الأوسط في الحالتين الطبيعة والجافة، ومغلق تماماً في الحالة الجافة جداً. ويُلاحظ أنّ لإعادة استخدام الموارد المائية غير التقليدية المعالجة دوراً مهماً في تخفيض نسبة العجز المائي عام 2050 الناتج عن موازنة الموارد المائية المتجددة فقط، ناهيك عن أثر ذلك البيئي في الحد من تلوث العاصي الأوسط حيث معظم هذه الرواجع تصب في النهر والبحيرة مباشرة دون معالجة.
- يعطي نظام القياسات المائية (WAS) فكرة شاملة سنوية عن تقييم الوضع المائي المستقبلي في المنطقة المدروسة، ويسمح ببلورة بعض السيناريوهات الحسابية البسيطة (حلول مؤقتة) مثل (BAT) و (HT)، لكنه لا يسمح بتمثيل ورسم استراتيجيات (حلول طويلة الأمد)، وهذا يلزمه تطبيق البرامج المتطورة مثل WEAP₂₁.

❖ التنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية باستعمال البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA):

- إن استخدام برنامج ArcGIS في نمذجة التلوث الحاصل في المنطقة المدروسة، مكن من تقليص عدد نقاط الرصد من 10 نقاط رصد إلى 5 نقاط، وهذا بدوره يؤدي إلى خفض عدد العينات المائية المجموعة والمحللة بمعدل 50%، وبالتالي خفض التكاليف اللازمة للتحليل بذات النسبة.
- على صعيد السيناريوهات الرئيسية المدروسة، يُستنتج أن أقل كمية عجز مائي كانت في السيناريو الفرعي (سيناريو التقانات المتطورة، HT) حيث ستبلغ فعالية الحوض المدروس 81.17% في حالة السنوات الطبيعية (A)، و 69.7% في حالة السنوات الجافة (B)، و 27.9% في حالة السنوات الجافة جداً (C) عام 2050 وفقاً لحالة الوضع الراهن عام 2010 بدون تطبيق أي استراتيجيات جديدة.
- لم ترتفع فعالية الحوض المدروس كثيراً عام 2050 بعد استثمار سد زيتا بالمقارنة بالسيناريو الرئيسي الأول والسيناريو الفرعي (HT)، وإنما كان له بالغ الأثر على تلبية التزامات الأولوية الأولى (مياه الشرب والاستخدام المنزلي لمحافظة حمص وحماه والصناعة ومتطلبات التدفق البيئي) في الحالتين الجافة والجافة جداً، ومنه سيلعب سد زيتا دور كبير في رفع درجة تنظيم واستثمار الوارد المائي السطحي المتجدد، ولا يؤثر كثيراً على خفض كمية العجز المائي كون معظمها في القطاع الزراعي، وهذا يلزمه تطبيق السيناريو الرئيسي الثالث (إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي) حتى يُلاحظ أثر استثمار سد زيتا في الري.
- يُعتبر السيناريو الرئيسي الثالث من أهم السيناريوهات المدروسة كون القطاع الزراعي يمثل المستهلك الأكبر للمياه والمحقق لسياسة الاكتفاء الذاتي من الغذاء في المنطقة المدروسة وبالتالي البلد ككل، حيث أظهرت نتائج إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي أن كفاءة استخدام المياه للمحاصيل المروية (كغ/م³) سترتفع بنحو 34% بالمقارنة مع التطبيق الحقل، وبعد تطبيق السيناريو الفرعي (HT) سيتم توفير 70 م.م³ من مياه الري، وعليه سيخف العجز بشكل شبه كامل عام 2050 في الحالة الطبيعية (A) و سترتفع فعالية الحوض المدروس إلى 85.7% و 47.6% في الحالتين الجافة والجافة جداً على التوالي.
- بعد أخذ معدل نمو السكان المنخفض بعين الاعتبار بناءً على تحليل المكتب المركزي للإحصاء ومديرية القوى العاملة في هيئة تخطيط الدولة، ومحاكاة البرنامج على هذا الأساس وبعد تطبيق السيناريو الرئيسي الثالث تبين ارتفاع فعالية الحوض لتصل إلى 88.5% و 69.11% في الحالتين الجافة والجافة جداً عام 2050.
- إن إنشاء سد بديل في بحيرة قطينة بعد دراسة الجدوى الاقتصادية (السيناريو الرئيسي الخامس) أثر واضح على خفض كمية التبخر من سطح بحيرة قطينة، وتلبية الالتزامات في العاصي الأوسط مع وجود فائض مائي في الحالتين الطبيعية والجافة، وعجز مائي زراعي قليل بالحالة الجافة جداً لا يتجاوز 68 م.م³ عام 2050 بالمقارنة مع نتائج السيناريو الرئيسي الأول والسيناريو الفرعي (HT).
- إن تقييم الوضع المائي من خلال تطبيق مبدأ الماء الافتراضي بعد عملية برمجة الري له أثر واضح على حفظ مياه الري وزيادة العائد الاقتصادي وتحقيق الاكتفاء الذاتي من الغذاء في المنطقة المدروسة ولاسيما في الحالتين الجافة والجافة جداً، فمن خلال استبدال المحاصيل ذات الاحتياج المائي العالي والريعية الاقتصادية المنخفضة كالشوندر السكري والخرفي والقطن بمحصول الثوم مثلاً، يُمكن توفير 10.8 م.م³/سنة من مياه الري والحصول على ربح يُقدّر بنحو 138 ألف ل.س./هـ. أيضاً بالانتقال من زراعة بعض المحاصيل في العروة

الخريفية حيث الاحتياج المائي عالي إلى زراعتها في العروة الربيعية حيث يمكن الاستفادة من مياه الأمطار والري تكميلي، سيزداد العائد الاقتصادي لوحدة المياه (ل.س/م³) بنحو أربع مرات لمحصول البطاطا المزروع في العروة الربيعية عنه في العروة الخريفية، والذي يحتل نسبة لا بأس بها من المساحة المروية (5%).

• أثبت البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) من خلال المحاكاة بعد المعايرة حتى عام 2010 على صحة نتائج نظام القياسات المائية (WAS) السنوية وفقاً لسيناريواته البسيطة، لكن بدقة أعلى، حيث يعالج البرنامج البيانات المدخلة بشكل شهري ويومي مع القدرة على تغيير الأولويات المقترحة لخفض كمية العجز المائي.

8- المقترحات والتوصيات Suggestions and Recommendations:

- اختيار سيناريو التقانات المتطورة (HT) والذي أدى لرفع فعالية الحوض عند كافة السيناريوهات.
- استثمار سد زيتا بأسرع وقت ممكن لتأمين مياه الشرب والاستعمال المنزلي لمحافظة حمص وحماه وريفهما أولاً ولري المحاصيل المزروعة ثانياً بعد تطبيق سيناريو إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي.
- بما أن البرنامج يوازن الموارد المائية الإجمالية التقليدية وغير التقليدية يجب أخذ معالجة الماء الهامشي بعين الاعتبار، وتشديد محطات معالجة وشبكات صرف فعالة بما يناسب كمية الرواجع بأسرع وقت ممكن، واستكشاف أماكنه ونمذجته رياضياً وإتباع شتى الطرق للحد منه والحفاظ على البيئة.
- نقترح التخطيط الزراعي لزيادة العائد الاقتصادي على أساس الاحتياج المائي الفعلي للمحاصيل لا على أساس المساحة التي يجب أن تُمثلها، وإجراء مسح دوري بوساطة التقنيات الحديثة التابعة لهيئة الاستشعار عن بعد، وتحديد تسعيرة للمياه وإتباع مفهوم الماء الافتراضي والزراعة البديلة للمحاصيل ذات الريعية الاقتصادية الأعلى والاحتياج المائي الأقل.
- إنشاء سد بديل في بحيرة قطينة بعد دراسة الجدوى الاقتصادية من ذلك.
- زيادة عدد آبار رصد مستوى المياه الجوفية والمحطات المناخية والهيدرولوجية، ورفع درجة تنظيم وضبط الواردات المائية في أعالي العاصي.
- أخذ دور الماء الأخضر بعين الاعتبار ولاسيما في الحوض الفرعي (حوض نهر الحارون، E) وإجراء تجارب بحثية حول استنباط أصناف جديدة من المحاصيل السائدة في المنطقة يكون احتياجها المائي أقل وأكثر مقاومة للجفاف، مع تطبيق تقنيات الزراعة الحافظة لرفع إنتاجية المحاصيل البعلية المتدنية في المنطقة المدروسة.
- يُمكن اعتبار البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) والبرامج الأخرى المساعدة له مثل (ArcGIS) و (SPAW) و (NewLoc-Clim) و (ET₀Calc) أدوات حديثة ومتطورة جداً، تُمكن الخبير المائي من توفير الجهد والوقت والحصول على نتائج دقيقة جداً عند دراسة الموازنة المائية، وإدارة الطلب على الموارد المائية، ودراسة عدد لانهائي من الحلول، واختيار الحل المنطقي لتحقيق التنمية المستدامة.
- الدراسة الاقتصادية والاستفادة من المشاريع الدولية لتطبيق هذه الاستراتيجيات التي رسمها البرنامج وأعطى نتائجها العلمية مع تطور الطلب المستقبلي خلال التقلبات المناخية السائدة الطبيعية والجافة والجافة جداً.
- تطبيق البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) على كامل حوض العاصي، وتوطين التقانات الحديثة لترشيد استعمال المياه من خلال النمذجة الرياضية للحصول على حلول منطقية للأحواض السورية الأخرى.

