وثيقة الإرشادات الفنية رقم 3 للمؤشر 6.3.2 الخاص بأهداف التنمية المستدامة (SDG 6.3.2):

المراقبة (الرصد) والإبلاغ عن المياه الجوفية

في إطار المؤشر SDG 6.3.2 المتعلق بنوعية أو جودة المياه المحيطة ، تقدم هذه الوثيقة مزيدًا من الإرشادات الفنية بشأن معالجة التحديات التي تواجه المراقبة والإبلاغ عن المياه الجوفية. وهي مصاحبة لمنهجية خطوة بخطوة وهي واحدة من سلسلة من الوثائق ودراسات الحالة التي توفر إرشادات فنية أكثر تفصيلاً حول جوانب محددة من منهجية المؤشر. تم إنشاء هذه الوثائق استجابةً للتعليقات الواردة من حملة البيانات الأساسية لعام 2017. هذه الموارد وغيرها متاحة على منصة المعرفة الخاصة بالمؤشر 6.3.2 (https://communities.unep.org/display/sdg632).

تستهدف هذه الوثيقة الممارسين الذين يسعون للحصول على مزيد من المعلومات حول كيفية تطبيق منهجية المؤشر للمياه الجوفية وكيفية تعزيز مراقبة المياه الجوفية في بلدهم. الوثيقة:

1. تقدم إرشادات حول تعيين طبقات المياه الجوفية وتحديد مسطحات المياه الجوفية.
2. تستعرض خيارات أخذ عينات المياه الجوفية.
3. تناقش اختيار المعايير والإبلاغ عند المستوى 1 والمستوى 2 عن جودة المياه الجوفية.

المقدمة

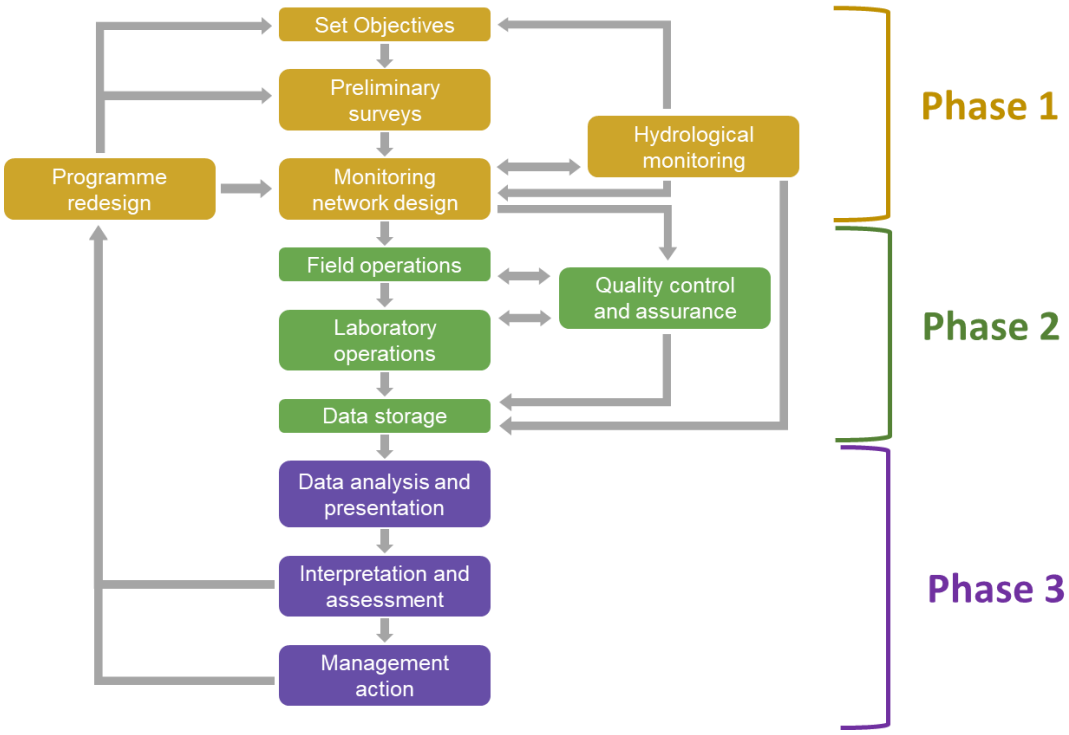
يجب أن توفر بيانات المراقبة التي تم جمعها للمؤشر SDG 6.3.2 معلومات كافية عن الوضع الحالي لجودة المياه المحيطة على المستوى الوطني، ويجب أن تسمح بتحديد الاتجاهات طويلة الأمد. وهذا يتطلب بيانات لمجموعات المعايير الأساسية من المواقع في جميع أنحاء البلاد، ويجب أخذ القياسات بطريقة موحدة ومتسقة. كانت أول حملة بيانات عالمي في عام 2017 أقل إنتاجية بكثير للمياه الجوفية من المياه السطحية، حيث أبلغ عدد أقل من البلدان عن جودة مياهها الجوفية. هذا ليس مفاجئًا وكان سمة مشتركة ومتسقة لمثل هذه الأنشطة في الماضي. تستكشف هذه الوثيقة سبب ذلك ، وتوصي بكيفية تعزيز برامج مراقبة المياه الجوفية لتوفير معلومات أفضل عن جودة المياه المحيطة ، وكيف يمكن جعل الإبلاغ عن المياه الجوفية أكثر قوة وقابلية للمقارنة.

لماذا تعد مراقبة أو رصد المياه الجوفية أكثر صعوبة من المياه السطحية؟

هناك العديد من الأسباب التي تجعل برامج مراقبة جودة المياه لا توفر المعلومات التي يجب أن توفرها. ينبغي اعتبار المراقبة كسلسلة أو دائرة مستمرة (UNECE, 2000) ، بدءًا من احتياجات المعلومات ومروراً باستراتيجية المراقبة ، تصميم الشبكة ، أخذ العينات ، التحليل ، معالجة البيانات ، التحليل والإبلاغ لتوفير المعلومات بطريقة واضحة وفي الوقت المناسب. إذا لم يتم تنفيذ خطوة واحدة أو حلقة في السلسلة (الشكل 1) بشكل مناسب ، فقد تفشل العملية برمتها في توليد بيانات مفيدة. المساهمات المشتركة في عملية الفشل تنشأ من:

- عدم تحديد احتياجات و أهداف المعلومات لبرنامج المراقبة ؛
- عدم مراعاة الإعدادات المادية في تصميم الشبكات ؛
- التخطيط غير الكافي لجمع العينات ومعالجتها وتخزينها وتحليلها ؛
- انعدام مراقبة الجودة (السيطرة النوعية) وضمانها ؛
- سوء إدارة وتفسير البيانات الناتجة ؛
- انعدام المراجعة، استعراض النتائج وتعديل التصميم إذا لزم الأمر.

الهدف المحدد للمؤشر 6.3.2 هو توفير آلية لتحديد ما إذا كانت الجهود المبذولة للحفاظ على نوعية المياه المحيطة وتحسينها تعمل ، باستخدام البيانات المستمدة من برامج المراقبة (الرصد) الوطنية ، والتي سيكون لها أهدافها الخاصة.



