استخدام النموذج الرياضي كأداة فنية متقدمة في إدارة المياه الجوفية في وادي الليث، المملكة العربية السعودية

عبدالرحمن متعب الزهراني

قسم دراسات التصحر – هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، ص.ب 54141 جدة 21514

الملخص

تقع المملكة العربية السعودية ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة، وتعتبر المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة مورداً رئيسياً هاماً فيها، حيث تمتلك خزانات طبيعية من المياه الجوفية غير المتجددة ذات نوعية مختلفة، تساهم بشكل كبير في التنمية الزراعية. وتعد المياه الجوفية المتجددة أحد الموارد الرئيسية لمياه الشرب وتعتبر رافداً مهماً في التنمية، إلا أن هذه المياه تتعرض للاستنزاف والتلوث بسبب سوء إدارتها وما تواجهه من ضغوطات من قبل المستخدمين. من خلال تقييم مستوى إدارة المياه الجوفية المتجددة في وادي الليث باستخدام إطار البنك الدولي لتقييم مستوى إدارة المياه الجوفية، تبين أن هناك قصور عام في تطبيق الأدوات الفنية والوسائل المؤسسية والإجراءات الإدارية، حيث يتم تطبيقها في أدنى مستوياتها. تهدف الدراسة إلى تقييم مستوى إدارة المياه الجوفية في وادي الليث، واستخدام النموذج الرياضي كأداة فنية متقدمة في إدارة المياه الجوفية، حيث تم بناء نموذج رياضي لمحاكاة الخزان الجوفي في وادي الليث وتم معايرته باستخدام بيانات السحب من عام 1990 إلى بداية عام 2014، وبيانات مناسيب المياه الجوفية للعامين 2007 و 2014، باعتبار أن ما قبل عام 1990 كان مرحلة استقرار لعدم توفر البيانات، وتم تشغيل النموذج لأربع فترات مدة كل فترة 6 سنوات. أُستخدِم النموذج في تقييم السيناريوهات المستقبلية لحالة المياه الجوفية إلى عام 2037. وأظهرت نتائج النمذجة أنه في حال زاد كمية السحب 20% عن ما كان عليه في عام 2014 بسبب زيادة الطلب، سيؤدي ذلك إلى غزو مياه البحر إلى الخزان الجوفي في عام 2031. أما في حال تطبيق طرق الري الحديثة ورفع كفاءة الري إلى حوالي 60% بالإضافة إلى استخدام المياه المعالجة والمقدرة بـ 15.000 م^3/اليوم للري، فإن ذلك يقود إلى تخفيض كمية السحب، وبالتالي يرتفع منسوب المياه الجوفية ولن يكون هناك اقتحام لمياه البحر. إن استخدام النموذج الرياضي لمحاكاة المياه الجوفية في وادي الليث يعتبر تحقيق مرحلة متقدمة في تقدير المورد خاصة عند ربطه باتخاذ القرار، وهذا أحد التوصيات المقترحة في الدراسة.

الكلمات الدالة: وادي الليث، المياه الجوفية، إدارة المياه الجوفية، النموذج الرياضي، غزو مياه البحر.

ABSTRACT

geosp.net/vol-4/numéro-8

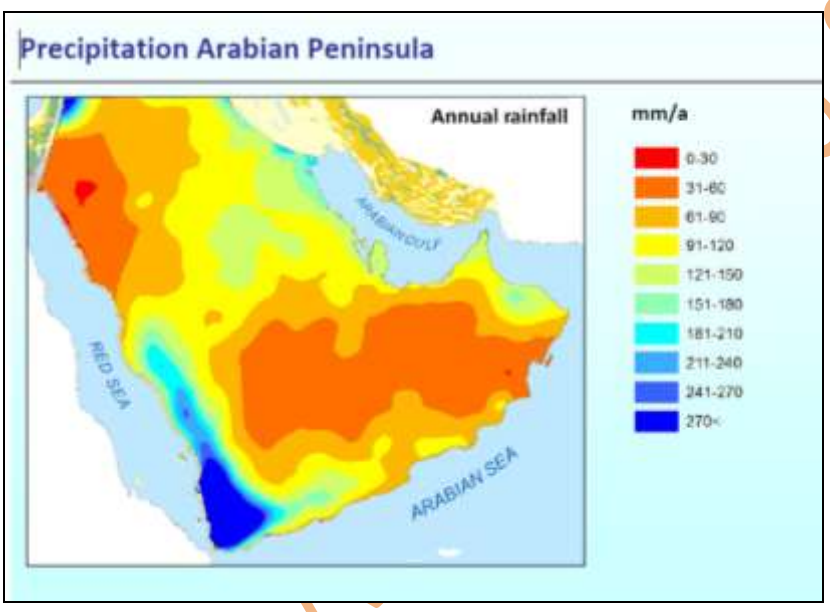
The Kingdom of Saudi Arabia is located within the arid and semi-arid zones, groundwater (renewable and non-renewable) is a major resource, the kingdom has natural reservoir from non-renewable groundwater with different quality, contribute significantly to agricultural development. The renewable groundwater is one of the major supplier for drinking water and contribute in socio-economic and environmental development. However, this resource is exposed to the depletion, pollution and salinization due to poor management and the pressures by users. The research aims to contribute to assessing the levels of the groundwater management in Wadi Al-Leith and design mathematical model as an advance technical tool to groundwater management. When assessing the level of groundwater management in Wadi Al- Leith through using the World Bank framework to assess the level of groundwater management, it illustrated that groundwater management interventions are the minimum of what is required. A mathematical model to simulate aquifer in Wadi Al-Leith has been built. The calibration has been using the available exploitation data from 1990 to the beginning of 2014 and groundwater levels data for 2007 and 2014, considering that what before 1990 was the steady state due to available data, the modeling is running for four periods, where six years for each period. The mathematical model has been using to assessment the future scenarios of groundwater status to 2037. Its results illustrated if the groundwater withdrawal increased about 20% from what it was in 2014 due to demand increasing, it will lead to the seawater intrusion in 2031. But in case using the modern irrigation methods and efficiency raise of irrigation about 60% in addition to the use of treated water which estimated at 15,000 m^3/day to irrigate the farms nearby the treatment plant, it would lead to the withdrawals reduction, especially in the farms nearby the plant, raise the groundwater levels and thus there is no seawater intrusion. Using the mathematical model in Wadi Al-Leith is to achieve an advanced stage in the resource estimation, especially when linked it with decision-making, this is one of the proposed recommendations.

Keywords: Wadi Al-Leith, Renewable and Non-renewable groundwater, Groundwater management, Mathematical modeling, Seawater intrusion.

egosp.net / Vol-4/numéro-8

المقدمة

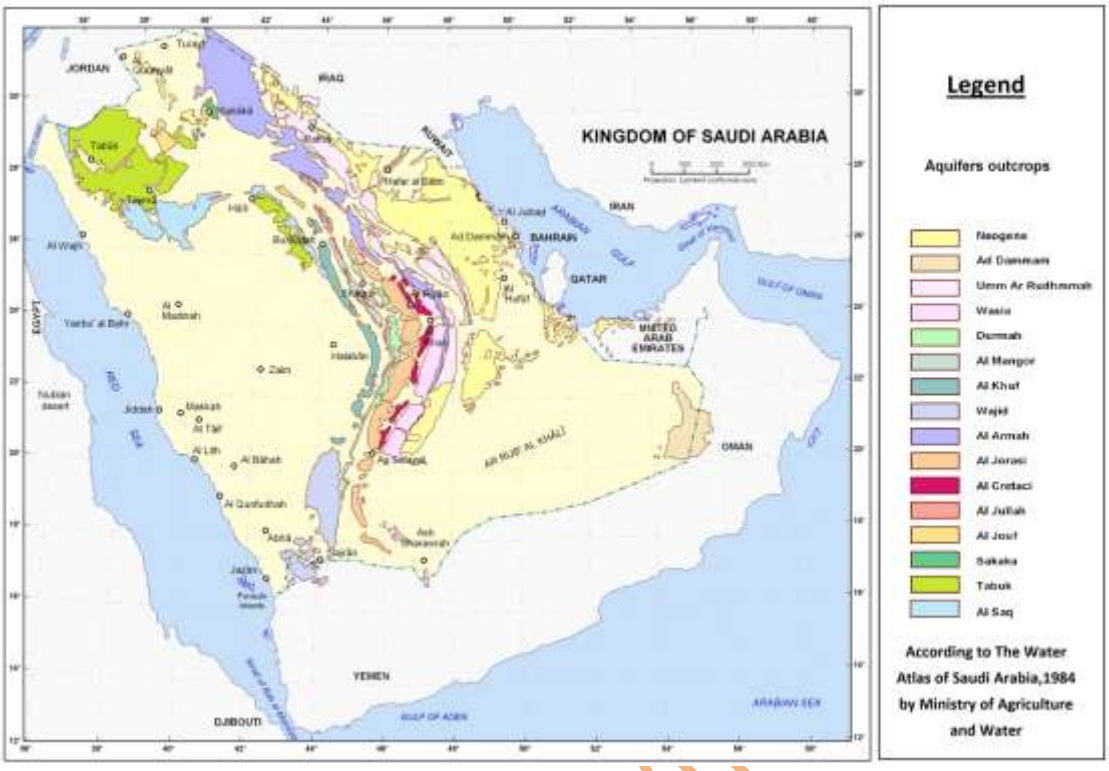
تعد المياه الجوفية مورداً رئيسياً هاماً في المملكة العربية السعودية، وذلك بسبب وقوعها ضمن نطاق المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتصف بالمناخ الصحراوي وندرة الأمطار. وتتراوح معدلات كمية الأمطار في شمال المملكة بين 100 و 150 ملم/السنة وفي الهضبة الوسطى (هضبة نجد) بين 85 و 110 ملم/السنة، أما في المناطق الجنوبية الغربية (مرتفعات جبال السروات) فأن الأمر يختلف إلى حد كبير، حيث يزيد معدل الهطول المطري عن 300 ملم/السنة، ويصل في بعض أجزاء المنحدرات إلى أكثر من 500 ملم/السنة[1] (شكل-1).



شكل-1: معدل كمية الأمطار السنوية في المملكة العربية السعودية[2]

هناك نوعين من المياه الجوفية في المملكة، مياه جوفية أحفورية غير متجددة Non-renewable groundwater تتواجد في الطبقات الرسوبية في الغطاء الرسوبي أو ما يسمى بالرف العربي Arabian shelf (شكل-2)، والأخرى مياه جوفية متجددة Renewable groundwater تتأثر مباشرة بمياه الأمطار وتتواجد بشكل كبير في منطقة الدرع العربي Arabian shield، وتخزن في رسوبيات الأودية، وهي موضوع الدراسة.

[1] الخطيب، 1980
[2] MOWE, 2012



شكل–2: المتكونات المائية الرئيسية والثانوية في المملكة العربية السعودية

تستهلك المملكة كمية كبيرة من المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة، مما ينتج عنه مشاكل كبيرة في ندرة المياه بمختلف المناطق بسبب عدم التوازن بين ما يتم استخراجه وما هو متوفر. أن الدافع وراء هذا الخلل في المقام الأول، عدم التطابق بين استهلاك المياه المفرط لصالح القطاع الزراعي في جميع أنحاء البلاد وما بين توفرها.

المنهجية

تعتمد منهجية الدراسة على تقييم مستوى الإدارة الحالية للمياه الجوفية في وادي الليث، ومقارنتها بأفضل الممارسات الإدارية المتبعة عالمياً باستخدام إطار البنك الدولي لتقييم مستوى إدارة المياه الجوفية. بالإضافة إلى تصميم نموذج رياضي يحاكي حركة المياه الجوفية في وادي الليث كأحد الأدوات الفنية المتقدمة في الإدارة. وذلك من خلال:

geosp.net/vol-4/

- تجميع البيانات والخرائط الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية والبيانات المتعلقة بخواص المياه الجوفية ومعاملاتها ومعدلات تغذيتها وتصريفها في وادي الليث.
- تطوير نموذج جيولوجي (استخدام البيانات والمعلومات الجيولوجية لتحديد الخواص الليثولوجية للحوض المائي وأبعاد الخزان الجوفي).
- تطوير نموذج هيدروجيولوجي (توصيف الخزان الجوفي: استخدام البيانات والمعلومات الهيدروجيولوجية لوضع تصور لنموذج هيدروجيولوجي مبدئي يمثل الحوض المائي).
- تطوير نموذج رياضي رقمي يحاكي النظام المائي في الحوض (إدخال البيانات، اختبارات الحساسية للمعاملات الهيدروجيولجية، والمعايرة بواسطة البيانات التاريخية).
- وضع سيناريوهات البدائل الفنية المتاحة وتقييمها باستخدام النموذج الرياضي لتحقيق استدامة المياه الجوفية المتجددة لخدمة أهداف التنمية الاجتماعية والاقتصادية في وادي الليث.

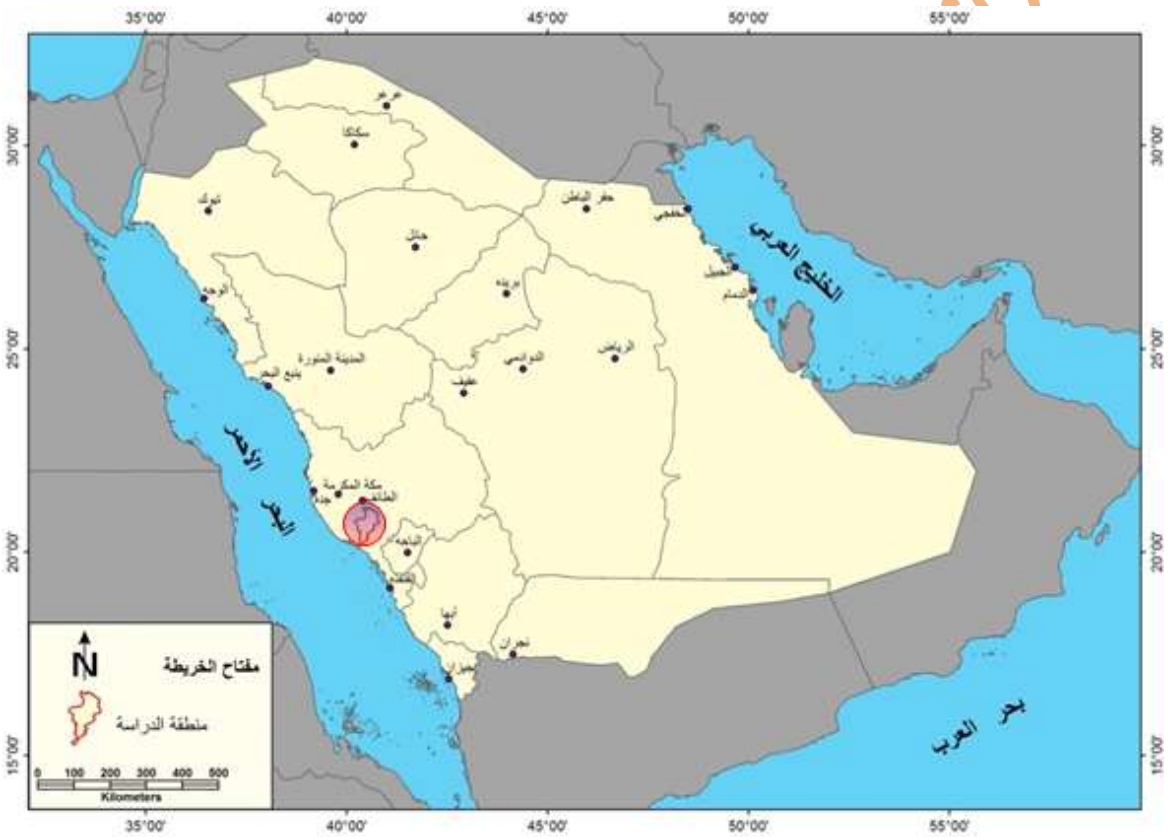
الحوض المائي لوادي الليث

تقع منطقة الدراسة شمال إقليم تهامة على الساحل الغربي للمملكة العربية السعودية، وتطل غرباً على البحر الأحمر وتمتد إلى جبال السروات شرقاً. وتتبع إدارياً منطقة مكة المكرمة، وتبعد عن مدينة مكة المكرمة 180 كم جنوباً، كما تبعد عن مدينة جدة 190 كم باتجاه الجنوب أيضا (شكل– 3)، ويبلغ عدد سكانها 128,529 نسمة[3]، وبمعدل نمو حوالي 3% موزعين بين المناطق الحضرية والقرى الجبلية والساحلية والهجر. يشغل معظم سكانها في الزراعة وتربية المواشي وصيد الأسماك. هذا، بالإضافة إلى أن البعض منهم يعمل في القطاعات الحكومية المختلفة في محافظة الليث.