-الملخص-

يُعتبر المسقط المائي لمحافظة حمص محور الإنتاج الزراعي وخزان مائي استراتيجي في سورية، لكن الاستعمال غير المستدام للماء العذب خلال العقود الماضية في حوضي العاصي الأعلى والأوسط (من الحدود السورية اللبنانية إلى سد الرستن)، والذي ترافق مع زيادة الطلب على الماء بنتيجة التوسع الزراعي العشوائي والنمو السكاني والاقتصادي، إضافةً لارتفاع نسبة تلوث المياه في الحوض، أكد على احتمال حدوث أزمة مائية بحلول عام 2020. لذا كان من الضروري إعداد نموذج تنبؤ يساهم في تقدير إتاحة الواردات المائية المستقبلية للحوض والطلب عليها. وكيف يمكن لبعض الاستراتيجيات أن تساعد المحافظة في تحقيق تنمية مستدامة، وبالتالي أمنها المائي في أعقاب التغير المناخي حتى عام 2050. استعمل نظام القياسات المائية (WAS) لتحديد الموارد المائية في الحوض والطلب عليها، وكان ذلك بحسب البيانات المتوفرة (1975/76-2009/10) واعتبر عام 2010 سنة أساس. دُرست السيناريوهات التالية: [السيناريو المرجعي (RF)]، وسيناريو التقانات المتاحة الأفضل (BAT)، وسيناريو التقانات المتطورة (HT)] للتنبؤ بالموازنة المائية المستقبلية من عام 2011 وحتى عام 2050، وكان ذلك خلال ثلاث حالات للتغيرات المناخية السنوية: الحالة الطبيعية (A) عند احتمال واردات مائية 50%، والحالة الجافة (B) عند احتمال واردات مائية 75%، والجافة جداً (C) عند احتمال واردات مائية 95%، وتمت المقارنة مع نتائج البرنامج WEAP بعد معيارته من عام 2004 وحتى عام 2010 في المنطقة المدروسة. تم دراسة وتحليل الوضع المستقبلي في ظل الاستراتيجيات المقترحة التالية باستعمال البرنامج المتكامل WEAP-MABIA: سيناريو الاستخدام الأمثل لخزان سد زيتا، وسيناريو إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي، ومعدل النمو السكاني المنخفض، وإنشاء سد بديل في بحيرة قطينة، ومقارنة ذلك مع سيناريو الوضع الراهن عام 2010. صيغت النتائج على شكل مخططات وخرائط وجداول. ومن حساب معامل الموازنة المائية (W_b) بعد إعادة استعمال الموارد المائية غير التقليدية في حالة الواقع الراهن عام 2010 (بدون تطبيق أي استراتيجية) يُلاحظ ارتفاع فعالية الحوض لتصل إلى (0.28) في الحالة (A)، و(0.14) في الحالة (B)، و(-0.15) في الحالة (C) عام 2050، بالمقارنة مع قيمه بدون هذه الموارد المائية غير التقليدية بعد تطبيق سيناريو التقانات المتطورة (HT). وعند أخذ الضياعات في بحيرة قطينة والتزامات الطلب على المياه في العاصي الأوسط بعين الاعتبار، يُلاحظ أنّ حوض العاصي الأعلى سيصبح مغلق تماماً بالنسبة للعاصي الأوسط عام 2050 في السيناريو المرجعي في الحالة الطبيعية (A)، وحتى بعد تطبيق السيناريوهين [التقانات المتاحة الأفضل (BAT) والتقانات المتطورة (HT)] لن يتحسن الوضع المائي كثيراً وسيبقى شبه مغلق بالنسبة للعاصي الأوسط في الحالتين الطبيعية والجافة (B)، ومغلق تماماً في الحالة الجافة جداً (C). ويعزز ذلك نتائج البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) حيث بلغت نسبة التقارب 94% في الحالة الطبيعية (A)، و91% في الحالة الجافة (B)، و99% في الحالة الجافة جداً (C). أما على صعيد السيناريوهات الرئيسية المدروسة بالبرنامج، يُستنتج أنّ أقل كمية عجز مائي كانت في السيناريو الفرعي (سيناريو التقانات المتطورة، HT) حيث ستبلغ فعالية الحوض المدروس 81.17% في حالة السنوات الطبيعية (A)، و69.7% في حالة السنوات الجافة (B)، و27.9% في حالة السنوات الجافة جداً (C) عام 2050 وفقاً لحالة الوضع الراهن عام 2010 بدون تطبيق أي استراتيجية جديدة. ولن ترتفع فعالية الحوض المدروس كثيراً عام 2050 بعد استثمار سد زيتا بالمقارنة بالسيناريو الرئيسي الأول

والسيناريو الفرعي (HT)، وإنما سيكون له بالغ الأثر على تلبية التزامات الأولوية الأولى (الشرب والاستعمال المنزلي) في الحالتين الجافة والجافة جداً، ومنه سيلعب سد زيتا دور كبير في رفع درجة تنظيم واستثمار الوارد المائي السطحي المتجدد، ولا يؤثر كثيراً على خفض كمية العجز المائي كون معظمها في القطاع الزراعي، وهذا يلزمه تطبيق السيناريو الرئيسي (إدارة الماء الزراعي بشكل نموذجي) والذي أظهر ارتفاع كفاءة استخدام المياه للمحاصيل المروية (كغ/م³) بنحو 34% بالمقارنة مع التطبيق الحقلي، وبعد تطبيق السيناريو الفرعي (HT) سيتم توفير 70 م.م³ من مياه الري، وعليه سيختفي العجز بشكل شبه كامل عام 2050 في الحالة الطبيعية (A) وسترتفع فعالية الحوض المدروس إلى 85.7% و 47.6% في الحالتين الجافة والجافة جداً على التوالي. وبأخذ معدل نمو السكان المنخفض بعين الاعتبار ومحاكاة البرنامج بعد تطبيق السيناريو السابق سترتفع فعالية الحوض لتصل إلى 88.5% و 69.11% في الحالتين الجافة والجافة جداً عام 2050. أما لإنشاء سد بديل في بحيرة قطينة بعد دراسة الجدوى الاقتصادية (السيناريو الرئيسي الأخير) سيكون أثر واضح على خفض كمية التبخر من سطح بحيرة قطينة، وتلبية الالتزامات في العاصي الأوسط مع وجود فائض مائي في الحالتين الطبيعية والجافة، وعجز مائي زراعي قليل بالحالة الجافة جداً لا يتجاوز 68 م.م³ عام 2050 بالمقارنة مع نتائج السيناريو الرئيسي الأول (حالة الوضع الراهن) والسيناريو الفرعي (HT). أما بتطبيق مبدأ الماء الافتراضي بعد عملية برمجة الري أثر واضح على حفظ مياه الري وزيادة العائد الاقتصادي وتحقيق الاكتفاء الذاتي من الغذاء في المنطقة المدروسة ولاسيما في الحالتين الجافة والجافة جداً، وبالنسبة لنمذجة التلوث الحاصل في المنطقة المدروسة، يُمكن تقليص عدد نقاط الرصد من 10 نقاط رصد إلى 5 نقاط، وهذا بدوره سيؤدي إلى خفض عدد العينات المائية المجموعة والمحللة بمعدل 50%، وبالتالي خفض التكاليف اللازمة للتحليل بذات النسبة.

