رسم خرائط النظائر لتلوُّث المياه الجوفية وتجدُّدها

بقلم جويل بودغورسكي، ومايكل بيرغ، ورولف كيبفر

الحصول على مياه جوفية جيدة للشرب والصناعة والزراعة يزداد صعوبةً بسبب نمو السكان، والإفراط في استغلال المياه، واستخدام الأراضي، والتغيُّرات المناخية. وتوفر موارد المياه الجوفية ٥٠٪ من مياه الشرب في العالم و٤٣٪ من المياه المستخدَمة في الري. لكن مستودعات المياه الجوفية القريبة من السطح تتلوث بسهولة بالأسمدة والمبيدات الحشرية، والانسكابات الكيميائية، ومياه الصّرف. وعلاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي الاستغلال المفرط والسحب غير المنضبط للمياه من مستودعات المياه الجوفية إلى فقدان إمدادات المياه بسبب الانخفاض السريع لمستويات المياه.

وتُعدُّ خرائط تعرُّض مستودعات المياه الجوفية مفيدةً لمساعدة المسؤولين عن الموارد المائية في حماية وصَوْن موارد المياه الجوفية. فهي تساعد في تحديد مناطق المناظر الطبيعية الحسّاسة بشكل خاص للتلوث أو الاستغلال المفرط، وبالتالي تساعد في توجيه جهود إدارة المياه واستصلاحها. كذلك يُعَدُّ رسم خريطة تعرُّض المياه الجوفية مفتاحَ دعم الهدف ٦ من أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة، الذي يدعو إلى تأمين المياه المستدامة للجميع، خاصة المياه المأمونة (المقصد ٦-١). ويدعو الهدف أيضاً إلى إدارة متكاملة للموارد المائية (المقصد ٦-٥).

تعرُّض مستودعات المياه الجوفية

من منظور تقني، ثمة طرق عديدة لتقييم مدى تعرُّض أحد مستودعات المياه الجوفية لتلوُّث المياه أو الاستغلال المفرط. وفي الماضي، تمَّ استخدام المعالم الجيولوجية العامة، وبيانات حفر السبر، والبيانات الهيدرولوجية الإقليمية. غير أنها غالباً ما تكون مبهمة أو غير دقيقة أو مفقودة تماماً. كما تمَّ استخدام نماذج الكمبيوتر المعقدة، ولكنها تتطلب بيانات دقيقة وغالباً ما تعاني من تكاليف حسابية عالية ومحدودية توافر البيانات، ونتيجة لذلك تقتصر عادةً على مجالات الدراسة المحدودة.

ويمكن استخدام المؤشرات الكيميائية والتحليلات الإحصائية للربط بين البيانات البيئية المتاحة وتعرُّض المياه الجوفية. وأحد الأمثلة على ذلك هو النترات، وهو ملوِّث مياه تتسبّب به أساساً الزراعة ويتسم بإمكانية قياسه بسهولة وبتكلفة ضئيلة. ولإنشاء خرائط تعرُّض أو حماية المياه الجوفية، يجب أن تكون بيانات الملوِّث (مثل النترات) أو بيانات مؤشر التعرُّض متاحة في مجال اهتمام مناسب لإنتاج خرائط تنبؤية موثوقة ودقيقة.

الخرائط الشبكية

لإظهار أن الخرائط الإحصائية لتعرُّض مستودعات المياه الجوفية فعّالة، أعيدَ تحليل بيانات مستمدة من خريطة تعرُّض حالية في كندا باستخدام منصة تقييم المياه الجوفية (GAP) المجانية على الإنترنت (www.gapmaps.org). وأنتجت خرائط تعرُّض مستودعات المياه الجوفية المستمدة من منصة GAP خريطة دقيقة للتنبؤ باحتمالات تعرُّض مستودعات المياه الجوفية المرتفعة، دون الحاجة إلى جمع الكثير من البيانات من منطقة الدراسة بأكملها.

