إرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بشبكات المياه والصرف الصحي

مقدّمة

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (**EHS**) هي وثائق مرجعية فنّية تتضمن أمثلة عامة وأمثلة من صناعات محددة على الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة (**GIIP**).[1] وحين تشارك مؤسسة واحدة أو أكثر من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي في أحد المشروعات ينبغي تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة هذه حسب مقتضيات السياسات والمعايير التي تعتمدها تلك المؤسسة. وتستهدف هذه الإرشادات بشأن قطاع الصناعة أن يتم استخدامها جنباً إلى جنب مع وثيقة **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، التي تتيح الإرشادات لمن يستخدمونها فيما يتعلق بالقضايا المشتركة في هذا المجال والممكن تطبيقها في جميع قطاعات الصناعة. وبالنسبة للمشروعات المُعقّدة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنيّة. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع:

http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines

وتتضمّن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي يمكن للتكنولوجيا الحالية أن تحققها في المنشآت الجديدة بتكلفة معقولة. وقد يشمل تطبيق هذه الإرشادات في المنشآت القائمة وضع أهداف وغايات خاصة بكل موقع على حدة، مع اعتماد جدول زمني مناسب لتحقيقها.

وينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة بما يتناسب مع المخاطر والتهديدات المُحددة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حدة ومنها: الوضع في البلد المُضيف، والطاقة الاستيعابية في البيئة المعنيّة، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن تستند تطبيق التوصيات الفنّية المحددة إلى الرأي المهني المتخصّص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

وحين تختلف اللوائح التنظيمية المعتمدة في البلد المضيف عن المستويات والإجراءات التي تنص عليها هذه الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة، فمن المتوقع من المشروعات تطبيق أيهما أكثر صرامة. وإذا كانت المستويات أو الإجراءات الأقل صرامة من المنصوص عليه في هذه الإرشادات هي الملائمة – في ضوء أوضاع المشروع المعني – يحتاج الأمر إلى تبرير كامل ومُفصّل بشأن أية بدائل مُقترحة في إطار التقييم البيئي للموقع المحدد. وينبغي أن يُبيّن ذلك التبرير أن اختيار أي من مستويات الأداء البديلة يؤمّن حماية صحة البشر والبيئة.

1 هي من حيث تعريفها ممارسة المهارات والاجتهاد والحصافة والتبصّر المُتوقعة على نحو معقول من المهنيين ذوي المهارات والخبرة العملية في النوع نفسه من العمل وفي الأوضاع نفسها أو المماثلة بشكل عام. وقد تشمل الأوضاع التي يمكن أن يجدها المهنيّون من ذوي المهارات والخبرة العملية عند قيامهم بتقييم مجموعة أساليب منع ومكافحة التلوّث المُتاحة لأحد المشروعات – على سبيل المثال لا الحصر – مستويات مختلفة من تدهور البيئة ومن الطاقة الاستيعابية البيئية، مع مستويات مختلفة من الجدوى المالية والفنّية.

التطبيق

تتضمن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل شبكات المياه والصرف الصحي معلومات ذات صلة بتشغيل وصيانة (1) شبكات/ أنظمة معالجة مياه الشرب وتوزيعها (2) تجميع مياه الصرف الصحي بشبكات/ أنظمة مركزية (مثل شبكات تجميع المجاري المستخدمة فيها المواسير) أو أنظمة لامركزية (مثل خزانات الفضلات الأرضية التي تخدمها لاحقاً عربات ذات مضخات) ومعالجة مياه الصرف الصحي المجمعة في محطات مركزية. [2]

وهذه الوثيقة تم تنظيمها وفق الأقسام التالية:

القسم 1.0: الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها
القسم 2.0: مؤشرات الأداء ورصده
القسم 3.0: ثبت المراجع والمصادر الإضافية
الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

1.0 الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

1.1 البيئة

تحدث القضايا البيئية المتعلقة بمشاريع المياه والصرف الصحي أثناء مرحلتي الإنشاء والتشغيل خاصة، تبعاً للخصائص والمكونات المرتبطة تحديداً بالمشروع. وتتيح **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة المرتبطة بالأنشطة الإنشائية كما قد تنطبق نموذجياً على إنشاء الأشغال المدنية.

1.1.1 مياه الشرب

سحب المياه

تتضمن المصادر التقليدية لغرض معالجة مياه للشرب المياه السطحية للبحيرات، والجداول، والأنهار، الخ، وكذلك مصادر المياه الجوفية. وحين لا تتوفر مياه سطحية أو جوفية بنوعية ملائمة يمكن استخدام مصادر أخرى للمياه كمياه البحار أو المياه المائلة للملوحة، الخ، لإنتاج مياه صالحة للشرب. وكثيراً ما ينطوي إيجاد مصادر مياه على موازنة التنافس الكيفي والكمي بين ما يحتاجه البشر وما تحتاجه بقية مكونات البيئة. ويمثل ذلك قضية يشوبها تحدٍ خاص حين ينعدم التحديد الواضح لحقوق المياه، والتي يجب حلها بمشاركة الأطراف المعنية قبل تصميم المشروع وتنفيذه.

وتتضمن التدابير الموصى بها للوقاية من الآثار البيئية المرتبطة بعمليات سحب المياه والحد منها والسيطرة عليها، وكذلك لحماية نوعية المياه، الآتي:

- تقييم التأثيرات المعاكسة المحتملة لسحب المياه السطحية على الأنظمة الإيكولوجية الموجودة نحو المصب، واستخدام تقييم التدفق البيئي الملائم [3] لتحديد معدلات السحب المقبولة؛
- تصميم الهياكل المتعلقة بعملية سحب المياه السطحية بما يحد من الآثار المناوئة على الحياة المائية، بما في ذلك السدود، ومنشآت سحب المياه. وعلى سبيل المثال:
  - الحد من السرعة القصوى المصممة لسحب المياه عبر وسائل التصفية (الاحتجاز) للحد من سحب الكائنات المائية معها
  - تجنب إقامة منشآت سحب المياه في مواطن الأنظمة

2 لا يمتد مجال هذه الوثيقة ليشمل مراحيض الحفرة والأنظمة اللامركزية الأخرى التي لا تتطلب خدمة ومعالجة لاحقة لمحتوياتها في محطات معالجة مركزية.

3 World Bank Water Resources and Environment Technical Note C.1 – Environmental Flow Assessment: Concepts and Materials.

الإيكولوجية الحساسة. وإذا كانت هناك أجناس مهددة، أو معرضة للخطر، أو محمية في منطقة التأثير الهيدروليكي لعملية سحب المياه السطحية فلابد من خفض ارتطام وسحب الأسماك والصدفيات باستخدام تكنولوجيات كالشبكات الحاجزة (موسمياً أو طوال العام)، والمصافي، وأنظمة حواجز المرشحات المائية

- تصميم هياكل احتواء وتحويل للمياه لتلافي إعاقة حركة الأسماك والكائنات المائية الأخرى ولمنع الآثار المعاكسة على نوعية المياه
- تصميم صمامات منافذ السدود بقدرات كافية لإطلاق التدفقات البيئية الملائمة

- تجنب إقامة آبار للإمداد بالمياه ومنشآت سحب المياه في مواطن الأنظمة الإيكولوجية الحساسة؛
- تقييم الآثار المعاكسة المحتملة لعملية سحب المياه الجوفية، بما في ذلك إعداد واستخدام نماذج لتغيرات مناسيب المياه الجوفية والآثار الناتجة على تدفقات المياه السطحية، والهبوط المحتمل للأراضي، وتعبئة الملوثات وتداخل المياه المالحة. كما يجب تعديل معدلات الاستخراج (السحب) ومواقعه كما يلزم للحيلولة دون وقوع آثار معاكسة غير مقبولة في الوقت الحاضر أو في المستقبل، مع الأخذ في الاعتبار الزيادات الواقعية في الطلب في المستقبل.

معالجة المياه

تتضمن القضايا البيئية المرتبطة بمعالجة المياه ما يلي:

- النفايات الصلبة
- المياه المستعملة
- الكيماويات الخطرة
- الانبعاثات الهوائية
- الآثار الإيكولوجية

النفايات الصلبة

تشمل بقايا النفايات الصلبة التي تولدها عمليات معالجة المياه بقايا العمليات، وأغشية الترشيح المستهلكة، والوسائط المستهلكة، والنفايات المتنوعة. والمكونات الرئيسية لبقايا العمليات هي المواد الصلبة (الجوامد) المعلقة المترسبة الناتجة من المياه المنبع والكيماويات المضافة لعمليات المعالجة، كالكلس (الجير) والمخثرات. وتنتج جميع عمليات ما قبل الترسيب، والتخثير (مثلاً، بهيدروكسيد الألمنيوم أو هيدروكسيد الحديد)، والتيسير الكلسي، وإزالة الحديد والمنجنيز، والترشيح الرملي البطئ والترشيح بالتراب الدياتومي - رواسب (أي حمأة). وتعتمد مكونات الحمأة على عملية المعالجة وخصائص مياه المنبع، وقد تحتوي على الزرنيخ والفلزات/ المعادن الأخرى، والنويدات المشعة، والكلس، والبوليمرات، والمركبات العضوية الأخرى، والكائنات الحية الدقيقة، الخ. وعادة ما تنتج الأغشية التالفة أو المستهلكة من أنظمة معالجة المياه المستخدمة في تحلية المياه. وقد تشتمل الوسائط المستهلكة على وسائط الترشيح (بما فيها الرمال، أو الفحم، أو التراب الدياتومي الناتجة من وحدات الترشيح)، وراتنجات التبادل الأيوني، وحبيبات الكربون المنشط، الخ.

تشمل التدابير الموصى بها للتعامل مع النفايات الصلبة الناتجة من عمليات معالجة المياه ما يلي:

- تقليل كمية الجوامد الناتجة من عملية معالجة المياه من خلال الوصول بعمليات التخثير إلى المستوى الأمثل؛
- التخلص من حمأة الكلس (الجير) باستخدامها في الأراضي إن كان مسموحاً به، مع تحديد معدلات الاستخدام بحوالي 20 طناً متربياً جافاً لكل هكتار (9

أطنان مترية جافة لكل فدان) للحد من احتمال تعبئة المعادن في أنسجة النباتات والمياه الجوفية؛ [4]

- التخلص من حمأة الحديد والألمنيوم باستخدامها في الأراضي، إن كان مسموحاً به وإن أمكن الاستعانة بالنماذج والعينات لبيان أن هذا الاستخدام ليست له آثار معاكسة على المياه الجوفية أو السطحية (مثلاً، من المغذيات المنسابة). وموازنة استخدام حمأة الحديد والألمنيوم لتثبيت الفوسفور (مثلاً، من استخدام الروث في عمليات تربية الحيوان) دون التسبب في تسمم النبات (من الألمنيوم)، أو زيادة مستويات الحديد عن مستويات التخليط بالمعادن في الأسمدة، أو انخفاض مستويات الفوسفور المتاحة انخفاضاً شديداً؛
- تقييم الآثار المحتملة على التربة والمياه الجوفية والسطحية في سياق توفير الحماية والمحافظة والاستدامة طويلة الأجل للمياه والموارد من الأراضي عند استخدام الأراضي في إطار أي نظام لمعالجة النفايات أو المياه المستعملة؛
- ربما برزت الحاجة إلى التخلص من الحمأة بطريقة خاصة إذا كانت مياه المنبع تحتوي على مستويات مرتفعة من المعادن السامة كالزرنيخ والنويدات المشعة، الخ؛
- إعادة إنتاج الكربون المنشط (مثلاً، بإعادة الكربون المستهلك إلى المورّد).

المياه المستعملة

تشمل المياه المستعملة الناتجة من مشاريع معالجة المياه ماء المرشحات الراجع، والمياه المرفوضة في عمليات الترشيح بالأغشية، والمحاليل الملحية الناتجة من عمليات التبادل الأيوني أو إزالة المعادن. وقد تحتوي هذه المياه المستعملة على جوامد معلقة ومواد عضوية من المياه الخام، ومستويات عالية من الجوامد المذابة، ونسبة حموضة مرتفعة أو منخفضة، ومعادن ثقيلة، الخ.

تتضمن الإجراءات الموصى بها للتعامل مع النفايات السائلة بالمياه المستعملة ما يلي:

- إن استخدام النفايات المحملة بتركيزات عالية من الجوامد المذابة في الأراضي مفضل بوجه عام على تصريفها في المياه السطحية، شريطة أن تخضع هذه النفايات لتقييم للآثار المحتملة على التربة والمياه الجوفية والسطحية والتي تنتج عن هكذا استخدام؛
- إعادة تدوير ماء المرشحات الراجع في العملية، إن أمكن؛
- معالجة مجاري المياه المرفوضة والتخلص منها، بما فيها المحاليل الملحية، طبقاً للمتطلبات الوطنية والمحلية.

وتشمل خيارات التخلص الإعادة إلى المصدر الأصلي (مثلاً، المحيطات، ومصادر المياه المائلة للملوحة، الخ) أو الصرف في شبكة مجاري المنطقة الحضرية، والتبخير، والحقن في المياه الجوفية.

الكيماويات الخطرة

قد تنطوي معالجة المياه على استخدام مواد كيماوية لأغراض التخثير، والتطهير وتكييف حالة المياه. وتتماثل الآثار المحتملة وتدابير التخفيف المرتبطة بتخزين المواد الكيماوية الخطرة واستخدامها مع تلك التي تحدث في المشاريع الصناعية الأخرى وتتناولها **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** بالمناقشة.

وتتضمن التدابير الموصى بها للوقاية من الآثار البيئية المرتبطة بتخزين كيماويات التطهير ومناولتها واستخدامها، وكذلك للحد من هذه الآثار والسيطرة عليها ما

4 Management of Water Treatment Plant Residuals, Technology Transfer Handbook," EPA/625/R-95/008, April 1996.

يلي: [5] [6] [7]

- بالنسبة للأنظمة التي تستخدم الكلورة بالغاز:
  - تركيب أجهزة إنذار وأنظمة أمان، بما في ذلك صمامات الغلق الأوتوماتيكي، والتي تُنشط تلقائياً عند اكتشاف انبعاث للكلورين
  - تركيب أنظمة احتواء وغسل للغازات لالتقاط الكلورين وتحييده في حال حدوث تسرب
  - استخدام مواسير وصمامات ومعدات تنظيم تدفق مقاومة للتآكل، وهكذا أية معدات أخرى تتلامس مع الكلورين في حالته الغازية أو السائلة، والمحافظة على خلو هذه المعدات من الملوثات، بما فيها الزيوت والشحوم
  - تخزين الكلورين بعيداً عن جميع مصادر الكيماويات العضوية، وحمايته من ضوء الشمس، والرطوبة، والحرارة العالية
- تخزين هيبوكلوريت الصوديوم في أوضاع باردة، وجافة، ومظلمة لفترة لا تزيد على شهر واحد، واستخدام معدات مصنعة من مواد مقاومة للتآكل؛
- تخزين هيبوكلوريت الكالسيوم بعيداً عن أية مواد عضوية وحمايته من الرطوبة، وإفراغ حاويات الشحن بالكامل أو إعادة إحكام غلقها لتجنب الرطوبة، علماً بأنه يمكن تخزين هيبوكلوريت الكالسيوم لفترة تصل إلى السنة؛
- عزل مناطق تخزين الأمونيا وتغذيتها عن مناطق تخزين الكلورين والهيبوكلوريت وتغذيتهما؛
- تقليل كمية كيماويات الكلورة المخزنة بالموقع مع الاحتفاظ بكمية كافية لتغطية الإمدادات المتقطعة منها؛
- إعداد وتنفيذ برنامج وقاية يتضمن تحديد المخاطر المحتملة، وأوامر عمل مكتوبة، وتدريب، وصيانة، وإجراءات تحقيق في الحوادث؛
- إعداد وتنفيذ خطة للاستجابة للانبعاثات العارضة.

الانبعاثات الهوائية

يمكن أن تشمل الملوثات المنبعثة في الهواء من عمليات معالجة المياه الأوزون (في حالة التطهير بالأوزون) والكيماويات الغازية أو المتطايرة التي تُستخدم في عمليات التطهير (مثلاً، الكلورين والأمونيا). وإن من شأن التدابير التي تناولناها بالمناقشة عاليه والتي تتعلق بالكيماويات الخطرة أن تخفف من مخاطر انبعاث الكلورين والأمونيا. وإضافة إلى ذلك، تشمل التدابير المحددة الموصى بها للتعامل مع الانبعاثات الهوائية تركيب جهاز يتلف الأوزون في أنبوب عادم مفاعل الأوزون (مثلاً، الأكسدة بالتحفيز، أو الأكسدة الحرارية، أو حبيبات الكربون المنشط).

توزيع المياه

إن أهم القضايا الصحية البيئية الأساسية التي ترتبط بشبكات التوزيع هي المحافظة على ضغط كافٍ لحماية نوعية المياه في الشبكة وكذلك حجم الشبكة وصيانتها الصيانة الملائمة لضمان وصول المياه بنوعية مناسبة. وتتضمن أكثر القضايا البيئية أهمية والمرتبطة بتشغيل شبكات توزيع المياه ما يلي:

- تسربات شبكة المياه وفقدان الضغط
- تصريف مياه تنظيف الشبكة

تسربات شبكة المياه وفقدان الضغط

5 WorkSafeBC, Chlorine Safe Work Practices http://www.worksafebc.com/publications/health_and_safety/by_topic/assets/pdf/chlorine.pdf.

6 National Drinking Water Clearinghouse Tech Brief: Disinfection, http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB1_Disinfection.pdf.

7 Chlorine Institute, http://www.chlorineinstitute.org/Bookstore/SearchBrowse.cfm

إن حدوث تسرب في شبكة المياه قادر على إضعاف قوة الضغط بها فيقوض من سلامتها وقدرتها على حماية نوعية المياه (بأن يسمح للمياه الملوثة أن تتسرب إلى الشبكة)، ويزيد من الطلب على مياه المنبع وكمية الكيماويات ومقدار الطاقة المستخدمة في الضخ والمعالجة. ولربما نتجت التسربات في شبكة التوزيع من سوء التركيب أو الصيانة، والحماية غير الكافية من التآكل، والترسيب، والإجهاد الناتج عن حركة المرور والاهتزازات، وحِمل الصقيع، والأحمال المفرطة، وعوامل أخرى. وتتضمن التدابير الموصى بها لمنع فقد المياه في شبكة التوزيع والحد منها والسيطرة عليها الآتي:

- التأكد من أن الإنشاءات تفي بالمعايير المطبقة وممارسات الصناعة؛ [8]
- تنفيذ أعمال تفتيش وصيانة منتظمة؛
- تنفيذ برنامج لكشف التسربات وإصلاحها (بما في ذلك سجلات التسربات السابقة والمياه الفاقدة (غير المحسوبة) لتحديد مناطق المشاكل المحتملة)؛
- دراسة استبدال مواسير الشبكة الرئيسية المعروفة بحالات تسرب سابقة والتي يُناط بها احتمال أكبر لإحداث تسربات بسبب موقعها، وإجهادات الضغط، وعوامل الخطر الأخرى.

تصريف مياه تنظيف الشبكة

يتم تنظيف خطوط المياه دورياً لإزالة الرواسب المتراكمة أو الشوائب الأخرى التي تراكمت في المواسير، ويتأتى هذا التنظيف بفصل أقسام من شبكة التوزيع وفتح صمامات التنظيف بالدفق، أو فتح صنابير (حنفيات) الحريق وهو الأكثر شيوعاً، وذلك حتى تندفع كميات كبيرة من المياه في خط الأنابيب الذي تم فصله وتقلقل الرواسب الراكدة فتتعلق بمجرى المياه. ويتعلق الجانب البيئي الرئيسي بعملية تنظيف مواسير المياه بالدفق بتصريف مياه التنظيف، والتي قد ترتفع فيها مستويات الجوامد المعلقة، وبقايا الكلورين، والملوثات الأخرى التي يمكن أن تضر بكتل المياه السطحية. وتتضمن التدابير الموصى بها للوقاية من الآثار الناتجة من عملية تنظيف مواسير الشبكة الرئيسية بالدفق، والحد منها والسيطرة عليها الآتي:

- تصريف مياه التنظيف في شبكات مجاري المناطق الحضرية ذات السعة الكافية؛
- تصريف مياه التنظيف في شبكة مجاري مياه أمطار منفصلة مع مراعاة تدابير التعامل مع مياه الأمطار كبرك الاحتجاز حيث يمكن أن تترسب الجوامد واستنفاد بقايا الكلورين قبل تصريف المياه؛
- الحد من التآكل أثناء التنظيف بالدفق، وذلك - على سبيل المثال - بتجنب مناطق التصريف المعرضة للتآكل ونشر المياه لتخفيف سرعة الدفق.

