مقالة بحثية

QAUSRJ
مجلة جامعة الملكة أروى العلمية المحكمة
Queen Arwa University Scientific Refereed Journal

تقييم الوضع المائي في اليمن

دراسة هيدرولوجية لمصادر المياه وتقدير كمية المياه الجوفية المستخدمة والمتجددة في الأحواض الرئيسية بالجمهورية اليمنية

د. عبدالواحد علي محمد إسكندر
باحث أكاديمي، جامعة الملكة أروى

2023

الملخص:

الهدف الرئيسي من إجراء هذه الدراسة هو إجراء تحليل شامل لبيانات الأرصاد الجوية والهيدرولوجية القائمة من أجل تقييم الحالة الهيدرولوجية والموارد المائية الراهنة. تشمل تقييم إمكانية توفير المياه نتيجة لتنفيذ عدد 20 مشروعا حديثا للري وتقييم عوائدها الكمية والنوعية بناء على انتهاج ثلاثة نماذج: أولاً تقييم الاحتياجات الفعلية من المياه لري المحاصيل كما تم قياسها في المواقع الحقلية (FUs، GWSCP) ، ثانياً تقييم قدرة ضخ حجم المياه لكل نوع محصولي يروى بالمياه وفقا لوحدة زمنية (م 3 / محصول / ساعة) جنبا إلى جنب مع عدد الآبار المستخدمة لحساب استخراج المياه. تقدير تناقص متوسط مستوى انخفاض المياه في الأحواض ومقارنة المياه الجوفية المتجددة بالأحواض مع المياه المستخرجة منها حسب القياس السنوي بوحدات المتر المكعب. تقييم الآثار المتوقعة على نظام المياه الجوفية نتيجة لتنفيذ مكونات المشروع. تشير النتائج الرئيسية لهذه الدراسة إلى عدد من التوصيات التي ينبغي النظر إليها في سياسات استخراج المياه الجوفية بحجم المناسب التي من شأنه أن يؤدي إلى استدامة طويلة الأجل لموارد المياه في مناطق مشاريع الري المقترحة مما يضع حدا لمزيد من استنزاف المياه الجوفية. لذلك فإن توفير المياه الناتج عن تنفيذ المشاريع سيساهم في زيادة تغذية طبقات المياه الجوفية، ويخلق توازن مائي في مناطق الأحواض المستهدفة بالري الحديث.

الكلمات المفتاحية:

تحليل البيانات الهيدرولوجية، استدامة المياه الجوفية في مشاريع الري، إعادة تغذية طبقات المياه الجوفية، وإدارة المياه

بيانات البحث:

الناشر	جامعة الملكة أروى
DOI	10.58963/qausrj.v1i26.159
P-ISSN	2226-5759
E-ISSN	2959-3050
تاريخ الاستقبال	29/ اكتوبر / 2023م
تاريخ القبول	01/ ديسمبر / 2023م
تاريخ النشر	30 / ديسمبر / 2023م
الحقوق الفكرية ©	(CC BY 4.0)
لغة نشر المقال	اللغة العربية

طريقة الاقتباس:

اسكندر د. ع. م. (2023). تقييم الوضع المائي في اليمن: دراسة هيدرولوجية لمصادر المياه وتقدير كمية المياه الجوفية المستخدمة والمتجددة في الأحواض الرئيسية بالجمهورية اليمنية. مجلة جامعة الملكة أروى العلمية المحكمة, 1(26), 29. https://doi.org/10.58963/qausrj.v1i26.159

جهة الاتصال الرئيسية:

د. عبدالواحد علي محمد إسكندر
تلفون: +967777049667
بريد النشر: info@qau.edu.ye

الجهات / المؤسسات:

انتماء الباحث: جامعة الملكة أروى
جهة التمويل: لا يوجد.

مجال البحث / الاختصاص:

هيدرولوجيا وإدارة الموارد المائية.

رمز الاستجابة السريعة:

امسح الكود لزيارة موقع المجلة
Scan QR code to visit this journal on your mobile device.

ROR: 03ygqq617
ISSN : 2226 - 5759

Translation:

Evaluation of the water situation in Yemen

(A hydrological study of water sources and an estimate of the amount of groundwater used and renewed in the main basins of the Republic of Yemen)

Dr. Abdulwahed A. Iskandar

Academic researcher, Queen Arwa University

2023

Abstract:

The main purpose of this investigation is to conduct a comprehensive analysis of the existing meteorological and hydrological data in order to assess the current hydrological and water resources situation. Water availability for the 20 Modern Irrigation Projects have been evaluated in terms of quantity and quality based on three models' approach: Actual crop-water requirements as measured on field sites (FUs, GWSCP), pumping capacity of water volume per cropping type and time unit (m3/crop/hour) as combined with number of wells are used for calculating water abstraction. The average drop down level of water in a basin as compared to gauged renewable groundwater is contrasted. Expected impacts on the ground water system as a consequence of the implementation of the project components are assessed. The major outcomes of this investigation suggest a number of recommendations, which should be considered for suitable groundwater abstraction policies that would lead to the long-term sustainability in the proposed irrigation projects areas making an end for further groundwater depletion. Therefore, saved water resulting from the implementation of the projects will contribute to the augmentation of aquifers recharge.

Keywords:

Hydrological Data Analysis, Groundwater Sustainability in Irrigation Projects, Aquifer Recharge and Water Management

مقدمة

تختص هذه الدراسة بتقييم الوضع المائي في اليمن من خلال دراسة تحليل شامل للعوامل والمتغيرات الهيدرومترولوجية المتصلة بعناصر المناخ لتقدير كمية الأمطار المتساقطة على المناطق والأودية ذات العلاقة بالحصاد المائي وفي الأحواض الرئيسية الواقعة ضمن أراضي محافظات الجمهورية، يترتب على هذه التحليلات تقدير كمية المياه الجارية والمفقودة والمياه الممتصة او المتسربة إلى باطن الأرض لتغذية المياه الجوفية. كانت هذه الدراسة في البداية تمثل أحد مكونات الدراسات الشاملة (هيدرولوجية- هندسة الري- زراعية- إقتصادية- اجتماعية - مؤسساتية - بيئية) والتي تم إعدادها عام 2010م [1] بهدف تنفيذ مشروع الري الحديث في اليمن ضمن الخطة الإستراتيجية الزراعية متوسطة المدى (2006-2010) [2] والممولة من منظمة الفاو بالتعاون مع وزارة الزراعة والري. قام الباحث عام 2022م بتحديث هذه الدراسة وشملت التعديلات تحديث بعض البيانات وتعديل الإطار العام للدراسة ليتوافق مع إطار البحث العلمي ويتواكب مع البيانات المستجدة والمنشورة حديثاً، رغم شح هذه البيانات في العقد الأخير بسبب الأحداث الجارية وما تعانيه اليمن الحبيب من حروب وصراعات محلية وإقليمية معززة بضغوطات دولية

قام الباحث بتنفيذ الأعمال العلمية والفنية الإستشارية المختصة بالدراسة الهيدرولوجية بدءً بتصميم العينات بغرض جمع البيانات واتباع المنهجية المناسبة لوصف وتحليل البيانات باستخدام اساليب التحليل الإحصائي وإستخلاص علاقات الارتباط والتباين بين متغيرات الدراسة وتطبيق المعادلات الرياضية والإجراءات السائدة في تحليل البيانات المائية مع حساب التكلفة المالية والإقتصادية المقابلة للوفر المائي نتيجة لإستخدام وسائل الري الحديث في حال تنفيذ اساليب الري المزرعي الحديث، كما قام الباحث بقيادة العمل الإستشاري في مهام تنسيق الأعمال البحثية وتقديم الإستشارات الفنية والعلمية اللازمة أثناء مرحلة الإعداد لتنفيذ الدرسات الأخرى التي شملها المشروع والموكلة للمختصين من أعضاء الفريق الإستشاري، وبفضل الله تكللت أعمال الفريق الإستشاري بالنجاح، حيث قام الباحث بمهامه كرئيس للفريق الإستشاري بدمج هذه الدراسات وكتابة التقرير النهائي للمشروع وفقاً لمعايير البنك الدولي في هذا السياق.

إجراءات تحليل البيانات المترولوجية والهيدرولوجية:

من أجل إجراء تقييم دقيق لمصادر المياه وعلاقتها بالوضع الحالي لضخ المياه الجوفية ومقارنتها مع كمية المياه المتجددة، تهدف هذه الدرسة الوصول لوضع ميزانية مائية حقيقية، وعليه فلابد من إجراء دراسة شاملة لعناصر ومتغيرات المناخ وفحص خصائص التربة والتركيب الجيولوجي السائد وأشكال السطح في المناطق المستهدفة، وهذا ما تناولته هذه الدراسة (المترولوجية- الهيدولوجية) [3] ومحاولة الكشف عن علاقة التفاعل والتأثير والتأثر بين هذه المكونات والتي تشمل العوامل والمتغيرات الأتية:

1. معالجة البيانات المائية المتعلقة بعناصر المناخ بعد جمع البيانات المتصلة بالامطار، الحرارة، الرياح، الرطوبة النسبية، ومعدلات التبخر والنتح، وفحص مستويات المياه وتغيرها السنوي ونوعية المياه مع تقدير مدى

تأثير كمية ضخ المياه ضمن الأحواض الفرعية والرئيسية الوقعة في المناطق المستهدفة في دراسة الري الحديث.

2. تم تقييم مستوى توافر المياه ل 20 مشروعا حديثا للري من حيث كمية ونوعية المياه التي يتطلبها المشروع بمختلف فروعه بناءً على تطبيق منهجية تتكون من ثلاثة نماذج: الأول يتمثل بتحديد الاحتياجات الفعلية من المياه وعلاقتها بالمحاصيل كما تم قياسها في المواقع الحقلية (FUs - GWSCP) [4] ، والثاني يتمثل بقدرة الضخ وحجم المياه التي يتطلبها كل نوع من أنواع المحاصيل محسوبا ضمن وحدة زمنية (م 3 / محصول / ساعة) الثالث يتمثل بعدد الآبار المستخدمة للضخ لحساب استخراج المياه.
3. توصيف وتحديد الإستفادة الكمية المحسوبة عن طريق إجراء تقديرات دقيقة لكميات المياه المسحوبة والمتجددة بغرض حساب الفوائد والعوائد الكمية الناتجة عن استخدام وسائل الري الحديث المزمع تنفيذها في 20 موقعاً في مختلف محافظات االجمهورية ليمنية
4. تقييم الوضع المائي الراهن وعمل تنبؤات مستقبلية لخمس سنوات تالية بعد تنفيذ المشروع مع عمل خرائط تفصيلية تبين الوضع المائي القائم في موقع كل فرع من فروع المشروع المعني بكل منطقة مستهدفة من مناطق المشروع بالتنسيق مع مهندس الري والمختص الزراعي.
5. تصميم خرائط توضح مناطق المراقبة الإشرفية للمياه المعززة بأجهزة المعايرة وبوسائل القياس المائي بهدف مساعدة الهيئات الادارية في المؤسسات المعنية للقيام بأنشطة الرقابة والسيطرة.
6. وضع معالم إجرائية تفيد في تقييم المياه لتكون بمثابة موجهات ضابطة يتم إستخدامها في تقييم أنشطة وحدات المشروع في مختلف المناطق الفرعية.
7. تحديد وتوصيف الأجهزة والوسائل اللازمة لإجراء المراقبة المائية من أجل التقييم الدوري والمستمر لأوضاع المياه في الأحواض والمناطق المستهدفة.

الأهداف العامة للدراسة الهيدرولوجية

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو أجراء تحليلات شاملة لكل البيانات المتوفرة والمتعلقة بالمتغيرات المترولوجية والهيدرولوجية في جميع محافظات الجمهورية اليمنية بغرض عمل تقييم للوضع المائي الراهن ودراسة مصادر المياه في الأحواض الرئيسية والفرعية وتحديد مدى مساهمتها في تغذية المياه الجوفية وفقاً للإجراءات الأتية. إن استعراض البيانات ومنهجية التحليل تعد من أهم التحقيقات الهيدرولوجية لتقييم الموارد المائية وكأداة أساسية للتخطيط والإدارة السليمين للموارد المائية.

على نطاق الأهداف المجالية للدراسة قام الباحث بالتنسيق مع أعضاء الفريق الاستشاري بتنفيذ الأنشطة التالية:

أ. مراجعة كل الدراسات المائية (المترولوجية- الهيدرولوجية) السابقة ومراجعة التقارير والبيانات المتوفرة والمتعلقة بأنشطة ونظم الري .
ب. تصميم العينات مع وضع برنامج للمسح الميداني بغرض تجميع وفحص البيانات الإضافية التي تطلبتها الدراسات المشمولة وفي مقدمتها الدراسة الهيدرولوجية.
ج. إعداد دراسات شاملة ومفصلة تتعلق بالإجراءات الفنية وبتقنية تصميم منهجية علمية لإجراء حسابات وتقديرات دقيقة لكميات المياه المتساقطة والمتسربة عن طريق الجريان والمفقودة بالتبخر وتلك التي يتم امتصاصها لتغذية المياه الجوفية ومقارنتها بإجمالي كمية المياه المستخرجة سنوياً من الآبار الإرتوازية المستخدمة في الري المزرعي للمحاصيل، وشملت الدراسة الهيدرولوجية المتغيرات والعناصر الأتية:

1. الدراسات المناخية: الدراسة المترولوجية، كمية التساقط ومعدلات الحرارة والتبخر والنتح
2. الدراسات الجيولوجية وأشكال السطح: التركيب الصخري، مستوى الإنحدار وأنواع التربة ومعدل الإمتصاص والجريان.
3. الدراسات الميدانية: قياس الآبار، ومعايرة الإنخفاض السنوي لمستويات المياه فيها وإجراءات المسح الشامل لعدد من الآبار حسب كل محافظة.

استعراض البيانات ومنهجية التحليل في الدراسة الهيدرولوجية

قامت الدراسة الهيدرولوجية بتقسيم المناطق المستهدفة بحسب مواقعها في كل محافظة ودراسة المتغيرات المترولوجية والهيدرولوجية في كل منها على حدة ثم جمعها ودمجها على مستوى الجمهورية، كما تبينه الجداول المرفقة بقسم تحليل البيانات وذلك بهدف تقييم الوضع المائي القائم من خلال تحليل العوامل والمتغيرات الهيدرولوجية-الميترولوجية التي استندت على حقائق وسجلات لدورة مناخية كاملة تصل إلى 36 عام (1972 - 2008) [5-10] بعضها تم جمع بياناتها من دراسات وتقارير سابقة نظراً لعدم توفرها في الجهات المعنية وبعضها تم الحصول عليها من الارصاد الجوية للأمطار والحرارة وغيرها. تم إجراء تقديرات دقيقة من خلال تنفيذ عملية حوسبة كمية ونوعية للمياه المسحوبة والمتجددة في الأحواض المائية الجوفية وتحديد مساحات ومناطق تقسيم وحصاد مياه الإمطار وعلاقتها بالجريان السطحي. و نظراُ لطبيعة تشتت وتناثر منظومة القواعد البيانية في بلادنا, وتنافر بعضها أحيانا وانقطاع التسلسل الزمني للأرصاد أحياناً أخرى مع محدودية شمولها المكاني ولقلة عدد محطات الأرصاد المترولوجية, فقد تطلب الأمر للتغلب على هذا القصور جهداُ كثيفاُ ومتواصلاُ للتحقق من البيانات وإجراء إسقاطات مناسبة من خلال إجراء معالجات شاملة ومفصلة لتغطية سجلات الأرصاد الجوية الناقصة وذلك لتكوين سلسلة متكاملة من العناصر المناخية تغطي مدة زمنية لأتقل عن 35 سنة لجميع مناطق الدراسة (20) المعنية بالمشروع والمتصلة بالدراسة الهيدرولوجية، بالإضافة إلى بيانات تتعلق بقياسات كمية مياه الجريان

السطحي ومراقبة الآبار ومعدلات التغير في مستويات مياه الطبقات الخازنة للمياه الجوفية على مستوى الأحواض الرئيسية والفرعية وكذلك على مستوى النطاق الإقليمي والمحلي بحيث يسهل للجهات المعنية بالري القيام بإجراءات التقييم والمتابعة ويساعد كذلك الجهات التنفيذية على مراقبة وضع المياه الجوفية واتخاذ التدابير اللازمة حالياً لتحقيق صيانة مستدامة وإدارة فاعلة في المستقبل لإدارة موارد المياه الجوفية والحيلولة دون إستنزافها.

قامت الدراسة بتحديد الأعمال المستهدفة التي سيتم تنفيذها وتقديركلفة تنفيذها وكذلك الاستفادة المتوقعة من تنفيذ أعمال المشروع بالتوافق مع نتائج الدراسات الكمية المالية والاقتصادية التي تم تنفيذها من قبل منظمة الفاو. قامت الدراسة الحالية بتحديد المعدات والوسائل والأدوات والدعم اللوجستي المطلوب واللازم لتسهيل تنفيذ أنشطة مشروع الري مع تحديد الكلفة المالية لكل مكون ونشاط من أنشطة تنفيذ المشروع.