الشكل 1: مخطط انسيابي لتصميم برنامج مراقبة جودة المياه. Chapman et al. (2005)

يختلف تحدي مراقبة جودة المياه الجوفية اختلافًا جوهريًا عن ذلك بالنسبة للأنهار والبحيرات (IAH, 2017) .يمكن أن توفر مراقبة االأنهر صورة مركبة لمستجمعات المياه الواسعة ، مما يعمل على التخلص من تأثير العوامل المحلية لمحطة أخذ العينات. والعكس صحيح بشكل عام بالنسبة للمياه الجوفية ، التي يمكن أن يهيمن عليها تأثير العوامل المحلية الخطيرة ، مثل تلوث رأس البئر ، أعماق الآبار ، معدلات الضخ ، مستجمعات المياه الفورية وبروتوكولات أخذ العينات. يمكن أن يؤدي ذلك إلى تشويه الصورة الأوسع لجودة المياه الجوفية لطبقة المياه الجوفية ، ويجب فهمها وأخذها بعين الاعتبار.

بالنسبة للمياه الجوفية ، غالبًا ما يتم استكمال القيود العامة الموضحة أعلاه بنقص في المعرفة الهيدروجيولوجية ، مما يضعف تصميم شبكة المراقبة وتفسير النتائج. يرجع ذلك في بعض الأحيان إلى أن مراقبة المياه الجوفية قد تم تأسيسها من قبل متخصصي المياه السطحية كإمتداد لبرنامج المياه السطحية الموجود دون النظر في الجيولوجيا المائية بشكل مناسب ؛ في كثير من الأحيان لا توجد المعلومات الهيدروجيولوجية اللازمة أو خبرة المياه الجوفية. هذا مهم لأن طبقات المياه الجوفية ، ومسطحات المياه الجوفية التي تحتويها ، عادة ما تكون أكثر تعقيدًا من المياه السطحية وأقل بكثير من الوصول لأخذ العينات. يساهم تعذر الوصول في جذب المياه الجوفية كمصدر للإمداد. إذا كانت طبقات المياه الجوفية أقل سهولة في الوصول إليها ، فمن المرجح أن تتمتع بجودة مياه طبيعية جيدة (مع بعض الاستثناءات) وتكون محمية من الأنشطة الملوثة على سطح الأرض. ولكن بمجرد تلوثها ، فإن الحركة البطيئة للمياه في طبقة المياه الجوفية تعني أن جودة المياه الجوفية يمكن أن تستغرق عقودًا للتعافي.

معظم المياه الجوفية لها فترات إقامة أطول بكثير من المياه السطحية. يتيح هذا وقتاً لإحداث التفاعلات الفيزيائية-الكيميائية بين المياه الجوفية البطيئة الحركة والمواد التي تشكل طبقة المياه الجوفية ، ويمكن أن يتغير التركيب الكيميائي للماء مع تدفقه (Chilton, 1996). من وجهة نظر المراقبة أو الرصد، تعني الحركة البطيئة ، بشكل عام ، أنه يجب أخذ عينات من المياه الجوفية بشكل أقل تكرارًا من المياه السطحية ، ولكن الحصول على صورة نموذجية لجودة المياه الجوفية قد يتطلب كثافة أكبر لأخذ العينات (IAH, 2017). علاوة على ذلك ، فإن عمق طبقات المياه الجوفية وتعقيدها تحت السطح له تأثير كبير على اختيار نقطة أخذ العينات لشبكة المياه الجوفية وتفسير النتائج التي تم الحصول عليها. يمكن أن تؤدي العينات المأخوذة من الآبار القريبة إلى نتائج مختلفة للغاية ، خاصة إذا كانت تسحب المياه من أعماق مختلفة في طبقة المياه الجوفية أو حتى من طبقات المياه الجوفية المختلفة.

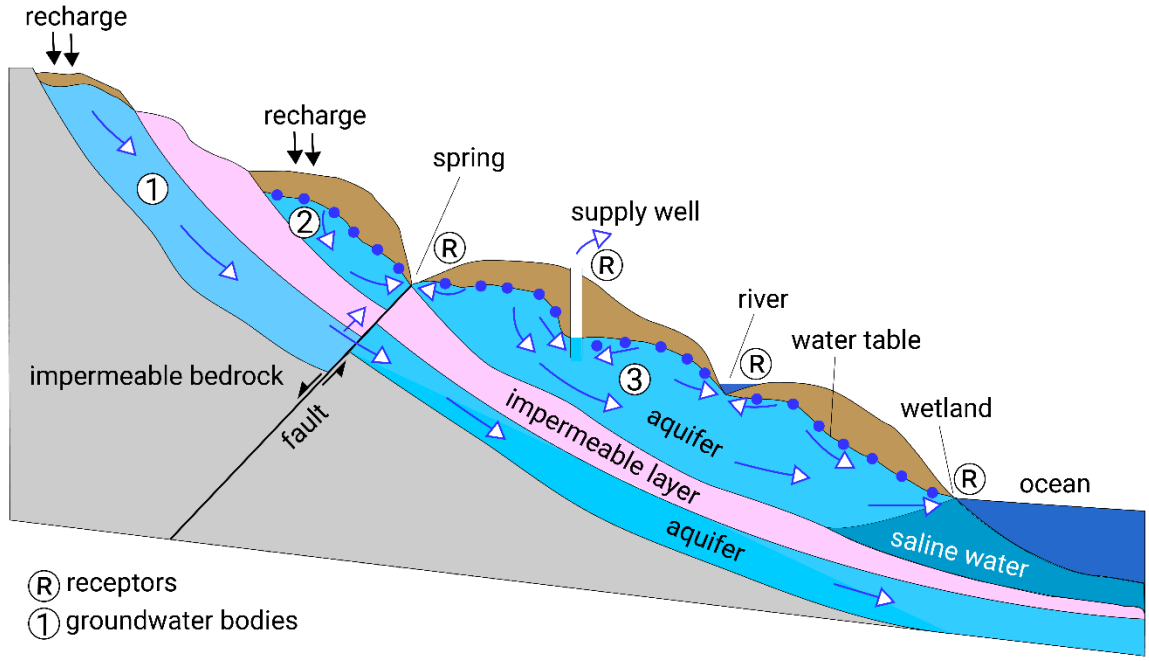
تعيين طبقات المياه الجوفية وتحديد مسطحات المياه الجوفية

تتضمن أول خطوتين لمنهجية المؤشر 6.3.2 منهجية 1) إنشاء مناطق حوض المياه (RBDs) استنادًا إلى أحواض الأنهار و 2) تحديد المسطحات المائية داخلها. بالنسبة للمياه الجوفية ، يعني هذا تحديد موقع طبقات المياه الجوفية المنتجة وكيف يمكن تقسيمها إلى مسطحات للمياه الجوفية. أما بالنسبة للمياه السطحية ، فإن العناصر المعرفة بأنها مسطحات للمياه الجوفية تشكل الوحدات المنفصلة المصنفة إما "جيدة" أو "غير جيدة."