1.1.2 الصرف الصحي

تتكون شبكة الصرف الصحي (المجاري) من المرافق والخدمات التي يستخدمها السكان والمجتمعات للتعامل الآمن مع ما ينتجونه من فضلات. [9] وتعمل شبكة الصرف الصحي على تجميع الفضلات الآدمية ووضع حائل فعال يمنع اتصال البشر بها، ثم تنقلها إلى موقع مناسب، وتخزنها و/ أو تعالجها، ثم تعيد استخدامها أو ترجعها إلى البيئة. وإضافة إلى الفضلات الآدمية، يمكن لشبكة الصرف الصحي أن تحمل المياه المستعملة التي تنتجها من المنازل ومياه الأمطار. [10]

8 راجع، على سبيل المثال، Canadian National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide)، والمعايير الصادرة عن الجمعية الأمريكية للأشغال المائية.

9 البراز والبول

10 مياه الأمطار الزائدة التي لا تترشح إلى التربة بطرق طبيعية.

وتستطيع مرافق النقل والتخزين والتخلص أن تتعامل أيضاً مع النفايات التي تنتجها القطاعات الصناعية، والمؤسسات التجارية، وغيرها من المنشآت.

تجميع/ نزح حمأة الفضلات الآدمية وخزانات الفضلات الأرضية

قد يستند الصرف الصحي في المجتمعات التي لا توجد بها شبكات مجاري إلى أنظمة موضعية (أي في موقع إقامتها) كمراحيض الحفرة، أو المراحيض الصندوقية، أو مراحيض الدفق (السيفون) المتصلة بخزانات فضلات أرضية. وبينما يجب تكرار نزح مراحيض الحفرة والمراحيض الصندوقية (عادة يومياً إلى أسبوعياً) يجب أيضاً كسح الجوامد المتراكمة في أنظمة الفضلات الأرضية دورياً، وهو ما يكون عادة بين سنتين إلى خمس سنوات حسب التصميم والاستخدام، للحفاظ على السلامة الوظيفية للخزان ومنع الانسداد، والطفح، والإطلاق الناتج لمحتويات خزان الفضلات الأرضي. وإذا لم تكن هناك مرافق مناسبة متاحة لتخزين حمأة الفضلات الآدمية ومناولتها ومعالجتها فقد تُلقى في البيئة بلا تمييز أو تُستخدم في الأنشطة الزراعية بطريقة غير صحية.

وتتضمن التدابير الموصى بها لمنع انطلاق الجوامد المتراكمة في خزانات الفضلات الأرضية وحمأة الفضلات الآدمية الأخرى، والحد منها والسيطرة عليها ما يلي:

- تشجيع وتسهيل التصميم الصحيح لخزانات الفضلات الأرضية وتحسين سبل صيانتها. ويجب أن يوازن التصميم بين نوعية النفايات السائلة واحتياجات التصميم؛ [11]
- مراعاة إتاحة كسح منهجي منظم لحمأة الفضلات الآدمية وجوامد خزانات الفضلات الأرضية؛
- استخدام عربات الكسح الملائمة. وقد يحتاج الأمر إلى الجمع بين العربات ذات الخزانات التي تعمل بالشفط وعربات الشفط الصغيرة التي تُدفع باليد لخدمة جميع المنازل؛
- تسهيل تصريف حمأة الفضلات وجوامد خزانات الفضلات الأرضية في مرافق التخزين والمعالجة حتى لا تُلقى الجوامد غير المعالجة في البيئة.

المجاري

حين تحول كثافة السكان أو الأوضاع المحلية دون استخدام أنظمة صرف صحي موضعية بفعالية (مثلاً، خزانات الفضلات الأرضية وحقول الصرف) تُنقل فضلات الصرف الصحي من خلال شبكة من المواسير، والمضخات والبنية الأساسية المرتبطة الأخرى (أي ما يُسمى شبكة المجاري) إلى نظام تخزين و/ أو معالجة مركزي. ويمكن نقل الجوامد والسوائل إلى موقع مركزي، أو قد تُنقل جوامد الصرف الصحي (المجاري) إلى خزانات فضلات وسيطة موضعية (راجع تجميع/ نزح حمأة الفضلات الآدمية وخزانات الفضلات الأرضية، عاليه)، بينما تُنقل السوائل إلى موقع مركزي للتخزين أو المعالجة أو التخلص منها. وقد تشمل الجهات المستخدمة لشبكة المجاري المرافق الصناعية والمؤسسات إلى جانب المنازل.

تُجمع المياه "الرمادية" المستعملة (الناتجة عن غسل الملابس، والمطابخ، والحمامات، والأنشطة المنزلية الأخرى والتي لا تحتوي عادة على فضلات آدمية) أحياناً وتُعالج منفصلة عن شبكة المجاري. ورغم أن هذه النوعية من المياه أقل تلوثاً

11 تعرض الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة أمثلة على الاعتبارات الأساسية لتصميم أنظمة (خزانات) الفضلات الأرضية. ويمكن أن تحسن تصاميم خزانات الفضلات الأرضية الأكثر تعقيداً (مثلاً، ثلاث حجرات، وإضافة مرشحات رملية، الخ) من نوعية النفايات السائلة، ولكنها عادة أكثر عرضة للانسداد وأنواع الإخفاق الأخرى، خاصة مع انعدام الصيانة المنتظمة.

بوجه عام من المياه المستعملة المنزلية أو الصناعية فيُحتمل ألا يَزال بها مستويات عالية من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، والجوامد والمواد المعلقة كالزيوت، والدهون، والصابون، والمنظفات الصناعية، والكيماويات المنزلية الأخرى؛ كما يمكن أن تتسبب في آثار سلبية على الصحة البشرية ونوعية التربة والمياه الجوفية.

وتنشأ أكثر الآثار البيئية المحتملة أهمية والمرتبطة بتجميع المياه المستعملة من:

- تصريف المياه المستعملة المنزلية
- تصريف المياه المستعملة الصناعية
- التسربات والتدفقات المفرطة

تصريف المياه المستعملة المنزلية

إن التصريف غير المسيطر عليه للمياه المستعملة المنزلية، بما في ذلك مياه المجاري والمياه الرمادية، في الأنظمة المائية يمكن أن يؤدي إلى التلوث الميكروبي والكيماوي للمياه المستقبلة، واستنفاد الأكسجين، وزيادة مستويات الكدرة (العكر)، وتشبع المياه بمغذيات النباتات المستهلكة للأكسجين. كما أن تصريف المياه المستعملة في الشوارع أو الأراضي المكشوفة قادر على أن يسهم في نشر الأمراض، والروائح، وتلوث الآبار، وتدهور حالة الشوارع، الخ. وتشمل التدابير المعنية بحماية البيئة والصحة العامة البنود التالية:

- إتاحة أنظمة (أو شبكات) لتجميع مياه المجاري والمياه الرمادية والتعامل معهما بفعالية (منفصلتين أو مجتمعتين في نظام واحد)؛
- إذا كان التعامل مع المياه الرمادية بمعزل عن مياه المجاري فيجب تنفيذ التدابير المعنية بالسيطرة على مصدر المياه الرمادية لتفادي استخدام المواد المسببة للمشاكل وتصريفها، كالزيوت والشحوم، والجزيئات والكيماويات كبيرة الحجم.

تصريف المياه المستعملة الصناعية

إن المرافق الصناعية المستخدِمة لشبكة المجاري يمكن أن تقوم بصرف المياه الصناعية المستعملة في شبكة المجاري. وإن بإمكان بعض النفايات الصناعية أن تتسبب في مخاطر الحرائق والانفجارات في شبكة المجاري ومحطة المعالجة، أو تعطيل العمليات البيولوجية والعمليات الأخرى في محطة المعالجة، أو التأثير على صحة العمال وسلامتهم. وإضافة إلى ذلك، قد لا تُعالج بعض مكونات النفايات معالجة فعالة، وقد تُفصل وتتسرب إلى الجو، كما قد تُصرف مع النفايات السائلة المعالجة أو تتجزأ إلى بقايا في محطة المعالجة فتحيلها إلى مرفق تكتنفه خطورة محتملة.

تتضمن الإجراءات الموصى بها لمنع التصريفات الصناعية في شبكة المجاري، والحد منها والسيطرة عليها:

- يجب أن تُنفذ المعالجة أو المعالجة الأولية لإبطال مفعول الكيماويات السامة أو إزالتها في المرفق الصناعي نفسه، وهذا من الناحية المثالية، قبل تصريف النفايات السائلة في شبكة المجاري أو الكتلة المائية. ودراسة التعاون مع السلطات العامة من أجل تنفيذ برنامج للسيطرة على المنبع فيما يتعلق بالجهات المستخدِمة لشبكة المجاري من المرافق الصناعية والمؤسسات التجارية لضمان أن أية مياه مستعملة يتم تصريفها في شبكة المجاري يمكن معالجتها معالجة فعالة. [12] وتشمل الأمثلة على

12 راجع، مثلاً، Water Environment Federation, Developing Source Control Programs for Commercial and Industrial Wastewater, 1996; Federation of Canadian Municipalities, Wastewater Source Control: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure, March

التصريفات المسببة للمشاكل: المواد القابلة للاشتعال أو التفاعل أو الانفجار، أو المواد الأكالة أو المشعة، وكذلك المواد الباعثة للروائح الضارة أو الكريهة، والنفايات الطبية أو المُعدية، والمواد الصلبة أو اللزجة التي يمكن أن تسبب الانسداد فتوقف التدفقات في محطات المعالجة، أو تعطيل عملها، وهناك أيضاً المواد السامة، والزيوت التي لا تتحلل بيولوجياً، والملوثات التي قد تنتج عنها انبعاث للغازات الخطرة؛

- التعاون مع السلطات العامة في التفتيش المنتظم على المرافق الصناعية المستخدِمة لشبكة المجاري وأخذ عينات من المياه المستعملة التي يتم تصريفها فيها للتأكد من التزام هذه المرافق ببرنامج السيطرة على المنبع؛
- تنفيذ أنشطة رصد إشرافية على أعمال صيانة شبكة المجاري، وعلى الروافد المغذية للمرافق (محطات) معالجة المياه المستعملة؛
- فحص مصادر الملوثات الموجودة في المراحل الأولى لنظام الصرف الصحي والمتسببة في اضطراب عمليات محطة المعالجة أو التداخل معها؛
- تسهيل قيام الجماهير بالإبلاغ عن التصريفات والتوصيلات غير القانونية.

التسربات والتدفقات المفرطة

يمكن للتسربات والتدفقات المفرطة في شبكة المجاري أن تلوث التربة والمياه الجوفية والسطحية. وربما أدت التسربات أيضاً في مواسير المجاري الرئيسية المُركبة للعمل بالجاذبية إلى دخول المياه الجوفية في شبكة المجاري، حسب ارتفاع منسوب المياه الجوفية، الأمر الذي يزيد من كمية المياه المستعملة المطلوب معالجتها ويسبب الغمر وهروب المياه من مسار المياه التي سوف تُعالج. وتحدث التدفقات المفرطة حين لا تستطيع شبكة التجميع التعامل مع كمية المياه المستعملة، بسبب - على سبيل المثال - التدفقات المرتفعة أثناء هطول الأمطار أو كنتيجة لفقدان الطاقة، أو تعطل المعدات، أو الانسداد. ولربما احتوت التدفقات المفرطة تلك على المجاري الخام، والمياه الصناعية المستعملة، ومياه منسابة ملوثة.

ويوصى بالتدابير التالية لمنع التسربات والتدفقات المفرطة والحد منها والسيطرة عليها:

- دراسة تركيب شبكات مجاري منفصلة للمياه المنزلية المستعملة ومياه الأمطار المنسابة في التخطيط العام وتصميم شبكات المجاري الجديدة؛
- الأخذ في الاعتبار استخدام شبكات مجاري بمواسير ذات أقطار صغيرة عندما تكون أنظمة الصرف الصحي الموضعية التي تختلط فيها الفضلات الآدمية بالمياه هي السمة السائدة، وذلك من أجل تجميع النفايات السائلة المائية من أنظمة خزانات الفضلات الأرضية أو الخزانات الوسيطة؛
- تقليل عمق شبكة المجاري حيثما كان ممكناً (مثلاً، بتجنب المسارات التي تمر تحت الشوارع ذات حركة المرور الثقيلة). ويمكن استخدام غرف تفتيش صغيرة في الشبكات ذات العمق القليل بدلاً من فتحات (بالوعات) التفتيش؛
- استخدام المواد الملائمة المتاحة محلياً لإنشاء شبكات المجاري. وقد تكون المواسير الخرسانية المدرفلة ملائمة في بعض الأحوال ولكنها قد تصاب بالتآكل من كبريتيد الهيدروجين إذا حدث انسداد بها و/ أو كانت ميولها غير كافية؛
- التأكد من كفاية السعة الهيدروليكية للمواسير الرئيسية المصممة للعمل بفعل الجاذبية حتى يمكن استيعاب

2003; and U.S. EPA Model Pretreatment Ordinance .EPA 833-B-06-002

التدفقات أثناء أوقات الذروة، والتأكد كذلك من مناسبة ميولها، للحيلولة دون تراكم الجوامد وتوليد كبريتيد الهيدروجين؛

- تصميم أغطية فتحات (بالوعات) التفتيش للصمود للأحمال المتوقعة، والتأكد من أنه يمكن استبدالها بسهولة حال تعرضها للكسر، وذلك للحد من دخول القمامة والطمي في شبكة المجاري؛
- تجهيز محطات الضخ بمصدر احتياطي للطاقة كمولدات الديزل لضمان عدم انقطاع العمل أثناء انقطاع التيار الكهربائي، والقيام أيضاً بخدمات وفحوصات صيانة منتظمة لخفض أوقات توقف الخدمة. ودراسة استخدام قدرات ضخ مزدوجة (متكررة) في المناطق الحيوية؛
- وضع برنامج صيانة روتينية، بما يشمل:
  - عمل جرد لمكونات الشبكة، بحيث تتضمن المعلومات العمر الافتراضي، ومواد التصنيع، ومناطق الصرف التي تخدمها الشبكة، والمناسيب، الخ.
  - التنظيف المنتظم لغرف الحصى وخطوط المجاري لإزالة الشحوم، والحصى، وأنواع الحطام الأخرى التي يمكن أن تؤدي إلى طفح المجاري. ويجب القيام بأنشطة تنظيف أكثر تكراراً في المناطق التي تحدث فيها المشاكل. وربما تطلبت أنشطة التنظيف إزالة جذور الأشجار والمواد الأخرى المسببة للانسداد
  - التفتيش على حالة هياكل شبكة الصرف الصحي وتحديد الأماكن التي تحتاج إلى إصلاح أو صيانة. وقد تشمل البنود التي تجب ملاحظتها المواسير المشروخة/ المتدهورة، والوصلات أو موانع التسرب ببالوعات التفتيش التي تتسرب منها مياه المجاري، وأماكن الانسداد المتكرر في خط المواسير، والخطوط التي تتدفق عامة بسعتها القصوى أو قريباً منها، والأماكن التي يُرتاب في حدوث ارتشاح للداخل أو للخارج منها
  - رصد تدفق شبكة المجاري لتحديد الأماكن المحتمل سحب موادٍ إلى داخل الشبكة عندها أو خروج مياه المجاري منها
- تنفيذ أعمال الإصلاح المحددة أولوياتها استناداً إلى طبيعة المشكلة وشدتها. ومن المسوغ القيام بتنظيف فوري لانسداد أو القيام بإصلاح في جزء تتدفق منه مياه المجاري حالياً إلى خارج الشبكة أو في جزء أو أجزاء بها مشاكل عاجلة قد تؤدي إلى تدفق مياه وشيك إلى خارج الشبكة (مثلاً، في حالات إخفاق محطات الضخ، وانكسار مواسير خطوط المجاري، أو انسدادها)؛
- استعراض سجلات صيانة شبكة المجاري السابقة للمساعدة على التعرف على "المواقع الساخنة" أو المناطق التي تتميز بتكرار المشاكل التي تحتاج إلى صيانة ومواقع الإخفاق المحتمل في الشبكة؛ وكذلك تنفيذ خدمات وفحوصات الصيانة الوقائية، أو إعادة التأهيل، أو استبدال الخطوط حسب الحاجة؛
- عندما يقع انسكاب، و/ أو تسرب، و/ أو تدفق مفرط يجب الحرص على ألا تدخل مياه المجاري في مواسير شبكة تصريف مياه الأمطار، ويتأتى ذلك بتغطية أو سد منافذ تصريف هذه الشبكة الأخيرة أو باحتواء مياه المجاري وتحويل مسارها بعيداً عن القنوات المفتوحة ووسائل تصريف مياه الأمطار الأخرى (باستخدام أكياس الرمل، والسدود المنفوخة، الخ). ويتوجب إزالة مياه المجاري باستخدام معدات الشفط أو تفعيل التدابير الأخرى المنوطة بتحويل هذه المياه مرة أخرى لتعود إلى شبكة الصرف الصحي.

معالجة المياه المستعملة والحمأة وتصريفهما

تتطلب مياه المجاري عادة المعالجة قبل صرفها في البيئة صرفاً آمناً. وتعتمد درجة عملية معالجة المياه المستعملة والحمأة وطبيعتها على المعايير المطبقة والخطة الموضوعة للتخلص من النفايات السائلة والحمأة أو استخدامهما، وكذلك على طريقة الاستخدام. ويمكن لعمليات المعالجة المختلفة أن تقلل من الجوامد المعلقة (التي يمكن أن تسد الأنهار، والقنوات، ومواسير الري بالتنقيط)، والمواد العضوية التي تتحلل بيولوجياً (والتي تتغذى عليها الكائنات الحية الدقيقة وتؤدي إلى خفض مستويات الأكسجين في المياه المستقبلة)، والمغذيات (التي تحفز نمو الطحالب غير المرغوب فيها والتي ينتج عنها حين تموت ازدياد كمية المواد العضوية التي تتحلل بيولوجياً).

تشمل خيارات تصريف واستخدام المياه المستعملة التصريف في المجاري أو الكتل المائية الطبيعية أو الاصطناعية، والتصريف في البرك أو الأراضي الرطبة المستخدمة في المعالجة (بما فيها المزارع المائية)، والاستخدام المباشر في الأنشطة الزراعية (مثلاً، ري المحاصيل). وفي كافة الحالات، يجب أخذ استخدام الكتلة المائية المستقبلة في الاعتبار (مثلاً، الملاحة، أو الترفيه، أو الري، أو الشرب) جنباً إلى جنب مع قدرتها الاستيعابية من أجل إقرار نوعية تصريف مرتبطة بالموقع المحدد تتسق وأكثر الاستخدامات حساسية.

تتضمن الآثار البيئية الأكثر أهمية والمتعلقة بمعالجة المياه المستعملة والحمأة وتصريفهما واستخدامهما ما يلي:

- النفايات السائلة
- النفايات الصلبة
- الانبعاثات الهوائية والروائح
- الكيماويات الخطرة
- الآثار الإيكولوجية

النفايات السائلة

يمكن إعادة استخدام المياه المستعملة المعالجة (النفايات السائلة) في أنشطة الري وللأغراض الأخرى أو التخلص منها طبقاً للوائح الإشرافية التنظيمية. ولكن إذا لم يُعاد استخدام المياه المستعملة المعالجة فيمكن صرفها في البحار، والأنهار، وكتل المياه السطحية الكبيرة، وكتل المياه السطحية الصغيرة المغلقة، وكذلك في الأراضي الرطبة والبرك والأهوار.