أساليب وطرق البحث

اعتمدت الدراسة على الأساليب والطرق التالية:

- التحليل الإحصائي للبيانات واستخدام عدد من الاساليب لتحديد علاقات الإرتباط، إجراء الإسقاطات المناسبة، حساب المعدل، المتوسط والتوزيعات النسبية وتطبيق المعادلات/الموديلات الرياضية لحساب الجريان والإمتصاص وأجراء التحليل المالي والإقتصادي في حساب التكاليف.
- مراجعة البيانات التي تم جمعها من المصادر الثانوية مثل تقارير المشاريع والإحصائيات المختلفة والمراجع المماثلة في الدول الأخرى.[11-17]
- تنفيذ مسح حقلي لتقييم مستوى المياه في الآبار واختبار موثقية البيانات الواردة بالمصادر الثانوية من خلال عمل استبيان يتعلق بالمواضيع الخاصة بالدراسة.
- تحليل القيم الكمية لتحديد حجم الاستفادة من توفير المياه نتيجة لاستخدام تقنية الري الحديث وتقدير المساهمة المجتمعية في إدارة برامج الري وأكدت الدراسة على أن ضخ المياه الجوفية عبر وسائل الري المقترحة سيقلل من تدهور المخزون المائي الجوفي.[18-21]

عرض وتحليل البيانات المترو- هيدرولوجية

تهتم هذه الدراسة بتحليل البيانات الهيدرومترولوجية (المائية) بهدف إجراء تقييم للموارد المائية بفرعيه، السطحية والجوفية وتقييم متغيرات الوضع الهيدرولوجي الحالي، وإجراء مقارنات كمية بين المياه الجوفية المستخرجة وبين كمية المياه المتجددة بهدف وضع موازنة مائية تقارن بين هذين المتغيرين ضمن المكون الهيدرولوجي، ليتم على هذا الأساس تحديد وتقييم فوائد مشروع الري الحديث وحساب الجدوى الإقتصادية للمشروع من خلال كمية الوفر المائي الذي سينتجها المشروع نتيجة لإستخدام التقنيات الحديثة في الري الزراعي مقارنة بالري التقليدي، وعليه فإن هذه الدراسة تناولت جوانب التقييم والتحقيق بدقة في المعلمات المائية التالية ؛ (1) جمع ومعالجة البيانات الهيدرولوجية والهيدرومترولوجية (بيانات هطول الأمطار، مستوى المياه، جودة المياه. قامت هذه بتحديد منهجية لجمع البيانات وتنفيذ التحليل الهيدرولوجي ومناقشة مكوناته وعلاقة ذلك بالمياه الجوفية مع فحص تأثير المياه الجوفية المستخرجة من الأحواض الرئيسية أو الأحواض الفرعية في كل منطقة من مناطق المشروع. وسيتم تفصيل هذه البيانات والمعلومات في مكونات الدراسة الهيدرولوجية. (2) تحديد الفوائد الكمية للمشروع وإجراء تقديرات جيدة للفوائد والفترات التي سيتم خلالها توليد هذه الفوائد نتيجة لتنفيذ المشروع الحديث لتقنية الري التي تم تحديدها بعناية لجميع المناطق المستهدفة. (3) وضع خطة لتقييم الوضع الهيدرولوجي الحالي وإجراء توقعات على مدى خمس سنوات تالية من بدء تنفيذ المشروع، إلى جانب تصميم خرائط مفصلة لكل منطقة من مناطق المشروع لتوضح التوازن المائي في كل منطقة و/ أو أي حوض فرعي من هذا المكون. قدم الباحث توصية واضحة في كيفية التغلب على أي عيوب متأصلة فيما يترتب على الوضع المائي القائم. (4) قام الباحث بتصميم خرائط مفصلة لتنفيذ أنظمة الرصد الهيدرولوجي وتحليل المكونات على مستويين، أحدهما يختص بالمستوى الهيدرومترولوجي والأخر يتصل بمستوى المياه وعلاقته بدعم الآلية الإدارية في عملية المراقبة الإشرافية لأنشطة الرصد والتقييم. (5) وضع محددات تشير إلى تقييم الأثار المترتبة على تنفيذ المشاريع المستهدفة. (6) القيام بتحديد احتياجات التقييم المائي من المعدات وأنظمة المراقبة وعمل المواصفات اللازمة لمعدات وأجهزة المراقبة وتحديد تكلفتها التفصيلية.[20-23]

الغرض الرئيسي من التحقيق في هذه الإعمال هو إجراء تحليل شامل لبيانات الأرصاد الجوية والهيدرولوجية القائمة من أجل تقييم الحالة الهيدرولوجية والموارد المائية الراهنة. لذلك قام الباحث بتقييم مدى التفاعل بين المكونات الميترولوجية (الأرصاد الجوية) والعناصر الهيدرولوجية المتعلقة بالمياه الجوفية وإلى أي مدى يمكن لتقنيات الري الحديث بترشيد إستخدام المياه الجوفية من خلال ما سيوفره ال 20 مشروعا للري الحديث من كمية من المياه. وبناءً على انتهاج ثلاثة نماذج حقلية لتقيم الاحتياجات الفعلية من المياه لري المحاصيل كما تم قياسها في المواقع الحقلية (FUs، GWSCP) [4]، وقدرة الضخ الكمي للمياه وعلاقته بحجم المياه لكل نوع محصولي ضمن وحدة زمنية (م3 / محصول / ساعة) جنبا إلى جنب مع إجراء جرد بعدد الآبار المستخدمة لحساب كمية المياه الجوفية المستخرجة. من الملاحظ للوهلة الأولى ومن مراجعة التقارير والإحصاءات القياس المنشورة تناقص لعتبة المياه في الأحواض الخازنة بمتوسط انخفاض سنوي للمياه في الأحواض يصل بعضها إل 7مترفي السنة. يتضمن التحليل الهيدرولوجي في هذه الدراسة مقارنة المياه السطحية وما ينتجه من جريان سطحي بتلكم المياه الممتصة مع المياه الجوفية المتجددة كما تشير إلى ذلك القياسات. كم تم تقييم الآثار المتوقعة المترتبة على نظام المياه الجوفية نتيجة لتنفيذ مكونات المشروع. تشير النتائج الرئيسية لهذا التحليل إلى عدد من التوصيات التي ينبغي النظر إليها بعين الإعتبار من قبل الجهات الرسمية المعنية بتطبيق السياسات المقننة لإستخراج المياه الجوفية بحيث لا يتعدى الحد المناسب الذي من شأنه أن يؤدي إلى استدامة طويلة

الأجل للمورد المائية والعمل على صيانة هذا المورد الهام لمقومات الحياة ومعيشة اليمنيين.

يُعد استعراض البيانات ومنهجية التحليل من أهم وسائل التحقيق في الدارسات الهيدرولوجية كونها أداة مناسبة لتقييم الموارد المائية وطريقة أساسية للتخطيط والإدارة السليمين للموارد المائية. سبق وأن إجريت دراسات واسعة النطاق بغرض التحقق من مدى توفر الموارد المائية وتقييمها في اليمن في السنوات ال 40 الماضية. وكان الهدف لمعظم هذه الدراسات هو توفير أساس لتصميم وتنفيذ نظم منزلية وصناعية واقتراح نظم ري جديدة أو لتوسيع أو تحسين النظم القائمة. كان المفهوم الأساسي وراء هذه الدراسات في المقام الأول هو تحسين الاستثمارات في البنى التحتية. وفي حالة الخصائص المحددة لنظام الموارد المائية، فإن معظم التقارير والتحقيقات السابقة بشأن الموارد المائية لم تنفذ إلا على أساس بيانات كافية وتحليلات هيدرولوجية وأرصاد جوية مفصلة بعضها قاد إلى آثار ضارة وخطيرة خاصة على شبكات المياه الجوفية.

وهكذا أصبح تقييم المياه الجوفية وتحليل مكونات الموارد المائية لمعرفة معدل إعادة التغذية مسألة تثير قلقا بالغا في الآونة الأخيرة، لأن ندرة المياه والاستنزاف المفرط للمياه الجوفية يعرضان استدامة هذا المورد المائي الهام للخطر. شملت هذه الدراسة تقييم ومراجعة بيانات الموارد المائية التي وردت في الدراستين: WRAY وGWSCP، حيث أسهم هذين المصدرين إلى حد كبير في توفير بعض البيانات القيمة في هذا الصدد. يشكل مكون تقييم المياه الجوفية المتمثل بهذه الدراسة الهيدرولوجية المحور الرئيسي من بين مكونات دراسات مشروع الري الحديث في اليمن، ولذلك فقد قام الباحث بالتحقق بدقة من بيانات المكون المائي والتعامل معه بمزيد من العمق في مشاريع التقارير النهائية التي أعدها الباحث لعدد 20مشروعاً في الري الحديث (MIPs). قامت هذه الدراسة بتلخيص الجوانب الهيدرولوجية الرئيسية، من خلال عرض المؤشرات الرئيسية للوضع الهيدرولوجي الراهن في اليمن بهدف توفير وترشيد إستخدام المياه في أقسام الري المختلفة. ومن المتوقع أن تساهم نتائج هذه الدراسة في تحقيق الهدف النهائي نحو تطوير خطة ملائمة تتوافر فيها قاعدة بيانات سليمة جنب إلى جنب مع وضع قواعد للرقابة الإشرافية ومعالم للإسترشاد بها في عملية الإدارة المستدامة للموارد المائية في اليمن.[30-24]

توفر هذه الدراسة مجموعة واسعة من البيانات التي تم جمعها من دراسات وتقارير ومسوحات ميدانية وإحصائية متفرقة والتي تُعد أحد المخرجات الهامة لهذه الدراسة من شأنها أن تساعد في إنشاء قاعدة بيانات جيدة لنظام شامل للمعلومات الهيدرولوجية. ومع ذلك، لا تزال هناك حاجة كبيرة إلى معلومات إضافية لتضمينها في قاعدة البيانات في سياق الدراسات الهيدرولوجية المستقبلية. ولقد واجه الباحث وجود مشاكل كثيرة في توفير بيانات كافية لإنجاز هذه الدراسة ومن الأمثلة على ذلك هو عدم توفر بيانات كافية عن قياسات الموارد المائية بجميع فروعها، إضافة إلى الافتقار التام إلى بنية تحتية للأرصاد الجوية في بلادنا وعدم وجود شبكات القياس الضرورية في بعض المناطق. ولا تزال هناك حاجة كبيرة إلى معدات وأجهزة الرصد لتغطية الثغرات الكبيرة القائمة في التسلسل الزمني للبيانات التي حاولت أن توفرها الدراسات والتقارير السابقة. أحد توصيات هذه الدراسة سيكون مرتبطاً بتوفير واستخدام وسائل وتقنيات هيدرولوجية حديثة بغرض تقديم حلول لمعظم مشاكل البيانات في سياق دراسة الموارد المائية مستقبلاً، من أجل الحصول على صورة شاملة وكلية كافية ومتسقة مع حالة وظروف الموارد المائية والمكونات الهيدرولوجية القائمة في مناطق الأحواض المائية والمستهدفة بمشروع الري الحديث. وتجدر الإشارة هنا إلى أن استعراض الأدبيات يمثل جزءً لا غنى عنه من الدراسة الهيدرولوجية، ومن ثم يتم تحليل وتلخيص متغيرات المناخ أهمها ما يتصل بهطول الأمطار وكذلك البيانات المترولوجية الأخرى ومناقشتها بالتفصيل خلال عرض نتائج تحليل هذه المتغيرات المناخية والأرصاد الجوية وعلاقتها بالجريان السطحي والطبقات الخازنة للمياه الجوفية في أقسام الدارسة الأتية.

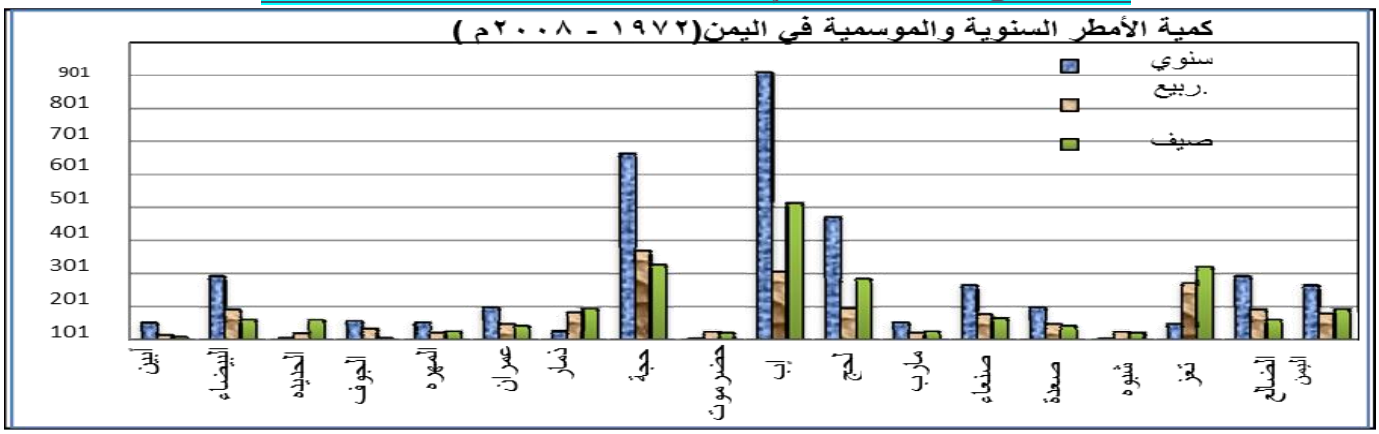
أولاً: التحليل الميترولوجي (الأرصاد الجوية)

يوجد في اليمن 32 محطة فقط لرصد هطول الأمطار مع سجلات طويلة المدى نسبياً ومستمرة لأكثر من 15 عاما. معظم السجلات ذات المدة الطويلة نسبيا حافلة بالعديد من الانقطاعات. ولغرض التحقق من صدق البيانات وثباتها النسبي، تم جمع بيانات هطول الأمطار السنوية من مصادر مختلفة لشبكة محطات الرصد تغطي جميع محافظات الجمهورية للفترة (1972 – 2008) [10-5]. تم تحديث البيانات لتشمل السنوات الأخيرة. تم استخدام البيانات المتاحة للكشف عن النمط العام والسائد لهطول الأمطار في اليمن من خلال تحليل الاختلافات الزمنية والمكانية لهطول الأمطار على أراضي الجمهورية، لا سيما في جميع مناطق المشروع. تم معالجة البيانات المفقودة بشكل صحيح باستخدام نماذج إحصائية مختلفة ورسم متوسطات للمحطات المجاورة لاستيفاء بعض البيانات الناقصة. [31 ,10-5]

النمط المكاني والزمني لهطول الأمطار

يأتي هطول الأمطار في اليمن بشكل رئيسي على شكل أمطار اعتيادية بينما العواصف المطيرة تكون هي الغالبة على الحمل الحراري في اليمن ونتيجة لذلك، يميل مداها إلى أن يكون محدودا في نطاق المنطقة، على الرغم من حقيقة أن الدوران العام الذي يحدد الظروف العامة لحدوث هطول الأمطار يتسم بخصائص مناخية ذات نطاق دون إقليمي. وعلى العموم يُلاحظ أن معظم العواصف الفردية هي محدودة النطاق حيث أنها تغطي مساحة محدودة فقط، لا تزيد عن عدة عشرات من الكيلومترات المربعة. تتحكم التأثيرات المحلية بقوة في الأنماط المكانية لهطول الأمطار في مناطق مختلفة من اليمن. يعرض الجدول (1) والأشكال المرافقة المتوسط العام لهطول الأمطار الموسمية والسنوية في محافظات الجمهورية منذ عام 1972 موضحاً في جدول (1) وشكل (1).

شكل (1): يوضح المتوسط السنوي والموسمي للأمطار بحسب محافظات الجمهورية اليمنية (1972-2008)



يلاحظ من الشكل (1) بروز ثلاث محافظات هي إب، حجة والحج بارتفاع كمية الأمطار مقارنة ببقية المحافظات. يوجد تباين مكاني بكمية الأمطار بين جميع المحافظات اليمنية، فبعضها يوصف مناخها بنمط شبه رطب وأخرى ذات نمط مناخي شبه جاف إلى جاف تماما، وعلى المستوى الزمني يختلف متوسط هطول الأمطار السنوي في اليمن من سنة إلى أخرى، ومن خلال النظر إلى التسلسل الزمني في معدل الهطول للفترة 1972-2008م في جدول (1)، حيث يتضح هذا التباين الزمني والمكاني من موقع إلى آخر. ولسوء الحظ، فإن معظم محطات هطول الأمطار في اليمن لديها سجلات قصيرة جدا لا تُمكن من دراسة الاختلافات طويلة الأجل في مناطق مستجمعات هطول الأمطار السنوية. هناك محطة واحدة على الأقل في كل منطقة حوضية لديها سلسلة طويلة نسبيا من أرصاد البيانات الجوية التي استخدمها الباحث لدراسة التباين الزمني والمكاني لهطول الأمطار في المحافظات المختلفة ضمن نطاق مواقع المناطق المروية بالمياه السطحية أو الجوفية. بعض الأمثلة على وجود تسلسل زمني ذات سجلات طويلة يخص محطة صنعاء (1932-2008) ، محطة عدن (1881- 2008) ، تعز (1944-2008) ، الحديدة (1963- 2008) ، إب ، أبين ولحج (1970-2008). لكن للأسف يشوب هذا التسلسل إنقطاعات متعددة. كشف التحليل الإحصائي في هذه الدراسة أنه من الممكن استكمال البيانات البينية الناقصة ضمن التسلسل الزمني من خلال تطبيق نماذج الإسقاطات والمعالجات الإحصائية وبالجوء إلى استخدام بيانات المحافظة المجاورة لإنتاج بيانات مكتملة التسلسل على المدى الطويل وذلك للتغلب على نقص البيانات أو إنقطاع التسلسل في بعض السنوات المفقودة.

جدول (1): كمية الأمطار النوية موزعة بحسب المحافظات (1972-2008)

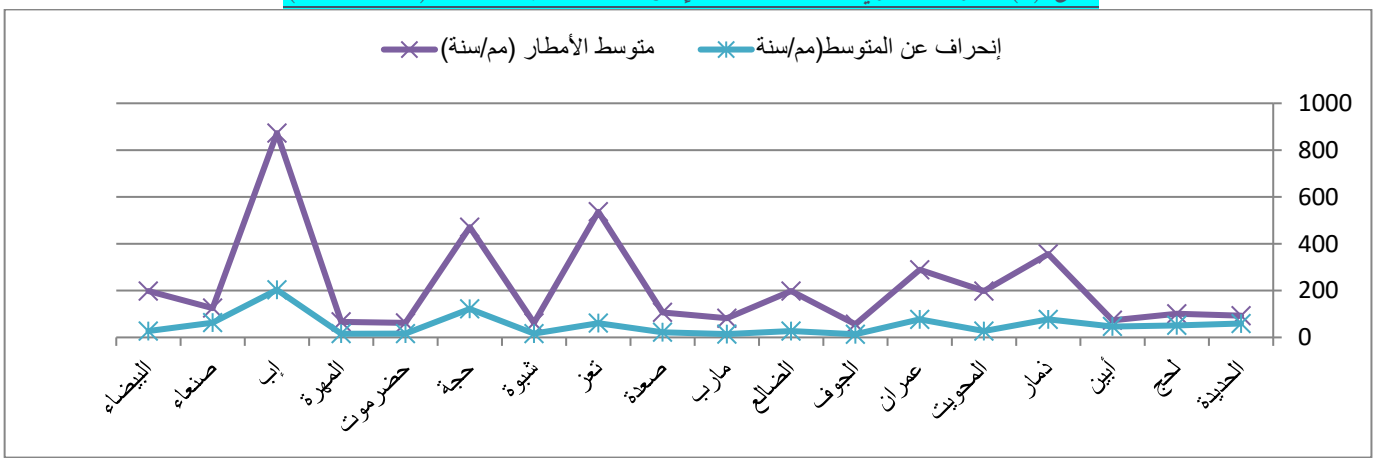
	محافظات الجمهورية	كمية الأمطار السنوية بحسب محافظات الجمهورية اليمنية (1972 – 2008م)			المتوسط السنوي للأمطار (مم/سنة)	الإنحراف عن المتوسط/التباين (م ستة)
		1972 -1983	1995-1984	1996-2008	1972-2008	1972-2008
		الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)
.1	الحديدة	103.2	92.4	82.7	92.76	59
.2	لحج	165.1	86.3	51.5	101	51.2
.3	أبين	52.8	59.1	107.6	73.2	46.5
.4	ذمار	326	346	396.5	356.2	76.9
.5	المحويت	229.2	175.1	189.5	197.9	27
.6	عمران	320.5	303.8	242.1	289	77
.7	الجوف	60.1	56.5	51.3	56	13.4
.8	الضالع	229.2	175.1	189.5	197.9	27
.9	مارب	110	83.1	51.3	81.7	13.9
.10	صعدة	103.3	90.8	127.9	106.7	21.9
.11	تعز	595.6	485.7	528.8	536.7	61
.12	شبوة	57	68.6	60	61.9	16

محافظات الجمهورية		كمية الأمطار السنوية بحسب محافظات الجمهورية اليمنية (1972 – 2008م)			المتوسط السنوي للأمطار (مم/سنة)	الإنحراف عن المتوسط/التباين (م ستة)
		1972 -1983	1995-1984	1996-2008	1972-2008	1972-2008
		الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)	الأمطار (مم/سنة)
.13	حجة	416.4	527.7	342.7	470.6	121.8
.14	حضرموت	56.98	68.63	59.99	61.93	16
.15	المهرة	57	72.8	60	66.3	15.6
.16	إب	883.1	709.8	1024.9	872.6	203.1
.17	صنعاء	194.4	163.4	158.4	125.1	63
.18	البيضاء	229.2	175.1	189.5	197.9	27
المتوسط/المعدل في اليمن		232.7	207.8	217.5	219.2	52.1
إنحراف عن المتوسط في اليمن		153.12	148.22	160.85	158.78	

المصادر: [31 ,10-5]

يتضح من جدول (1) وشكل (2) أعلاه أن محافظات الجوف وحضرموت وشبوة هي أكثر محافظات الجمهورية جفافاً، لا تتجاوز الكمية السنوية للأمطار الهاطلة عليها (56-62 ملم/سنة) على مدى الفترة المدروسة التي تشمل الأربعة عقود الماضية. لاتقتصر محددات وعومل الجفاف على قلة كمية التساقط في هذه المناطق الجافة، بل أنها أكثر تأثراً بعملية النتح والتبخر بمعدلات أعلى من المحافظات الأخرى مما يتسبب إلى زيادة فاقد الرطوبة (جراء الامطار النادرة) في هذه المناطق، ويصبح المزارعون أكثر إحتياجاً لإستخدام وسائل وتقنيات الري الحديث لتقليل من الفاقد عن طريق إستخدام أسليب وتقنيات حديثة وخاصة في نقل المياه.