في بعض البلدان ، ولا سيما الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي وغيرها من الدول المتحالفة مع التشريعات البيئية للاتحاد الأوروبي ، تم بالفعل بذل جهود كبيرة من خلال المسوحات الجيولوجية الوطنية أو الوكالات البيئية للوفاء بالتزاماتها بتحديد مسطحات المياه الجوفية. يساعدهم الإرشاد الفني الداعم للتشريع على القيام بذلك بطريقة متسقة وقابلة للمقارنة (EC, 2004) ، لكن متطلبات البيانات والخبرة اللازمة للقيام بذلك كبيرة. ومن المرجح أن يكون لهذه البلدان برامج متطورة جدًا لمراقبة جودة المياه الجوفية ، ويتم تشجيعها على استخدام وحدات الإبلاغ نفسها في الإبلاغ عن المؤشر 6.3.2.

بالنسبة للعديد من البلدان الأخرى ، تُعرف مواقع طبقات المياه الجوفية وأهميتها كمصادر للمياه الجوفية. ومع ذلك ، فإن طبيعة أنظمة تدفق المياه الجوفية في طبقات المياه الجوفية تلك - حيث تأتي المياه الجوفية وتذهب إليها - قد لا تكون معروفة جيدًا وقد لا تكون هناك متطلبات وطنية لتحديد مسطحات المياه الجوفية. قد تكون برامج المراقبة الحالية شديدة التباين من حيث تغطية الشبكة ، مدى ملاءمة نقاط أخذ العينات ، تكرار أخذ العينات واختيار المعايير. قد تعرف دول أخرى أقل عن طبقات المياه الجوفية والمياه الجوفية ، وقد يكون لديها القليل من وسائل المراقبة المنتظمة أو قد تكون معدومة ، وندرة البيانات حول جودة المياه الجوفية. قد لا يكون لدى بعض البلدان بيانات رصد على الإطلاق ، ولكن لديها تطلعات لتطوير برنامج لمراقبة جودة المياه الجوفية.

في جميع هذه الحالات ، كأساس لتحديد طبقات المياه الجوفية وفهم أنظمة تدفق المياه الجوفية ، من الضروري تطوير نماذج هيدروجيولوجية مفاهيمية بسيطة. قد لا تكون هذه أكثر تعقيدًا من خريطة توضح المدى السطحي لبروز طبقات المياه الجوفية المختلفة وغير طبقات المياه الجوفية ، والمقاطع العرضية البسيطة. يجب أن توضح هذه الأقسام أصول المياه الجوفية ، اتجاهات التدفق ومواقع التصريف (الشكل 2). هذا أمر مهم ، لأن مصدر التغذية ، الذي يمكن أن يكون تسللًا من الأمطار أو من المسطحات المائية السطحية ، من المحتمل أيضًا أن يكون مصدرًا لمدخلات التلوث في طبقات المياه الجوفية ، وبالتالي يساهم في تدهور الجودة. وبالمثل ، فإن مواقع التصريف إلى الينابيع، الأنهار، البحيرات أو الأراضي الرطبة، أو إلى آبار المياه ، هي النقاط التي تؤثر فيها نوعية المياه الجوفية الضعيفة على المستقبلات (الشكل 2).

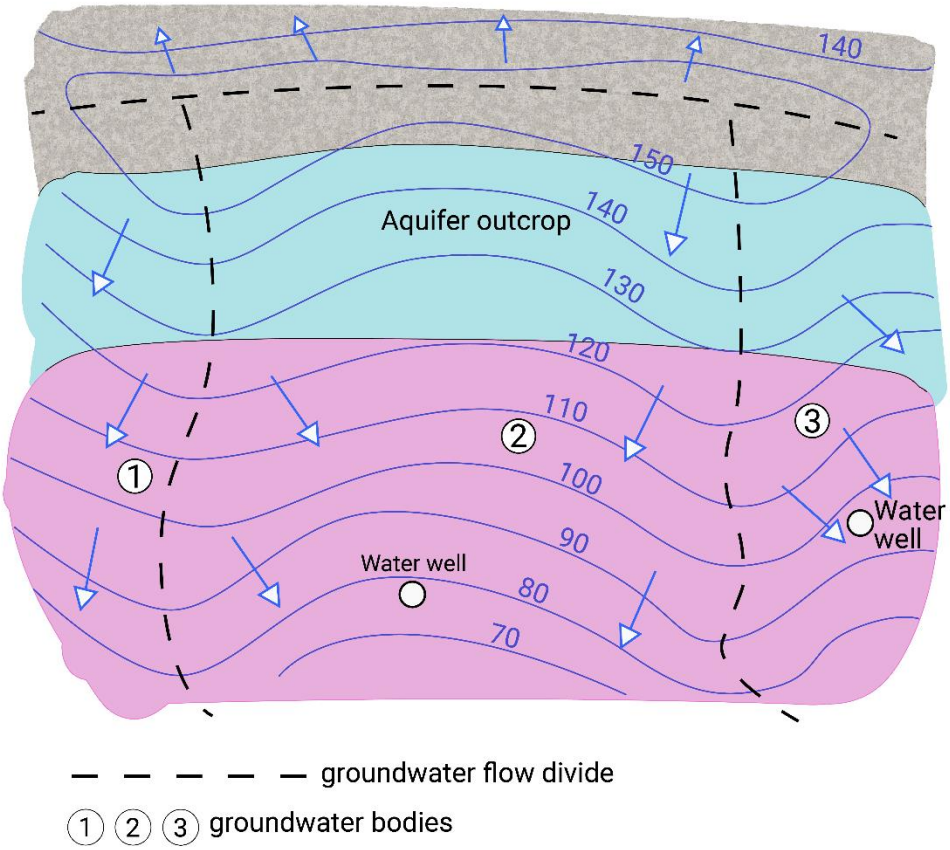


الشكل 2: نموذج هيدروجيولوجي مفاهيمي بسيط للمساعدة في تصور بروزات طبقة المياه الجوفية ، مواقع تغذية المياه الجوفية ، واتجاهات تدفق المياه الجوفية ونقاط التصريف

حتى عندما لا تتوفر النماذج الهيدروجيولوجية المفاهيمية، فإن جميع البلدان تقريبًا لديها خرائط جيولوجية ، ربما تكون معدة للتنقيب عن المعادن أو للتنقيب عن النفط. من هذه ، يمكن رؤية الأنواع الرئيسية للتكوين الجيولوجي وتحديد تلك التي من المرجح أن توفر طبقات المياه الجوفية المنتجة. بالطبع ، يمكن تأكيد ذلك بسهولة إذا تم استخدام طبقات المياه الجوفية على نطاق واسع لتوفير المياه. إذا لم يكن لدى الوكالة المسؤولة عن المراقبة نفسها خبرة في مجال المياه الجوفية ، فيجب طلب الدعم للقيام بذلك من المسح الجيولوجي الوطني ، أو من جامعة محلية أو من شركة استشارية مناسبة.