وأخيراً أثبت البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) من خلال المحاكاة بعد المعايرة حتى عام 2010 على صحة نتائج نظام القياسات المائية (WAS) السنوية وفقاً لسيناريواته البسيطة، لكن بدقة أعلى، ويُمكن اعتبار البرنامج المتكامل (WEAP-MABIA) والبرامج الأخرى المساعدة له مثل (ArcGIS) و (SPAW) و (NewLoc-Clim) و (ET₀Calc) أدوات حديثة ومتطورة جداً، تُمكن الخبير المائي من توفير الجهد والوقت والحصول على نتائج دقيقة جداً عند دراسة الموازنة المائية، وإدارة الطلب على الموارد المائية، ودراسة عدد لانهائي من الحلول، واختيار الحل المنطقي لتحقيق التنمية المستدامة في حوضي العاصي الأعلى والأوسط.

-Abstract-

Homs governorate watershed is considered as the agricultural production hub and a strategic water reservoir of Syria. However, freshwater used unsustainably in the upper and midmost Orontes basin (from Syrian- Lebanese borders to Rastan dam), in parallel with increased agriculture production, increased pollution, population, and economic growth, water predicted to become scarce by 2020 in this basin. Therefore, it is necessary to develop a prediction model that helps to estimate future availability of water resources and demand. Also, how some strategies can help the government in achieving sustainable development. Consequently, their water security in the wake of climate changes till 2050. Water accounting system (WAS) was used to estimated water resources and unmet demand in the studied basin. After analysis available data (1975/76-2009/10), where the 2010 was considered base year. Three sub-scenarios were studied [Reference scenario (RF), Best available technology scenario (BAT), High Tech Scenario (HT)], to predict the future water balance of the 2011 till 2050, and that was through three cases of annual climate changes [Normal at probability of water resources 50% (A), Dry at probability of water resources 75% (B), and Very dry at probability of water resources 95% (C)], compared with results of the WEAP program after the calibration it from 2004 to 2010. WEAP-MABIA program was used to study the following future strategies: Optimal use of Zeita dam scenario, Optimal agricultural water management, Low population growth rate, and Creation of alternative dam in Kattinieh lake, and compared it with the status quo scenario in 2010. The results are visualized as graphs, maps and tables. Water balance coefficient (W_b) after the reuse of treatment non-conventional water resources in the upper Orontes basin, will rise to up to (0.28) in the case (A), and (0.14) in the case (B), and (-0.15) in the case (C), at the year 2050, compared with its values without them, and after the application of (HT) scenario. when taking loss in the Homs Lake and obligations of the demand for water in the midmost Orontes into account, it is noted that the upper Orontes basin will be completely closed for the midmost Orontes in the Reference scenario (i.e all available water resources used before the dam Kattinah) in the case (A), even after the application of advanced technologies scenarios will not improve the water situation very much and will remain semi-closed for the midmost basin in case of nature and dry, closed completely in a very dry state. Whereas simulation rate was 94% in the (A) case, 91% in the (B) and 99% in the (C), comparison with the status quo. At the level of the main studied scenarios, it concluded that less amount of water deficit was in the sub-scenario (High technologies, HT), where the effectiveness of the basin will be studied 81.17% in the case of (A), and 69.7% in the case of (B) and 27.9% in the case of (C) 2050, according to the status quo in 2010 without applying any new strategies. Effectiveness of the basin studied often did not rise in 2050 after investing dam Zeta compared to the main scenario first sub-scenario (HT), but has had a deep impact on meeting the first priority obligations (domestic use) in the dry cases and it will play major role in raising the degree of organization and investment watery contained surface renewed, does not have much effect on decreasing the amount of water deficit the fact that most of them in the agricultural sector, and that he have the application of the main scenario (typical agricultural water management) where water use efficiency of irrigated crops

(kg/m³) will rise about 34% compared with the field application, and after the application of sub-scenario (HT) will be provided 70 mm³ of irrigation water, and the deficit will disappear almost entirely in 2050 in the case (A) and will increase the effectiveness of the basin studied to 85.7% and 47.6% in dry and very dry consecutive cases. After taking a low rate of population growth into account will show high effectiveness to reach 88.5% and 69.11% in the dry and very dry 2050. The creation of alternative dam in Homs Lake have clear impact on decreasing the amount of evaporation from the surface of Lake and to meet the commitments in the midmost Orontes with the presence of a water surplus in natural and dry cases. Virtual water is the water embedded in a product. If agricultural plans take crop water requirements and virtual water concepts into consideration, they can reduce water needs. could save more than 10 MCM of water if lower water consumption crops as garlic was substituted on the land currently planted with cotton and sugar beet.

The pollution modeling will reduce the number of monitoring points from 10 points to 5 points, and this in turn leads to a reduction in the number of analyst water samples at a rate of 50%, thereby reducing analysis cost in the same ratio.

We can be considered integrated program (WEAP-MABIA) and other programs such like (ArcGIS), (SPAW), (NewLoc-Clim) and (ET₀ Calc) very modern tools, enables water expert from saving time, effort and get very accurate results when study the water balance, demand management of water resources, and the study of an infinite number of solutions, and selecting logical solution to achieve sustainable development.

المراجع :References

أ- المراجع العربية:

1. إبراهيم، عمر صباح؛ صالح، صبار عبد الله؛ علي، نوفل حسن 2012. استخدام الموازنة المائية المناخية لتقييم واقع تغذية المياه الجوفية في حوض بيجي تكريت/شمال غرب العراق، مجلة جامعة كركوك - الدراسات العلمية. المجلد (7)، العدد (1).
2. أبو نقطة، فلاح 2004. تصنيف التربة وتصنيف تربة سورية، أساسيات في علم التربة. منشورات جامعة دمشق.
3. أكساد، 2004. تقرير مشروع مسح الموارد الطبيعية في البادية السورية.
4. 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.
5. الأسعد، علي محمد؛ علاء الدين، محمد دريد 1998. الهيدرولوجيا، جامعة تشرين، 320 صفحة.
6. البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة 1992. مشروع تحسين إدارة الموارد المائية من أجل الزراعة SYR/001/90 مشروع الشبكة الإقليمية للري التكميلي RAB/90/005. الاستثمارات الفنية لتجارب الاحتياج المائي وطرق وتقنيات الري في محطة بحوث الري واستعمالات المياه في حوض العاصي.
7. الشعار، سميرة 2001. ترشيد استخدام مياه الري في منطقة الحولة، رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية. منشورات جامعة البعث، ص (145).
8. الشمري، أحمد صالح 2007. نظم المعلومات الجغرافية من البداية. أساسيات علم الهندسة المدنية، الجامعة التكنولوجية-بغداد. ص 586.
9. المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية 2011. منشورات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. مديرية الإحصاء والتخطيط. قسم الإحصاء. الجدول (80).
10. المحمد، ياسر 2013. تأثير قوام التربة الزراعية في جدولة الري. رسالة ماجستير. كلية الهندسة المدنية. منشورات جامعة البعث، ص (123).
11. تقارير الشركة العامة للدراسات المائية بحمص 2010.
12. تقارير مديرية زراعة حمص 2010.
13. تقارير مديرية مكافحة التلوث وحماية البيئة 2011.
14. حسيان، كفاح محمد؛ غيث، مصطفى أحمد؛ علام، محمد نصر الدين 2006. إدارة الطلب على المياه بالوطن العربي حالة دراسية: سورية. المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة.
15. حسيان، كفاح محمد 2012. تقييم الوضع المائي في سورية من خلال تطبيق مبدأ المياه الافتراضية في القطاع الزراعي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية. المجلد الثامن والعشرون - العدد الأول.
16. خزام، بشرى 2010. ترشيد استخدام الموارد المائية في حوض العاصي الأعلى، رسالة دكتوراه، كلية الهندسة المدنية. منشورات جامعة البعث، ص 157.

