Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

30104

الإدارة المستدامة للمياه الجوفية
المفاهيم والأدوات

سلسلة المذكرات الموجزة المذكرة 12

المياه العادمة المدنية كمصدر لتغذية المياه الجوفية
تقييم وإدارة المخاطر والمنافع

2006-2002

المؤلفون (GW•MATE Core Group)
Stephen Foster[1] Héctor Garduño[1] Albert Tuinhof[2] Karin Kemper Marcella Nanni
([1]lead author [2]main supporting author)
"الترجمة إلي العربية: د/ كمال عودة غديف - جامعة قناة السويس - مصر"

كيف ترتبط المياه العادمة المدنية بالمياه الجوفية؟

- لقد استمر التوسع في تصريف مياه الصرف في المدن النامية بشكل متقطع خلال العديد من العقود. حيث تم إدخال أول أنظمة صغيرة في أثناء النصف الأول من القرن العشرين. بالرغم من أن تدبير تصريف مياه المجاري يأتي عادة متأخراً وراء إمداد المياه، فإن النمو السريع في الطلب على المياه المدنية يؤدي إلى إنتاج متزايد بشكل مطرد للمياه العادمة في معظم المدن النامية. وهذا سيُحفز أكثر بأهداف ألفية الأمم المتحدة لتعزيز الصحة العامة. العديد من أنظمة تصريف مياه المجاري تصرف مباشرة إلى ممرات المياه السطحية مع حد أدنى من المعالجة و تخفيف قليل في الموسم الجاف. وهكذا فإن 'المياه العادمة' المتاحة لإعادة الاستخدام في الري يمكن غالباً أن تكون (في الواقع) إلى حد بعيد مخلفات مياه صرف.

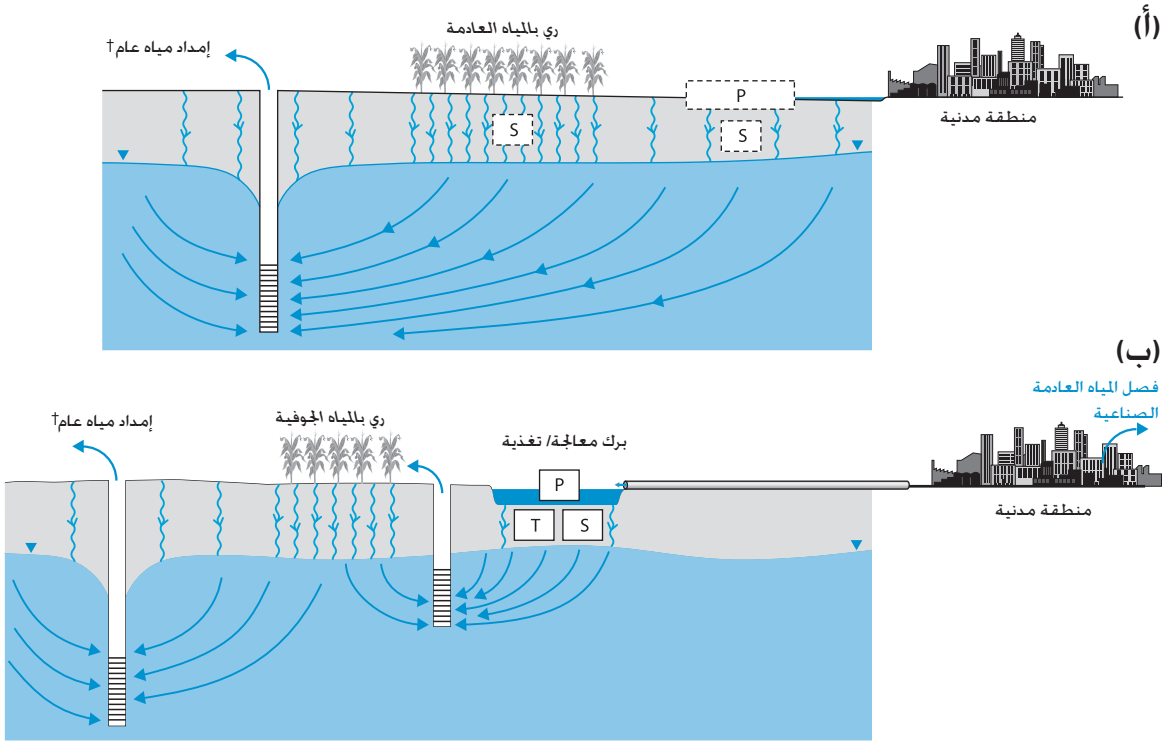
- لقد أصبح واضحا أيضا أن الممارسات الشائعة لمعالجة وإعادة استعمال المياه العادمة في الدول النامية (التي كثيرا ما تكون غير مخططة ومتعذر السيطرة عليها) تُنتج معدلات عالية من التسرب للخزانات الجوفية الموجودة تحتها في الأقاليم المناخية الأكثر جفافا. هذا التسرب العرضي عادة ما يمثل 'إعادة الاستعمال' الأكثر أهمية محليا من ناحية الحجم للمياه العادمة المدنية. غير أنه نادراً ما يتم التخطيط له أو ربما حتى لا يمكن التعرف عليه. هذه العملية علي حد سواء تحسن نوعية المياه العادمة وتُخزنها للاستعمال المستقبلي. غير أنها يمكن أيضاً أن تُلوث الخزانات الجوفية المستخدمة لإمداد المياه الصالحة للشرب. هذا الموضوع له نتائج رئيسية من ناحية النظرات المستقبلية لإدارة المياه العادمة والمياه الجوفية في كثير من المراكز المدنية النامية بسرعة.