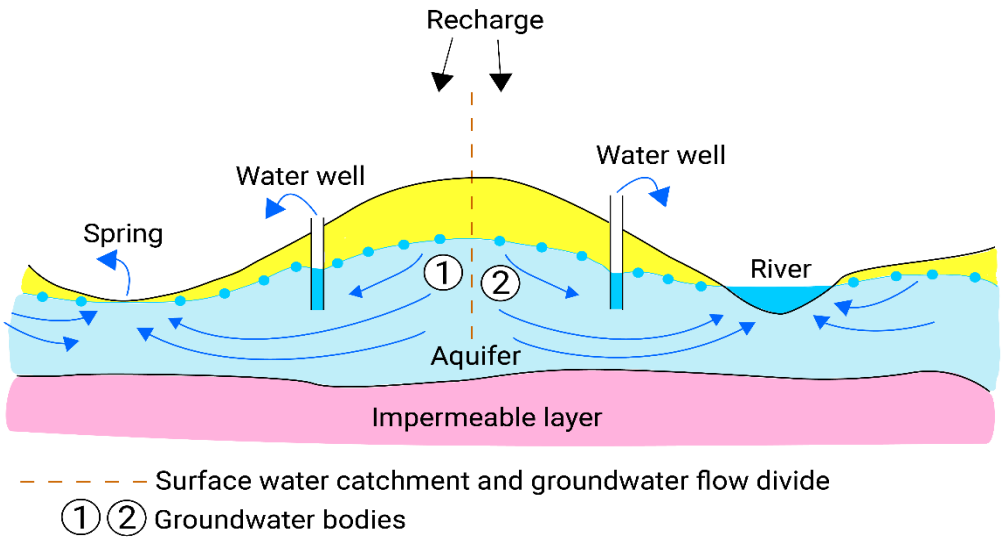
ضمن حدود RBDs القائمة على أحواض الأنهار ، يجب تحديد مسطحات المياه الجوفية للسماح بوصف الجودة المحيطة. تتوخى منهجية المؤشر 6.3.2 أنه ، من الناحية المثالية ، يجب تحديد حجم المسطحات المائية للتأكد من أنها متجانسة من حيث جودة المياه ، ويمكن تصنيفها باستخدام نقاط مراقبة قليلة نسبيًا (وثيقة الإرشادات رقم 1). ومع ذلك ، كما تم توضيحه ، يمكن أن تكون طبقات المياه الجوفية معقدة وبعيدة عن التجانس. عندما يتم تقسيم طبقة المياه الجوفية إلى مسطحات مياه جوفية ، يجب أن تكون أنظمة تدفق منفصلة لا تتحرك فيها المياه الجوفية عبر الحدود. يمكن أن يوفر ما يلي معايير مفيدة لمثل هذا التقسيم .

• في حالة وجود بيانات كافية يمكن من خلالها إعداد خرائط لمستوى المياه الجوفية ، يمكن تحديد المسطحات بفواصل تدفق المياه الجوفية. يوضح الشكل 3 ثلاثة مسطحات مائية جوفية في طبقة مياه جوفية تعلو فوق صخور غير منفذة وتغمس الطبقات المغطاة أدناه. مع ذلك ، على عكس حدود المسطحات المائية السطحية ، فإن حدود مسطحات المياه الجوفية المحددة بهذه الطريقة قد لا تكون ثابتة ويمكن أن تتحرك بشكل موسمي ، استجابة لتغير المناخ والتغذية على المدى الطويل ولآثار الضخ من الآبار بالقرب من الحدود.



الشكل 3. مسطحات المياه الجوفية المحددة بفواصل التدفق

• في حالة عدم توفر هذه البيانات ، يمكن أن تستند الحدود إلى مستجمعات المياه السطحية ، والتي في كثير من الحالات تتبعها انقسامات المياه الجوفية. يوضح الشكل 4 مسطحين من المياه الجوفية تم تحديدها بهذه الطريقة.



الشكل 4: مسطحات المياه الجوفية محددة بمستجمعات المياه السطحية وانقسامات المياه الجوفية

• عندما تجلب الأخطاء الجيولوجية الرئيسية مادة غير منفذة ضد طبقة المياه الجوفية ، مما يحد من تدفق المياه الجوفية ، فقد يشكل ذلك أيضًا حدودًا مناسبة. في الشكل 2 ، تنقسم طبقة المياه الجوفية العليا غير المحصورة إلى مسطحين من المياه الجوفية (أحدهما صغير جدًا) بسبب خطأ كبير. في طبقة المياه الجوفية المحصورة الأساسية ، لا يكون إزاحة الخطأ كافياً لإعاقة تدفق المياه الجوفية.

• في حالة طبقات المياه الجوفية الضحلة الصغيرة نسبيًا التي تشكلت بواسطة رواسب غرينية أو رملية جليدية وتعلوها طبقة صخرية أقل نفاذية، حينها يمكن أن تشكل طبقة المياه الجوفية بأكملها مسطحاً مائيًا جوفيًا.

إن تعقيدات طبقات المياه الجوفية ، أبعادها الرأسية في اختلاف الجودة ، والحركة البطيئة ، تعني أنه حتى من غير المحتمل تمثيل المسطحات الصغيرة نسبيًا من المياه الجوفية بشكل صحيح بواحدة ، أو حتى عدد قليل من نقاط المراقبة.

غالبًا ما تتميز البلدان القاحلة وشبه القاحلة بطبقات المياه الجوفية الواسعة ولكن المياه السطحية قليلة أو معدومة ، بحيث لا تكاد توجد أي حدود لمستجمعات المياه لتعريف أياً من RBD أو مسطح المياه الجوفية. علاوة على ذلك ، غالبًا ما تكون طبقات المياه الجوفية هذه عميقة وسميكة ومستوية مع تدرجات منخفضة من المياه الجوفية ، وتقاس فترات بقاء المياه الجوفية بالقرون بدلاً من العقود. في كثير من الأحيان ، لا يتلقون تغذية كبيرة للمياه الجوفية في ظل الظروف المناخية الحالية. غالبًا ما يتم استغلال موارد المياه الجوفية "الأحفورية" أو غير المتجددة هذه بشكل كبير ، مع وجود تحديات إدارية كبيرة من حيث كمية المياه. ومع ذلك ، فهي محمية بشكل جيد ضد تأثيرات الجودة المحتملة من الأنشطة على سطح الأرض ، ولن تتغير جودة المياه الجوفية إلا ببطء شديد. لذلك ، من المناسب الاستفادة من وحدات الإبلاغ القائمة على طبقة المياه الجوفية للمؤشر 6.3.2 لهذه الإعدادات ، والتي قد تكون أيضًا أحد الأمثلة القليلة على مسطحات المياه الجوفية التي يمكن أن تتميز بعدد صغير من نقاط أخذ العينات.

لكن كلمة تحذير ضرورية. داخل هذه المناطق القاحلة ، توجد أيضًا طبقات مياه رملية وحصوية أصغر حجمًا وأكثر ضحالة ، وغالبًا ما ترتبط بقاع الأنهار الجافة والأودية والواحات. وقد تكون طبقات المياه الجوفية هذه ذات أهمية كبيرة للمجتمعات المحلية فيما يتعلق بإمدادات المياه والزراعة المروية المكثفة ، مع ما قد ينتج عن ذلك من أثر كبير على كمية المياه الجوفية ونوعيتها. قد يكون كل منها عبارة عن مسطح منفصل للمياه الجوفية غير متصل بالتالي وسيحتاج إلى مراقبة أكثر تواترًا تتوافق مع الضغوط المحلية والاستجابات الأكثر سرعة لأنظمة المياه الجوفية الضحلة هذه.