17. خزام، بشرى؛ ديوب، معمر؛ ادريس، ختام 2015. التقييم الاقتصادي لاستبدال محصول الشوندر السكري في ظروف محافظة حمص. ملخصات المؤتمر العلمي العشرون، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق. ص (17).
18. رعد، تمام 2009. دراسة أسباب الغمر في سهل الحولة واقتراح الحلول المناسبة. رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية. منشورات جامعة البعث، ص (148).
19. رعد، تمام 2013. التنبؤ عن الوضع المائي المستقبلي لحوض العاصي الأعلى باستخدام الطرق التحليلية الإحصائية، رسالة دكتوراه، كلية الهندسة المدنية. جامعة البعث، ص 151.
20. رمضان، أنور 2002. تنمية الموارد المائية في حوض تلدو. رسالة ماجستير، قسم الحراج والبيئة، كلية الهندسة الزراعية. جامعة حلب، ص 147.
21. سفر، طلعت؛ الضير، عبد الناصر 2003. المصادر المائية، كلية الزراعة. منشورات جامعة حلب، ص 322 (286).
22. سليمان، أمين؛ سلوم، مازن 2013. تأثير رطوبة التربة على التسرب السطحي لتربة غير مزروعة، مجلة جامعة البعث. المجلد 35، العدد 13.
23. سونير، يكيم الإيرانية 2003. مشروع تطوير ري حمص- حماه، طهران.
24. شاكر، أمجد؛ فركوح، بسام؛ أبو الشعر، وائل 2006. الإدارة المتكاملة للموارد المائية. جامعة دمشق، ص 311.
25. شماع، أحمد طه 2010. استخدام برمجة الري في تحديد الاحتياجات والموازنة المائية لأهم المحاصيل المزروعة في مناطق مختلفة في سورية، رسالة دكتوراه، كلية الزراعة. منشورات جامعة حلب، ص 199.
26. صحيفة تشرين، 2003. بعد الأمطار الغزيرة في موسم الشتاء الماطر 28 مليون ل.س قيمة الأضرار في منطقة الحولة بحمص، إقامة المزيد من السدود حل جذري.
27. صومي، جورج؛ داوود، معن 2001. مشروع صياغة وتنفيذ السياسة السكانية، الاتجاهات السكانية والموارد المائية، هيئة تخطيط الدولة. دمشق، ص 62.
28. عباس، جميل 1997. أهمية السدود والمدرجات في حوض العاصي بهدف تنمية وترشيد وصيانة الموارد المائية، مؤتمر تقويم تجربة الوطن العربي في إقامة السدود والحواجز وأثرها على التنمية الزراعية. صنعاء.
29. عباس، جميل 2006. إدارة مساقط المياه متقدم. أملية جامعية لطلاب دبلوم الدراسات العليا بقسم الحراج والبيئة. منشورات كلية الزراعة. جامعة حلب.
30. عباس، جميل 2002. استراتيجية تنمية الموارد المائية بالطرق المختلفة لحصاد المياه وتكاملها مع الري التكميلي، مؤتمر حصاد مياه الأمطار والري التكميلي. الرباط.
31. عباس، جميل 2004. الهيدرولوجيا وإدارة مساقط المياه. أملية جامعية لطلاب السنة الخامسة بقسم الحراج والبيئة. منشورات كلية الزراعة. جامعة حلب.
32. عبد الناصر، زهراء 2011. هيدروكيميائية المياه الجوفية في مدينة أربيل شمال العراق. رسالة ماجستير، قسم الهندسة الصحية والبيئة. كلية الهندسة التكنولوجية. العراق، ص 169.

33. عويس، ذيب 2003. الري التكميلي. إيكاردا، حلب، سورية، المجلد (16). ص (8).
34. عويس، ديب؛ برينز، ديتير؛ حاجم، أحمد 2003. حصاد المياه تقانات تقليدية لتطوير البيئات الأكثر جفافاً. مطبوعات المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا).
35. عيسى، مريم جمعة 2013. الموازنة المائية وآفاقها المستقبلية من عام 1992-1993-2008-2009 لغاية 2024-2025 م، مجلة جامعة دمشق. المجلد 29، العدد 3+4، ص 551-585.
36. كنفاني، مأمون 2010. الاحتياجات المائية للخطة الزراعية، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق ص 362.
37. مكسور، زياد الموسى 2006. الموازنة المائية للمياه السطحية في حوض العاصي الأعلى في الأراضي السورية وتنبؤاتها المستقبلية، رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث. حمص، ص 141.
38. ممو، أحمد 1995. الأساليب العلمية والتقنية المستخدمة في إدارة الموارد المائية غير المتجددة. ورشة عمل الإدارة المتكاملة للأحواض المائية. أكساد. دمشق.
39. يوسف، ضحى 2009. نمذجة تلوث مياه نهر العاصي- سورية باستخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافية GIS. منشورات مجلة جامعة تشرين. المجلد (31) العدد (1).

ب- المراجع الإنكليزية :References

1. **Abdi Kardavani, A. and Fakherifar, A.,** 2009. Frequency distribution analysis of River peak discharges by use of linear moments, 4th National civil engineering conference, Tehran university, 1-7.
2. **Abdul, A. A.,** 2011. Water resources development and management in semi-arid areas using water harvesting techniques. Lecture presented in the international workshop entitled: Optimal use of Available Water Resources, 21st-24th Feb. 2011, Al-Baath University- Syria.
3. **Abdulla, A. F. and Al-Shareef, A. W.,** 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. Desalination. 243, pp. 195-207.
4. **Abdullahi, S. A.; Muhammad, M. M.; Adeogun, B. K. and Mohammed, I. U.,** 2014. Assessment of Water Availability in the Sokoto Rima River Basin, Resources and Environment journal, Vol. 4 No. 5, pp. 220-233. doi: 10.5923/j.re.20140405.03.
5. **Abdurahimov, L.; Ikramov, E.; Shezdyukov and Pauw, d.,** 2013. Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia. Agriculture, Ecosystems and Environment 178, 78- 99.
6. **Abou Zakhem, B. and Hafez, R.,** 2007. Environmental isotope study of seawater intrusion in the coastal aquifer (Syria). Environmental Geology, 51, pp. 1329-1339.
7. **Al-Adamat, R.; Diabat, A. and Shatnawi, G.,** 2010. Combining GIS with Multi criteria Decision Making for Sitting Water Harvesting Ponds in Northern Jordan. Journal of Arid Environments. 74, 1471-1477.
8. **Alazzy, A., A.; Haishen, LÜ. and Yonghua, Zhu.,** 2014. Impact of climate change on evaluation of future water demand in the Euphrates and Aleppo basin, Syria. Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-

Society Interactions Proceedings of ICWRS, Bologna, Italy, June (IAHS Publ. 364, 2014). doi:10.5194/piahs-364-307-2014.

9. Alfarra, A., 2004. "Modeling Water Resource Management in Lake Naivasha." Msc. Thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, the Netherlands.

10. Al-Jayyousi, R. O., 2003. Grey water reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156 (1-3), pp. 181- 192.

11. Alkouri, I., 2011. The Effect of Using Big Semi Circular Bunds Technique of Water Harvesting on Controlling The Erosion of Agricultural Soil in Syrian Baddia (Mahassa). Lecture presented in the international workshop entitled: Optimal use of Available Water Resources, 21st–24th Feb. 2011, Al-Baath University- Syria.

12. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 300p. (<http://www.fao.org/>).

13. Almasri, M. N. and Hindi, I., 2008. Modelling wastewater management options with a water evaluation and planning tool for Wadi Nar watershed, west bank, Palestine. Twelfth international water technology conference, Alexandria, Egypt.

14. Altinbilk, D., 2004. Development and management of the Euphrates-Tigris Basin. *Water Resources Development*, 20 (1), pp. 15-23.

15. Ansink, E., 2010. Refuting two claims about virtual water trade. *Ecological Economy*, 69, pp. 2027-2032.

16. Arranz, R. and McCartney, M., 2007. Application of the water evaluation and planning (WEAP) model to assess future water demands and resources in the Olifants catchment, South Africa International Water Management Institute. IWMI Working Paper 116, 103 pp. Colombo, Sri Lanka.

17. Assaf, H. and Saadeh, M., 2008. Assessing water quality management options in the Upper Litany Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system. *Environmental Modeling and Software*, 23, pp. 1327-1337.

18. Bakir, M. and Liang R. L., 2004. Rainwater Harvesting Techniques in Syrian Desert (Badia Basin). *Journal of Lake Sciences*. 16:97-104.

19. Bakker, M.; Barker, R.; Meinzen-Dick, R. and Konradsen, F., 1999. Multiple uses of water in irrigated areas: A case study from Sri Lanka. SWIM Paper 8. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

20. Barnes, J., 2009. Managing the waters of Ba'th country: The politics of water scarcity in Syria. *Geopolitics*, 14 (3), pp. 510-530.

21. Benoit, S.; Pascal, G. and Jeremie, L., 2004. Irrigation scheduling of confectionery groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Senegal using a simple water balance model.

22. Berbel, J. and Gómez-Limón, J. A., 2000. The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management* 43 (2), 219-238.

23. Berman, T., 1998. Lake Kinneret and its catchment: international pressures and environmental impacts. *Water Policy*, 1, pp. 193-207.