يوصى بالتدابير التالية لمنع النفايات السائلة في المياه والحد منها والسيطرة عليها:

- الحد من تفادي نظام المعالجة باستخدام شبكتين منفصلتين لمياه الأمطار والمياه المستعملة، إن أمكن، وإتاحة قدرة كافية لمعالجة تدفقات الذروة؛
- تنفيذ برنامج للسيطرة على المنبع الصناعي يتضمن أنشطة رصد وتطبيق فعال للوائح التنظيمية؛
- التعاون مع السلطات العامة لانتقاء تكنولوجيات المعالجة الملائمة، مع الأخذ في الاعتبار عوامل مثل نوعية وكمية المياه المستعملة الخام وتنوعها، ومساحة الأرض المتاحة لمحطة المعالجة، والموارد المتاحة لنفقات رأس المال والتشغيل والصيانة والإصلاح، ومدى إتاحة المشغلين المهرة، وتدريب المشغلين، وفنيي الصيانة، وكيماويات المعالجة، وقطع الاستبدال؛ [13]
- تصميم محطات معالجة المياه المستعملة وإنشاؤها وتشغيلها وصيانتها، وتحقيق نوعية مياه في النفايات السائلة بما يتوافق مع المتطلبات الوطنية المطبقة أو المعايير المقبولة دولياً [14] ، ومع الأهداف الموضوعة

13 راجع "الملحق (أ)" للاطلاع على موجز للتكنولوجيات المستخدمة في معالجة المياه المستعملة.

14 راجع على سبيل المثال: U.S. EPA regulations at 40 CFR Part 133 regarding Secondary Treatment, and Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991

لتحقيق نوعية مياه في النفايات السائلة استناداً إلى الطاقة الاستعابية للمياه المستقبلة واستخدامها النهائي الأكثر حساسية؛ [15] , [16]

- دراسة تصريف المياه المستعملة المعالجة في الأراضي الرطبة الطبيعية أو المُصنعة، وهو ما في مقدوره أن يخفف من أثر تصريفها في البيئة المائية، إلا إذا تسبب في تدهور حالة الأرض الرطبة؛
- معالجة المياه الرمادية عند تجميعها منفصلة عن مياه المجاري لإزالة الملوثات العضوية وخفض مستويات الجوامد المعلقة، والكائنات الممرضة، والمواد الأخرى المسببة للمشاكل، حتى تصل إلى مستويات مقبولة حسب اللوائح التنظيمية الوطنية والمحلية المطبقة. [17] ويجب تمييز خطوط المياه الرمادية ومحطات نقاط الاستخدام تمييزاً واضحاً لئلا تُستخدم عرضاً في تطبيقات نوعية مياه الشرب؛
- الاستناد إلى تقييم للمخاطر على الصحة البشرية والبيئة في دراسة إعادة استخدام النفايات السائلة المعالجة، لاسيما في المناطق محدودة المياه الخام. ويجب أن تتوافق نوعية المياه المستعملة المعالجة المُعدة للاستخدام في الأراضي والاستخدامات الأخرى مع الإرشادات ذات الصلة المستندة إلى الصحة العامة والتي تصدرها منظمة الصحة العالمية [18] ومع المتطلبات الوطنية المطبقة.

النفايات الصلبة

قد تشمل الجوامد التي تتم إزالتها من شبكات تجميع ومعالجة المياه المستعملة الحمأة والجوامد الناتجة من تنظيف شبكات الصرف وتجميع مياه المجاري (بما فيها شبكات تجميع السوائل المنسابة)، وجوامد عمليات التصفية (الاحتجاز)، والحمأة الناتجة من عمليات الوحدات المختلفة المستخدمة في معالجة المياه المستعملة.

وتتضمن الاستراتيجيات الموصى بها للتعامل مع النفايات الصلبة ما يلي:

- انتقاء تكنولوجيات معالجة الحمأة الملائمة، مع الأخذ في الاعتبار، على سبيل المثال، كمية الحمأة ومصادرها، والموارد المتاحة لنفقات رأس المال والتدريب والتشغيل والصيانة، ومدى إتاحة المشغلين المهرة، وفنيي الصيانة، الخ، وطرق التخلص المرغوبة أو الاستخدامات النهائية للجوامد المعالجة. ويناقش الملحق (أ) تكنولوجيات معالجة الحمأة؛
- يجب دراسة استخدام بقايا محطات معالجة المياه المستعملة في الأرضي وكذلك إعادة استخدامها في التطبيقات المفيدة الأخرى، ولكن بالاستناد فقط إلى تقييم للمخاطر على الصحة البشرية والبيئة. يجب أن تتوافق نوعية بقايا المعالجة المُعدة للاستخدام في الأراضي مع الإرشادات ذات الصلة المستندة إلى الصحة العامة والتي تصدرها منظمة الصحة العالمية [19] ومع المتطلبات

15 راجع منظمة الصحة العالمية: Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff, Concerning Urban Waste-Water Treatment. 1993.

16 راجع قسم "التصريف في المياه السطحية" في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة.

17 لم يقم سوى بلدان قليلة بوضع لوائح تنظيمية مرتبطة تحديداً بالمياه الرمادية، كبعض ولايات أمريكا الشمالية (أريزونا، ونيومكسيكو، وكاليفورنيا، ونيوجيرسي)، وأستراليا (كوينلاند، ونيو ساوث ويلز) والصين (بكين، وتيانجين).

18 منظمة الصحة العالمية: Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater (الإرشادات بشأن الاستخدام الآمن للمياه المستعملة، والفضلات الآدمية، والمياه الرمادية) (2006).

19 منظمة الصحة العالمية: Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater (الإرشادات بشأن

الوطنية المطبقة؛

- يجب أن تتوافق عمليات تجهيز بقايا محطات معالجة المياه المستعملة والتخلص منها وإعادة استخدامها مع المتطلبات الوطنية المطبقة أو إذا لم تكن متوفرة فمع الإرشادات والمعايير المقبولة دولياً. [20]

الانبعاثات الهوائية والروائح

يمكن أن تشمل الملوثات المنبعثة في الهواء من عمليات معالجة المياه المستعملة كبريتيد الهيدروجين، والميثان، والأوزون (في حالة التطهير بالأوزون) والمركبات العضوية المتطايرة (كالتي تنتج من تصريف المرافق الصناعية)، والكيماويات الغازية أو المتطايرة التي تُستخدم في عمليات التطهير (مثلاً، الكلورين والأمونيا)، والإيروسولات البيولوجية (نتناولها بالمناقشة في القسم 1.2 أدناه). كما قد تكون الروائح الناتجة من محطات المعالجة مصدر إزعاج للعاملين والمجتمع المحلي بالمنطقة.

يمكن بوجه عام تطبيق التدابير المعنية بالتعامل مع الانبعاثات الهوائية من شبكة معالجة مياه الشرب - الواردة آنفاً - على محطات معالجة المياه المستعملة. وعلاوة على ذلك، يوصى باتباع التدابير التالية لمنع انبعاث الملوثات والروائح في الهواء والحد منهما والسيطرة عليهما:

- تغطية نقاط الانبعاث (مثلاً، أحواض التهوية، وأجهزة التنقية، ووحدات تغليظ الحمأة، والخزانات، والقنوات)، وفتحات تنفيس أنظمة التحكم (مثلاً، أحواض الأسمدة المنتَجة بالتحويل العضوي، والمرشحات البيولوجية، وأجهزة غسل الموائع بالكيماويات، الخ)، وذلك حسب ما تقتضيه الحاجة من أجل الحد من الروائح، وللوفاء بالمتطلبات الوطنية المطبقة والإرشادات المقبولة دولياً؛
- دراسة تطبيق تكنولوجيات تهوية بديلة أو تكوينات (ترتيبات) بديلة للعمليات حيثما يلزم للحد من التطاير.

الكيماويات الخطرة

إن عمليات معالجة المياه المستعملة كثيراً ما تنطوي على استخدام الكيماويات الخطرة كالأحماض والقلويات القوية للتحكم في نسبة الحموضة، والكلورين أو المركبات الأخرى التي تُستخدم في التطهير، الخ. وإن التدابير التي أسلفناها بالمناقشة سواءً المعنية بالحد من الآثار البيئية أو تدابير التخفيف قابلة للتطبيق عامة على عمليات التطهير في محطات معالجة المياه المستعملة. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشاداً إضافياً حول معالجة الكيماويات.

1.2 الصحة والسلامة المهنية

تماثل الآثار التي تتعلق بالصحة والسلامة المهنية والتي تحدث أثناء مرحلتي إنشاء محطات المياه والصرف الصحي وإنهاء مشاريعها الآثار التي تحدث في غالبية المشاريع الصناعية الكبرى الأخرى، وتتناولها **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** بالمناقشة. وتتضمن أهم الآثار المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية أثناء مرحلة تشغيل مشاريع المياه والصرف الصحي الآثار التالية:

- الحوادث والإصابات
- التعرض للمواد الكيماوية
- الأجواء الخطرة
- التعرض للكائنات الممرضة وناقلات الأمراض

الاستخدام الآمن للمياه المستعملة، والفضلات الآدمية، والمياه الرمادية) (2006).

20 راجع على سبيل المثال: U.S. EPA regulations at 40 CFR Part 503—Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge; Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 Concerning Urban Waste-Water Treatment; and U.S. EPA, Emerging Technologies for Biosolids Management, 832-R-06-005, September 2006.

- الضوضاء

الحوادث والإصابات

إن العمل في محطات المياه والصرف الصحي كثيراً ما يتطلب جهداً بدنياً، وقد تحفه المخاطر كالمياه المكشوفة، والخنادق، والممرات الزلقة، والعمل على ارتفاعات عالية، والدوائر المنشَطة، والمعدات الثقيلة. كما قد ينطوي على العمل في أماكن محصورة، كفتحات التفتيش، والمجارير، وخطوط المواسير، والخزانات، والآبار الرطبة، وأجهزة التخمير، ومحطات الضخ. كما أن الميثان المتولد من عمليات التحلل البيولوجي اللاهوائي لمكونات المجاري يمكن يتسبب في نشوب الحرائق وحدوث الانفجارات.

وتتناول **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** تدابير التخفيف المعنية بالحوادث والإصابات. وإضافة إلى ذلك، يوصى بالإجراءات التالية للوقاية من الحوادث والإصابات والحد منها والسيطرة عليها في محطات المياه والصرف الصحي:

- تركيب درابزين حاجز حول جميع خزانات وحفر العمليات، والإلزام باستخدام حبل نجاة وجهاز تعويم شخصي عندما يكون العمال داخل الحيز المسيج بالدرابزين، مع التأكد من الإتاحة الفورية لعوامات النجاة وأطقم عدة الإنقاذ (*throw bags*)؛
- استخدام جهاز التعويم الشخصي عند العمل بالقرب من المجاري المائية؛
- تنفيذ برنامج دخول للأماكن المحصورة يتوافق مع المتطلبات الوطنية المطبقة والمعايير المقبولة دولياً.[21] كما يجب "حبس" الصمامات المركبة على خزانات العمليات لمنع الدفق المفرط أثناء القيام بأنشطة الصيانة؛
- استخدام معدات الحماية من السقوط عند العمل على ارتفاعات عالية؛
- صيانة مناطق العمل للحد من مخاطر الانزلاق والعرقلة؛
- اتباع الأساليب السليمة في حفر الخنادق والتدعيم؛
- تنفيذ التدابير المعنية بالحرائق والانفجارات طبقاً للمعايير المقبولة دولياً؛[22]
- تنفيذ الإجراءات والضوابط المرورية عند تركيب أو إصلاح مواسير الشبكة الرئيسية بالقرب من الطرق، على سبيل المثال:
  - تحديد مناطق العمل لفصل العمال عن حركة المرور والمعدات، إلى أقصى مدى ممكن
  - خفض سرعات المركبات المقررة في مناطق العمل
  - ارتداء العمال لملابس أمان يمكن رؤيتها بوضوح شديد في المناطق التي بها حركة مرورية
  - إتاحة إضاءة ملائمة في مناطق العمل عند العمل ليلاً، مع التحكم في الوهج أو الإبهار البصري حتى يتمكن العمال وسائقو المركبات المارة من الرؤية
- تحديد مواقع كافة مرافق الخدمات العامة المُركبة تحت الأرض قبل الحفر.

التعرض للمواد الكيماوية والأجواء الخطرة

تنطوي معالجة المياه والمياه المستعملة على استخدام لمواد كيماوية ذات مخاطر محتملة، كالأحماض والقلويات القوية، والكلورين، وهيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم، والأمونيا. وقد تحتوي المياه على مواد مشعة ومعادن ثقيلة والتي تتراكم عادة في الحمأة الناتجة عن معالجة المياه. وتشمل

21 راجع على سبيل المثال: اللوائح التنظيمية لإدارة الصحة والسلامة المهنية الأمريكية في المدونة رقم 29 CFR 1910 Subpart J.

22 راجع على سبيل المثال: National Fire Protection Association (NFPA) 820: Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities.

المصادر المحتملة للتعرض للنويدات المشعة: المضخات والمواسير التي تتراكم فيها القشور المعدنية، والبرك والأهوار وخزانات التخثير والترسيب التي تتراكم فيها حمأة البقايا، والمرشحات ومحطات الضخ وصهاريج التخزين حيث تتراكم القشور والحمأة، والتجهيزات التي يتراكم فيها ماء المرشحات الراجع أو المحاليل الملحية أو المياه الملوثة الأخرى، والتجهيزات المغلقة (الرادون)، ومناطق تجهيز أو مناولة البقايا، والمناطق المعدة لأعمال التخلص أو الاستخدام في الأراضي حيث تُستخدم الجواريف للعمل بالبقايا، أو نقل هذه البقايا أو التخلص منها.

قد تحتوي المياه المستعملة على مواد كيماوية ذات مخاطر محتملة تبعاً لنوعية مياه المنبع، وعمليات معالجة مياه الشرب، والقطاعات الصناعية التي تصرف نفاياتها في شبكة المجاري، بما في ذلك المذيبات العضوية والمبيدات الحشرية المكلورة، والمركبات ثنائية الفينيل متعددة الكلور، والعطريات المتعددة الحلقات، والهيدروكربونات البترولية، ومثبطات الحريق، ومركبات النيتروزأمينات، والمعادن الثقيلة، والأسبيستوس، والديوكسينات، والمواد المشعة. وإضافة إلى ما سبق، قد يتعرض العمال إلى كبريتيد الهيدروجين، والميثان، وأول أكسيد الكربون، والكلوروفورم، والكيماويات الأخرى التي تتولد أثناء معالجة المياه المستعملة. ويمكن أن تحدث إزاحة للأكسجين أو قد يُستنفد بسبب الكائنات الحية الدقيقة، مما تنتج عنه بيئة تعاني من نقص الأكسجين في مناطق تجهيز المياه المستعملة أو بقاياها.

إن المناولة الحريصة والتخزين الحصيف للكيماويات الخطرة كما تبينهما **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** والقسم 1.1 المذكور عاليه يساعدان على الحد من المخاطر المحتملة التي قد يتعرض لها العمال. وإضافة إلى ذلك، يوصى بالإجراءات التالية للوقاية من التعرض للمواد الكيماوية والحد منها والسيطرة عليها في محطات المياه والصرف الصحي:

- تنفيذ برنامج تدريبي للمشغلين الذين يعملون بالكلورين والأمونيا فيما يتعلق بممارسات التناول الآمنة وإجراءات الاستجابة للطوارئ؛
- إتاحة معدات حماية شخصية ملائمة (مثلاً، أجهزة تنفس قائمة بذاتها) والتدريب على الاستعمالات والصيانة السليمة لها؛
- إعداد خطط للهروب من المناطق التي قد يحدث فيها انبعاث للكلورين أو الأمونيا؛
- تركيب دشوش أمان للاستحمام ومحطات غسل الأعين بالقرب من معدات الكلورين والأمونيا والمناطق الأخرى التي تُخزن أو تُستعمل فيها الكيماويات الخطرة؛
- إذا كان مياه المنبع تحتوي على مواد مشعة فيجب وضع وحدات معالجة المياه ومناطق الحمأة الناتجة عنها بعيداً إلى أقصى مسافة ممكنة عن المناطق العامة (مثلاً، مناطق المكاتب)؛
- تنفيذ مسوحات إشعاعية سنوياً على الأقل، خاصة في المناطق التي تُزال فيها النويدات المشعة؛
- قصر النفايات التي تدخل في شبكة المجاري على النفايات التي تستطيع محطة معالجة المياه المستعملة معالجتها بفعالية، وخفض كمية المركبات الخطرة التي تُعالج بنزع الهواء والتي تدخل في شبكة المجاري، وذلك عن طريق التحكم في التصريفات الناتجة من المرافق الصناعية (مثلاً، بمنح التصاريح بذلك، أو استخدام نظام تحكم شبيه بهذا). ويجب تحليل المياه المستعملة الخام الواردة لتحديد المكونات الخطرة؛
- تهوية مناطق التجهيز المغلقة وتهوية المعدات، كمحطات الضخ، قبل القيام بأعمال الصيانة؛
- استخدام معدات كشف الغاز الشخصية عند العمل في

محطة معالجة مياه مستعملة؛

- الرصد المستمر لنوعية الهواء في مناطق العمل للتأكد من الأوضاع الخطرة (مثلاً، أجواء متفجرة، ونقص الأكسجين)؛
- أخذ عينات دورية لنوعية الهواء في مناطق العمل للتأكد من عدم وجود الكيماويات الخطرة. ويجب تركيب ضوابط هندسية للحد من تعرض العمال للكيماويات الخطرة، على سبيل المثال، عند تجميع ومعالجة الغازات المنبعثة من عمليات نزع الهواء، وهذا إذا كانت هناك حاجة للوفاء بمتطلبات الصحة المهنية الوطنية المطبقة أو المعايير المقبولة دولياً؛
- حظر الأكل، أو التدخين، أو الشرب إلا في الأماكن المخصصة لذلك؛
- تدوير العمال بين عمليات محطة المعالجة المختلفة لتقليل استنشاقهم لكيماويات عملية نزع الهواء، والإيروسولات، والمواد الخطرة المحتملة الأخرى.

الكائنات الممرضة وناقلات الأمراض

يمكن أن يتعرض العاملون والموظفون في محطات المياه المستعملة والحمأة والحقول التي تُستخدم فيها المياه المستعملة أو الحمأة المعالجتين وكذلك مشغلو مَركبات جمع الحمأة للكائنات الممرضة الكثيرة التي تحتوي عليها مياه المجاري. وتنتج عمليات تجهيز مياه المجاري إيروسولات بيولوجية، وهي جسيمات معلقة (متطايرة) في الهواء تتكون جزئياً أو كلياً من كائنات حية دقيقة كالبكتريا، والفيروسات، والعفن، والفطريات. ويمكن لهذه الكائنات الحية الدقيقة أن تظل معلقة في الهواء لفترات طويلة مع احتفاظها بحيويتها وقدرتها على نقل العدوى. وقد يتعرض العمال للسموم الداخلية التي تُنتَج بداخل الكائن الحي الدقيق وتنطلق عند تدمير الخلية، وتحملها جسيمات الغبار المحمولة في الجو معها. وتشمل ناقلات الأمراض التي تسببها الكائنات الممرضة الموجودة بالمجاري الحشرات (مثلاً، الذباب)، والقوارض (مثل الفئران)، والطيور (مثل النورس). [23]

تتضمن التدابير الموصى بها للوقاية من التعرض للكائنات الممرضة وناقلات الأمراض، والحد منها والسيطرة عليها ما يلي:

معالجة المياه المستعملة والحمأة

- إدخال برنامج تدريبي حول السلامة للعاملين، والمناولة الآمنة وممارسات الصحة الشخصية للحد من التعرض للكائنات الممرضة وناقلات الأمراض؛
- استخدام عربات الشفط الكبيرة أو الصغيرة لنزح حمأة الفضلات الآدمية بدلاً من الطرق اليدوية؛
- إتاحة وطلب استخدام ملابس شخصية واقية مناسبة ومعدات ملائمة (مثلاً، قفازات مطاطية، ومرايل، وأحذية طويلة العنق، الخ) للحيلولة دون ملامسة المياه المستعملة. ويجب على وجه الخصوص إتاحة عناية طبية فورية وتغطية أية كدمة بالجلد كالجروح والسحجات للوقاية من الإصابة بالعدوى، واستخدام ملابس ونظارات واقية حتى لا يكون هناك تلامس مع الماء المتطاير أو الرذاذ؛
- إتاحة مناطق بها تجهيزات تسمح للعمال بالاستحمام وتغيير ملابسهم قبل مغادرتهم مقر العمل، وكذلك إتاحة خدمة غسل ملابس العمل. وهذا من شأنه أيضاً أن يحد من التعرض للمواد الكيماوية والنويدات المشعة؛
- تشجيع العاملين في محطات المياه المستعملة على الغسل

23 U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Regulations and Policy Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CRF Part 503, EPA/625/R-92/013, Revised July 2003. http://www.epa.gov/ord/NRMRL/Pubs/1992/625R92.013.pdf

المتكرر لأيديهم؛

- إتاحة تطعيم مناعي للعمال (مثلاً، التهاب الكبد الوبائي نوع باء والكزاز (التيتانوس)) ورصد لصحتهم، بما في ذلك الفحوصات البدنية المنتظمة؛
- الحد من تكوّن الإيروسولات وانتشارها، من خلال - على سبيل المثال:
  - زرع الأشجار حول حوض التهوية لصد الرياح والتقاط القطيرات والجسيمات
  - استخدام التهوية بنشر الهواء عوضاً عن التهوية الميكانيكية، واستخدام الفقاعات الأدق حجماً في التهوية
  - خفض سرعة عملية التهوية، إن أمكن
  - استخدام الأغطية العائمة على السائل المختلط في حوض التهوية
  - كبت القطيرات حتى تكون فوق السطح مباشرة (مثلاً، بتركيب شبكة حاجزة فوق الحوض)؛
  - تجميع القطيرات (مثلاً، بالترسيب، أو أجهزة الغسل، أو المرسبات الإلكتروستاتية، أو المرشحات النسيجية)
  - تطهير الجسيمات المحمولة في الجو (مثلاً، باستخدام الإضاءة فوق البنفسجية)
  - استعمال نظام تجميع النفايات السائلة الغاطس (كالأنابيب ذات الفوهات) بدلاً من سدود الاحتجاز
- تجنب مناولة محتجزات الشبك باليد للوقاية من الوخزات؛
- المحافظة على الترتيب والنظافة في مناطق تجهيز مياه المجاري وتخزينها؛
- توجيه الأشخاص الذين يعانون من الربو، والسكري، وضعف جهاز المناعة إلى عدم العمل في محطات معالجة المياه المستعملة، لاسيما مرافق إنتاج السماد بالتحويل العضوي، لأنهم الأكثر عرضة للإصابة بالعدوى.