- تحدث التغذية بالمياه العادمة بغض النظر عن كون المنطقة الحضرية مخدومة في الأصل سواء بواسطة:
  - مرافق تصريف المجاري في الموقع، بالصرف المباشر للتربة على أساس منتشر عن طريق خزانات الصرف الصحي والمراحيض
  - شبكات الصرف الصحي، مع تصريف المخلفات السائلة سافلة النهر من المركز الحضري وإعادة الاستعمال للري.

تتعامل هذه المذكرة فقط مع الوضع الأخير. اعترافا بالمنافع المحتملة لإعادة استعمال المياه العادمة للري الزراعي وتغذية الخزان الجوفي، سينصب التركيز على تقييم عواقب الممارسات الشائعة للتعامل مع مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها في المدن النامية (شكل 1 أ) وعلى المناهج المتزايدة المُربحة لتقليل خطر تلوث المياه الجوفية (شكل 1 ب).

- يحدث تسرب المياه العادمة إلى المياه الجوفية مباشرة من مرافق معاملة المخلفات السائلة وبشكل غير مباشر من الري الزراعي المفرط في أراضي ضفاف سافلة النهر. لقد تم تنفيذ بحث تحت هذه الظروف في عدد من المناطق (جدول 1)، ويوجد دليل واضح على تغذية المياه الجوفية بمعدلات وحدة أكثر من 1000 مم/سنة. وبالتالي فإنه يمكن الدفع بأن التغذية العرضية الرئيسية للخزان الجوفي موجودة في كل مكان ويجب دائماً توقعها كجزء مكمل من عمليات إعادة استخدام المياه العادمة.

شكل 1: مخططات عامة لتوليد المياه العادمة، والمعالجة، وإعادة الاستعمال بالإضافة إلى التسرب للخزانات الجوفية
(أ) الحالة العشوائية الشائعة الحدوث و المتعذر السيطرة عليها
(ب) التدخلات الاقتصادية التي تستهدف تخفيض خطر تلوث مصدر المياه الجوفية



P/S/T يُشير المربع المنقط إلى عملية عرضية (عشوائية) P = أولي S = ثانوي T = ثلاثي

• محطة معالجة يُمكن أن تحل محل البرك (خصوصاً عندما تكون الأرض ذات قيمة عالية) بشرط أنه يمكن قبول تكلفة استثمار وتشغيل أعلى
† يجب أن يُزود بمراقبة ومعالجة ملائمة