يمكن عبور طبقات المياه الجوفية ، وبالتالي المسطحات المائية الجوفية المحتملة ، بواسطة الحدود الدولية. قد تتلقى طبقة المياه الجوفية التغذية في بلد ما وتنتج تصريفًا في بلد مجاور. مرة أخرى ، يمكن لنماذج المياه الجوفية المفاهيمية أن تساعد في تحديد ما إذا كان من المحتمل حدوث ذلك (Lipponen & Chilton, 2018) ، وإذا حدث ذلك ، فقد يتطلب الأمر تبادل المعلومات عبر الحدود والتعاون في مجال الرصد أو المراقبة.

اختيار نقاط أخذ عينات المياه الجوفية

إذا كان هناك عدد جيد من خيارات أخذ العينات ، فينبغي اختيار الموقع العام لنقاط المراقبة لتعكس قدر الإمكان مسطح المياه الجوفية بأكمله، خاصةً نظام تدفق المياه الجوفية المصدر – المسار - المستقبل الموضح أعلاه. بالإضافة إلى ذلك ، قد تحتاج الشبكة إلى مراعاة توزيع السكان واستخدام الأراضي ، مع كثافات أكبر من نقاط المراقبة حيث تنتشر الضغوط الزراعية والحضرية والصناعية. قد يحتاج الاختيار أيضًا إلى مراعاة العوامل الموضعية الخطرة حول نقطة المراقبة والتي يمكن أن تؤثر على جودة المياه الجوفية وموثوقية أخذ العينات. يجب عدم استخدام أي نقاط مراقبة تتعرض لخطر جسيم بهذه الطريقة.

يؤثر اختيار نوع نقاط أخذ العينات أيضًا على الموثوقية والتمثيل. يمكن أخذ عينات من المياه الجوفية من الآبار الموجودة التي تزود المياه للاستخدامات المنزلية، البلدية، الري أو الصناعية، أو من الينابيع أو من آبار المراقبة المخصصة لهذا الغرض. لكل منها مزايا وعيوب (الجدول 1) فيما يتعلق بالجوانب العملية والتكلفة والجوانب التقنية. كما يجب فهمها أيضًا في سياق البيئة الهيدروجيولوجية المحلية.

الجدول 1 خصائص نقاط أخذ عينات المياه الجوفية المحتملة

نقطة أخذ العينات	المزايا	العيوب
بئر الإمداد البلدي	• رخيصة وسهل لأخذ العينات • تكرار أخذ العينات والزيارات المنتظمة • تصريف عالي ، يمثل الجودة في طبقة المياه الجوفية • المضخات تعمل عادة • قد يكون لديه بيانات السلاسل الزمنية الحالية	• احتمال وجود بنية غير مؤكدة ومصدر للعينة ، مياه مختلطة من عدة أعماق • تأخر زمني طويل محتمل بعد حدوث التلوث • المواقع ثابتة حسب التوزيع السكاني ، انحراف التغطية المكانية • قد لا تسمح البلدية / شركة المياه بأخذ العينات
بئر الري	• كأول ثلاثة أعلاه ، ولكن أقل احتمالا أن يكون لديه سلاسل زمنية حالية	• كأول اثنين أعلاه ، ولكن أقل احتمالا لأمتلاك بيانات البناء • تغطية مكانية منحرفة للمناطق الزراعية • قد تعمل موسميا فقط
بئر صناعي	• بالنسبة للري أعلى بكثير	• بالنسبة لبئر البلدية ، ولكن أقل احتمالا لأمتلاك بيانات البناء
بئر محلي	• رخيصة وسهل لأخذ العينات • تكرار أخذ العينات والزيارات المنتظمة	• تصريف منخفض ومتقطع ، خاصة مع مضخة يدوية • قد يحتاج إلى تطهير لإزالة المياه الراكدة من داخل البئر • قد يتعطل ولا يضخ • قد يكون ضحلًا وأقل تمثيلًا لطبقة المياه الجوفية • عرضة للتلوث المحلي الخطير
آبار الرصد السطحي	• قد يوفر إنذارًا مبكرًا بوصول الملوثات إلى منسوب المياه الجوفية • كرر أخذ العينات بانتظام • من المرجح أن تكون أعمال البناء معروفة بالكامل • يمكن استخدام المواد الخاملة	• تكاليف بناء معتدلة • يحتاج إلى مضخة لجمع العينات • العناية اللازمة لإزالة المياه الراكدة • لا يمثل طبقة المياه الجوفية
مقاييس الضغط متعددة المستويات	• يجب أن يكون البناء معروفاً بالكامل • يمكن استخدام المواد الخاملة • الإنذار المبكر للملوثات عند منسوب المياه الجوفية • قد تشير إلى التقسيم الطبقي العمودي لجودة المياه الجوفية • قد يشير إلى اختلافات عمودية وحركة الماء لأعلى أو لأسفل	• تكاليف بناء عالية • يحتاج متعهد متخصص ومواد • قد يكون من الصعب تثبيته بشكل صحيح بأستخدام سدود جيدة بين فترات أخذ العينات • يتطلب أجهزة أخذ عينات خاصة ومشغل ماهر
الينابيع	• رخيصة وسهل لأخذ العينات • كرر أخذ العينات والزيارات المنتظمة • قد تمثل الينابيع الكبيرة مسطحات كبيرة من المياه الجوفية • قد تحتوي الينابيع المستخدمة في التوريدات العامة على بيانات السلاسل الزمنية الحالية	• عرضة لمصادر التلوث المحلية • قد تكون عرضة لهطول الأمطار المباشر • قد تمثل الينابيع الصغيرة تدفقًا سطحيًا

تعتمد العديد من البرامج الوطنية لجودة المياه الجوفية كليًا ، أو تقريبًا ، على آبار الإمداد الموجودة من أجل الرخص وسهولة أخذ العينات ، وإمكانية الوصول بشكل عام للزيارات المنتظمة ، شريطة أن يكون لدى وكالة المراقبة ترتيب للقيام بذلك مع مشغل الآبار. نظرًا لأن هذه الآبار يتم تشغيلها بشكل متكرر أو حتى أكثر أو أقل باستمرار ، فمن المرجح أن تكون المياه المستخرجة ممثلة لتلك الموجودة في طبقة المياه الجوفية (الجدول 1). وكثيراً ما يكون العيب الأكبر لمثل هذه الآبار هو أنه قد تكون هناك معلومات قليلة أو معدومة حول أعماق الآبار ، الفترات الزمنية والمضخات التي تم فحصها ، مستويات المياه ، مواد البناء ، ومعدلات وأوقات تصريف المضخة. يمكن أن يعيق هذا النقص في البيانات الوصفية تفسير نتائج المراقبة والإبلاغ عنها - قد تجذب بعض الآبار المياه الجوفية الضحلة والملوثة من الجزء العلوي من طبقة المياه الجوفية ، والبعض الآخر من أقسام أعمق أقل تلوثًا ، أو حتى من طبقات المياه الجوفية المختلفة في تسلسل الطبقات. حيثما أمكن ، يجب اختيار آبار المراقبة من تلك التي تتوفر لها بيانات متعلقة بالبناء.