الاستخدام في الأراضي

- دراسة استخدام المياه المستعملة المعالجة في الري بالتنقيط، إذ يحد من تعرض العمال لها ويقلل من كمية المياه المطلوبة. كما يجب تجنب استخدام هذه المياه في الري بالرش، كلما أمكن؛
- إتاحة الملابس الشخصية الواقية للعمال، كالقفازات المطاطية والأحذية المضادة للمياه؛
- إتاحة إمكانية الوصول إلى مرافق لمياه الشرب والصرف الصحي (بما فيها تجهيزات غسل الأيدي)؛
- إتاحة برنامج مراقبة صحة العاملين يشتمل على فحوصات بدنية منتظمة؛
- السيطرة على ناقلات الأمراض وحوامل العدوى الوسيطة.

الضوضاء

توجد مستويات عالية من الضوضاء في منطقة الآلات التي قيد التشغيل والمياه الجارية في محطات المياه والصرف الصحي. إن الآثار والتدابير المعنية بتخفيف حدة الضوضاء مماثلة للآثار والتدابير المرعية في المرافق الصناعية الأخرى، كما أن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** تتناولها بالمناقشة.

1.3 صحة المجتمعات المحلية وسلامتها

تماثل بعض الآثار التي تتعلق بصحة المجتمعات المحلية وسلامتها والتي تحدث أثناء مرحلة إنشاء مشاريع المياه والصرف الصحي الآثار التي تحدث في القطاعات الصناعية الأخرى، وتتناولها لذلك **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** بالمناقشة. نورد فيما يلي الآثار المتعلقة بصحة المجتمعات المحلية وسلامتها التي ترتبط بتشغيل

مشاريع المياه والصرف الصحي، كلُ على حدة.

1.3.1 مياه الشرب

سحب المياه (حماية مصادر الإمداد بالمياه)

يمكن أن تتلوث المياه السطحية وكذلك الجوفية بالمواد السامة التي تسببها مصادر طبيعية أو اصطناعية، بما فيها الكائنات الممرضة، والمعادن السامة (مثلاً، الزرنيخ)، والأنيونات (مثلاً، النترات)، والمركبات العضوية. وقد يتأتى هذا التلوث من مصادر طبيعية، أو الأنشطة أو الانبعاثات الروتينية (مثلاً، التصريفات في الحدود المسموح بها)، أو العارضة (مثلاً، الانسكابات)، أو المتعمدة (مثلاً، أعمال التخريب).

تتضمن التدابير الموصى بها لحماية نوعية المياه ما يلي: [24]

- تحديد المنطقة التي تساهم بالمياه في المصدر (مثلاً، مستجمع مياه أو جدول أو منطقة إعادة تغذية بالنسبة للمياه الجوفية)، وتحديد مصادر التلوث المحتملة للمنطقة، والتعاون مع السلطات العامة في تنفيذ مناهج التعامل والإدارة المقررة لحماية نوعية مياه المنبع، فمثلاً،
  - o تقسيم إتاحة التجهيزات إلى مناطق
  - o البرنامج المعني بالتفتيش على المرافق أو بمسوحات المواد الخطرة
  - o إتاحة المعلومات لمشاريع الأعمال حول المتطلبات واجبة التطبيق
  - o قائمة تحقق خاصة بالتصاريح البيئية لمشاريع الأعمال الجديدة
  - o رصد استراتيجي داخل المنطقة
  - o إعداد وتنفيذ حملات توعية للتشجيع على انتهاج أفضل ممارسات التعامل والإدارة التي تحد من مخاطر تلوث المياه
  - o إدماج حماية المياه السطحية في خطط استخدامات الأراضي الإقليمية
- تقييم مدى قابلية مصدر المياه للتأثر بأحداث الاختلال أو الأحداث الطبيعية، وتنفيذ التدابير الأمنية الملائمة حسب مقتضى الأحوال، ومنها: [25]
  - o الرصد المستمر للمياه الخام بحثاً عن بارامترات بديلة (كنسبة الحموضة، والقدرة على التوصيل، والكربون العضوي الكلي، والسمية)
  - o التفتيش على المواقع في أوقات عشوائية
  - o بالنسبة للمكامن (المستودعات) والبحيرات، تنفيذ برنامج مراقبة للمنطقة مع موظفي المتنزهات المحلية ومسخدمي المكمن/ البحيرة من أفراد المجتمع المحلي الآخرين
  - o تزويد رؤوس الآبار بأجهزة إنذار ضد التسلل

معالجة المياه

تتضمن أكثر الآثار المحتملة أهمية على صحة المجتمعات المحلية وسلامتها والمرتبطة بمعالجة المياه كلاً من الآتي:

- نوعية مياه الشرب والإمداد بها
- الكيماويات الخطرة

نوعية مياه الشرب والإمداد بها

24 هناك معلومات إضافية متاحة حول حماية نوعية موارد المياه في المنشورات العديدة التي تتناول تنفيذ توجيه مجلس الاتحاد الأوروبي رقم EEC/676/91، فيما يتعلق بحماية أنواع المياه من التلوث الذي تسببه النترات الناتجة من المصادر الزراعية (الشائعة الإشارة إليه باسم "توجيه النترات") والتوجيه رقم EEC/271/91 (معالجة المياه المستعملة للمناطق الحضرية) والمتاح في http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/report.html .

25 راجع على سبيل المثال: American Water Works Association Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities, December 9, 2004.

إن الحصول على مياه ذات نوعية مناسبة أمر جوهري لا غني عنه من أجل صحة المجتمع المحلي وحياته الصحية. وتتضمن التدابير الموصى بها فيما يتعلق بمعالجة المياه ما يلي:

- التأكد من أن القدرة على المعالجة قدرة مناسبة لتلبية الطلب المتوقع؛
- إنشاء محطات معالجة المياه وتشغيلها وصيانتها طبقاً للمتطلبات الوطنية والمعايير المقبولة دولياً [26] للوفاء بالمعايير الوطنية لنوعية المياه، أو إذا لم تكن متوفرة، فبإرشادات نوعية مياه الشرب الصادرة عن منظمة الصحة العالمية [27] ؛
- تقييم مدى قابلية تأثر نظام/ شبكة المعالجة، وتنفيذ التدابير الأمنية الملائمة مثل: [28]
  - تحري خلفيات الموظفين
  - إنشاء سياج حول محيط المحطة وتركيب أنظمة مراقبة بكاميرات الفيديو
  - تحسين نظام تغذية المرافق بالطاقة الكهربائية وتقلل أنظمة الطاقة الكهربائية الثنائية تقليلاً بالغاً من التأثير على العمليات الأساسية بسبب انقطاع التيار الكهربائي.

الكيماويات الخطرة

إن الكيماويات الخطرة المرتبطة بمعالجة مياه الشرب وتدابير التخفيف المرتبطة بالحد من الآثار المحتملة على البيئة والعمال يتم تناولهما بالمناقشة في القسمين 1 و2 على الترتيب. وإن كان بإمكان الحالة الأسوأ لأحد الانبعاثات أو الانطلاقات أن تؤثر على الصحة العامة فيجب على المرافق إعداد برنامج لمنع انبعاث أو انطلاق المادة التي تمثل مخاطر رئيسية والوقاية منها، وتطبيق هذا البرنامج، وذلك بما يتفق وما هو مبين في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. ويجب أن يتضمن هذا البرنامج تحديداً للمخاطر، وأوامر عمل مكتوبة، وتدريباً، وصيانة، وإجراءاتِ تحقيق في الحوادث.

توزيع المياه

إن شبكة توزيع المياه مكون حيوي في عملية إيصال مياه الشرب الآمنة، فحتى مع معالجة المياه المعالجة الفعالة لإزالة الملوثات وتدمير مسببات الأمراض فإن الأمراض التي يحملها الماء يمكن أن تتفشى وتنتشر بسبب عيوب شبكة التوزيع. وتتضمن التدابير الموصى بها لحماية صحة المجتمع المحلي من المخاطر المحتملة المرتبطة بشبكة توزيع المياه أو الحد منها:

- إنشاء وتشغيل وإدارة شبكات توزيع المياه وفقاً للمتطلبات الوطنية المطبقة والمعايير المقبولة دولياً؛ [29]
- إنشاء وصيانة شبكة التوزيع حتى تكون درعاً وواقياً من انفلات التلوث الخارجي إلى شبكة المياه عن طريق - على سبيل المثال:
  - التفتيش على مرافق التخزين بانتظام، وإعادة تأهيلها أو استبدالها عند الحاجة. وقد يشمل ذلك تفريغ الرواسب وإزالتها، والدهان بمادة مانعة للصدأ، وإصلاح الهياكل
  - التأكد من أن جميع أعمال التركيب، والإصلاح، والاستبدال، وإعادة التأهيل تتوافق مع المتطلبات

26 راجع على سبيل المثال: American Water Works Association Standard G100-05: Water Treatment Plant Operation and Management.
27 راجع موقع ويب منظمة الصحة العالمية http://www.who.int للاطلاع على أحدث إصدار من إرشادات مياه الشرب (Drinking Water Guidelines).
28 راجع على سبيل المثال: American Water Works Association Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities, December 9, 2004.
29 راجع على سبيل المثال: American Water Works Association Standard G200-04: Distribution Systems Operation and Management.

الخاصة بالوقاية من مضار الصرف الصحي وبنوعية المواد

- اختبار المواد والتربة ونوعية المياه، وتطبيق أفضل الممارسات لمنع التآكل، كتركيب أجهزة الحماية الكاثودية (أو "الوقاية المهبطية")
- الوقاية من التوصيل الخطأ بشبكات المجاري
- فصل خطوط المياه عن مواسير الضغط الرئيسية لشبكة المجاري (مثلاً، بمسافة 10 أقدام على الأقل أو بوضعها في خنادق مستقلة، بحيث يكون خط المجاري أسفل خط المياه بمسافة 18 بوصة على الأقل)

- المحافظة على ضغط وتدفق مناسبين للمياه على طول الشبكة، من خلال - على سبيل المثال:
  - تطبيق برامج كشف التسربات وإصلاحها (راجع القسم 1.1)
  - تقليل زمن المقاومة في المواسير
  - المحافظة على ضغط بقايا إيجابي قدره 20 رطلاً على البوصة المربعة [30]
  - رصد البارامترات الهيدروليكية كالتدفق للداخل، وللخارج، ومناسيب المياه في جميع صهاريج التخزين، ومعدلات تدفق التصريف والضغط بالمضخات، ومعدلات التدفق و/ أو الضغط بصمامات التنظيم، والضغط في النقاط الحيوية، واستخدام نماذج الشبكة لتقييم سلامتها الهيدروليكية
- منع التلوث الناتج عن شبكة التوزيع ذاتها من خلال - على سبيل المثال:
  - الحد من النمو الميكروبي ونشوء الطبقة الحيوية (مثلاً، بضمان مستويات مناسبة من تطهير البقايا). وكذلك جمع عينات من عدة مواقع من أرجاء شبكة التوزيع، بما في ذلك أبعد نقطة، واختبارها من حيث وجود البقايا الخالية وبقايا الكلورين للتأكد من المحافظة على نسبة مناسبة من بقايا الكلورين
  - اختيار مطهر بقايا (مثل الكلورين أو الكلورامينات) يوازن بين مكافحة الكائنات الممرضة وتكوّن منتجات ثانوية محتملة الخطورة من عملية التطهير [31]
  - استعمال مواد بناء لا تسهم في إطلاق المعادن غير المرغوبة والمواد الأخرى أو تتفاعل من مطهرات البقايا

1.3.2 الصرف الصحي

يمكن تنفيذ التدابير المعنية بتخفيف المخاطر المحتملة على المجتمع المحلي في كلتا عمليتي تجميع المياه المستعملة والحمأة ومعالجتهما.

تجميع/ نزح المياه المستعملة ومحتويات خزانات الفضلات الأرضية

لئن كان تجميع محتويات المجاري ونقلها بعيداً عن المناطق السكنية ليسا كافيين وحدهما لحماية الصحة العامة إلا أنهما ورغم ذلك الجانب الأكثر أهمية بوجه عام من جوانب الصرف الصحي. ولذلك كانت إتاحة خدمات التجميع أو التأكد من إتاحتها من الشواغل الرئيسية. وإن التصميم والتشغيل الفعالين لشبكة المجاري كما قد بيناه في القسم 1.1 قادران على الحد

30 National Research Council of the National Academies, Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks, The National Academies Press, 2006, p. 9.

31 قد تتفاعل المطهرات الكيماوية مع المواد الأولية العضوية وغير العضوية فتكوّن منتجات ثانوية قد تكون ضارة. ويمكن السيطرة على المنتجات الثانوية لعملية التطهير بالتحكم في موادها الأولية وإزالتها، أو بتعديل ممارسات التطهير. وعلى أية حال، تعتبر المخاطر التي تشكلها هذه المنتجات الثانوية بالنسب التي تكون بها في مياه الشرب مخاطر ضئيلة للغاية مقارنة بالمخاطر المرتبطة بالتقصير في عملية التطهير.

من احتمال تعرض المجتمع المحلي ومن نشوء مخاطر على الصحة من عملية تجميع المياه المستعملة الخام والحمأة، عن طريق - على سبيل المثال:

- منع التدفقات المفرطة لشبكة المجاري؛
- منع تراكم الغازات السامة والمتفجرة في مواسير المجاري.

معالجة المياه المستعملة والحمأة

تتضمن الآثار المحتملة على صحة المجتمعات المحلية وسلامتها والتي ترتبط بمحطات معالجة المياه المستعملة والحمأة ما يلي:

- النفايات السائلة
- الانبعاثات الهوائية والروائح
- المخاطر البدنية

النفايات السائلة

إن النفايات السائلة التي تنتج عن المياه المستعملة المعالجة عادة ما يتم صرفها في المياه السطحية أو يُعاد استخدامها في أنشطة الري أو للأغراض الأخرى. وفي العديد من الحالات، هناك احتمال قائم لملامسة الأشخاص للمياه المستعملة المعالجة سواءً بطريق مباشرة أو غير مباشرة. ومن ثم، كان من الأهمية بمكان معالجة المياه المستعملة بالطرق المناسبة لغرض إزالة الملوثات وأيضاً الكائنات الحية الدقيقة والكائنات الممرضة بخاصة، وكما هو مبين بالقسم 1.1، وهذا ليس فقط لمنع الآثار البيئية المناوئة ولكن لحماية الصحة العامة أيضاً.

الانبعاثات الهوائية والروائح

إن الروائح المنبعثة من محطات معالجة المياه المستعملة يمكن أن تشكل مصدر إزعاج للمجتمع المحلي في الجوار. كما أن بمقدور الإيروسولات البيولوجية أيضاً أن تحمل كائنات حية دقيقة مسببة للأمراض. وإضافة إلى ذلك، يمكن أن يسبب انبعاث الغازات الخطرة كالكلورين آثاراً معاكسة على السكان القريبين من المحطة.

وتناقش الإرشادات المبينة في القسمين 1.1 و1.2 عاليه وفي **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** التدابير المعنية بالسيطرة على الانبعاثات الهوائية والروائح. وإضافة إلى ذلك، يوصى بالإجراءات التالية للوقاية من تعرض المجتمعات المحلية للغبار والروائح الناتجين من مرافق التعامل مع النفايات والحد منها والسيطرة عليها:

- إتاحة منطقة فاصلة كالأشجار أو الأسيجة بين مناطق التجهيز والمستقبلات المحتملة؛
- تجنب وضع المحطة بالقرب من المناطق والمنشآت ذات الكثافة السكانية العالية أو التي توجد بها مستقبلات حساسة كالمستشفيات والمدارس. ويجب إن أمكن وضع المحطات بعد المستقبلات المحتملة في الاتجاه الذي تهب إليه الريح.

المخاطر البدنية

قد يتعرض زائرو محطات معالجة المياه المستعملة والمتعدون عليها لكثير من المخاطر المبينة في شأن عمال هذه المحطات، كما هو مبين في القسم 1.2. وتتضمن التدابير الموصى بها لوقاية المجتمع من المخاطر البدنية والحد منها والسيطرة عليها الآتي:

- تقييد الدخول إلى مرافق التعامل مع النفايات بتطبيق إجراءات أمنية، مثل:
  - تركيب سور/ سياج حول محيط المحطة بارتفاع كافٍ ومن مادة مناسبة، وله بوابة موقع تغلق بالأقفال؛
  - كاميرات أمنية تتمركز في نقاط وصول رئيسية وأجهزة إنذار أمنية تُثبت بالمباني ومناطق التخزين؛

- استخدام سجل لزائري الموقع.

- إضاءة الموقع حيثما يلزم، وحيث إن ذلك قد يمثل إزعاجاً ضوئياً للجيران، فيجب اختيار تركيبات الإضاءة بما يقلل من التلوث الضوئي المحيط.

الاستخدام في الأراضي

إن استخدام المياه المستعملة المعالجة في الزراعة يمكن أن يشكل مصدراً للمخاطر على الصحة العامة. وتشمل المخاطر المرتبطة بالمحاصيل المروية بالمياه المستعملة المعالجة الكائنات الممرضة المتعلقة بالفضلات الآدمية والكيماويات السامة والتي يمكن أن تحتوي عليها المياه المستعملة. ويوصى بالطرق التالية لحماية المستهلكين: [32]

- معالجة المياه المستعملة والحمأة المُعدتين للاستخدام في الأراضي بطريقة تتماشى مع الإرشادات بشأن الاستخدام الآمن للمياه المستعملة والفضلات الآدمية والمياه الرمادية والتي تصدرها منظمة الصحة العالمية [33] ومع المتطلبات الوطنية المطبقة؛
- وقف الري بالمياه المستعملة المعالجة لمدة أسبوعين قبل الحصاد؛
- وقف الري بالمياه المستعملة المعالجة على المحاصيل التي تُطهى قبل أن تؤكل؛
- حظر وصول عامة الناس إلى الهياكل الهيدروليكية التي تحمل مياهاً مستعملة وإلى الحقول التي تُروى بالمياه المستعملة المعالجة.

