

الخبرة الفنية في المياه

بقلم باراديب أجاروال وعلي بوصحة



الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA تنشر العلوم الخاصة باستخدام خزانات المياه الجوفية في العالم.

إننا نعلم أن الماء ضروري للحياة. وما لا يعرفه الكثيرون هو أن بالإمكان أن يتوفر لكل فرد القدر الكافي من الماء العذب، إذا ما تم فهم طبيعة موارد العالم بشكل جيد وإدارتها بشكل مسئول.

إن الماء هو السبيل الرئيسي لتحقيق التنمية الاقتصادية-الاجتماعية. كما أنه عنصر حاسم في الجهود المبذولة للحد من وطأة الفقر. في إعلان الألفية، قررت الدول الأعضاء في الأمم المتحدة "بحلول عام ٢٠١٥ س يتم خفض من نسبة الأشخاص الذين يعجزون عن الوصول إلى مياه الشرب الصالحة أو تحمّل تكلفتها، إلى النصف" و"وقف الاستغلال غير المستدام لموارد المياه من خلال وضع استراتيجيات خاصة بإدارة المياه على المستويات الإقليمية والوطنية والمحلية، من شأنها تعزيز سبل الوصول العادلة إليها والإمدادات الكافية منها".

إن الزيادة المضطردة في الطلب العالمي على المياه العذبة، مقرونة بالنمو الزراعي والصناعي السريع، تهدد توافر وجودة إمدادات المياه العذبة. وفي وقتنا الحاضر، هناك جزء كبير من سكان العالم وبصفة خاصة في المناطق التي يندر فيها وجود الماء يعاني من نقص الإمدادات الكافية من المياه. ولقد عبر المهاتما غاندي عن المشكلة بشكل رائع وملائم منذ أكثر من ستين عاما مضت عندما قال "توجد مياه تكفي حاجة الإنسان ولكنها لا تكفي جشع الإنسان". وطبقا لتقرير الأمين العام للأمم المتحدة المقدم لمؤتمر القمة العالمية عام ٢٠٠٢ في جوهانسبرغ حول التنمية المستدامة، فإن أزمة المياه العالمية هي أزمة حكومات.

وتقريبا نصف كل المياه العذبة
المستخدمة في الري والشرب في
جميع أنحاء العالم هي مياه جوفية.
ما يربط استدامة موارد المياه الجوفية
باستدامة التنمية البشرية.

ففي أفريقيا، على سبيل المثال، يعتبر نقص سبل الحصول على المياه وتدابير الصحة العامة سببا للفقر ونتيجة للفقر. وعلى الرغم من توفر موارد مياه وافرة في القارة، حيث يوجد نحو ١٧ نهرا كبيرا و١٦٠ بحيرة بمساحة أكبر من ٢٧ كيلو متر مربع - إلا أن أغلب هذه الموارد تقع في المنطقة الرطبة وشبه الرطبة حول خط الاستواء. يقل الانسياب السطحي للأمطار في أفريقيا، في المتوسط، عن متوسط تكثيف البخار وذلك نتيجة لارتفاع معدل التبخير وعملية البخار - النتج أو خروج بخار الماء من النباتات. ويسفر ذلك عن استيطان الجفاف لأجزاء من القارة.