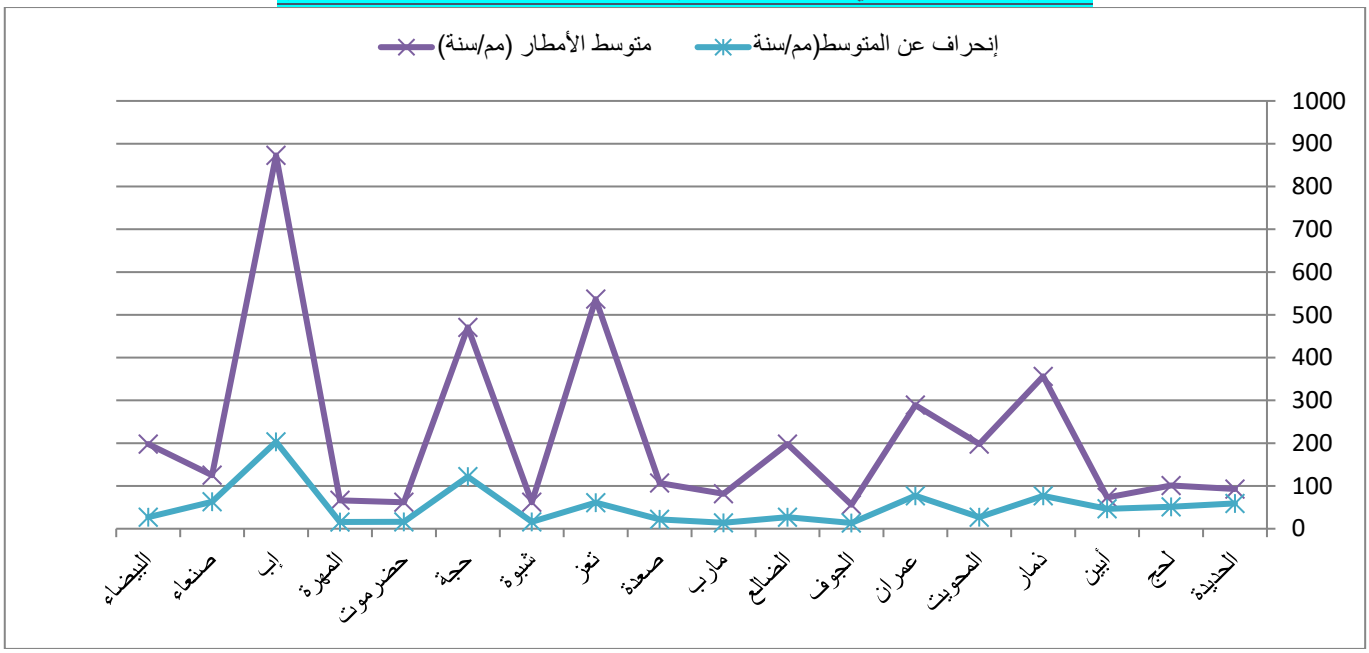
شكل (2): المتوسط السنوي للأمطار ومدى الإنحراف عنه بحسب المحافظات(1972-2008)



المصدر جدول (1) [31 ,10-5]

يوضح شكل (3) العلاقة الطردية بين المتوسط السنوي للأمطار على مستوى المحافظة وبين النمط السائد للجفاف على مستوى القطر، إذ ان المحافظات الأكثر إمطاراً هي أيضاً الأكثر إنحرافاً عن المتوسط، مما يعني أنه لا يوجد نمطاً منتظماً بشكل دائم حين تصبح معظم المناطق عرضة للتقلبات/التغيرات المناخية على المدى الطويل، وهذا نجده في المحافظات المطيرة نسبياً، فعلى سبيل المثال نجد محافظة إب، وحجة، وتعز ونوعاً ما ذمار وعمران ذات المتوسطات الأعلى للهطول تكون الأكثر بعداً عن المتوسط وبالتالي أكثر عرضة للتقلبات المناخية على المدى الطويل كما يشير إلى ذلك (شكل 3).

شكل (3): المتوسط السنوي للأمطار ومدى الإنحراف عنه بحسب المحافظات(1972-2008)



المصدر جدول (1) [5-10, 31]

متوسط هطول الأمطار فوق 400 ملم / سنة يظهر فقط في ثلاث محافظات من المحافظات اليمنية وهي محافظات إب وتعز وحجة. غير أن معظم محافظات اليمن يقل متوسط الأمطار فيها عن المتوسط العام للجمهورية (219 ملم / سنة)، ويجدر الإشارة هنا إلى أنه تم تعديل هذا المتوسط العام إلى (296 ملم / سنة) عند حساب كمية الجريان السطحي ليتوافق مع كمية المتوسط الفعلي للأمطار التي تستلمها المناطق والأحواض الحاصدة للهطول. بالرغم من النمط العام السائد لإنخفاض كمية الأمطار، فضلاً عن ذلك، فأن نمط الهطول يقتصر على مسافات قصيرة أو على مساحات صغيرة ويتسم بقصر الوقت خلال السنة، مما يجعل اليمن واحدة من أكثر المناطق جفافا وواحدة من أكثر الأقطار المهددة بقلة وتناقص الموارد المائية في العالم كما يشير شكل (1) وجدول (1).

أولاً: تحليل بيانات الأرصاد الجوية(المترولوجية)

يلاحظ على سجلات وبيانات الأرصاد وجود محطات لرصد متغيرات الظروف الجوية ضمن محطات تسجيل هطول الأمطار المرفقة بمعظم محطات الأرصاد الجوية في اليمن. هذه السجلات تبين مدة أشعة الشمس اليومية ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء وسرعة الرياح. قد تكون بعض الأرصاد دقيقة ومستوفية لبيانات الأرصاد الجوية، لكنها غير مؤكدة بالنسبة لأجزاء من السجلات. ومن المؤكد أن هناك حاجة إلى فحص دقيق والتحقق من تقييمات الجودة، وهو ما تم أجراءه بدقة في التحليل الهيدرولوجي لهذا المكون. يبين تحليل بيانات الأرصاد لعدد 32 محطة رصد أن البيانات المعروضة تخص متوسط القيم الشهرية لجميع المناطق المستهدفة الموضح في الجدول (2) والشكل (4). [5-10]

جدول (2): المتوسط الشهري للبيانات المترولوجية/ الإرصاد الجوية (1972 - 2008م)

محافظات الجمهورية	الحرارة	الرطوبة النسبية	الإشعاع الشمسي	التبخر والنتح
	درجة مئوية (°م)	متوسط (%)	(ساعة/ يوم)	(مم)
أبين	28	77	9	134
البيضاء	17.7	53	8.8	117
الحديدة	30	74	8	162
الجوف	26.4	25.3	10.1	212
المهره	26.8	31.3	9.3	254
عمران	19.8	40.5	8.7	141
ذمار	24.4	69	8.6	181

محافظات الجمهورية	الحرارة	الرطوبة النسبية	الإشعاع الشمسي	التبخر والنتح
	درجة مئوية (°م)	متوسط (%)	(ساعة/ يوم)	(مم)
حجة	23.8	58.4	7.1	118
حضرموت	26.9	37.7	8.7	141
إب	18.4	67.7	7.7	97
لحج	30	59.4	8.8	106
مارب	26.8	31.3	9.3	254
صنعاء	18.7	43.7	9.1	124
صعدة	19.8	40.5	8.7	141
شبوة	26.9	37.7	8.7	141
تعز	23.5	53.7	8.5	146
الضالع	17.7	53	8.8	117
اليمن (متوسط)	24	50	9	152

المصادر: [5-10]

درجة الحرارة

يتراوح متوسط درجة الحرارة الشهرية بين 30 درجة مئوية بالقرب من الساحل في محافظات (الحديدة ولحج وعدن) إلى أقل من 20 درجة مئوية في المرتفعات الجبلية مثل (البيضاء، حجة، إب، ذمار، عمران، صعدة، وصنعاء) وتصل معدلات الحرارة إلى حوالي 27 درجة مئوية في المناطق الداخلية القاحلة (مأرب وحضرموت والجوف). يتراوح متوسط درجة الحرارة الشهرية لعموم اليمن من 19 إلى 29 درجة مئوية في يناير ويوليو على التوالي، بمتوسط 24 درجة مئوية. ان ارتفاع متوسط درجة الحرارة في فصل الصيف يقترن بموسم الأمطار مما يقلل القيمة الفعلية لها بسبب زيادة التبخر.

الرطوبة النسبية

يوجد تباين مكاني قوي في الرطوبة النسبية للهواء، حيث يتراوح المتوسط الشهري من 25٪ للمناطق الداخلية في الجوف إلى 77٪ للمواقع الساحلية كما هو الحال في أبين والحديدة وإلى متوسط يتراوح بين 50 - 70٪ لتلك المحافظات المرتفعة في المناطق الوسطى وعلى السفوح الغربية وأجزاء من السهول الواقعة على بعد حوالي 20 كم من البحر (الجدول 3 والشكل 4). يتراوح متوسط الرطوبة النسبية السنوية عادة بين 30 و60٪ في المناطق الجبلية في غرب اليمن، وتصل إلى 20-45٪ في المناطق الداخلية شديدة الجفاف (الجوف ومأرب وحضرموت).[5]

أشعة الشمس

تظهر سجلات مدة سطوع الشمس أن السماء الصافية هي السائدة في اليمن خلال معظم أيام السنة. ويتراوح متوسط القيم الشهرية والسنوية بين 7 في حجة، 10 ساعات في اليوم في الجوف، وهو ما يعادل 55 إلى 80٪ من الحد الأقصى النظري (الجدول3 والشكل 4). المتوسط الشهري للجمهورية هو 8-10 ساعة/يوم وينخفض هذا المدى في موسم الأمطار ويزداد في أيام يوليو، لا سيما في المناطق الجافة. لا يحدث حجب لأشعة الشمس أثناء النهار بسبب السحب فحسب، بل إن الجبال القريبة من مواقع المراقبة تظهر قُصراً في متوسط مدة أشعة الشمس بسبب الظلال التي تسود بعد شروق الشمس وقبل غروبها. يتراوح متوسط سرعة الرياح في معظم أنحاء اليمن من منخفض إلى معتدل، باستثناء الساحل وفي المواقع المعرضة جيدا لإتجاه الرياح في المناطق الجبلية. ويعتقد أن جزءا كبيرا من الاختلافات يجب أن يُعزى إلى المؤثرات المحلية.[5-8]

التبخر والنتح:

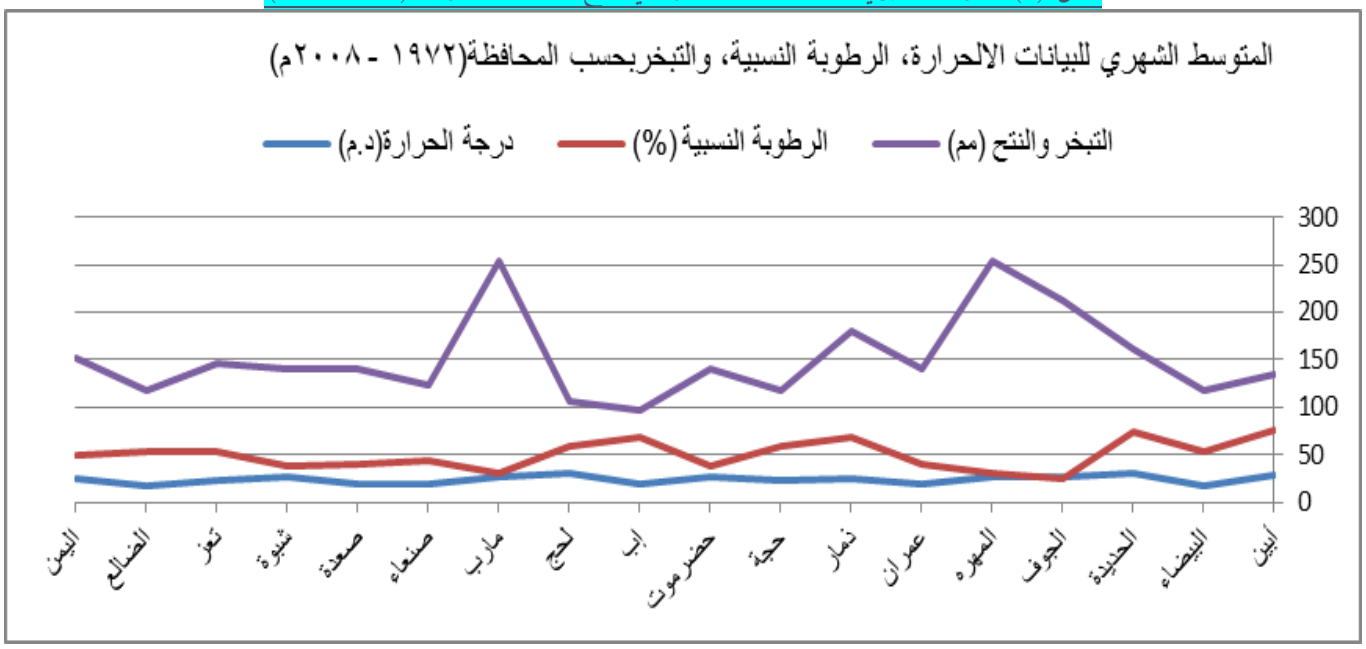
يوضح جدول التبخر المحتمل والتبخر والنتح الفعلي في الشكل (4) للمتوسط الشهري وفي شكل (5) للمتوسط السنوي. أن المتوسطات الشهرية للمناطق المستهدفة تختلف بين المحافظات في معدل التبخر والنتح بناءً على موقعها ورطوبتها وارتفاعها أو إنخفاضها فضلاً عن الغطاء الأرضي. يتراوح المتوسط السنوي بين 1000 ملم / سنه في إب إلى 1200 ملم /سنه في لحج ويصل المتوسط إلى حدود 2200 في اليمن بجملة، بينما يصل المتوسط السنوي للنتح والتبخر إلى أقصاه 3000/سنة في مارب والمهرة.

سرعة الرياح:

تختلف سرعة الرياح الشهرية أو السنوية بشكل ضئيل باختلاف الزمان والمكان عبر مختلف مناطق المحافظات. يتراوح متوسط سرعة الرياح في البلاد بكاملها عادة بين 2 و3 أمتار في الثانية ويصل إلى الحد الأقصى في يوليو حتى أكتوبر. متوسط سرعة الرياح الشهرية، حوالي 4 م / ثانية، تكون أعلى بالنسبة

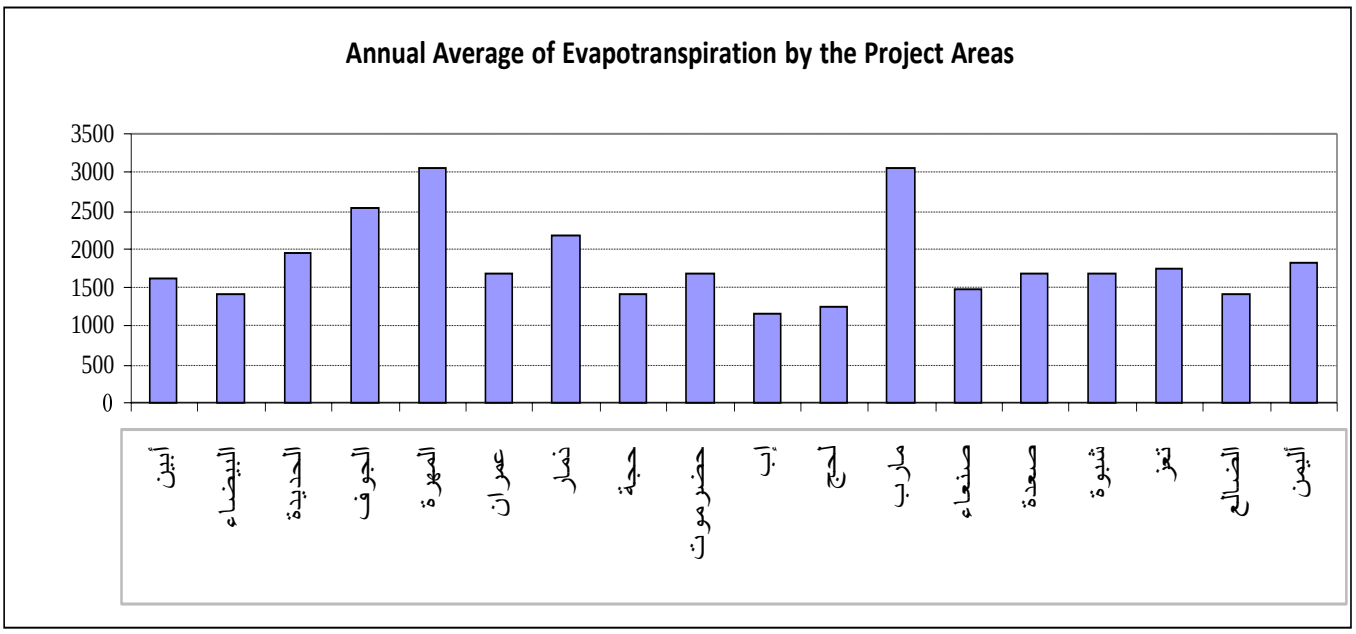
لتلك المناطق الواقعة ضمن نطاق المنطقة الساحلية الغربية (الحديدة)، وفي المرتفعات (عمران)، وفي الداخل (مأرب)، وفي الغرب (المهرة)