- تعد المياه العادمة شعبية جداً عند المزارعين الأكثر فقراً، بسبب توفرها المستمر،وكذا بسبب الحمل العضوي الكبير والمحتوى العالي من مغذيات النبات. غير أن هناك حالات من الممارسات العشوائية ذات خطر شديد على الصحة العامة، مثل الري بمياه الصرف غير المعالجة وزراعة محاصيل تؤكل طازجة. ربما يكون هناك أيضا مصادر خطر أطول أجلاً إذا ما وجدت بها مخلفات صناعية سائلة، مثل تراكم العناصر السامة (بشكل خاص الرصاص، الكروم، البورون، إلخ.) في التربة، تخفيض خصوبة التربة واحتمال امتصاصها في السلسلة الغذائية. ولكن هذه المواضيع المتداخلة والهامة تقع خارج مجال هذه المذكرة.

إلى أي مدى تعد المياه العادمة مصدر خطر لتلوث المياه الجوفية؟

- يتضمن نطاق ملوثات المياه الجوفية المحتملة في المياه العادمة كائنات دقيقة مسببة للمرض، مواد مُغذية زائدة وكربون عضوي مُذاب، وحيث توجد مخلفات صناعية سائلة هامة،فيجب أن تضاف إليها معادن ثقيلة سامة ومركبات عضوية. على أية حال، فإن التأثير الفعلي على نوعية المياه الجوفية سيتفاوت على نحو واسع طبقاً لما يلي:
  - قابلية تعرض الخزان الجوفي للتلوث (**مذكرة موجزة 8**)
  - نوعية المياه الجوفية الطبيعية وبالتالي استخدامها المحتمل
  - أصل (مصدر) مخلفات الصرف السائلة وبالتالي إمكانية تواجد ملوثات دائمة
  - نوعية المياه العادمة، ومستوى المعالجة والتخفيف بها
  - مقدار تسرب المياه العادمة بالمقارنة مع مقدار الجريان خلال الخزان الجوفي
  - نمط معالجة المياه العادمة والتطبيق على الأرض.

- الممارسات الشائعة لإعادة استخدام المياه العادمة والتي تستخدم خزانات توزيع غير مبطنة و مع الري بالغمر على مستوى الحقل، من المحتمل أن يكون هناك تغلغل هام للبكتيريا والفيروسات المسببة للمرض إلى الخزانات الجوفية في حالات خزانات المياه الجوفية غير المحصورة الضحلة أو تلك المتشققة الموجودة بالقرب من السطح. لكن في معظم الظروف الأخرى فإن تخفيف نطاق التهوية سيكون فعالاً في إزالة أغلب الكائنات الممرضة (شكل 2) قبل أن تصل إلى السطح الحر للمياه الجوفية و (بهذا المعنى) في إنجاز المستوى الثلاثي من معالجة المياه العادمة.

- ومع ذلك، فإنه حتى تحت الظروف المناسبة من ناحية قابلية تعرض الخزان الجوفي للتلوث ونوعية المياه العادمة، فإن عملية تسرب المياه العادمة بمفردها لا يمكنها تحقيق معايير صارمة لنوعية المياه الصالحة للشرب في الخزانات الجوفية الحرة. هذا بشكل رئيسي نتيجة لما يلي:
  - يتجاوز محتوى المياه العادمة من النيتروجين إلى حد كبير احتياجات النبات بالتسرب من الأراضي المروية و تركيزات النترات الناتجة (NO3) بقيم أكثر من 45 ملجم/لتر تظهر في تغذية المياه الجوفية (جدول 1)
  - أينما تتسرب المياه العادمة بشكل مباشر فإن النتروجين النشادري (NH4) بصفة عامة هو نوع النتروجين المستقر ومن المرجح أن يصل إلى مستويات مزعجة (جدول 1)
  - تركيزات الكربون العضوي المذاب المرتفعة (DOC)، عادة ما تتراوح من 3 إلي 5 ملجم/لتر وتبلغ ذروتها عند 6-9 ملجم/لتر (شكل 3)، مقارنة بمستويات الخلفية الطبيعية التي تقل عن 1-2 ملجم/لتر.