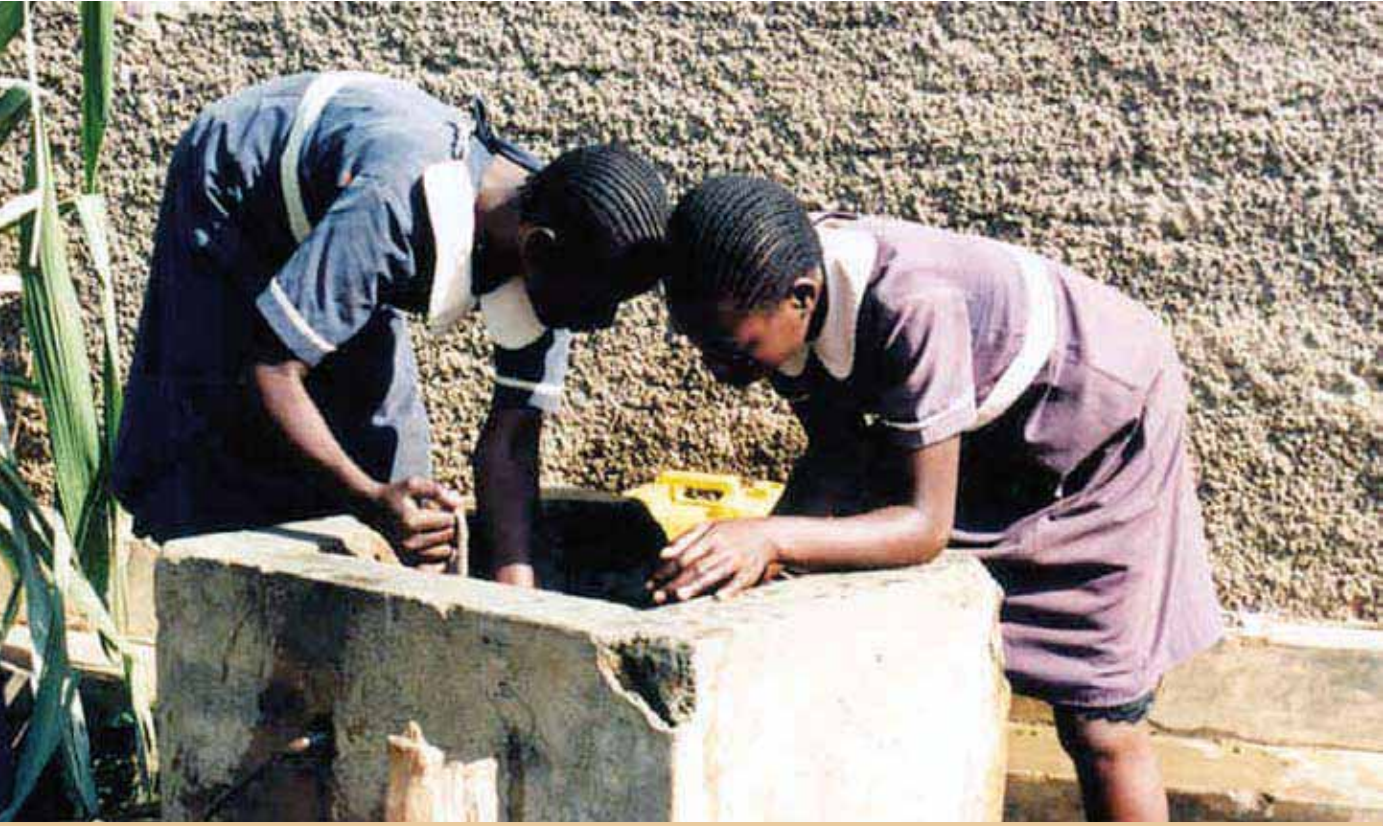
وهذا هو السبب في أن المياه الجوفية في أفريقيا، وهي برك وبحيرات المياه الجوفية في شبكات الخزانات الجوفية، تعد مصدرا بالغ الأهمية. فهي توفر نحو ثلثي مجموع مياه الشرب في القارة، وبنسبة أكبر لشعوب شمال أفريقيا.

وعلى نحو مماثل، تقدر موارد المياه في أمريكا الجنوبية بنحو ٣ ملايين متر مكعب ويستخدم كل عام ما يعادل العشر فقط من إجمالي كمية المياه التي تسهم بها عملية تكثيف البخار. وتكمن المشكلات الرئيسية الكبرى التي تواجهها هذه الدول في الاستخدام الدائم للمياه الجوفية والوقاية من تلوث الموارد المتاحة.

أطواق النجاة في المياه الجوفية

تمثل المياه الجوفية على المستوى العالمي نحو ٩٠٪ من موارد المياه العذبة المتاحة، باستثناء الموارد المتجمدة في الثلج القطبي. وتقريبا نصف كل المياه العذبة المستخدمة في الري والشرب في جميع أنحاء العالم هي مياه جوفية، مما يربط استدامة موارد المياه الجوفية باستدامة التنمية البشرية.

ما يقرب من ٢٠٪ من الري في جميع أنحاء العالم، الذي ينتج ٤٠٪ من إمدادات الغذاء، يعتمد على المياه الجوفية. وهناك تقديرات بأن نحو ١٠٪ من إنتاج الغذاء العالمي قد يكون معتمدا على مياه الري المستمدة من خزانات الحفریات الأرضية أو خزانات المياه الجوفية غير المتجددة. وطبقا لمنظمة الأغذية والزراعة (FAO)، من المحتمل أن يكون استخدام المياه الجوفية في الري على مدى بعض العقود الأخيرة قد أجل حدوث أزمة الغذاء القادمة.