قد يوفر مزيج من الآبار البلدية ، الصناعية والري تغطية شبكة كافية للمناطق الحضرية والزراعية. عندما يوجد القليل أو لا يوجد ري أو تنمية صناعية ، قد يكون أخذ العينات في المناطق الريفية من الآبار المحلية هو الخيار الآخر الوحيد. قد يوفر اختيار المضخات الآلية الصغيرة في المدارس أو العيادات وصولًا منتظمًا وموثوقًا ، وعينات أكثر تمثيلًا ، من الآبار العامة ذات المضخات اليدوية.

غالبًا ما يتم التقليل من قيمة الينابيع كخيار لمراقبة جودة المياه الجوفية ؛ فهي رخيصة ومن السهل أخذ العينات دون عدم الاستقرار الناجم عن جلب المياه الجوفية إلى السطح ، وعادة ما تكون متاحة للزيارات المنتظمة. قد تمثل الينابيع الكبيرة المسطحات المائية الجوفية الكبيرة ولديها تصريفات موثوقة حتى في موسم الجفاف. إن التسربات الصغيرة ذات مسارات التدفق القصيرة والضحلة هي أقل استدامة وأكثر عرضة للتلوث

المحلي ، ويجب تجنبها. في بعض مناطق الحجر الجيري الكارستي ، قد تقتصر حركة المياه الجوفية إلى حد كبير على الشقوق والقنوات المتصلة بتصريفات الينابيع ، وبالتالي قد تكون الينابيع هي خيار المراقبة الواقعي الوحيد.

يتم استخدام الآبار التي تم إنشاؤها خصيصًا للمراقبة في بعض البرامج الوطنية لتحسين تغطية الشبكة في حالة عدم وجود آبار الضخ الحالية، ولتقديم إنذار مبكر بالتلوث الذي يصل إلى منسوب المياه الجوفية قبل أن يؤثر على آبار الإمداد الأعمق. ومع ذلك ، يتطلب استخدامها رأس مالًا كبيرًا وموارد تقنية للبناء ولمضخات أخذ العينات ، وخبرة في أخذ العينات، بما في ذلك تطهير المياه الراكدة (Misstear *et al.,* 2017). وتستخدم هذه الآبار على نطاق واسع لرصد ظروف المياه الجوفية المحلية حول مصادر تلوث المياه الجوفية مثل مدافن النفايات. نادرًا ما يتم استخدام الأجهزة المختصة بالعمق ، بما في ذلك أجهزة قياس الضغط المتداخلة وأجهزة أخذ العينات متعددة المستويات في مراقبة جودة المياه المحيطة على نطاق واسع نظرًا لتكلفتها وتعقيدها في التنصيب وأخذ العينات ، الأمر الذي يتطلب متعهدي حفر مدربين تدريباً عاليًا وفنيي أخذ العينات، على التوالي. يقتصر استخدامها إلى حد كبير على مراقبة المصادر الرئيسية للتلوث ، مثل مدافن النفايات أو الأعمدة الصناعية ، حيث حيث يعد بُعد العمق المحدد جيدًا لتقييم الجودة أمرًا ضروريًا لمراقبة نمو وانتشار العمود أو لتقييم تأثير الإجراءات العلاجية المكلفة .

تكرار أخذ العينات للمياه الجوفية

أما فيما يتعلق بالمياه السطحية (وثيقة الإرشادات رقم 1) ، فيجب أن يراعي تكرار أخذ العينات للمياه الجوفية الأوضاع الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية وتأثيرها على المعدلات المحتملة للتغير في نوعية المياه الجوفية. تقدم البيانات السابقة أو المسح الأولي المعلومات ذات الصلة. من منظور تصميم المراقبة ، من الضروري معرفة ما إذا كانت طبقات المياه الجوفية تتكون من مواد غير مجمعة مثل الرمال والحصى في التكوينات الغرينية أو تكون بشكل تشكيلات مدمجة مثل الحجر الرملي والحجر الجيري. ففي الحالة الاولى، تتحرك المياه الجوفية ببطء بين الحبيبات وفي الحالة الثانية يمكن أن تتحرك المياه الجوفية بسرعة أكبر في الشقوق.

وبالتالي ، يجب أن يكون الحد الأدنى المطلق لأخذ عينات المياه الجوفية مرة واحدة سنويًا ولكن مع مراعاة الاعتبارات التالية لتعديل نظام أخذ العينات على النحو المطلوب. هناك حاجة إلى تكرارات أكثر لا تقل عن مرتين في السنة للمياه الجوفية الضحلة الحساسة للتأثيرات الموسمية من هطول الأمطار ، التغذية ، الضخ ومن الري ، وكذلك تلك المعرضة للتأثيرات الحضرية. يجب أن تؤخذ العينات قبل وبعد موسم الأمطار و / أو في أوقات ارتفاع وانخفاض منسوب المياه الجوفية، مع مراعاة مجموعات المعايير الأكثر استجابة لهذه التأثيرات (الجدول 2) وتوفير الأساس للإبلاغ عند المستوى 1. هناك حاجة إلى تكرارات أكثر لا تقل عن أربع مرات في السنة للحجر الجيري الكارستي. تعتبر طبقات المياه الجوفية الساحلية والجزرية الضحلة حساسة بشكل خاص للتغيرات السريعة في الجودة لأنها غالبًا ما تكون ذات كثافة سكانية عالية ونظام المياه الجوفية يتم تعديله بشكل كبير عن طريق الاستخراج ، مما يسبب أو يخاطر بتسرب المياه المالحة. يمكن الحفاظ على الحد الأدنى من الفاصل الزمني لأخذ العينات مرة واحدة في السنة بالنسبة لطبقات المياه الجوفية المحصورة (الشكل 2) ولأولئك الذين لديهم مياه جوفية قديمة جدًا ولا يتلقون حاليًا تغذية نشطة. في كلتا الحالتين ، من المرجح أن تكون تغييرات الجودة بطيئة جدًا. من غير المحتمل أن تختلف مجموعات المعايير الخاصة بالإبلاغ عن المؤشر 6.3.2 كثيرًا ، ومن غير المحتمل اكتشاف مجموعات أخرى تشير إلى تأثيرات بشرية محددة (الجدول 2). يجب أن يكون هذا الإطار لتحديد تكرارات المراقبة هدفًا لشبكة جديدة أو محسنة لرصد المياه الجوفية ، على الرغم من أنه من المسلم به أن الموارد قد لا تسمح بذلك على الفور.