شكل (4): المتوسط الشهري لبيانات الأرصاد الجوية في جميع محافظات الجمهورية (1972-2008)



المصدر: جدول (2) [5-10, 31]

شكل (5): معدل النتح والتبخر السنوي في محافظات الجمهورية (1972-2008)



المصادر: [5-10, 31]

ثانياً: التحليل الهيدرولوجي وتقدير الجريان السطحي والمياه الجوفية

يعتمد تقدير الموارد المائية في اليمن على مدى توافر المياه المرتبط بمتوسط هطول الأمطار المنخفض والسائد في عموم اليمن بجانب الاعتماد على المياه الجوفية المتراكمة عبر آلاف وملايين السنين. تُبين النتائج الأساسية لتحليل البيانات الهيدرولوجية أن إجمالي كمية المياه المتاحة من خلال هطول الأمطار

في اليمن، نتيجة لمتوسط هطول محدد ب 296ملم/ السنة، و بناءً عليه فإن كمية المياه المستجمعة نتيجة لحاصل ضرب هذا المتوسط في مساحة مجموع المناطق مع ضرب الناتج الحاصل في معامل التباين المحسوب بين مناطق مستجمعات المياه التي شملت مدة لا تقل عن 35عاما من سجلات الأرصاد الجوية، فإن إجمالي كمية المياه الناتجة في عموم اليمن تبلغ حوالي 52.6 مليار متر مكعب / سنة، وتكافئ هذه الكمية تقريباً مجمل المياه السطحية في اليمن، كما يوضحه الجدول (3). جزءً ضئيلاً فقط (6%) من هذه الكمية يعتمد عليه تقدير كمية الجريان السطحي كدالة على الإنخفاض العام لكمية مياه الأمطار وسيادة المناخ شبه الجاف في أراضي اليمن، يصبح معها زيادة السكان وزيادة الطلب على المياه يشكل عبئاً يُحمل على مخزونات المياه الجوفية بشكل خاص وعلى الموارد المائية بشكل عام. ونتيجة لذلك فإن كمية المياه المتاحة لعملية الإمتصاص والمسؤولة عن إعادة شحن الأحواض الجوفية وتغذيتها بالمياه المتجددة تصبح عاجزة باستمرار عن تعويض المياه المستنزفة من هذه أحواض المياه الجوفية وتبلغ حوالي 3,000 مليون متر مكعب سنويا، حيث أن هذه الكمية تعتبر المصدر الوحيد لتغذية المياه الجوفية في اليمن (تم حساب متوسط الجريان السطحي السنوي بحسب المعامل المعدل لعام 2008*)، وهو ما يعادل 6٪ من إجمالي هطول الأمطار بقيمة معامل إحصائي قيمته 0.0619 من إجمالي كمية الأمطار الهاطلة التي تسقط على مساحة 539,550 كم2 وهي مساحة اليابسة في اليمن، باستثناء جزء من الجريان السطحي الذي يُصرف باتجاه الربع الخالي. [11, 28, 32-43]

أجري التحقق من مصداقية وثبات الأداة المستخدمة في التقدير الكمي من خلال إختبارها ومقارنتها بالموديلات والنماذج الإحصائية التي تم تطبيقها واستخدامها من قبل العديد من الدراسات المعتبرة التي تبناها خبراء المشاريع المنفذة سابقاً في عدد من الدول التي تم الإبلاغ عنها في تقارير مختلفة مثل Chilton 1980 و IIaco 1984 و DHV 1988 و 1993 و TS-HWC 1992 وغيرها، وكذلك تلك التي تم إقرارها والإبلاغ عنها في المصدين (WRAY-35، TNO 1995 و Water Resource Development: WRDFR 2006 - Final Report). فعلى سبيل المثال، قُدر حجم الجريان السطحي في هذه التقارير بحوالي ما يقارب أو يزيد عن 2000 مليون متر مكعب في عامي 1995-1996م مقارنة بالتقدير الحالي التي نفذته هذه الدراسة حيث تصل الكمية المقدرة إلى حوالي 3000 مليون متر مكعب، حيث يعود الفرق بين التقديرات السابقة والتقدير الحالي إلى إعتماد الدراسات السابقة بيانات محدودة الحجم على المستوى الزمني(1984-1994) وعلى المستوى المكاني المرتبط بعينة محدودة المدى شملت بعض الأودية النهرية ولذلك ظلت بعض الاحواض الهامة رغم صغرها خارج نطاق التقدير الذي ورد ضمن نتائج التحليل في هذه الدراسات. [11, 32]

تم جمع بيانات تقييم المياه السطحية من مصادر متعددة لتغطي فترة زمنية طويلة نسبياً 1972- 2008م (انظر ملحق المصادر باللغتين العربية والإنجليزية) إضافة إلى الإعتماد على عينات ميدانية وحقلية ممثلة تقريباً لجميع المناطق في اليمن، منها على سبيل المثال الري لنماذج محصولية، إجراء قياسات مائية لقياس مستوى المياه الجوفية، وكذلك اعتمدت الدراسة على تنفيذ أو تجميع مسوحات إحصائية، جرد للآبار، وإختبارات لقدرة الضخ في الآبار والتي تم تنفيذ معظمها من قبل جهات حكومية معنية بهذه الجوانب. [5-10, 31] انظر ملحق المصادر باللغتين العربية والانجليزية [24-30, 33, 44-49]

يعرض جدول(3) مجموعة من المتغيرات المائية المتصلة بالجريان السطحي و تقدير كمية المياه السطحية عن طريق تحليل العلاقة بين متوسط هطول الأمطار السنوي خلال الفترة (1984- 2008م) في كل محافظة واستخدام معامل علاقة التباين(coeffient variation) في التحليل لتحديد كمية الجريان السطحي للمياه مع توزيعها المكاني على أساس حجم/مساحة المناطق الحاصدة للأمطار التي تقع ضمن الحدود الإدارية للمحافظات اليمنية، بعد إجراء تصنيف للأحواض حسب حجم مستجمعات المياه بالكيلومترات المربعة ومن ثم دمجها في اطار المساحة الإجمالية للقطر. تم أخذ متوسط التقديرات في الإعتبار بهدف حساب معاملات علاقة الإرتباط والتباين. رغم وجود بعض الإختلافات المبررة فيما يتصل بالتقديرات المائية التي اجراها بعض الباحثين في الدراسات السابقة، إلا أن ذلك لن يقلل من قيمتها كمصادر بيانات موثوقة لأن أسباب معظم الإختلافات يعود إلى طبيعة البيانات ونوعها وحجمها أو لغياب بيانات بعض المناطق التي يختلف حجمها من مصدر إلى آخر في التقارير والدراسات المختلفة، ويجدر الإشارة في هذا السياق إلى أن الباحث قد تبنى موديلاً محدداً بعد إجراء بعض التعديلات الطفيفة بما يناسب أهداف هذه الدراسة ومدى توفر أو إكتمال البيات. [1, 2, 4, 11-30, 32-34, 44-74]

تكشف المؤشرات المقارنة بين التقديرات السابقة والحالية عن اختلاف ضئيل بين نتائج القيم يعود للأسباب المذكورة أعلاه، وتأثر قيمة معامل الارتباط وتحليل التباين بها في عام 2008م، يظهر في سياق مقارنته بالقيم المستخلصة في الدراسات والتقارير السابقة، ويرجع ذلك أساسا إلى الإعتماد على بيانات أشمل ومساحات أوسع لمناطق الحصاد المائي في عملية تقدير كمية المياه, بالإضافة إلى تأثير عامل التغير الزمني لفترة أطول مما يترتب عليه تغيراً في قيم متوسط هطول الأمطار السنوي، المرتبط بالمدى الزمني لفترة يتراوح مداها بين 4إلى13 سنة مقابل 36 سنة في بعض مستجمعات المياه الحاصدة للأمطار. على سبيل المثال، بلغ الجريان السطحي لجنوب تهامة 164 مليون متر مكعب في عام 2008 مقابل 171 مليون متر مكعب في عام 1994. ويعود سبب ذلك الفرق أيضاً إلى التنوع الزمني والمكاني لمعدلات تجدد المياه المستخدمة في تغذية المياه الجوفية حيث بلغ حجم إعادة الشحن للأحواض من خلال المياه المستجدة حوالي 2493 مليون متر مكعب في السنة لإجمالي اليمن في عام 2008 م مقابل 2000 مليون متر مكعب في عام 1994 بحسب دراسة WRAY-35، في حين اوردت مصادر أخرى تقديرات كمية مقابلة تبلغ حوالي 2500 مليون متر مكعب في السنة والتي أشارت إليها العديد من الدراسات والتقارير الت تناولت تقييم حجم إعادة شحن الأحواض أو تجددها بالأمطار. [18, 20, 26, 32, 34, 52, 55, 57, 68]

ويعزى التباين بين المحافظات ومناطق مستجمعات المياه الواقعة ضمنها إلى الاختلاف في كمية وتواتر/تكرار هطول الأمطار في المقام الأول، رغم تشابهها في التركيب الصخري وفي الشكل الطبوغرافي للسطح، وفي جهات أخرى على العكس قد يكون التقارب في الخصائص الطبيعية ونوع التربة بين المناطق الحاصده يؤدي إلى إختلافاً مهماً في حجم المياه المحصودة. على سبيل المثال، يتراوح متوسط توافر المياه السطحية لكل كيلومتر مربع من أعلى مستوى في التربة الغرينية جنبا إلى جنب مع ارتفاع هطول الأمطار ويتحقق هذا الأمر في كل من مناطق محافظة إب وأودية تهامة وأراضي تعز وحجة ويصل التجدد المائي إلى أدنى معدل له في كل من الجوف وحضرموت وشبوة بسبب تباين التربة ومعدل الإمتصاص، وتأثير حجم التبخر أو إلى خاصية التربة للإحتفاظ بالمياه إضافة لإختلاف كمية التساقط او الهول كما يوضح الجدول (3).

تقدير كمية مياه الجريان السطحي

يوضح الجدول (3) توزيع مناطق مستجمعات المياه أو المناطق الحاصده للمياه باعتبارها المناطق المنتجة للجريان السطحي على أراضي اليمن. تنقسم مناطق إنتاج الجريان السطحي إلى مناطق ذات سطح نافذ وتلك التي تكون فيها الصخور البازلتية غير منفذة إلى حد ما. وقد يكون ذلك مفيدا لتحسين فهم الاختلافات في نظم الجريان السطحي؛ ويزيد التباين بين المناطق عند أخذ متغير التضاريس والمتغيرات الأخرى كدالة مؤثر في حساب المياه وتقدير كمية الجريان، مثل درجة إنحدار التضاريس ووجود الغطاء النباتي من عدمه وكذلك الزراعة في المدرجات.

ومن الأمثلة الواسعة النطاق على مناطق امتصاص الجريان السطحي تهامة، والسهول الساحلية بين طوبان وأبين، وصحراء رملة السبعين والربع الخالي. ويجدر الإشارة بأن وادي حضرموت الغريني وسهول المرتفعات في وسط القيعان المحاطة بكل جبال اليمن، هي مناطق متميزة في معدل الإمتصاص من الجريان السطحي أيضا، ولكن على نطاق أصغر وبشكل متزايد، يمكن تمييز مناطق الامتصاص بإنها صغيرة جدا بالمساحة وكثيرة العدد بحيث يصعب عرضها بشكل كامل. رغم ان هذه المناطق هي المسؤولة عن إمتماص المياه السطحية، في حين نجد أن الأودية والمستجمعات الصغيرة تلعب دورا هاما في عملية إنتاج الجريان السطحي، كذلك فإن أودية الجبال الغربية والهضبة الوسطى الممتدة إلى الشرق بالكامل تقريبا تُعد مناطق هامة في إنتاج الجريان السطحي (جدول 3 وشكل 6)

جدول (3): تقدير كمية مياه الجريان السطحي في المناطق المستهدفة (1984- 2008) [1]

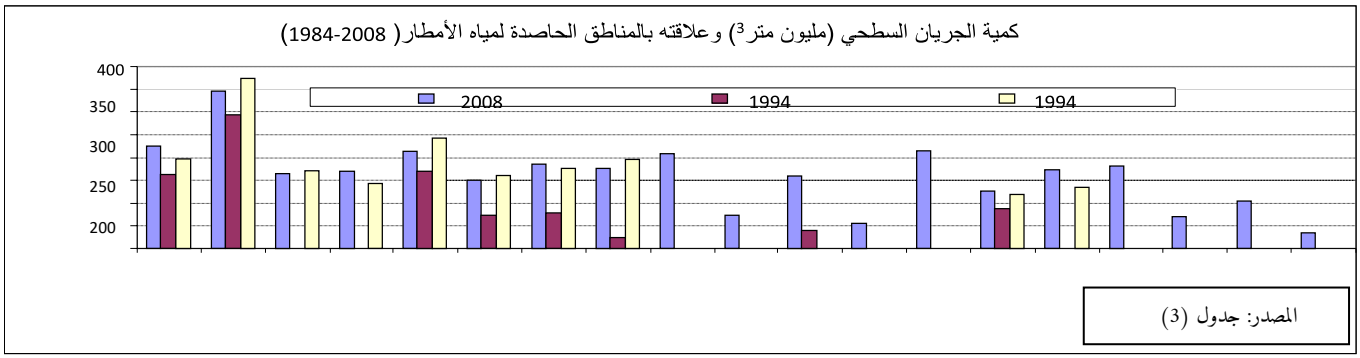
رقم المشروع	اسم/موقع المشروع	مساحة المحافظة	مساحة المنطقة الحاصدة	متوسط الجريان السطحي لسنوات 1984-2008				متوسط كمية الأمطار السنوية 1972-2008	
				1994	1984	2008	2008	2008	
		كم2	كم2	مليون متر3	مليون متر3	مليون متر3	ملم/سنة	مليون متر3	ملم/سنة
1	ش. تهامة	13,326	9612	197	162	225	22	4396	425
2	و. تهامة		13950	373	293	346	26	6768	485
3	ج. تهامة		9440	171	X	164	19	3200	363
4	لحج	12,766	9360	144	X	169	15	2923	255
5	أبين	21,489	17232	242	170	214	13	3700	218
6	شبوه	72,908	21310	161	73	150	6	2588	110
7	حضرموت	155,376	39275	177	79	186	4	3128	69
8	المهرة	66,350	48000	195	25	177	4	2907	62
9	حجة	10,195	9590	X	X	207	25	3412.5	408
10	صعدة	28,941	4100	X	X	74	13	1214	211
11	صنعاء	38,605	11987		41	158	16	2604	263
12	ذمار	7,885	2908	X	X	56	14	926	313
13	عمران	x	12148	X	X	215	18	3534	291
14	مارب	31,418	16300	118	87	126	25	2080	80
15	الجوف	40,770	26500	135	X	173	6	2852	64
16	تعز	11,245	5315	X	X	181	41	2977	668
17	إب	6,563	1350	X	X	70	50	1158	817
18	البيضاء	10,468	5383	X	X	106	17	1737	278

[1] X= no data available to be presented. * included within Sana'a governorate s = same data for the same governorate.
Note: Mean annual rainfall is referred to the average catchment producing areas while recharge is referred to absorbing areas Sources.

رقم المشروع	اسم/موقع المشروع	مساحة المحافظة	مساحة المنطقة الحاصدة	متوسط الجريان السطحي لسنوات 1984-2008				متوسط كمية الأمطار السنوية 1972-2008	
				1994	1984	2008	2008		
		كم2	كم2	مليون متر3	مليون متر3	مليون متر3	ملم/سنة	مليون متر3	ملم/سنة
19	الضالع	11,245	815	X	X	34.1	15	561	250
20	الإجمالي	539,550	264,575	1,913	930	3,031	349	52,664	5,630
	المتوسط	33,722	13,925	191	116	160	18	2,772	296

المصادر: [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

شكل (6): تقدير مياه الجريان السطحي في المناطق المستهدفة(1984- 2008)



من خلال المراجعة للدراسات السابقة تشير نتائج التحليل المتعلقة في تقييم المياه وخاصة تلك البيانات المتصلة بأدبيات الجريان السطحي إلى تباين التقديرات من مصدر لأخر في أدبيات الدراسات السابقة، ويعود ذلك إلى تعدد الطرق والعوامل التي يعتمد عليها خبراء التحليل المائي منها ما يتعلق بتقديرات المساحة وبقيم معاملات الجريان السطحي أو بتطبيق المعادلات والنماذج الإحصائية المتنوعة التي أعتمد عليها هؤلاء الخبراء، وبالتالي أختلف القيم الكمية في تقدير الجريان السطحي للمياه في عموم اليمن على المستوى المكاني أو على المستوى الزمني، على سبيل المثال فقد حُسبت كمية مياه الجريان السطحي بنحو (1043) مليون متر مكعب في السنة وفقاً لتقديرات عام 1984م وبلغ حجمه حوالي (2000) مليون متر مكعب في عام 1994م، كما هو مبين بجدول (4). تباين التقديرات في تقييم المياه السطحية يعود في المقام الأول إلى الأساس الذي تم على ضوئه تقرير القيمة الكسرية لمعامل الارتباط الذي على أساسه تم تحديد العلاقة بين الهطول والجريان، فمتوسط هطول الأمطار يرتبط بكمية الجريان السطحي من خلال محددات قيم إحصائية (قيمة المعامل) إما أن تكون هذه القيمة تستند إلى بيانات واقعية تقوم على إجراءات قياسية لمعايرة المياه في أجزاء مختلفة من الأودية وفي مختلفة المناطق أو أنها تقوم على تطبيق موديلات ونماذج إحصائية معروفة لدى مختصي الدارسات الهيدرولوجية تختلف قيمها بأختلاف خصائص السطح، والتربة والإنحدار والمساحة، حيث تتراوح قيمة المعامل من 2.٪ إلى 11.٪ من إجمالي كمية الهطول في حال اليمن بحسب الخصائص الطبيعية السائدة. وعليه فان حجم تدفق الجريان السطحي لكل كم2 يكون أعلى في منطقة مستجمعات المياه في المنحدرات الغربية والجنوبية باليمن مقارنة بالجهات الشرقية والشمالية، لأن معدلات هطول الأمطار في المناطق الأولى أعلى بكثير من أي مكان آخر في اليمن. وبالنسبة لمناطق مستجمعات المياه التي تبلغ مساحتها بضعة آلاف كم2 وأكبر، تقل فيها أحجام مياه الجريان السطحي السنوية عن 10.٪ من كمية الأمطار السنوية. ومن المتوقع أن تكون معاملات الجريان السطحي أعلى بالنسبة لمستجمعات المياه الأصغر مساحة، لأنها توفر فرصا أقل لفقدان المياه وذات دلالة إحصائية في قلة فقدان المياه. يمكن أن تكون معاملات الجريان السطحي للعواصف المطيرة الشديدة الفردية خلال الفترات الرطبة أعلى بكثير من المتوسط العام للقطر. [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