24. Bhattarai, M.; Pant, D.; Mishra, V. S.; Devkota, H.; Pun, S.; Kayastha, R. N. and Molden, D., 2002. Integrated development and management of water resources

- for productive and equitable use in the Indrawati River Basin, Nepal. Working Paper 41. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
25. **Bird, J.; Arriens, L. and Custodio, D.,** 2009. Water rights and water allocation issues and challenges for Asia, Asian Development Bank.
26. **Blagojevic.,** 1974. Hydrology of Orontes catchment area, Ghab development project. United Nations Special Fund.
27. **Bouman, B.; Barker, R.; Humphreys, E.; Tuong, T. P.; Atlin, G.; Bennett, J.; Dawe, D.; Dittert, K.; Dobermann, A.; Facon, T.; Fujimoto, N.; Gupta, R.; Haefele, S.; Hosen, Y.; Ismail, A.; Johnson, D.; Johnson, S.; Khan, S.; Shan, L.; Masih, I.; Matsuno, Y.; Pandey, S.; Peng, T.; Muthukumarisami, T. and Wassman, R.,** 2007. Rice: feeding the billions. In: Molden, D. (Ed.), Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earth scan/IWMI, London, UK/Colombo, Sri Lanka, pp. 515-549.
28. **Braemer, F.; Genequand, D.; Maridat, C.; Blanc, P.M.; Dentzer, J. M.; Gazagne, D. and Wech, P.,** 2009. Long-term management of water in the Central Levant: the Hawran case (Syria). World Archaeology, 41, pp. 36-57.
29. **Breisinger, C.; Zhu, T.; Al Riffai, P.; Nelson, G.; Robertson, R. and Verner, D.,** 2011. Global and Economic impacts of climate change in Syria and options for adaptation. international food policy research institute, IFPRI Discussion paper 01091.
30. **Brickle, P.; Rodrignes, V. T., and Partida, E. G.,** 1995. Effect of evapotranspiration on the water balance of the valley of Mexico. Geophysical Int. 35 (1). P 63-72.
31. **Callison, D.,** 2012. Management allowed depletion irrigation scheduling, the intelligent use of water. Rain and Bird products.
32. **CBS-SYR.,** 2011. Central bureau of statistics of Syria, physical feature. Available at: < <http://www.cbssyr.org/> [Accessed 15 May 2011].
33. **CBS-SYR.,** 2011. Central Bureau of Statistics of Syria, private industrial projects <http://www.cbssyr.org/Time%20Series/economic1>.
34. **Cheng, C. L. and Liao, M. C.,** 2009. Regional rainfall level zoning for rainwater harvesting systems in Northern Taiwan. Resources, Conservation and Recycling, 53, pp. 421-428.
35. **Daniel, J.; Rooijen, V.; Turrall, H. and Wade biggs, T.,** 2008. Urban and industrial water use in the krishna basin, india, Irrig. and Drain. Published online in Wiley Inter Science (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/ird.439.
36. **Dienya, R. N.,** 2007. Application of the WEAP model in integrated water resources management of the Nyando river basin, Kenya. JKUAT abstracts of Postgraduate Thesis.
37. **Droogers, P. and Aerts, J.,** 2005. Adaptation strategies to climate change and climate variability: a comparative study between seven contrasting river basins. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 30 (6/7), 339-346.
38. **Droogers, P.; Immerzeel, W. W.; Terink, W.; Hoogeveen, J.; Bierkens, M. F. P.; Van Beek, L. P. H. and Debele, B.,** 2012. Water resources trends in Middle East and North Africa towards 2050 Hydrol. Earth Systems Science, 16, 3101-3114.
39. **Droubi, A.,** 2006. Integrated water resources management is a tool for ensuring Arab water security. Water Resources Department, ACSAD, Damascus, Syria. The 2nd International Conf. on Water Resources and Arid Environment.

40. **Droubi, A.; AL-Sibai, M.; Abdallah, A.; Wolfer, J.; Huber, M.; Hennings, V.; El Hajji, K. and Dechiech, M.,** 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 between ACSAD and BGR.
41. **El Afandi, G.; Khalil, F. A. and Ouda, S. A.,** 2010. Using irrigation scheduling to increase water productivity of wheat-maize rotation under climate change conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70, 474-484.
42. **Energoproject.,** 1962. Utilisation of Orontes waters - Volume II - Data -Belgrade.
43. **Eriksson, E.; Auffarth, K.; Henze, M. and Ledin, A.,** 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4 (1), pp. 85-104.
44. **Eroksuz, E. and Rahman, A.,** 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, pp. 1449-1452.
45. **ESCWA-BGR Cooperation.,** 2012. Inventory of shared water resources in western Asia (Online Version). Chapter 7: Orontes River Basin. Beirut.
46. **Evans, J. P.,** 2010. Global warming impact on the dominant precipitation processes in the middle east. *theoretical and applied climatology*, 99, 389-402.
47. **Falkenmark, M. and Rockström, J.,** 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management, *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 132 (3), 129– 132, 4 pp.
48. **FAO.,** 2009 a. FAOSTAT - database. Available at: <http://faostat.fao.org/>.
49. **FAO.,** 2009 b. New LocClim v. 1.06. Environment and Natural Resources Service (SDRN), Working Paper No. 20 (CD-ROM), Available: <http://www.fao.org/sd/dim>.
50. **FAO-ISRIC.,** 1989. Soil Database (SDB). Soil Classification.
51. **Farg, E.; Arafat, M. S.; Abd El-Wahed and El-Gindy, A. M.,** 2012. Estimation of evapotranspiration etc and crop coefficient kc of wheat, in south Nile delta of Egypt using integrated FAO-56 approach and remote sensing data. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15, 83-89.
52. **Fennell, A. and Goel, D.,** 2011. Assessment of Water Availability in the Alberta environment, Canada. *Resources and Environment journal*, Vol. 1. No. 4, pp. 214-240. doi: 10.5223/j.re.20110005.01.
53. **French Mandatory Administration (FMA),** 1933. Hydrological observations on Orontes river. abstracts from a report in French.
54. **Gaiser, T.; Printz, A.; Schwarz von Raumer, H. G.; Götzinger, J.; Dukhovny, V. A.; Barthel, R.; Sorokin, A.; Tuchin, A.; Kiourtsidis, C.; Ganoulis, I. and Stahr, K.,** 2008. Development of a regional model for integrated management of water resources at the basin. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, pp. 175-182.
55. **General Commission for Scientific Agricultural Research, GCSAR.,** 2011. Country Profile Syria, www.gewamed.net/share/img_country_information.
56. **George, B.; Malano, H.; Davidson, B.; Baharati, L. and Massuel, S.,** 2011. An integrated hydro economic modeling framework to evaluate water allocation strategies II: Scenario assessment. *Agricultural Water Management*, 98, pp. 747-758.

- 57. Ghisi, E. and Ferreira, D. F.,** 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building Environment*, 42, pp. 2512-2522.
- 58. Gichuki, F.,** 2004. Managing the externalities of declining dry season river flow: a case study from the Ewaso Ngiro North River Basin, Kenya. *Water Resources Research* 40, 8.
- 59. Global Water Partnership (GWP),** 2010. Water security for development: Insights from African partnerships in action, policy brief, Stockholm, Sweden.
- 60. Goes, B. J. M.; Howarth, S. E.; Wardlaw, R. B.; Hancock, I. R. and Parajuli, U. N.,** 2015. Integrated water resources management in an insecure river basin: a case study of Helmand River Basin, Afghanistan. *International Journal of Water Resources Development*. DOI: 10.1080/07900627.
- 61. Gohar, A. A. and Ward. F. A.,** 2011. Gains from improved irrigation water use efficiency in Egypt. *International Journal of Water Resources Development* 27, 737-758.
- 62. GRUZGIPROVODKHOZ-TBILISI.,** 1979. Hydrogeological and hydrological surveys and investigations in four areas of Syrian Arab Republic-Orontes area.
- 63. Guerra, L. C.; Hoogenboom, G.; Hook, J.; Thomas, D. L.; Boken, V. K. and Harrison, K. A.,** 2005. Evaluation of on-farm irrigation applications using the simulation model EPIC.
- 64. Haddad M. and Mizyed, N.,** 2004. Non-conventional options for water supply augmentation in the Middle East: A case study, *Water International*, 29 (2), pp. 232-242.
- 65. Hadded, R., I.; Nouri, O.; Alshihabi, J.; Maßmann, M.; Huber, A.; Laghouane, H.; Yahiaoui and Tarhouni, J.,** 2013. A Decision support system to manage the groundwater of the Zeuss Koutine aquifer using the WEAP-MODFLOW Framework *Water Resources Management*, 27, 1981-2000.
- 66. Hadian, M.; Habibnezhad roshan, M. and Omidvar, A.,** 2011. Evaluation of different statistical distributions in instantaneous peak discharges with different return periods in Tajen watershed. 6th National science and watershed engineering conference. 1-8.
- 67. Hajj, E. A. and Ismail, I. M.,** 2011. Trace elements concentration in sediments of Orontes river using PIXE technique. *Nuclear instruments and methods in physics research B*, 269: p. 1818-1821.
- 68. Hall, J.,** 2010. Vulnerability analysis of future public water supply under changing climate conditions: a study of the moy catchment, Western Ireland. [Water Resources Management](#) (Impact Factor: 2.6); 24 (13) : 3527-3545. DOI: 10.1007/s11269-010-9618-8.
- 69. Hall, J. and Murphy., C.,** 2012. Adapting water supply systems in a changing climate. *Water Supply Systems, Distribution and Environmental Effects*. Nova Science Publishers, Inc.
- 70. Hamlat, A.; Errih, M. and Guidoum, A.,** 2013. Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*. July, Volume 6, Issue 7, pp 2225-2236.