[3] وزارة الاقتصاد والتخطيط، 2010

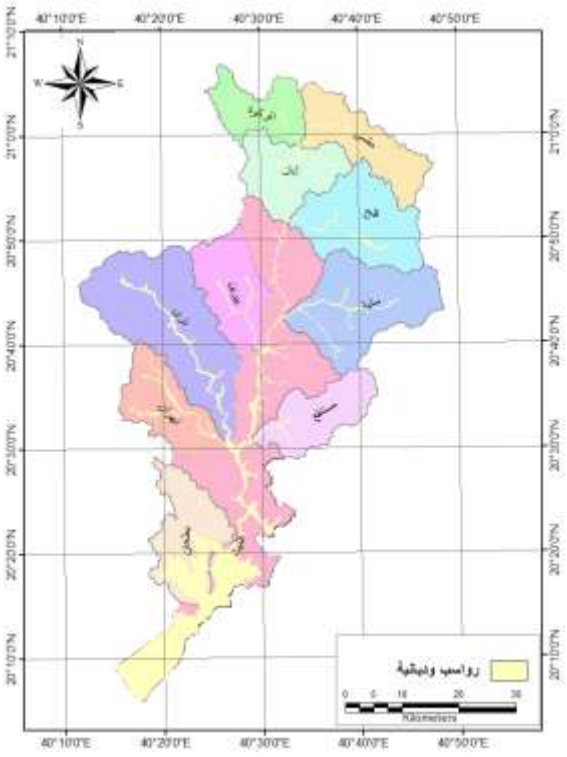
geosp.net/vol-4/numéro-8

تبلغ مساحة الحوض المائي لوادي الليث حوالي 3157 كم^2 وطوله 115 كم، وأطول مجرى مائي فيه يبلغ 173 كم. يبدأ الوادي الرئيسي بالانحدار من ارتفاع 2000 م فوق سطح البحر متجهاً جنوباً ليصل إلى منسوب سطح البحر بالقرب من مدينة الليث. ويبلغ متوسط ميل الحوض الساكب 0.28، ويتراوح عرض المجرى بين 100 متر في بدايته و 500 م في الجزء الأسفل منه [4]، يوضح الشكل (4) روافد المجرى الرئيسي.



شكل–3: الموقع الجغرافي لحوض وادي الليث

[4] أكساد وهيئة المساحة الجيولوجية السعودية، 2010



شكل–4: الأحواض الفرعية لحوض وادي الليث

تقييم مستوى إدارة المياه الجوفية المتجددة في وادي الليث

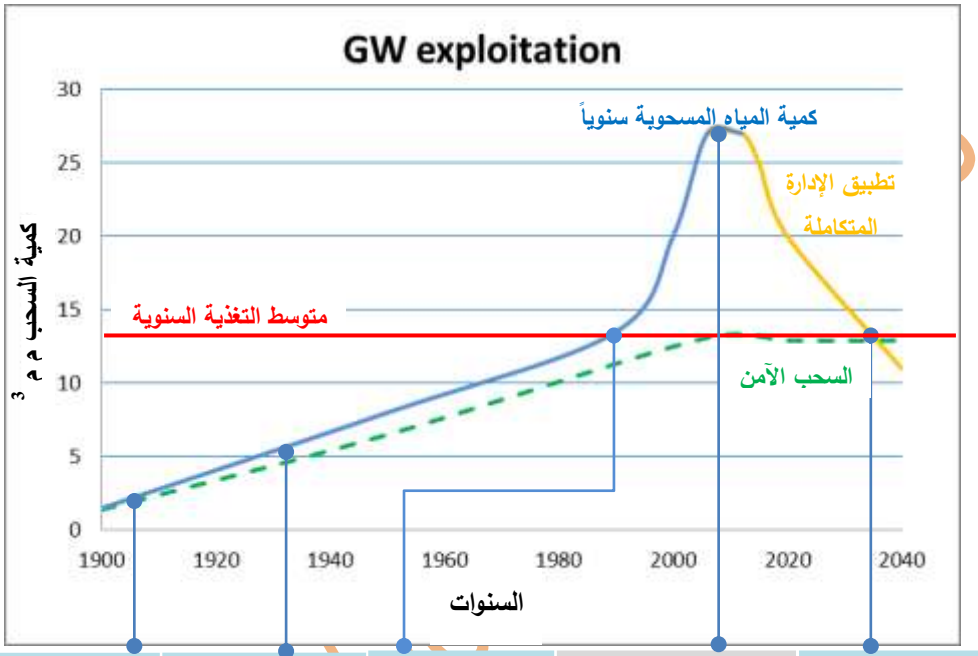
تهدف الإدارة السليمة للمياه الجوفية إلى تطبيق الإدارة المتكاملة لموارد المياه الجوفية، وتعنى الإدارة المتكاملة بعملية إدارة المياه والأراضي مع غيرهما من الموارد الطبيعية الأخرى ذات العلاقة بشكل منسق، من أجل تعظيم الرفاه الاقتصادي والاجتماعي بأسلوب منصف، مع الأخذ في الاعتبار استدامة النظم البيئية الأساسية [5]. وتكمن أهمية إدارة الموارد المائية في اعتبار أن المياه أحد حقوق الإنسان الأساسية والتي لا يجب التخلي عنها . كما تكمن أهمية الإدارة في معالجة ظاهرة شح موارد المياه نتيجة للزيادة التي يشهدها العالم في عدد السكان في الوقت الحاضر وتغيير نمط الاستخدام خاصة في المناطق الجافة. ونتيجة لشح مياه الأمطار ومع زيادة الضغوط على الموارد المائية من كافة القطاعات (الحضرية، الزراعية، الصناعية)، فهناك ضرورة ملحة إلى وضع استراتيجيات للتخطيط والإدارة من أجل الاستدامة الاجتماعية والاقتصادية والإيكولوجية، ويتطلب ذلك تحليل التفاعلات المتغيرة القائمة بين العمليات البيئية (تغير المناخ، الأحداث البيئية، التصحر، النمو الاقتصادي للزراعة، الصناعات، الاحتياجات من الطاقة)، والعمليات الاجتماعية والثقافية[6].

[5] الإسكوا، 2002
[6] اليونسكو، 2010

geosp.net/vol-4/...ero-8

مراحل تنمية موارد المياه الجوفية المتجددة في وادي الليث

تقدر كمية المياه الجوفية المسحوبة من الحوض المائي لوادي الليث بـ 27.06 مليون م^3/السنة[7]. بينما تقدر كمية المياه التي تغذي الخزان الجوفي 10–17 مليون م^3/السنة[8]، أي أن الخزان الجوفي في وادي الليث يمر بعجز بمتوسط 13.5 مليون م^3/السنة. يمكن القول أن تنميته غير مستقرة (شكل–5).



0 : مرحلة الأساس	1 : إجهاد أولي	2 : ضغط متزايد	3 أ : تنمية غير مستقرة	3 ب : تنمية عالية مستقرة
المياه الجوفية متاحة وسهل الحصول عليها بنوعية مناسبة تفوق بكثير الطلب القليل المتناثر	تنامي السحب من الخزان الجوفي ولكن فقط تنشأ بعض المنازعات المحلية على مستوى الآبار المتجاورة	سحب سريع ومطرد مما يؤثر في النظام الطبيعي والاعتماد الشديد لمختلف المنتفعين على المورد	سحب مفرط غير منضبط مع تدهور للخزان الجوفي لا يمكن استرجاعه، ونزاع بين المنتفعين	معدلات سحب عالية ولكنها تحقق التوازن المطلوب بين مصالح المنتفعين المتنافسة والاحتياجات البيئية
مطلوب تسجيل آبار السحب والعيون المستعملة مع إعداد خرائط تبين تواجد الموارد الصالحة للاستعمال	يجب تطبيق أدوات إدارية بسيطة على سبيل المثال: تحديد المسافات المقبولة بين الآبار طبقا لخصائص الخزان الجوفي	مطلوب وضع هيكل تنظيمي يعتمد على تقدير شامل للموارد مع تقييم حساس لارتباطات الخزان الجوفي	مطلوب وضع هيكل تنظيمي مع إدارة الطلب، والتغذية الصناعية في هذه الحالة تكون مطلوب بشدة	إدارة متكاملة للمورد مع مستوى عال من الرقابة الذاتية من قبل المستخدمين مسترشدة بنمذجة الخزان الجوفي والمراقبة

شكل–5: مراحل تنمية موارد المياه الجوفية المتجددة في وادي الليث

[7] أكساد وهيئة المساحة الجيولوجية السعودية، 2010
[8] Saudi Arabian Dames & Moore, 1988

إن تجاوز معدل المياه الجوفية التي يتم ضخها من الطبقة الحاملة عن معدل المياه المغذية للخزان الجوفي ومع الاستمرارية في ذلك لفترات طويلة، سيؤدي حتما إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية وتدهور نوعيتها. ويتطلب هذا الوضع إجراءات وتدخلات إدارية عديدة، منها وضع هيكل تنظيمي مع التركيز على إدارة الطلب، كما أن التغذية الصناعية سواء من مياه السيول أو المياه المعالجة الفائضة عن الاستخدام البشري تعد أمراً ضرورياً في هذه الحالة. لذا، فهناك ضرورة إلى تخفيض معدلات السحب من المياه الجوفية لتعادل كمية التغذية. ويتطلب هذا الأمر إدارة متكاملة لهذا المورد الحيوي مع مستوى عالي من الرقابة من قبل المستخدمين، بالإضافة لعمل نموذج رياضي للخزان الجوفي لمساندة متخذي القرار في تصميم برنامج المراقبة والحماية من الأنشطة السطحية.

وتتطلب المرحلة الحالية لاستخدام المياه الجوفية في وادي الليث تدخلات إدارية تتناسب مع هذه المرحلة. يمثل الجدول (1) مراحل استغلال الخزان الجوفي والتدخلات الإدارية المطلوبة لكل مرحلة. وقد تم تحديد مستوى الإجراءات الإدارية الموجودة حالياً في وادي الليث ومقارنتها بما يجب أن يتم لحالة الحوض، حيث تبين أن مستوى الإدارة المائية في الحوض لا تتناسب مع الوضع المائي في الحوض. توجد فجوة كبيرة بين ما يجب القيام به وما يتم حالياً في جميع المجالات، الأمر الذي يهدد استدامة الخزان الجوفي. وحالياً يتم تطبيق الأدوات الفنية والوسائل المؤسسية والإجراءات الإدارية المطلوبة في أدنى مستوياتها، وفي بعض الأحيان شبه معدومة مثل المشاركة الجماهيرية، مما يتطلب رفع مستوى التدخلات الإدارية لتتناسب مع الضغوط الواقعة على المياه الجوفية.

geosp.net /vol-4/ numéro 8

جدول–1: مستويات وسائل وأدوات إدارة المياه الجوفية والتدخلات الضرورية لكل مرحلة من مراحل تنمية موارد المياه الجوفية المتجددة في وادي الليث.

أدوات و وسائل إدارة المياه الجوفية	*مستوي تطوير الأدوات أو الوسائل المناظرة طبقاً لمراحل الضغط الهيدروليكي*			
	0	1	2	3
الأدوات الفنية				
تقدير المورد	معرفة أساسية للخزان الجوفي	نموذج تصوري يستند إلى بيانات حقلية	نموذج رقمي جاهز لمحاكاة سيناريوهات مختلفة للضخ	نماذج مربوطة بدعم اتخاذ القرار وتستخدم للتخطيط والإدارة
تقييم النوعية	لم تحدث قيود على النوعية	تفاوت النوعية أصبح معيار عند التخصيص	فهم لعمليات نوعية المياه	إدخال النوعية في خطط التخصيص
مراقبة الخزان الجوفي	لا يوجد برنامج مراقبة منظم	مراقبة المشروع، تبادل البيانات لغرض محدد	تأسيس برامج مراقبة نمطية	استخدام برامج المراقبة في الإدارة
الوسائل المؤسسية				
حقوق المياه	حقوق المياه المعتادة	توضيح لحقوق المياه العارضة محلياً (خلال حالات قضائية)	إدراك أن التغيرات الاجتماعية تتجاوز حقوق المياه التقليدية	حقوق متغيرة بناء على خطط الإدارة
الاحتياطات التنظيمية	تنظيم اجتماعي فقط	تنظيم محدد (ضرورة الترخيص للآبار الجديدة، قيود على الحفر)	تنظيم نشاط وإنفاذ من قبل مؤسسة مختصة	التسهيل والضبط من خلال الرقابة الذاتية لأصحاب المصلحة
التشريع المائي	لا تشريع مائي	إعداد قانون مورد المياه ومناقشته	النص القانوني لتنظيم مستخدمي المياه الجوفية	إطار قانوني شامل لإدارة الخزان الجوفي
مشاركة أصحاب المصلحة	تفاعل محدود بين المنظمين ومستخدمي المياه	مشاركة تفاعلية وظهور إتحادات المستخدمين	إشراك تنظيمات أصحاب المصلحة في الهيكل الإداري (مثل مجالس الخزان الجوفي)	مشاركة المنتفعين والمنظمين في مسؤولية إدارة الخزان الجوفي
نشر الوعي والتعليم	المياه الجوفية تعتبر مصدر غير محدود ومجاني	مصدر محدود (حملات للحفاظ على الماء وحمايته)	سلعة اقتصادية وجزء من منظومة متكاملة	تفاعل واتصال فعال بين أصحاب المصالح
الأدوات الاقتصادية	بالكاد تلحظ التأثيرات الاقتصادية (الإستغلال مدعوم بشكل كبير)	رسوم رمزية فقط على ضخ المياه	إدراك القيمة الاقتصادية (تقليص واستهداف الدعم للوقود)	التسليم بالقيمة الاقتصادية (تعرفة مناسبة وزيادة إمكانية إعادة التخصيص)
الإجراءات الإدارية				
منع التأثيرات الجانبية	اهتمامات ضئيلة بالتأثيرات الجانبية	إدراك التأثيرات الجانبية (على المدى القصير والبعيد)	تدابير وقائية من إدراك لقيمة المياه بالمكان	أليات للموازنة بين استخدامات الماء المستخرج وفوائد بقاء المياه بالمكان
تحصيص المورد	قيود محددة على التحصيص	المنافسة بين المستخدمين	تحديد أولويات استخدام الماء المستخرج	تحصيص منصف لاستخدامات الماء المستخرج وفوائد بقاء المياه بالمكان
ضبط التلوث	بعض الضوابط على استخدام الأرض والتخلص من النفايات	تنطبق سطح الأرض لكن لا ضوابط أكثر إيجابية	السيطرة على مصادر التلوث الموضوعية الجديدة/ أو وضع الآبار الجديدة في نطق آمنة	السيطرة على جميع مصادر التلوث الموضوعية والمنتشرة الجديدة، مواجهة التلوث القادم

* ملاحظة: اللون البرتقالي القاتم يعني المستوى الإداري للمياه الجوفية في وادي الليث، واللون البرتقالي الفاتح يعني نسبة معينة تم تحقيقها.