- تركيزات الكربون العضوي الذائب (DOC) المُرتفعة هذه تُسبب همين متلازمين ألا وهما:
  - احتمالية تكون مركبات التراي هالوميثانات الضارة (THMs) إذا ما تم تعقيم المياه الجوفية لإمداد مياه الشرب - "المياه الجوفية المُتأثرة" من مناطق البحث كان لديها "تفاعلية DOC" تتراوح من 20 إلى 45 ميكروجراما/ملجم وقد سجلت بعض العينات احتمالية تكون عالية نسبياً لمركبات THM بقيم أكثر من 100 ميكروجرام/لتر.
  - إمكانية أن يتضمن الكربون العضوي الذائب (DOC) أيضاً (بشكل رئيسي الأحماض الدبالية والمتعلقة بها وبعض الاستيرولات، فثالات، فينولات، المنظفات و تشكيلة من "المركبات غير المُعرفة بشكل إيجابي") مستويات ضئيلة من الكيماويات العضوية الصناعية والتي يمكن أن تكون فعلاً ضارة بصحة الإنسان - بالرغم من أن المركبات المُسرطنة، مُفسدات الهرمونات أو الكيماويات الخطرة الأخرى نادرا ما تم تأكيد وجودها في المياه الجوفية.

جدول 1: التركيب المثالي† للمياه الجوفية الأكثر ضحالة المتأثرة بتسرب المياه العادمة في مناطق البحث عند وقت إجراء الدراسة

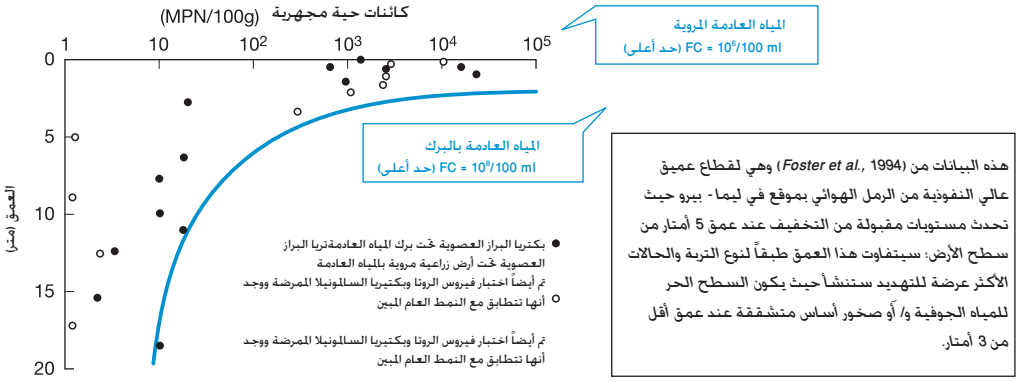
الموقع	مستوى المعالجة	قابلية تعرض الخزان الجوفي للتهديد	بعض المكونات الذائبة المختارة (mg/l)							العناصر الشحيحة
			Na	Cl	NO_3	NH_4	B	DO_2	DOC	
Lima Suburb- Peru^^	أولي أو ثانوي	متوسط	85/90	168/182	85/40	0.8/3.2	n/a	n/a	4/5	n/a
Wadi Dhuleil- Jordan*		عال	*570	*1190	130	1.3	1.2	2	3	Mn, Zn
Mezquital Valley-Mexico	لا شيء، لكن مكافئ للأولي ضمن نظام التوزيع	متغير: عموماً متوسط لكن محلياً عال	240	220	60	0.1 >	0.8	3	4	As
Leon (Gto)- Mexico**			210	340	40	0.1 >	0.3	2	4	Mn, Ni, Cr, Zn
Hat Yai- Thailand		منخفض	40	50	1 >	6.2	0.1>	0	3	Mn, Fe, As

† البيانات من BGS et al., 1998

^^ أُعطيت قيم منفصلة للخزانات الجوفية تحت نُظم برك المعالجة / الحقول المروية تُشير إلى تلك المُكتشفة بتركيزات منخفضة.