32 منظمة الصحة العالمية: Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater (الإرشادات بشأن الاستخدام الآمن للمياه المستعملة، والفضلات الآدمية، والمياه الرمادية) (2006).

33 منظمة الصحة العالمية: Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater (الإرشادات بشأن الاستخدام الآمن للمياه المستعملة، والفضلات الآدمية، والمياه الرمادية) (2006).

2.0 مؤشرات الأداء والمعايير الإرشادية للصناعة

2.1 الأداء البيئي

الإرشادات

مياه الشرب

يجب أن تفي نوعية المياه في شبكات الإمداد بمياه الشرب بالمعايير الوطنية المشرعة بشأن نوعية المياه، أو إذا لم تكن متوفرة فبأحدث إصدار من الإرشادات بشأن نوعية مياه الشرب الصادرة عن منظمة الصحة العالمية [34] ، وذلك في جميع أجزاء شبكة التوزيع؛

الصرف الصحي

الإرشادات بشأن النفايات السائلة: إن اختيار تكنولوجيا الصرف الصحي وتصميم مشروع معالجة المياه المستعملة يبدآن بتحديد المستوى المطلوب للمعالجة ومن أي نوع ستكون. ويجب أن تستند عملية إقرار الإرشادات بشأن النفايات السائلة المرتبطة تحديداً بمشاريع الصرف الصحي إلى تحديد واضح للأهداف الصحية وتقييم شامل للبدائل، مع الأخذ في الاعتبار عوامل مثل تكنولوجيات المعالجة الملائمة، ونوعية وكمية المياه المستعملة الخام وتنوعها، ومساحة الأرض المتاحة لمحطة المعالجة، والموارد المتاحة لنفقات رأس المال والتدريب والتشغيل والصيانة والإصلاح، ومدى إتاحة المشغلين المهرة وفنيي الصيانة وكيماويات المعالجة وقطع الاستبدال.

وعلى المنهج الذي يقع الاختيار عليه أن يحقق نوعية مياه في النفايات السائلة تتوافق مع المتطلبات الوطنية المطبقة أو المعايير المقبولة دولياً [35] ، ومع الأهداف الموضوعة لتحقيق نوعية مياه في النفايات السائلة استناداً إلى الطاقة الاستعابية للمياه المستقبلة واستخدامها النهائي الأكثر حساسية. [36] , [37]

إن معايير المعالجة في المعتاد إما معايير معنية بالتكنولوجيا تحدد تكنولوجيات أو عمليات المعالجة التي يجب تطبيقها لتحقيق أهداف نوعية المياه، أو معايير معنية بالنفايات السائلة تحدد نوعية المياه بالنفايات السائلة التي يجب أن تنتج من عملية المعالجة من حيث الخصائص المادية والبيولوجية والكيميائية. وفي الأغلب تضع المعايير المعنية بالنفايات السائلة حدود التركيزات المسموح بها للحاجة الحيوية الكيميائية للأكسجين، والحاجة الكيميائية للأكسجين، ومجموع الجوامد المعلقة، والنيتروجين، والفوسفور، الخ.

إدارة إعادة استخدام المياه المستعملة المعالجة والتعامل مع الحمأة: يجب أن تتوافق نوعية المياه المستعملة المعالجة والحمأة المُعدتين للاستخدام في الأراضي مع الإرشادات بشأن الاستخدام الآمن للمياه المستعملة والفضلات الآدمية والمياه

34 يتوفر إصدار عام 2006 للإرشادات بشأن نوعية المياه على الموقع:
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/en/index.html

35 راجع على سبيل المثال: البرازيل: Resolucao Conama No. 357, March 17, 2005; والاتحاد الأوروبي: Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 Concerning Urban Wastewater Treatment; والولايات المتحدة: Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 133 (7-1-02 Edition) – Secondary Treatment Regulation;(والمكسيك: Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996; والصين: GB 18918-2002 Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant; والهند: National Standards for Effluents and Emission under Section 25 of the Environmental (Protection) Act, 1986, General Standards for Discharge of Environmental Pollutants, Part A – Effluents.

36 راجع منظمة الصحة العالمية: Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff, 1993.

37 راجع قسم "التصريف في المياه السطحية" في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة.

الرمادية التي تصدرها منظمة الصحة العالمية [38] ومع المتطلبات الوطنية المطبقة. كما يجب تقييم الآثار المحتملة على التربة والمياه الجوفية والسطحية في سياق توفير الحماية والمحافظة والاستدامة طويلة الأجل للمياه وموارد الأراضي عند استخدام الأراضي في إطار أي نظام لمعالجة المياه المستعملة. وتحتاج الحمأة الناتجة عن وحدات معالجة النفايات إلى تقييم، كل حالة على حدة، لإقرار ما إذا كانت تشكل نفايات خطرة أو غير خطرة ثم التعامل معها بموجب هذا التقييم، كما هو مبين في قسم "التعامل مع النفايات" من هذه الوثيقة.

الرصد البيئي

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بذلك القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي صنفت على احتمال انطوائها على تأثيرات كبيرة على البيئة، أثناء عمليات التشغيل العادية وفي الظروف المضطربة. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة للانبعاثات والنفايات السائلة واستغلال الموارد التي يمكن تطبيقها على مشروع معين.

وينبغي أن يكون معدل تكرار الرصد بالقدر الكافي لتوفير بيانات تمثيلية للمعيار الجاري رصده، مع استخدام المعايير والإجراءات المعترف بها دولياً. ويجب أن يقوم بعمليات الرصد أفراد مدربون وفقاً لإجراءات الرصد والاحتفاظ بالسجلات واستخدام معدات تجري معايرتها وصيانتها على نحو سليم. كما ينبغي تحليل بيانات الرصد ومراجعتها على فترات منتظمة ومقارنتها بالمعايير التشغيلية حتى يتسنى اتخاذ أية إجراءات تصحيحية لازمة. وتتوفر إرشادات إضافية عن الطرق المطبقة في أخذ العينات والتحليل فيما يتعلق بانبعاث الملوثات والنفايات السائلة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. [39]

2.2 أداء الصحة والسلامة المهنية

إرشادات الصحة والسلامة المهنية

يجب تقييم أداء الصحة والسلامة المهنية بالمقارنة مع إرشادات التعرض المنشورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (VLT®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (sIEB®) المنشورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH) [40]، و{دليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل} المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH) [41]، وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA) [42]، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي [43]، أو ما يشابهها من مصادر.

معدلات الحوادث والوفيات

يجب على إدارات المشاريع أن تحاول خفض عدد الحوادث التي تقع بين عمال المشروع (سواءً المعينين مباشرة أو المتعاقدين من الباطن) إلى أن يصل إلى مستوى الصفر، لا

38 منظمة الصحة العالمية، 2006.

39 للحصول على معلومات إضافية حول رصد أداء شبكات المياه والصرف الصحي، يُرجى استشارة المذكرة الفنية الصادرة عن البنك الدولي تحت عنوان "إدارة نوعية المياه" رقم *D.1- Water Quality: Assessment and Protection, 2003*، وهي متاحة على الموقع: */http://web.worldbank.org* (قسم *Water Resource Management* ("إدارة الموارد المائية"); *publications* ("المنشورات"))

40 متاح على الموقع التالي: /http://www.acgih.org/TLV

41 متاح على الموقع التالي: /http://www.cdc.gov/niosh/npg

42 متاح على الموقع التالي:

http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

43 متاح على الموقع التالي:
/ http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel

سيما الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فقدان وقت العمل، أو إلى مستويات مختلفة من الإعاقة، أو حتى إلى حدوث وفيات. ويمكن مقارنة معدلات المنشأة بأداء المنشآت الأخرى في هذا القطاع بالبلدان المتقدمة من خلال الاشارة إلى المصادر المنشورة (مثلاً، مكتب الولايات المتحدة لإحصائيات العمل وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة). [44]

رصد الصحة والسلامة المهنية

يجب رصد بيئة العمل بحثاً عن الأخطار المهنية ذات الصلة بالمشروع المحدد. وينبغي أن يقوم بتصميم وتنفيذ أنشطة الرصد مهنيون معتمدون من ذوي الخبرة في مجال المياه والصرف الصحي في إطار برنامج رصد للصحة والسلامة المهنية. كما يجب على المرافق الاحتفاظ بسجلات عن الحوادث والأمراض المهنية والأحداث والحوادث الخطرة. وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة المهنية في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

44 متاح على الموقعين التاليين: http://www.bls.gov/iif/
http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm

3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

American Water Works Association. 2004. Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities. December 9, 2004.

American Water Works Association. 2004. Interim Voluntary Security Guidance for Wastewater/Storm water Utilities. December 9, 2004.

Brown, Nellie J. 1997. Health Hazard Manual: Wastewater Treatment Plant and Sewer Workers-- Exposure to chemical hazards and biohazards, Cornell University Chemical Hazard Information Program, Ithaca, NY, December 1, 1997.

Cairncross and Feachem, 1993. Environmental Health Engineering in the Tropics, An Introductory Text. (2nd Edition). John Wiley and Sons.

Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.

Environmental Protection Agency (EPA), Federal Register / Vol. 66, No. 243, National Pollutant Discharge Elimination System: Regulations Addressing Cooling Water Intake Structures for New Facilities, December 18, 2001 pp. 65256 – 65345.

European Union Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC).

European Union Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (98/83/EC).

Federation of Canadian Municipalities. 2003. Infiltration/Inflow Control/Reduction for Wastewater Collection Systems: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide). March 2003.

Federation of Canadian Municipalities. 2004. Assessment and Evaluation of Storm and Wastewater Collection Systems: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide). July 2004.

Heinss and Strauss. 1999. Co-treatment of Faecal Sludge and Wastewater in Tropical Climates. Report EAWAG/SANDEC, P.O. Box 611, CH-8600 Duebendorf, Switzerland, January 1999

Kayombo et al. Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual. Available at http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Water_Sanitation/ponds_and_wetlands/Design_Manual.pdf

Monangero and Strauss. 2002a. Faecal Sludge Management – Review of Practices, Problems and Initiatives. Available at http://www.sandec.ch/FaecalSludge/Documents/FS_management_(SANDEC_GHK_2002).pdf

Monangero and Strauss. 2002b. Faecal Sludge Treatment. Lecture Notes, IHE Delft, February 14 2002.

Morel and Diener. 2006. Greywater Management in Low- and Middle-Income Countries. Sandec (Water and Sanitation in Developing Countries) at Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology)

Peña Varón and Mara. 2004. Waste Stabilization Ponds. IRC International Water and Sanitation Centre Thematic Overview Papers.

Stockholm Environment Institute. 2004. Ecological Sanitation.

Swiss Federal Institute for Env. Science & Technology. 2001. Nam Dinh Urban Development Project Septage Management Study. November 1, 2001.

Swiss Federal Institute for Env. Science & Technology. 2002. Fecal Sludge Management in Developing Countries: A planning manual. April 2002.

U.S. EPA. 1999. Combined Sewer Overflow O&M Fact Sheet. EPA 832-F-99-039. September 1999.

U.S. EPA. 2006. Emerging Technologies for Biosolids Management. 832-R-06-005 September 2006.

UNEP. 2000. International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management.

Wagner EG & Lanoix JN. Excreta disposal for rural areas and small communities. WHO monograph series No. 39. WHO, Geneva. 1958.

Water Environment Federation. 1996. Developing Source Control Programs for Commercial and Industrial Wastewater.

Water Resources And Environment Technical Note D.1 - Water Quality Management: Assessment and Protection

Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University. Technical Brief 37: Re-Use of Wastewater. Available at http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/37-re-use-of-wastewater.pdf.

WHO. 2000. Tools for assessing the O&M status of water supply and sanitation in developing countries. WHO/SDE/WSH/00.3.

WHO. 2003. Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff.

WHO. 2006. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed.

WHO. 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater.

WHO. 2003. Domestic Water Quantity, Service Level and Health. WHO/SDE/WSH/03.02.

Word Bank. 2004. Water Resources Sector Strategy.

World Bank Water Resources and Environment Technical Note C.1 – Environmental Flow Assessment: Concepts and Materials

World Bank, Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian Countries: Towards a More Effective Operational Response, April 2005 http://siteresources.worldbank.org/INTSAREGTOPWATRES/Resources/ArsenicVolI_WholeReport.pdf

World Bank, Water Resources And Environment Technical Note D.2 -

World Bank, Water Resources And Environment Technical Note D.3-

World Bank, Water Resources and Environment, Technical Note F.1- Water Conservation: Urban Utilities

World Bank, Water Resources and Environment, Technical Note F.3-

World Bank. 2005. Alternative Technologies for Water and Sanitation Supply in Small Towns. Water and Sanitation Program. April 2005.

World Bank. 2005. Sanitation and Hygiene at the World Bank: An Analysis of Current Activities. Water and Sanitation Sector Board Working Note, Paper No. 6, November 2005.

الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

أ.1 الإمداد بمياه الشرب

إن الحصول على مياه ذات نوعية مناسبة أمر جوهري لا غني عنه من أجل الصحة العامة والحياة الصحية. [45] وتشتمل شبكة الإمداد بمياه الشرب نموذجياً على العناصر التالية:

- مصدر للمياه، كنهر، أو بحيرة، أو مكمن (خزان طبيعي)، أو مستودع للمياه الجوفية حيث تتجمع المياه، وأيضاً مستجمعات المياه ومناطق إعادة التغذية المحيطة التي تغذي المصدر بالمياه ووسيلة لاستخراج (سحب) المياه ونقلها من المصدر إلى نقطة المعالجة.
- مرفق معالجة من أجل تطهير المياه.
- تجهيزات تخزين المياه المعالجة وشبكة توزيع لإيصال المياه المعالجة من نقطة التخزين إلى نقطة الاستهلاك (بالمنازل، وصنابير إطفاء الحريق، ونقاط الاستخدام الصناعي، الخ).

مصادر المياه

تتضمن المصادر التقليدية لغرض معالجة مياه للشرب موارد المياه الجوفية والمياه السطحية. وحين لا تتوفر مياه سطحية أو جوفية بنوعية ملائمة يمكن استخدام مصادر أخرى للمياه كمياه البحار أو المياه المائلة للملوحة، الخ، لإنتاج مياه صالحة للشرب. [46]

المياه الجوفية: تُعاد تغذية المياه الجوفية من السطح وتتدفق إليه بطرق طبيعية، وهي توفر مكمناً طويل الأجل في دورة المياه الطبيعية ويتراوح زمن الاحتجاز (بقاؤها) من أيام حتى آلاف الأعوام. وتتفاوت نوعية المياه الجوفية تبعاً لمصدرها، ولكنها تتميز بصفاء جيد بوجه عام نتيجة للترشيح الطبيعي إذ أنها تمر خلال طبقات التربة المسامية. والمياه الجوفية العميقة تنخفض فيها عامة تركيزات البكتريا المسببة للأمراض، ولكنها قد تكون غنية بالمواد الصلبة المذابة، لاسيما كربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم. وقد تتباين النوعية البكتيرية للمياه الجوفية الضحلة حسب طبيعة منطقة إعادة التغذية، كما قد توجد بها مجموعة متنوعة من المواد المذابة كالمعادن السامة مثل الزنك والنحاس والزرنيخ.

المياه السطحية: إن نوعية المياه السطحية تعتمد اعتماداً كبيراً على منبعها. وتوجد البحيرات والمكامن النجدية (أي المرتفعة الأرض) في المعتاد عند منابع الأنظمة النهرية في أعالي هذه الأنظمة قبل المناطق المأهولة. وتنخفض مستويات البكتريا والكائنات الممرضة على وجه العموم ولكن قد توجد بعض البكتريا أو الكائنات الأولية وحيدة الخلية أو الطحالب. وحين يُغطى النجدُ بالغابات أو حين يكون مستنقعاً خثياً فقد تتلون المياه بلون الأحماض الدُبالية. وتنخفض نسبة الحموضة (الأس الهيدروجيني) في كثير من المياه السطحية النجدية. وأما الأنهار والقنوات والمكامن التي تقع في منخفض من الأرض فترتفع فيها عامة تركيزات البكتريا وقد تحتوي أيضاً على الطحالب والمواد الصلبة (الجوامد) المعلقة، ومجموعة متنوعة

45 يشمل الحصول على المياه كمية المياه المتاحة وكذلك المسافات المقطوعة والوقت المستغرق في الحصول عليها. وقد حددت منظمة الصحة العالمية أن الحصول على المياه الأساسية هو ما يشمل كمية مياه تبلغ 20 لتراً تقريباً للفرد في اليوم، متاحة على مسافة 100 إلى 1000 متر أو زمن حصول كلي قدره من 5 دقائق إلى 30 دقيقة. وهذا بوجه عام كافٍ لتلبية الاحتياجات من الاستهلاك الأساسي، وغسل اليدين، وإعداد الطعام. ويتضمن الحصول الأمثل على المياه كمية تبلغ 100 لتر للفرد في اليوم أو أكثر موصل بالأنابيب مباشرة إلى المنتفع، وهو ما يسهل تلبية احتياجات غسل الملابس والاستحمام إضافة إلى الاحتياجات الأساسية الأخرى. وفي هذا الصدد، يُرجى الاطلاع على مرجع منظمة الصحة العالمية:
Domestic Water Quantity, Service Level and Health, 2003, WHO/SDE/WSH/03.02.

46 إن الحصول على الماء بتكثيف الرطوبة الموجودة في الجو أمر ممكن أيضاً، غير أن تطبيقاته العملية محدودة.

من المكونات الأساسية المذابة.

مصادر المياه الأخرى: تشمل مصادر المياه الأخرى مياه البحار والمياه المائلة للملوحة، والتي تحتوي على تركيزات عالية من الجوامد المذابة، والتي تجب إزالتها كي تناسب المياه الاستخدامات المنزلية والزراعية والصناعية.

معالجة المياه

تتنوع عمليات المعالجة المطلوبة لإحالة المياه إلى مياه صالحة للاستهلاك الآدمي حسب مصدر المياه، ولكنها تشمل فيما تشمل إزالة المواد الصلبة المعلقة والمواد المذابة، وعمليات التطهير.

إزالة الجوامد المعلقة

تُزال الجوامد المعلقة عادة بالترسيب و/أو بالترشيح. ويمكن استخدام التخثير والتلبيد والترسيب كعمليات معالجة أولية لرفع مستوى الفعالية وتخفيض تكلفة الترشيح اللاحق. وينطوي التخثير على إضافة مواد كيميائية للمياه كموانع تَغير الحمضية والمخثرات لتسهيل خطوات المعالجة اللاحقة. وتُرسل المياه المعالجة كيماوياً إلى حوض حيث تتصادم الجزئيات العالقة وتكوّن جزئيات أثقل تُسمى الخُثرة. ويسهل من هذه العملية الرجُ الخفيف وأزمنة الاحتجاز الملائمة. ثم يتلو ذلك تقليل لسرعة جريان المياه حتى تترسب المادة العالقة فتنفصل عن مجرى المياه بفعل الجاذبية. كما يمكن أيضاً إزالة الخثرة مباشرة أثناء عملية الترشيح. وتشتمل طرق الترشيح الشائعة على استخدام المرشحات الرملية البطيئة، ومرشحات التراب الدياتومي [أي التراب المتكون من قشرة الدياتوم وهو طحلب نهري]، وأنظمة الترشيح المباشر. وقد تستخدم أنظمة معالجة المياه الأصغر أيضاً أنظمة ترشيح بالأغشية والخراطيش.

ويتكون المرشح الرملي البطئ من طبقة من الرمل الدقيق الحجم بعمق يتراوح من 3 إلى 4 أقدام تُفرش فوق طبقة من الحصى بعمق قدم ويتصل بها نظام للتصريف السفلي. والمرشحات الرملية البطيئة غير مكلفة نسبياً في تركيبها، وبسيطة في تشغيلها وموثوقة في عملها، ويمكنها أن تحقق مستوى إزالة لأكياس الجياردیا يفوق 99.9 في المائة. ولكنها مع ذلك لا تناسب المياه شديدة الكدرة ولا بد من صيانة سطح المرشح. كما يتطلب استخدام هذه المرشحات مساحات كبيرة من الأرض بسبب معدلات التدفق (0.03 إلى 0.10 غالون في الدقيقة لكل قدم مربع من مساحة طبقة مهاد المرشح). غير أن المرشحات الرملية البطيئة لا تتطلب عمليات تخثير/ تلبيد وقد لا تتطلب الترسيب.