71. **Harter, H.**, 1998. Tables of Percentage Points of the Pearson Type III Distribution, (Mathematical Statistician), Technical Release 38, United States, Department of Agriculture.
72. **Hassanea, R. B.; Yebdria, D. and Tidjania, A. E.**, 2014. Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province. *Journal of Desalination and Water Treatment*. 2346-2366 pp.
73. **Heinzen, B.**, 2001. 'Conference report: 4.7 Water for peace in the Middle East'. *Water Policy*, Vol. 3, pp.S153-S154.
74. **Hellegers, P. J. and Perry, C. J.**, 2006. Can Irrigation water use be guided by market forces? Theory and practice. *Water Resources Development* 22 (1), 79-86.
75. **Hoekstra, A. Y.; Mekonnen, A. K.; Chapagain, R.; Mathews, E. and Richter.,** 2012. Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. *PLoS ONE*, 7, art. no. e32688.
76. **Hoff, H.; Noel, S. and Droogers, P.**, 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.
77. **Hoff, H.; Bonzi, C.; Joyce, B. and Tielbörger, K.**, 2011. A water resources planning tool for the Jordan River basin. *Water*, 3, pp. 718-736.
78. **Hofwegan, P.V.**, 2003. "Virtual water- conscious choices", World Water Council, December.
79. **Hoogenboom, G.**, 2001. Weather monitoring for management of water resources. In: Hatcher KJ (ed) proceedings of 2001 Georgia water resources conference. Institute of ecology, the university of Georgia Athens, GA, PP 778-781.
80. **Hu, Y., P.; Moiwo, Y.; Yang, S.; Han and Yang. Y.**, 2010. Agricultural water-saving and sustainable groundwater management in Shijiazhuang Irrigation District, North China Plain. *Journal of Hydrology*, 219-232.
81. **Hussain, I., H.; Turrall, D.; Molden, and Ahmad. D.**, 2007. Measuring and Enhancing the Value of Agricultural Water in Irrigated River Basins, *Irrig Sci* 25:263-282 DOI 10.1007/s00271-007-0061.
82. **ICARDA.**, 2001. "Water Harvesting " . ICARDA - Aleppo - Syria.
83. **ICARDA.**, 2011. Use of decision support tools and models to assess the sustainability of innovative strategies for managing land, water and rural livelihoods under pilot testing through the Water and Livelihoods Initiative, WLI project.
84. **INECO.**, 2009. Institutional and Economic Instruments for Sustainable Water Management in the Mediterranean Basin. Institutional framework and decision making practices for water management in Syria. *Studies and Integration Consulting* March; p. 68.
85. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).**, 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat, Geneva, Switzerland.
86. **IWMI (International Water Management Institute).**, 2000. *World water supply and demand 1995 to 2025 (draft)*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. www.cgiar.org/iwmi/pubs/WWV_isn/WWSDOpen.htm.
87. **Japan International Cooperation Agency (JICA).**, 1998. *The study on water resources development in the northwestern and central basins in the SAR*.

- 88. Jensen, M. E.; Burman, R. D. and Allen, R. G.,** 1990. Evaporation and irrigation water requirements. ASCE Practice No. 70. ASCE, NY, NY.
- 89. Kaisi, A.; Yasser, M. and Mahrouseh, Y.,** 2005. Syrian Arab Republic country report. In : Hamdy A. (ed.), El Gamal F. (ed.), Lamaddalen a N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Guellou bi R. (ed.). Non-conventional water use: WASAMED project. Bari : CIHEAM / EU DG Research ,. p. 251 -264 (Option s Mediterranean: Série B. Etu des et Recherches; n . 53.
- 90. Karimi, P.; Bastiaanssen, M. and Molden, D.,** 2013. Water Accounting Plus (WA+) and (WA-) water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. Hydrology and Earth System Sciences, 17, 2459-2472.
- 91. Kassem, A.; Sarheel, A. and Al-Somel, N.,** 2004. Determination of trace elements in soil and plants in the Orontes basin of Syria by using instrumental neutron activation analysis. journal of radio analytical and nuclear chemistry, 262 (3): p. 555-561.
- 92. Kattan, Z.,** 2006. Characterization of surface water and groundwater in the Damascus Ghatta basin: hydro chemical and environmental isotopes approaches. Environmental Geology, 51, pp. 173-201.
- 93. Keller, A. and Seckler, D.,** 2004. Limits to Increasing the Productivity of Water in Crop Production. Winrock Water, Arlington, VA.
- 94. Khosravi, Gh.; Majidi, A. and Nohegar, A.,** 2012. Determination of Suitable Probability Distribution for Annual Mean and Peak Discharges Estimation (Case Study: Minab River- Barantin Gage, Iran). International Journal of Probability and Statistics, 1(5): 160-163.
- 95. Kibaroglu, A.; Klaphake, A.; Kramer, A. and Scheumann, W., et al.,** 2005. Cooperation on Turkey's Transboundary Waters. Published by the German Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Berlin.
- 96. Kumar, M. D. and Singh, O. P.,** 2005. Virtual water in global food and water policy making: is there a need for rethinking. Water Resources Management, 19, pp. 759-789.
- 97. Leenhardt, D.; Trouvatb, G.; Gonzales, C. V.; Perarnand, S.; Pratsd, E. and Bergez, J.,** 2004. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale.
- 98. Léвите, H.; Hilmy, S. and Julien, C.,** 2003. Testing water demand management scenarios in a water stressed basin in South Africa: Application of the WEAP model. Physics and Chemistry of the Earth, 28, pp. 779-786.
- 99. Li, F.; Wichmann, K. and Otterpohl, R.,** 2009. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. Science of The Total Environment, 407, pp. 3439-3449.
- 100. Lombardo, P.,** 1982. Expanding options for greywater treatment. Biocycle, 23, pp. 45-49.
- 101. Long, S. P.; Ainsworth, E. A.; Leakey, A. D. B.; Nosberger, J. and Ort, D. R.,** 2006. Food forethought. Lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO2 concentrations. Science 312 (5782), 1918-1921.
- 102. Loon, A. V. and Droogers, P.,** 2006. "Water Evaluation and Planning System, Kitui-Kenya", Wat Man Sup project, Wat Man Sup Research Report No 2 (Future Water).

- 103. Luquet, D.; Vidal, A.; Smith, M. and Dauzatd, J.,** 2005. More crop per drop: how to make it acceptable for farmers? *Agricultural Water Management* 76 (2), 108-119.
- 104. MAAR-SY.,** 2010. Ministry of Agriculture and Agrarian Reform in Syria. Available at: <http://www.syrian-agriculture.org/index_ar.htm> [Accessed 6 June 2012].
- 105. Mahdavi, M.; Salajegheh, A.; Keshtkar, A. R.; Fahmi, H. and Sharifi, F.,** 2006. A Study of the Appropriate Probability Distributions for Annual Flow Series, Using L-Moment Method in Arid and Semi-arid Regions, *Iranian journal of natural resources*, 59, 1, 74-87.
- 106. Mahdavi, M.,** 2010, *Applied Hydrology*, Vol. 2, Tehran University press. P 437.
- 107. Margaret, A.; Palmer Dennis, P.; Lettenmaier, N.; LeRoy Poff Sandra, L.; Postel Brian Richter. and Richard Warner.,** 2009. Climate change and river ecosystems: Protection and Adaptation Options. *Environmental Management* 44:1053-1068.
- 108. Martin, E.,** 2001. Methods of determining when to irrigate. Cooperative Extension, College of Agriculture and Life Sciences, The University of Arizona. USA. <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1220/>.
- 109. Mauget, S. and Pauw, E.,** 2012. ICARDA Agro-Climate Tool Technical Description. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. P.O. Box 5466, Aleppo, Syrian Arab Republic.
- 110. 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) IRG PROJECT NO: 1673-000. Bucharest, Romania.
- 111. Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y.,** 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1577-1600.
- 112. Ministry of Water and Irrigation (MoWI),** 2005. Practice manual for water supply services in Kenya. Kenya-Belgium Study and Consultancy Fund, Nairobi, Kenya.
- 113. Mishoe, J. W.; Jones, J. W.; Swaney, D. P. and Wilkerson, G. G.,** 1997. Using crop and pest models for management applications. *Agric systems*. 15: 153-170.
- 114. Misra, K. R. and Sivongxay, A.,** 2009. Reuse of laundry grey water as affected by its interaction with saturated soil. *Journal of Hydrology*, 366, pp. 55-61.
- 115. Mohamed, Y.; Molden, D. and Bastiaanssen, W.,** 2009. Water accounting in the Nile basin. www.iwmi.org.
- 116. Mohita, A.; Sharma, N. and Jai Bhagwan Singh.,** 2010. Use of probability distribution in rainfall analysis. *New York Science Journal*. 3 (9).
- 117. Molden, D. J. and Sakthivadivel, R.,** 1999. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute.
- 118. Molden, D. J.; Sakthivadivel, R. and Keller, J.,** 2001 a. Hydronomic zones for developing basin water conservation strategies. Research. Report 56. International water management institute, Colombo, Sri Lanka.