* الخزان أيضاً يتعرض لبعض التداخل الملحي. ** المياه العادمة بها مكون صناعي رئيسي. na غير مُحلل

شكل 2: تخفيف (توهين) نطاق التهوية لمسببات الأمراض البرازية من تسرب المياه العادمة



ما أنواع الإجراءات المتاحة لتقليل المخاطر وزيادة المنافع؟

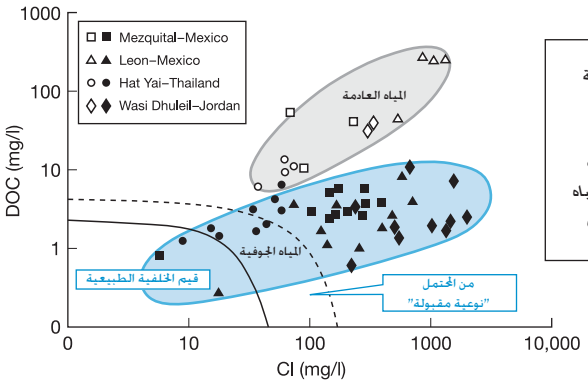
- لأن المياه الجوفية غالباً ما تكون هي المصدر المفضل لإمداد المياه العامة، و تُستغل أيضاً على نحو واسع للاستخدام الصناعي الحساس والمنزلي الخاص، فإن خطر تلوث الخزان الجوفي يعد موضوعا خطيرا. ومع ذلك، فإنه من المحتمل أن يكون قد تم إحداث تقدم ضئيل نحو تقليل هذا الخطر في العالم النامي وذلك ببساطة من خلال الدعوة لتطبيق معايير صارمة للنوعية. في الواقع فإن وجود مثل هذه المعايير يمكن أن يكون ذا نتيجة عكسية، فغالباً ما تقود وكالات الصحة البيئية 'لغض النظر' عن الوضع وذلك لأنهم ليس لديهم قدرة الموظفين والمصادر المالية اللازمة للرد.

- هناك حاجة ملحة لمواجهة حقيقة الممارسات الحالية بشكل براجماتي، بتمييز أينما يمكن أن يكون من الأفضل القيام بالتدخلات المربحة والاستثمارات التزايدية لتقليل المخاطر بالنسبة لمستخدمي المياه الجوفية (شكل 1 ب)، بدلاً من البناء بشكل أعمى لأعمال معالجة مياه الصرف التقليدية والمشكوك في استدامتها التشغيلية. ومن ثم يكون من الضروري متابعة أعمال الأولوية هذه بشكل ثابت (كجزء من حزمة تتضمن أفعالا موجهة نحو قضايا هامة أخرى مثل ضوابط الزراعة، صحة عامل المزرعة وخصوبة التربة)، مع مشاركة ممثلين عن جميع أصحاب المصلحة الريفيين والحضريين ذوي الصلة.

- ستكون الأولوية القصوى دائماً لتحسين وضع المياه العادمة كأداة للمساعدة في تقييم خطر تلوث المياه الجوفية. حيث إن المشاكل المحتملة المرتبطة بالملوثات الدائمة والتي تشكل تهديدا لنوعية المياه الجوفية تصبح واضحة (مثل الملوحة العالية أو بعض الكيماويات العضوية وغير العضوية الصناعية السامة). إن أفضل طريقة ستكون في تقييم نشأتهم ضمن النظام الكلي لتصريف مياه المجاري ودراسة إمكانية السيطرة عند المصدر أو تجميع منفصل ومن ثم التخلص.

- سيعتمد تأثير تسرب المياه العادمة على مصادر معينة لإمداد المياه الجوفية ليس فقط على تأثيره على نظام الخزان الجوفي الضحل، ولكن أيضا على مواقعها بالنسبة إلى منطقة تسرب المياه العادمة، وأعماق مآخذ المياه بها و سلامة إنشاء البئر. بالتحكم الدقيق في مثل هذه العوامل (وتحت الظروف المناسبة من ناحية قابلية تعرض الخزان الجوفي للتهديد ونوعية المياه العادمة)، فإن التوافق بين إعادة استخدام المياه العادمة ومصالح إمداد المياه الجوفية يمكن إنجازه من خلال:
  - زيادة العمق وتحسين الإغلاق الصحي لآبار المياه الصالحة للشرب
  - إقامة مناطق مناسبة لحماية المصدر لمثل آبار المياه هذه
  - زيادة مراقبة المياه الجوفية بالنسبة للمؤشرات التي تم مناقشتها أعلى
  - استخدام آبار الري لاستعادة معظم تسرب المياه العادمة وتقديم 'حاجز هيدروليكي' لحماية إمدادات المياه الصالحة للشرب