العمليات الميدانية للمياه الجوفية

العديد من جوانب العمليات الميدانية للمياه الجوفية هي نفس جوانب المياه السطحية ، بما في ذلك اعتبارات الصحة والسلامة. يجب أن يتبع العمل الميداني أيضًا إجراء تشغيل قياسي (وثيقة الإرشادات رقم 1) لضمان الاتساق والموثوقية. إن ترتيبات ضمان الجودة (QA) والسيطرة النوعية (QC) لها نفس القدر من الأهمية بالنسبة للمياه الجوفية ، وتنطبق على جميع الخطوات في برنامج المراقبة (الشكل 1). الملاحظات الميدانية مفيدة لدعم التفسير والإبلاغ ، ويجب أن تتضمن معدل الصب أو التصريف المقدر وطول الفترة الزمنية التي تعمل فيها المضخة ، جنبًا إلى جنب مع رصد الظروف المحيطة بنقطة أخذ عينات المياه الجوفية ، مثلاً أي دليل على آثار تلوث موضعي هائل.

قد تتأثر جودة المياه الجوفية بالظروف الهيدرولوجية والتغيرات الموسمية في مستويات المياه الجوفية وتصريفها. على الرغم من أنه قد يكون من الصعب أو المستحيل الوصول إلى البئر لقياس مستوى المياه الجوفية ، والتي ستضطرب في أي حال بسبب الضخ ، فإن معرفة الاختلافات المحلية في المستوى والمستوى غير المضطرب المحتمل في وقت أخذ العينات ، توفر سياقًا قيمًا لبيانات جودة المياه. قد يتمكن مشغل البئر من توفير مثل هذه المعلومات. في حالة أخذ عينات من الينابيع ، يجب تقدير التصريف ؛ قد يتم تخفيف التصريفات العالية جدًا بعد هطول الأمطار الغزيرة من خلال الجريان السطحي المحلي ولن تكون الجودة بالضرورة ممثلة لتلك الموجودة في طبقة المياه الجوفية.

للتأكد من أن العينة تمثل الماء في طبقة المياه الجوفية ، يجب أن تؤخذ من صنبور أخذ العينات في أعلى الأنبوب بالقرب من رأس المضخة ، بدلاً من الخزان أو الصنبور في نظام توزيع المياه. يمكن أن يؤدي نقل المياه الجوفية من العمق إلى ضغط ودرجة حرارة وظروف أكسجين مختلفة على السطح إلى تغيير طابعها ، وهو أحد أسباب قياس المعايير غير المستقرة في الموقع. بالنسبة للتصريفات المنخفضة أو المتقطعة ، يجب إزالة عمود الماء الراكد في البئر بالمضخة قبل أخذ العينة ؛ توجد إرشادات حول تقدير الحجم المراد إزالته للتأكد من سحب المياه من طبقة المياه الجوفية بدلاً من البئر (ASTM, 2006). يمكن التحقق من ذلك أيضًا من خلال مراقبة الموصلية ودرجة حرارة التصريف حتى تمثل القراءة المستقرة مياه الطبقة الجوفية.

مجموعات المعايير للمياه الجوفية

للحفاظ على قابلية المقارنة العالمية في الإبلاغ عن المؤشر 6.3.2 ، فإن معايير المستوى 1 المقترحة للمياه الجوفية هي الموصلية الكهربائية ، الرقم الهيدروجيني والنترات (الجدول 2) ، والتي ، إلى جانب درجة الحرارة التي يجب قياسها في الحقل بالبئر أو النبع. تمثل هذه الخصائص البسيطة في القياس تأثيرات التملح ، التحمض وتخصيب المغذيات (الجدول 2) التي تكون ذات صلة في كل مكان ، ولكن لا يمكن أن تمثل جميع التأثيرات على جودة المياه الجوفية ، ولا يمكن أن تستند ملاءمة البئر أو النبع لمياه الشرب فقط على تقييم المستوى 1.

الجدول 2: مجموعات المعايير لمراقبة جودة المياه الجوفية (مقتبس من IAH, 2017).

التعليقات وسبب الدمج	المعايير	
مجموعة معايير المستوى 1 للمياه الجوفية للقياس الدوري في جميع المواقف - يعتمد التكرار على خصائص تدفق نظام المياه الجوفية		
قياس التملح ويساعد على تمييز المسطح المائي	التوصيل الكهربائي	**EC**
قياس الحموضة ويساعد على تمييز مسطح المياه الجوفية	حموضة	**pH**
ملوث شائع جداً ، مستقر في ظروف الأكسدة ، قلق صحي للاستهلاك البشري	نترات	**NO_3**
يجب قياس درجة الحرارة (T) وتسجيلها في نفس الوقت مثل المعايير الأخرى ،		
معايير إضافية يمكن من خلالها اختيار الإبلاغ عند المستوى 2 بتكرار أقل بعد التغييرات الملحوظة في تلك المذكورة أعلاه		
سيساعد في تقييم العمليات الهيدروجيولوجية وكشف وتشخيص التغيرات الزمنية الهامة. يمكن أن يكون الكلوريد مؤشرًا حساسًا لمجموعة من التأثيرات الزراعية والحضرية والصناعية	الكاتيونات الرئيسية	**Ca, Mg, Na, K**
	الأنيونات الرئيسية	**Cl, HCO_3 SO_4**
تستخدم EC في المستوى 1 كبديل	مجموع المواد الصلبة الذائبة	**TDS**
الرصد الميكروبيولوجي لمصادر مياه الشرب المصادر المصنفة في خطر من خلال التفتيش الصحي		
بعض المراقبة اللازمة للمصادر التي تستخدم بشكل روتيني بدون تطهير ، ولكن التباين الزمني العالي وصعوبات أخذ العينات يعني أنه يجب دمج هذا مع نهج أخرى ، بما في ذلك التفتيش الصحي لتقييم التعرض للتلوث الميكروبي	القولون البرازي	**FC**
	العقديات البرازية	**FS**
	الإشريكية القولونية	**E Coli**
معايير إضافية مطلوبة في إعدادات هيدروجيولوجية محددة يمكن الإبلاغ عنها في المستوى 2		
ضروري في بعض الظروف الهيدروجيولوجية كمؤشرات للاختلافات في نوعية المياه الجوفية الطبيعية التي تؤثر على صحة الإنسان	فلوريد	**F**
	الزرنيخ القابل للذوبان	**As**
	يورانيوم قابل للذوبان	**U**
فقط في ظروف الأكسدة / الأختزال بشدة	الأمونيوم	**NH_4**
	الحديد القابل للذوبان	**Fe**
	المنغنيز القابل للذوبان	**Mn**
فقط في طبقات المياه الجوفية الكارستية ذات الضغوط الزراعية المكثفة	الفوسفات	**P**
معايير تكميلية تدل على التلوث حيث تم تحديد ضغوط زراعية أو حضرية أو صناعية محددة		
سيتطلب كل معيار بروتوكولات أخذ عينات محددة تستخدم من قبل الموظفين المهرة ، وتحليلها لحدود الكشف المنخفضة جدًا في المختبرات ذات المعدات باهظة الثمن والموظفين المتخصصين	مبيدات الآفات المحددة	
	المواد العضوية المتطايرة المختارة	
	الهيدروكربونات المختارة	
	معادن ثقيلة	
	الملوثات الناشئة	

من مصادر بيانات المستوى 2 المقترحة (وثيقة المقدمة ، الشكل 1) من المرجح أن تكون المعايير الكيميائية الإضافية هي المؤشرات الأكثر فائدة من الضغوط الأخرى على المياه الجوفية ، وأيضًا على الأرجح أن تكون متاحة من برامج المراقبة الوطنية. يقدم الجدول 2 نهجًا هرميًا لاختيار مجموعات المعايير التي تهدف إلى إعلام ودعم إنشاء مراقبة جديدة للمياه الجوفية أو زيادة البرامج الحالية ، والتي يمكن استخدامها أيضًا للإبلاغ عند المستوى 2.