للوصول إلى تنمية عالية ومستقرة، ولتحقيق التوازن المطلوب بين المنتفعين والاحتياجات البيئية، ينبغي القيام ببعض التدخلات الإدارية المطلوبة:

أولاً / الأدوات الفنية:

- **في تقدير الموارد،** هناك معرفة أساسية للخزان الجوفي، ويوجد نموذج تصوري يستند إلى بيانات حقلية، ولكن لا يوجد نموذج رقمي للمحاكاة، لذا من الضروري أن يتم تطوير بناء نموذج رياضي في حوض وادي الليث مع سيناريوهات مختلفة للضخ لتقدير سلوك وتصرف المورد الجوفي، وبعد بناء النموذج الرياضي هناك حاجة إلى ربطه بدعم اتخاذ القرار لاستخدامه في التخطيط والإدارة، وبالتالي يكون قد حقق المستوى الأعلى لتقدير المورد في الحوض.
- **في تقييم النوعية،** يوجد فهم لنوعية المياه، ولكنها بحاجة إلى إدخال النوعية في خطط توزيع حصص المياه الجوفية.
- **مراقبة الخزان الجوفي،** لا يوجد برنامج مراقبة دوري للخزان الجوفي في وادي الليث، ولذا يجب تصميم برنامج مراقبة يتم فيها تبادل البيانات لاستخدامها في التخطيط والإدارة.

ثانياً / الوسائل المؤسسية:

- **حقوق المياه،** لا يوجد في وادي الليث حقوق واضحة للمياه، وإنما الحقوق التقليدية، لذا يجب تحديد حقوق المياه وكذلك يجب الأخذ في الاعتبار أن الحقوق قد تتغير بناء على الخطط الإدارية.
- **الاحتياطات التنظيمية،** يوجد تنظيم محدد في وادي الليث ممثلة في التراخيص للآبار الجديدة وقيود على الحفر، ولكن هناك حاجة ماسة إلى التسهيل والضبط من خلال الرقابة الذاتية لأصحاب المصلحة.
- **التشريع المائي،** هناك تشريع مائي معد من قبل وزارة المياه والزراعة (سابقاً)، ولكنه بحاجة إلى المراجعة والتنفيذ من قبل وزارة المياه والكهرباء، وكذلك يحتاج إلى إطار قانوني شامل لإدارة الخزان الجوفي.

geosp.net /vol-4/numéro-8

- **مشاركة أصحاب المصلحة،** لا توجد مشاركة فعالة وصريحة في وادي الليث، وكذلك الحال في معظم الأحواض المائية بالمملكة. لذا يجب تفعيل المشاركة الجماهيرية في مسؤولية إدارة الخزان الجوفي.

- **نشر الوعي والتعليم،** لا يوجد توعية كافية بأهمية المحافظة على المياه الجوفية في وادي الليث، ومعظم المزارعين يعتبرونها مصدر غير محدود ومجاني، وهناك حاجة لرفع مستوى التوعية لدى المزارعين.

- **الأدوات الاقتصادية،** هناك تعرفة للمياه في المملكة لجميع القطاعات المختلفة على هيئة شرائح مطبقة في المدن الرئيسية والشركات الزراعية الكبرى، ولكن في وادي الليث وفي معظم المناطق الأخرى لا يوجد عدادات على آبار المواطنين، مما يمكنهم من سحب المياه الجوفية قدر احتياجاتهم كما أن بعض ملاك الآبار يقومون ببيع المياه، ويؤدي هذا إلى استنزاف المياه الجوفية. لذا يجب اعتبار المياه سلعة اقتصادية يجب المحافظة عليها.

ثالثاً / الإجراءات الإدارية:

- **منع التأثيرات الجانبية،** لا يوجد اهتمامات بالتأثيرات الجانبية في وادي الليث، وينبغي من أجل ذلك اتخاذ تدابير وقائية أكبر لإدراك قيمة المياه في الخزان بدون استخراج، وعمل آليات للموازنة بين استخدامات المياه المستخرجة وفوائد بقائها في الخزان.

- **تحصيص المورد،** تشتد المنافسة بين المنتفعين في استخراج المياه الجوفية في وادي الليث، ولا يوجد أولويات لاستخدام المياه المستخرجة، حيث يجب توزيع حصص المياه بشكل منصف لاستخدامات المياه المستخرجة وفوائد بقائها في الخزان.

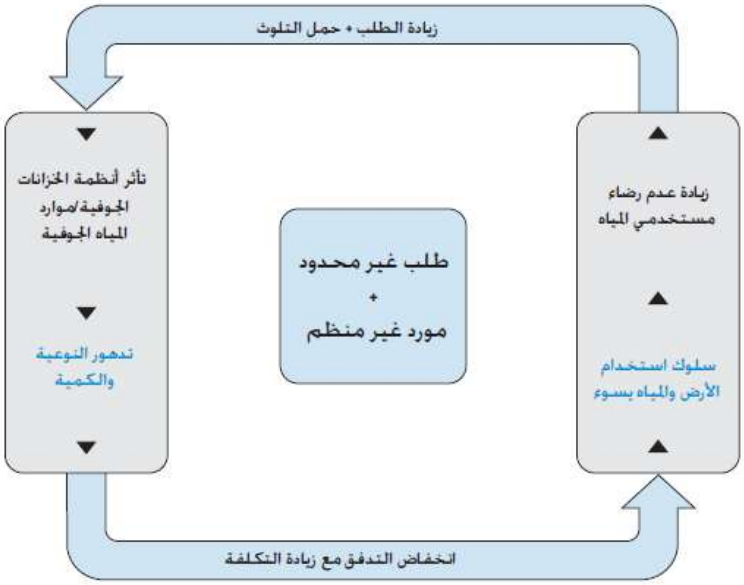
- **ضبط التلوث،** هناك بعض الضوابط على استخدام الأراضي والتخلص من النفايات في وادي الليث ولكنها غير فعالة، ولا يوجد تنطيق (حرم الآبار) في وادي الليث، لذا ينبغي إنشاء مناطق حماية للمياه الجوفية باستخدام النماذج الرياضية، وكذلك السيطرة على جميع مصادر التلوث المنتشرة والجديدة من خلال التشريعات المناسبة.

يتضح جلياً بعد تقييم مستويات إدارة المياه الجوفية المعمول بها حالياً في وادي الليث، أن التعامل مع الخزان الجوفي في الوادي يبدو وكأنه في مراحله الأولية من الاستغلال بينما هو في الواقع في مراحل

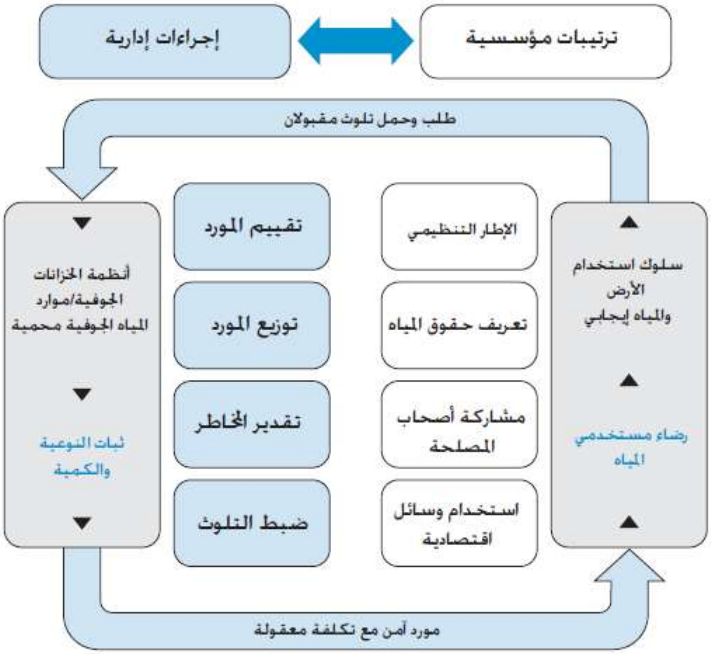
geosp.net /vol-4/numéro-8

متقدمة منه. وتقود هذه الأوضاع إلى ما يعرف بالحلقة المفرغة (شكل- 6)، ويمكن أن ينتج عنها انخفاض كبير في منسوب الماء الجوفي وتدهور نوعيته بسبب غزو مياه البحر المالحة لطبقة المياه الجوفية.

ولتحويل الحلقة المفرغة إلى حلقة فعالة، يجب الأخذ في الاعتبار الإجراءات الإدارية والترتيبات المؤسسية (شكل- 7) والتي لم يتحقق منها في وادي الليث إلا تقييم المورد فقط وبقية الترتيبات والإجراءات لم تؤخذ في الاعتبار. لذا فإن إدراك البعد الاجتماعي- الاقتصادي (أي جانب إدارة الطلب) مهم مثل البعد الهيدروجيولوجي (جانب إدارة المورد) وتكاملهما مطلوب دائماً.



شكل-6: الحلقة المفرغة نتيجة لتنمية المياه الجوفية بدون تنفيذ الإجراءات الإدارية والمؤسسية (GW-MATE، الإدارة المستدامة للمياه الجوفية، 2002-2006، المذكرة 1)



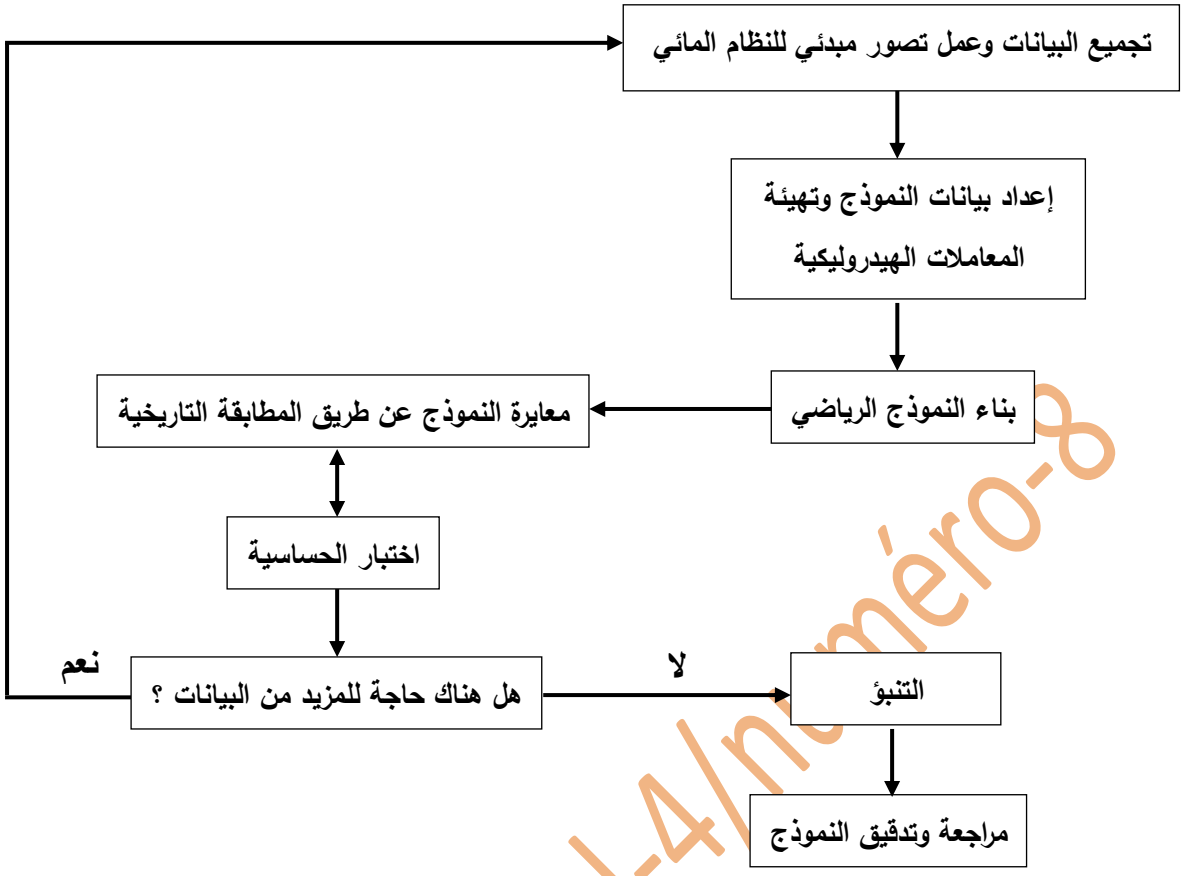
شكل–7: الحلقة الفعالة نتيجة للإدارة المتكاملة لموارد المياه الجوفية (GW-MATE، الإدارة المستدامة للمياه الجوفية، 2002–2006، المذكرة 1)

نمذجة حركة المياه الجوفية والسيناريوهات المستقبلية في وادي الليث

تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي للمياه في المناطق ذات الأمطار القليلة، خاصة في دول مجلس التعاون التي تتصف بمحدودية وندرة الموارد المائية بسبب وقوعها ضمن المناطق الجافة. لذلك من الضروري ترشيد استخدام المياه في تلك الدول من خلال تخطيط سليم يعتمد على استخدام النماذج الرياضية الرقمية لتساعد متخذي القرار في التخطيط والاستثمار الأمثل للمشاريع المائية.

يتكون استخدام النماذج الرياضية في دراسات موارد المياه الجوفية من خمس خطوات رئيسية (شكل– 8).

geosp.net/vol-4/num-ero-8



شكل–8: خطوات النمذجة الرياضية[9]

4. 3 أبعاد شبكة النموذج والشروط الحدودية

تم تصميم النموذج بحيث يغطي منطقة الجزء السفلي من الحوض وتقدر مساحتها 1350 كم^2 بطول 45 كم وعرض 30 كم (345 صف X 254 عمود). أبعاد الخلايا تتراوح ما بين أكبر قيمة 500م × 500م وأصغر قيمة 62.5م × 62.5م حول الآبار، ويوجد عدد من الخلايا أبعادها 250م × 250م و 125م × 125م. وتقدر مساحة الخلايا الفعالة 225 active cells كم^2. والخزان الجوفي عبارة عن خزان جوفي غير محصور Unconfined aquifer، وتم تحديد الشروط الحدودية Boundary conditions له بحيث تكون في الجزء السفلي له والمتصل بالبحر ثابتة المستوى المائي Constant head، بينما تم استخدام المستوى المائي المتغير أو العام General head لتمثيل مناسيب المياه الجوفية في روافد الأودية العليا للسماح بانخفاض أو زيادة الكميات المتدفقة من هذه الروافد بحسب مستويات السحب من الخزان الجوفي في المنطقة التي يتم نمذجتها (شكل–9).