تعتمد طريقة الترشيح بالتراب الدياتومي، والمعروفة أيضاً بترشيح الطبقة الأولية أو الترشيح الدياتومي، على طبقة من التراب الدياتومي يبلغ سمكها 8/1 من البوصة تقريباً توضع فوق حاجز فاصل أو عنصر ترشيح. ويمكن وضع الحواجز الفاصلة في أوعية ضغط، أو قد تعمل بالشفط (خلخلة الهواء) في أوعية مفتوحة. ومرشحات التراب الدياتومي بسيطة في التشغيل وفعالة في إزالة الأكياس المائية، والطحالب، والأسبيستوس. وقد أُختيرت في مشروعات ذات رأس مال ابتدائي محدود، وكقدرة احتياطية، أو قدرة لحالات الطوارئ لتلبية زيادات الطلب الموسمية الكبيرة. وهي تناسب أكثر ما تناسب المياه منخفضة العدد البكتيري والكدرة (أقل من 10 وحدات قياس جسيمات الكدرة (من حيث الحجم والتركيز). وتتطلب العملية استخدام مساعدات تخثير وترشيح حتى يمكن إزالة الفيروسات إزالة فعالة. وتنتج عن استعمال مرشحات التراب الدياتومي رواسب المرشحات المستهلكة.

وتتشابه أنظمة الترشيح المباشر مع الأنظمة التقليدية، ولكن بدون ترسيب، وبمقدور أنظمة الترشيح متعددة المراحل أن تلغي الحاجة إلى عملية التخثير الكيماوي أيضاً. وقد يشمل

الترشيح المباشر عدة تجميعات من عمليات المعالجة. ويمكن استخدام مرشحات بوسائط ثنائية أو مختلطة للتجهيز الفعال للمياه ذات مستويات الكدرة العالية الآتية من الروافد. ويتراوح الأداء الفعال لعملية الترشيح المباشر بين 90 و99 في المائة من حيث التخلص من الفيروسات، وبين 10 و99.99 في المائة في إزالة الجيارديا. والترشيح المباشر أكثر مناسبة من الناحية العملية لشبكات المياه ذات النوعية العالية وإمدادات الروافد الموسمية المتسقة. ويجب أن يكون مستوى كدرة الرافد عموماً أقل من 5 إلى 10 وحدات قياس جسيمات الكدرة، ولونها أقل من 20 إلى 30 وحدة.

تتبنى عملية الترشيح بالأغشية على استخدام ضغط لدفع المياه خلال غشاء رقيق، فيتم احتجاز الملوثات على جانب الضغط العالي، وكثيراً ما تُزال بعكس التيار وكسح النفايات. وتكنولوجيا الأغشية بسيطة التركيب نسبياً. وفيما يخص مصادر المياه الجوفية التي لا تحتاج إلى معالجة أولية لا يتطلب نظام الأغشية أكثر من مضخة تغذية، ومضخة تنظيف، ووحدات الأغشية، وخزانات حفظ. ويمكن أن يكون تشغيل أنظمة الأغشية مؤتمتاً للغاية. ويمكن أن تُستخدم عمليات الترشيح بالأغشية في إزالة البكتريا، والكائنات الدقيقة الأخرى، والجسيمات، والمواد العضوية الطبيعية. ولكن قد يحد الاتساخ من فعالية الأغشية، ومن ثم، يلزم التنظيف الدوري بالكيماويات لإزالة الملوثات المتشبثة.

يعمل الترشيح بالخراطيش على دفع المياه خلال وسائط مسامية لإزالة الجسيمات؛ وتتراوح مقاسات المسام الملائمة لإنتاج مياه صالحة للشرب من 0.2 إلى 1.0 ميكرون. وقد يكون من الضروري أحياناً المعالجة الأولية بمرشح خشن قبل الترشيح بالخراطيش لمنع الاتساخ السريع للخراطيش. وتناسب المرشحات الخرطوشية عمليات إزالة الميكروبات والكدرة في الشبكات الصغيرة، وهي سهلة التركيب والصيانة. وتتسخ الخراطيش المصنوعة من البولي إيثيلين بسرعة إلى حد ما ويجب استبدالها بخراطيش جديدة؛ ولذلك، تعتبر أنظمة الترشيح بالخراطيش عامة عملية فقط في حالة المياه الخام (غير المعالجة) ذات مستويات الكدرة المنخفضة. ورغم أن تشغيل هذه الأنظمة بسيط، إلا أنها غير مؤتمتة وقد تتطلب ميزانيات تشغيل كبيرة نسبياً، كما أن وسائط الترشيح قد تتطلب تنظيف دوري.

إزالة الملوثات المذابة

يجب معالجة بعض مصادر المياه لإزالة المواد المذابة منها والتي لا تتأثر بعمليتي التخثير والترشيح، وذلك لإنتاج مياه بنوعية مناسبة. وتسهم تركيزات الفلزات العالية كالكالسيوم والمغنسيوم في تكوّن الماء "العسر" وما ينتج عن ذلك من مشاكل تراكم القشور. ويمكن أن تتسبب المعادن المذابة كالحديد والمنجنيز في إحداث آثار معاكسة في طعم الماء وبقع وتراكم جزئيات الأكاسيد الفلزية في خزانات المياه وأنابيب التوزيع. وأما النويدات المشعة والنترات والفلزات السامة كالنحاس والزرنيخ فيمكن أن تسبب آثاراً ضارة بالصحة. وكذلك قد تتسبب المركبات العضوية المذابة في حدوث آثار ضارة بالشكل وبالصحة. وتشمل طرق المعالجة التيسير الكلسي، والأكسدة، والتبادل الأيوني، والتناضح العكسي، والديلزة (الفصل الغشائي) الكهربية، والتهوية (نزع الهواء)، والترشيح بالكربون المنشط.

ترفع عملية التيسير الكلسي من الأس الهيدروجيني (الحموضة) للماء لترسيب كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنسيوم باستخدام الكلس (الجير) أو الكلس المطفأ. ثم تزال المادة المترسبة الناتجة بالترقيد أو الترشيح. ويتبع الترشيح تخفيض درجة الحموضة بإضافة ثاني أكسيد الكربون الذي يتم إنتاجه من احتراق الوقود الأحفوري بالموقع. وإضافة إلى

إزالة الكالسيوم والمغنسيوم، يمكن لعملية التيسير الكلسي أن تزيل الحديد والمنجنيز، والمعادن الثقيلة، والزرنيخ، والنويدات المشعة (اليورانيوم، وراديوم 226، وراديوم 228)، ومركبات عضوية معينة. وهذه العملية أنسب ما تكون لمعالجة مصادر المياه الجوفية ذات نوعية المياه الثابتة نسبياً. ولكن، قد يجعل الجمع بين نوعية مياه المصادر المتغيرة وتعقيد كيمياء عملية التيسير الكلسي بوجه عام من هذه العملية أمراً معقداً مفرطاً في التعقيد بالنسبة للشبكات الصغيرة التي تستخدم مصادر المياه السطحية. فالماء اليسر يسراً مفرطاً يمكن أن يسبب تآكل المواسير، مما يقصر العمر الافتراضي لعمل المواسير والأجهزة المنزلية، كما يمكنه أن يؤدي إلى إذابة مواد سامة كالرصاص والكادميوم في مياه الشرب.

يمكن استخدام طريقة الأكسدة لإزالة المعادن كالحديد والمنجنيز من خلال تكوين مجموعات غير ذوابة يمكن ترشيحها لاحقاً وفصلها عن الماء. كما يمكن أيضاً أن تُستخدم الأكسدة لتدمير ملوثات عضوية معينة. ومن أشهر المؤكسدات الكيميائية المستخدمة في معالجة المياه الكلورين، وثاني أكسيد الكلورين، وبرمنجنات البوتاسيوم، والأوزون. وكثيراً ما تُستخدم الأكسدة بالكلورين أو برمنجنات البوتاسيوم في شبكات المياه الجوفية الصغيرة. فالجرعات سهلة نسبياً، وتتطلب معدات بسيطة، وغير مكلفة إلى حد ما. وتُستخدم طريقة المعالجة بالكلورين على نطاق واسع في أكسدة الحديد والمنجنيز ثنائي التكافؤ، غير أن تكوّن ثلاثي الميثان المهلجن (THMs) قد يكون مشكلة؛ وكمادة مؤكسِدة، تعتبر برمنجنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) عادة أغلى ثمناً من الكلورين والأوزون، غير أنه قد وردت تقارير عن أن لها نفس الكفاءة في إزالة الحديد والمنجنيز وأنها تتطلب في ذلك معدات ورأس مال مستثمر أقل كثيراً. ويجب مع ذلك التحكم جيداً في جرعة برمنجنات البوتاسيوم. ويمكن استخدام الأوزون في أكسدة الحديد والمنجنيز ولكن قد لا يتسم ذلك بالفعالية في وجود المادة الدبالية أو المادة الفلفية. كما يمكن استخدام الأكسجين مادةً مؤكسدة شريطة ألا يكوّن الحديدُ مركبات مع المواد الدبالية أو الجزئيات العضوية الكبيرة الأخرى. ويعوق وجود المجموعات الأخرى القابلة للأكسدة في المياه أكسدة المركبات المختزلة المرغوبة.

يمكن استخدام طريقة التبادل الأيوني لإزالة أية مجموعات مشحونة (أي متأينة) من المياه، ولكنها تُستخدم عادة في إزالة عسر الماء والنترات. وتتم الإزالة بامتزاز الأيونات المسببة للتلوث إلى وسيط تبادل راتنجي. وتدخل المياه عادة في عملية معالجة أولية لخفض مستويات الجوامد المعلقة والجوامد الكلية المذابة (TDS) في حِمل المياه المُعدة للمعالجة بوحدة التبادل الأيوني. ويمكن تنفيذ عملية التبادل الأيوني مع معدلات التدفق المتذبذبة، علماً بأن نفايات هذه العملية تتركز تركيزاً عالياً وتتطلب التخلص منها بعناية. كما أن وحدات التبادل الأيوني حساسة أيضاً لوجود أيونات منافسة، فعلى سبيل المثال، تتنافس مياه الرافد ذات المستويات العالية من العسر مع الكاتيونات (الأيونات الموجبة) الأخرى على الحيز المتاح على وسيط التبادل الذي يجب إعادة توليده مراراً وتكراراً.

يعمل التناضح العكسي على إزالة الملوثات من المياه باستخدام غشاء نصف مثفذ يسمح بمرور الماء فقط ولا يسمح بمرور الأيونات المذابة (كالصوديوم والكلوريدات) من مسامه. وتخضع المياه الخام لضغط عالٍ يدفع بالماء النقي عبر الغشاء ومخلفاً الملوثات وراءه في محلول ملحي. وبإمكان التناضح العكسي أن يزيل كافة الملوثات غير العضوية تقريباً بفعالية من المياه، فهو يزيل أكثر من 70 في المائة من الزرنيخ (3 و4)، والباريوم، والكادميوم، والكروم (3 و6)، والفلورايد، والرصاص، والزئبق، والنترات، والسيلينيوم (4 و6)، والفضة، وتستطيع الوحدات المشغلة جيداً أن تصل إلى

معدلات إزالة بنسبة 96 في المائة. كما أن التناضح العكسي فعال في إزالة الراديوم، والمواد العضوية الطبيعية، والمبيدات الحشرية، والملوثات الميكروبيولوجية. وعلاوة على كل ما سبق، يعتبر التناضح العكسي ذا فعالية خاصة إذا طُبق على التوالي، أي مرور المياه خلال وحدات متعددة قادر على تحقيق مستويات تركيزات للملوثات في النفايات السائلة تداني العدم. والأنظمة التي تطبقه غير حساسة نسبياً لمعدلات التدفق وتركيز الجوامد الكلية المذابة، ولهذا، يعتبر التناضح العكسي مناسباً للشبكات الصغيرة التي عليها طلب موسمي على المياه بدرجة عالية من التذبذب. وتحتاج هذه الأنظمة إلى اهتمام أقل من المشغلين لها لبساطة تشغيلها وأتمتها، وهو ما يجعلها مناسبة لتطبيقات الشبكات الصغيرة. ولكن جدير بالذكر هنا أن طريقة التناضح العكسي تتطلب رأس مال كبير وتكاليف عالية في التشغيل، ومستوى معالجة أولية عالٍ في بعض الحالات لمنع الاتساخ والتلوث.

كما تُطبق طريقة التناضح العكسي أيضاً في تحلية مياه البحر ولمصادر المياه الأخرى التي توجد بها كميات كبيرة من الجوامد المذابة. وعادة ما تكون مياه التحلية النقية حامضية وأكالة للمواسير، ومن ثم تُخلط في المعتاد مع مصادر المياه الأخرى التي تُضخ بالمواسير بالموقع أو تُعدل درجة حمضيتها، وعسرها، وقلويتها قبل الضخ إلى خارج الموقع. ويتراوح استرداد المياه المنتجة بالنسبة للمياه المُدخلة من 15 إلى 50 في المائة في معظم محطات تحلية مياه البحر (وهو ما يعني أن في مقابل كل 100 غالون من مياه البحر يُنتج 15 إلى 50 غالون من المياه النقية إلى جانب مياه ملحية تحتوي على جوامد مذابة). وقد يحتوي المحلول الملحي والنفايات السائلة الأخرى الناتجة من محطات تحلية المياه على كل أو بعض المكونات التالية: تركيزات ملحية عالية، وكيماويات مستخدمة أثناء إزالة اتساخ معدات المحطة والمعالجة الأولية، ومعادن سامة (والتي قد توجد إذا اتصلت مياه الصرف بمواد معدنية استخدمت في بناء مرافق المحطة). ويمكن صرف النفايات السائلة مباشرة في البحر، أو صرفها مع مياه الصرف الأخرى (مثلاً، مياه التبريد بالمحطة أو النفايات السائلة من محطة معالجة الصرف الصحي) قبل الصرف في البحر، أو صرفها في شبكة صرف صحي للمعالجة بمحطة لمعالجة مياه الصرف الصحي، أو تبخيرها (والتخلص من الجوامد المتبقية في مدفن للقمامة). وتنتج محطات التحلية أيضاً كمية صغيرة من النفايات الصلبة (مثلاً، مرشحات المعالجة الأولية المستهلكة، والجسيمات الصلبة التي يتم ترشيحها في عملية المعالجة الأولية).

تستخدم طريقة الديلزة (الفصل الغشائي) الكهربية شحنة كهربية وغشاءً نصف مُنفذ لإزالة المجموعات (المركبات) المشحونة. وأغشية الديلزة الكهربية مصممة بحيث تسمح للأيونات الموجبة أو السالبة بالمرور خلالها، وهكذا تنتقل الأيونات من مجرى مياه الإنتاج عبر غشاء إلى مجريي مياه الطرح (الرفض). وتبلغ مياه مجرى الطرح النموذجي 20-90 في المائة من مياه التغذية. وتستطيع طريقة الديلزة الكهربية إزالة غالبية الأيونات المذابة، وهي فعالة جداً في إزالة الفلورايد والنترات، وبإمكانها أيضاً إزالة الباريوم والكادميوم والسيلينيوم. وهذه الطريق غير حساسة نسبياً لمعدلات تدفق المياه ومستوي الجوامد الكلية المذابة، ويمكن الوصول فيها إلى تركيز منخفض للنفايات السائلة. ولكن لنذكر أيضاً أنها من الطرق التي تتطلب رأس مال كبير، وتكاليف عالية في التشغيل، وربما مستوى عالٍ من المعالجة الأولية.

إن التهوية (نزع الهواء) طريقة يمكن استخدامها لإزالة المركبات المتطايرة والرادون من مياه المنبع. وتنبعث الملوثات المحولة إلى غازات متطايرة في الجو بعد معالجتها أو بدون معالجة. وتشمل أنظمة التهوية التي يمكن استخدامها

في شبكات مياه الشرب تهوية الأعمدة أو الأبراج المعبأة، والتهوية بنشر الهواء (الأكسجين)، والتهوية بالأحواض المتعددة، والتهوية الميكانيكية. ومن الممكن في شبكة صغيرة استخدام جهاز تهوية بسيط مُصنع من مواد شائعة نسبياً بدلاً من استخدام نظام تهوية مصمم تصميماً خاصاً.

يزيل الكربون المنشط الملوثات بالامتزاز، وهي طريقة مادية في أساسها تلتصق فيها الملوثات المذابة بالسطح المسامي لجزئيات الكربون. ويقوم الكربون المنشط بإزالة ملوثات عضوية عديدة ويزيل أيضاً مُغيرات الطعم والرائحة من المياه. وتشمل المواد العضوية التي لا تُمتز بسهولة بالكربون المنشط الكحوليات، والمركبات الأليفاتية منخفضة الوزن الجزيئي (بما فيها كلوريد الفينيل)، والكيتونات، والأحماض، والألديهيدات، والسكر، والنشا، والمواد العضوية ذات الوزن الجزيئي المرتفع جداً أو شبه الغروية. وجدير بالذكر أن إزالة الرادون بالكربون المنشط غير عملية على مستوى محطات المعالجة. ويُستبدل الكربون المنشط دورياً عندما يتشبع سطحه ولا يعد قادراً على امتزاز الملوثات بفعالية. ولكن، يمكن عكس عملية الامتزاز بسهولة نسبياً، وهو ما يسمح بإعادة توليد الكربون المنشط وإعادة استخدامه.

التطهير

يضيف المسؤولون عن تشغيل شبكات المياه المواد المطهرة لتدمير الكائنات الحية الدقيقة التي يمكن أن تسبب الأمراض للإنسان. وتشمل المطهرات الشائعة الاستخدام الكلورين (الكلور)، والكلورامينات، والأوزون، والأشعة فوق البنفسجية. وهناك طرق تطهير أخرى وهي تتضمن التطهير بثاني أكسيد الكلورين، وبرمنجنات البوتاسيوم والترشيح المتناهي الدقة (النانوتكنولوجيا). وتحقق مرحلة التطهير الأولية المستوى المرغوب من قتل الكائنات الحية الدقيقة أو إبطال مفعولها، بينما تحافظ المرحلة الثانوية (الثانية) على وجود بقايا للمطهر في المياه النهائية لمنع نمو هذه الكائنات من جديد.

يعتبر الكلورين مادة فعالة جداً في إزالة جميع الكائنات الميكروبية الممرضة تقريباً، وهو ملائم كمطهر أولي وثانوي. ويُستخدم كغاز، أو في شكل هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم [الهيبوكلوريت هو ملح أو استر حمض الهيبوكلوروز]. ويُورّد غاز الكلورين عادة على شكل سائل معبأ في اسطوانات عالية الضغط، كما يمكن إنتاجه بالموقع بالتحليل الكهربي لمحلول كلوريد الصوديوم. وعادة ما يُخزن هيبوكلوريت الصوديوم في محلول مائي ويُخفف قبل الاستخدام. وأما هيبوكلوريت الكالسيوم فيُخزن على شكل مادة صلبة تُذاب في الماء عادة قبل الاستخدام. ويتم حقن المادة الكيماوية المستخدمة في الكلورة في المعتاد بخط الإمداد بالمياه بمعدل أو سرعة منظمة. ويتفاعل الكلور مع المواد العضوية الطبيعية الموجودة في كثير من مصادر المياه فيكوّن منتجات كيماوية ثانوية ضارة، أهمها ثلاثي الميثان المهلجن.

إن الكلورامين مبيد بكتيري فعال وهو ينتج مستويات لثلاثي الميثان المهلجن أقل من الكلورين. وتُنتج الكلورامينات في الموقع بحقن الكلورين (كمحلول غازي أو هيبوكلوريت الصوديوم) في مجرى التغذية الرئيسي يتبعه مباشرة حقن بالأمونيا (كمحلول غازي أو كهيدروكسيد الأمونيا). والكلورامين مطهر ضعيف، وتقل فعاليته كثيراً ضد الفيروسات أو الكائنات الأولية وحيدة الخلية عن الكلورين الخالص، ويكثر استخدام الكلورامين كمطهر ثانوي لمنع البكتريا من النمو ثانية في شبكة التوزيع.