قد يتوفر لكل فرد القدر الكافي من الماء العذب - إذا ما تم فهم طبيعة موارد العالم بشكل جيد وإدارتها بشكل مسئول.

علم هيدرولوجيا النظائر

رغم أهمية المياه الجوفية بالنسبة لعدد كبير من المجتمعات، إلا أن هناك افتقاراً لوجود قلق عام بشأن حمايتها، ولربما بسبب عدم سهولة قياس مدى توافر المياه الجوفية. ومن الاعتبارات الأخرى الهامة تأثير تزايد درجة تغير المناخ الأرضي والفضائي على الموارد المائية. والمياه الجوفية، إلى حد ما، تتيح الفرصة للتخفيف من تأثيرات تغير المناخ.

ولوضع أطر مستدامة لإدارة وسياسة الموارد المائية، فمن الضروري أن يكون لدينا معلومات صحيحة تقوم على علم دراسة المياه حول جودة الموارد المائية وكميتها. ولتوفير مثل هذه المعلومات يتطلب الأمر قدراً هائلاً من الوقت والموارد المالية، ولا يمكن بوجه عام تحقيقه على مدى الوقت القصير الذي يجب فيه تلبية احتياجات المجتمع من إمدادات المياه.

يزود المنهج النووي مع منهج النظائر علماء المياه بأدوات قوية تمكنهم من سرعة تقييم وإدارة الموارد المائية بتكلفة منخفضة بدرجة كبيرة. تستخدم النظائر البيئية المستقرة والمشعة لأكثر من أربعة عقود في دراسة النظم المائية ولقد أثبتت جدواها بصفة خاصة في فهم شبكات المياه الجوفية.

تقوم تطبيقات النظائر في علم المياه على أساس الفكرة العامة الخاصة بـ "الرسم الاستشفاقي" الذي تستخدم فيه إما النظائر الموضوعة عمداً أو

النظائر التي تحدث بشكل طبيعي (البيئية). تتميز النظائر البيئية (سواء كانت مشعة أو مستقرة) بميزة واضحة على المرسات التتبعية المدخلة (الصناعية) في أنها تيسر دراسة مختلف العمليات المائية على نطاق مكاني وزماني أكبر كثيراً من خلال توزيعها بشكل طبيعي في النظام المائي. وهكذا، تنفرد مناهج النظائر البيئية في الدراسات الإقليمية للموارد المائية للحصول على الخصائص الزمانية والمكانية المتكاملة لشبكات المياه الجوفية. إن استخدام المرسات التتبعية الصناعية يتميز عموماً بالفاعلية في التطبيقات المحلية والخاصة بمواقع معينة.

تشمل النظائر البيئية الأكثر استخداماً تلك النظائر ذات الجزيء المائي، الهيدروجين (أي ديوتيريوم وتريتيوم) والأوكسجين (أوكسجين-¹⁸ وكذلك كربون-¹³ وكربون-¹⁴) التي تحدث في الماء باعتبارها عناصر المكونات الكربونية المذابة العضوية وغير العضوية. إن الديوتيريوم والكربون-¹³ والأوكسجين-¹⁸ هي نظائر مستقرة في العناصر الخاصة بها بينما التريتيوم والكربون-¹⁴ هي نظائر مشعة.

ومن بين أهم المجالات التي تكون فيها النظائر مجدية في تطبيقات المياه الجوفية عمليات تعبئة

على تحسين فهم التوزيع العالمي وكميات المياه الجوفية غير المتجددة أو المياه الجوفية الخاصة بالحفريات. تعتمد الأبحاث الاستقصائية على الخصائص التصنيفية لبيانات النظائر التي يتم جمعها من خزانات المياه الجوفية المنتشرة في جميع أنحاء العالم.

على مدى العقود الأربعة الماضية، كان يتم جمع أغلب البيانات اللازمة لرسم الخرائط العالمية لخزانات المياه الجوفية باعتبارها جزءاً من مشاريع التعاون الفني التي تقوم بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA. شيدت هذه المشاريع القدرات والبنية التحتية العلمية الوطنية والإقليمية مع المساعدة في حل القضايا العملية المتعلقة بإدارة المياه السطحية والمياه الجوفية. وفي الوقت الحالي، يوجد أكثر من ٨٠ مشروعاً من مشاريع التعاون الفني التشغيلي تعالج علم مياه النظائر في مناطق إفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية بميزانية معدلة تبلغ نحو ٧ ملايين دولار أمريكي.