ينبغي أن يرتبط اختيار معايير أخرى للمراقبة والإبلاغ بالضغوط المحلية والإعداد الهيدروجيولوجي (الجدول 2). غالبًا ما يتم تضمين الأيونات الرئيسية بشكل روتيني ويمكن أن تقدم دليلاً على تطور الجودة على طول نظام تدفق المياه الجوفية ، على سبيل المثال حيث يزيد التفاعل مع طبقات المياه الجوفية الكربونية من التمعدن. تم تضمين الجودة الميكروبية في الجدول 2 كتذكير بأن هذا غالبًا ما يكون أحد متطلبات المراقبة الأساسية المتعلقة بالاستهلاك البشري ، على الرغم من أنه ليس متطلباً للجودة المحيطة في المؤشرSDG 6.3.2 . قد تكون الضغوط على المياه الجوفية واضحة بالفعل من جراء التنمية الزراعية أو الحضرية أو الصناعية القائمة وبرامج المراقبة الموجودة ، أو يمكن تحديدها في المسوحات الأولية. وهذا يعني أنه لا توجد إجابة "صحيحة" واحدة وشاملة من حيث اختيار معايير المراقبة ، ولكن الجدول 2 يمكن أن يوفر إطارًا مناسبًا. يجب أن يلاحظ الممارس أن جمع عينات المياه الجوفية قد يتطلب حاويات خاصة أو إجراءات ميدانية ؛ على سبيل المثال ، العينات التي تخضع لتحليل الكاتيون (العناصر الموجبة) و العناصر النزرة يجب ان يتم ترشيحها وتحمضها وتخزينها في حاويات مناسبة لا تؤثر سلبًا على جودة العينة (Misstear *et al*., 2017).

يمكن أن تؤدي الاختلافات في جودة المياه الجوفية الطبيعية ذات الأصل الجيولوجي إلى الإضرار بصحة الإنسان ، وبشكل أساسي الزرنيخ والفلوريد (الجدول 2). قد تكون الآثار الصحية واضحة بالفعل وقد يتم استخدام تدابير التخفيف ، مثل إزالة الزرنيخ والفلوريد من المياه الجوفية المستخرجة. يجب الحفاظ على مراقبة المياه الجوفية لمعرفة ما إذا كانت هناك اتجاهات في الجودة ، مع الأخذ في الاعتبار أن استخراج المياه الجوفية قد يعدل الظروف الجوفية ويشجع على تحريك هذه الملوثات. عندما لا تتواجد المراقبة في البيئات الهيدروجيولوجية حيث تكون هذه المعايير على الأرجح إشكالية ، مثل الأحواض الغرينية الكبيرة للزرنيخ والبركانية ، الوديان المتصدعة ، وبعض مناطق الطابق السفلي البلوري للفلوريد ، فيجب إنشاؤها.

تحديد الهدف للمياه الجوفية

يمكن أن تكون جودة المياه الجوفية المحيطة شديدة التباين بين طبقات المياه الجوفية ، اعتمادًا على الظروف الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية. من المرجح أن تحتوي طبقات المياه الجوفية في المناطق الرطبة والمعتدلة على تمعدن عام منخفض ، كما هو موضح من خلال قيم EC المحيطة المنخفضة، في حين أن تلك الموجودة في المناطق القاحلة ذات التغذية الأقل قد يكون لها قيم EC تصل إلى أربعة أو خمسة أضعاف. تميل قنوات التدفق الطويلة في طبقات المياه الجوفية العميقة أيضًا إلى إنتاج تمعدنات مرتفعة وقيم EC أعلى. وبالتالي ، من المتوقع وجود نطاق من خط الأساس للحالة المحيطة ، حيث لا تمثل قيم EC الأعلى بالضرورة تلوثًا لموارد المياه الجوفية.

قد لا يكون استخدام القيم الإرشادية الحالية لتقييم جودة المياه الجوفية المحيطة لمؤشر SDG 6.3.2 مناسبًا دائمًا. يتمثل نهج تحديد الأهداف في تحديد القيم المستمدة من الخلفية ذات الصلة محليًا أو جودة المياه الجوفية الأساسية. وهذا يعني ، على الأقل بالنسبة للEC ، أن الأهداف الموضوعة لطبقات المياه الجوفية أو لمسطحات المياه الجوفية ، قد تكون أفضل من الأهداف الوطنية. من ناحية أخرى ، بما أن مراقبة النترات والإبلاغ عنها تتعلق بالآثار المحتملة على صحة الإنسان ، فمن المرجح أن تكون الأهداف الوطنية مناسبة.

الخلاصة

تقدم هذه الوثيقة إرشادات فنية محددة بشأن مراقبة جودة المياه الجوفية المحيطة في سياق تطبيق المؤشر 6.3.2 الخاص بأهداف التنمية المستدامة (SDG Indicator 6.3.2). تم شرح التحديات الخاصة بمراقبة المياه الجوفية. يجب تحديد طبقات المياه الجوفية وتحديد مسطحات المياه الجوفية باستخدام نماذج هيدروجيولوجية مفاهيمية بسيطة بناءً على البيانات المتاحة. وتناقش مزايا وعيوب استخدام آبار الإمداد القائمة أو آبار المراقبة الجديدة أو الينابيع لأخذ عينات المياه الجوفية. يمكن استخدام إطار مقترح لمجموعات المعايير لمراقبة المياه الجوفية لتحديد مجموعات المعايير المحتملة للمستوى 2 ولدعم إنشاء أو تحسين مراقبة جودة المياه الجوفية الوطنية.

المراجع

ASTM, 2006. Standard Guide to Purging Methods for Wells Used for Ground-Water Quality Investigations, ASTM Standard D 6452, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

Chapman, D.V., Meybeck, M. and Peters, N.E., 2005. Water Quality Monitoring. In: Anderson, M.G. [Ed.] *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons

Chilton P. J, 1996. Chapter 9: Groundwater. In Chapman, D. [Ed.] *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Second Edition Published by E&FN Spon on behalf of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization and United Nations Environment Programme. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter9.pdf

EC, 2004 Groundwater body characterisation. Technical Report No 2. Available at: https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/activities.htm

IAH, 2017 The UN-SDGs for 2030: Essential indicators for groundwater. Available at: https://iah.org/education/professionals/strategic-overview-series

Lipponen A. & Chilton P. J., 2018. Development of cooperation on managing transboundary groundwaters in the pan-European region: The role of international frameworks and joint assessments. Journal of Hydrology Regional Studies; 20: 145-157.

Misstear B. D. R., Banks D. & Clark L., 2017. Water wells and boreholes, 2nd edition. J Wiley & Sons, UK.

UNECE, 2000 Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwaters. UNECE, Geneva.