[9] زباري، 2005

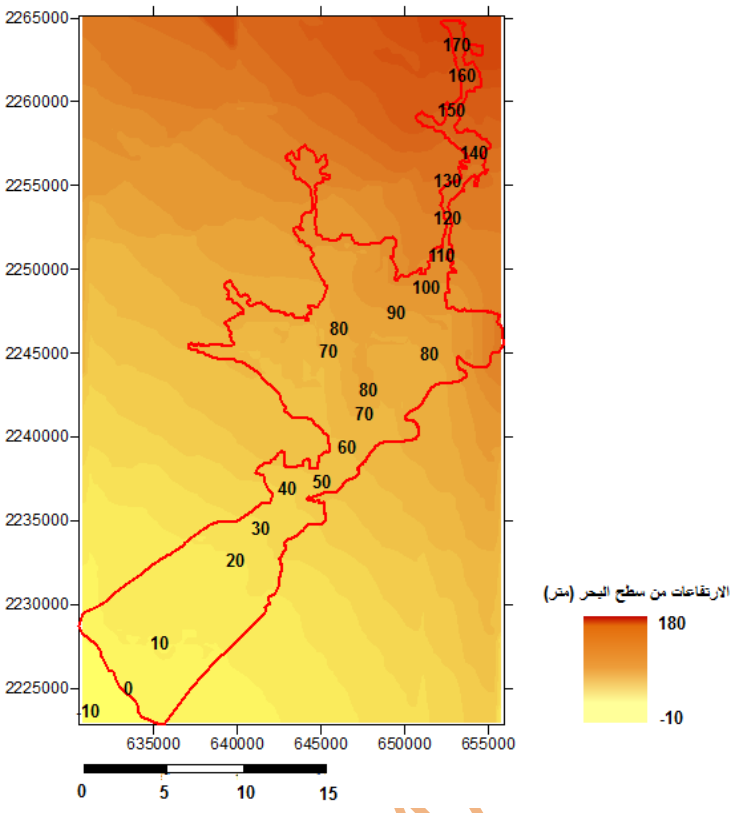
geosp.net /vol-4/numéro-8

شكل–9: الشروط الحدودية للخزان الجوفي السفلي لوادي الليث

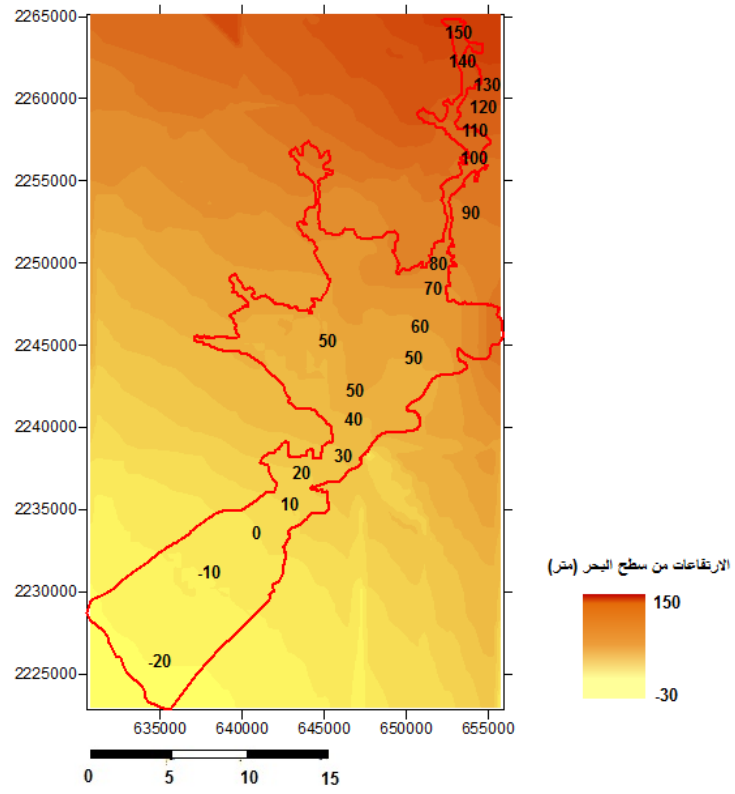
4. 4 مدخلات النموذج

4. 4. 1 المدخلات البنائية Structure

تم بناء الطبقة العلوية Top of layer للنموذج باستخدام نقاط الارتفاعات في الخريطة الطبوغرافية 1:250,000، ومن ثم تحويل نقاط الارتفاعات إلى خريطة ارتفاعات رقمية (شكل– 10)، وتحويله إلى برنامج Processing Mudflow كطبقة ارتفاعات. وبالنسبة لتحديد الطبقة السفلية للخزان Bottom of layer تم اعتماد متوسط سماكة الرواسب في حسابها (شكل–11).



شكل–10: نموذج ارتفاعات الطبقة العلوية Top of layer للحوض السفلي من وادي الليث



شكل–11: نموذج ارتفاعات الطبقة السفلية Bottom of layer للحوض السفلي من وادي الليث

4. 4. 2 المدخلات الهيدروليكية Hydraulic parameters

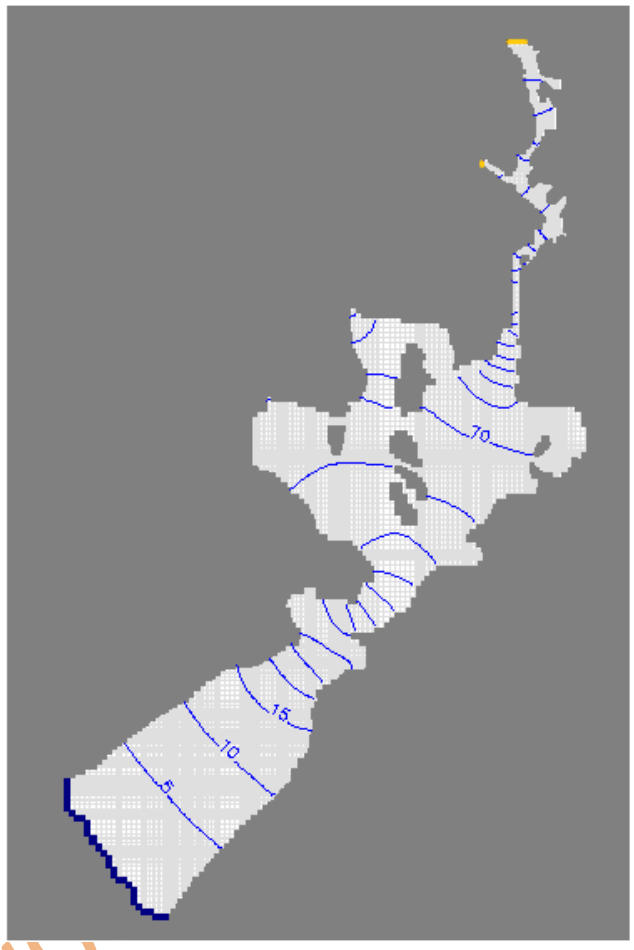
التوصيل الهيدروليكي Hydraulic conductivity في الجزء السفلي من الخزان يتراوح بين 160 – 170 متر/اليوم[10]، وبمتوسط 165 متر/اليوم. وتم تقدير المسامية Porosity بـ 40%، وكذلك تم تقدير قيمة العطاء النوعي Specific yield بـ 0.25، وتم إدخال جميع المعطيات السابقة في النموذج الرياضي.

4. 5 مستويات المياه الجوفية قبل عام 1988 في مرحلة الاستقرار Steady state

تم تحديد مستويات المياه الجوفية قبل عام 1988، أثناء تشغيل النموذج في مرحلة الاستقرار Steady state، وبناء على مستويات المياه الجوفية المقاسة في آبار المراقبة التابع لشركة SAUDI ARABIAN DAMES & MOORE، تم تثبيت مستويات المياه الجوفية في أعلى الحوض كحدود ثابتة Constant head، وبعد تشغيل النموذج ومن خلال الميزان المائي Water budget للخزان بعد تقسيم الحدود العليا إلى مناطق فرعية Sub-region، تم التعرف على كمية المياه الجوفية الداخلة للحوض، ومن ثم إنشاء آبار شحن لكل خلية في الحد الأعلى للحوض ليتم إلغاء الحد الثابت العلوي، وإعادة التشغيل مرة أخرى للوصول إلى مستويات المياه الجوفية المتوقعة قبل عمليات تطور السحب واستغلال المياه الجوفية (شكل–12).

geosp.net /vol-4/numéro-8

[10] Saudi Arabian Dames & Moore, 1988

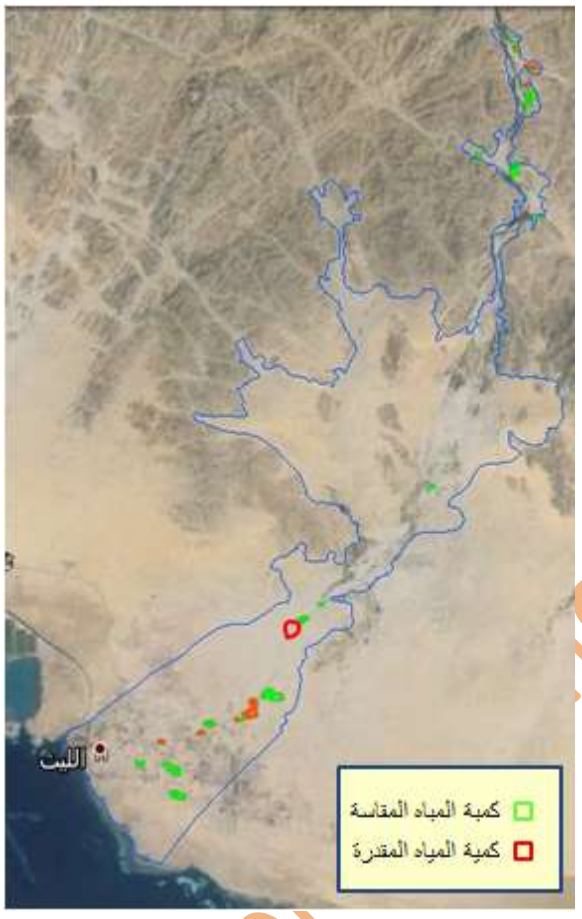


شكل–12: مستويات المياه الجوفية في مرحلة الاستقرار Steady state قبل عام 1988

4. 6 معايرة النموذج

تم تشغيل النموذج ومعايرته اعتمادا على بيانات السحب المسجلة لعدد من الآبار عام 2007، ثم تحديث البيانات الحقلية الخاصة بمستويات المياه الجوفية وكذلك تحديد تواريخ حفر الآبار وتقدير كمية السحب من المياه الجوفية، حيث أن بعض الآبار مغلقة لا يمكن القياس فيها، وبناء على ذلك تم تقدير كميات السحب في الآبار التي لا يوجد لها بيانات عن طريق حساب مساحات المزارع المعلوم فيها كمية المياه المسحوبة وقسمة كمية السحب على مساحة تلك المزارع والناتج تم ضربه في مساحات المزارع الغير معلوم فيها كمية السحب (شكل–13)، ومن ثم عمل المعايرة.

geosp.net/vc

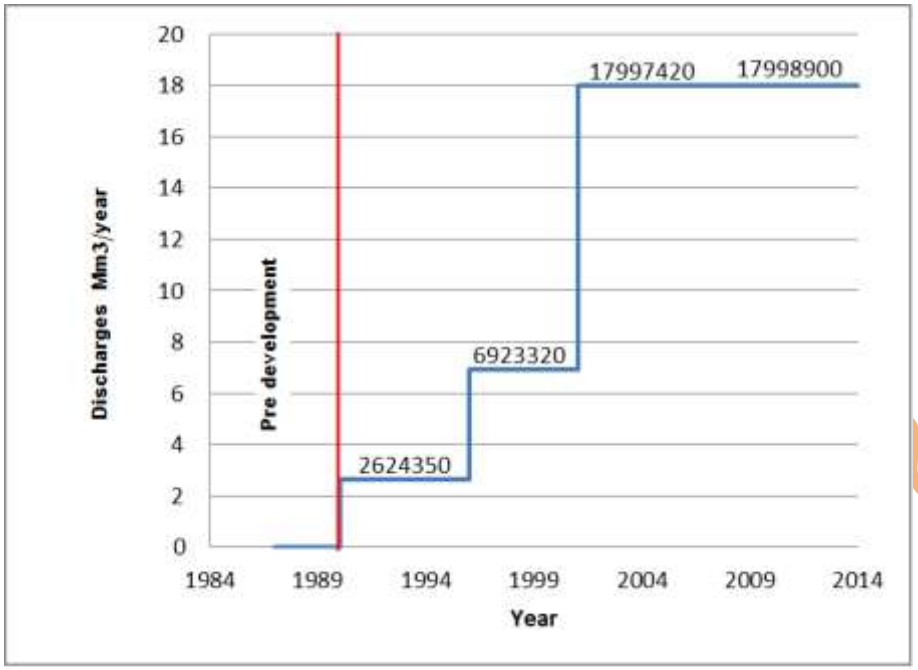


شكل–13: تقدير كمية المياه المسحوبة في الجزء السفلي من حوض وادي الليث

4. 6. 1 مراحل استغلال المياه الجوفية خلال الفترة (1990 – مارس 2014)

مرت المياه الجوفية بعدة مراحل من الاستغلال، حيث بدأت في أوائل التسعينات وما قبلها كاستغلال بسيط للاستخدامات المختلفة المنزلية والزراعية، ومن ثم بدأ التطور في عمليات السحب في نهاية التسعينات حتى الآن، ويوضح (شكل– 14) مراحل استغلال الخزان الجوفي في الجزء السفلي من الحوض. تم تشغيل النموذج ومعايرته على المرحلة الانتقالية Transient لمدة 24 سنة مقسمة إلى 4 فترات إجهاد 4- stress periods (1995، 2001، 2007، مارس 2014).

geosp.net /vo...ero-8



شكل-14: مراحل استغلال الخزان الجوفي في الجزء السفلي من الحوض

4. 6. 2 مقارنة مستويات المياه الجوفية للعامين 2007 و مارس 2014

عند مقارنة مستويات المياه الجوفية للعامين 2007 وبداية 2014 المقاسة Observed مع قيمها المحسوبة Calculated وقت المعايرة، وجد أن القيم المحصلة من النموذج بعد المعايرة تعتبر مقاربة مع القيم المقاسة، وبالتالي يمكن عمل التنبؤات المستقبلية. يوضح الجدول (2 و 3) مستويات المياه الجوفية المقاسة والمحسوبة لفترتين (2007 و بداية 2014).

geosp.net/vol-4/num-6

جدول–2: مستويات المياه الجوفية المقاسة والمحسوبة عام 2007

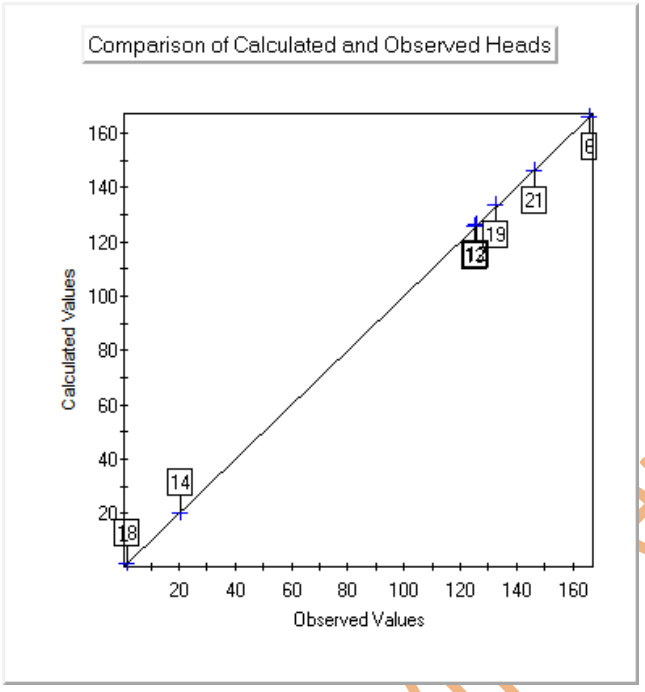
ID	Observed_2007	Calculated	Difference
5	166.4	166.38	0.02
6	166.2	165.35	0.85
7	165.69	164.63	1.06
19	132.54	132.12	0.42
21	146.31	146.9	-0.59
12	125.64	124.74	0.9
13	125	124.37	0.63
14	20.65	19.55	1.1
16	-0.07	-0.72	0.65
18	1.51	1.92	-0.41