استخدام التريتيوم لرسم خريطة معدلات تجدّد المياه

تحدث بصورة طبيعية كميات ضئيلة من النظير المشعّ التريتيوم في هطول الأمطار من خلال تفاعل الإشعاع الكوني في الغلاف الجوي العلوي. وخلال تجارب الأسلحة النووية التي أُجريت فوق سطح الأرض بين عامَي ١٩٥٢ و ١٩٦٢، تمَّ حقن كميات ضخمة من التريتيوم في الدورة المائية، والتي أصبحت نتيجة لذلك مؤشراً قابلاً للقياس لتجدُّد المياه الجوفية الحديثة. وعلى الرغم من أن مستويات التريتيوم العالمية في هطول الأمطار قد انخفضت منذ ذلك الحين إلى المستويات الطبيعية السابقة للقنبلة، فإنّ قدرات الكشف التحليلية الحساسة لا تزال تسمح لنا باكتشاف هذا النظير بدقة.

وتتمثل إحدى المزايا الأساسية لاستخدام التريتيوم، أو ^{3}H، في رسم الخرائط في أن هذا النظير هو لبنة أساسية من جزيء الماء ($^{1}H^{3}HO$) وبالتالي فهو موجود في هطول الأمطار. وهذا يعني أن أيّ تريتيوم قابل للاكتشاف في أجزاء أخرى من الدورة المائية — الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية — يكشف عن وجود مياه معاصرة من الأمطار الأخيرة. ويمكن أن يبيّن ذلك لنا أن المياه التي نتعامل معها هي من العقود القليلة الماضية — وهي بيانات يمكن أن نستخدمها في التحديد

يعمل جويل بودغورسكي ومايكل بيرغ ورولف كيبفر في إدارة الموارد المائية ومياه الشرب بالمعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية (Eawag).

والمعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية هو معهد سويسري مختص في بحوث الماء ويهتمّ بمفاهيم وتكنولوجيات التعامل بطريقة مستدامة مع المسطحات المائية والمياه كمورد. وبالتعاون مع الجامعات والمؤسسات البحثية الأخرى والهيئات العامة والصناعة والمنظمات غير الحكومية، يعمل المعهد المذكور مع شبكته العالمية لمواءمة المصالح البيئية والاقتصادية والاجتماعية فيما يتعلق باستخدام المياه.

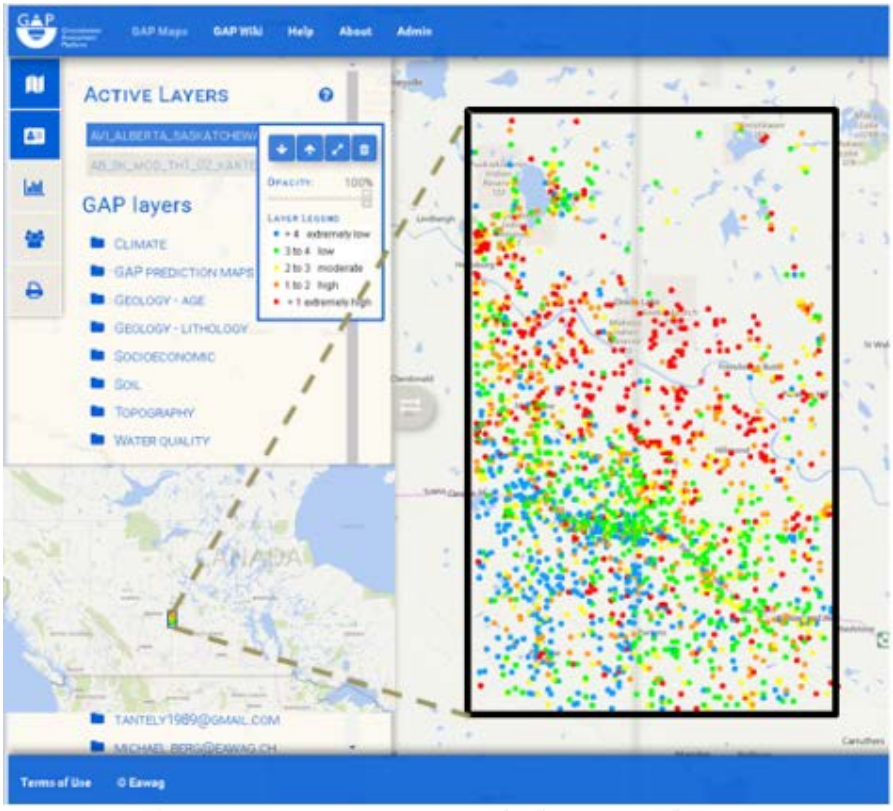
المباشر لقابلية مستودعات المياه الجوفية للتلوّث عن طريق هطول الأمطار ورسم خرائط ذلك، حتى لو لم تكن المياه الجوفية قد تلوّثت من قبل.