- 119. Molden, D.; Sakthivadivel, R. and Habib, Z.,** 2001 b. Basin-level use and productivity of water: Examples from South Asia. Research Report 49. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- 120. Molden, D.; Murray-Rust, H.; Sakthivadivel, R. and Makin, I.,** 2003. A water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. CABI Publishing and International Water Management Institute, Wallingford, UK/Colombo, Sri Lanka.
- 121. Molden, D.; Oweis, T. Y.; Steduto, P.; Kijne, J. W.; Hanjra, M. A. and Bindraban, P. S.,** 2007 a. 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: Earth scan, and Colombo: International Water Management Institute.
- 122. Molden, D.; Bin, D.; Loeve, R.; Barker, R. and Tuong, T. P.,** 2007 b. Agricultural water productivity and savings: policy lessons from two diverse sites in China. Water Policy 9 (Suppl. 1), 29-44.
- 123. Molden, D.; Oweis, T. Y.; Pasquale, S.; Kijne, J. W.; Hanjra, M. A.; Bindraban, P. S.; Bouman, B. A. M.; Cook, S.; Erenstein, O.; Farahani, H.; Hachum, A.; Hoogeveen, J.; Mahoo, H.; Nangia, V.; Peden, D.; Sikka, A.; Silva, P.; Turrall, H.; Upadhyaya, A. and Zwart, S.,** 2007 c. Pathways for increasing agricultural water productivity. In: Molden, D. (Ed.), Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earth scan/IWMI, London, UK/Colombo, Sri Lanka, pp. 279-310.
- 124. Molden, D.; Oweis, T.; Steduto, P.; Bindraban, P.; Hanjra, M. and Kijne, J.** 2009. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. Agricultural Water Management journal, 25: 63.
- 125. Molle, F.; Mamanpoush, A. and Miranzadeh, M.,** 2004. Robbing Yadullah's water to irrigate saeid's garden: hydrology and water rights in a village of central Iran. research Report 80. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- 126. Molle, F.,** 2006. Planning and managing water resources at the river – basin level: Emergence and evolution of a concept. Colombo, Sri Lanka: International water management institute, 38p. (IWMI Comprehensive Assessment Research Report (16).
- 127. Molle, F. and. Berkoff, J.,** 2006. Cities versus agriculture: revisiting inter sectorial water transfers. In: Potential Gains and Conflicts. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Research Report 10, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- 128. Molle, F.; Wester, P. and Hirsch, P.,** 2010. River basin closure: processes, implications and responses. Agric. Water Manage (in press).
- 129. Mourad, K. A.; Gaese, H. and Jabarin, A. S.,** 2010. "Economic Value of Tree Fruit Production in Jordan Valley from a Virtual Water Perspective," Water Resources Management, vol. 24, no. 10, pp. 318-325.
- 130. Mourad, K. and Berndtsson, R.,** 2011. Syrian water resources between the present and the future. Available at: Air, Soil and Water Research journal.
- 131. Mourad, K.,** 2012. Marginal and virtual Water for sustainable water resources management in Syria. Academic thesis submitted in partial fulfillment of the

requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D. Engineering, Lund University).

132. Mourad, A. K. and Berndtsson, R., 2012. Water status in the Syrian water basins. *open journal of modern hydrology*, 2, pp. 15-20.

133. Mualla, W. and Salman, M., 2002. "Progress in water demand management in Syria". Proceedings of water demand management in the Mediterranean region conference, Figgie, Italy, October.

134. Mugatsia, E. A., 2010. Simulation and scenario analysis of water resources management in perkerra catchment using WEAP model, a Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements of the award of the degree of master of science in water engineering, MOI university.

135. Nayak, P. C.; Robin, W. and Kharya, A. S., 2015. Water balance approach to study the effect of climate change on groundwater storage for Sirhind command area in India. *International Journal of River Basin Management*. [Volume 13, Issue 2](#), pages 243-261.

136. NEDECO., 1953. El Ghab development project, Nederland.

137. Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R. and Williams, J. R., 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. 647. Texas: Texas Water Resources Institute, Texas A and M University.

138. Nguyen-Khoa, S.; Smith, L. and Lorenzen, K., 2005. Impacts of Irrigation on In land Fisheries: Appraisals in Laos and Sri Lanka. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Research Report 7*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

139. Ouessar, M.; Bruggeman, A.; Abdelli, F.; Mohtar, R. H.; Gabriels, D. and Cornelis, W. M., 2009. Modeling water-harvesting systems in the arid south of Tunisia using SWAT. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 2003 -2021.

140. Oweis, T. Y.; Hachum, A. and Kijne, J., 1999. Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Use Efficiency in Dry Areas. SWIM paper 7. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

141. Oweis, T., and Taimah A., 2001. Farm water harvesting reservoirs. Issues of planning and management in dry areas .International workshop on integrated land management in dry areas . China, 8-13 September.

142. Oweis, T. Y. and Hachum, A. Y., 2003. Improving water productivity in the dry areas of West Asia and North Africa. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* CABI Publishing and International Water Management Institute, Wallingford, UK/Colombo, Sri Lanka.

143. Perry, C. J., 1999. The IWMI water resources paradigm-definitions and implications. *Agricultural Water Management* 40 (1), 45-50.

144. Perry, C. J., 2011. Accounting for water use: Terminology and implications for saving water and increasing production. *Agricultural Water Management* 98 .1840 - 1846.

145. Perry, C. J.; Steduto, P.; Allen, R. G. and Burt, C. M., 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. *Agric. Water Manage.* 96, 1517-1524.

- 146. Phocaides, A.,** 2000. Pressurized irrigation techniques. FAO. Consultant. In Rome, PP:13-195. Available at: <http://www.fao.org/waicent/faoinfo> .
- 147. Qin, H. P.; Su, Q. and Khu, S. T.,** 2011. An integrated model for water management in a rapidly urbanizing catchment. *Environmental Modeling and Software*, 26, pp. 1502-1514.
- 148. Raes, D.,** 2009. The ET₀ Calculator, reference manual. In. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division, FAO.
- 149. Raes, D.; Gaelen, H.; Karajeh, F. and Steduto, P.,** 2014. Capacity development for farm management strategies to improve crop-water productivity using importance of modeling in water management, *Aqua Crop* 24 August -28 August, Cairo-Egypt.
- 150. Rahaman, M. M. and Varis, O.,** 2005. Integrated water resources management: Evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 1 (1), pp.15-21.
- 151. Renaud Re.,** 1966. Les ressources hydrauliques de l'Oronte en relation avec les irrigations du Ghab et de la Plaine d'Asharneh, Ghab development project. United Nations Special Fund.
- 152. Rochdane, S.; Reichert, B.; Messouli, M.; Babqiqi, A. and Khebiza, M. Y.,** 2012. Climate change impacts on water supply and demand in Rheraya watershed (morocco), with potential adaptation strategies. *Water journal*, 4 (1), 28-44; doi:10.3390/w4010028.
- 153. Rockstro'm, J.; Barron, J. and Fox, P.,** 2003. Water productivity in rain-fed agriculture: challenges and opportunities for smallholder farmers in Drought-prone tropical agro ecosystems. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing and International Water Management Institute, Wallingford, UK/Colombo, SriLanka.
- 154. Roost, N.,** 2003. Strategic options analysis in surface irrigation systems: integrated modelling for efficient, productive and equitable water use, PhD Thesis, Lausanne, EPFL.
- 155. Samuelsson, B.,** 1964. The River Orontes Hydrological Study, Ghab development project. United Nations Special Fund.
- 156. Sayre, K. D.; Rajaram, S. and Fischer, R. A.,** 1997. Yield potential progress in short bread wheat's in Northwest Mexico. *Crop Science* 37 (1), 36-42.
- 157. Scheumann, W. I.; Sagsen. and Tereci. E.,** 2011. Orontes River Basin: Downstream challenges and prospects for cooperation. In *Turkey's Water Policy: national frameworks and international cooperation*. published by springer-verlag. berlin.
- 158. Schuol, J.; Abbaspour, K. C.; Yang, H.; Srinivasan, R. and Zehnder, A. J. B.,** 2008. Modeling blue and green water availability in Africa, *Water Resour. Res.*, 44, W07406, doi:10.1029/2007WR006609.
- 159. Sebhat, M.,** 2010. Assessments of water demands for the Juba and Shabelle rivers in Somalia. *Integrated Journal of British* (ISSN : 2349-9419).
- 160. Seckler, D.,** 1996. The new era of water resources management: from 'dry' to 'wet' water savings. research Report 1. International Irrigation Management Institute (IIMI), Colombo, Sri Lanka.