جدول–3: مستويات المياه الجوفية المقاسة والمحسوبة بداية عام 2014

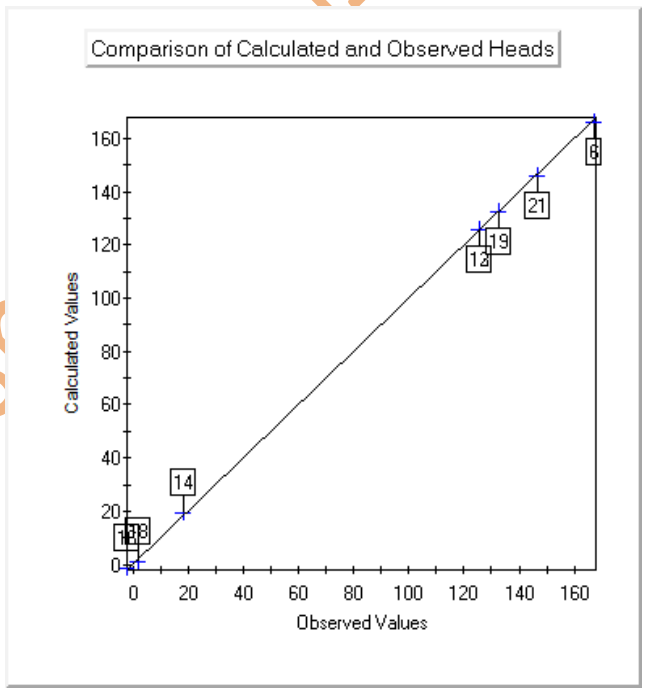
Well ID	Observed_2014	Calculated	Difference
5	167.83	167.42	0.41
6	167.01	166.19	0.82
8	163.12	162.28	0.84
19	132.78	132.31	0.47
21	146.46	146.55	-0.09
12	125.81	125.21	0.6
13	125.85	125.05	0.8
14	18.61	17.81	0.8
16	-2.77	-2.22	-0.55
18	1.83	0.85	0.98
11	155.72	155.56	0.16
28	153.17	153.02	0.15
20	136.31	135.35	0.96
27	26.61	25.42	1.19
32	3.79	2.61	1.18
30	2.89	2.04	0.85
17	2	1.38	0.62
23	1.7	0.74	0.96
25	1.63	0.71	0.92
26	0.42	0.44	-0.02
29	1.33	0.85	0.48

geosphere-journal.com/numéro-8

وللتعرف على مدى الترابط بين القيم المقاسة والقيم المحسوبة، فإن الأشكال (15 و 16) توضح ذلك.



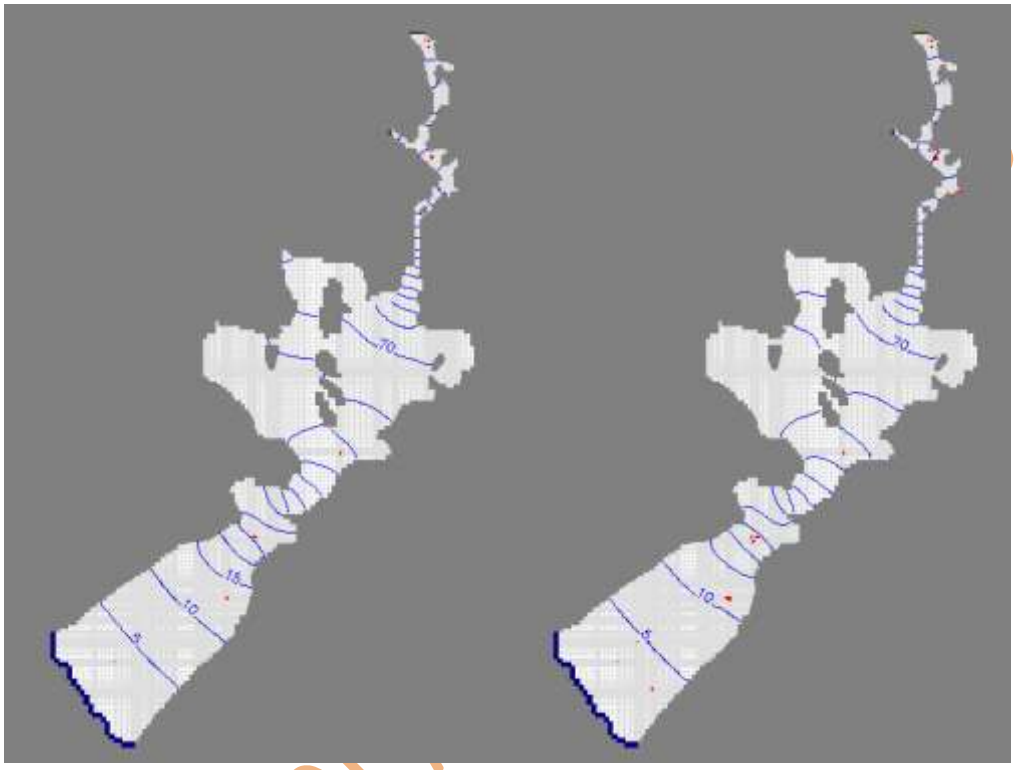
شكل–15: مقدار الترابط بين القيم المقاسة والمحسوبة لمستويات المياه الجوفية عام 2007



شكل–16: مقدار الترابط بين القيم المقاسة والمحسوبة لمستويات المياه الجوفية بداية عام 2014

4. 6. 3 مستويات المياه الجوفية للمراحل الأربعة (1995، 2001، 2007، بداية 2014)

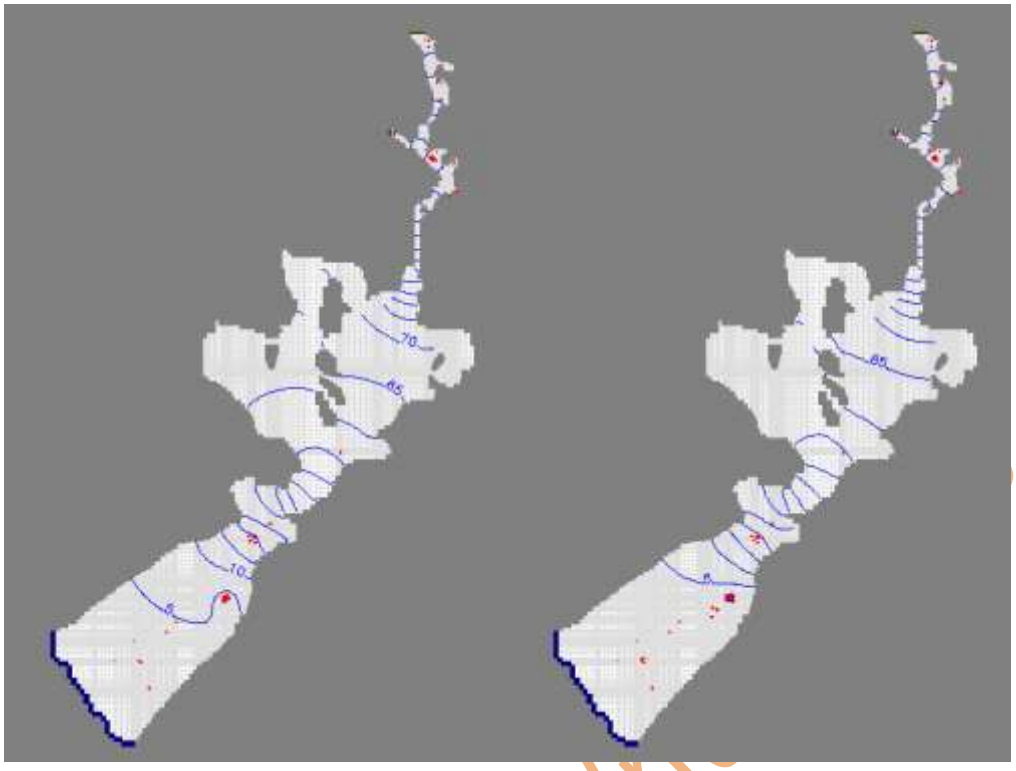
تفاوتت مستويات المياه الجوفية في الخزان الجوفي للجزء السفلي من الحوض حسب التنمية الزراعية في وادي الليث، حيث بدأ المنسوب في الانخفاض من فترة إلى أخرى في بعض الآبار. تبين الأشكال (17، 18، 19 و 20) مراحل التنمية في الخزان الجوفي والذي أنعكس سلباً على مستويات المياه الجوفية.



شكل-17: مستويات المياه الجوفية عام 1995

شكل-18: مستويات المياه الجوفية عام 2001

geosp.net



شكل–19: مستويات المياه الجوفية عام 2007 شكل–20: مستويات المياه الجوفية مارس 2014

خلال الأعوام 2007 إلى بداية 2014 كان هناك انخفاض في منسوب المياه الجوفية إلى ما دون الصفر من منسوب سطح البحر، وقد كان ذلك واضحا في البئر رقم 16 مما قد يتسبب في تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية Seawater intrusion، وذلك بسبب كثرة الأنشطة الزراعية واستغلال المياه الجوفية كمصدر رزق وبيعها لأصحاب الشركات والمقاولات.

4. 7 الميزانية المائية في الجزء السفلي من وادي الليث

معايرة النموذج بالمقارنة بين مخرجات النموذج والنظام الطبيعي في الخزان الجوفي السفلي لوادي الليث، تم حساب الميزانية المائية Water Budget لذلك الجزء كما هو موضح في الجدول (4)، وذلك للتعرف على كمية المياه الداخلة والخارجة من الخزان الجوفي السفلي خلال الأعوام من 1990 إلى بداية 2014. وقد تبين أنه لا يوجد تداخل لمياه البحر Seawater Intrusion إلى الخزان الجوفي، حيث أوضحت نتيجة الضاغط الهيدروليكي الثابت Constant head والموضوعة على حد البحر أنه لا يوجد مياه من البحر داخلة إلى الطبقة، وذلك بعد تشغيل النموذج على المرحلة الانتقالية Transient لأربع فترات زمنية (1996، 2001، 2007، 2014) (شكل–21). ربما لو كان الوضع على ما هو

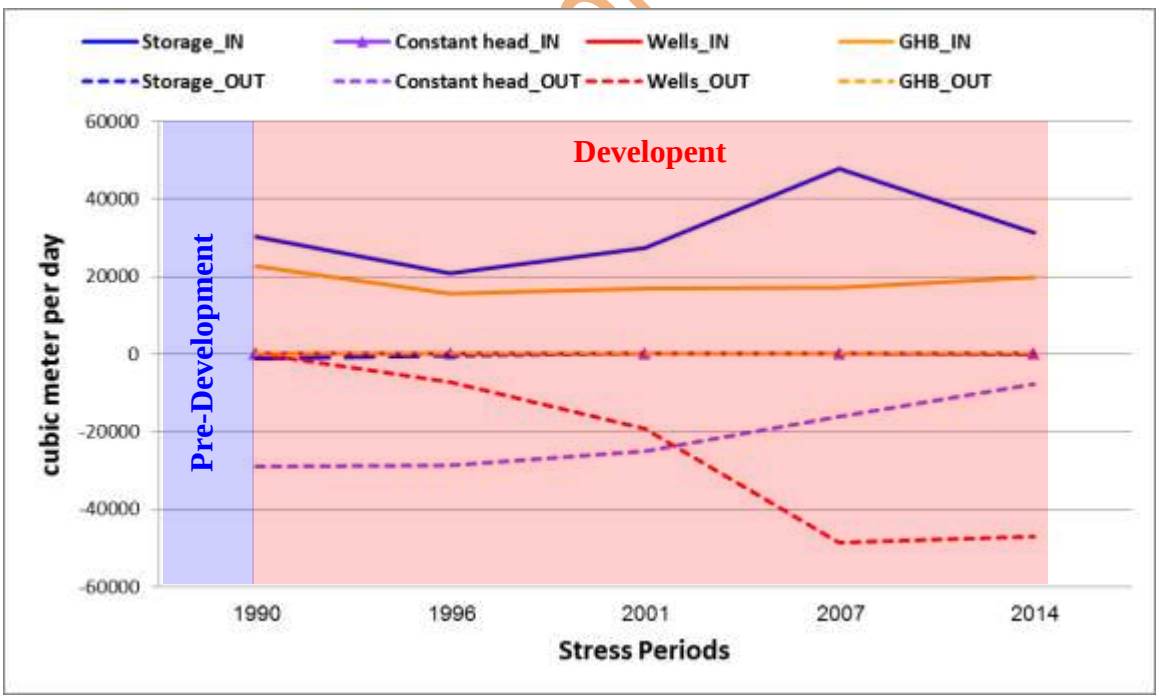
geosp.net/vol-4/

عليه من حيث كميات السحب بعد فترة من الزمن، لكان هناك هبوط في منسوب المياه الجوفية مما يسمح بغزو مياه البحر لطبقة المخزون الجوفي.

جدول-4: الميزانية المائية للجزء السفلي من وادي الليث لمرحلة انتقالية من أربع فترات