شكل 3: تركيزات أيون الكلوريد (Cl) والكربون العضوي المذاب (DOC) في المياه الجوفية من مناطق بحث تسرب المياه العادمة



مدى الزيادات في المياه الجوفية الضحلة فوق قيم الخلفية الطبيعية قد تم توضيحه هنا (البيانات من 1998 ,*BGS et al.*): بعض مخلفات المجاري السائلة لها مستويات ملوحة مرتفعة كنتيجة للتسرب الخارجي إلى شبكات الصرف من ماء تربة نصف مالح و/ أو مساهمات تدفق كبيرة من تصريف صناعي ملحي. ويُمكن أن يُؤدي إلى تغذية المياه الجوفية من تسرب مياه عادمة تحتوي علي تركيزات للكلوريد تزيد عن 250 ملجم/لتر.

- تحسين كفاءة استخدام المياه للري وهكذا تغذية المياه العادمة للخزانات الجوفية الموجودة أسفلها
- الإصرار على وضع قيود على استعمال الآبار المنزلية الخاصة الضحلة.

كيف يمكن أن تتكامل المياه العادمة واستخدام المياه الجوفية في التخطيط المدني؟

- السؤال المتعلق هو كيف يمكن لهندسة المياه العادمة المدنية المستقبلية أن تولي اهتماماً كافياً بمصالح مورد المياه الجوفية. عادة ما تُتخذ القرارات الحالية لمد تغطية شبكات المجاري الرئيسية بناء علي العوامل الاجتماعية والتقنية التالية:
  - قدرة التربة تحت السطحية غير كافية للتخلص من النفايات السائلة نتيجة لوجود طبقات سطحية منخفضة النفوذية و/أو السطح الحر للمياه الجوفية مرتفع. مُسببة عطل وحدات تصريف المجاري وطفحها في موقعها الأصلي
  - تنمية سكنية عالية الكثافة مع وصول غير كاف و/ أو نقص الفضاء اللازم لإزالة البقايا الصلبة من وحدات تصريف المجاري في موقعها الأصلي.

.

- لم يتم إعطاء اهتمام كاف للمشاكل البيئية الجديدة التي ستحدث بإنتاج مخلفات المجاري السائلة، مقارنة بالوسائل الموجودة للصرف الصحي في موقعها الأصلي وإمكانية تحديثها لمعيار بيئي أفضل. وأيضاً لم يوضع تأكيد كاف على قضايا مورد المياه مثل:
  - تقديم إمداد مياه إضافي لأسباب المتعة أو للري الزراعي من خلال إعادة استخدام المياه العادمة في المناطق تعرض الخزان الجوفي للتلوث وهي ذات قابلية منخفضة، كوسيلة للحفاظ على نوعية المياه الجوفية الصالحة للشرب
  - تخفيض دخول المياه الجوفية الملحية إلى شبكات الصرف في المناطق القاحلة
  - تقليل خطر التلوث للآبار الحكومية والخاصة الواقعة ضمن المنطقة الحضرية
  - زيادة احتياجات إمداد المياه اللازمة لتصريف المجاري بواسطة المياه، والتي من المرجح أن يتم الوفاء بها جزئياً من المياه الجوفية
  - إدراك أن تخزين الخزان الجوفي للمياه العادمة المعالجة أولياً غالباً ما سيكون الخيار الأفضل على الإطلاق حيث يُظهر الطلب على مياه الري تغيرا موسميا كبيرا، واستخدام التسرب خلال نطاق التهوية من الخزانات الجوفية للمعالجة الثلاثية للمياه العادمة.