- 161. Seckler, D.; Molden, D. and Sakthivadivel, R.,** 2003. The concept of efficiency in water resources management and policy. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing and International Water Management Institute, Wallingford, UK/Colombo, Sri Lanka.
- 162. SELKHOPROMEXPORT.,** 1977. Investigation on Kattineh reservoir.
- 163. Shaban, A.; Khawlie, M.; Abdullah, C. and Awad, M.,** 2005. Hydrological and watershed characteristics of the El-Kabir River, North Lebanon, Lakes and Reservoirs. *Research and Management*, 10, pp. 93-101.
- 164. Sheikh, B.,** 1993. The city of Los Angeles grey water pilot project shows safe use of grey water is possible. In: *Water Management in the 90s: a Time for Innovation*. American Society of Civil Engineers, New York, NY, p. 681.
- 165. SOFRELEC.,** 1982. Etude de planification de l'infrastructure hydraulique de L'Oronte Rapport n01, Rapport n05.
- 166. Somi, G.,** 2004. UNDP/Project: SYR/98/008, Planning for integrated water resources management in Orontes Basin.
- 167. Stockle.,** 1996. Small farm program research specially olive oil production, UC cooperative extension, Sonoma country.
- 168. Trondalen, M. J.,** 2009. Climate changes, water security and possible remedies for the Middle East. Scientific Paper from Potential Conflict to Co-operation Potential (UNESCO).
- 169. Turner, K.; Georgiou, S.; Clark, R. and Brouwer, R.,** 2004. Economic valuation of water resources in agriculture from the sectorial to a functional perspective of natural resource management, FAO, Rome.
- 170. Turner, G. M.; Baynes, T. M.; McInnis, B.; West, J. and Hoffman, M.,** 2008. Water accounting system for strategic resource management, MODSIM proceedings, Christchurch, NZ.
- 171. Turner, G. M.; Baynes, T. M.; McInnis, B.; West, J. and Hoffman, M.,** 2010. Water accounting system for strategic resource management, *Agric water management journal* (5) - (223-229).
- 172. UNDP.,** 2002 a. Upper Orontes Basin-Water resources data and information, part one- diagnostic analysis, planning for IWRM. /DESA/MoI Project: SYR/98/008.
- 173. UNDP.,** 2002 b. Upper Orontes Basin-Water resources data and information, Part two- Operational strategy, Planning for IWRM. /DESA/MoI Project: SYR/98/008.
- 174. UNDP.,** 2004. Planning for integrated water resources management in the Orontes basin. /DESA/MoI Project: SYR/98/008.
- 175. Van Aken, M.; Molle, F. and Philippe Venot, J.,** 2007. 2 Squeezed Dry: the Historical Trajectory of the Lower Jordan River Basin., e-mails: *mauro.vanaken@unimib.it; **francois.molle@ird.fr; ***j.venot@ggiar.org.
- 176. Van Koppen, B.; Moriarty, P. and Boelee, E.,** 2006. Multiple-use water services to advance the millennium development goals. IWMI, Colombo, Sri Lanka, 44 p. (IWMI Research Report 98).
- 177. Varela-Ortega, C. and Sagardoy, J. A.,** 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.

- 178. Varela-Ortega, C.; Gutiérrez, I. B.; Esteve, P.; Bharwani, S.; Fronzek, S. and Downing, T. E.,** 2014. How can irrigated agriculture adapt to climate change? Insights from the Guadiana Basin in Spain. *Regional Environmental Change Journal*. 10.1007/s10113-014-0720-y. 1436-3798.
- 179. Viets, Jr., F. G.,** 1962. Fertilizers and the efficient use of water. *Advances in Agronomy* 14, 223-264.
- 180. Villarreal, E. L. and Dixon, A.,** 2005. Analysis of A Rainwater Collection System for Domestic Water Supply in Ringdansen, Norrkoping, Sweden. *Building and Environment*. 40 (9), 1174-84.
- 181. Viktoria, I. Z.; Richard, M. V.; Paul, H. K. and Kirk, S. W.** 2010. Integrated watershed management modeling: generic optimization model applied to the Ipswich River Basin. *Journal of water resources planning and management* © ASCE / September/October.
- 182. Ward, F. A. and Michelsen, A.,** 2002. The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications. *Water Policy* 4 (5), 423-446.
- 183. 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.
- 184. 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: 2010update. joint monitoring programme for water supply and sanitation. Geneva/New York, WHO/UNICEF. <http://www.who>.
- 185. Widiastuti, N.; Wu, H.; Ang, M. and Zhang, D.,** 2008. The potential application of natural zeolite for grey water treatment. *Desalination*, 218, pp. 271-280.
- 186. Willems, P.,** 2009. "A Time Series Tool to Support the Multi-Criteria Performance Evaluation of Rainfall-Runoff Models" *Science Direct Journals, Environmental Modeling and Software* 24; 311-321.
- 187. World Bank.,** 2004. Towards a water-scarce, Syria. Water resources sector memorandum. Washington, d.c. the world bank.
- 188. Yaghi, T.; Arslan, A. and Naoum, F.,** 2013. Cucumber (*Cucumis sativus*, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation *Agricultural Water Management*, 128, 149-157.
- 189. Yates, D.; Sieber, J.; Purkey, D. and Huber-Lee, A.,** 2005. WEAP₂₁-Ademand-, priority, and preference driven water planning model: Part 1. Model characteristics. *Water international*, 30, 487-500.
- 190. YECOM Consulting Engineer (Member of SUNIR Group),** 2001. Homs and Hama irrigation improvement project, Volume -Meteorology. Teheran, Iran.
- 191. Zhang, H. and Oweis, T.,** 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 38, 195-211.

SYRIA ARAB REPUBLIC
University of Aleppo
Faculty of Agriculture
Dep. Rural Engineering



**Application of Water Accounting System (WAS) and
WEAP₂₁ Program For Rationalization of Water
Resources Utilization in The Upper and Midmost
Orontes Basins - Syria**

**Submitted for Ph.D. Degree at Department of Rural Engineering
Faculty of Agriculture, Aleppo university**

BY

Eng. Tammam K. Yaghi

Supervisors

Prof. Abdel Naser Aldarir

Dep. Of Rural Engineering
Faculty of Agriculture.

Prof. Jamil Abbas

Dep. Of Renewable Natural
Resources and Ecology
Faculty of Agriculture.

Dr. Awadis Arslan

Natural Resources Research
HCSR-Syria

Prof. Vinay Nangia

Integrated Water & Land
Management Program.
ICARDA- Jordan

Prof. Theib Oweis

Integrated Water & Land
Management Program
ICARDA- Jordan

Dr. Boshra Khozam

Homs Research Center
GCSAR-Syria

SYRIA ARAB REPUBLIC
University of Aleppo
Faculty of Agriculture
Dep. Rural Engineering



**Application of Water Accounting System (WAS) and
WEAP₂₁ Program For Rationalization of Water
Resources Utilization in The Upper and Midmost
Orontes Basins - Syria**

**Submitted for Ph.D. Degree at Department of Rural Engineering
Faculty of Agriculture, Aleppo university**

BY
Eng. Tammam K. Yaghi