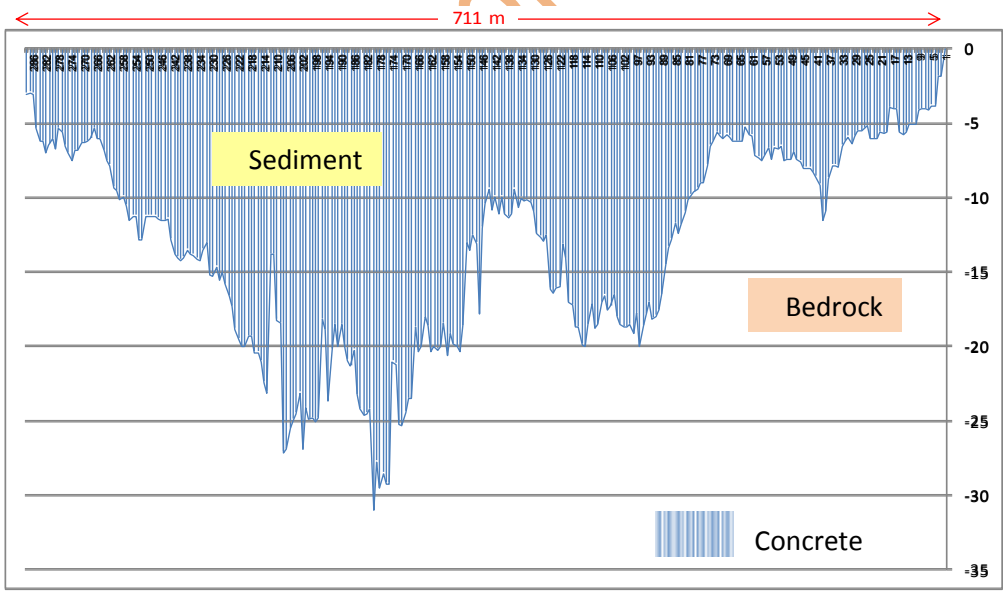
Stress Period		1996	2001	2007	2014
Storage	IN	20699.9941	27290.3828	47865.8555	31255.9414
	OUT	419.7032	0	0.002885	71.7737
Constant head	IN	0	0	0	0
	OUT	28609.084	25025.3965	16174.3701	7857.8418
Wells	IN	0	0	0	0
	OUT	7190	19168	48713	47135
Head Dep. Bounds	IN	15518.7959	16903.0156	17021.5176	19808.6719
	OUT	0	0	0	0
Total	IN	36218.7891	44193.3984	64887.375	51064.6133
	OUT	36218.7891	44193.3984	64887.3711	51064.6172
Total (IN - OUT)		0	0	0.0039	-0.0039
Percent Discrepancy			0		

l-4/numero-8



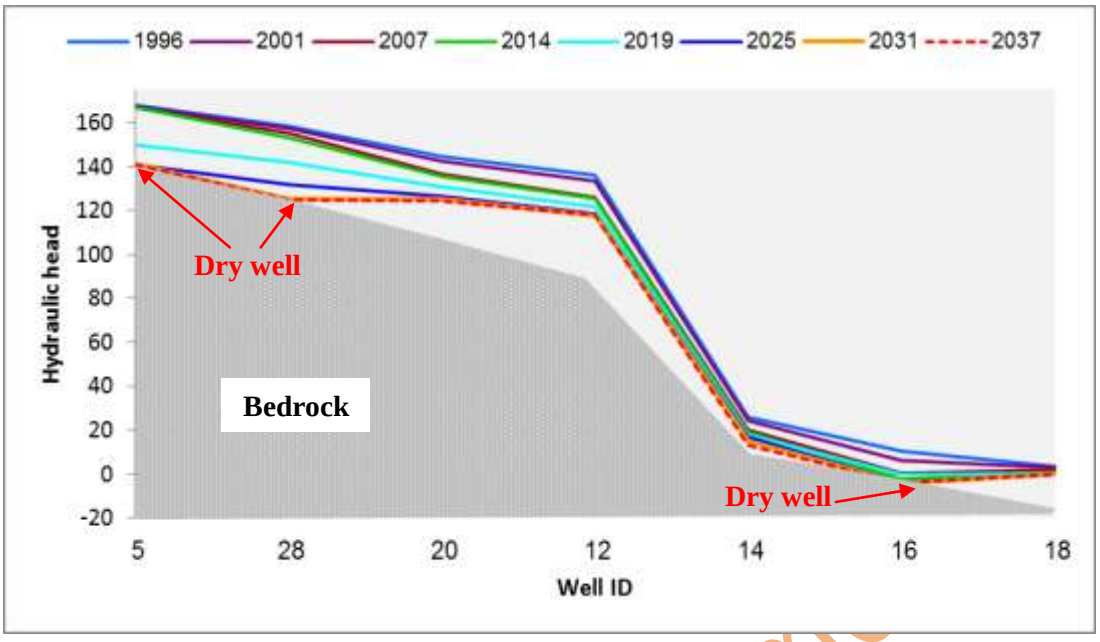
شكل-21: الميزانية المائية أثناء مرحلة Transient في الجزء السفلي من الخزان الجوفي لوادي الليث

يوجد في وادي الليث سد جوفي يصل إلى صخور القاعدة تم إنشاءه من قبل وزارة المياه والكهرباء في أعلى الجزء السفلي من الحوض لحجز المياه الجوفية (شكل–22)، تم حفر آبار في المنطقة الواقعة قبل السد لسحب المياه الجوفية وضخها عبر أنابيب إلى محطة الشعيبة. وهذا الإجراء قد يسبب منع لحركة المياه الجوفية وعم تمكنها من الوصول إلى الخزان الجوفي في الجزء السفلي من الحوض. لو أستمر سحب المياه الجوفية كم هو الحال في عام 2014 ومنع السد الجوفي من حركة المياه، فمن المتوقع أن يكون هناك هبوط لمنسوب المياه الجوفية في الآبار الواقعة بعد السد، وكذلك في الآبار التي يُسحب منها كميات كبيرة من المياه مثل البئر (رقم 16)، وبالتالي تكون المياه الجوفية فيها معرضة للنضوب. يوضح الشكل (23) الجفاف المتوقع للآبار بعد إنشاء السد الجوفي، حيث أن البئر رقم (5) قد يحدث له جفاف خلال الفترات الزمنية (2025، 2031، 2037)، والبئر رقم (28) قد يحدث له جفاف خلال الفترة الزمنية (2031، 2037)، وتلك الآبار قريبة من السد الجوفي. أما البئر رقم (16) والذي يتم سحب كميات كبيرة منه بالإضافة للآبار المجاورة له، فمن المتوقع إنه سيتعرض للجفاف خلال الفترة الزمنية (2019، 2025، 2031، 2037) وهي الفترات التي سيتم التنبؤ بها لتتساوى مع عدد سنوات فترات تشغيل النموذج، وذلك في حال أستمر الضخ كما هو عليه الآن في عام 2014.



شكل–22: السد الجوفي في أعلى الجزء السفلي من حوض وادي الليث

al-4/numero 8



شكل-23: مناسيب المياه الجوفية بعد إنشاء السد الجوفي وفي ظل بقاء السحب كما هو في 2014

4. 8 السيناريوهات المستقبلية

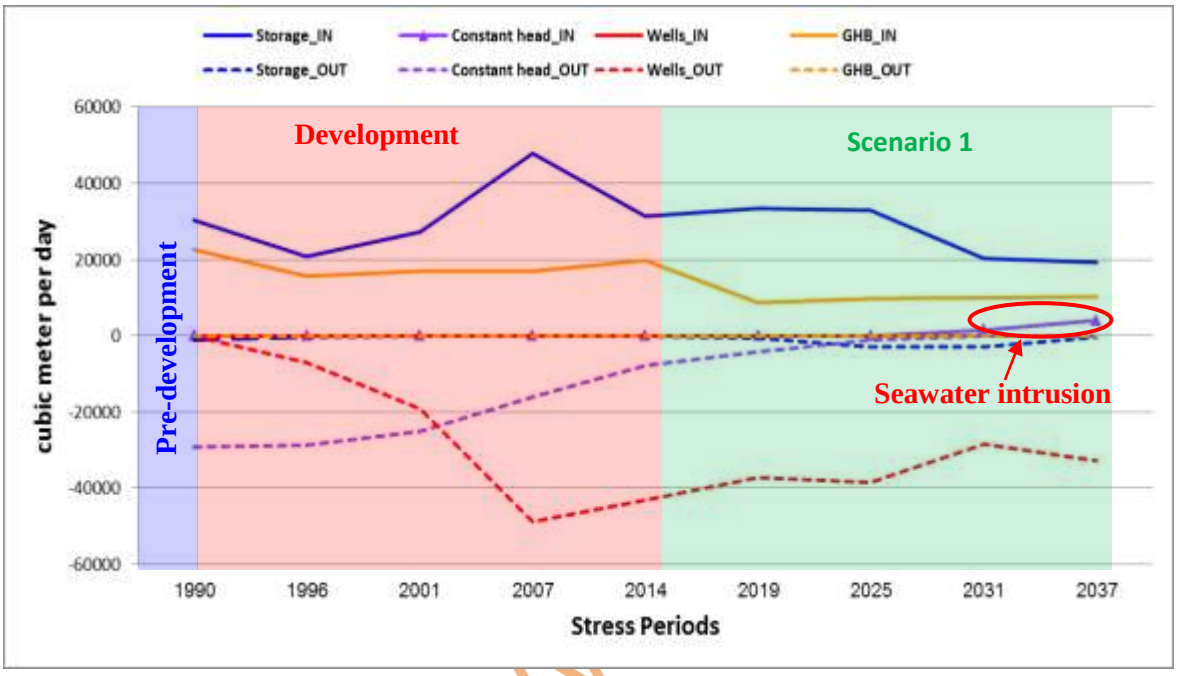
بعد الانتهاء من المعايرة واختبار حساسية النموذج يمكن التنبؤ بسيناريوهات مستقبلية للوضع الذي قد يؤل إليه الخزان الجوفي في المستقبل، وقد تم تقسيم الفترات الزمنية المستقبلية إلى أربعة مراحل، كل مرحلة ستة سنوات من عام 2019 إلى نهاية عام 2037 (بحيث تكون مجموع السنوات التي يمكن التنبؤ بها 24 سنة، وتكون مساوية لسنوات التشغيل من الفترة 1990 إلى بداية 2014). ولقد تم حصر عدد من السيناريوهات المستقبلية تمثل بعض الإجراءات والتدخلات الإدارية المتاحة للمسئولين للمساهمة في تقليل استنزاف المياه الجوفية في وادي الليث ومقارنتها بسيناريو مرجعي يمثل استمرار الوضع على ما هو عليه بدون تدخل.

4. 8. 1 السيناريو الأول: زيادة معدلات السحب نظراً لزيادة الطلب على المياه الجوفية للقطاع الزراعي

في هذا السيناريو تم الافتراض أن هناك توسع في التنمية الزراعية نتج عنه زيادة في كميات السحب عن ما كان عليه في عام 2014 بنسبة 20% (الزيادة في كميات السحب من عام 2001 إلى عام 2007 بلغت حوالي 38% ومن عام 2007 إلى عام 2014 تقريباً نفس الكمية، وتم الافتراض أن هناك زيادة في معدلات السحب بزيادة 20% عن ما كانت عليه في عام 2014، وتكون الزيادة تراكمية

geosp.net/vol-4/num

لكل الفترات (2019، 2025، 2031 وصولاً إلى نهاية الفترة في 2037). أظهرت الميزانية المائية (شكل-24)، أن هناك غزو لمياه البحر المالحة إلى طبقة المياه الجوفية في العام 2031 بكمية تقدر بـ 1477 م^3/اليوم وكذلك في العام 2037 بكمية تقدر بـ 3899 م^3/اليوم، وهذا يؤدي إلى تدهور في نوعية المياه الجوفية في الخزان الجوفي وتصبح غير صالحة للاستخدامات المختلفة.

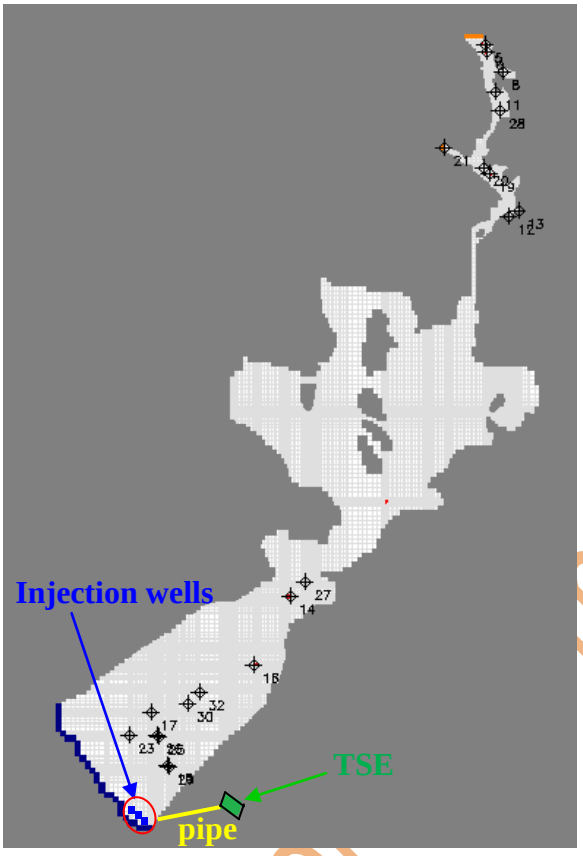


شكل-24: الميزانية المائية للسيناريو الأول

4. 8. 2 السيناريو الثاني: حقن المياه المعالجة بالقرب من البحر لصد غزو مياه البحر لطبقة المياه الجوفية

في نهاية العام 2017، سوف يكتمل بناء محطة المعالجة الثلاثية في مدينة الليث حسب المعلومات الواردة من وزارة المياه والكهرباء. في هذا السيناريو تم افتراض حقن المياه المعالجة والمقدرة بـ 15000 م^3/اليوم في نهاية الحوض بالقرب من البحر، وذلك لمنع غزو مياه البحر لطبقة المياه الجوفية (شكل-25).

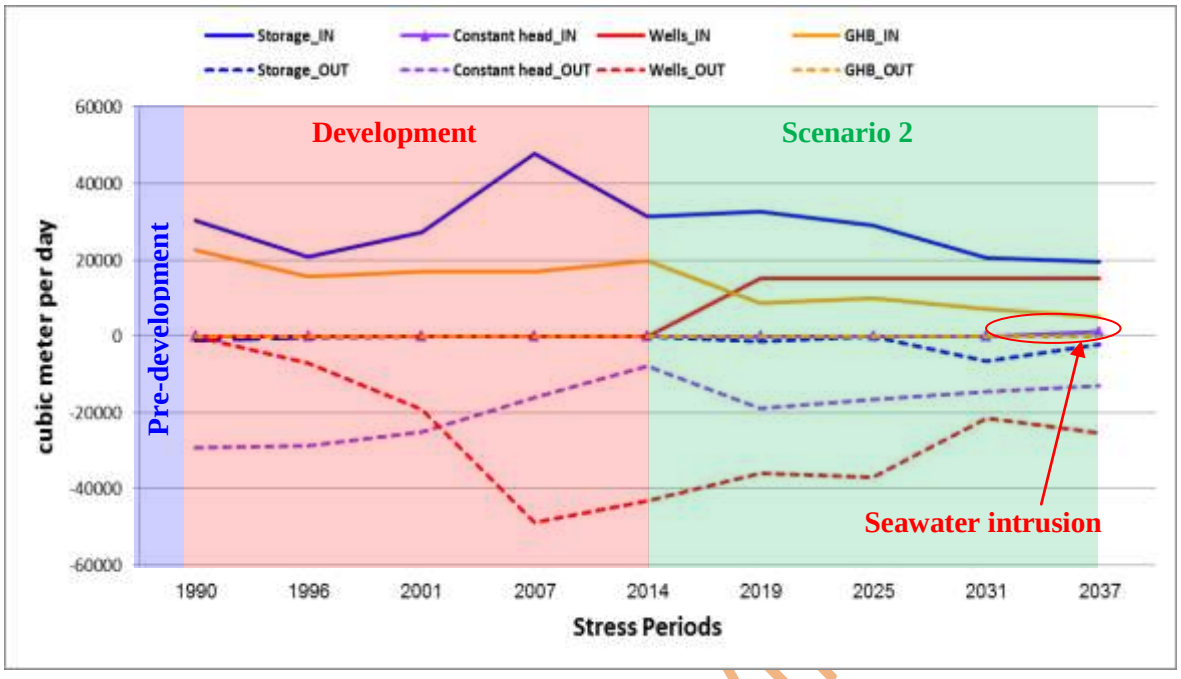
geosp.net



شكل-25: موقع محطة المعالجة وآبار الحقن المقترحة

وقد أوضحت نتائج الميزانية المائية في السيناريو الثاني (شكل- 26)، أن مياه البحر المقتحمة لطبقة المياه الجوفية قد تنخفض عن ما كانت عليه في السيناريو الأول، حيث من المتوقع أن تكون كمية مياه البحر المقتحمة للطبقة في عام 2031 (0.01 م^3/اليوم) وهي كمية ضئيلة جدا، وفي العام 2037 من المتوقع أن تكون كمية المياه الداخلة 1070 م^3/اليوم. أي أن كمية مياه البحر الداخلة قد انخفضت عن ما كانت عليه في السيناريو الأول والذي تم بدون إجراء عملية حقن المياه المعالجة بنسبة 99% في العام 2031 ونسبة 72% في العام 2037. وبما أن هناك نمو في عدد السكان في وادي الليث بمعدل 3% فمن المرجح أن وزارة المياه والكهرباء سوف تزيد من سعة محطة المعالجة، وبالتالي تزيد كمية المياه المعالجة التي يتم حقنها بالقرب من البحر لمنع أو تقليل كمية مياه البحر التي تغزو الطبقة الجوفية.