يظهر جدول (4) متوسط قيم الجريان السطحي من أدنى مستوى 1.0 ملم (وادي الجعيمة) إلى أعلى مستوى له 44.0 ملم (وادي رماع) حسب القياسات التي تم إجرائها في هذه الأودية. ويتراوح متوسط هطول الأمطار السنوي من 35 ملم (وادي الجعيمة) إلى 550 ملم (وادي زبيد ووادي راسيان). وهذه التقديرات أعلى قليلا مما يمكن استنتاجه من خريطة إيزوهيت للفترة 1985-1991م. (جدول (4) وشكل (7)

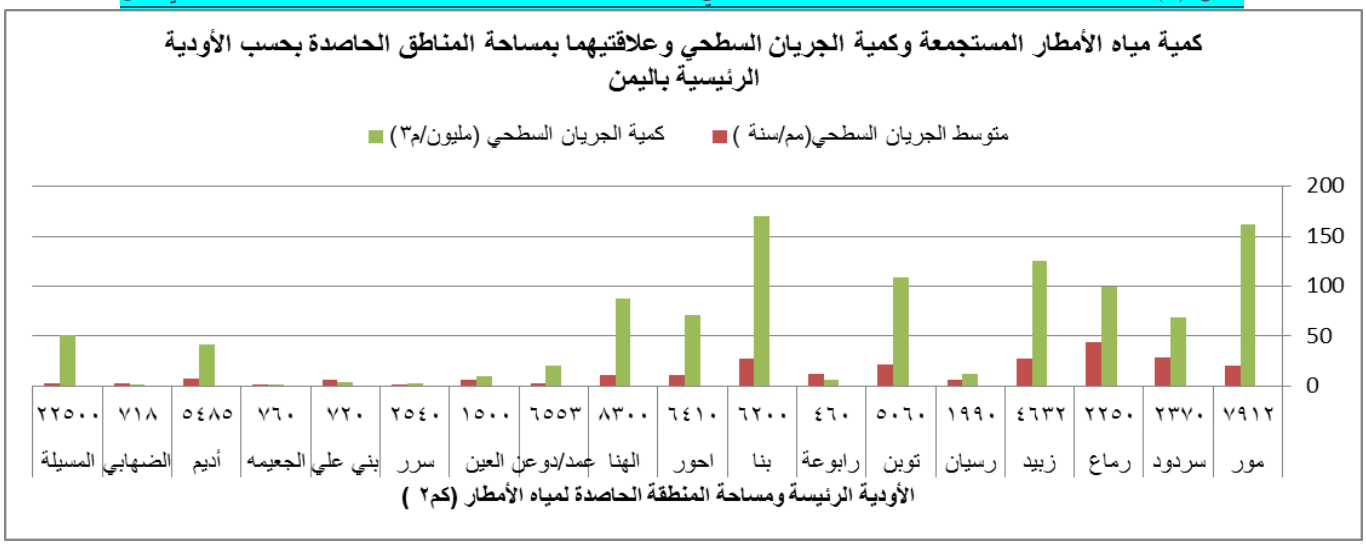
أعتمد الباحث على هذه المعايير القياسية والإستناد إلى قياسات أخرى أجريت في مناطق متفرقة باليمن في سنوات لاحقة لتطوير أداة قياس معدلة لحساب الجريان السطحي عام 2008م وتطبيقه على جميع مناطق الدراسة بعد أختبار صدق نتائجه بناءاً على مخرجات/نتائج عينات محاصيل الحقول النموذجية التي تم فحصها من قبل هيئة الموارد المائية وصيانة التربة في نفس العام 2008م. (يوضحها جدول 6)

جدول (4): متوسط الحصاد المائي في مستجمعات المياه لمختلف المناطق المقاسة (1985-1991)

الأودية الرئيسة	مساحة المنطقة الحاصدة كم2	كمية الجريان السطحي (مليون/م3)	متوسط الجريان السطحي (مم/سنة)	معامل التباين للتدفق السنوي	متوسط الامطار (مم/سنة)	معامل الجريان
مور	7912	162.3	20.5	0.5	475	0.043
سردود	2370	69.3	29.2	0.22	440	0.066
رماع	2250	98.9	44	0.64	400	0.11
زبيد	4632	125	27	0.4	550	0.049
رسيان	1990	11.9	6	0.76	550	0.011
توبن	5060	109.4	21.6	0.54	465	0.046
رابوعة	460	5.8	12.5	0.72	320	0.039
بنا	6200	169.9	27.4	0.39	370	0.074
احور	6410	70.9	11	1.37	190	0.058
الهنا	8300	87.5	10.5	0.71	180	0.059
عمد/دوعن	6553	20.3	3.1	1.24	80	0.039
العين	1500	9.7	6.4	1.17	75	0.086
سرر	2540	3	1.2	1.13	45	0.026
بني علي	720	4.15	5.8	1.3	65	0.089
الجعيمه	760	0.75	1	1.28	35	0.028
أديم	5485	41.3	7.5	0.79	70	0.108
الضهابي	718	1.9	2.6	1.49	40	0.066
المسيلة	22500	51	2.3	0.8	68	0.033
إجمالي/معدل	86,360	1043	239.6	0.33	4418	0.05722

المصادر: [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

شكل (7): كمية مياة الامطار المستجمعة وكمية الجريان السطحي وعلاقتيهما بمساحة المناطق الحاصدة بحسب الاودية الرئيسية في اليمن



المصدر: جدول (4)

تقدير كمية المياه الجوفية في الأحواض الخازنة

تختلف أنظمة المياه الجوفية اختلافاً كبيراً ضمن مستجمعات المياه الجوفية الموجودة في مختلف الأجزاء المتفرقة من اليمن، بالإضافة إلى وجود اختلافات كبيرة في الظروف الهيدرولوجية، مما يؤدي إلى تنوع كبير في أنظمة المياه الجوفية باليمن. توجد أنظمة ذات نطاق أكبر لطبقات المياه الجوفية في منطقة الهضبة شرق الدرع الجنوبي الغربي مثل طبقة المكلا الجوفية المكون من الحجر الرملي، وهي أكبر وأوسع مجمع لطبقات المياه الجوفية في اليمن.

تراكمت الطبقات السميكة من الرواسب الرباعية في المناطق المتصدعة في صدع البحر الأحمر وفي الجزء الغربي من صدع خليج عدن، والتي تشكل طبقات مياه جوفية ممتازة ذات نفاذية عالية وتعرض جيد لإعادة التغذية. أقل سمكا وأقل إنتاجية يمكن العثور على شبكات طبقات المياه الجوفية الرباعية على أطراف الصحراء على طول الحدود الشرقية للنتوءات القاعدية للدرع.

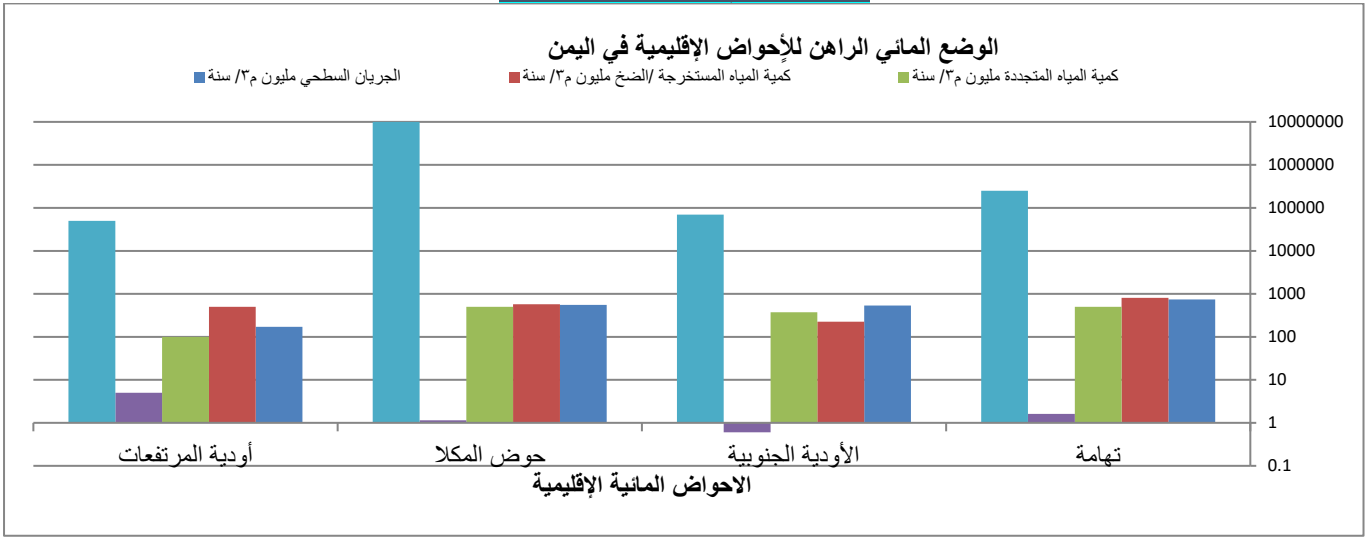
تنتشر العديد من شبكات طبقات المياه الجوفية الغرينية الصغيرة في جميع أنحاء اليمن مثل مجموعة عمران التي تشكل طبقات مياه جوفية ذات امتداد جانبي كبير، لكن إنتاجيتها معتدلة إلى منخفضة بشكل عام. أفضل طبقات المياه الجوفية في منطقة جبال اليمن هي الرواسب الواقعة في أحواض سهول وقيعان المرتفعات. فهي تجمع بين النفاذية العالية نسبيا وظروف إعادة الشحن المواتية. [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

جدول (5): توازن المياه الجوفية (مراجعة التقارير السابقة)

الاحواض المائية الإقليمية	الجريان السطحي	كمية المياه المستخرجة /الضخ	كمية المياه المتجددة	معدل أو نسبة الضخ إلى التجدد	كمية المياه المخزونه
	مليون م3/ سنة	مليون م3 /سنة	مليون م3 /سنة	مليون م3 /سنة	مليون م3 /سنة
تهامة	741	810	500	1.62	250,000
الأودية الجنوبية	535	225	375	0.6	70,000
حوض المكلا	553	575	500	1.15	10,000,000
أودية المرتفعات	171	500	100	5	50,000
المجموع	2,000	2,110	1,475	1.43	10,370,000

المصادر: [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

شكل (8): تقييم الوضع المائي القائم في اليمن



من خلال مراجعة الدراسات والتقارير السابقة المتصلة بتقييم مصادر المياه باليمن الذي لخصه الجدول (5) أعلاه والشكل (8)، يلاحظ بوضوح أن إجمالي مسحوبات المياه الجوفية يتجاوز إعادة الشحن السنوية الناتجة عن عملية التجدد البيعي للمياه من الهطول بمقدار مرة ونصف تقريباً (1.43) على مستوى اليمن، يتراوح إستنزاف المياه الجوفية من 0.1 في الأودية الجنوبية إلى أكثرها إستنزافاً لموارد المياه الجوفية بمقدار 5 أضعاف عملية التجدد في أحواض المرتفعات أو ما يسمى في اليمن بالقيعان.

تعرض الجداول والاشكال المصاحبة لها في القسم التالي النتائج الرئيسية لتحليل البيانات ويلخص الجوانب للتقييم الهيدرولوجي (الجدول 7-10) فيما يتعلق بالتغذية المائية السنوية المجددة للأحواض وكمية الضخ السنوي من الآبار بغرض ري المحاصيل من المياه الجوفية وتقييم حالة التوازن المائي في جميع أحواض المياه الجوفية تقريبا في اليمن. تم تقسيم مناطق وأحواض مستجمعات المياه إلى مناطق فرعية وتجميعها على مستوى كل محافظة لتلائم تصنيفات

مواقع مناطق الري المستهدفة بالمشروع الحديث لكي تسمح بإدارة أكثر فعالية وأكثر تمكيناً لتنفيذ أنشطة الرقابة والرصد المائي للمشروع.

الموازنة المائية بين الضخ وتجدد المياه الجوفية

يبين جدول (6) الموازنة/الميزان المائي للمياه الجوفية باليمن في مختلف الأحواض والمناطق. الحجم الإجمالي لإعادة التغذية يُقدر ب 2,493 مليون متر مكعب/ السنة في عام 2008م، مقارنة ب 949 مليون متر مكعب/السنة في عام 1984 وبلغ نحو 1,521 مليون متر مكعب/ السنة في عام 1994م.

كان إجمالي كمية ضخ المياه السنوي عن طريق الآبار من المياه الجوفية ا في عام 2008م حوالي 4,108 مليون متر مكعب، وهو معدل يتجاوز التغذية السنوية بمقدار 1.65 مرة. يتم السحب على المكشوف بمقدار 1,615 مليون متر مكعب سنويا. الأحواض الأكثر أهمية وعرضة للإستنزاف هي تلك الموجودة في أودية تهامة وصنعاء وذمار وحجة وصعدة وإب وعمران. أربعة أحواض فقط في اليمن معدلات التغذية المائية فيها يتجاوز كميات الاستخراج كما هو مبين في الجدول (6) أدناه

جدول (6): توازن المياه الجوفية حسب المحافظة ومنطقة المشروع [2،3]

رقم المشروع	اسم/ موقع المشروع	معدل المياه المتجددة					كمية الاستنزاف السنوية		الموازنة المائية
		عام 1984	عام 1994	عام 2008	عام 2008	مساهمة الحوض النسبية	عام 2008	مساهمة الحوض الفرعي	عام 2008
		مليون متر^3/سنه	مليون متر^3/سنه	مليون متر^3/سنه	مليون متر^3/سنه	%	مليون متر^3/سنه	%	مليون متر^3/سنه
1	ش. تهامة	221	481	61	167	7	255	6	-88
2	و. تهامة	221	281	81	257	10	760	18	-503
3	ج. تهامة	9	291	14	121	5	27	1	94
4	لحج	96	108	10	118	5	114	3	4
5	أبين	821	591	9	149	6	223	5	-74
6	أبين	55	124	4	104	4	91	2	13
7	حضرموت	62	155	4	151	6	169	4	-18
8	المهره	81	161	3	160	6	11	0	149
9	حجة	X	X	22	188	8	375	9	-187
10	صعدة	X	X	12	67	3	128	3	-61
11	صنعاء	54	65	14	143	6	548	13	-405
12	ذمار	X	X	17	51	2	322	8	-271
13	عمران	X	X	16	194	8	249	6	-55
14	مارب	65	89	6	114	5	146	4	-32
15	الجوف	65	102	3	157	6	191	5	-34
16	تعز	X	X	37	164	7	181	4	-17
17	إب	X	X	45	64	3	141	3	-77
18	البيضاء	X	X	15	95	4	131	3	-36
19	الضالع	X	X	14	30.8	1	46	1	-15
20	الاجمالي	949	1,521	279	2,493	100	4,108	100	-1615
	المتوسط	86	138	15	131	5	216	5	-85

المصادر : [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

[2] X= no data available to be presented. * included within Sana'a governorate s = same data for the same governorate.

جدول (7): الموازنة المائية للمياه الجوفية بين الإستخراج والتجدد حسب المحافظة ومنطقة المشروع [4]

رقم المشروع	المحافظات	كمية المياه المتجددة بحسب السنوات (بملايين المترات المكعبة)						المياه الجوفية المستخرجة		الموازنة
		1984	1994	2008	2008	المساحة النسبة	2008	المساحة النسبة	2008	2008
		(Mm3/ yr)	(Mm3/ yr)	(mm/ yr)	(Mm3/ yr)	%	(Mm3/ yr)	%	(Mm3/ yr)	(Mm3/ yr)
1	ش. تهامة	122	148	16	167	7	255	6	-88	
2	و. تهامة	221	281	18	257	10	760	18	-503	
3	ج. تهامة	9	129	14	121	5	27	1	94	
4	لحج	96	108	10	118	5	114	3	4	
5	أبين	182	159	9	149	6	223	5	-74	
6	أبين	55	124	4	104	4	91	2	13	
7	حضرموت	62	155	4	151	6	169	4	-18	
8	المهره	18	161	3	160	6	11	0	149	
9	حجة	X	X	22	188	8	375	9	-187	
10	صعدة	X	X	12	67	3	128	3	-61	
11	صنعاء	54	65	14	143	6	548	13	-405	
12	ذمار	X	X	17	51	2	322	8	-271	
13	عمران	X	X	16	194	8	249	6	-55	
14	مارب	65	89	6	114	5	146	4	-32	
15	الجوف	65	102	3	157	6	191	5	-34	
16	تعز	X	X	37	164	7	181	4	-17	
17	إب	X	X	45	64	3	141	3	-77	
18	البيضاء	X	X	15	95	4	131	3	-36	
19	الضالع	X	X	14	30.8	1	46	1	-15	
	الاجمالي	949	1,521	279	2,493	100	4,108	100	-1615	
	المتوسط	86	138	15	131	5	216	5	-85	

المصادر: [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

المصدر الرئيسي لتغذية طبقات المياه الجوفية في اليمن هو تسرب المياه السطحية من الوديان. التغذية المباشرة من هطول الأمطار محدودة النطاق بشكل عام بسبب الطبيعة الجافة لعمود التربة إلى حد ما، الغير المشبع بالرطوبة. من الممكن أن يكون ملف التربة مشبعا بالكامل وينتج عنه إعادة تغذية إلى أحواض المياه الجوفية والذي يحصل فقط عندما يحدث هطول أمطار عالية الكثافة خلال أيام قليلة.

تتحدث التقارير في أدبيات الدراسات السابقة عن طرق مختلفة لتقدير إعادة شحن الأحواض بالمياه المتجددة. ويعتمد اختيار طريقة بعينها على نوع البيانات المتاحة. ويمكن تلخيص هذه الطرق على النحو التالي: طريقة توازن رطوبة التربة التي تتطلب بيانات عن هطول الأمطار والجريان السطحي والتبخر والنتح وملف رطوبة التربة وخصائص التربة الأخرى مثل سعة حقل التربة. تقنيات النمذجة التي يتم فيها تضمين هطول الأمطار وتصريف الوديان في النموذج العام. يتم حساب سلسلة مستوى المياه الموثوقة لآبار المراقبة المختلفة لمعايرة النموذج بالإضافة إلى إستخدام معاملات المياه الجوفية الأخرى.

طريقة بسيطة يتم فيها مقارنة توزيع منسوب المياه في طبقة المياه الجوفية قبل وبعد موسم الأمطار. ويمكن بعد ذلك حساب التغذية كدالة لمساحة طبقة المياه الجوفية، أو المسامية أو ما يسمى بالعائد المحدد لطبقة المياه الجوفية، مع حساب متوسط الارتفاع في منسوب المياه.