إن الأوزون - ذلك الشكل الآخر من أشكال الأكسجين الذي له ثلاث ذرات في كل جزيء - مؤكسِد ومطهر قوي. وغاز الأوزون غاز غير ثابت ويجب توليده بالموقع بإمرار هواء

جاف في نظام من الإلكترودات عالية الفولطية. وتتطلب المعالجة بالأوزون زمن ملامسة أقصر مما يتطلبه الكلورين. ولا ينتج الأوزون مواد عضوية مهلجنة مباشرة إلا في وجود أيون البروميد. ولابد من استخدام مطهر ثانوي كالكلورامين لأن الأوزون لا يترك بقايا كافية في المياه. وتتطلب أنظمة المعالجة بالأوزون رأس مال كبير نسبياً، كما أن التشغيل والصيانة يتصفان بنوع من التعقيد.

تتولد الأشعة فوق البنفسجية بمصباح خاص، وهي حين تخترق جدار الخلية في كائن حي دقيق تعوق عمل المادة الوراثية بها فلا تستطيع أن تتكاثر، ومن ثم تدمر البكتريا والفيروسات بفعالية. وكما هو حال الأوزون، لا بد من استخدام مطهر ثانوي لمنع نمو الكائنات الدقيقة مجدداً. وقد تكون المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية جذابة كمطهر أولي في الشبكات الصغيرة لأنها سهلة المنال، ولا تنتج بقايا سامة معروفة وتتطلب زمن ملامسة قصير، كما أن معداتها سهلة التشغيل والصيانة. ولكن مع ذلك، قد لا تعمل الأشعة فوق البنفسجية على إبطال جياردیا لامبليا (مرض معوي) أو أكياس "خفية الأبواغ" [أو "كريبتوسبوريديوم" وهي بكتريا يحملها الماء تلوثه وتسبب عدوى معوية]. ولا تناسب طريقة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية المياه ذات المستويات العالية من الجوامد المعلقة، أو الكدرة، أو اللون المغاير، أو المواد العضوية المذابة لأن هذه المواد كلها يمكنها التفاعل مع هذه الأشعة أو امتصاصها مما يحد من قوة عملية التطهير.

توزيع المياه وتخزينها

تشمل شبكات توزيع المياه جميع المكونات الضرورية لنقل مياه الشرب من محطات المعالجة المركزية أو الآبار بواسطة التغذية المستخدمة للتخزين بالجاذبية أو بالمضخات عبر شبكات توزيع بالضخ إلى المستهلكين، وبما في ذلك التخزين للتوزيع والمعادلة. وتتكون شبكات توزيع المياه من أنابيب/ مواسير، ومضخات، وصمامات، وصهاريج تخزين، وخزانات، وعدادات، وتركيبات/ وصلات، والملحقات والتوابع الهيدروليكية الأخرى. وتُصمم هذه الشبكات ويتم تشغيلها كذلك لإيصال المياه ذات النوعية الصالحة للاستهلاك الآدمي والكميات الكافية لتلبية احتياجات المنتفعين. كما يتيح كثير منها قدرات مياه مناسبة للاستخدامات غير المتعلقة بالشرب كالري، وتنسيق المناظر الطبيعية، وإخماد الحرائق.

وتُصنّع غالبية مواسير وأنابيب توزيع المياه من الحديد المطاوع (المرن)، والخرسانة سابقة الإجهاد (التسليح)، وكلوريد البولي فينيل (بي في سي)، والبلاستيك المقوى، والصلب. وأستخدمت في الماضي أيضاً مواسير أسمنتية غير مبطنة من الحديد الزهر والأسبيستوس، وقد تكون مكونات هامة في الأنظمة القائمة.

إن شبكات توزيع المياه يمكن أن تُصمم ببنية شبكية فرعية أو بنية شبكية حلقية، أو قد تجمع بينهما. وفي البنية الشبكية الفرعية، تتفرع مواسير أصغر من مواسير أكبر في كافة أجزاء الشبكة حتى لا تأخذ المياه سوى مسار واحد من المنبع إلى المستهلك. وأما البنية الشبكية الحلقية فتتكون من حلقات من المواسير في كافة أجزاء منطقة الخدمة وبذلك تأخذ المياه عدة مسارات من المنبع إلى المستهلك. وفي هذه البنية الحلقية يمكن فصل أي جزء يتعطل أو يحتاج إلى إصلاح من ماسورة التوزيع الرئيسية دون قطع المياه عن جميع المنتفعين الموصلين بالشبكة. وتضم غالبية شبكات توزيع المياه كلتا البنيتين الحلقية والفرعية. وقد أجريت تجارب على تشغيل أنظمة معالجة لامركزية من شأنها أن تتيح معالجة إضافية بالقرب من نقطة الاستهلاك تبعاً لحاجات المنتفعين، ولربما أستخدم المزيد منها في المستقبل. وتُستخدم في بعض المجتمعات المحلية شبكات توزيع مزدوجة تتيح وصلات

رئيسية منفصلة لمياه الشرب وغير الشرب (مثلاً، المياه المستعادة المستخدمة للري، والحماية من الحريق، الخ).

تُستخدم خزانات وصهاريج التخزين لإتاحة القدرة على التخزين من أجل استيعاب التذبذبات في الطلب، وإتاحة مورد احتياطي لإخماد الحرائق وتلبية الاحتياجات الطارئة الأخرى، وتثبيت الضغوط في شبكات التوزيع؛ كما أنها تُستخدم لزيادة ملاءمة ظروف التشغيل وإتاحة مرونة في الضخ، ولتوفير مصدر مياه في حالة إخفاق مصادر المياه أو المضخات، وكذلك لخلط مياه المصادر المختلفة. ويكثر استخدام الصهاريج المرفوعة، غير أن هناك أنواعاً أخرى من الصهاريج والخزانات منها الصهاريج المقامة داخل الأرض والخزانات المفتوحة والمغلقة.

تحتاج شبكة توزيع المياه إلى طاقة في صورة ضغط لتتمكن من إيصال المياه المعالجة، ويمكن تزويد هذه الطاقة بمضخة، أو بالجاذبية من مصدر مياه (كخزان أو برج مياه) مقام على ارتفاع عالٍ، أو استعمال الهواء المضغوط كما في الشبكات الصغيرة. وتُستعمل الصمامات لعزل أقسام من الشبكة لأغراض الصيانة والإصلاح. وأما صمامات التحكم فتُستعمل للتحكم في تدفق المياه وضغطها في شبكة التوزيع.

ويجب من الناحية المثالية ألا تتغير نوعية المياه بين وقت خروجها من محطة المعالجة ووقت استهلاكها. ولكن يمكن أن تحدث تغيرات كبيرة في المياه النهائية في شبكة التوزيع نتيجة لتفاعلات معقدة مادية/ فيزيائية وكيميائية وبيولوجية. فعلى سبيل المثال، قد تنخفض معدلات دوران (تغيير) المياه ومستويات بقايا المطهرات في الصهاريج المعدة لإتاحة إمداد مناسب لإخماد الحرائق، وهو ما يؤدي إلى تكوّن طبقة بيولوجية والتغيرات البيولوجية الأخرى في المياه كالنترتة (تكوّن النترات والنتريت). وعلى أية حال، يمكن أن يحد تصميم شبكة التوزيع وطريقة تشغيلها من هذه الآثار.

أ.2 الصرف الصحي

تحمي شبكات الصرف الصحي صحة البشر والبيئة بعزل نفايات المجارير وبطريقة ما معالجة هذه النفايات. وفي المناطق الريفية تعتبر الأنظمة الصحية الموضعية هي الأكثر شيوعاً، وهي تتنوع من مراحيض الحفرة إلى المراحيض الدفق (بالسيفون) إلى خزانات الفضلات الأرضية ("الطرنش"). وكلما ازداد عدد السكان كثافة زادت الحاجة إلى أنظمة أكثر تعقيداً ومركزية لتجميع/ نزح الفضلات وتخزينها ومعالجتها.

تجميع الحمأة

تتطلب أنظمة الصرف الصحي الموضعية كالمراحيض الصندوقية وخزانات الفضلات الأرضية كسح دوري للمواد الصلبة حتى تعمل جيداً. وإن أول مرحلة للتعامل السليم لحمأة الفضلات الآدمية هو تجميعها ونقلها إلى مرفق للتخزين أو المعالجة. ويكون الكسح إما بالطرق اليدوية (مثلاً، بالجواريف أو الدلاء)، أو بالمعدات الميكانيكية. وتشمل المعدات الميكانيكية المستخدمة في كسح رواسب خزانات الفضلات الأرضية خزانات شفط مركبة على عربات بسعة 3 إلى 6 أمتار مكعبة، وعربات شفط صغيرة تُدفع باليد سعتها من 350 إلى 500 لتر. وفي المنازل القريبة من الطرق، يمكن تفريغ خزان الفضلات الأرضي بالعربة الكبيرة ونقل رواسبه مباشرة إلى محطة المعالجة. وأما إذا كان المنزل في حارة ضيقة فيمكن استخدام عربة الشفط الصغيرة. وفي هذه الحالة، يمكن وضع خزان وسيط (بسعة 3 إلى 6 أمتار مكعبة) في أقرب نقطة يمكن أن تصل إليها العربة، ثم تُنقل رواسب الفضلات إلى هذا الخزان من العربة الصغيرة على عدة رحلات. ثم يُنقل هذا الخزان بعد ذلك إلى موقع تفريغ آخر أو إلى محطة

المعالجة. وتستطيع وحدة واحدة من وحدات المعدات، كبيرة كانت أو صغيرة، أن تخدم خزاني فضلات أرضية أو ثلاثة في اليوم أو حوالي 500 في السنة.

المجاري

إن المجاري عبارة عن مواسير مغلقة مقطعها العرضي دائري عادة وتُستخدم في نقل المياه المستعملة (مياه الصرف الصحي). والمجاري إنما تشير إلى شبكات من مواسير المجارير أو الصرف الصحي، وهي تشمل محطات الضخ، والتدفقات المفرطة، والبنية الأساسية المرتبطة الأخرى. وتُصمم معظم مواسير الصرف الصحي هذه لنقل مياه وفضلات الصرف الصحي أو مياه الأمطار، ولكن كثيراً منها ثنائي الاستخدام إذ تنقل كلا النوعين.

قد تنقل شبكات المجاري (أي مواسير الصرف الصحي) المياه المستعملة من المنازل أو المنشآت التجارية أو الصناعية إلى مواقع التخزين أو التصريف أو معالجة المياه المستعملة. ونظراً لاحتواء النفايات السائلة الصناعية على مجموعة كبيرة من الكيماويات، والمذيبات، والملوثات الأخرى التي لا يمكن إزالتها إزالة فعالة في محطات معالجة المياه المستعملة المركزية، يُطلب من المرافق الصناعية في أغلب الأحيان معالجة النفايات السائلة التي تنتجها معالجة أولية قبل صرفها في شبكة المجاري.

يدخل في الاعتبارات التي تُراعى أثناء تصميم شبكات المجاري وتخطيط مقاساتها وأحجامها عدد السكان التي تخدمهم، والتدفقات التي تصرفها المنشآت التجارية والمرافق الصناعية، وخصائص تدفقات الذروة، والتدفقات الناتجة عن الأحوال الجوية الرطبة. وإضافة إلى تدفق مياه المجاري المتوقع، يعتبر حجم مستجمع المياه وخصائصه هما الاعتباران المهيمنان على تصميم المجاري الثنائية الاستخدام. وفي أغلب الأحوال، لا تستطيع المجاري الثنائية الاستخدام التعامل مع كمية مياه الأمطار الجارية، مما ينتج عنه تدفق مشترك مفرط في المجاري، والتي يتم تصريفه عادة في المياه السطحية بمعالجة ضئيلة أو حتى بدون معالجة. والهدف من شبكات المجاري المنفصلة هو نقل مياه الصرف الصحي فقط إلا أن هذه الشبكات جميعاً بها درجة من الصرف من خارجها إليها والارتشاح في المياه السطحية والجوفية. ويتأثر كل من الارتشاح للداخل وللخارج بأوضاع الرطوبة السابقة، والتي تمثل أيضاً اعتباراً مهماً من الاعتبارات الداخلة في تصميم شبكات المجاري المنفصلة.

إن من الطرق النموذجية المستخدمة في النقل بشبكات المجاري نقل المياه المستعملة بطريقة الجاذبية بزاوية ميل نازلة للمواسير. وتُصمم هذه المواسير والمعروفة بمواسير الجاذبية التقليدية بحيث يسمح ميل ومقاس الماسورة بالمحافظة على التدفق نحو نقطة التصريف بدون إغراق فتحات (غرف) التفتيش أو رفع الضغط في الماسورة. ويُستخدم هذا النوع من المواسير في المعتاد بالمناطق الحضرية ذات الأراضي المنحدرة انحداراً متسقاً لأن المناطق شديدة التحدر (التلالية) أو شديدة التسطح تتطلب حفراً عميقاً وبالتالي تزيد من تكاليف الإنشاءات. وقد يكون من الضروري إقامة محطات ضخ أو رفع لمياه الصرف بسبب متطلبات الميل عند تركيب مواسير الجاذبية التقليدية، وهو ما ينتج عنه نهاية الشبكة (أي البقعة السفلى) في آخر خط المواسير، حيث تتجمع مياه الصرف ولابد من ضخها أو رفعها لتوصيلها إلى نظام النزح/ التجميع. وتزيد محطات الضخ أو الرفع من تكاليف نظام النزح/ التجميع زيادة كبيرة؛ وإضافة إلى ذلك، قد تصبح غرف التفتيش المرتبطة بشبكة مواسير الجاذبية التقليدية مصدراً للارتشاح للداخل وللخارج، مما يزيد من كمية المياه المستعملة الواجب نقلها وكذلك مقاسات المواسير وحجم محطات الضخ/ الرفع.

قد تكون أنظمة أو شبكات تجميع المياه المستعملة البديلة فعالة من حيث التكلفة في المناطق التي تكون فيها أنظمة التجميع التقليدية باهظة التكلفة في تركيبها وتشغيلها. فعلى سبيل المثال، تُستعمل شبكات مواسير الضغط في المناطق التي يقل فيها عدد السكان وفي الضواحي حيث ترتفع تكلفة إنشاء شبكات تجميع تقليدية. وتُركب في هذه الشبكات عامة مواسير لها أقطار أصغر وميل خفيف أو أنها تتبع التضاريس السطحية للأرض المركبة فيها، فتقلل من تكاليف الحفر والإنشاء. وتختلف شبكات مواسير الضغط عن شبكات التجميع بالجاذبية التقليدية في أنها تفتت المواد الصلبة في محطة الضخ قبل نقلها عبر شبكة التجميع. كما أن تصميمها غير المنفذ للماء وعدم وجود فتحات تفتيش بالشبكة يحولان دون نفاذ تدفقات من خارج الشبكة إليها. وهكذا، قد تُفضل شبكات المجاري البديلة في المناطق التي توجد بها مياه جوفية عالية يمكن أن تتسرب إلى المجاري، فتزيد من كمية المياه المستعملة المزمع معالجتها، كما أنها تحمي مصادر المياه الجوفية بالاحتفاظ بالمياه المستعملة في مواسير شبكة المجاري. وأما مثالب هذه الشبكات فتتمثل في زيادة الطلب على الطاقة، وأن متطلبات صيانتها أعلى وكذلك التكاليف لكل مربع أو قطعة من المنطقة. وقد يكون الجمع بين أكثر من نوع من شبكات المجاري هو الأكثر ملائمة في المناطق التي تتفاوت فيها نوعية الأرض وكثافة السكان.

هناك نوعان من أنواع شبكات مواسير الضغط هما نظام ضخ النفايات السائلة لخزانات الفضلات الأرضية (*STEP*) ونظام مضخة الطحن (*GP*). ولا يتطلب أي منهما تعديلاً في أعمال السباكة داخل المنازل. وتتدفق المياه المستعملة في أنظمة ضخ النفايات السائلة لخزانات الفضلات الأرضية إلى خزان فضلات أرضية أو خزان التقاط وسيط لأسر المواد الصلبة أو الجوامد. وتتدفق النفايات السائلة إلى خزان حفظ به مضخات وأجهزة تحكم. ثم تُضخ هذه النفايات بعد ذلك وتنقل للمعالجة. ويبدو أن إدخال تعديلات على خزانات الفضلات الأرضية القائمة في المناطق التي تخدمها شبكات خزانات الفضلات الأرضية/ حقول التصريف يتيح فرصة للتوفير في التكاليف، غير أن عدداً كبيراً من هذه الخزانات (كثيراً ما يكون الغالبية) يجب استبداله أو توسيعه على مدار العمر الافتراضي للشبكة بسبب عدم كفاية سعته، أو تدهور حالة الخزانات الخرسانية، أو بسبب التسربات. وعلى الجانب الآخر، تتدفق مياه المجاري في نظام مضخة الطحن إلى قبو حيث تقوم مضخة طحن بطحن الجوامد ثم تصرف مياه المجاري في شبكة مواسير مضغوطة. ولا تتطلب أنظمة مضخة الطحن استخدام خزان فضلات أرضي ولكنها قد تتطلب طاقة أكثر من نظام ضخ النفايات السائلة لخزانات الفضلات الأرضية بسبب عملية الطحن. ولكن، تنتج أنظمة مضخة الطحن مياهاً مستعملة بها نسبة عالية من مجموع الجوامد المعلقة، والتي قد لا تقبلها محطات المعالجة المقامة في المراحل التالية من نظام الصرف الصحي.

معالجة المياه المستعملة

تتضمن معالجة مياه الصرف الصحي عمليات مادية وكيماوية وبيولوجية لإزالة الملوثات المادية والكيماوية والبيولوجية. وتهدف المعالجة إلى إنتاج نفايات سائلة معالجة ونفايات صلبة أو حمأة مناسبة للصرف في البيئة أو إعادة استخدامها فيها مرة أخرى. وتتكون معالجة الصرف الصحي نموذجياً من ثلاث مراحل يُطلق عليها المعالجة الأولية، والثانوية، والثالثة (أو المتقدمة).

المعالجة الأولية

إن الغرض من تصميم مرحلة المعالجة الأولية هو إزالة الجوامد المتكتلة، والمعلقة، والطافية من مياه الصرف الخام،

وأحياناً يُطلق على هذه المرحلة المعالجة الميكانيكية رغم كثرة استخدام المواد الكيماوية لتسريع عملية الترسيب.

تزيل عملية تصفية تمهيدية (بالشبيكات) الأشياء الكبيرة العالقة أو الطافية، وبعد ذلك قد تتدفق المياه المستعملة إلى غرفة الحصى حيث يتم ترسيب الرمل، والحصى، والرماد ونفايات الاحتراق الأخرى، والأحجار والحصباء الصغيرة بقاع هذه الغرفة. ومن الأهمية بمكان إزالة الحصى والحبيبات التي تجرفها مياه الأمطار من الشوارع والأراضي، خاصة في المدن التي تستخدم نظام الصرف الثنائي. فإن دخول كميات كبيرة من الحصى والرمال إلى محطة المعالجة يمكن أن يسبب مشاكل خطيرة في التشغيل، كالتآكل المفرط في المضخات والمعدات الأخرى، وانسداد أجهزة التهوية، أو شغل مساحات في الصهاريج والخزانات يُحتاج إليها في عملية المعالجة. ويجب تجميع الحصى ونواتج عملية التصفية التي تزيلها هذه العمليات من وقت لآخر والتخلص منها (مثلاً، في مدافن القمامة أو مرافق الإحراق).

ورغم انتهاء عملية التصفية وإزالة الحصى لا تزال المياه المستعملة تحتوي على مكونات عضوية وغير عضوية مذابة إلى جانب الجوامد المعلقة. ويمكن إزالة الجوامد المعلقة الزائدة بالترسيب أو بالترقيد بالجاذبية، أو التخثر الكيميائي، أو الترشيح. وتسمى المادة الجامدة المزالة بالحمأة الأولية.

إن بإمكان مرحلة المعالجة الأولية خفض الحاجة الحيوية الكيميائية للأكسجين في المياه المستعملة الواردة بنسبة 20 - 30 في المائة ومجموع الجوامد المعلقة بنسبة 50 - 60 في المائة. والمعالجة الأولية هي عادة المرحلة الأولى من عملية معالجة المياه المستعملة. وفي بعض الحالات، تبدأ محطات المعالجة بالمعالجة الأولية ثم تضيف مراحل معالجة أخرى مع زيادة كمية أو حمل المياه المستعملة، حيث تزداد الحاجة إلى المعالجة، وكلما أصبحت الموارد متاحة.