geosp.net /vol numéro-8



شكل-26: الميزانية المائية للسيناريو الثاني

تجدر الإشارة إلى أن هناك معايير يجب الأخذ بها عند تنفيذ عمليات الحقن، حيث يجب عمل برنامج مراقبة لنوعية المياه المعالجة التي سيتم حقنها عن طريق مراقبين من وزارة المياه والكهرباء، وذلك بأخذ عينات من المياه المعالجة ثلاثياً وتحليلها لمعرفة قيم العناصر المختلفة. يوضح الجدول (5) أقصى مستويات التلوث لمياه الصرف الصحي المعالجة ثلاثياً [11]. كما أن الجدول (6)، يوضح معايير استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الأغراض الزراعية للري المقيد وغير المقيد[12].

geosp.net/vol-4/1

[11] وزارة المياه والكهرباء، 1422هـ
[12] وزارة المياه والكهرباء، 1422هـ

جدول–5: أقصى مستويات التلوث لمياه الصرف الصحي المعالجة ثلاثياً[13]

الخواص		أقصى مستويات التلوث (ملجم/لتر)
الخواص الطبيعية	المواد الطافية	خالية
	المواد الصلبة العالقة TSS	10 (أ)
	الأس الهيدروجيني pH	8.4 – 6
الخواص الكيميائية العضوية	الأكسجين الحيوي المستهلك BOD_5	10 (أ)
	الزيوت والشحوم Oil & Grease	لا يوجد
	فينول Phenol	0.002
الخواص الجرثومية	عدد عصيات القولون البرازية	2.2 (ب) (عدد/100 مل)
	عدد بويضات الديدان المعوية	1 بيضة حية (عدد/لتر)
خواص المركبات الكيميائية	النترات NO_3-N	10
	الأمونيا NH_3-N	5
الخواص الكيميائية	الألومنيوم Al	5
	الزرنيخ As	0.1
	البريليوم Be	0.1
	البورون B	0.75
	الكادميوم Cd	0.01
	الكلورين الحر Cl_2	0.5 (+)
	الكروم Cr	0.1
	الكوبالت Co	0.05
	النحاس Cu	0.4
	الفلوريد F	1
	الحديد Fe	5
	الرصاص Pb	0.1
	الليثيوم Li	2.5
	المنجنيز Mn	0.2
	الزئبق Hg	0.001
	الموليبيدنيوم Mo	0.01
	النيكل Ni	0.2
	السيلينيوم Se	0.02
	الفانديوم V	0.1
	الزنك Zn	4

(أ–1) المعدل الشهري لكل من BOD_5 , TSS لا يزيد عن 10 ملجم/لتر.

(أ–2) المعدل الأسبوعي لكل من BOD_5 , TSS لا يزيد عن 15 ملجم/لتر.

(ب) تعتبر مياه الصرف الصحي المعالجة مطهرة بدرجة غير معدية وكافية لاستخدامها في الري غير المقيد إذا لم يزد الرقم الأعلى المحتمل MPN لعصيات القولون البرازية عن 2.2 عدد لكل 100 مللتر (أو ما يكافئها من طرق القياس الأخرى) وفقاً لما تحدده نتائج الاختبار الجرثومي خلال أسبوع كما لا تزيد عن 23 لكل 100 مللتر في أي عينة (أو ما يكافئها من طرق القياس الأخرى).

(+) لا يقل عن 0.2 ملجم/لتر في حالة استخدام الكلور في التطهير.

[13] وزارة المياه والكهرباء، 1422هـ

geosp.net /vol-4/number-8

جدول–6: معايير استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الأغراض الزراعية للري المقيد وغير المقيد[14]

الخواص	الحد الأقصى المسموح به	
	للري المقيد	**للري غير المقيد**
التركيز الكلي للأملاح الذائبة TDS	2500 جزء في المليون	2500 جزء في المليون
عدد البويضات الحية للديدان المعوية	1 بويضة حية (عدد/لتر)	لا يوجد

4. 8. 3 السيناريو الثالث: استخدام المياه المعالجة في الري لتخفيض كمية السحب من الآبار القريبة من محطة المعالجة وفق معدلات السحب في السيناريو الأول

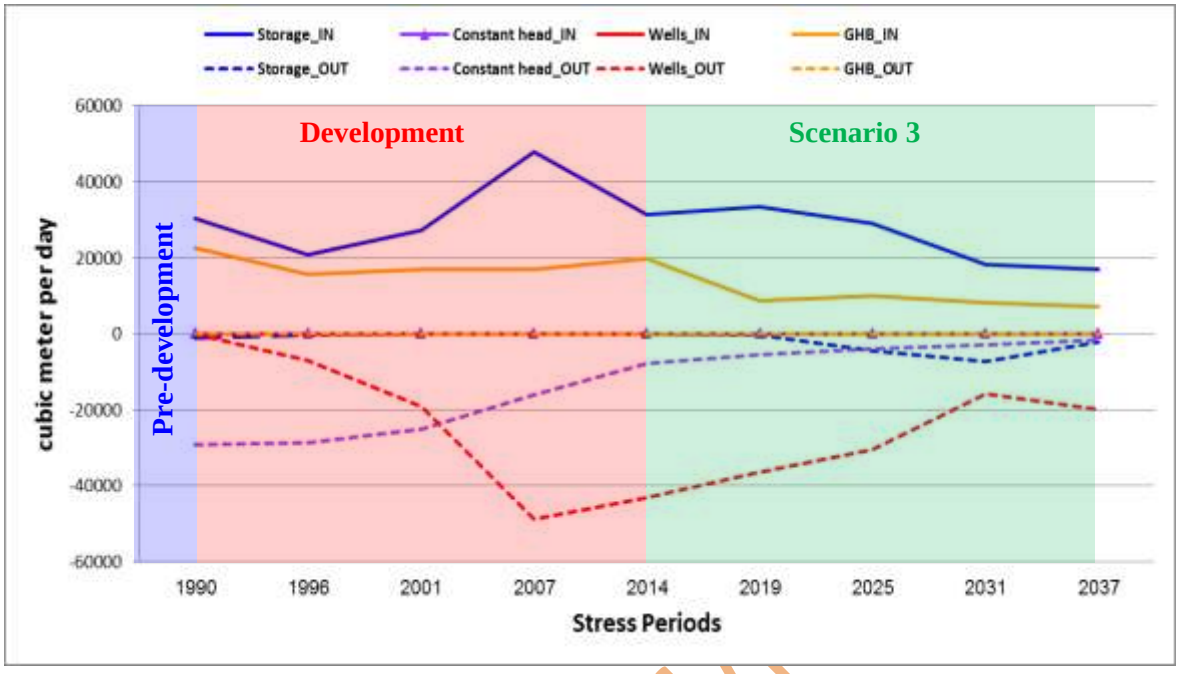
في هذا السيناريو، تم افترض أن مياه الصرف الصحي المعالجة والمقدرة بـ 15 ألف م^3/اليوم، يتم استخدامها في القطاع الزراعي بديلاً للمياه الجوفية التي سيتم تخفيضها في المزارع التي بالقرب من محطة المعالجة، وبالتالي يتم توفير هذه الكمية من المياه الجوفية من آبار تلك المزارع، وأن كمية السحب مماثلة للسيناريو الأول (أي أن هناك زيادة في معدلات السحب نتيجة للتوسع الزراعي). يوضح الجدول (7) انخفاض كمية السحب بعد الاستفادة من المياه المعالجة والمقدرة بـ 15 ألف م^3/اليوم. ويتوقع أن لا يكون هناك غزو من مياه البحر إلى طبقة المياه الجوفية حسب الميزانية المائية للسيناريو الثالث (شكل–27)، حيث أن كمية المياه المعالجة التي تم الاستفادة منها ساهمت في تخفيض كمية السحب من المياه الجوفية.

جدول–7: تخفيض كمية السحب بعد الاستفادة من المياه المعالجة في القطاع الزراعي للآبار القريبة من محطة المعالجة

كمية السحب حسب السيناريو الأول (م^3/اليوم)	**السنة**	**نسبة تخفيض كمية السحب (%)**	**المياه المعالجة (م^3/اليوم)**	**كمية السحب بعد الاستفادة من مياه المعالجة (م^3/اليوم)**
26644.1	2019	56	15000	11644.1
31706.4	2025	47	15000	16706.4
37730.7	2031	39.7	15000	22730.7
44899.54	2037	33.4	15000	29899.54

[14] وزارة المياه والكهرباء، 1422هـ

cosp.net / Vol-4/numéro-8

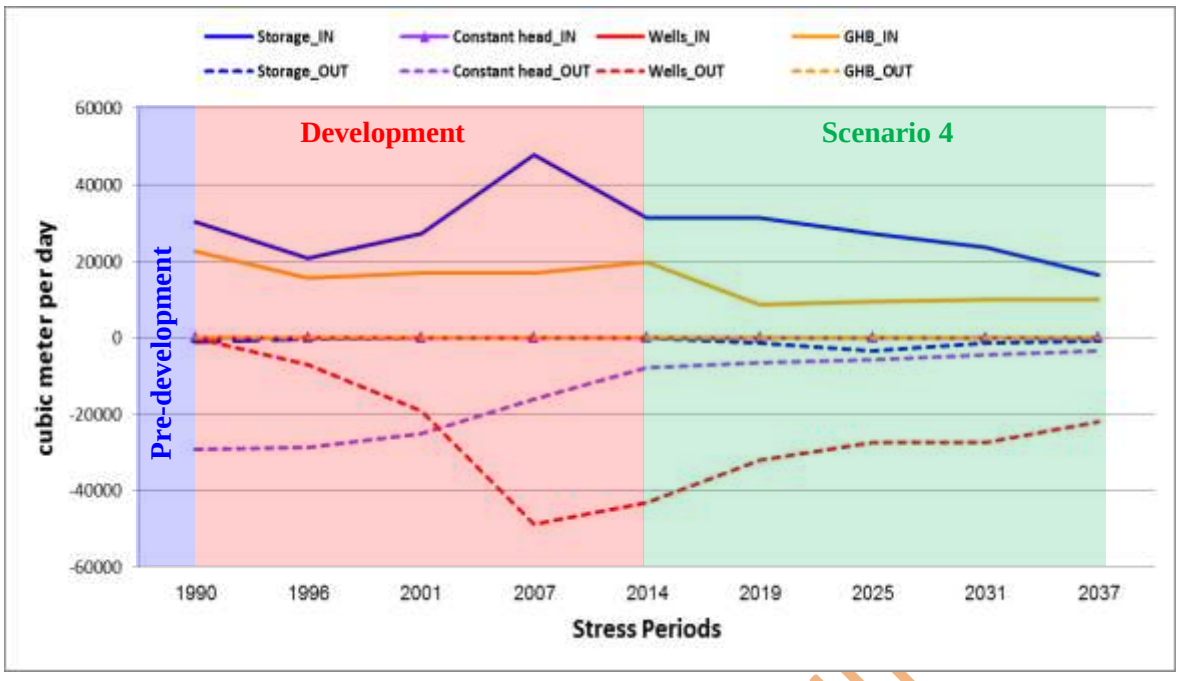


شكل-27: الميزانية المائية للسيناريو الثالث

4. 8. 4 السيناريو الرابع: استخدام المياه المعالجة في الري لتخفيض كمية السحب من الآبار القريبة من محطة المعالجة وفق معدلات السحب للعام 2014

في هذا السيناريو، تم افترض أن المياه المعالجة والمقدرة بـ 15 ألف م^3/اليوم يتم الاستفادة منها في القطاع الزراعي ومكملة للمياه الجوفية التي سيتم تخفيضها في المزارع التي بالقرب من محطة المعالجة، وبالتالي يتم توفير 15 ألف م^3/اليوم من المياه الجوفية من آبار تلك المزارع. وأن كمية السحب انخفضت عن ما كانت عليه في العام 2014، حيث أن كمية السحب من المياه الجوفية للآبار القريبة من محطة المعالجة كانت حوالي 22390 م^3/اليوم في العام 2014 وتم تخفيض ما نسبته 67% إلى ان وصلت حوالي 7388 م^3/اليوم في الفترات (2019، 2025، 2031، 2037) بعد الاستفادة من المياه المعالجة. ويتوقع أن لا يكون هناك غزو لمياه البحر إلى طبقة المياه الجوفية حسب الميزانية المائية للسيناريو الرابع (شكل-28).

geosp.net/vol-4/



شكل–28: الميزانية المائية للسيناريو الرابع

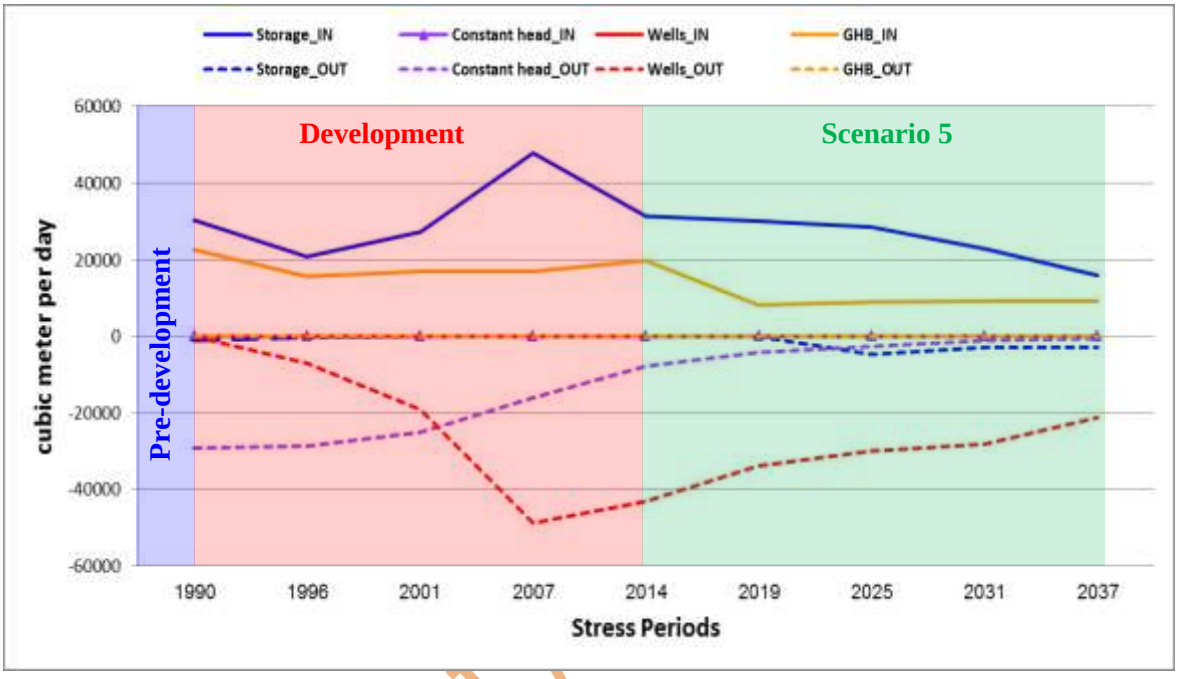
بل على العكس كان هناك ارتفاع لمناسيب المياه الجوفية في تلك الآبار القريبة من محطة المعالجة مما يساعد المزارعين في ممارسة أنشطتهم الزراعية دون الضغط على المياه الجوفية بشرط أن تراقب نوعية المياه الجوفية ومعرفة مدى ملائمتها للزراعة بعد حقن مياه الصرف الصحي المعالجة.