إذا كان متوسط ارتفاع منسوب المياه الجوفية هو (Delta H (m وكانت مساحة طبقة المياه الجوفية (A (km2 وكان العائد المحدد لطبقة المياه الجوفية هو Sy عندئذ فإن:

حجم التغذية = A × دلتا H × Sy × 106 (م ^{3} / سنة) من أجل تقدير معدل تغذية المياه الجوفية بدقة، ونظرا لقيود المياه الجوفية وضعف بيانات الرصد في اليمن، فقد أستند الباحث إلى استخدام عدة طرق لتلبية الحاجة إلى تقدير دقيق للتغذية المائية. الطرق المستخدمة في هذه الدراسة لتقدير الكميات هي عن طريق توظيف معاملات الارتباط لنماذج مبرهن عليها والتي وردت في الدراسة الميدانية الخاصة بمتطلبات المياه للمحاصيل بناء على 154 وحدة حقلية تغطي جميع مناطق المشروع تقريبا. التقنية الثانية المستخدمة هي من خلال تطبيق قيمة معامل الارتباط فيما يتعلق بأحجام الجريان السطحي لمستجمعات المياه والطريقة الثالثة المستخدمة هي من خلال المقارنة بين قياسات الانخفاض السنوي لمستوى المياه الجوفية مع حساب معدل الاستخلاص الكلي وقدرة الآبار التي يتم ضخها في الساعة لكل متر مكعب من المياه المستخرجة.

يلخص الجدول (8) تقدير كمية التغذية للمياه الجوفية وكمية المياه المستخرجة من الأحواض الإقليمية في الجمهورية اليمنية بما في ذلك الصحاري الداخلية وجزيرة سوقطرا والربع الخالي، فيما يتعلق بالجريان السطحي إضافة إلى سعة التخزين للأحواض الرئيسية. تعتمد مصادر وطرق حساب أحجام الجريان السطحي وإعادة التغذية على قيم المعامل بين 0.011 و 0.110

[4] Note: The Total does not include runoff and recharge for Arruba' Algkali basin Sources : Rainfall data collected from many sources of previous reports and several Year Book Statistics, MPIC,CSO and MAI up to2008 24 Rainfall stations and calculation In addition to the sources described in the references.

المعتمدة والمعدلة بعد معهد TNO لعلوم الأرض التطبيقية كما ورد ذكرها في التقرير النهائي لدرارسة الموارد المائية (WRAY-35,1995). تم حساب معدلات الاستخراج والضخ على أساس كمية المياه المقاسة ومستويات مياه الآبار التي نفذتها هيئة الحفاظ على المياه والتربة (GWSCP 2008)، وكذلك جرد الآبار في التعداد الزراعي لعام 2002. قام الباحث بتقدير كمية المخزون المائي للأحواض الإقليمية وللأحواض الأصغر والأحواض الفرعية، كما يظهر الجدول توقعات توافر المياه في الأحواض الرئيسية استنادا إلى تقدير المخزون المائي كما ورد في WARY-35. من المتوقع أن تجف أحواض تعز ووادي الجوف وفي المرتفعات الجنوبية تماما في المستقبل القريب.

إنخفاض مستوى المياه وإمكانية جفاف الأحواض الجوفية

تعاني جميع أحواض المياه الجوفية تقريبا في اليمن من انخفاض خطير في مستويات المياه. على سبيل المثال، تشير إحدى الدراسات الحديثة "الحفاظ على المياه والاستخدام المعقول للمياه، 2008) إلى أن بعض الآبار تظهر أن مستويات المياه قد انخفضت بشكل كبير منذ إنشائها خلال العقد الماضي. يصل متوسط العمق إلى أكثر من 150 متر من سطح الأرض. ومن المؤشرات الأخرى على انخفاض منسوب المياه أن عددا كبيرا من الآبار قد تم تعميقه إلى نحو 165 مترا بينما كان عمقها أقل من 100 متر خلال الفترة 1991-2001، وفي حالات أخرى المزارعون بردم الآبار لعدم جدواها إقتصادياً مما يعني انخفاضا كبيراً في منسوب المياه الجوفية بأكثر من 6 أمتار في السنة. مؤشرات أخرى لنضوب المياه في العديد من الآبار في دلتا أبين-لحج وبعض أحواض تهامة وأحواض المرتفعات مثل حوضي صنعاء وصعدة والتي تظهر جميعها انخفاضا كبيرا في منسوب المياه الجوفية.

ويبين الجدول (8) والشكل (9) أن متوسط انخفاض المياه في جميع الأحواض كان 3 أمتار في عام 2006 ويختلف باختلاف حجم طبقة المياه الجوفية ومعدلها ونطاقها الزمني للاستخراج، بلغ أعلى انخفاض للمياه الجوفية (7 أمتار/السنة) في حوض صنعاء كما يوضح الجدول والشكل التاليين:

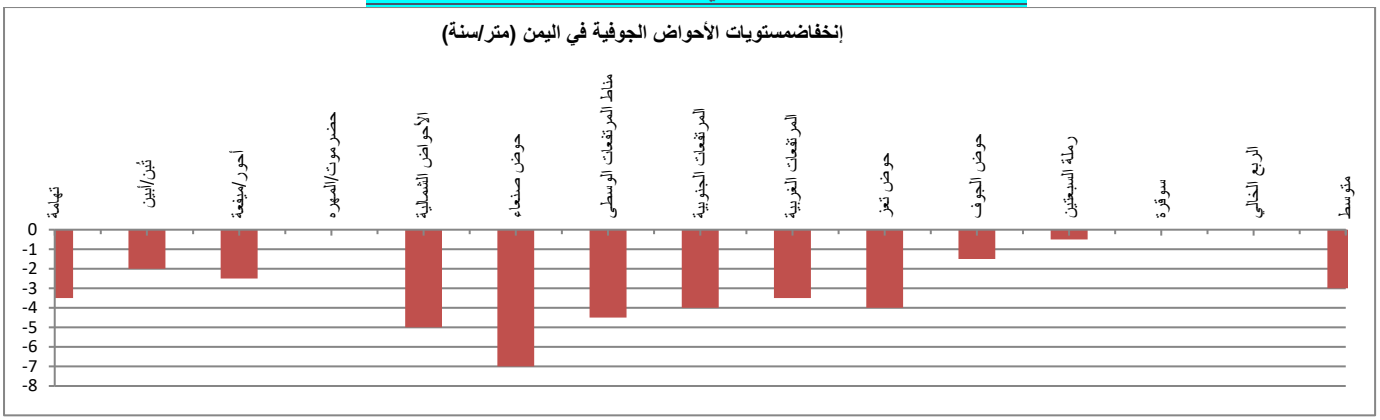
جدول (8): معدل إنخفاض مستويات المياه في الأحواض المائية باليمن [5]

الأحواض الإقليمية	كمية الجريان	كمية تجدد	كمية ضخ	عجز بالتواز المائي	مستوى إنخفاض	تقدير المخزون المائي	توقع مدة جفاف الأحواض
	مليون متر3/س	مليون متر3/س	مليون متر3/س	مليون متر3/س	متر/سنه	مليون متر3/س	سنوات
تهامة	734	545	1042	-497	3.5	250,000	120
تبن/أبين	310	257	337	-80	2	70,000	75
أحور/ميفعة	106	88	91	-3	2.5		27
حضرموت/المهره	363	301	180	121	0	10,000,000	27778
الأحواض الشمالية	289	239	274	-35	5		13
حوض صنعاء	158	131	548	-417	7		22
المرتفعات الوسطى	269	223	571	-348	4.5		28
المرتفعات الجنوبية	140	116	177	-61	4		9
المرتفعات الغربية	144	119	516	-397	3.5	50,000	25
حوض تعز	181	150	181	-31	4		9
حوض الجوف	173	143	191	-48	1.5		9
رملة السبعتين	147	122	0	122	0.5		
سوقرة	69	57	0	57	0	?	
الربع الخالي	171	142	0	142	0		
متوسط	232	188	293	-105	3	2592500	2556
إجمالي	3254	2633	4108	-1475	38	10,370,000	3515

راجع [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

[5] *Refer to Water Resource Research Center, Sources: Compiled from many sources. In addition to 24 Rainfall stations records

شكل (9): انخفاض منسوب المياه في الطبقات الجوفية الإقليمية باليمن 2006



المصدر: جدول (8)

فوائد إستخدام أساليب الري الحديث (توفير المياه)

يتكون مشروع الري الحديث من مكونات نظام نقل المياه بالأنابيب لإرواء مساحة 155,330 هكتار من المساحات المروية والمزروعة بأنواع مختلفة من المحاصيل وخاصة الحبوب والأعلاف ونظام الري المحلي في المزرعة ويغطي 63,880 هكتار منها 31,900 هكتار مزروع بالفاكهة يُروى بنظام الفقاعات ومساحة 31,980 هكتار مزروعة بالخضروات باستخدام نظام التنقيط، بالإضافة إلى الخدمات الاستشارية للري وتشمل الدعم الفني الإرشادي / الاستشاري. يوضح الجدول (9) مكونات المشروع مع توضيح متوسط استخدام المياه للري، وكمية المياه الموفرة لكل فئة ونظام فرعي من نظم المشروع، يعرض جدول (9) البيانات المجمعة من عدة مصادر والتي تم دمجها وتحديثها.

تُقدر كمية المياه الجوفية التي يمكن توفيرها (ب 720 مليون متر مكعب في السنة) نتيجة لتنفيذ مكونات المشروع المعني بتغطية مساحة قدرها (218,480 هكتار) وتمثل هذه الكمية من المياه الموفرة نسبة 31٪ من الاستخدام الحالي للمياه في الري التقليدي وفقاً لتعميم نتائج 154 عينة حقلية من وحدات المزارع المروية التي تم استخدام في قياس كمية المياه التي يمكن أن تتطلبها زراعة المحاصيل خلال موسم النمو الكامل. البيانات الميدانية التي تم جمعها من كل وحدة زراعية تجريبية بطرق مختلفة في مناطق مختلفة والتي وفرتها هيئة الحفاظ على المياه وصيانة التربة (GWSCP 2006-2008). قام الباحث بإستخدام هذه البيانات الأولية وتحليلها وعرض نتائجها في جدول (9).

جدول (9): مؤشرات توفير المياه: مقارنة بين نظامي الري الحديث والتقليدي [6]

موقع المشروع	وحدات العينة الحقلية ومساحته(GWSCP)		المساحة المستهدفة بالري الحديث	متوسط إستهلاك المياه وكمية التوفيرالمائي باستخدام نظامي الري الحديث والتقليدي				المجموع الكلي للمياه تالموفرة (مليون متر3)
	عدد وحدات العينة	مساحة/هكتار	مساحة/هكتار	تقليدي	حديث/محسن	نسبة المياه الموفرة	مياه موفرة لكل هكتار	
				مساحة/هكتار	مساحة/هكتار	%	(m3/ha)	مليون متر3/مشروع
ش. تهامة	7	17.5	20800	11381	7239	36	4142	86
و. تهامة	2	5	19200	11381	7239	36	4142	80
ج. تهامة	2	2	19300	11381	7239	36	4142	80
لحج	14	19.5	12500	11323	7103	37	4220	53
أبين	18	22.75	11500	13549	9244	32	4305	50
ذمار	9	8	17700	9358	6703	28	2655	47
مح.البيضاء	3	2	7400	11524	6703	40	4821	36
سد البيضاء	x	x	400	11524	6703	40	3781	2
عمران	3	3	8200	8420	5656	33	2765	23

[6] Not calculated for area; 1000 m length conveyance pipes system from the dam to the irrigated areas .

الجوف	8	15	8200	12439	9346	25	3093	25
الضالع	9	5	2250	9841	7171	27	2670	6
مارب	8	15	16200	12439	9346	25	3093	50
صعدة	9	6	9600	9703	7129	27	2574	25
إب	4	3	7700	5719	4518	21	1201	9
تعز	11	9	19400	6740	5175	23	1573	31
شبوه	9	8.5	9600	12706	9738	23	2968	28
حجة	12	26.5	14300	9263	6112	34	3150	45
حضرموت	11	15	12800	12439	9346	25	3093	40
المهرة	8	15	1100	12439	9346	25	3093	3
سد صنعاء	6	9	330	10777	6232	42	4545	1
إجمالي	153	204	218,480	214346	147288	615	67066	720
متوسط	8	11	10,924	10,717	7,364	31	3,306	31

المصادر: [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

أظهرت النتائج المقارنة بين انظمة الري الحديث والتقليدي أن متوسط كمية المياه التي يمكن توفيرها بسبب استخدام نظام الري المحلي في المزرعة يبلغ ضعف المتوسط الناتج عن استخدام نظام النقل بالأنابيب، حيث بلغت نسبة توفير المياه باستخدام الأنظمة الحديثة ما لا يقل عن 30٪ مقارنة باستخدام طرق الري التقليدي الحالي. ويختلف هذا المتوسط باختلاف أنواع المحاصيل ومناطق المشروع بسبب الاختلافات المناخية ونوع التربة من منطقة إلى أخرى من المناطق المستهدفة. يستهلك نظامي الري الحديث نسبة 69٪ فقط من كمية المياه المستخدمة في الري بالنظام التقليدي الحالي، نتيجة لاستخدامه نقل المياه إلى المزارع عبر القنوات المفتوحة أو استعمال طرق الري بالفيضانات.

من الفوائد الأخرى الناتجة عن استخدام تقنيات الري الحديث تتلخص في خفض الإنفاق على ساعات الضخ، وتكلفة المياه والطاقة، وأجور العمالة وما إلى ذلك، بالإضافة إلى الجوانب غير المنظورة للفوائد الاقتصادية مثل الاستقرار واستدامة استخدام المياه الجوفية للسكان المحليين وكذلك للأمة.

الأحواض الحرجة والضخ الجائر للمياه الجوفية

تظهر نتائج تحليل ضخ المياه الجوفية وتقديرات التغذية والموازنة المائية لمختلف أحواض المياه الجوفية في كل محافظة ومنطقة مستهدفة في مشروع الري الحديث باليمن والموضحة في الجدول (10). يمكن وصف التقييم الكمي لمتغيرات المياه في الدراسة الهيدرولوجية بأنه تقدير تقريبي لإرتباطه بمتغيرات عديدة على نطاق شامل، ورغم ذلك فإن هناك أساس منطقي لإجراء تقدير موثوق من خلال تجميع الأحواض الفرعية أو تقسيمها لتلائم حدود التقسيم الإداري الذي يشمل كافة المناطق والمحافظات المستهدفة بمشروع الري الحديث.

جدول (10): الأحواض الحرجة: معدل استخراج المياه الجوفية ومدى التوازن في إعادة تغذيتها [7]

رقم المشروع	منطقة المشروع	المساحة المزروعة المستهدفة بالري الحديث	عدد الآبار الإرتوازية	إستنزاف المياه الجوفية (ضخ من الآبار)		مساحة المحاصيل المروية بالمياه الجوفية		أعادة شحن الخزانات الجوفية		الموازنة المائية = (الشحن-ا لتفريغ)		توقع العجز المائي بدون استخدام تقنيات الري الحديث- (الشحن/التفريغ)	
تسلسل	المحافظة	(هكتار)	عدد	مليون م3/سنة	%	(هكتار)	%	مليون م3/سنة	%	مليون م3/سنة	%	معدل إستخراج المياه مقارنة بتجددها	توقع العجز المائي عام 2014
إجمالي الجمهورية اليمنية		1,555,219	272,702	4,107	100	400,105	100	2,581	100	1526-	59-	2	8
3_1	الحديدة	327,107	28,887	1042	25	91,584	23	545	21	497-	48-	2	10
4	لحج	31,804	14,179	114	3	10,059	3	118	5	4	4	1	5

[7] Note: Estimate of Pumped Wells Discharge = (av. amount of pumped water/hr *no. hours*no. wells) Mm3= million cubic meter , Variation is attributed to the number of wells while pumping capacity of wells is constant and irrigated cropping area is proportionate to no. of wells Source : Ministry of Agriculture and Irrigation, Groundwater and Soil Conservation Projects, compiled from "Farmer Guideline-, January,2008"

رقم المشروع	منطقة المشروع	المساحة المزروعة المستهدفة بالري الحديث	عدد الآبار الإرتوازية	إستنزاف المياه الجوفية (ضخ من الآبار)		مساحة المحاصيل المروية بالمياه الجوفية		أعادة شحن الخزانات الجوفية		الموازنة المائية = (الشحن-ا لتفريغ)		توقع العجز المائي بدون استخدام تقنيات الري الحديث- (الشحن/التفريغ)	
تسلسل	المحافظة	(هكتار)	عدد	مليون م3/سنة	%	(هكتار)	%	مليون م3/سنة	%	مليون م3/سنة	%	معدل إستخراج المياه مقارنة بتجددها	توقع العجز المائي عام 2014
5	أبين	65,071	6,567	223	5	16,460	4	145	6	78-	35-	2	8
6	شبوه	58,524	14,351	91	2	7,187	2	90	3	1-	1-	1	5
7	حضرموت	54,422	7,865	169	4	13,551	3	151	6	18-	10-	1	6
8	المهرة	3,973	1,241	11	0	901	0	160	6	149	1355	0	0
9	صعدة	50,726	32,534	128	3	13,184	3	67	3	61-	48-	2	10
10	حجة	147,076	5,637	375	9	40,526	10	188	7	187-	50-	2	10
11	عمةان	121,487	10,365	249	6	29,547	7	194	8	55-	22-	1	6
12	صنعاء	144,900	59,693	548	13	50,856	13	143	6	405-	74-	4	19
13	\امار	113,734	17,789	322	8	34,383	9	51	2	271-	84-	6	32
14	البيضاء	74,956	13,591	131	3	11,359	3	95	4	36-	27-	1	7
16	الضالع	15,089	14,536	46	1	4,669	1	21	1	25-	54-	2	11
17	تعز	64,067	12,117	181	4	24,739	6	164	6	17-	9-	1	6
18	إب	56,445	7,629	141	3	24,581	6	64	2	77-	54-	2	11
19	مارب	116,592	9,437	146	4	11,480	3	114	4	32-	22-	1	6
20	الجوف	109,245	16,284	191	5	15,039	4	271	10	80	42	1	4
المتوسط		91483	16041	242	6	23536	6	152	6	90-	51	2	9