وعلى مدى السنوات الأخيرة، تعمل الوكالة الدولية للطاقة الذرية في تعاون وثيق مع الدول الأعضاء على وضع هيدرولوجيا النظائر ضمن الاتجاهات السائدة للبرامج المتعلقة بالموارد المائية الوطنية والدولية، مما سيؤدي إلى استخدام أوسع لطرائق النظائر في إدارة الموارد المائية. وفي وسط المغرب، تم استخدام نتائج النظائر في تحسين نموذج إدارة المياه الجوفية الخاص بـ "سهل تادلا"، وهي منطقة هامة للزراعة. وفي اليمن، فإن بحث المياه الجوفية في حوض صنعاء باستخدام النظائر حدد بوضوح طبيعة ومصدر إعادة شحن شبكات المياه الجوفية الضحلة.

وتفريغ الخزانات الأرضية والتدفق والتوصيلات المشتركة بين الخزانات الأرضية، والمصادر، ومصير ونقل المواد الملوثة. تشكل طرائق النظائر، بصفة خاصة في الأحوال المناخية الجافة وشبه الجافة، النهج الوحيد عملياً لتحديد وقياس كمية إعادة شحن المياه الجوفية.

إن تلوث الخزانات الضحلة والخزانات الأكثر عمقا بملوثات بشرية المنشأ بسبب الاستغلال المفرط للخزانات الضحلة يعد من بين المشكلات الرئيسية في إدارة الموارد المائية. يمكن استخدام النظائر البيئية في تتبع الطرق وتوقع التوزيع المكاني والتغيرات المؤقتة في نماذج التلوث الخاصة بتقييم سيناريوهات ارتفاع التلوث والتخطيط لمعالجة الخزانات.

الخرائط العالمية لخزانات المياه الجوفية في العالم

يهدف برنامج الموارد المائية التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية إلى تطوير طرائق النظائر الخاصة بإدارة الموارد المائية وكذلك مساعدة العلماء على استخدام هذه الطرق بشكل صحيح. يركز جزء كبير من البرنامج على المياه الجوفية. التقديرات الخاصة بموارد المياه الجوفية في العالم هي بوجه عام تقديرات ضعيفة كما أن المعلومات الموثوق بها والخاصة بنسبة المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة هي معلومات ناقصة. تقوم الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA بالتعاون مع منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة (UNESCO) والاتحاد الدولي لعلماء المياه (IAH) بالعمل



ومع توفر المعلومات الصحيحة في متناول اليد، يمكن اتخاذ القرارات الصائبة لحماية موارد المياه الجوفية والحفاظ عليها لأجيال قادمة.

لقد حسن هذا العمل من فهم فعالية التدابير الصناعية لإعادة الشحن، مما يمكن أن يؤدي إلى استخدام خزان حفري أعمق لأغراض الشرب فقط.

وقد ركزت مشاريع التعاون الفني التي تقوم بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في مجال الموارد المائية مؤخراً بشكل أوضح على إقامة شراكات مع هيئات تنمية أخرى. وفي أوغندا، أدى مشروع تم تنفيذه بالتعاون مع "التعاون النمساوي للتنمية" إلى رسم مناطق إعادة الشحن لينايبع "تسوتشو"، بالقرب من مدينة "كيزورو". يتم حالياً تطوير هذه الينايبع باعتبارها مصدراً للمياه العذبة في سائر مناطق الجنوب الغربي. قدمت الأبحاث الاستقصائية للنظائر معلومات فريدة في غاية الأهمية بالنسبة لاستدامة مصدر المياه الجديد.

على مدى العقود الأربعة الماضية، كان يتم جمع أغلب البيانات اللازمة لرسم الخرائط العالمية لخزانات المياه الجوفية باعتبارها جزءاً من مشاريع التعاون التقني التي تقوم بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA.

وفي بنغلاديش، عملت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بالتعاون مع البنك الدولي والحكومة على المساعدة في تطوير بدائل مستدامة لإمدادات المياه الآمنة الصالحة للشرب. وفي الوقت الحاضر، يتم الحصول على جزء كبير من إمدادات المياه المحلية من الآبار الأنبوبية الضحلة التي تسحب من خزان مياه جوفية ملوث بالزرنيخ. ساعدت أبحاث النظائر في تحديد حجم خزان المياه الجوفية الأكثر عمقا ومدى قابليته للتجديد.