4. 8. 5 السيناريو الخامس: رفع كفاءة الري باستخدام طرق الري الحديثة

معظم المزارع في وادي الليث تستخدم الطريقة التقليدية في الري وهي الري بالغمر Flood irrigation مما يقلل من كفاءة الري Irrigation efficiency والتي في الغالب تقدر بـ 30 – 40%، يوجد بعض المزارع التي تستخدم طريقة الري بالتنقيط Drip irrigation والتي تعتبر طريقة ري حديثة. لا توجد دراسات تحدد نسبة المزارع التي تروى بالغمر أو بالتنقيط في وادي الليث، كما لا يوجد دراسات تحدد كفاءة الري بدقة في الوادي، ولكن هناك توجه من قبل المزارعين وبتشجيع من وزارة الزراعة على استخدام الري بالتنقيط. لذا، تم الافتراض في هذا السيناريو أن كفاءة الري زادت في وادي الليث وارتفعت إلى حوالي 60% نتيجة إلى استخدام طرق الري الحديثة، وبالتالي انخفضت كمية سحب المياه الجوفية بنسبة 20%، حيث كانت كمية سحب المياه الجوفية في عام 2014 حوالي 22390 م^3/اليوم وأصبحت حوالي 17912 م^3/اليوم في الفترات الزمنية (2019، 2025، 2031، 2037) نتيجة رفع كفاءة الري. يوضح الشكل (29)، الميزانية المائية للسيناريو الخامس في وادي الليث، حيث لا يتوقع وجود غزو

geosp.net / vol-4/num

لمياه البحر لطبقة المياه الجوفية إلى عام 2037، كما أن المياه الجوفية التي تتدفق إلى البحر بدأت تقل إلى أن وصلت إلى حوالي 594 م^3/اليوم في نهاية الفترة التشغيلية (2037). ولكن هذا الانخفاض في كمية المياه الجوفية المتدفقة إلى البحر بسبب انخفاض مناسيب المياه الجوفية، قد يؤدي إلى غزو مياه البحر للطبقة الحاملة للمياه الجوفية فيما بعد عام 2037.



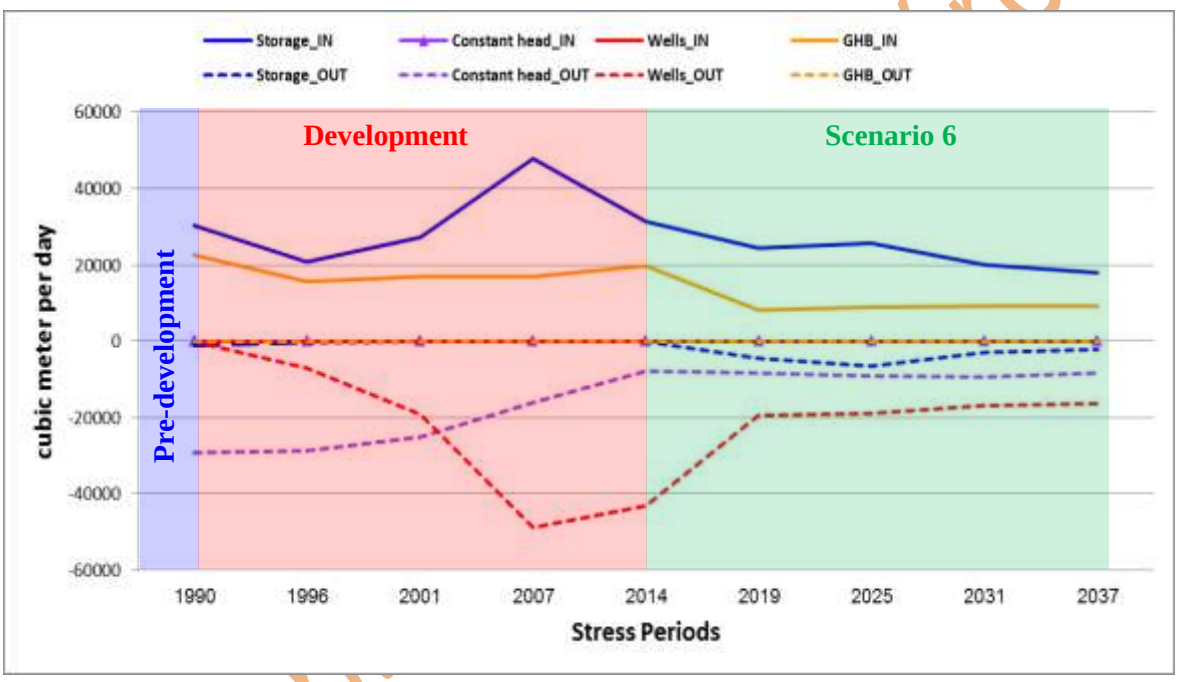
شكل–29: الميزانية المائية للسيناريو الخامس

geosp.net

4. 8. 6 السيناريو السادس: رفع كفاءة الري واستخدام المياه المعالجة لري المزارع القريبة من محطة المعالجة مع معدلات سحب مماثلة للعام 2014

هذا السيناريو الأخير، وتم افتراض أن كفاءة الري ارتفعت إلى حوالي 60% نتيجة استخدام طرق الري الحديثة وبالتالي تم خفض حوالي 20% من كمية المياه الجوفية المسحوبة عن ما كانت عليه في العام 2014. علاوة على ذلك، سيتم الاستفادة من المياه المعالجة في القطاع الزراعي وتكون مكملة للمياه الجوفية التي سيتم تخفيضها في المزارع القريبة من محطة المعالجة، وبالتالي يتم توفير 15 ألف م^3/اليوم من المياه الجوفية من آبار تلك المزارع. وكانت محصلة هذا السيناريو (والذي يمثل السيناريو الرابع مع السيناريو الخامس)، أن كمية السحب انخفضت عن ما كانت عليه في العام 2014، حيث أن

كمية السحب من المياه الجوفية للآبار القريبة من محطة المعالجة حوالي 22390 م^3/اليوم في عام 2014 وتم تخفيض ما نسبته 84% إلى أن وصلت حوالي 2912 م^3/اليوم في الفترات (2019، 2025، 2031، 2037). يوضح الشكل (30) الميزانية المائية للسيناريو السادس، حيث يتضح انخفاض كمية السحب مما أدى إلى ارتفاع مناسيب المياه الجوفية خاصة في الثلث الأخير من الجزء السفلي للحوض نتيجة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة وتخفيض كمية السحب. كما يتوقع أن لا يكون هناك غزو لمياه البحر إلى طبقة المياه الجوفية، بل أن هناك كميات من المياه الجوفية المتدفقة إلى البحر والذي يعني أن الطبقة قد تشبعت بالمياه نتيجة خفض كمية السحب والاستفادة من المياه المعالجة في الري.



شكل–30: الميزانية المائية للسيناريو السادس

4. 9 تحليل السيناريوهات

أصبح من الممكن معرفة المسار الذي قد يسلكه الخزان الجوفي بعد اقتراح السيناريوهات الستة، فأما استمرار التنمية وعدم إجهاد المخزون الجوفي أو النضوب وخسارة المياه الجوفية ووقف عجلة التنمية. ويمكن ترتيب السيناريوهات المقترحة حسب النتائج والتي تساعد في استدامة استثمار المخزون الجوفي، كالتالي:

1. السيناريو السادس: رفع كفاءة الري واستخدام المياه المعالجة لري المزارع القريبة من محطة المعالجة مع معدلات سحب مماثلة للعام 2014
2. السيناريو الخامس: رفع كفاءة الري باستخدام طرق الري الحديثة.
3. السيناريو الرابع: استخدام المياه المعالجة في الزراعة لتخفيض كمية السحب من الآبار القريبة من محطة المعالجة وفق معدلات السحب في عام 2014
4. السيناريو الثاني: حقن المياه المعالجة بالقرب من البحر لصد غزو مياه البحر لطبقة المياه الجوفية.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة، تم الوصول إلى أبرز الاستنتاجات في ما يتعلق بالجانب الإداري والفني لمستويات إدارة المياه الجوفية في وادي الليث، وكذلك في ما يتعلق بالجانب الهيدروجيولوجي.

فيما يتعلق بالجانب الإداري والفني لمستويات إدارة المياه الجوفية في وادي الليث، تبين أن هناك قصور عام في تطبيق الأدوات الفنية والوسائل المؤسسية والإجراءات الإدارية في وادي الليث، حيث يتم تطبيقها في أدنى مستوياتها، وفي بعض الأحيان تكون شبه معدومة مثل المشاركة الجماهيرية. بالإضافة لذلك، فأن التشريعات المائية غير فعالة بالشكل المطلوب، وهي بحاجة إلى تنفيذ جميع موادها المذكورة، وبمتابعة دقيقة من قبل وزارة المياه والكهرباء، مع إضافة مادة لمراقبة المياه الجوفية. أما بالنسبة لحقوق استخدام المياه الجوفية فنجد أن هذه الحقوق تقليدية، بمعنى أن من لديه صك ملكية لمزرعته أو أرضه له الحق في سحب المياه الجوفية واستخدامها كيفما أراد. والمياه الجوفية ليس لها قيمة اقتصادية في وادي الليث وتعتبر مجانية الاستعمال وكذلك الحال في بقية الأحواض المائية في المملكة. كما تبين أنه لا يوجد مناطق حماية للمياه الجوفية في وادي الليث مما يسبب تلوثها واستنزافها، ولا يوجد برنامج مراقبة دورية ومستمرة للمستويات المائية والنوعية للمياه الجوفية في وادي الليث.

أما فيما يتعلق بالجانب الهيدروجيولوجي، يوجد تباين في معدلات السحب للمياه الجوفية لكامل الحوض، حيث تزيد معدلات السحب بشكل كبير في الجزء السفلي من الحوض مع اختلاف وتنوع الغرض من

geosp.net/vol-4/numéro-8

عمليات السحب، منها ما هو للزراعة ومنها ما هو لبيع المياه للشركات. ومما زاد الأمر سوءا، الري المفرط من قبل العمالة الأجنبية وري المزارع بطريقة الري التقليدي (الري بالغمر) لمعظم المزارع في والوادي باستثناء بعض المزارع القليلة التي تستخدم طرق الري الحديث. هناك انخفاض في بعض مناسيب المياه الجوفية في الجزء السفلي من الحوض إلى ما تحت منسوب البحر، مما قد يؤدي إلى اقتحام مياه البحر للمياه الجوفية Seawater intrusion مسببا تلوثا بالأملاح مما ينتج عنه عدم الاستفادة من تلك المياه الجوفية مستقبلا. أن عدم وجود تقييم حديث وشامل لموارد المياه الجوفية في وادي الليث يصف ويقدر بدقة الموازنة المائية، ينتج عنه انخفاض في مستويات المياه الجوفية. ولقد أوضح النموذج الرياضي أنه عند حقن المياه المعالجة ثلاثيا في الطبقة الحاملة للمياه الجوفية بالقرب من منطقة الجفاف التي تكونت نتيجة سحب المياه الجوفية، فإن منسوب المياه الجوفية في تلك المنطقة قد أرتفع مما يساعد المزارعين في ممارسة أنشطتهم الاقتصادية.

التوصيات

بناء على الاستنتاجات، تم التوصل إلى عدد من التوصيات المساعدة لرفع مستوى إدارة المياه الجوفية في وادي الليث والمحافظة على المخزون الجوفي، من أهمها:

- يتطلب الوضع الحالي لمستويات إدارة المياه الجوفية المتدنية في وادي الليث إجراءات وتدخلات إدارية عديدة رفيعة المستوى على المستويات الفنية والمؤسسية والإدارية، ومن أهمها وضع هيكل تنظيمي مع التركيز على إدارة الطلب والحماية من التلوث، وتحديد مواقع للتغذية الصناعية سواء من مياه السيول أو المياه المعالجة.
- يجب تحديث التشريعات المتعلقة بحقوق المياه واعتبار أن المياه ملكية عامة، وتركيب أجهزة لقياس كمية المياه المنتجة تمهيداً لوضع تعرفة مناسبة، ويمكن التدرج في هذا بحيث تكون رمزية في بادئ الأمر لإعطاء المستهلك الشعور بالقيمة الاقتصادية لها.
- لتحقيق إدارة فعالة للمياه الجوفية لابد من إصدار قانون يستوجب المشاركة الجماهيرية، وإشراك المنتفعين في إدارة الخزان الجوفي ليستشعروا عظم المسؤولية.
- يجب على وزارة المياه والكهرباء تقييم قابلية تعرض الخزان الجوفي للتلوث، وإنشاء وتحديد مناطق حماية للمياه الجوفية.

geosp.net /vol-4/numero-8

- من أجل حماية أفضل للمياه الجوفية من الاستنزاف والتلوث ينبغي تحديد قيمة اقتصادية لها، أي وضع تعرفة، وان كانت رمزية، ويستوجب ذلك وضع عدادات لمياه الآبار.
- يتطلب من الجهة المعنية بقطاع المياه في وادي الليث أن تصمم برنامجا للمراقبة كأحد الأدوات الفنية في إدارة المياه الجوفية، وذلك للكشف عن التغيرات العامة في جريان المياه الجوفية واتجاهاتها ونوعيتها، وتقييم وضبط تأثير بعض المخاطر على المياه الجوفية.
- يجب استخدام تقنيات حصاد مياه الأمطار واستغلال مياه الجريان السطحي لتغذية المخزون الجوفي بطرق فنية تتناسب مع طبيعة المنطقة.
- توعية المزارعين الذين يتبعون طريقة الري التقليدية، بتبطين القنوات المائية منعاً للتسرب والتبخر، وتشجيعهم على استخدام طرق الري الحديثة لتجنب الخزان الجوفي مشكلة النضوب خاصة في الجزء السفلي من الحوض وبعد إقامة السد الجوفي.
- بناء القدرات وتدعيم المؤسسات في مجال المياه.
- بناء قواعد بيانات خاصة بالموارد المائية، وتحديث البيانات بشكل دوري ومستمر.
- الاستفادة من المياه المعالجة ثلاثيا والتي من المتوقع أن تنتج في نهاية العام 2017 لري المزارع القريبة من محطة المعالجة بعد توعية المزارعين وتشجيعهم على استخدامها، أو استخدامها من قبل البلدية لري أشجار الحدائق والشوارع عوضا عن استخدام المياه الجوفية.

المراجع:

الخطيب، عبدالباسط **(1980)**، سبع سنابل خضر، المملكة العربية السعودية، وزارة الزراعة والمياه، ترجمة مؤسسة الشرق الأوسط للتحرير والترجمة – بيروت – لبنان.

الإسكوا (2002) لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا ، مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة " الإدارة المتكاملة للموارد المائية"، جوهانسبرغ، 26 آب/أغسطس – 4 أيلول/سبتمبر 2002.

geosp.net / vol 4/ numéro 8

أكساد وهيئة المساحة الجيولوجية السعودية (2010)، تقرير فني عن دراسة التصحر في المنطقة الجنوبية الغربية.

اليونسكو (2010) منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة، الديناميات المتكاملة لمستجمعات المياه وطبقات المياه الجوفية.

وزارة الاقتصاد والتخطيط (2010)، مصلحة الإحصاءات العامة والمعلومات، التعداد السكاني.

وزارة المياه والكهرباء (1422)، اللائحة التنفيذية لنظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامها.

زباري، وليد خليل **(2005)**، تطبيقات نمذجة المحاكاة الرياضية في تنمية وإدارة موارد المياه الجوفية. مجلة التقدم العلمي، 49: 76 – 84

Ministry of Water and Electricity (MOWE) (**2012**), Annual Report.

SAUDI ARABIAN DAMES & MOORE (1988), Representative Basins Study for wadies: Yiba, Habawnah, Tabalah, Liyyah and Lith, Main Report.

geosp.net /vol-4/numéro-8