المعالجة الثانوية

تُنتهج في مرحلة المعالجة الثانوية عملياتٌ بيولوجية لإزالة ما يناهز 85 في المائة من المواد العضوية المذابة التي تفلت من المعالجة الأولية. وتشمل التكنولوجيات المستخدمة في المعالجة الثانوية عمليات الطبقة الثابتة، والحمأة المنشطة وعمليات نمو المواد المعلقة الأخرى، وأنظمة التهوية الممتدة، والمفاعلات البيولوجية المستخدمة للأغشية، والبرك الاصطناعية المهواة، وأنظمة البرك والأراضي الرطبة المصنعة، وأشكال المعالجة الأخرى التي تستخدم النشاط البيولوجي لتفتيت المواد العضوية.

يحدث النمو الميكروبي في عمليات النمو الملصق (الطبقة الثابتة) على سطح وسيط حجري أو بلاستيكي. وتمرر المياه المستعملة فوق هذا الوسيط ومعها الهواء لإتاحة الأكسجين. وتشمل وحدات عمليات النمو الملصق مرشحات تنقيط، وأبراج بيولوجية، وملامسات بيولوجية دوارة. وأما في عمليات النمو المعلق، فيتم تعليق النمو الميكروبي في خليط مائي مهوّى حيث يُضخ الهواء (أو الأكسجين) فيه، أو تُرج المياه بما يكفي لانتقال الأكسجين. وتشمل وحدات عمليات النمو المعلق تنويعات للحمأة المنشطة، وخنادق الأكسدة، ومفاعلات العمليات التسلسلية. وتسارع عملية النمو المعلق عمل البكتريا الهوائية والكائنات الحية الدقيقة الأخرى التي تفتت المواد العضوية في مياه الصرف الصحي بأن تتيح لها بيئة هوائية غنية حيث يمكن للكائنات الحية الدقيقة المعلقة في المياه المستعملة أن تعمل بمزيد من الكفاءة.

تتدفق مياه الصرف الصحي المعالجة من خزان التهوية إلى خزان ترسيب (وسيلة الترويق الثانوية)، حيث تتم إزالة الكتلة الحيوية الزائدة. ويُعاد بعض الكتلة الحيوية إلى رأس خزان

التهوية بينما يتم التخلص من بقاياها من النظام على شكل "نفايات". وتُعالج نفايات الكتلة الحيوية والجوامد المترسبة قبل التخلص منها أو إعادة استخدامها كجوامد حيوية.

قد تكون الحمأة المنشطة والعمليات المتعلقة بها هي الطريقة الملائمة للمعالجة إذا كانت الإزالة التامة للملوثات العضوية مطلوبة، والموارد المالية والعمالة الماهرة متاحتين للتشغيل والصيانة، وحين تتسم الأرض بالندرة أو بسعرها المرتفع. ويحتاج هذا النظام عادة إلى شكل من أشكال المعالجة الأولية، كالتصفية (الاحتجاز) والترسيب. وفي حال تشغيل هذه العملية وصيانتها على وجه سليم فإنها تكون خالية عامة من الذباب والروائح. ولكن غالبية عمليات الحمأة المنشطة أكثر تكلفة في التشغيل من عمليات النمو الملصق ولابد من توافر طاقة متصلة. ويمكن أن تتأثر فعالية عملية الحمأة المنشطة بالمستويات المرتفعة من المركبات السامة في المياه المستعملة. ولهذا، قد تكون هناك حاجة إلى برنامج للمعالجة الأولية الصناعية للسيطرة على الملوثات الناتجة عن المرافق الصناعية والتي قد تمر إلى عمليات المعالجة أو تتداخل معها، أو تلوث حمأة المجاري، أو تحدث أوضاعاً خطرة في شبكة المجاري أو نظام المعالجة كتكوّن غازات متفجرة أو سامة.[47]

تشمل الاعتبارات العامة المتعلقة بتصميم عملية الحمأة المنشطة خصائص المياه المستعملة، والأوضاع البيئية المحلية (بما فيها درجة الحرارة)، واحتمال وجود مواد مثبطة (كالتي قد توجد في النفايات السائلة الصناعية)، ومتطلبات انتقال الأكسجين وحركيات التفاعل (زمن الاحتجاز في النظام).

إن التهوية الممتدة عبارة عن صورة من التنويع المُدخل على عملية الحمأة المنشطة الأساسية، وهو يستخدم معدل تدفق منخفض نسبياً وزمن تهوية ممتد. وتتشكل مياه الصرف الصحي المهواة على شكل حمأة بنية اللون شبيهة بالخُثرة تترسب في خزان ترقيد منفصل. وهكذا، يتم سحب النفايات السائلة الصافية المُعالجة من أعلى خزان الترقيد والحمأة من أسفله. ويتميز هذا النظام بثبات الحمأة وأنها لا تحتاج إلى معالجة إضافية سوى نزع الماء عنها. ولكن ترتفع الحاجة إلى الطاقة بسبب زمن التهوية الممتد، ومن ثم كان هذا النظام مناسباً بوجه عام للمحطات الصغيرة.

تشتمل المفاعلات البيولوجية التي تستخدم الأغشية أو أنظمة الأغشية البيولوجية على حاجز بغشاء نصف مُنْفِذ إما أن يُستخدم مغطساً أو بالاشتراك مع عملية الحمأة المنشطة؛ وتضمن هذه التكنولوجيا إزالة كافة الملوثات المعلقة وبعض الملوثات المذابة. ومع ذلك يتناسب قصور أنظمة المفاعلات البيولوجية المستخدمة للأغشية تناسباً مباشراً مع كفاءة تخفيض مستويات المغذيات في عملية الحمأة المنشطة. ورغم قدرة هذه الأنظمة على تحقيق نوعية نفايات سائلة عالية واستخدامها لمساحة صغيرة من الأرض إلا أنها عملية معقدة وعادة ما تفوق تكلفة بنائها وتشغيلها تكلفة عمليات معالجة المياه المستعملة التقليدية.

إن البرك والأراضي الرطبة خيارات بسيطة وقوية في معالجة المياه المستعملة، إضافة إلى انخفاض تكلفتها ومتطلباتها سواء في التشغيل أو الصيانة. وتُصنف البرك على أنها لاهوائية (تفاعلات بدون أكسجين)، أو اختيارية (قد تستخدم العمليات الأكسجين أو لا تستخدمه)، وبرك إنضاج (حيث تتيح البرك معالجة إضافية في وجود الأكسجين وضوء الشمس لتزيد من خفض الملوثات قبل التصريف).

تتأثر أنظمة البرك والأراضي الرطبة بالأحوال الطبيعية

47 راجع مثلاً، U.S. EPA Office of Wastewater Management, Permits Division, Model Pretreatment Ordinance, January 2007, EPA 833-B-06-002.

كالرياح، ودرجة الحرارة، وسقوط الأمطار، وأشعة الشمس، والتسربات، وتتأثر كذلك بالعوامل المادية كالمساحة السطحية، وعمق المياه، وقصر الدوائر، ونسبة الحموضة، والمواد السامة، والأكسجين. وقد تتضمن المشاكل المتعلقة بالموقع المحدد ارتفاع منسوب المياه الجوفية، والفيضان، والتضاريس حادة الانحدار، وموائل ناقلات الأمراض كالبعوض.

إن برك تثبيت النفايات الهوائية عبارة عن أحواض مفتوحة تُعالج فيها المياه المستعملة في غياب الأكسجين. وتترسب الجوامد في قاع البركة، حيث تتحلل بعملية الهضم. وأما البرك اللاهوائية فيمكن استخدامها كمرحلة أولية لمعالجة المياه المستعملة قبل معالجتها بالمرحلة الثانوية في أنظمة أخرى كالبرك الاختيارية أو الأراضي الرطبة المصنعة. والبرك اللاهوائية عبارة عن أحواض مستطيلة الشكل عادة بعمق ثلاثة أمتار على الأقل أو 4 أمتار كعمق مثالي. ويجب إزالة الحمأة من البرك على فترات دورية (مثلاً، بتصريفها أو إزالتها كمادة صلبة أو بمضخة حمأة ذات عوامة). وتستطيع البركة الهوائية المصممة تصميماً جيداً إزالة حتى ما يداني 60 في المائة من الحاجة الحيوية الكيميائية للأكسجين والحاجة الكيميائية للأكسجين في الأحوال الدافئة.

والبرك الاختيارية عبارة عن أحواض سطحية كبيرة (بعمق 1.5 إلى 1.8 متراً تقريباً) تساعد على الجمع بين العمليات اللاهوائية والعمليات الهوائية. وتتم المعالجة من خلال عمليات مادية وبيولوجية، ويمكن أن تكون معقدة. وهناك أيضاً برك الإنضاج، وهي شبيهة بالبرك الاختيارية ولكن أصغر حجماً، وعادة ما توضع على التوالي بعد البرك الاختيارية. وبرك الإنضاج أكثر كفاءة من غالبية عمليات المعالجة الأخرى من حيث إزالة البكتريا وبويضات الديدان الطفيلية. وينبغي أخذ البرك الاختيارية وبرك الإنضاج في الاعتبار عند توافر أراضٍ بمساحات كافية، و/ أو الحاجة إلى خفض مستويات الكائنات الممرضة، و/ أو احتواء التدفق للداخل أحياناً على كميات كبيرة من مياه الأمطار المتسربة إلى شبكة المجاري.

إن الأراضي الرطبة المُصنعة هي أنظمة لأراضٍ رطبة منشأة هندسياً، وبمقدورها أن تعالج مجموعة متنوعة من النفايات السائلة، بما فيها المياه المستعملة المنزلية، ومياه صرف الحقول الزراعية، ومياه الأمطار، وحتى النفايات السائلة الصناعية. وتتم المعالجة من خلال عمليات بيولوجية ومادية، تشمل الترسيب، والترقيد، والامتزاز، والتمثيل بواسطة النباتات، والنشاط الميكروبيولوجي. وهذا النظام يُصمم بحيث يتدفق بالجاذبية، فيقلل من الحاجة إلى استعمال مضخات وأجهزة كهربائية. ويمكن أن ينتحي التدفق مساراً رأسياً أو أفقياً، وفيما يتعلق بالتدفق الأفقي بالأراضي الرطبة فقد يتخذ مساره فوق الأرض أو تحتها. وتُتبع في أغلب الأراضي الرطبة المُصنعة في البلدان النامية طريقةُ التدفق الأفقي بمسار تحت الأرض، إذا يُتجنب العمل بالمسار فوق الأرضي بوجه عام حتى لا يتيح مناطق تكاثر للبعوض.

قد تُستخدم الأراضي الرطبة المُصنعة عندما تكون هناك حاجة إلى نفايات سائلة ذات نوعية أعلى مما يمكن تحقيقه بالمعالجة اللاهوائية وحدها. وتتطلب المعالجة بهذه الأراضي 3 - 5م^2 لكل فرد عند معالجة مياه صرف صحي شاملة، علماً بأنه يمكن تخفيض مساحة الأرض المطلوبة بإجراء عمليات معالجة لاهوائية تمهيدية.

المعالجة الثالثة

إن عمليات المعالجة التي تُطبق لتقليل الحاجة الحيوية الكيميائية للأكسجين في نفايات الصرف الصحي إنما هي عمليات معالجة ثانوية. وأما المعالجة الثالثة فهي أية عملية تُستخدم بعد مرحلة المعالجة الثانوية، وهي مصممة لإزالة الملوثات العضوية التي لا تتحلل بيولوجياً وكذلك المغذيات المعدنية

كأملاح النيتروجين والفوسفور. وتستطيع عمليات المعالجة الثالثة إزالة أكثر من 99 في المائة من الشوائب في المياه المستعملة، كما أنها قادرة على إنتاج نفايات سائلة ذات نوعية قريبة من مياه الشرب. ومن أمثلة عمليات المعالجة الثالثة تعديل عمليات المعالجة الثانوية التقليدية لإزالة المزيد من النيتروجين والفوسفور. ويشيع استخدام مرشحات الكربون المُنشط في عمليات المعالجة الثالثة.

التطهير

يمكن أن يُستخدم التطهير خطوة أخيرة قبل تصريف النفايات السائلة. والكلورين هو أكثر المطهرات استخداماً على نطاق واسع إلا أن الأوزون والأشعة فوق البنفسجية يُستخدمان كثيراً أيضاً لتطهير النفايات السائلة المنتجة من المياه المستعملة. ولكن توجد لدي بعض السلطات البيئية شواغل من أن بقايا الكلورين في النفايات السائلة المنتجة يمكن أن تسبب آثاراً ضارة. ولعل الملائم هو إزالة الكلور من المياه المستعملة المعالجة لتحقيق باراميترات نوعية المياه المرغوبة.

إعادة استخدام المياه المستعملة

إن استخدام المياه المستعملة في الأنشطة الزراعية في ازدياد، لاسيما في المناطق التي تندر فيها المياه ويزيد فيها عدد السكان ويرتفع الطلب المتعلق بذلك على الغذاء، إذ تمثل المياه المستعملة مصدراً للمياه والمغذيات. وعلاوة على ذلك، تعتبر المياه المستعملة مصدر مياه يُعتمد عليه طوال أيام السنة.

تُسقى الأرض بالمياه المستعملة فتنتقل هذه المياه عبر طبقات التربة حيث يعمل الترشيح الطبيعي للتربة والنشاط الميكروبي والامتصاص بواسطة النباتات على إزالة معظم الملوثات، كما أن جزءاً من المياه يتبخر أو تستفيد منه النباتات. وما يتبقى تجمعه المصارف أو الآبار لتصريفه سطحياً أو يُسمح له بالتسرب إلى المياه الجوفية. ويستفيد النبات من كثير من المياه ومعظم المغذيات، بينما تنتقل الملوثات الأخرى إلى التربة بالامتزاز حيث يتمعدن كثير منها أو يتحلل على مدار الزمن بفعل النشاط الميكروبي.

إن المياه المستعملة تُطهَر في بعض الأحيان قبل أن تروى بها الأرض تبعاً للاستخدام النهائي للمحصول وطريقة الري؛ ويمكن ري الأراضي بهذه المياه بالرش، أو الغمر، أو التنقيط، أو بالقنوات (أي بالسدود والخدود). وتتوقف الطريقة المستخدمة في الري على اعتبارات التكلفة، والأرض ونوعية المحاصيل. وتقوم أنظمة الري بالتنقيط بإفراغ المياه من خلال ثقوب في أنابيب توضع على طول الأرض، ومن ثم يلزم إجراء معالجة أولية لإزالة الجوامد المعلقة حتى لا تنسد الثقوب بهذه الأنظمة.

معالجة الحمأة والتخلص منها

معالجة الحمأة

إن أكثر أنظمة معالجة الحمأة شيوعاً تشمل الهضم اللاهوائي أو الهضم اللاهوائي الأليف لدرجات الحرارة المرتفعة.

وأجهزة الهضم اللاهوائي عبارة عن خزانات تخمير تعمل في أوضاع لاهوائية مستمرة. ويمكن استخدام التحلل اللاهوائي في المعالجة المباشرة لمياه الصرف الصحي، غير أن المعالجة الهوائية مفضلة لما لها من فائدة اقتصادية. ومن المعتاد أن تُستعمل أجهزة الهضم اللاهوائي الكبيرة في التعامل مع الحمأة التي تنتجها عمليات المعالجة الأولية والثانوية. وهي تُستخدم أيضاً في معالجة النفايات السائلة الصناعية التي تحتوي على مستويات عالية من الحاجة الحيوية الكيميائية للأكسجين. ويدمج تصميم أجهزة الهضم اللاهوائي الكبيرة آليات الخلط الميكانيكي، والتسخين، وتجميع الغازات، وإضافة الحمأة، وإزالة الحمأة المثبّتة. ويُستفاد في عملية الهضم اللاهوائي

بمجموعة كبيرة متنوعة من البكتريا اللاهوائية غير المولدة لغاز الميثان. وفي الجزء الأول من العملية تتحلل المواد العضوية المركبة، وفي الخطوة التالية يتولد غاز الميثان. والمنتجات النهائية لعملية الهضم اللاهوائي هو غاز ميثان بنسبة 70 في المائة تقريباً، و30 في المائة ثاني أكسيد الكربون، وكتلة حيوية ميكروبية، وبقايا لا تتحلل بيولوجياً. والحمأة التي تُهضم بالكامل لا تحتوي إلا على نسبة ضئيلة من المواد العضوية التي تتحلل بيولوجياً بسهولة. كما أن الروائح المنبعثة منها عامة روائح محتملة، وحوالي 50 في المائة من الجوامد بها غير عضوية.

يحدث الهضم اللاهوائي الأليف للحرارة العالية في درجات حرارة مرتفعة ما بين 50 و70 درجة مئوية في المعتاد، مقارنة بعملية الهضم اللاهوائي القياسية، والتي تحدث غالباً بين 20 و45 درجة مئوية. ويمكن أن يكون الهضم اللاهوائي الأليف للحرارة العالية أسرع، حيث لا يلزمه سوى أسبوعين تقريباً، مقارنة بفترة 15 إلى 30 يوماً للهضم اللاهوائي القياسي. ورغم ذلك، يعتبر الهضم اللاهوائي الأليف للحرارة العالية أكثر تكلفة، ويتطلب طاقة أكبر، وهو أقل ثباتاً من الهضم الأليف للحرارة المعتدلة.

تقوم أنظمة التهوية الممتدة المستخدمة في المعالجة الثانوية أيضاً بهضم حمأة الصرف الصحي هوائياً. وإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام المعالجة الهوائية في معالجة الحمأة التي تنتج من عمليات الحمأة المنشطة التقليدية بإدخال الهواء إليها بدلاً من العمل على تكوين بيئة خالية من الأكسجين كما في عمليات الهضم اللاهوائي. إن الهضم الهوائي أسرع كثيراً من الهضم اللاهوائي ومن ثم فإن تكلفة رأس ماله أقل، غير أن تكاليف تشغيله أعلى كثيراً بسبب ارتفاع تكاليف الطاقة المطلوبة لإضافة الأكسجين للعملية.

إن إنتاج السماد بالتحويل العضوي (الكمر) هو من العمليات الهوائية أيضاً، حيث تُخلط الجوامد الموجودة في المياه المستعملة بمصادر الكربون كنشارة الخشب، أو القش، أو جذاذ الخشب. وتقوم البكتريا في وجود الأكسجين بهضم (تحليل) جوامد المياه المستعملة ومصدر الكربون المضاف وهي بذلك تولد مقداراً هائلاً من الحرارة.

التخلص من الحمأة واستخدامها

يتبع تثبيتَ الحمأة (مثلاً، بالهضم اللاهوائي، أو الهضم اللاهوائي الأليف للحرارة العالية، أو الهضم الهوائي، أو التهوية الممتدة) إزالةُ مائها والتخلصُ منها في مدفن قمامة أو محرقة، أو إخضاعها للمزيد من المعالجة للاستفادة منها في تطبيقات مفيدة. وهناك شواغل من إحراق الحمأة بسبب الانبعاثات الهوائية، وارتفاع تكلفة الوقود التكميلي، وهو ما يجعل من المحارق أقل جاذبية وبنائها أقل انتشاراً كوسيلة لمعالجة الحمأة أو التخلص منها. ولكن، قد يكون الإحراق طريقة ملائمة إذا كانت مكونات الحمأة (مثلاً، بسبب التصريفات الصناعية في شبكة المجاري) تحول دون اللجوء إلى خيارات التخلص أو الاستخدام الأخرى.

يمكن أن تؤدي عمليات الهضم اللاهوائي والهوائي للحمأة إلى تدمير الكائنات الحية الدقيقة والطفيليات المسببة للأمراض بمستوى كافٍ يسمح بالاستخدام الآمن لجوامد الهضم الناتجة في الأراضي المستخدَمة مادةً لإصلاح للتربة (بفوائد مماثلة لفوائد استخدام الخُث) أو المستخدمة سماداً في الأنشطة الزراعية، شريطة أن تكون مستويات المكونات السامة منخفضة انخفاضاً كافياً.