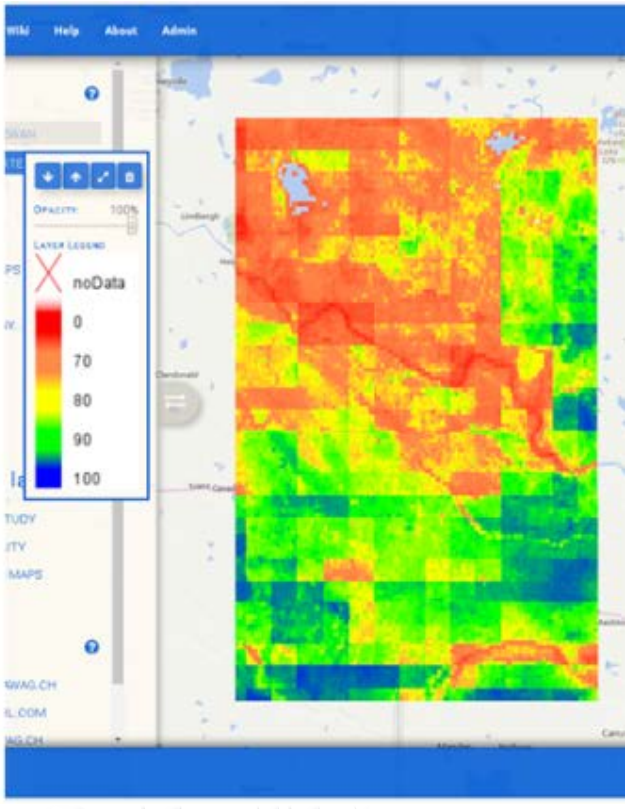
وعموماً لم تُستخدم حتى الآن طرق رسم الخرائط الإحصائية لتقدير مدى تعرُّض مستودعات المياه الجوفية مع قياسات التريتيوم. وذلك لأنّ التريتيوم لا يتمُّ تضمينه عادةً في دراسات المياه الجوفية، ولا يزال التحليل مكلفاً. وفي غضون ذلك، يمكن استخدام معايير جودة المياه أو المعايير النظيرية التي تتسم بسهولة جمعها في رسم خرائط التعرُّض. وعلى سبيل المثال، يمكن أن يساعد أيضاً الكربون-١٤، وتركيب النظير المستقر للمياه (^{2}H, ^{18}O)، والنترات والكلوريد في تقييم عمر المياه الجوفية أو التحقُّق من تعرُّضها للتلوث.

ويمثل رسم الخرائط الإحصائية والشبكية لتعرُّض مستودعات المياه الجوفية وتجدُّد المياه الجوفية باستخدام النظائر والكيمياء تطوراً مهمًّا وتطبيقاً عمليًّا للتريتيوم وما يتصل به من المقتفيات النظيرية الطبيعية. وحاليًّا ثمة إمكانات هائلة في تطبيق مجموعات البيانات العالمية الموسّعة للوكالة على ^{3}H و ^{2}H و ^{18}O، إلى جانب رسم الخرائط الجغرافية الإحصائية الموصوفة أعلاه، على قضايا جودة وكمية المياه الجوفية والسطحية العالمية. وتبذل الوكالة جهوداً جديدة في هذا المجال بالتعاون مع المعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية (Eawag) من أجل إجراء تقييمات تستند إلى الأدلة ورسم خرائط لمياه الشرب المأمونة على نطاق عالمي. مثلما نتوقع استخدام رسم خرائط النظائر لمساعدة الخبراء من جميع أنحاء العالم على إدارة المياه الجوفية بطريقة متوازنة ومستدامة.

دراسة حول مؤشر تعرُّض مستودعات المياه الجوفية من غرب كندا (يسار) مقارنة بخريطة انحسار لوجستية جديدة لقيم مؤشر التعرُّض على منصة GAP عبر الإنترنت (يمين). يُظهر اللون الأحمر المساحات ذات التعرُّض الأكبر. وأما المساحات الخضراء فهي أقلّ عرضةً أو محمية بشكل ملائم من التلوث السطحي.

(الصورة من: المعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية)





كُتب هذا المقال بالتعاون مع أخصائيي الهيدرولوجيا النظيرية في الوكالة.