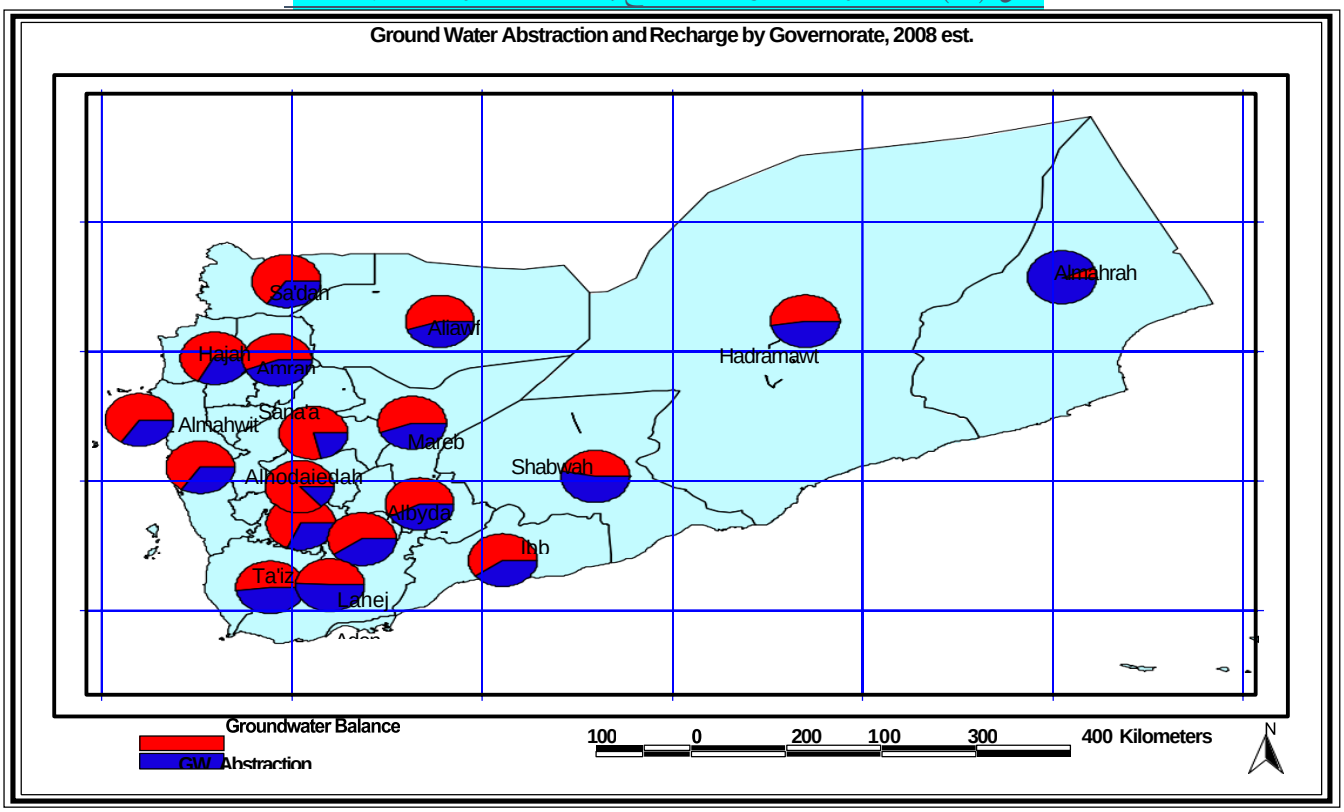
المصادر: [5-10, 18, 20, 26, 31, 32, 34, 36, 39-42, 52, 55, 68]

تم دمج البيانات الموثقة المستندة إلى التعداد الزراعي في المسح الميداني لجرد الآبار، وتوظيف العينات الميدانية لوحدات الحقول المروية وإستكمال بعض البيانات من إحصاءات الكتاب السنوي ودمجها بالمصادر الأخرى مع استخدام الجداول السابقة لتطوير وإنتاج جدول (10) والشكل (10) الشامل لكثير من متغيرات الدراسة الهيدرولوجية.

يوفر الجدول (10) السابق معلومات اساسية وأداة عملية تمكن الجهات الحكومة المركزية والمحلية ذات العلاقة بالموارد المائية من ممارسات أكثر فعالية في عملية التقييم والمتابعة لمورد المياه الجوفية من خلال التحكم والمراقبة وفرض القوانين المنظمة للموارد المائية وإجراء عملية الرصد المستمر للأوضاع المتعلقة بالمياه بهدف تقييم منتظم لأحوال وتغيرات المياه الجوفية المتصلة باستخداماتها المختلفة وترشيد إستهلاكها وذلك من أجل ضمان استدامة موارد المياه الجوفية على المدى الطويل.

الشكل (10) يعرض خريطة اليمن التي توضح أوضاع المياه الجوفية من خلال التوزيع النسبي للمياه (الدوائر النسبية) القائم بين موارد المياه المتجددة من جهة والمستهلكة/المستخرجة من الآبار من جهة أخرى في كل محافظة وذلك لتوضح الموازنة المائية لمورد المياه الجوفية من الناحية المكانية ومن الناحية الكمية من جهة أخرى. تبين الخريطة كمية المياه المستخرجة ومقارنتها بمعدل إعادة تغذية المياه الجوفية على نطاق كل منطقة مستهدفة يقع فيها المشروع، على مستوى المحافظة المعنية بعملية الرقابة والسيطرة وتنظيم إستخراج المياه الجوفية من قبل الجهات الرسمية والتي سيتم فيها تنفيذ المشروع.

شكل (10): المياه الجوفية المستخرجة بالمقارنة مع إعادة تغذية الأحواض حسب المحافظة[8]



المصادر:[75]

استنادا إلى أحدث مسح زراعي أُجري في عام 2002 وتم نشر نتائجه في عام 2004، بالإضافة إلى البيانات المحدثة لعام 2009م التي تم الحصول عليها من GWSCP ، والخطة الخاصة بعام 2014م، كان هناك حوالي 272.700 بئر تستخدم في ضخ المياه الجوفية في اليمن، فضلاً عن عدد الآبار الصغيرة التي لم يشملها المسح. وقد بلغت قدرة الضخ والتصريف المائي لهذه الآبار حوالي 4100 مليون متر مكعب في عام 2008م، الامر الذي يؤكد مصداقية وثبات منهجية التحليلات الهيدرولوجية التي أتبعها الباحث في هذه الدراسة، مقارنة بنتائج تقديرات الدراسات والتقارير السابقة في هذا السياق. حوالي 92٪ من كمية المياه المضخوخة من الآبار تستخدم للإستعمال الزراعي لري المحاصيل المروية. بعد استبعاد الآبار السطحية التي لا تحتوي على معدات ضخ من هذا التحليل لأن كمية كبيرة من استخراج المياه مرتبط بالري حيث يستخرج المياه الجوفية بالمضخات الميكانيكية المثبتة في الآبار. وعلى الرغم من هذا الاستبعاد، لا يزال عدد الآبار واسع الانتشار، بحكم تعريفها، في البلدان شبه القاحلة ومنها اليمن.

الوضع الراهن لموارد المياه الجوفية والحاجة إلى الرقابة والمتابعة

أعتمد تحليل البيانات الهيدرولوجية وتقييم الوضع المائي الراهن على ثلاثة مستويات من وحدات التحليل: مستوى الوادي والحوض، وعلى مستوى المحافظة ومستوى المنطقة، بطريقة يسهل معها عمليات المراقبة والتقييم والمتابعة وإظهار المؤشرات على جميع المتعلقة بهذه المستويات من أجل تزويد سلطات/جهات الحكومة المركزية والمحلية وكذلك المزارعين المشاركين بقاعدة صلبة لتتبع الأداء وعملية صنع القرار.

يرتبط العجز المتزايد في المياه الجوفية بشكل يتناسب طردياً مع عدد الآبار المعروضة في كل منطقة من مناطق المشروع. على سبيل المثال، أظهرت نتائج تحليل البيانات عن وجود مؤشرات عديدة تنذر بتهديد الوضع الحالي والمستقبلي للموارد المائية وخاصة المياه الجوفية في كل محافظة من محافظات الجمهورية باستثناء محافظة المهرة والجوف ولحج، حيث يوجد توازن نوعاً ما بين الإستنزاف وعملية التجدد. بشكل عام يتراوح العجز المائي السنوي من 1 مليون متر مكعب في شبوة إلى 497 مليون متر مكعب سنويا في الحديدة. بلغ إجمالي العجز المائي في عموم البلاد 1526 مليون متر مكعب أو ما يعادل 59٪ من المياه المتجددة في عام 2008. يمثل معدل / نسبة السحب من المخزون المائي ضعف معدل إعادة الشحن تقريبا. الأحواض الأكثر أهمية في مؤشرات الإستنزاف هي تلك التي لديها حصة كبيرة من مشكلة الضخ المفرط في سحب المياه الجوفية، وتوجد هذه المشكلة في محافظات الحديدة وصنعاء وذمار وحجة. أظهرت نتائج التحليلات أن يصل معدل العجز في هذه المحافظات إلى 9 أضعاف معدل التغذية في عام 2014م دون تدخل تقنيات الري الحديث (MIPs)، من المتوقع أن يزداد العجز المائي ويتسع نطاقة في المستقبل، وبالتالي، فإن مؤشرات هذا الوضع الملح للموارد المائية يستدعي

[8] - Ground Water, Abstraction and Recharge Information and data are compiled from several source and incorporated in Administrative and country maps of Yemen by the Author using GIS, ArcMap, Addar-Ala'rabia, GIS Center,2009.

التعجيل في وضع خطط متكاملة لصيانة المياه وتنفيذ بنود مشروع الري المقترح وتسهيل الاقتناء الفوري للمزارعين لمعدات وتقنيات توفير المياه جنبا إلى جنب مع إيجاد إدارة فعالة للمياه والتي بإمكانها أن تساعد السلطة على فرض النظام واستخدام قوة القانون لتفويضها في الإدارة السليمة للري الزراعي.

أظهرت نتائج تحليل وتقييم المكونات الهيدرولوجية في هذه الدراسة ميزة وفوائد تنفيذ تقنيات الري الحديث، ولا سيما أهميته في توفير كميات كبيرة من المياه في مختلف المناطق المروية يصل مجموعها إلى 720 مليون متر مكعب / سنة في عموم البلاد نتيجة لتركيب مشاريع الري الحديثة والاستخدام الفعال للمياه من خلال اعتماد أساليب وتقنيات جديدة تغطي 218,480 هكتار، تشمل أجزاء مختلفة من اليمن لتحسين طرق الري عبر الأنظمة المثبتة في مناطق المشروع الحالية. استند هذا التقدير الكمي في توفير المياه على منهجية سليمة تدعمها مؤشرات إحصائية دالة كونها تعتمد على بيانات تم جمعها ميدانياً من الوحدات الحقلية بالإستناد إلى بيانات المحسوبة لقدرة الضخ في تصريف الآبار والتي تم توظيفها كمختبرات ومعايير واقعية يقاس على أساسها ثبات ومصداقية نتائج التحليل المائي (الهيدرولوجي).

التقدير الكمي والنوعي لتكاليف التشغيل و معدات وأجهزة الرقابة والمتابعة

يلخص الجدول (11) تكلفة التشغيل اللازمة لإجراء عملية الرصد والمراقبة المائية وتقييمها المستمر. وتبلغ التكلفة التشغيلية الإجمالية للمعدات اللازمة لقياسات الأرصاد الجوية والمائية مبلغ وقدره 1.69 مليون دولار أمريكي مخصصة لعدد 47 مشغلا تقنيا لعدد 20 موقع مقترح لتنفيذ مشروع الري الحديث خلال خمس سنوات.

ويوضح جدول (11) كذلك تكلفة المعدات والأجهزة اللازمة لقياس المياه (هطول الأمطار والجريان السطحي)، وأنشطة مراقبة ورصد استخراج المياه الجوفية. ويعرض الجدول تفاصيل كمية ونوعية بعدد وحدات المعدات ومواصفاتها وكذلك سعر الوحدة.

جدول (11): تكلفة التوظيف والبنية التحتية لعملية رصد وتقييم ومراقبة المياه [9]

موقع المشروع	عدد المديريات	(A) محطات مقاييس الأمطار أوتوماتيك	(B) وسائل قياس وأجهزة معايرة التدفق	(C) أجهزة رقابة هيدرولوجية	(D) أجهزة ترمومترية لقياس التدفق	إجمالي وجدات السيطرة الهيدرولوجية	إحتياج هيئة تشغيل وظيفية لإدارة وتقييم المياه	مخصص شهري لإدارة الأجهزة	إجمالي تكاليف التشغيل لمدة خمس سنوات
المحافظة	عدد	وحدة	وحدة	وحدة	وحدة	وحدة	أشخاص	دولار امريكي/ وحدة	دولار امريكي
الحديدة	22	14	19	15	322	370	9	1800	324000
لحج	14	6	7	9	142	164	4	600	144,000
أبين	10	1	5	5	66	77	2	600	72,000
شبوه	16	3	11	12	144	170	3	600	108,000
حضرموت	29	16	14	19	79	128	2	600	72,000
المهرة	9	8	4	9	12	33	2	600	72,000
حجة	29	26	14	26	56	122	2	600	72,000
صعدة	14	8	7	10	325	350	3	600	108,000
صنعاء	13	11	6	10	597	624	2	600	72,000
ذمار	9	1	5	4	178	188	3	600	108,000
عمران	19	15	8	14	104	141	3	600	108,000
مارب	12	11	6	12	94	123	2	600	72,000
الجوف	12	10	5	12	163	190	2	600	72,000
تعز	18	6	9	15	121	151	2	600	72,000
إب	18	7	12	15	76	110	2	600	72,000
البيضاء	11	9	8	8	136	161	2	600	72,000
الضالع	9	7	6	6	145	164	2	600	72,000

[9] *The unit price in this table represents only the average unit price of aggregated four units of different prices.
**Total cost of Equipment includes the total cost of (A) 159 units of Automatic Rainfall gauging stations(B) 146 units of Surface Flow gauging Equipment (C) 201 units of Hydrometric Equipment (D) 2761 units of Hydrometric Equipment (Water flow meters) which are vary in unit price shown in separate Hydro-Annex..
*Total governorate areas represents only land area apart from Islands area and water territories.

موقع المشروع	عدد المديريات	(A) محطات مقاييس الأمطار أوتوماتيك	(B) وسائل قياس وأجهزة معايرة التدفق	(C) أجهزة رقابة هيدرولوجية	(D) أجهزة ترمومترية لقياس التدفق	إجمالي وجدات السيطرة الهيدرولوجية	إحتياج هيئة تشغيل وظيفية لإدارة وتقييم المياه	مخصص شهري لإدارة الأجهزة	إجمالي تكاليف التشغيل لمدة خمس سنوات
المحافظة	عدد	وحدة	وحدة	وحدة	وحدة	وحدة	أشخاص	دولار امريكي/ وحدة	دولار امريكي
إجمالي	264	159	146	201	2,761	3267	47	-	1,692,000
متوسط	16	8	8	11	145	172	2	600	89,053

المصادر: [3, 18, 20, 26, 32, 34, 38-43, 50-52, 55, 57, 68, 76, 77]

توقع فوائد مشروع الري الحديث خمس سنوات من بدء تنفيذه:

أظهرت نتائج التحليل أن كمية المياه الموفرة نتيجة لاستخدام تقنيات الري الحديث تصل إلى 3,555 مليون متر مكعب من المياه خلال السنوات الخمس الأولى من عمر المشروع. وتمثل هذه الكمية أكثر من ضعف العجز المائي السنوي الحالي. وهذا يعني أن مياه الوفر المتراكمة لعدد من السنين مستقبلاً ستساهم إلى حد كبير بإعادة الشحن وتغذية الأحواض بالمياه المتجددة وستعوض عن إستنزاف المياه الجوفية على المدى المنظور. وضع حداً للإستنزاف الجاري للمياه الجوفية مشروط بسياسة مركزية رشيدة وتخطيط هادف لصيانه المياه وتقنين إستخدامها وخاصة في المجالين الزراعي والصناعي، مما يساهم في صيانة الموارد المائية واستدامة المياه الجوفية، يوضح الجدول (12) المكاسب المتوقعة من تنفيذ مشاريع الري الحديث.

جدول (12): الاستهلاك المتوقع للمياه الجوفية مع أو بدون استخدام تقنيات الري الحديث[10]

العينات الموزعة على مستوى الجمهورية اليمنية		المنطقة المستهدفة حاليا	المساحة المزروعة المروية عام 2014	كمية المياه الجوفية المتوقعة للري في عام 2014 مع أو بدون تقنيات حديثة				توقع توفير كمية من المياه نتيجة لتنفيذ المشروع المستهدف
				(بدون التقنيات) مقدار المياه المستهلكة وفقا لممارسة الري التقليدي		مقدار المياه المخفضة والموفرة بالنتيجة لاستخدام تقنيات حديثة	كمية المياه باستخدام الري بتقنيات حديثة	
عدد العينات	موقع المشروع	هكتار	هكتار	متر3/هكتار	مليون م3/ مشروع	متر3/هكتار	مليون م3/ مشروع	مليون م3/ مشروع
7	شمال تهامة	20800	61598	11381	237	7239	86	151	431
2	وسط تهامة	19200	6540	11381	219	7239	80	65	398
2	جنوب تهامة	19300	5673	11381	220	7239	80	65	400
14	لحج	12500	17929	11323	142	7103	53	65	264
18	ابين	11500	27960	13549	156	9244	50	65	248
9	شبوة	9600	4223	12706	122	9738	28	65	142
11	حضرموت	12800	10876	12439	159	9346	40	65	198
8	المهرة	1100	229	12439	14	9346	3	65	17
9	صعدة	9600	12587	9703	93	7129	25	65	124
12	حجة	14300	91166	9263	132	6112	45	65	225
3	عمران	8200	71335	8420	69	5656	23	65	113
6	صنعاء	330	23031	10777	4	6232	1	65	7
9	مارب	17700	9073	9358	166	6703	47	65	235
4	إب	7700	41519	5719	44	4518	9	65	46
11	تعز	19400	15637	6740	131	5175	30	65	152
3	البيضاء	7400	3332	11524	85	8146	25	65	125
1	البيضاء	400	0	11524	5	0	5	65	23

العينات الموزعة على مستوى الجمهورية اليمنية		المنطقة المستهدفة حاليا	المساحة المزروعة المروية عام 2014	كمية المياه الجوفية المتوقعة للري في عام 2014 مع أو بدون تقنيات حديثة				توقع توفير كمية من المياه نتيجة لتنفيذ المشروع المستهدف
				(بدون التقنيات) مقدار المياه المستهلكة وفقا لممارسة الري التقليدي		مقدار المياه المخفضة والموفرة بالنتيجة لاستخدام تقنيات حديثة	كمية المياه باستخدام الري بتقنيات حديثة	
9	الضالع	2250	4066	9841	22	7171	6	30
8	مارب	16200	9478	12439	202	9346	50	251
8	الجوف	8200	25781	12439	102	9346	25	127
مجموع		218480	442,029	214345	2321	142026	711	3,555
متوسط		10924	22101	10717	116	7101	36	178

المصادر: [3, 18, 20, 26, 32, 34, 38-43, 50-52, 55, 57, 68, 76, 77]

خاتمة وتوصيات

يُقدر إجمالي استخدام المياه الجوفية للري في اليمن بحوالي 4,100 مليون متر مكعب في السنة بناء على قدرة طريقة تصريف الآبار جنبا إلى جنب مع طريقة الاحتياجات المائية المحسوبة بحسب قياسها من خلال عينات الوحدات الحقلية. (حوالي 2,635 مليون متر مكعب / موسم بناء على قدرة الاستخراج للآبار التي يتم ضخها حاليا).