- لتحقيق منهج أكثر تكاملاً فإنه يجب معالجة بعض المسائل المؤسسية الهامة:
  - أية هيئة يجب أن يكون لها المسئولية النهائية لإدارة المياه العادمة؟
  - ما هي الالتزامات القانونية الخاصة بكل من مُستعملي المياه العادمة ومُنتجيها ؟
  - كيف يمكن إدخال قاعدة أوسع لاستشارة أصحاب المصلحة على أحسن وجه؟
  - كيف يجب أن تراعي رخص تصريف المياه العادمة عوامل إعادة الاستخدام؟
  - كيف يمكن أن يُنفذ التدريب على علاقات المياه الجوفية والمياه العادمة بشكل أفضل؟

- السؤال المتعلق هو كيف يمكن لهندسة المياه العادمة المدنية المستقبلية أن تولي اهتماماً كافياً بمصالح مورد المياه إن بُعد المياه الجوفية لهذا الحد ما زال في أغلب الأحيان أحد 'الحلقات المفقودة'. فالتغذية العرضية الرئيسية للخزانات الجوفية خلال معاملة وإعادة استخدام المياه العادمة واسعة الانتشار جداً لدرجة أنه يجب التفكير فيها دائماً كجزء مكمل من إدارة المياه العادمة. وهكذا يُخطط لها وفقا لذلك. يجب إطلاع أولئك المسئولين عن المياه العادمة وتوعيتهم بمنافع تغذية المياه العادمة للخزانات الجوفية ومخاطر ها. وكيف تتباين البيئات الهيدروجيولوجية بالنسبة لقابلية تعرض الخزان الجوفي للتلوث. ونتيجة لتلك الأنماط ونسب التحميل الآمنة للمياه العادمة. سيكون من الضروري وجود مجال أقوى من التخطيط البلدي لمواجهة الأسوأ (والأقل استدامة) من الممارسات السابقة لكي يتم تفاديها في المستقبل.

قراءات إضافية

- BGS, CNA, SAPAL, WAJ, DMR and PSU. 1998. Protecting groundwater beneath wastewater recharge sites. *BGS Technical Report WC/9839/*.
- Bouwer, H. 1991. Groundwater recharge with sewage effluent. *Water Science & Technology 23: 2099–2108*.
- Dillon, P. J. 2002. Management of aquifer recharge for sustainability. *Proc. 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater* (Adelaide, September 2002). Balkema Publishers. Rotterdam, Netherlands
- Foster, S. S. D., Gale, I. N. and Hespanhol, I. 1994. Impacts of wastewater reuse and disposal on groundwater. *BGS Technical Report WD/9455/*.
- Foster, S. S. D., Lawrence, A. R. and Morris, B. L. 1997. Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies. *World Bank Technical Paper 390*. Washington, D.C., USA.
- George, D. B., Leftwhich, D. B., Klein, N. A. and Claborn, B. J. 1987. Redesign of a land treatment system to protect groundwater. *Journal of Water Pollution Control Federation* 59: 813–820.
- Idelovitch, E. and Michail, M. 1984. Soil-Aquifer Treatment—a new approach to an old method of wastewater reuse. *Journal of Water Pollution Control Federation* 56: 936–943.
- Jimenez, B. and Garduno, H. 2002. Social, political and scientific dilemmas for massive wastewater reuse in the world. In AWWA Publication *Navigating Rough Waters—Ethical Issues in the Water Industry*.

ترتيبات النشر

هذه السلسلة من المذكرات الموجزة (GW•MATE) تصدر عن البنك الدولي بمقره في واشنطن العاصمة - الولايات المتحدة الأمريكية. وهي متاحة أيضاً في شكل إلكتروني على موقع البنك الدولي الخاص بالموارد المائية على شبكة الإنترنت (www.worldbank.org/gwmate) والموقع الإلكتروني للشراكة العالمية للمياه (www.gwpforum.org).

وتعبر النتائج والتفسيرات والاستنتاجات الواردة في هذه المذكرة عن وجهة نظر المؤلفين الخالصة ويجب ألا تنسب على أي وجه إلى البنك الدولي أو أي من المنظمات التابعة له أو إلى أعضاء مجلس مديريه التنفيذيين أو البلدان التي يمثلونها.

تمويل الدعم والمساندة

يتم تمويل عمل الفريق الاستشاري لإدارة المياه الجوفية. وهو أحد مكونات برنامج الشراكة بين البنك الدولي وهولندا (BNWPP). من موارد الصناديق الاستئمانية التي تتيحهما الحكومتان الهولندية والبريطانية.