تم في الآونة الأخيرة بدء ثلاثة مشاريع تعاون تقني مرتبطة بشبكات خزانات المياه الجوفية التي تتقاسمها عدة دول في أفريقيا، وذلك بالتنسيق مع مرفق البيئة العالمي (GEF) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP). تركز هذه المشاريع على أبحاث مائية النظائر الخاصة بـ:

شبكة الخزانات النوبية للمياه الجوفية التي تتقاسمها تشاد ومصر وليبيا والسودان؛

وشبكة خزانات الصحراء الشمالية الغربية للمياه الجوفية التي تتقاسمها الجزائر وليبيا وتونس؛

وشبكة خزانات لوليميدين للمياه الجوفية التي تتقاسمها مالي والنيجر ونيجيريا.

زيادة المعلومات العامة عن خزان المياه الجوفية في النوبة

يتمتع خزان النوبة للمياه الجوفية الذي تتقاسمه تشاد ومصر وليبيا والسودان بأهمية كبرى كمصدر لمياه الشرب والري. تمتد المياه النوبية

القديمة لنحو مليوني كيلو متر مربع تحت هذه الدول الأربع التي تقع في شمال شرق أفريقيا. ويعد الخزان مصدراً هاماً لمياه الشرب والري وهو المصدر الوحيد للمياه العذبة في صحراء مصر الغربية، التي تغطي نحو ٦٧٪ من إجمالي مساحة الدولة.

تقوم الوكالة الدولية للطاقة الذرية منذ عام ٢٠٠٣ بمساعدة البلدان النوبية على استخدام طرائق النظائر في رسم خرائط الموارد المائية. وما هو معلوم حتى الآن هو أنه في ظل الظروف المناخية الحالية يعاد تجميع مياه النوبة الجوفية بشكل ضئيل متناثر بواسطة نزاه النيل في مناطق قليلة جداً، والتسريب في بعض المناطق الجبلية ومصب المياه الجوفية من شبكة النيل الأزرق/ الصدع الضحل في النيل.

ويهدف برنامج الوكالة الدولية للطاقة الذرية إلى زيادة وترسيخ المعرفة العلمية وقاعدة البيانات حول النوبة وتطوير خطة لإدارة المياه الجوفية تقوم على أساس إنشاء شبكة لمراقبة خزان المياه الجوفية. وإنشاء شبكة إدارة لخزان المياه الجوفية سيعيد بمثابة إسهام هام في تنمية المنطقة وسيؤدي في النهاية إلى إنتاج دائم لمياه الشرب وتحسين الإنتاج الزراعي.

وأقامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA في عام ٢٠٠٣ شراكة مع المرفق العالمي للبيئة (GEF) لتطوير إطار الإدارة الدائمة لخزان النوبة للمياه الجوفية، وذلك باستخدام هيدرولوجيا النظائر. تعمل الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA على مساعدة البلدان النوبية على دراسة وإدارة الإمدادات المشتركة من المياه الجوفية والتي حصلت مؤخراً على منحة ملائمة بقيمة مليون دولار من المرفق العالمي للبيئة GEF، ويقع مقره في واشنطن ويتم تقديم المنحة من خلال برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP. سيقوم التمويل المقدم من المرفق العالمي للبيئة GEF بتوسيع نطاق برنامج التعاون التقني الذي تدعمه الوكالة الدولية للطاقة الذرية، كما سيتمكن الدول التي تستخدم خزان المياه الجوفية من وضع خطة فاعلة لإدارة المياه الجوفية.

من خلال هذه القنوتات وغيرها، يقوم العلم وتطبيقات علم مياه النظائر بتحسين معرفة العالم بشبكة خزانات المياه الجوفية. ومع توفر المعلومات الصحيحة في متناول اليد، يمكن اتخاذ القرارات الصائبة لحماية موارد المياه الجوفية والحفاظ عليها لأجيال قادمة.

باراديب أجاروال هي رئيسة قسم هيدرولوجيا النظائر بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، التابع لإدارة العلوم والتطبيقات النووية.
البريد الإلكتروني: P.aggarwal@iaea.org

علي بو صحة هو رئيس قسم أفريقيا بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، إدارة التعاون الفني.
البريد الإلكتروني: A.boussaha@iaea.org