تكشف نتائج التحليل الهيدرولوجي عن توفير المياه نتيجة لتنفيذ مشاريع المياه الهدفة للتوسع العمودي من خلال تحسين تقنيات الري التي تغطي 218,480 هكتار المقترحة للتنفيذ في النقل المائي، والذي من شأنه أن يوفر حوالي 720 مليون متر مكعب سنويا من المياه التي يمكن استخدامها لإعادة تغذية طبقات المياه الجوفية. يمثل هذا التوفير في المياه ما نسبته حوالي 27٪ من المياه المتجددة السنوية لطبقات المياه الجوفية (إذا لم يتم استخدامها لتوسيع المساحة المروية). أسفرت نتائج التحليل الهيدرولوجي عن كمية مقدرة تصل إلى 2,493 مليون متر مكعب في السنة تستخدم في إعادة شحن الأحواض الخازنة كتغذية سنوية للمياه الجوفية.

أن شبكة مراقبة هطول الأمطار ومحطات الأرصاد الجوية وقياس المياه السطحية والجوفية بحاجة إلى معدات وأجهزة وتكاليف تشغيل وإنشاء قاعدة بيانات، فضلاً عن إجراء صيانة للمعدات القائمة التي عفا عليها الزمن في كثير من المحطات القائمة في اليمن، وبالتالي فإن التوصية الاستشارية هي تركيب معدات الأرصاد الجوية والهيدرولوجية المقترحة اللازمة لإجراءات مراقبة المياه الجوفية والسطحية وإجراء عمليات التقييم الدوري والمستمر لأوضاع المياه والمصادر المائية. وتتعلق الحقائق التالية بالنتائج الرئيسية للتحري الهيدرولوجي:

لقد تناولت الدراسة الهيدرولوجية تحليل سلسلة من البيانات المتعلقة بهطول الأمطار وكانت نتاجها تمثل العامل الرئيسي الذي يعتمد عليه تحليل متغيرات الموارد المائية. واشارت النتائج المتعلقة بتوافر المياه السطحية والجوفية، ومستويات المياه القائمة على مستجمعات المياه المقاسة، وعينات الوحدات الحقلية والمسح الميداني لمراقبة الآبار في مختلف أحواض المياه الجوفية، ل ذلك يشير إلى تدخل فوري لمراقبة وإدارة الموارد المائية. وتوفر هذه الدراسة بيانات كافية للبدء في إنشاء قاعدة بيانات ما أنها تقدم معلومات في توصيف الأدوات والأساليب المناسبة لرصد وتقييم المياه الجوفية بفعالية. كشفت الدراسة عن وجود تباينات تتعلق بخصائص الطبقات الخازنة للمياه الجوفية وبالخصائص الهيدروجيولوجية في أحواض ومناطق الحصاد المائي، ترتب عليه إختلاف في معدلات ومتوسط تغذية المياه الجوفية في مختلف الأحواض وقد تراوح هذا التباين بين حد أدنى بنسبة 2٪ وحدي أقصى يصل إلى11٪ من إجمالي كمية هطول الأمطار ويعبر ذلك عن معامل علاقة الارتباط بين كمية الهطول والجريان السطحي الذي بدوره يقرر كمية النفاذ الذي تمتصه التربة ليصل إلى خزانات المياه الجوفي ويعمل على تغذيتها.

كشفت الدراسة عن وجود عجز مزمن ومتنامي في خزانات المياه الجوفية يسببه الإستنزاف الجائر لضخ المياه الجوفية من جهة ولمحودية عملية التجدد بسبب طبيعة سيادة خصائص المناخ شبه الجاف الذي يغطي معظم الأراضي في اليمن الأمر الذي ينذر بتدهور الموارد المائية في عموم الجمهورية يدعو إلى التدخل الفوري للجهات المعنية لوضع حد لهذا التدهور لاسيما وإن كثير من المؤشرات مثل إنخفاض مستويات المياه ومحدودية تغذية المياه الجوفية وتوسع المساحة المروية كلها تؤكد أن غالبية الأحواض آخذة في النضوب.

المراجع

[1] A. A. Iskander, International, and T. National Consultant, "Detailed Technical Studies for Irrigation Investment Program in Yemen," Addar Al-Arabia for Engineering Consultancy, Ministry of Agriculture and Irrigation with MOP& IC, Sana'a, Yemen, 2010 .

[2] Amid, *Sustainable Development Plan for Agriculture, Food Security and Poverty Reduction Based on the MDGs* 2006-2010. 2010, p. 43.

[3] ا. وزارة التخطيط والتعاون, "دراسة تفصيلية لـ 20 مشروع ضمن إطار برنامج الاستثمار الزراعي في قطاع الري الحديث," صنعاء، اليمن, 2010.

[4] A. Ministry of and Irrigation, "Groundwater and Soil Conservation Project (GWSCP)," Sana'a, Yemen, 2007 .

[5] و. وزارة الزراعة, "دليل المناخ الزراعي في اليمن (1881-2004)", صنعاء، اليمن, 2005.

[6] ل. الجهاز المركزي, "كتاب الإحصاء السنوي لعام 2004: الفصل الأول - البيئة," صنعاء، اليمن, 2005.

[7] ل. الجهاز المركزي, "كتاب الإحصاء السنوي لعام 2005: الفصل الأول - البيئة," صنعاء، اليمن, 2006.

[8] ل. الجهاز المركزي, "كتاب الإحصاء السنوي لعام 2006: الفصل الأول - البيئة," صنعاء، اليمن, 2007.

[9] ل. الجهاز المركزي, "كتاب الإحصاء السنوي لعام 2007: الفصل الأول - البيئة," صنعاء، اليمن, 2008.

[10] ل. الجهاز المركزي, "كتاب الإحصاء السنوي لعام 2008: الفصل الأول - البيئة," صنعاء، اليمن, 2009.

[11] O. A. E. Abdalla, "Are Groundwater Resources in Semi -and Sudan Secured?," 2008, p. 14 .

[12] K. Abdel, A. Rania, and B. Dziegielewski, "A National Water Demand Management Policy in Jordan," 2005 .

[13] W. A. Abderrahman, "Water Demand Management in Saudi Arabia," 2007 .

[14] J. Abu-Ashour, "Economic and Environmental Benefits of Agricultural Water User Efficiency Measures in Jordan," pp. 302-307, 1998.

[15] H. M. Al-Gheilani and Y. A. Al-Mulla, *The Water Wealth in the Sultanate of Oman: Reality and Ambitions*. 2007, pp. 207-214.

[16] A. S. Al-Marshudi, *Economic Instrument for Water Management in Sultanate of Oman*. 2004.

[17] Z. Al-Sulimani, A. Al-Mushaykhi, H. Al-Ajmi, S. White, and A. Turner, "Detailed Water Resources Management and Planning Study for the Salalah Region," 2008, pp. 432-439 .

[18] G. K. M .Consult, "Feasibility Study for Effluent and Sludge Reuse in Aden, Amran, Hajjah, Ibb and Yarim Presentation," 2009: MWH Arabtech .

[19] A. K. Hamdan, "Seminar on Water and Environment in Yemen, the Seed for Capacity Building Sana'a," 2000 .

[20] B. Hanso and S. Orloff, *Measuring Soil Moisture: Determining the Net Irrigation Requirement*. University of California Irrigation Program, Department of Land Air and Water Resources, University of California Davis, 1998.

[21] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project (IDA credit No.3412. YEM)," ARCADIS Euroconsult, 2002 .

[22] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project: Yemen Concept Paper MIS," 2002 .

[23] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project (IDA credit No. 3412- YEM): Interim Training Manual for GIS Version 1 Sana'a," 2003 .

[24] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project (IDA credit No.3412- YEM): Second Output Communication Specialists," 2003 .

[25] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project: Schematic Layout of Wadi Tuban," ed: Report MIS-GIS Map YIIP, 2003.

[26] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Irrigation Improvement Project (IDA credit No. 3412-YEM): Hydrological Analysis," ARCADIS Euroconsults .2002 ,

[27] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Water user association contracting manual of procedures," ARCADIS Euroconsult, 2003 .

[28] A. Ministry of and R. o. Y. Irrigation, "Main technical assistance Package for Irrigation Improvement Project: Training Reports PIM. Extensionists Zabid," ARCADIS, 2003 .

[29] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Gates assessment in trim report," ARCADIS Euroconsult I.A.W Halcrow, DCE., Pan Yemen and YEG, 2003 .

[30] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Manual on participatory planning & design," ARCADIS Euroconsult, 2004 .

[31] ل. الجهاز المركزي, "المسح الزراعي، مسح الآبار الإرتوازية", صنعاء، اليمن, 2007.

[32] O. Ministry of and R. Y. Mineral Resources, "The Water Resources of Yemen," TNO Institute of Applied Geoscience JADELFT, The Netherlands, 1995 .

[33] A. Ministry of and Irrigation, "Main technical assistance package for Irrigation Improvement Project: Spate Management model user's guide," ARCADIS, 2004 .

[34] G. C. f. R. Ministry of Construction and R. o .Y. Bridges, "Safir-Hadramout Road Project: Basic study - Hydrology of the inland basin," Consulting Engineering Services (India) Private Limited, 1993 .

[35] ا. الهيئة العامة للموارد, "الوضع البيئي باليمن: تقرير," 2001. [Online]. Available: https://yemen-nic.info/contents/Geog/3.pdf

[36] ف. محمد، محمد, "الموارد المائية في اليمن," [Date not specified]. [Online]. Available: https://yemen-nic.info/files/water/studies/1.pdf.

[37] ش. أسود، فلاح, "الموارد المائية في اليمن وانعكاساتها على القطاع الزراعي," كلية التربية أرحب، جامعة صنعاء, اليمن, 2006.

[38] ر. وكالة, "تحقيق: الحفر العشوائي يجفف مصادر المياه ويزيد تفاقم الأزمة في اليمن," 2012. [Online]. Available: https://www.reuters.com/article/idUSCAE82S09T20120308.

[40] ا. الهيئة العامة للموارد, "وثائق ومنشورات," 2020. [Online]. Available: http://www.nwrayemen.org/arabic/documents.asp?BdTy=102.

[41] أ. القباطي, "وعورة التضاريس وندرة المياه في اليمن," 2023. [Online]. Available: https://sawt-alamal.net.

[42] ن. محمد، وفاء, "أزمة المياه في اليمن: مشاكل وحلول," 2011. [Online]. Available: https://ictuse.yoo7.com/t2382-topic.

[43] و. وزارة الزراعة, "أسباب شحة المياه في اليمن," 2022. [Online]. Available: https://yemenb.com.

[44] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Third output communication specialists," ARCADIS Euroconsult, 2004 .

[45] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Progress Report MIS-GIS," ARCADIS, Euroconsult, I.A.W. Halcrow DCE, Pan Yemen and YEG, 2003 .

[46] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Training Report 4," ARCADIS, Euroconsult, I.A.W. Halcrow DCE, Pan Yemen and YEG, 2003 .

[47] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Training report 5 WUA," ARCADIS Euroconsult, I.A.W. Halcrow DCE, Pan Yemen and YEG, 2003 .

[48] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Mission Report Information Analyst," ARCADIS, 2003 .

[49] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Output communication specialists," ARCADIS Euroconsult, 2003 .

[50] C. Ward, S. Ueda, and A. McPhail, "Water resources management in Yemen," 2000 .

[51] U. N. Unesco, "Practices and experiences of water and wastewater technology," 2004: UNESCO .

[52] B. The World, "Safir Hadramout Road: Executive summary," The World Bank, 1993. [Online] .Available: www.worldbank.org

[53] Y. Republic of, "Water Sector Support Program: Sector-wide environment and Social Assessment," CES (India) PVT. Ltd., 2008 .

[54] Y. Republic of, "Ibb governorate global land mine survey-landmine impact survey," 2008 .

[55] J. S. Moore, "Rock material filed classification system," USDA, 2002 .

[56] P. Ministry of and C. International, "Environmental Impact of Using Waste Water for Agricultural Irrigation," Yemen, 2005 .

[57] O. Ministry of and R. Y. Mineral Resources" ,Ibid," 1996 .

[58] G. C. f. R. Ministry of Construction and R. o. Y. Bridges, "Safir-Hadramout Road Project: Studies related to environmental assessment feasibility and detailed design," Consulting Engineering Services (India) Private Limited, 1993 .

[59] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Draft model," ARCADIS Euroconsult, 2005 .

[60] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Final report MIS-GIS," ARCADIS Euroconsult, 2005 .

[61] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Overview of Construction Supervision Programme," ARCADIS Euroconsult, 2004 .

[62] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Third input communication specialists," ARCADIS Euroconsult, 2004 .

[63] A. Ministry of and R. Y. Irrigation, "Irrigation management," ARCADIS Euroconsult, 2003 .

[64] A. Ministry of and Irrigation, "Construction Supervision manual for the Irrigation Improvement Project," ARCADIS, 2003 .

[65] A. Ministry of and Irrigation, "Procedure manual on participatory irrigation management," ARCADIS, 2003 .

[66] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project (IDA credit No.3412- YEM): Concept Paper for Spate Management Model," 2003 .

[67] A. Ministry of and Irrigation, "Irrigation Improvement Project (IDA credit No. 3412- YEM): Training Report 2, PIM, Extensionists Tuban," 2003 .

[68] S. Foster, "Rationalizing Groundwater Resource Utilization in the Sana'a Basin – Yemen," World Bank, 2003 .

[69] K. W. Easker and Y. Liu, *How to Improve Cost Recovery in Irrigation Projects: Cases from the Developing World*. 2009, p. 17.

[70] H. B. K. Alhatmi, "The Influence of Water Market on Water Value and Scarcity in Oman," Ministry of Regional Municipality, Environment, and Water Resources, Oman, 2005 .

[71] M. Al-Hebshi and S. A. Bin Rabaa, "Traditional Water Harvesting Systems and Management in Wadi Hadhramout Yemen," pp. 360-370, 2005.

[72] A. A. Al-Ghory, "Sociogeographical Situation Analysis of Resource Management for Al-Mawasit District/Yemen," Freie Universität Berlin, 2004 .

[73] C. Agricultural Research, *Agro-climate Guidelines of Yemen* (1881-2004). Dhamar, Yemen, 2005.

[74] *The Economics of Climate Change: The impacts of climate change on growth and development*. 2008, pp. 92-121.

[75] G. D. CSO, "Yemen Administrative Map - December 2009," ed. Yemen: Ministry of Planning and International Corporation, 2009.

[76] ا. الهيئة العامة للموارد, "مسح الآبار في منطقة رداع (التقرير النهائي)," 2006. [Online]. Available: http://www.nwrayemen.org/uplaod/pdf/Radaa_Report.pdf.

[77] ا. منظمة, "تقلبات المناخ تقلل مصادر المياه في اليمن," 2023. [Online]. Available: https://www.26sep.net/index.php/local/66096-2023-10-16-18-06-37.

فهرس المحتويات

ABSTRACT: **2**
مقدمة **2**
الأهداف العامة للدراسة الهيدرولوجية **3**
استعراض البيانات ومنهجية التحليل في الدراسة الهيدرولوجية **3**
أساليب وطرق البحث **4**
عرض وتحليل البيانات المترو- هيدرولوجية **4**
أولاً: التحليل الميترولوجي(الأرصاد الجوية) **5**
النمط المكاني والزمني لهطول الأمطار **5**
أولاً: تحليل بيانات الأرصاد الجوية(المترولوجية) **8**
درجة الحرارة **9**
الرطوبة النسبية **9**
أشعة الشمس **9**
التبخر والنتح: **9**
سرعة الرياح: **9**
ثانياً: التحليل الهيدرولوجي وتقدير الجريان السطحي والمياه الجوفية **10**
تقدير كمية مياه الجريان السطحي **12**
تقدير كمية المياه الجوفية في الأحواض الخازنة **14**
الموازنة المائية بين الضخ وتجدد المياه الجوفية **16**
إنخفاض مستوى المياه وإمكانية جفاف الأحواض الجوفية **18**
فوائد إستخدام أساليب الري الحديث (توفير المياه) **19**
الأحواض الحرجة والضخ الجائر للمياه الجوفية **20**
الوضع الراهن لموارد المياه الجوفية والحاجة إلى الرقابة والمتابعة **22**

التقدير الكمي والنوعي لتكاليف التشغيل و معدات وأجهزة الرقابة والمتابعة 23
خاتمة وتوصيات..... 25
المراجع 25
فهرس المحتويات..... 28
فهرس الجداول 29
الاشكال..... 29

فهرس الجداول

جدول (1): كمية الأمطار النوية موزعة بحسب المحافظات (1972-2008)..... 6
جدول (2): المتوسط الشهري للبيانات المترولوجية/ الإرصاد الجوية (1972 - 2008م)..... 8
جدول (3): تقدير كمية مياه الجريان السطحي في المناطق المستهدفة (1984- 2008) 12
جدول (4): متوسط الحصاد المائي في مستجمعات المياه لمختلف المناطق المقاسة (1985-1991)..... 14
جدول (5): توازن المياه الجوفية (مراجعة التقارير السابقة) 15
جدول (6): توازن المياه الجوفية حسب المحافظة ومنطقة المشروع ،..... 16
جدول (7): الموازنة المائية للمياه الجوفية بين الإستخراج والتجدد حسب المحافظة ومنطقة المشروع 17
جدول (8): معدل إنخفاض مستويات المياه في الأحواض المائية باليمن 18
جدول (9): مؤشرات توفير المياه: مقارنة بين نظامي الري الحديث والتقليدي 19
جدول (10): الأحواض الحرجة: معدل استخراج المياه الجوفية ومدى التوازن في إعادة تغذيتها 20
جدول (11): تكلفة التوظيف والبنية التحتية لعملية رصد وتقييم ومراقبة المياه 23
جدول (12): الاستهلاك المتوقع للمياه الجوفية مع أو بدون استخدام تقنيات الري الحديث..... 24

الاشكال

شكل (1): يوضح المتوسط السنوي والموسمي للأمطار بحسب محافظات الجمهورية اليمنية (1972-2008)..... 6
شكل (2): المتوسط السنوي للأمطار ومدى الإنحراف عنه بحسب المحافظات(1972-2008) 7
شكل (3): المتوسط السنوي للأمطار ومدى الإنحراف عنه بحسب المحافظات(1972-2008) 8
شكل (4): المتوسط الشهري لبيانات الأرصاد الجوية في جميع محافظات الجمهورية (1972-2008)..... 10
شكل (5): معدل النتح والتبخر السنوي في محافظات الجمهورية (1972-2008) 10
شكل (6): تقدير مياه الجريان السطحي في المناطق المستهدفة(1984-2008) 13
شكل (7): كمية مياة الامطار المستجمعة وكمية الجريان السطحي وعلاقتيهما بمساحة المناطق الحاصدة بحسب الاودية الرئيسية في اليمن 14
شكل (8): تقييم الوضع المائي القائم في اليمن..... 15
شكل (9): انخفاض منسوب المياه في الطبقات الجوفية الإقليمية باليمن 2006..... 19
شكل (10): المياه الجوفية المستخرجة بالمقارنة مع إعادة تغذية الأحواض حسب المحافظة..... 22